

การเพิ่มสมรรถนะความร้อนในช่องขนานโดยใช้ครีบริบและปีกสามเหลี่ยม

Thermal Enhancement in a Channel with Triangular Ribs and Winglets

ธีรพัฒน์ ชมภูคำ, มิ่ง โลกิจแสงทอง และ พงษ์เจต พรหมวงศ์

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

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

บทคัดย่อ

บทความนี้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในช่องขนาน ที่มีอากาศเป็นของไหลทดสอบ ในสภาวะผิวแบบฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ โดยใช้ครีบริบและปีกสามเหลี่ยม ช่องขนานสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีสัดส่วนความกว้างต่อความสูงของช่องขนาน (Aspect Ratio, AR) = 10, ความสูงช่องขนาน (H) = 30 มิลลิเมตร ครีบริบสามเหลี่ยมหน้าจั่ว มีสัดส่วนความสูงครีบริบต่อความสูงช่องขนาน (e/H) = 0.20, 0.26 มีระยะพิตต์ (P) = 40 มิลลิเมตร ติดตั้งที่ผิวบนและล่างของส่วนทดสอบ จัดวางครีบริบแบบแนวเดียวกันและแบบเยื้องกัน ปีกสามเหลี่ยมจำนวน 2 คู่ติดตั้งแบบสมมาตรที่ผิวล่างของทางเข้าของส่วนทดสอบ มีมุมปะทะ (α) = 60° ใช้เป็นตัวกำเนิดการไหลแบบหมุนควง 2 คู่ที่ทางเข้า การทดลองใช้ความเร็วอากาศในระดับต่าง ๆ กัน ค่าเลขเรย์โนลด์ (Re) อยู่ในช่วง 5000 ถึง 23,000 จากนั้นทำการเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนใน พจน์ของเลขนัสเซลท์ (Nu) และการสูญเสียความดันในพจน์ของตัวประกอบเสียดทาน (f) พบว่าการใช้ครีบริบร่วมกับการติดตั้งปีกที่ทางเข้า ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันเพิ่มสูงมากขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบกับช่องขนานที่มีผนังเรียบ การจัดวางครีบริบแบบแนวเดียวกันให้ ค่าการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดันมากกว่าการจัดวางครีบริบแบบเยื้องกันที่อัตราการไหลเดียวกัน และเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละกรณีพบว่า ครีบริบที่ $e/H = 0.26$ จัดวางแบบแนวเดียวกัน ให้ค่าทั้งเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานเพิ่มสูงสุด แต่ที่ $e/H = 0.20$ จัดวางแบบเยื้องกัน ให้สมรรถนะความร้อนสูงกว่ากรณีอื่น

คำหลัก: ครีบริบสามเหลี่ยม, ปีกสามเหลี่ยม, การไหลแบบปั่นป่วนในช่องขนาน, ตัวเพิ่มความปั่นป่วน

Abstract

The paper presents the study of heat transfer and friction loss behaviors for air flow through a constant heat flux channel fitted with triangular ribs and delta winglets. The ribs used to generate reverse/recirculation flow are placed on the upper and lower plates of the tested channel while two pairs of delta winglets are mounted at the entrance of the lower plate of the tested channel to create vortex flow at the entry. Effects of rib arrangements, namely, in-line and staggered arrays on heat transfer and friction loss in the channel are experimentally investigated. Measurements are carried out for the channel of aspect ratio, $AR = 10$ and height, $H = 30$ mm with a single rib height, $e/H = 0.20, 0.26$ mm and rib

pitch, $P = 40$ mm. The results of using triangular ribs on the upper and lower channel walls with in-line and staggered arrays are compared with those of similar ribs and two winglet pairs placed with the attack angle, α of 60° at the tested channel entry. The flow rate is in terms of Reynolds numbers based on the inlet hydraulic diameter of the channel in a range of 5000 to 23,000. The experimental results show that the use of winglets in conjunction with the ribs leads to the considerable increase in heat transfer coefficient and friction factor in comparison with the smooth channel. In common with the winglet, the in-line rib arrangement provides higher heat transfer and friction loss than the staggered one for a similar mass flow rate. In comparison, $e/H = 0.26$ with inline array yields the highest increase in both the Nusselt number and the friction factor but $e/H = 0.20$ with staggered array shows better thermal performance over the others.

Keywords: triangular rib, delta winglet, turbulent channel flow, turbulator, thermal performance

1. บทนำ

ความต้องการระบบทางความร้อน ประสิทธิภาพสูง ในงานต่าง ๆ ด้านวิศวกรรมประยุกต์ กระตุ้นให้เกิดความสนใจค้นหาวิธีการต่าง ๆ เพื่อพัฒนาระบบการถ่ายเทความร้อน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบการพา โดยทั่วไปการพัฒนาในปัจจุบันใช้เทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้รูปแบบพื้นผิวแบบต่าง ๆ เพื่อเชื่อมโยงเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ช่วยให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น โดยความเสียดทานมีค่าเพิ่มไม่มาก ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าว คือ (1) การทำลายชั้นขอบเขตและเพิ่มระดับความแรงของการไหลแบบปั่นป่วน, (2) เพิ่มพื้นผิวการถ่ายเทความร้อน และ (3) สร้างการหมุนวนและการไหลแบบชั้นที่สองในการออกแบบช่องขนานของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ตัวสร้างความปั่นป่วนแบบครีปต่าง ๆ และปีกถูกนำมาใช้เพื่อเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน เป็นผลให้ได้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีขนาดเล็กลง และประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้น การใช้ตัวสร้างความปั่นป่วนแบบครีป ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการไหลซึ่งเป็นผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของค่าการถ่ายเทความร้อน เพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อน, เพิ่มระดับความปั่นป่วน แต่ผลของรีแอสแทกเมนต์ก็ส่งผลต่อการสูญเสียความดันด้วยเช่นกัน ตัวสร้างความปั่นป่วนแบบปีก ยังช่วยให้เพิ่มสมรรถนะของการถ่ายเทความร้อนในระบบทาง

ความร้อนแบบใหม่ โดยปีกเป็นตัวสร้างการหมุนวน และลดความเสียดทานของการไหลหลัก ทำให้การสูญเสียความดันน้อยลงด้วย

ปัจจุบันมีงานวิจัยหลายงาน ทำการศึกษาถึงพารามิเตอร์ของครีป ที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน และตัวประกอบเสียดทานที่พื้นผิวสองด้านของส่วนทดสอบ Benlu and Pei-Xue Jiang [1] ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและคุณสมบัติการเสียดทานของแผ่นโซลาร์ฮีตเตอร์สี่เหลี่ยม ชนิดครีป เอียงทำมุม 0° ถึง 90° กับทิศทางการไหล โดยมีขอบเขตการศึกษาในช่วงอัตราการไหลอากาศ 0.001-0.0018 kg/s ครีประยะพิทช์ 4 มิลลิเมตร ความสูง 0.8 มิลลิเมตร กว้าง 1 มิลลิเมตร พบว่าที่มุมครีป 60° ให้การถ่ายเทความร้อน และ ความดันตกคร่อมมากที่สุด แต่ที่มุม 20° ให้ประสิทธิภาพโดยรวมของการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด เมื่อศึกษาต่อที่มุมครีป 20° พบว่าที่ระยะพิทช์น้อยลงให้ การถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมเพิ่มมากขึ้น โดยที่ระยะพิทช์เท่ากับ 1, 2 มิลลิเมตรให้ประสิทธิภาพรวมของการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกัน Promvong and Thianpong [2] ทำการศึกษามรรณะความร้อนของครีปสามเหลี่ยมมุมฉากด้านตั้งรับลมและด้านเอียงรับลม ครีปสามเหลี่ยมหน้าจั่วและสี่เหลี่ยม ที่ค่า $e/H = 0.3$ และ $P/e = 6.67$ ติดตั้งที่ผิวบนและล่างของช่องขนานที่มี $AR = 15$ พบว่าการจัดวางครีปสามเหลี่ยม

มุมจากด้านตั้งรับลมจัดวางแบบแนวเดียวกันให้การถ่ายเทความร้อนสูงสุดแต่ครีบบสามเหลี่ยมหน้าจั่วจัดวางแบบเอียงกันให้สมรรถนะความร้อนสูงสุด

Thianpong et al. [3] ทำการศึกษาสมรรถนะความร้อนของครีบบสามเหลี่ยมหน้าจั่วที่ค่า $e/H = 0.13, 0.2, 0.26$ เท่ากันทั้งแผ่นและแบบไม่เท่ากัน โดยสลั ค่าระหว่าง $e/H = 0.13$ และ 0.2 โดยที่ $P = 40$ มิลลิเมตร ติดตั้งที่ผิวบนและล่างของช่องขนานที่มี $AR = 10$ พบว่าครีบบแบบความสูงเท่ากันให้สมรรถนะความร้อนสูงกว่าแบบความสูง ไม่เท่ากัน การจัดวางแบบแนวเดียวกันให้การถ่ายเทความร้อนและความดัน ตกคร่อมมากกว่าแบบเอียงกัน ครีบบที่มีความสูงมากที่สุดให้การถ่ายเทความร้อนและความดัน ตกคร่อมสูงสุด แต่ครีบบที่มีความสูงต่ำสุดจัดวางแบบเอียงกันให้สมรรถนะความร้อนสูงสุด และมีงานวิจัย อีกหลาย ๆ งานที่ให้ความสนใจในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน โดยใช้ปีกแบบสามเหลี่ยม [4-7] ซึ่งปีกถูกออกแบบมาเพื่อสร้างการหมุนวนเพิ่มระดับความปั่นป่วนและเพิ่มการพาความร้อน เป็นผลให้ประสิทธิภาพทางความร้อนดีขึ้น และให้การสูญเสียความดันอยู่ในระดับที่ไม่สูงมาก การไหลแบบ หมุนวนที่สร้างขึ้นส่งผลต่อการไหลในส่วนเริ่มต้นและการไหลในส่วนที่สอง ช่วยเสริมให้เกิดการผสมผสานกับการไหลหลักอีกด้วย Gentry and Jacobi [4] นำเสนอการเพิ่มสมรรถนะความร้อน โดยการใช้ตัวสร้างการหมุนวนแบบต่าง ๆ ซึ่งพบว่าสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย 50–60% เมื่อเปรียบเทียบกับผนังเรียบ ใช้ตัวสร้างการหมุนวนแบบปีก รูปทรงเหมือนสามเหลี่ยมหน้าจั่ว ติดตั้งแบบสมมาตรกับการไหล โดยมุมปะทะเป็นมุมที่วัดเทียบกับการไหลหลัก ปรับค่ามุมปะทะตั้งแต่ 25° ถึง 55° โดยค่าที่เหมาะสมที่สุดเกิดขึ้นที่มุมปะทะ 40°

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อทำ การศึกษาการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานในช่องขนานสี่เหลี่ยมผืนผ้า, $AR = 10$ ที่มีอากาศเป็นของไหลทดสอบ ในสภาวะผิวแบบฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ โดยใช้ครีบบและปีกสามเหลี่ยม ครีบบสามเหลี่ยมมีค่า $e/H = 0.20, 0.26$ โดยจัดวางครีบบแบบแนวเดียวกัน

และแบบเอียงกัน ใช้เป็นตัวสร้างการไหลแบบหมุนวนไปมาที่ผิวบนและล่าง, ส่วนปีกสามเหลี่ยม มุมปะทะ = 60° ใช้เป็นตัวสร้างการไหลแบบหมุนวนที่ทางเข้า โดยทำการศึกษาในช่วงการไหลแบบการไหลแบบปั่นป่วน $Re = 5000-23,000$ เพื่อใช้ข้อมูลในการพัฒนาปรับปรุงการออกแบบแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

2. ทฤษฎี

เป้าหมายของงานวิจัยนี้เพื่อหาการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานในพจน์ของเลขนัสเซลท์ โดยเลขเรย์โนลด์ในพจน์ของ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (D_h) สามารถเขียนได้เป็น

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

เมื่อ U และ ν เป็นความเร็วเฉลี่ยและความหนืดเชิงจลน์ของอากาศตามลำดับ สมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (h) หาได้จากการวัดอุณหภูมิและความร้อนที่ป้อนเข้าระบบ ความร้อนที่ให้กับอากาศ (Q_{air}) และความแตกต่างของอุณหภูมิผนังกับอุณหภูมิอากาศ ($T_w - T_b$), สมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยหาได้จากข้อมูลทดลองดังสมการ

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

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

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

$$\text{และ} \quad \tilde{T}_s = \sum T_s / 10. \quad (5)$$

พจน์ A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนแบบการพาของผนังด้านบนของช่องขนานที่ถูกให้ความร้อน เมื่อ $\tilde{T}_s$ คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ยที่ได้จากอุณหภูมิผิวในแต่ละจุด (T_s) ตามแนวยาวของช่องขนาน, T_i, T_o คือ อุณหภูมิทางเข้าและทางออกตามลำดับ โดยพจน์ $\dot{m}, C_p, V$ และ I คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ, ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ, ความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้า ตามลำดับ

เลขนัสเซิลท์เฉื่อย (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, ρ คือ ความหนาแน่นของของไหลและ k คือ ค่าการนำความร้อนของอากาศ คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศถูกกำหนดที่อุณหภูมิของไหลเฉื่อย (T_b) จากสมการ (4)

ที่สภาวะกำลังขับ (pumping power) เดียวกัน

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

เมื่อ $\dot{V}$ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ เขียนในพจน์ตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ ได้เป็น

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

สมรรถนะความร้อน (η) คือ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นผิวทดสอบ (h) เทียบกับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนผนังเรียบ (h_0) ที่กำลังขับเดียวกัน

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

3. อุปกรณ์ทดลอง

อุปกรณ์ทดลอง ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 1 ช่องขนานสี่เหลี่ยมผืนผ้า ยาว 2000 มิลลิเมตร มีสัดส่วนความกว้างต่อความสูงของช่องขนาน (AR) = 10, ความสูงช่องขนาน (H) = 30 มิลลิเมตร, ส่วนทดสอบ ยาว (L) = 420 มิลลิเมตร กว้าง (W) = 300 มิลลิเมตร, ครีบบสามเหลี่ยมหน้าจั่ว มีสัดส่วนความสูงครึ่งต่อความสูงช่องขนาน (e/H) =

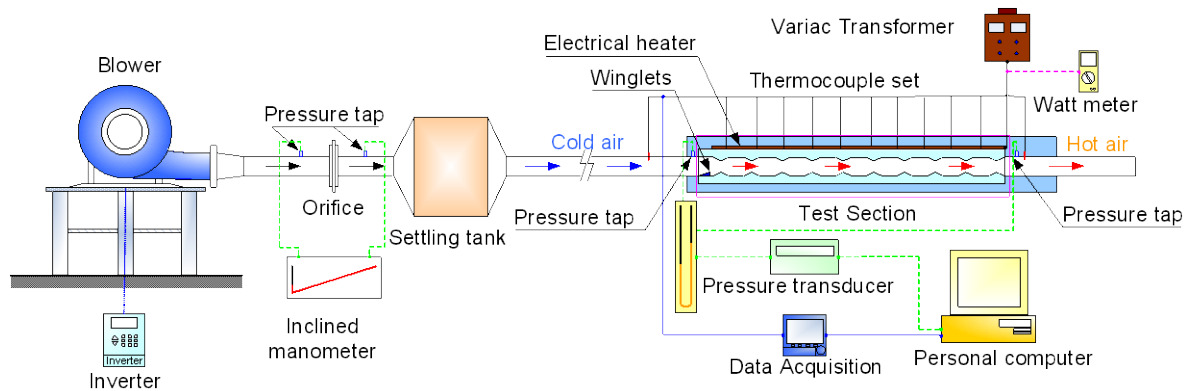
0.20, 0.26 ระยะพิตต์ (P) = 40 มิลลิเมตร ติดตั้งที่ผิวบนและล่างของส่วนทดสอบ จัดวางครีบบ 2 แบบ คือ แบบแนวเดียวกันและแบบเยื้องกัน ใช้เป็นตัวสร้างการไหลแบบหมุนวนที่ผิวบนและล่าง, ปีกสามเหลี่ยม สูง 20 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร จำนวน 2 คู่ ติดตั้งแบบสมมาตรที่ผิวล่างของทางเข้าส่วนทดสอบ มีมุมปะทะ (α) = 60° ใช้เป็นตัวสร้างการไหลแบบหมุนวน 2 คู่ที่ทางเข้า ดังแสดงในรูปที่ 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 เพื่อให้อากาศที่ไหลก่อนเข้าชุดทดลองมีลักษณะปรับตัวเต็มที่แล้ว และไหลเข้าส่วนทดสอบ, แผ่นช่องขนานถูกทำให้ร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าขนาด 1,000 วัตต์ ติดตั้งที่แผ่นด้านบนของช่องขนาน, เครื่องควบคุมความร้อนแผ่นฮีตเตอร์ แบบปรับค่า ความต่างศักย์: TDGC variac transformer เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ควบคุม ความต่างศักย์ ที่ให้กับแผ่นฮีตเตอร์ ในการควบคุมฟลักซ์ความร้อนให้ได้ตามที่กำหนด, Data acquisition system: FLUKE 2680A เป็นอุปกรณ์เก็บและแสดงข้อมูลอุณหภูมิผิว 10 ตำแหน่ง ด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด K, อุณหภูมิทางเข้าและทางออก ด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด RTD-PT100, เครื่องวัดความดันตกคร่อมแบบดิจิตอล: TESTO 1445 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันตกคร่อมระหว่างตำแหน่งทางเข้าและทางออกของส่วนทดสอบ, คอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องเก็บข้อมูลอุณหภูมิและเครื่องวัดความดันตกคร่อม โดยส่วนทดสอบต้องมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากแผ่นฮีตเตอร์ไหลออกสู่บรรยากาศภายนอก

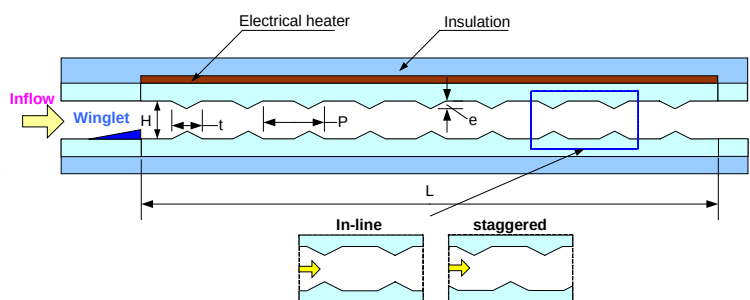
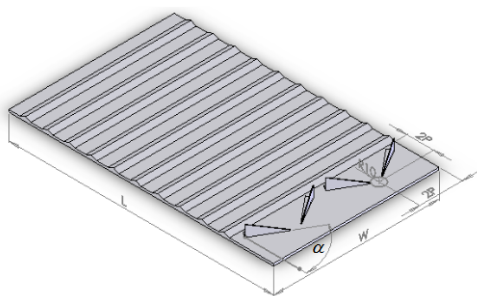
4. วิธีการทดลอง

วิธีการทดลอง เริ่มโดย การเปิดพัดลม ปรับ อัตราการไหลเชิงมวล ของอากาศให้ได้ตามที่ กำหนด ควบคุมความเร็ว อากาศให้อยู่ในช่วง 0.20 ถึง 2.20 เมตรต่อวินาที ซึ่งที่ความเร็วดังกล่าวครอบคลุมค่าเลข เรย์โนลด์ระหว่าง 5000 ถึง 23,000 ในแต่ละช่วง

ความเร็วอากาศที่ทดสอบ ก่อนทำการบันทึกค่าต้องให้อุณหภูมิผิวภายใน ส่วนทดสอบ และอุณหภูมิ ทางเข้า-ออกมีค่าคงที่ก่อน โดยอุณหภูมิ ผิวของส่วนทดสอบ วัดค่าทั้งหมด 10 จุด และอุณหภูมิอากาศทางเข้าและทางออกของส่วนทดสอบ 2 จุด ขณะเดียวกันก็ทำการ บันทึกค่าความดันตกคร่อมส่วนทดสอบด้วย



รูปที่ 1 อุปกรณ์ชุดทดลอง



รูปที่ 2 ส่วนทดสอบ การติดตั้งครีบลิ่มสามเหลี่ยมหน้าจั่วและปีกสามเหลี่ยม

5. ผลการทดลอง

การทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดันของช่องขนานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า $AR = 10$, ความสูงช่องขนาน 30 มิลลิเมตร โดยใช้ครีบลิ่มและปีกสามเหลี่ยม ความสูงครีบลิ่ม 2 ค่า คือ $e/H = 0.20, 0.26$ และจัดวางครีบลิ่ม 2 แบบ คือ แบบแนวเดียวกันและแบบเยื้องกัน โดยปักติดตั้งที่ผิวล่างของทางเข้า มุมปะทะ = 60° ผลการทดลองที่ได้แสดงดังนี้

5.1 การทวนสอบช่องขนานผนังเรียบ

การทดลองนี้ศึกษาผลของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันของช่องขนานผนังเรียบ ในพจน์ของเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทาน

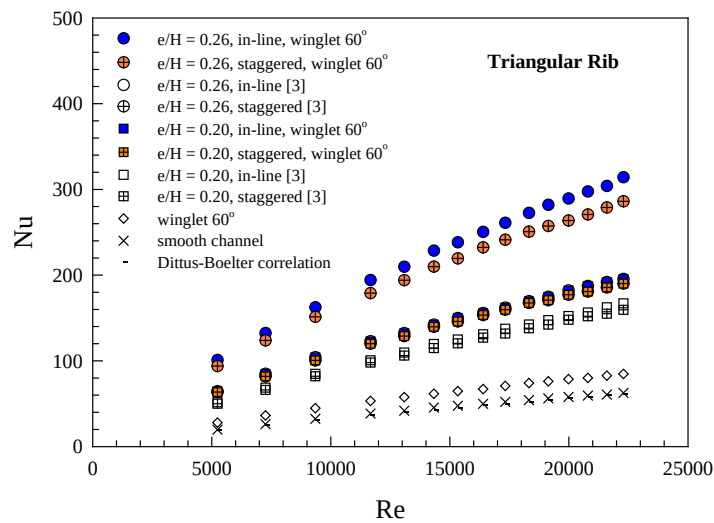
ตามลำดับ เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับ สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และของ Blasius อ้างอิงในเอกสาร [8] ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter, การให้ความร้อน

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

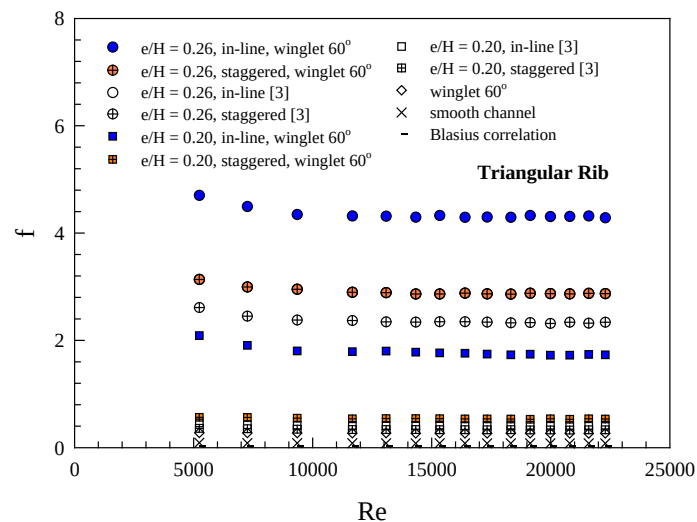
สหสัมพันธ์ของ Blasius, $3000 \leq Re \leq 20,000$

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

จากรูปที่ 3 และ 4 เปรียบเทียบเลขนัสเซลท์ และตัวประกอบเสียดทานที่ได้จากการทดลองกับ สหสัมพันธ์สมการ (11) และ (12) พบว่าค่าคลาดเคลื่อน อยู่ในช่วง $\pm 8\%$ ทั้งสหสัมพันธ์เลขนัสเซลท์และ สหสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทาน โดยการคำนวณหาค่าคลาดเคลื่อนอ้างอิงในเอกสาร [9]



รูปที่ 3 การแปรเปลี่ยนของเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์



รูปที่ 4 การแปรเปลี่ยนของตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์

5.2 อิทธิพลของครีบบและปีก

รูปที่ 3 แสดงการแปรเปลี่ยนของเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น ให้ค่าเลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน และเมื่อประยุกต์ใช้ครีบบสามเหลี่ยมหน้าจั่วแบบติดตั้งปีกที่ทางเข้า ให้ค่าเลขนัสเซลท์เพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผนังเรียบ เนื่องจากตัวสร้างความปั่นป่วนแบบครีบบส่งผลต่อการลดความหนาของชั้นขีดยืดและทำให้เกิดการสร้างควมปั่นป่วนซ้ำใหม่ (flow redevelopment) กรณี ครีบบสามเหลี่ยมหน้าจั่วแบบติดตั้งปีกที่ทางเข้า ที่ $e/H = 0.20$ จัดวางครีบบแบบแนวเดียวกันและแบบเอียงกัน ให้ค่าเลขนัสเซลท์สูงกว่าผนังเรียบ ในช่วง 310-327% และ 304-322%

ตามลำดับ และที่ $e/H = 0.26$ จัดวางครีบบแบบแนวเดียวกันและแบบเอียงกัน ให้ค่าเลขนัสเซลท์สูงกว่าผนังเรียบ ในช่วง 500-512% และ 455-476% ตามลำดับ

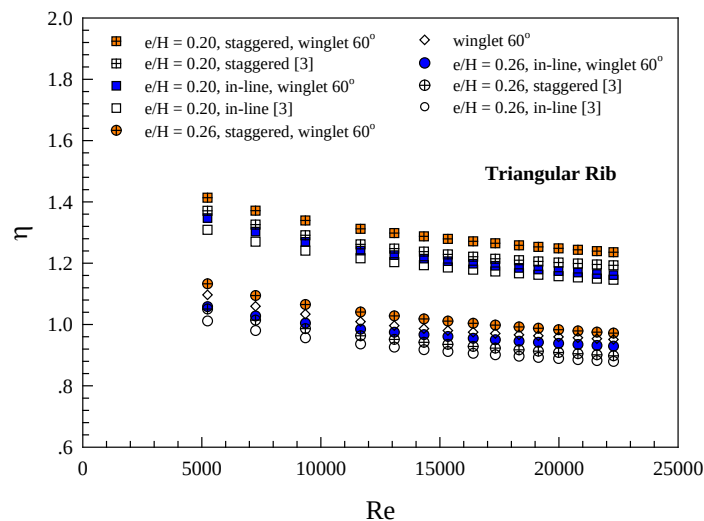
รูปที่ 4 แสดงการแปรเปลี่ยน ของตัวประกอบเสียดทาน กับเลขเรย์โนลด์ พบว่าเมื่อค่า เลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น ค่าตัวประกอบ เสียดทานลดลง และเกือบจะคงที่เมื่อเลขเรย์โนลด์ค่าสูง เมื่อใช้ครีบบสามเหลี่ยมหน้าจั่วแบบติดตั้งปีกที่ทางเข้า ส่งผลให้ค่าตัวประกอบ เสียดทานเพิ่มขึ้นสูงกว่าผนังเรียบ แต่อย่างไรก็ตามก็ให้ค่าเลขนัสเซลท์ที่สูงกว่าผนังเรียบมาก เนื่องจากการขวางกั้นการไหล (flow blockage) และพื้นผิวสัมผัสที่สูงขึ้น เป็นผลให้เกิดการไหลกลับ

(reverse flow) กรณีครีบริบสามเหลี่ยมหน้าจั่วแบบติดตั้งปีกที่ทางเข้า ที่ $e/H = 0.20$ จัดวางแบบแนวเดียวกันและแบบเอียงกัน ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าผนังเรียบ ในช่วง 14.47-19.86 เท่าและ 11.86-15.36 เท่าตามลำดับ และที่ $e/H = 0.26$ จัดวางแบบแนวเดียวกันและแบบเอียงกัน ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าผนังเรียบ ในช่วง 12.03 -15.94 เท่าและ 8.02-10.61 เท่า ตามลำดับ

การจัดวางครีบริบ ทดสอบการจัดวางครีบริบ 2 แบบ คือ แบบแนวเดียวกันและแบบเอียงกัน จากรูปที่ 3 พบว่า การจัดวางครีบริบแบบแนวเดียวกันให้ค่าเลขนัสเซลล์ที่สูงกว่าการจัดวางครีบริบแบบเอียงกันทุกๆ ค่าของเลขเรย์โนลด์ เนื่องจากการกั้นขวางการไหลที่สูงกว่า ($e/H = 0.20, 0.26$) ช่วยเพิ่มระดับความแรงของการไหลกลับและการเกิดการหมุนวนใหม่ (recirculation flow) จากรูปที่ 4 พบว่าการจัดวางครีบริบแบบแนวเดียวกันให้ค่าตัวประกอบ เสียดทาน สูงกว่าการจัดวางครีบริบแบบเอียงกัน และมีแนวโน้มค่อนข้าง

คงที่เมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น

ความสูงครีบริบ ทดสอบความสูงครีบริบ 2 ค่า คือ $e/H = 0.20, 0.26$ เปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในช่องขนาน ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ พบว่าเมื่อครีบริบมีความสูงเพิ่มขึ้น การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเช่นกัน ครีบริบสามเหลี่ยมหน้าจั่วแบบติดตั้งปีกที่ทางเข้า จัดวางครีบริบแบบแนวเดียวกันและแบบเอียงกัน ที่ $e/H = 0.26$ ให้ค่าเลขนัสเซลล์เฉลี่ยมากกว่าที่ $e/H = 0.20$ เท่ากับ 1.59 เท่าและ 1.50 เท่าตามลำดับ เมื่อพิจารณาอิทธิพล ของความสูงครีบริบที่ส่งผลต่อค่าตัวประกอบเสียดทาน พบว่าครีบริบความสูงเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ การสูญเสียความดันมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน ครีบริบสามเหลี่ยมหน้าจั่วแบบติดตั้งปีกที่ทางเข้า จัดวางครีบริบแบบแนวเดียวกันและแบบเอียงกัน ที่ $e/H = 0.26$ ให้ค่าตัวประกอบเสียดทาน เฉลี่ยมากกว่าที่ $e/H = 0.20$ เท่ากับ 8.03 เท่าและ 6.92 เท่า ตามลำดับ



รูปที่ 5 การแปรเปลี่ยนของสมรรถนะความร้อนกับเลขเรย์โนลด์

5.3 สมรรถนะของการใช้ครีบริบและปีก

รูปที่ 5 แสดง การแปรเปลี่ยน ของสมรรถนะความร้อน (η) กับเลขเรย์โนลด์ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ คัดที่ กำลังขับเดียวกัน ตามสมการ (10) โดย พบว่าสมรรถนะความร้อน มีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น การจัดวางครีบริบแบบเอียงกันให้สมรรถนะ

ความร้อนมากกว่าแบบแนวเดียวกัน นที่ทุกค่าของ เลขเรย์โนลด์ และเมื่อเปรียบเทียบแต่ละกรณีพบว่าที่ $e/H = 0.20$ จัดวางครีบริบแบบเอียงกันให้ค่าสมรรถนะความร้อนสูงกว่ากรณีอื่น โดยมีค่าเท่ากับ 1.4 2 ที่เลขเรย์โนลด์ค่าต่ำสุด ซึ่งเป็นตัวชี้วัดได้ว่าการใช้ครีบริบร่วมกับปีกให้สมรรถนะความร้อนที่ดีขึ้น

6. สรุปผล

การทดลองนี้เพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในช่องขนานที่มีอัตราส่วนรูปทรงที่มีค่าสูง, $AR = 10$ โดยใช้ครีบบสามเหลี่ยมหน้าจั่วร่วมกับปีกติดตั้งที่ทางเข้า, $\alpha = 60^\circ$ โดยทดสอบในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ที่เลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 5000 ถึง 23,000 พบว่าการใช้ครีบบสามเหลี่ยมหน้าจั่วร่วมกับปีกที่ $e/H = 0.20, 0.26$ จัดวางครีบบแบบแนวเดียวกัน ให้การสูญเสียความดันเพิ่มขึ้นค่อนข้างสูง โดยเฉพาะที่ $e/H = 0.26$ แต่ให้อัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนเมื่อเทียบกับผนังเรียบมีค่าสูงมากด้วย, $Nu/Nu_0 = 3.10-3.27$ และ $5.00-5.12$ ตามลำดับ โดยอัตราการถ่ายเทความร้อนเมื่อเทียบกับผนังเรียบมีแนวโน้มเกือบคงที่เมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น การจัดวางครีบบแบบแนวเดียวกันให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันมากกว่าการจัดวางครีบบแบบเอียงกันที่อัตราการไหลเดียวกัน และเมื่อเปรียบเทียบในแต่ละกรณีพบว่า ช่องขนานที่มี $e/H = 0.26$ จัดวางครีบบแบบแนวเดียวกัน ให้ค่าทั้งเลขนัสเซิลท์และตัวประกอบเสียดทานเพิ่มสูงสุด แต่ช่องขนานที่มี $e/H = 0.20$ จัดวางครีบบแบบเอียงกัน ให้สมรรถนะความร้อนสูงกว่ากรณีอื่น จะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้ครีบบและปีกสามเหลี่ยม ให้ค่าสมรรถนะความร้อนสูงขึ้นประมาณ 50-60% โดยพบค่าสูงสุดที่เลขเรย์โนลด์ค่าต่ำๆ

7. กิตติกรรมประกาศ

ผลการวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ผ่านโครงการปริญาเอกกาญจนาภิเษก (คปก.)

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Benlu, 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.
- [2] Promvong P., Thianpong C. (2008). Thermal performance assessment 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., 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., 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., 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., 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] Incropera, F., Dewitt, P.D. (1996). *Introduction to heat transfer*, 3rd edition, John Wiley & Sons Inc.
- [9] ANSI/ASME, (1986). Measurement uncertainty, PTC 19, 1-1985, Part I.