

การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในช่องแผ่นขนานโดยใช้ครีบบั๊ก

*สมพล สุกุลหลง¹, สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด² และพงษ์เจต พรหมวงศ์³

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

199 หมู่ 6 ถนนสุขุมวิท ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530

³ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

ผู้เขียนติดต่อ: สมพล สุกุลหลง E-mail: sfengsps@src.ku.ac.th

บทคัดย่อ

การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยทั่วไปสามารถทำได้หลายวิธี การใช้ครีบบางขวางการไหลภายในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอีกวิธีหนึ่งซึ่งช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้เป็นอย่างดี และลมร้อนที่ได้จากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้ยังสามารถนำไปใช้งานในภาคเกษตรกรรมได้ โดยนำเข้าสู่กระบวนการถนอมอาหาร เช่น การอบแห้งมะพร้าวขูด การอบแห้งเมล็ดพริกไทย เป็นต้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันภายในช่องขนานที่มีอากาศเป็นของไหลทดสอบในสภาวะผิวเป็นแบบพลาซึ่มความร้อนที่ผิวคงที่ โดยใช้ครีบบั๊กติดตั้งในช่องขนานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สัดส่วนความกว้างต่อความสูงของช่องขนาน (Aspect Ratio, AR) = 10 ความสูงช่องขนาน (H) = 30 มิลลิเมตร สัดส่วนความสูงครีบบั๊กต่อความสูงช่องขนาน (e/H) = 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 สัดส่วนระยะพิทต์เท่ากับ ความสูงช่องขนาน ($PR=H$) = 1 โดยทำการติดตั้งครีบบั๊กที่ผิวล่างของส่วนทดสอบ มีมุมปะทะ (α) = 30° การทดลองใช้ความเร็วอากาศในระดับต่างๆ กัน โดยแสดงในเทอมของเลขเรย์โนลด์ส์ (Re) อยู่ในช่วง 5000 ถึง 23,000 เพื่อพิจารณาค่าการถ่ายเทความร้อนในเทอมของเลขนัสเซลท์ (Nu) และการสูญเสียความดันในเทอมของตัวประกอบเสียดทาน (f) จากการทดลองพบว่า การใช้ครีบบั๊กให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันเพิ่มสูงมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับช่องขนานที่มีผนังเรียบ การติดตั้งครีบบั๊กที่ $e/H=0.4$ ให้ค่าเลขนัสเซลท์สูงสุดตามด้วย $e/H = 0.3, e/H = 0.2$ และ $e/H=0.1$ ตามลำดับ แต่ตัวประกอบเสียดทานก็เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน จึงส่งผลให้ช่องขนานที่ $e/H=0.2$ มีค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณีอื่นจะเห็นว่า การติดตั้งครีบบั๊กบางขวางการไหลสามารถช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้เป็นอย่างดี และสามารถถึงเอาลมร้อนที่ได้นี้มาเข้าสู่กระบวนการไล่ความชื้นหรือกระบวนการอบแห้งได้

คำสำคัญ: การถ่ายเทความร้อน; ครีบบั๊ก; เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

1. บทนำ

เทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้รับความสนใจจากหมู่นักวิจัยมาหลายทศวรรษและถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องและได้นำมาใช้ในงานทางวิศวกรรมแขนงต่างๆ ดังเช่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน อุตสาหกรรมเคมี และอุตสาหกรรมเกษตร การติดครีบบั๊กเป็นอีกหนึ่งในเทคนิคที่ได้รับความนิยมอย่างมากอันเนื่องมาจากมีความดันตกคร่อมในระบบที่

ไม่สูงมาก ต้นทุนต่ำและง่ายต่อการติดตั้งปรับปรุง และบำรุงรักษา งานวิจัยในอดีตได้ศึกษาผลลักษณะรูปร่างของครีบบั๊กต่างๆ อันส่งผลโดยตรงต่อค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานในท่อทั้งเชิงการทดลองและคำนวณเชิงตัวเลข [1-4] เมื่อเร็วๆ นี้ Tanda [5] ทำการศึกษาค่าการเพิ่มสมรรถนะความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่มีครีบบั๊กต่อเนื่องและครีบบั๊กไม่ต่อเนื่อง

ในช่วง $Re = 8900-28,500$ จากการทดลองพบว่า ครีบยาวไม่ต่อเนื่องที่ระยะพิทซ์ 50 มิลลิเมตร มีค่าการเพิ่มสมรรถนะความร้อนมากกว่าที่ระยะพิทซ์ 30 มิลลิเมตร ต่อมา Benlu and Jiang [6] ทำการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานของแผ่นโซลาร์ฮีตเตอร์สี่เหลี่ยม โดยใช้ครีบเอียงทำมุม $0^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ และ 90° กับทิศทางการไหล จากการทดลองพบว่า ครีบมุม 60° ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมมากที่สุด ครีบมุม 0° ให้ค่าความดันตกคร่อมน้อยที่สุด และครีบมุม 20° ให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด Promvong and Thianpong [7] ทำการศึกษาเชิงทดลองการเพิ่มสมรรถนะความร้อนในการไหลแบบปั่นป่วนผ่านช่องขนาน โดยใช้ครีบสามเหลี่ยม สามเหลี่ยมหน้าจั่ว และครีบสี่เหลี่ยม จัดวางแบบตรงกันและเอียงกัน พบว่า การติดตั้งครีบแบบตรงกันให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าแบบเอียง โดยเฉพาะครีบสามเหลี่ยมหน้าจั่วแบบมุมฉากรับลมให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด แต่อย่างไรก็ตามค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของครีบสามเหลี่ยมแบบวางเอียงมีค่าสูงสุด Thianpong et al. [8] ศึกษาพฤติกรรมทางความร้อนผ่านช่องแผ่นขนานโดยใช้ครีบสามเหลี่ยม พบว่า การติดตั้งครีบสามเหลี่ยมที่ $e/H = 0.26$ และจัดวางแบบตรงกันให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงสุด แต่ครีบสามเหลี่ยมที่ $e/H = 0.13$ และจัดวางแบบเอียงกันให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุด จากนั้น Promvong [9] ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานในแผ่นช่องขนานโดยใช้แผ่นกันรูปตัววีมุม 60° ที่ความสูงและระยะพิทซ์ต่างๆ พบว่า ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ดีขึ้นอยู่กับความสูงและระยะพิทซ์แผ่นกัน โดยแผ่นกันที่ $e/H = 0.3, PR = 1$ มีค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงสุด แต่แผ่นกันที่ $e/H = 0.1, PR = 1$ มีค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุด

จากงานวิจัยที่กล่าวถึงข้างต้นการติดตั้งครีบหรือแผ่นกันนั้นสามารถเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ช่วยในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยขึ้นอยู่กับรูปทรงของครีบหรือแผ่นกันที่ใช้ จุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาผลกระทบของการติดตั้งครีบหยักต่อพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อน และตัว

ประกอบเสียดทานในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายใต้เงื่อนไขการให้ความร้อนที่ผิวท่อสม่ำเสมอ ในการทดลองจะทดสอบภายใต้เงื่อนไขเดียวกันคือในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ตั้งแต่ 5000 ถึง 23,000 ไหลผ่านเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบช่องขนาน โดยใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบ

2. ทฤษฎีในการวิเคราะห์

การหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพา อัตราการถ่ายเทความร้อน ตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ย และตัวประกอบเสียดทานสามารถหาได้ดังต่อไปนี้

$$Q_{air} = Q_{conv} \quad (1)$$

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

โดยค่าการพาความร้อนที่ผิวสามารถเขียนได้ดังนี้

$$Q_{conv} = hA(\bar{T}_w - T_b) \quad (3)$$

เมื่อ

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

และ

$$\bar{T}_w = \sum T_w / 10 \quad (5)$$

เมื่อ T_w เป็นค่าอุณหภูมิที่ผิวของท่อทดสอบโดยวัดที่ผิวนอกของท่อ ซึ่งไม่คิดความต้านทานความร้อนของท่อ โดยวัดอุณหภูมิที่ผนังท่อทดสอบจากทางเข้าถึงทางออกด้วยกัน 10 จุด ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และค่าตัวเลขนัสเซลท์เฉลี่ย สามารถหาได้ดังต่อไปนี้

$$h = \dot{m}C_p(T_o - T_i) / A(\bar{T}_w - T_b) \quad (6)$$

$$Nu = hD/k \quad (7)$$

สำหรับการไหลของไหลในท่อทดลอง ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ส์หาได้จาก

$$Re = \rho UD / \mu = UD / \nu \quad (8)$$

และค่าตัวประกอบเสียดทานหาได้จาก

$$f = \frac{\Delta P}{\left(\frac{L}{D}\right)\left(\rho \frac{U^2}{2}\right)} \quad (9)$$

สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยพิจารณา

ภายใต้ Pumping power เดียวกันดังนี้

$$\eta = \frac{Nu / Nu_0}{(f / f_0)^{1/3}} \quad (10)$$

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 อุปกรณ์

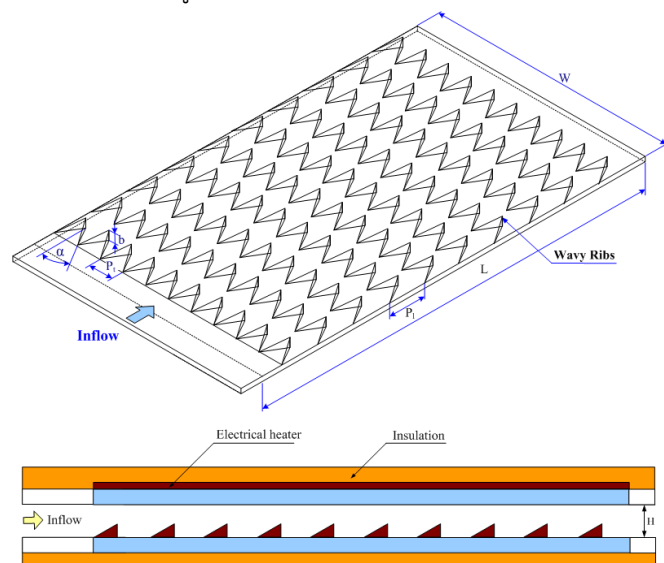
ชิ้นงานทดสอบแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 1 โดยมี สัดส่วนความกว้างต่อความสูงช่องขนาน (AR) = 10 ความสูงช่องขนาน (H) = 30 มิลลิเมตร ส่วนทดสอบ ยาว (L) 420 มิลลิเมตร กว้าง (W) 300 มิลลิเมตร ครีบหยักมีสัดส่วนความสูงครีบต่อความสูงช่องขนาน (e/H) = 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 สัดส่วนระยะพิตต์เท่ากับความสูงช่องขนาน ($PR=H$) = 1 โดยทำการติดตั้งครีบที่ผิวด้านล่างของส่วนทดสอบและติดตั้งฮีตเตอร์ที่ผิวด้านบนของส่วนทดสอบเพื่อต้องการดึงความร้อนจากผิวด้านบนมาผสมกับอุณหภูมิภายในท่อ (เปรียบเสมือนเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์) มีมุมปะทะ (α) = 30° เพื่อใช้เป็นตัวสร้างการไหลหมุนวนภายในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

รูปที่ 2 แสดงอุปกรณ์ทดลอง โดยช่องขนานสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีความยาว 2,000 มิลลิเมตร พัดลมขนาด 1.5 KW เป็นแหล่งขับเคลื่อนการไหลของอากาศ แผ่นออริฟิสมีเตอร์ที่สอบเทียบค่าแล้วใช้วัดอัตราการไหลก่อนเข้าสู่ชุดทดสอบโดยใช้หลักการความแตกต่างของความดันและอ่านค่าที่ได้จาก Inclined manometer จากนั้นอากาศไหลเข้าสู่ settling tank ซึ่งเป็นตัวปรับสภาพการไหลของอากาศจากท่อกลมไปสู่ท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าเพื่อลดความปั่นป่วนของอากาศก่อนเข้าสู่ส่วนทดสอบ แผ่นช่องขนานถูกทำให้ร้อน

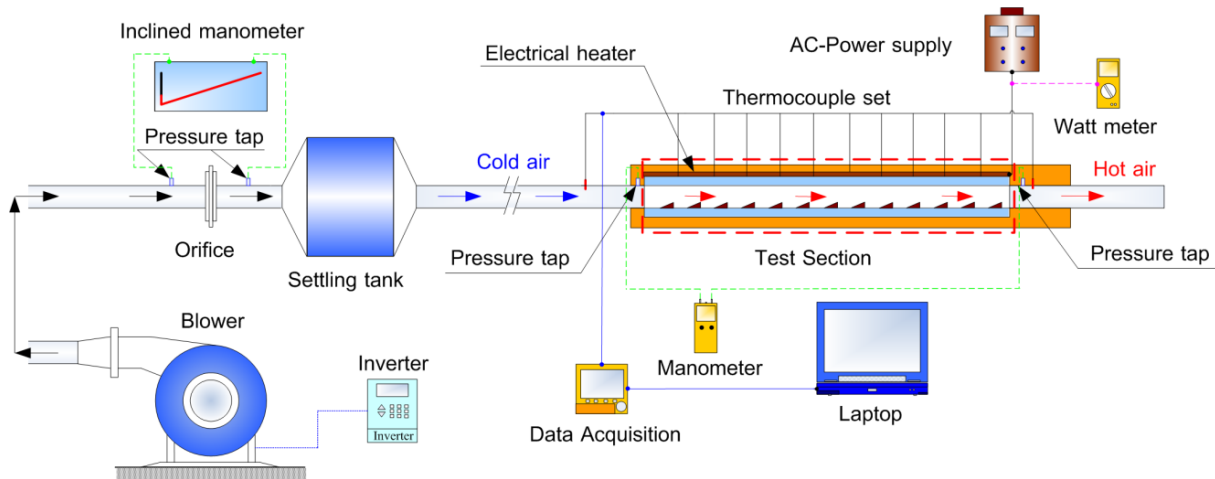
ด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1,000 W โดยใช้ variac transformer เป็นตัวจ่ายกระแสเข้าขดลวดฮีตเตอร์ให้ได้ตามที่กำหนด data logger เป็นอุปกรณ์เก็บและแสดงข้อมูลอุณหภูมิ 12 ตำแหน่ง 10 ตำแหน่งแรกเป็นอุณหภูมิผิว ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด k ส่วนอีก 2 ตำแหน่งเป็นอุณหภูมิทางเข้าและทางออก ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด RTD (PT100) เครื่องวัดค่าความดันตกคร่อม TESTO 350-M/XL เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าความดันตกคร่อมระหว่างตำแหน่งทางเข้าและทางออกส่วนทดสอบ จากนั้นทำการบันทึกค่าที่ได้จากเครื่องวัดความดันตกคร่อมและข้อมูลที่ได้จาก data logger ประมวลผลมายังคอมพิวเตอร์ ส่วนทดสอบทำการหุ้มฉนวนกันความร้อนเป็นอย่างดีเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากแผ่นฮีตเตอร์ไหลออกสู่บรรยากาศภายนอก

3.2 วิธีการทดลอง

วิธีการทดลอง เริ่มจากเปิดการทำงานของพัดลม โดยใช้อินเวอร์เตอร์ในการควบคุมความเร็วรอบของพัดลม ควบคุมความเร็วอากาศให้อยู่ในช่วง 1.5-6.5 m/s ซึ่งที่ความเร็วลมดังกล่าวครอบคลุมค่าเลขเรย์โนลด์์ในช่วงระหว่าง 5000-23,000 ก่อนทำการบันทึกผลการทดลองต้องรองจนกว่าอุณหภูมิทางเข้า อุณหภูมิทางออก และอุณหภูมิผิวคงที่ก่อนทำการบันทึก จากนั้นทำการเก็บข้อมูลที่อัตราการไหลค่าต่อไปจนครบทุกค่าเรย์โนลด์์



รูปที่ 1 การติดตั้งครีบหยัก



รูปที่ 2 ชุดทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

4. ผลการทดลอง

4.1 การทวนสอบท่อผนังเรียบ

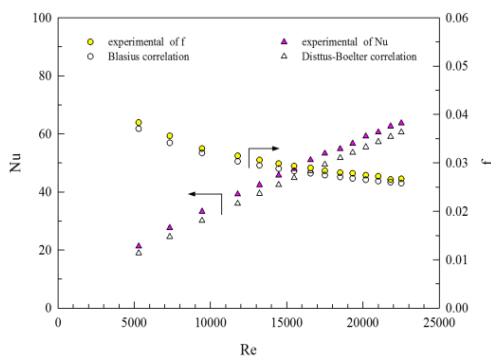
การทดลองนี้เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบช่องขนาน การทวนสอบท่อผนังเรียบใช้สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter ในการทวนสอบเลขนัสเซลท์ และใช้สหสัมพันธ์ของ Blasius ในการทวนสอบตัวประกอบเสียดทาน สำหรับสหสัมพันธ์ที่ใช้ในการทวนสอบนี้ใช้เอกสารอ้างอิง [10]

สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter

$$Nu = 0.023Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (11)$$

สหสัมพันธ์ของ Blasius

$$f = 0.316Re^{-0.25} \quad (12)$$

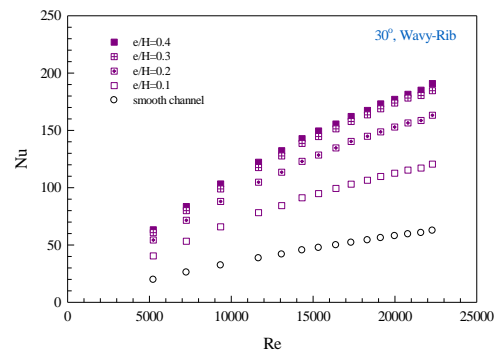


รูปที่ 3 การทวนสอบเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์กรณีท่อผนังเรียบ

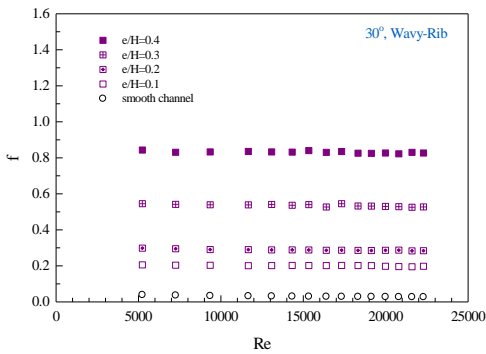
รูปที่ 3 แสดงการทวนสอบเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานกรณีท่อผนังเรียบ โดยใช้ข้อมูลผลการทดลองเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์จากสมการที่ (11) และ (12) พบว่า มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 6\%$ สำหรับเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทาน

4.2 อธิพิพลความสูงครีป (e/H)

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์กรณีติดตั้งครีปหยักที่มีความสูงต่างๆ พบว่าเลขนัสเซลท์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเลขเรย์โนลด์ โดยครีปที่ $e/H = 0.4$ มีค่าเลขนัสเซลท์สูงสุด การติดตั้งครีปหยักภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทำให้เกิดการไหลหมุนควงส่งผลต่อการลดปริมาณการสร้างชั้นขอบเขตทางความร้อนได้ดีและเพิ่มระดับความปั่นป่วนของการไหลภายในท่อ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์

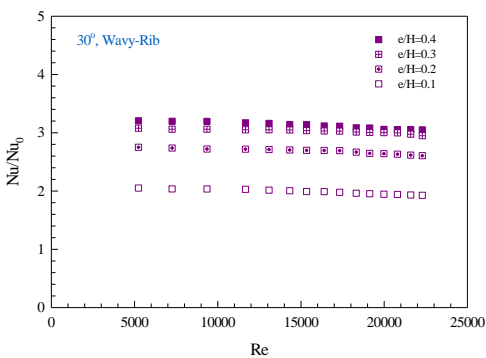


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ พบว่า เมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นส่งผลให้แนวโน้มตัวประกอบเสียดทานของครีบก้นมีค่าลดลงเล็กน้อย โดยครีบก้นที่ $e/H = 0.4$ มีค่าตัวประกอบเสียดทานสูงสุด ตามด้วย $e/H = 0.3, 0.2, 0.1$ และช่องขนานที่มีผนังเรียบตามลำดับ เนื่องจากครีบก้นที่มีความสูงมากนั้นจะส่งผลให้เกิดการขวางการไหลหรือการบล็อกการไหลและเกิดความปั่นป่วนสูงด้วย

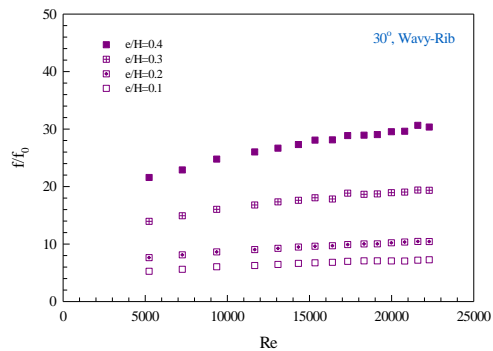
4.3 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (η)

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์กรณีทดสอบต่อเลขนัสเซิลท์ของท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนเลขนัสเซิลท์ที่มีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น การติดตั้งครีบก้นที่ $e/H = 0.4$ มีค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์สูงสุด ตามด้วย $e/H = 0.3, 0.2$ และ 0.1 ตามลำดับ โดยมีค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์เฉลี่ยมากกว่าท่อผนังเรียบเท่ากับ 3.12, 3.03, 2.68 และ 1.98 สำหรับการติดตั้งครีบก้นที่ $e/H = 0.4, 0.3, 0.2$ และ 0.1 ตามลำดับ

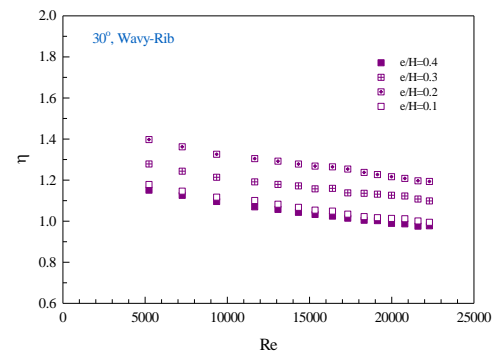


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์กรณีทดสอบต่อเลขนัสเซิลท์ของท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกรณีทดสอบต่อตัวประกอบเสียดทานของท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ พบว่า อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น การติดตั้งครีบก้นที่ $e/H = 0.4$ มีค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงสุด ตามด้วย $e/H = 0.3, 0.2$ และ 0.1 ตามลำดับ โดยมีค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยมากกว่าท่อผนังเรียบเท่ากับ 27.5, 17.7, 9.5 และ 6.6 สำหรับการติดตั้งครีบก้นที่ $e/H = 0.4, 0.3, 0.2$ และ 0.1 ตามลำดับ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกรณีทดสอบต่อตัวประกอบเสียดทานของท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนกับเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากอัตราส่วนเลขนัสเซิลท์และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน โดยคิดที่กำลังขับเดียวกัน จากผลการทดลองพบว่า การติดตั้งครีบก้นที่ $e/H = 0.2$ มีค่า η สูงสุด ตามด้วย $e/H = 0.3, 0.1$ และ 0.4 ตามลำดับ โดยมีค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.03, 1.16, 1.27 และ 1.06



สำหรับการติดตั้งครีบบัคที่ $e/H = 0.4, 0.3, 0.2$ และ 0.1 ตามลำดับ ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดนี้ พบที่ค่าเลขเรย์โนลด์ต่ำสุดของกรณีทดสอบ

5. สรุปผลการทดลอง

การถ่ายเทความร้อน ตัวประกอบเสียดทานและสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบช่องขนานที่มีการติดตั้งครีบบัค 30° ในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ 5000-23,000 ที่ความสูงครีบบัคต่างๆ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การติดตั้งครีบบัคในช่องแผ่นขนานสามารถช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น โดยเฉพาะที่ $e/H = 0.4$ มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดในกรณีทดสอบ

2. การติดตั้งครีบบัคที่ $e/H = 0.2$ มีค่า η สูงสุดเนื่องจากให้ค่าตัวประกอบเสียดทานที่ต่ำกว่า $e/H = 0.4$ และ $e/H = 0.3$ ค่อนข้างมาก แต่มีค่าเลขนี้สเซลท์สูงกว่า $e/H = 0.1$ สำหรับการประยุกต์ใช้ครีบบัคควรเลือกใช้ที่ $e/H = 0.2$ เพราะให้ค่า η สูงสุด

7. เอกสารอ้างอิง

[1] Zhang, Y.M., Gu, W.Z., Han, J.C. (1994). Heat transfer and friction in rectangular channels with ribbed or ribbed-grooved walls, *Journal of Heat Transfer-Trans ASME*, vol. 116, pp. 58-65.

[2] Taslim, M.E., Li, T., Kercher, D.M. (1996). Experimental heat transfer and friction in channels roughened with angled, V-shaped, and discrete ribs on two opposite walls, *Journal of Turbomachinery-Trans ASME*, vol. 118, pp. 20-28.

[3] Gentry, M.C., 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.

[4] Sripattanapipat, S., Promvong, P. (2009). Numerical analysis of laminar heat transfer in a channel with diamond-shaped baffles, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 36, pp. 32-38.

[5] Tanda, G. (2004). Heat transfer in rectangular channels with transverse and V-shaped broken ribs, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 47, pp. 229-243.

[6] Lu, B., Jiang, P.X. (2005). 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.

[7] Promvong, P., Thianpong, C. (2008). Thermal performance of turbulent channel flows over different shaped ribs, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 35, pp. 1327-1334.

[8] Thianpong, C., Chompookham, T., Skullong, S., Promvong, P. (2009). Thermal characterization of turbulent flow in a channel with isosceles triangular ribs, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 36, pp. 712-717.

[9] Promvong, P. (2010). Heat transfer and pressure drop in a channel with multiple 60° V-baffles, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 37, pp. 835-840.

[10] Incropera, F., Dewitt, P.D. (2006). *Introduction to Heat Transfer*, 5th edition John Wiley & Sons Inc.