

อิทธิพลของการจัดวางครีบริบตัววี
ต่อการปรับปรุงคุณลักษณะเชิงความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์
The Influences of V-ribbed Arrangement
on Thermal Characteristic Improvement in a Solar Air Heater Channel

จิตกร กนกนัยการ^{1*} และ พงษ์เจต พรหมวงศ์²

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกลและยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
วิทยาเขตระยอง 19 หมู่ 11 ตำบลหนองละลอก อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง 21120

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ถนนฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

*ติดต่อ: chitakorn.k@eat.kmutnb.ac.th, โทร. 0865644850

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของการจัดวางครีบริบต่อการปรับปรุงคุณลักษณะเชิงความร้อนในเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ (constant surface heat flux) การทดลองทำการจัดวางแผ่นครีบริบตัววีทำมุมปะทะ (α) 45° มีสัดส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงของช่องขนานเป็น 2 เท่า ($PR=P/H=2.0$) โดยทดสอบด้วยครีบริบที่มีสัดส่วนความสูงของครีบริบต่อความสูงชุดทดสอบ(Blockage ratio: $BR = e/H$) = 0.10 และ 0.15 และการจัดวางครีบริบ 2 รูปแบบคือติดที่แผ่นด้านบนด้านเดียวและติดครีบริบทั้งแผ่นบนและแผ่นล่างในแนวเดียวกัน(inline arrangement) ใช้อากาศเป็นของไหลทำงานที่ใช้ในการทดลองโดยปรับเปลี่ยนความเร็วของอากาศในรูปของเลขเรย์โนลด์ส (Reynolds number: Re) ระหว่าง 4700 – 22,000 ผลลัพธ์ของการจัดวางครีบริบในการถ่ายเทความร้อนแสดงเป็นค่าตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt number: Nu) ตัวประกอบเสียดทาน(Friction Factor: f) ผลการทดลองพบว่าครีบริบที่จัดวางสองด้านในแนวเดียวกันที่ $BR=0.15$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงที่สุดที่ PR เดียวกัน ส่วนการจัดวางครีบริบด้านบนด้านเดียวที่ $BR = 0.10$ ให้ค่าการปรับปรุงสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุด

คำหลัก: การจัดวาง, เครื่องอุ่นอากาศ, ช่องขนาน, ครีบริบตัววี, ตัวประกอบเสียดทาน

Abstract

The research work presents an experimental investigation of the influences of V-ribbed arrangement on thermal characteristic improvement in a constant surface heat fluxed solar air heater channel. The experiment has been conducted by varying air flow velocity in order to obtain the Reynolds number (Re) ranging from 4700 to 22,000. The multiple v-ribbed turbulators were tested in the solar air heater channel having an aspect ratio (channel width to height ratio) $AR=10$ and height, $H = 3\text{mm.}$, with two blockage ratios ($BR = 0.10$ and 0.15) and two v-ribbed arrangements (upper plate only and inline v-ribbed arrangement), with a transverse pitch distance equal to 2 times channel

height ($PR=P/H=2$) and single attack angle ($\alpha=45^\circ$). The experimental results show the influences of the ribs on heat transfer in terms of Nusselt number (Nu) and pressure loss in the form of friction factor (f). The experimental data performed that the inline arrangement v-ribbed turbulators with $BR = 0.15$ yields the highest heat transfer rate and pressure loss while the v-ribbed turbulators on the absorber plate only with $BR = 0.10$ provide the highest thermal performance factor of all.

Keywords: arrangement, air heater, channel, v-ribbed, friction factor.

1. บทนำ

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตในภาคอุตสาหกรรม เช่น หม้อไอน้ำ เครื่องทำความเย็น และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่างๆ เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้ต้องใช้พลังงานค่อนข้างมากแต่ได้อัตราความร้อนมาไม่เต็มประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับเชื้อเพลิงที่ใช้ ดังนั้นจึงมีความพยายามหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิผลในกระบวนการผลิตและยังเป็นการลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตได้อีกด้วย

งานวิจัยมากมายที่ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวแปรทั้งหลายในการติดตั้งตัวสร้างความปั่นป่วนแบบครีบริบตัววีที่ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการไหลช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน แต่การเพิ่มระดับความปั่นป่วนทำให้เกิดการรีแอกแทชเม้นท์ซึ่งก่อให้เกิดความดันสูญเสียเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน ผลงานวิจัยจากนักวิจัยที่ผ่านมาทำการศึกษาคู่แปรต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ทั้งรูปทรงของครีบริบ, มุมของครีบริบและลักษณะการจัดวาง เป็นต้น ตัวอย่างเช่น Benlu and Jiang [1] ได้ทำการศึกษากการถ่ายเทความร้อนและคุณสมบัติการเสียดทานของแผ่นโซลาร์ฮีตเตอร์สี่เหลี่ยม ชนิดครีบริบเอียงทำมุม 0° ถึง 90° กับทิศทางการไหล โดยมีขอบเขตการศึกษาในช่วงอัตราการไหลอากาศ $0.001-0.0018$ kg/s ครีบริบระยะพิตต์ 4 มิลลิเมตร ความสูง 0.8 มิลลิเมตร กว้าง 1 มิลลิเมตร พบว่าที่มุมครีบริบ 60° ให้การถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมมากที่สุด แต่ที่มุม 20° ให้

ประสิทธิภาพโดยรวมของการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด เมื่อศึกษาต่อที่มุมครีบริบ 20° พบว่าที่ระยะพิตต์น้อยลงให้การถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมเพิ่มมากขึ้น โดยที่ระยะพิตต์เท่ากับ 1, 2 มิลลิเมตรให้ประสิทธิภาพรวมของการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดและมีค่าใกล้เคียงกัน ชมพูคำ และคณะ [7] กล่าวว่า การใช้ครีบริบร่วมกับตัวสร้างการหมุนควงแบบ winglet (WVG) ให้ค่าที่สูงกว่า WVG อย่างเดียว พรหมวงศ์และคณะ [8] ทำการทดสอบพฤติกรรมเชิงความร้อนของการใช้ครีบริบและ WVG ที่มีมุมปะทะ(attack angle) มากมายและพบว่าการใช้ตัวสร้างความปั่นป่วนร่วมกันให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแบบใช้ครีบริบหรือ WVG อย่างเดียว พรหมวงศ์และคณะ [9] ศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของช่องขนานเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ครีบริบร่วมกับตัวสร้างการหมุนควงแบบปีกสามเหลี่ยมชี้ตามกระแสการไหล(DW) ทำการทดสอบอิทธิพลของ DW สิบคู่มีมุมปะทะ(α) = 30° , 45° , 60° โดยติดตั้งที่ทางเข้าของแผ่นล่างของแผ่นขนานทดลอง ผลการทดลองปรากฏว่าตัวสร้างการหมุนควงแบบปีกสามเหลี่ยม DW ที่มีมุม $\alpha=60^\circ$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงที่สุด ขณะที่ตัวสร้างการหมุนควงแบบปีกสามเหลี่ยม DW ที่มีมุม $\alpha=30^\circ$ ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนดีที่สุด

จากงานวิจัยที่กล่าวถึงข้างต้นจะพบว่ามี การนำตัวสร้างความปั่นป่วนมาใช้อย่างกว้างขวางในแผ่นขนานเพื่อสร้างการหมุนควงตามแนวยาวให้เกิดขึ้นตลอดการไหลในท่อ การทดลองนี้ทำการทดสอบอิทธิพลของการจัดวาง

ครีบทวีตต่อการปรับปรุงคุณลักษณะเชิงความร้อนในเครื่องอุณหอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้นจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อเพิ่มเติมข้อมูลของตัวสร้างความปั่นป่วนแบบครีบทวีต ผลการทดลองที่ใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบไหลผ่านตัวสร้างความปั่นป่วนแบบครีบทวีตที่มี PR=2 มีมุมปะทะ $\alpha=45^\circ$ ที่ BR=0.10 Upper, 0.10 Inline, 0.15 Upper และ 0.15 Inline ติดในท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีค่าสัดส่วนความกว้างต่อความสูงของท่อ (Aspect Ratio) = 10 นำเสนอไว้ในรูปแบบการไหลแบบปั่นป่วนในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ Re=4700-22,000

2. ทฤษฎี

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานในเทอมของเลขนัสเซลท์ โดยเลขเรย์โนลด์ส์ในเทอมของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (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

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

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

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

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

A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนแบบการพาของผนังด้านบนของช่องขนานที่ถูกให้ความร้อน เมื่อ \tilde{T}_s คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ยที่ได้จากอุณหภูมิผิวในแต่ละจุด (T_s)

ตามแนวยาวของช่องขนาน, T_i , T_o คือ อุณหภูมิทางเข้าและทางออกตามลำดับ โดยเทอม \dot{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 คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศถูกกำหนดที่อุณหภูมิของไหลเฉลี่ย (T_b) จากสมการ (4) ที่สภาวะกำลังขับ (Pumping power) เดียวกัน

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

เมื่อ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและเขียนในเทอมตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ส์ ได้เป็น

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

ตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (Thermal Enhancement Factor, TEF) คือ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นผิวทดสอบ (h) เทียบกับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนพื้นผิวเรียบ (h_0) ที่กำลังขับเดียวกัน จากข้อเสนอแนะของ Webb [7]

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

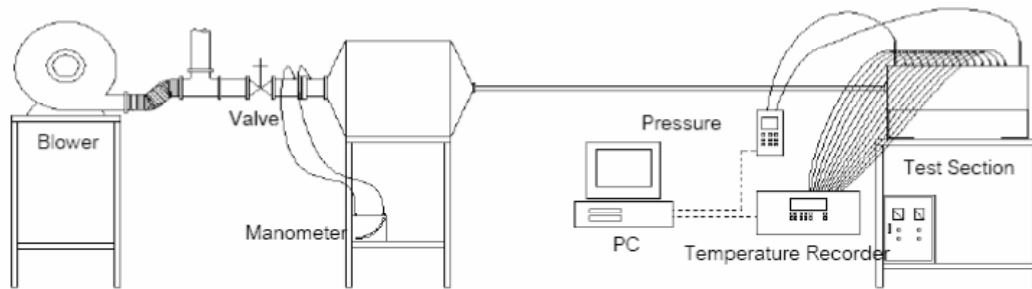
3. อุปกรณ์การทดลอง

ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ตามรูปที่ 1 ด้านล่าง โดยใช้พัดลม (blower) ขนาดพิกัด 1.5 kW เป็นแหล่งกำเนิดลม ซึ่งควบคุมปริมาณลมไหลเข้าชิ้นงาน

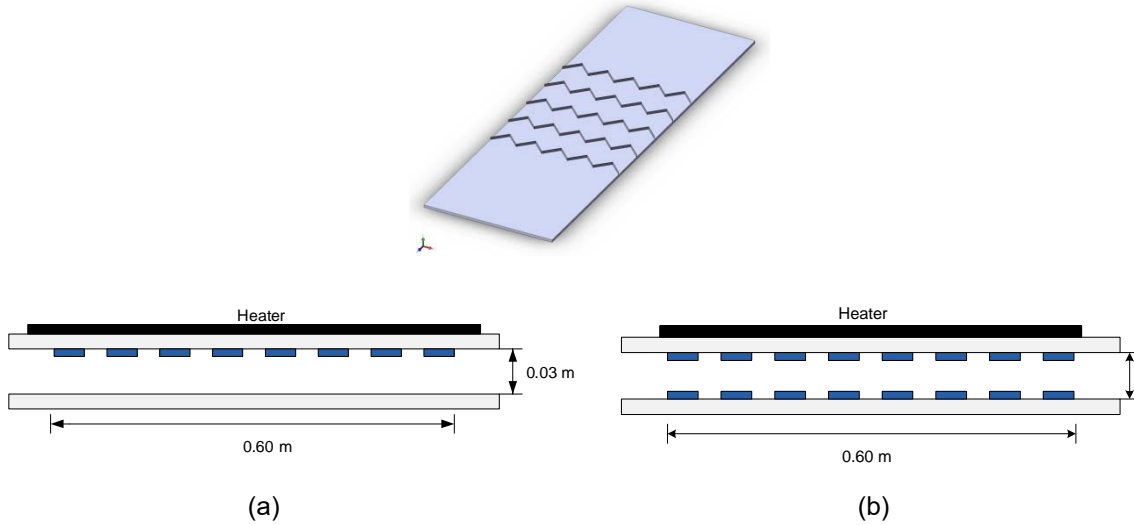
ทดสอบโดยการปรับหรัวาล์ว โดยปริมาณลมแต่ละครั้งของการทดสอบจะถูกกำหนดโดยค่าความดันตกคร่อมแผ่น orifice อากาศที่ไหลผ่านเข้าสู่ชุดทดลองจะต้องไหลผ่านกล่องลม ซึ่งมีหน้าที่จัดระเบียบการไหลของอากาศให้มีการไหลปั่นป่วนน้อยที่สุด และให้ไหลผ่านท่อปรับสภาพการไหล เพื่อให้อากาศที่ไหลก่อนเข้าสู่ชุดทดลองมีลักษณะเป็น fully develop และไหลเข้าชิ้นงานทดสอบ (test section) ชิ้นงานที่ทดสอบประกอบด้วยช่องขนานอลูมิเนียมที่มีครีบบั๊ก ขนาดกว้าง 0.30 เมตร ยาว 0.60 เมตร และระยะความสูงของช่องขนาน (H) กว้าง (t) เท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร และระยะพิตซ์ (P) คงที่เท่ากับ 60 มิลลิเมตร โดยแผ่นช่องขนานดังกล่าวถูกทำให้ร้อนด้วย heater ไฟฟ้าแบบแผ่นที่ผลิตฟลักซ์ความร้อนขนาดกำลังไฟฟ้ารวม 1kW โดยอุณหภูมิอากาศที่ไหลเข้าออก และอุณหภูมิผิวภายในถูกวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิล type K จำนวนรวมทั้งสิ้น 14 จุด โดยบันทึกค่าที่วัดได้ลงอุปกรณ์ FLUKE 2680A ส่วนค่าความดันตกคร่อมแผ่นช่องขนาน

ตรวจบันทึกค่าที่ได้ลงอุปกรณ์ TESTO 1445 ชิ้นงานที่ใช้ทดสอบจะต้องมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากแผ่น heater ไหลออกสู่บรรยากาศภายนอก รูปที่ 2(a) และ (b) แสดงลักษณะของ ครีบบั๊ก วิดีต ด้านบน ซึ่งเป็น ด้านที่ติดกับเครื่องให้ความร้อน และครีบบั๊กติดตั้งที่ผนังด้านบนและด้านล่างในแนวเดียวกัน ตามลำดับ

รูปที่ 2 แสดงรูปแบบของการจัดวางครีบบั๊กที่มีอัตราส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงท่อ (P/H , PR) = 2 ครีบบั๊กที่ทำจากอลูมิเนียมความหนา (t) 0.3 มิลลิเมตร ครีบบั๊กที่ใช้ในการทดสอบทำมุมปะทะ (α) = 45° , โดยมีอัตราส่วนความสูงของครีบบั๊กต่อความสูงของช่องขนาน (B/H , BR) = 0.10 Upper, 0.15 Upper, 0.10 Inline และ 0.15 Inline ตามลำดับ



รูปที่ 1 อุปกรณ์ชุดทดลอง



รูปที่ 2 ครีบทัววีทำมุม 45° (a) ติดเฉพาะด้านบน (b) ติดตั้งแบบวางแนวเดียวกัน

4. วิธีการทดลอง

การทดลองเพื่อปรับปรุงการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการติดครีบทัววีและมีอัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน $PR = 2$ และมุมปะทะ $(\alpha) = 45^\circ$, โดยมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนความสูงของครีบท่อความสูงของท่อ $(BR) = 0.10$ และ 0.15 และรูปแบบการจัดวางครีบบนติดด้านบน(Upper) และแบบติดสองด้านในแนวเดียวกัน (Inline) การทดลองทำการเปิดพัดลม จากนั้นปรับปริมาณการไหลของลมให้ได้ตามที่ต้องการ โดยควบคุมความเร็วลมให้ได้ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ให้มีค่าอยู่ในช่วง $4700 - 23,000$ ในแต่ละช่วงความเร็วลมที่ทดสอบ จะต้องรอให้อุณหภูมิผิวภายในชุดทดสอบและอุณหภูมิอากาศเข้าออก มีค่าคงที่ก่อนจะทำการบันทึกค่า โดยทำการตรวจวัดอุณหภูมิในชุดทดสอบทั้งหมด 14 จุด และอีก 2 จุดสำหรับอุณหภูมิอากาศเข้าและออกแผ่นช่องขนานและทำการตรวจวัดและจดบันทึกค่าความดันตกคร่อมท่อส่วนทดสอบด้วยเช่นกัน

5. ผลการทดลอง

5.1 การทดสอบท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าผนังเรียบ

การทดลองนี้ศึกษาผลของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันของท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าผนังเรียบในเทอมของเลขนัสเซลท์เปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้กับสหสัมพันธ์ของ Dittus & Boelters และตัวประกอบเสียดทานเปรียบเทียบกับผลการทดลองที่ได้กับสหสัมพันธ์ของ Blasius ตามลำดับ อ้างอิงในเอกสาร [7] ในช่วงการไหลปั่นป่วน

สหสัมพันธ์ของ Dittus & Boelters, การให้ความร้อน

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

สำหรับค่า $3000 < Re < 5 \times 10^6$

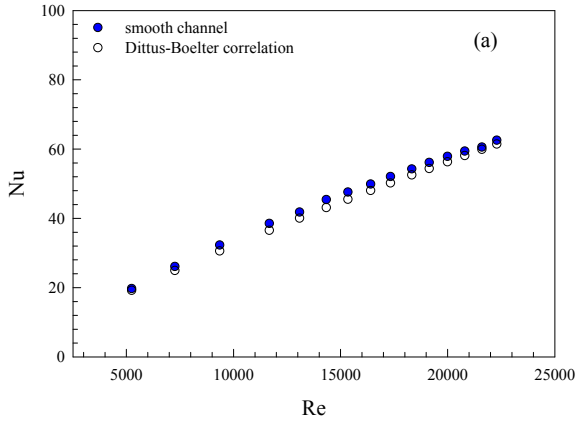
สหสัมพันธ์ของ Blasius,

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

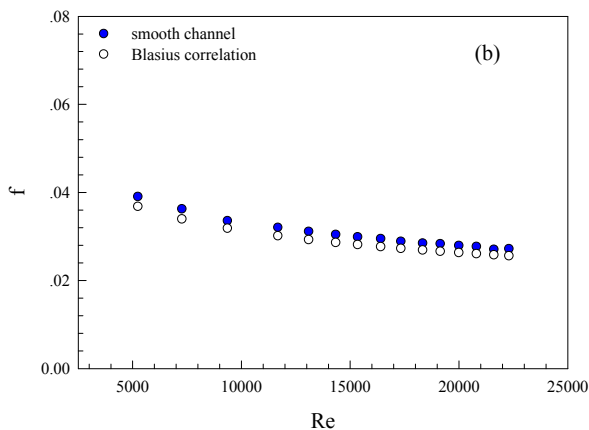
สำหรับค่า $3000 < Re < 5 \times 10^6$

จากรูปที่ 3 และ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานที่ได้จากการทดลองกับสหสัมพันธ์สมการ (11) และ (12) พบว่าค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง 5 % และ 6 % ทั้งสหสัมพันธ์

เลขนีสเชิลท์และสหสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทานตามลำดับ



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนีสเชิลท์กับเลขเรย์โนลด์สกรณีท่อมีผนังเรียบ

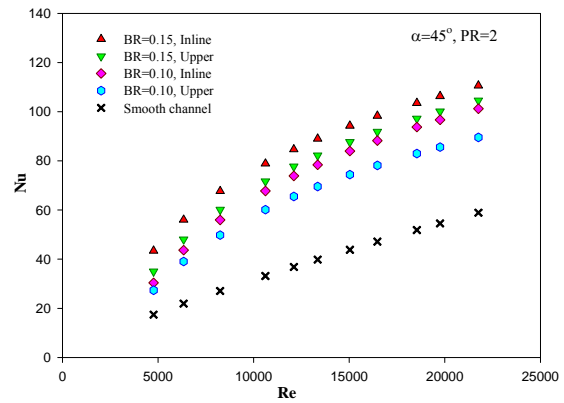


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์สกรณีท่อมีผนังเรียบ

5.2 ผลการทดลองท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าติดด้วยครีบริบตัววี

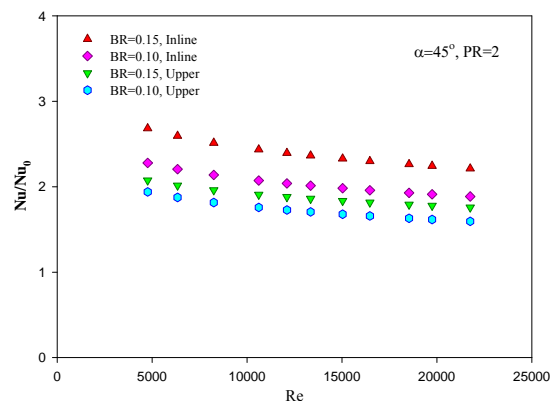
การทดลองเพื่อปรับปรุงอัตราการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานในท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดด้วยครีบริบตัววีที่มีอัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงท่อ PR=2 มุมปะทะ (α) = 45° โดยทำการทดสอบด้วยการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนความสูงของครีบริบต่อความสูงของท่อ BR=0.10 และ 0.15 และรูปแบบการจัดวางครีบริบตัววีแบบติดครีบริบที่แผ่นบนด้านเดียว (Upper) และติดครีบริบทั้งสอง

แผ่นโดยวางแนวตรงกัน (Inline) ผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ดังต่อไปนี้



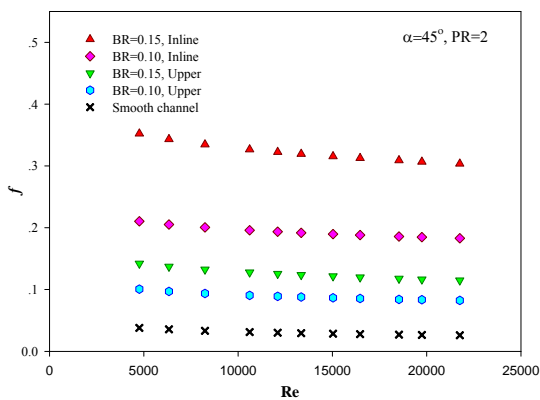
รูปที่ 5 การแปรเปลี่ยนเลขนีสเชิลท์กับเลขเรย์โนลด์ส

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนีสเชิลท์กับเลขเรย์โนลด์ส กรณีช่องขนานสี่เหลี่ยมผืนผ้าติดครีบริบตัววีที่มีมุมปะทะ(α)= 45° ที่มีอัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงของช่องขนาน PR=2 จากการทดลองพบว่าค่าเลขเรย์โนลด์สที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าเลขนีสเชิลท์เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน การเพิ่มขึ้นของค่าเลขเรย์โนลด์ส ทำให้เกิดการเพิ่มการไหลแบบปั่นป่วนเป็นเหตุให้เกิดการลดความหนาของชั้นขีดผิวลงจึงได้ค่าเลขนีสเชิลท์เพิ่มขึ้น ครีบริบตัววีที่ BR=0.15 Inline ให้ค่าเลขนีสเชิลท์สูงที่สุด ตามด้วย ที่ BR=0.10 Inline, 0.15 Upper, BR=0.10 Upper และท่อผนังเรียบตามลำดับ



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนีสเชิลท์ของขนานที่ติดครีบริบตัววีต่อท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ส

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน เลขนัสเซิลท์ท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าติดด้วยครีบทวีต่อ เลขนัสเซิลท์ของท่อผนังเรียบที่อัตราส่วนระยะพิตซ์ต่อ ความสูงของท่อ $PR=2$ กับเลขเรย์โนลด์ พบว่าอัตราส่วน เลขนัสเซิลท์ท่อที่ติดด้วยครีบทวีต่อเลขนัสเซิลท์ของท่อ ผนังเรียบมีค่าลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้นนั้นเป็นผล จากการเพิ่มขึ้นแบบของเลขนัสเซิลท์ของท่อผนังเรียบ แบบกาวกระโดดในขณะที่เพิ่มค่าเลขเรย์โนลด์ส การครีบทวีทำมุม $\alpha = 45^\circ$ ที่มีอัตราส่วนความสูงของครีบทวีต่อ ความสูงของท่อ $BR=0.15$ Inline ให้ค่าอัตราส่วน เลขนัสเซิลท์สูงสุด ตามด้วย $BR=0.10$ Inline, 0.15 Upper และ 0.10 Upper ตามลำดับ โดยมีค่าสัดส่วน เลขนัสเซิลท์ท่อติดครีบทวีเฉลี่ยต่อเลขนัสเซิลท์ของท่อ ผนังเรียบมีค่า 2.63, 2.24, 2.07, และ 1.90 เท่า ตามลำดับ

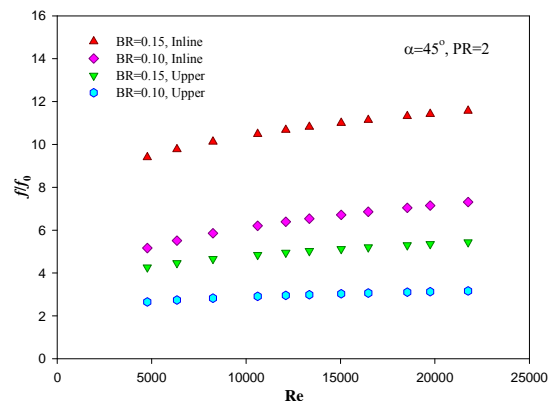


รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทาน กับเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานลดลงเล็กน้อยเป็นผลมาจากค่าความแตกต่างความดันที่เพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นในขณะที่ความเร็วเพิ่มขึ้นแบบยกกำลัง การติดครีบทวีทำมุมปะทะ (α) = 45° มีสัดส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงของช่องขนานมีค่า $PR=2$ ในช่องขนานรูปสี่เหลี่ยมให้ค่าตัว

ประกอบเสียดทานเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผนังเรียบ ครีบทวีที่ $BR=0.15$ Inline ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมากที่สุด ตามด้วยที่ $BR=0.10$ Inline, 0.15 Upper, $BR=0.10$ Upper และท่อผนังเรียบตามลำดับ

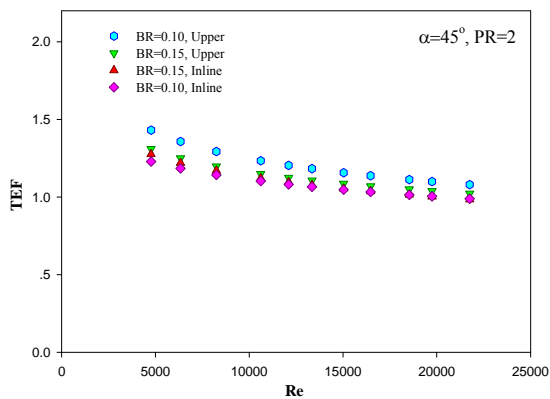
รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานของท่อติดครีบทวีสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีสัดส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงของท่อ, $PR=2$ ต่อตัวประกอบเสียดทานของท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ พบว่าครีบทวีที่ $BR = 0.15$, Inline มีค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงสุด ตามด้วย $BR = 0.10$, Inline, 0.15 , Upper, และ 0.10 , Upper ตามลำดับ โดยมีสัดส่วนประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าท่อผนังเรียบ 11.78, 7.07, 5.46, และ 3.25 เท่า ตามลำดับ



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานของท่อติดครีบทวีต่อท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ส

รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส นี้เป็นค่าที่ได้จากการคิดคำนวณจากเลขนัสเซิลท์และค่าตัวประกอบเสียดทานโดยคิดที่กำลังขับเดียวกัน พบว่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนแนวโน้มลดลงเมื่อที่เลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้น การติดครีบทวี $BR=0.10$ Upper ที่มีสัดส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงของท่อ $PR=2$ ทำมุม $\alpha = 45^\circ$ ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุด สูงกว่าที่ $BR = 0.15$

Upper, 0.15 Inline, และ 0.10 Inline ตามลำดับที่ทุกค่าเลขเรย์โนลด์ส โดยครีบทัววีที่ BR=0.10 Upper ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.33 รองลงมาคือที่ BR = 0.15 Upper, 0.15 Inline, และ 0.10 Inline โดยให้ค่า TEF = 1.24, 1.21 และ 1.19 ตามลำดับ



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ตัวค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส

6. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ว่าท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่ติดด้วยครีบทัววีมุมมุมปะทะ (α) = 45° สัดส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงของช่องขนาน PR=2 และอัตราส่วนความสูงของครีบทัววีต่อความสูงของท่อ BR=0.10 Upper, BR=0.15 Upper, BR=0.10 Inline และ BR=0.15 Inline ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่เลขเรย์โนลด์สตั้งแต่ 4000 ถึง 24,000 พบว่าครีบทัววีที่ BR= 0.15 Inline ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเนื่องจากสร้างการไหลแบบปั่นป่วนได้มากและการหมุนควงที่แข็งแรงมาก ตามด้วยครีบทัววีที่ BR=0.15 Upper, BR=0.10 Inline และ BR=0.10 Upper ตามลำดับ ขณะที่ครีบทัววีที่ให้ตัวประกอบเสียดทาน ค่า Nu/Nu_0 และ ค่า f/f_0 สูงสุด คือ BR=0.15 Inline ตามด้วย BR=0.10 Inline, BR=0.15 Upper และ BR=0.10 Upper ตามลำดับโดยให้ค่า $Nu/Nu_0 = 2.63$ และ ค่า $f/f_0 = 11.78$ แต่ค่าตัว

ประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) ค่อนข้างต่ำ ในขณะที่ครีบทัววี BR=0.10 Upper ให้ค่า Nu/Nu_0 และ f/f_0 ต่ำมากจึงทำให้ได้ค่าให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) สูงที่สุดกล่าวคือค่า TEF เฉลี่ย = 1.329 เนื่องจากค่า Nu/Nu_0 มีค่าไม่ต่ำมากขณะที่ให้ค่า f/f_0 ต่ำที่สุด ทำให้ได้ผลตามที่ปรากฏ

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Benlu, Jiang P.X. (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] Eiamsa-ard, S., Thianpong, C., Eiamsaard, P., Promvong, P. (2009). Convective heat transfer in a circular tube with short-length twisted tape insert, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol.36, 2009, pp. 365–371.
- [3] Eiamsa-ard, S., Promvong, P. (2010). Thermal characteristics in round tube fitted With serrated twisted tape, *Applied Thermal Engineering*, vol.30, 2010, pp. 1673–1682.
- [4] Promvong, P., Skullong, S., Kwankaomeng, S., Thianpong, C. (2012). Heat transfer in square duct fitted diagonally with angle-finned tape Part 1: Experimental study *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol.39, 2012, pp. 617–624.
- [5] 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, 2009, pp. 712–717.

[6] Skullong, S., Kwankaomeng, S.,
Thianpong, C., Promvong, P. (2014). Thermal
performance of turbulent flow in a solar air
heater channel with rib-groove turbulators,
*International Communications in Heat and
Mass Transfer*, vol.50, 2014, pp. 34–43.

[7] Chompookham, T., Thianpong, C.,
Kwankaomeng, S., Promvong, P. (2010). Heat
transfer augmentation in a wedge-ribbed
channel using winglet vortex generators,
*International Communications in Heat and
Mass Transfer*, vol.37, 2010, pp. 163–169.

[8] Promvong, P., Chompookham, T.,
Kwankaomeng, S., Thianpong, C. (2010).
Enhanced heat transfer in a triangular ribbed
channel with longitudinal vortex generators,
Energy Conversion and Management, vol.51,
2010, pp. 1242–1249.

[9] Promvong, P., Khanokniyakarn, C.,
Kwankaomeng, S., Thianpong, C. (2011).
Thermal behavior in solar air heater channel
fitted with combined rib and delta-winglet,
*International Communications in Heat and
Mass Transfer*, vol.38, 2011, pp.749–756.

[10] Incropera, F.P., Witt, P.D., Bergman,
T.L., Lavine, A.S. (2006). *Fundamentals of Heat
and Mass Transfer*, John-Wiley & Sons