



อิทธิพลของมุมปะทะของแผ่นปีกคู่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสองด้านต่อคุณลักษณะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อกลม

Effects of Double-sided Rectangular-wing pair inserted on Thermal Enhancement characteristics in Circular Tube

จิตรกร กนกนัยการ¹, สมพล สกุกุลหลง², และ พงษ์เจต พรหมวงศ์³

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกลและยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง

19 หมู่ 11 ตำบลหนองละลอก อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง 21120

² กลุ่มวิจัยระบบพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

199 หมู่ 6 ถนนสุขุมวิท ตำบลทุ่งสุขลา อำเภศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

³ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

*ผู้ติดต่อ: E-mail: chitakorn.k@eat.kmutnb.ac.th, sfengsps@src.ku.ac.th, kpongjet@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ทำการศึกษาเชิงทดลองถึงอิทธิพลมุมปะทะของแถบปีกคู่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเจาะรูทั้งสองด้านต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและความดันสูญเสียในท่อกลมที่มีฟลักซ์ความร้อนคงที่ (Constant Heat Flux) ทำการทดลองโดยใช้แถบปีกคู่เจาะรูที่มุมปะทะ (α)=30°, 45°, 60° และ 90° และมีระยะพิตช์มีค่า 2 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (PR=P/D=2.0) ความเร็วอากาศที่ใช้ในการทดลองในรูปของเลขเรย์โนลด์ส (Reynolds Number: Re) ระหว่าง 4000 – 27,000 อิทธิพลของแถบปีกคู่เจาะรูที่ปรับเปลี่ยนมุมปะทะในการถ่ายเทความร้อนแสดงในรูปค่าเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number: Nu) และความดันสูญเสียในค่าของตัวประกอบเสียดทาน (Friction Factor: f) และนำไปเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ จากการทดลองพบว่าแถบปีกคู่เจาะรูที่ $\alpha = 90^\circ$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานเสียดทานสูงสุดตามด้วย $\alpha=60^\circ$, 45° และ 30° ตามลำดับ ส่วนแถบปีกคู่เจาะรู $\alpha=30^\circ$ ให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด

คำหลัก: อิทธิพล, สี่เหลี่ยมผืนผ้า, ท่อกลม, มุมปะทะ, การถ่ายเทความร้อน

Abstract

This research paper presents an experimental study of the effect of two-sides rectangular-wing with centered-hole on heat transfer and pressure drop in a constant surface heat-fluxed circular tube inserted with two-sided rectangular-wing pairs in straight tape. In the experiments, the wing tape with a transverse pitch value equal to two times of tube diameter (PR=P/D = 2). The effect of four attack angles $\alpha=30^\circ$, 45°, 60° and 90° on the heat transfer in terms of Nusselt number (Nu) and

pressure loss in the form of friction factor (f) are experimented. The experimental result performs that the two-sided rectangular-wing pairs straight tape with attack angle, $\alpha=90^\circ$ provides higher rate of heat transfer and friction factor than the others including the smooth tube but $\alpha=30^\circ$ provides highest thermal enhancement performance of all.

Keywords: effects, rectangular, circular tube, attack angle, heat transfer

1. บทนำ

วิธีการหนึ่งที่น่าสนใจในการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนในท่อได้แก่การติดตั้งปีกซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการสร้างการไหลแบบหมุนควง การใช้ปีกเป็นเทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนแบบ passive ในการค้นหาแนวทางในการลดค่าใช้จ่าย น้ำหนัก และขนาดของระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนในงานด้านวิศวกรรมและอุตสาหกรรม เช่น เครื่องให้ความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ กระบวนการทางวิศวกรรมเคมี ระบบทำความเย็น โรงจักรไฟฟ้า เป็นต้น โดยทั่วไปมีอุปกรณ์ที่ใช้สอดในท่อมากมายที่ใช้เพื่อสร้างการไหลแบบหมุนควงในระบบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิด ท่อกลม ท่อสี่เหลี่ยม และช่องขนาน เช่น ใบบิด(twisted tapes) [1,2], fined tapes [3,4], wire-coil [5,6], rib/groove/affle[7-9] และ combined/compound turbulators [10,11] ขณะที่ wing/winglet เป็นหนึ่งในกลุ่มที่นิยมใช้งานมากที่สุดเพราะมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ ความดันสูญเสียต่ำ และติดตั้งง่าย อุปกรณ์สร้างการหมุนวนหรือหมุนควงนี้ นอกจากช่วยเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการทำให้ชั้นขีดผิวด้านความร้อนเริ่มต้นเกิดใหม่หลังจากเกิดการไหลสัมผัสระหว่าง wing/winglet และยังเพิ่มความดันสูญเสียเนื่องจากผลกระทบจากการลดพื้นที่การไหล

งานวิจัยมากมายที่ทำการศึกษเกี่ยวกับอิทธิพลของตัวแปรทั้งหลายของตัวสร้างการหมุนควงแบบ wing / winglet ต่อการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสำหรับรูปทรงพื้นผิวขรุขระอย่างกว้างขวาง ชมพูคำ และคณะ [12] กล่าวว่า การใช้ครีบริ่วมกับตัวสร้าง

การหมุนควงแบบ winglet (WVG) ให้ค่าที่สูงกว่า WVG อย่างเดียว พรหมวงศ์และคณะ [13] ทำการทดสอบพฤติกรรมเชิงความร้อนของการใช้ครีบริ่วมกับ WVG ที่มีมุมปะทะ(attack angle) มากมายและพบว่าการใช้ตัวสร้างความปั่นป่วนร่วมกันให้ค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแบบใช้ครีบริ่วมกับ WVG อย่างเดียว พรหมวงศ์และคณะ [14] ศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของช่องขนานเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ครีบริ่วมกับตัวสร้างการหมุนควงแบบปีกสามเหลี่ยมซี่ตามกระแสการไหล(DW) ทำการทดสอบอิทธิพลของ DW ลิบริ่วมมุมปะทะ(α) = 30° , 45° , 60° โดยติดตั้งที่ทางเข้าของแผ่นล่างของแผ่นขนานทดลอง ผลการทดลองปรากฏว่าตัวสร้างการหมุนควงแบบปีกสามเหลี่ยม DW ที่มีมุม $\alpha=60^\circ$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงที่สุด ขณะที่ตัวสร้างการหมุนควงแบบปีกสามเหลี่ยม DW ที่มีมุม $\alpha=30^\circ$ ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนดีที่สุด

จากงานวิจัยที่กล่าวถึงข้างต้นจะพบว่าตัวสร้างการหมุนควงแบบ wing/winglet นำมาใช้กันอย่างกว้างขวางในแผ่นขนานเพื่อสร้างการหมุนควงตามแนวยาวให้เกิดขึ้นตลอดการไหลในท่อ การทดลองนี้ทำการทดสอบคุณลักษณะเชิงความร้อนของแถบตรงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีปีกคู่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเจาะรูกลมติดตั้งทั้งสองด้านสอดใส่ในท่อกลมซึ่งมีรายงานวิจัยไม่มากนัก ดังนั้นจุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อเพิ่มเติมข้อมูลของตัวสร้างการหมุนควงแบบแถบตรงที่ติดตั้งปีก ผลการทดลองที่ใช้อากาศเป็นของไหลทดสอบไหลผ่านแถบตรงติดตั้งปีกที่มี PR=2 และ $\alpha=30^\circ$, 45° , 60° และ 90°

สอดคล้องในท่อกลมนำเสนอไว้ในรูปแบบการไหลแบบปั่นป่วนในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ $Re=4000-26,000$

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

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

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

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

$$\text{และ} \quad \tilde{T}_s = \sum T_s / 15 \quad (5)$$

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

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

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

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

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

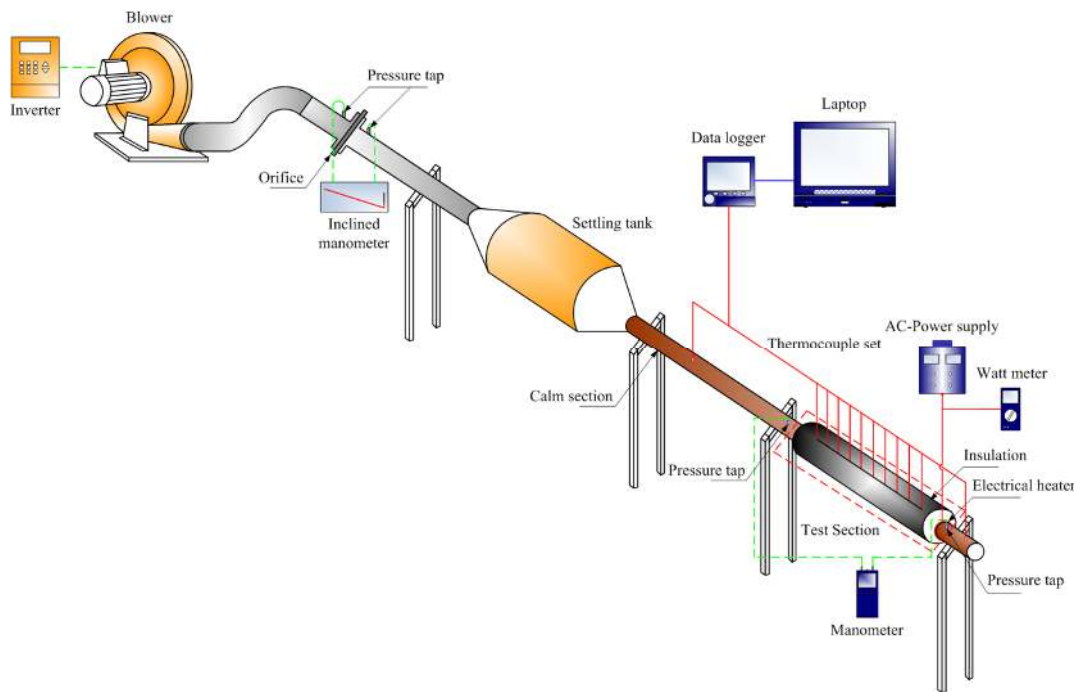
3. อุปกรณ์การทดลอง

อุปกรณ์ทดลอง ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 1 ท่อทองแดงรูปกลม มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (ID) = 50.8 มิลลิเมตร, หนา 2 มิลลิเมตร, ความยาวรวมทั้งสิ้น 3000 มิลลิเมตร ส่วนทดสอบ ยาว (L) = 1500 มิลลิเมตรส่วนทดสอบพันด้วยขดลวดความร้อนไฟฟ้าและท่อหุ้มปิดทับด้วยฉนวนกันความร้อนเพื่อลดการสูญเสียความร้อนสู่อากาศแวดล้อม (Blower) ขนาด 2.3 kW เป็นแหล่งกำเนิดการไหลของอากาศ, Control valve ควบคุมอัตราการไหลของอากาศเข้าสู่ส่วนทดสอบ, Orifice meter ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศที่ทางเข้าชุดทดลอง, Manometer ใช้วัดความแตกต่างของความดัน เพื่อใช้หาอัตราการไหลของอากาศจากความแตกต่างของความดัน โดยการอ่านค่าจากความแตกต่างของระดับของเหลวใน Inclined manometer, Settling tank ซึ่งมีหน้าที่จัดระเบียบการไหลของอากาศให้มีการไหลปั่นป่วนน้อย

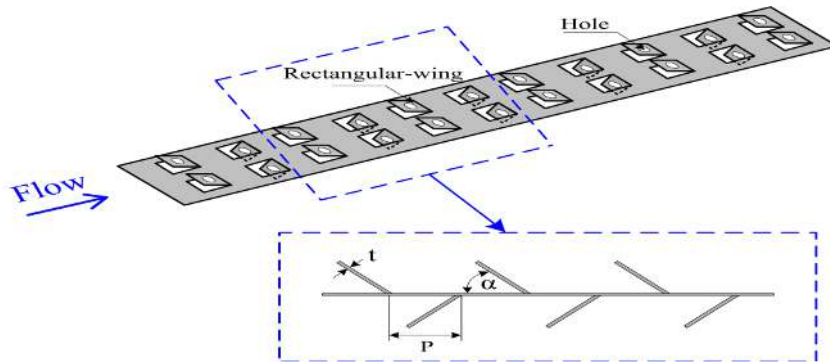
ที่สุด, ท่อปรับสภาพการไหล เพื่อให้อากาศที่ไหลก่อนเข้าสู่ชุดทดลองมีลักษณะเป็น Fully develop และไหลเข้าส่วนทดสอบ, ท่อจตุรัสที่ใช้ทดสอบถูกทำให้ร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าซึ่งทำการควบคุมพลังค์ความร้อนด้วยเครื่องควบคุมความร้อนแผ่นฮีตเตอร์แบบปรับค่าโวลต์เตจ TDGC 2-3 kVA CAPACITY : 3000 VA MAX. 12 Amp เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับแผ่นฮีตเตอร์เพื่อให้ค่าพลังค์ความร้อนของแผ่นฮีตเตอร์เป็นไปตามที่กำหนดตามที่กำหนด, Data Logger FLUKE 2680A เป็นอุปกรณ์เก็บและแสดงข้อมูลอุณหภูมิผิวอุณหภูมิทางเข้าและอุณหภูมิทางออกเชื่อมต่อข้อมูลจากเทอร์โมคัปเปิลชนิด RTD และต่อเชื่อมข้อมูลอุณหภูมิผิวชุดทดลอง จากเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ทั้งหมด 36 ตัว เครื่องวัดความดันตกคร่อม digital manometer

DWYER SERIES 475 MARK III เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันตกคร่อมระหว่างตำแหน่งทางเข้าและตำแหน่งทางออกของส่วนทดสอบ, คอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลที่ได้รับจาก Data Logger และเครื่องวัดความดันตกคร่อม

รูปที่ 2 แสดงรายละเอียดของแถบแผ่นปีกสัดส่วนระยะพิตซ์ต่อความสูงท่อ (P/D, PR) = 2 แถบแผ่นปีกที่ใช้ทำจากอลูมิเนียมแผ่นตรงยาว 1500 มิลลิเมตร ความหนา (t) 1 มิลลิเมตร เจาะและพับขึ้นรูปเป็นรูปปีกสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดยาว 20 มิลลิเมตร กว้าง 10.5 มิลลิเมตร และเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ทั้งสองด้านของ แผ่นปีกที่ใช้ในการทดสอบทำมุมปะทะ (α) = 30°, 45°, 60° และ 90° ดังรูป



รูปที่ 1 อุปกรณ์ชุดทดลอง



รูปที่ 2 แผ่นกั้นเอียงทำมุม 45° วางไขว้กัน

4. วิธีการทดลอง

การทดลองเพื่อหาค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของท่อกลมที่มีแผ่นแถบตรงเจาะและพับขึ้นรูปเป็นรูปปีกสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เจาะรูกลมกลางแผ่นปีกที่มีสัดส่วนระยะพิทช์ต่อความสูงช่องขนาน $PR = 2$ และมีมุมปะทะ (α) = 30°, 45°, 60° และ 90° สอดแนวตั้งในท่อกลม การทดลองทำการเปิดพัดลม จากนั้นปรับปริมาณการไหลของลมให้ได้ตามที่ต้องการ โดยควบคุมความเร็วลมให้ได้ค่าตัวเลขเรย์โนลด์์ให้มีค่าอยู่ในช่วง 4000 – 26,000 ในแต่ละช่วงความเร็วลมที่ทดสอบ จะต้องรอให้อุณหภูมิผิวภายในชุดทดสอบและอุณหภูมิอากาศเข้าออก มีค่าคงที่ก่อนจะทำการบันทึกค่า โดยทำการตรวจวัดอุณหภูมิในชุดทดสอบทั้งหมด 36 ตำแหน่ง และอีก 2 จุดสำหรับอุณหภูมิอากาศเข้าและออกแผ่นช่องขนานและทำการตรวจวัดและจดบันทึกค่าความดันตกคร่อมท่อส่วนทดสอบด้วยเช่นกัน

5. ผลการทดลอง

5.1 การทดสอบท่อกลมผนังเรียบ

การทดลองนี้ศึกษาผลของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันของท่อกลมผนังเรียบในเทอมของเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานตามลำดับเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับสหสัมพันธ์ของ

Gnielinski และของ Petukhov อ้างอิงในเอกสาร [7] ในช่วงการไหลปั่นป่วน

สหสัมพันธ์ของ Gnielinski, การให้ความร้อน

$$Nu = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1+12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3}-1)} \quad (11)$$

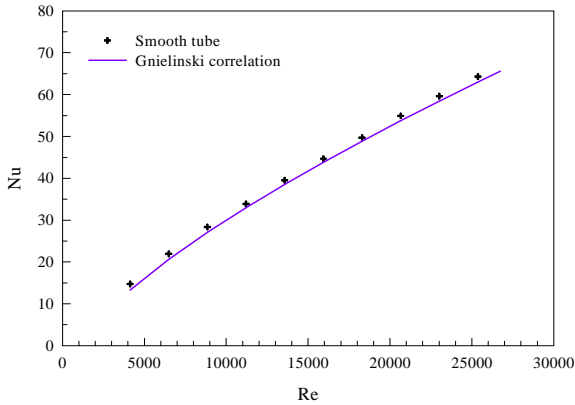
สำหรับค่า $3000 < Re < 5 \times 10^6$

สหสัมพันธ์ของ Petukhov,

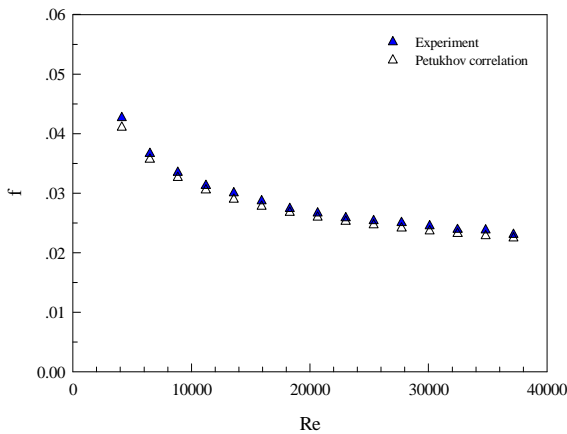
$$f = 0.316Re^{-0.25} \quad (12)$$

สำหรับค่า $3000 < Re < 5 \times 10^6$

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



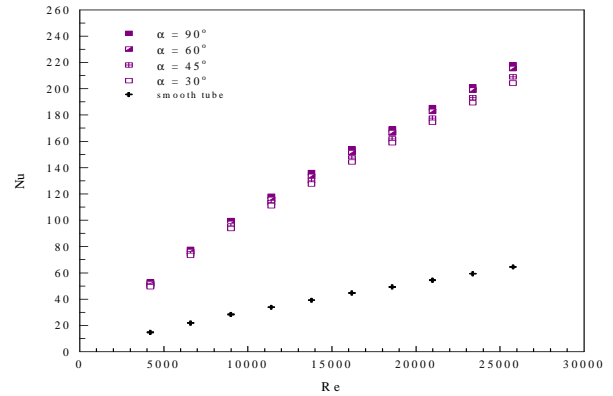
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส กรณีท่อผิวเรียบ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส กรณีท่อผิวเรียบ

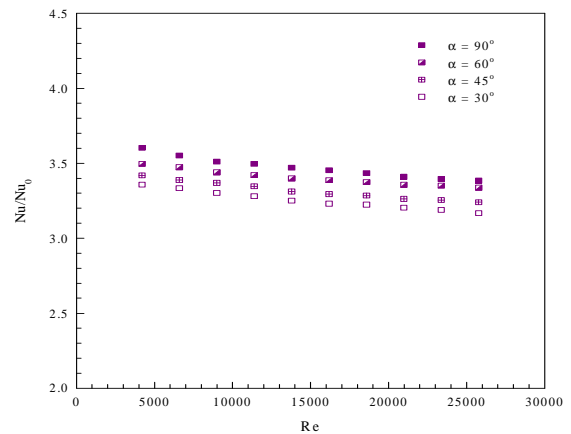
5.2 ผลการทดลองท่อกลมที่มีแถบแผ่นปีกคู่

การทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความดันสูญเสียในท่อกลมที่สอดแผ่นปีกคู่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเจาะรูกลมที่มีสัดส่วนระยะพิตช์ต่อเส้นผ่าศูนย์กลางท่อกลม PR=2 และมีมุมปะทะ (α) = 30°, 45°, 60° และ 90° ผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ดังต่อไปนี้



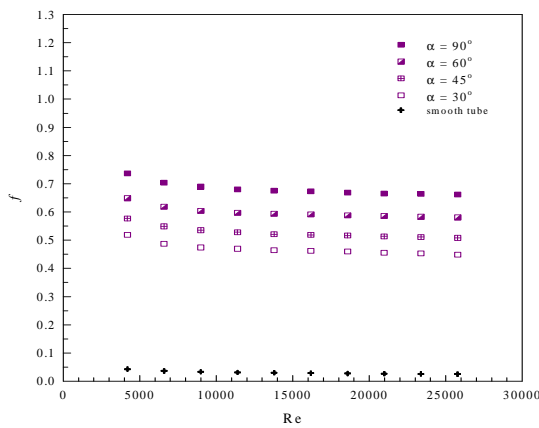
รูปที่ 5 การแปรเปลี่ยนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส กรณีท่อกลมสอดด้วยแผ่นปีกคู่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเจาะรูกลมที่มีสัดส่วนระยะพิตช์ต่อเส้นผ่าศูนย์กลางท่อกลม PR=2 จากการทดลองพบว่าการเพิ่มเลขเรย์โนลด์สขึ้นส่งผลให้เลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของค่าเลขเรย์โนลด์สทำให้เกิดการเพิ่มการไหลแบบปั่นป่วนเป็นเหตุให้ความหนาของชั้นขีดผิวลดลงจึงทำให้ได้ค่าเลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้น แผ่นปีกคู่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเจาะรูกลมทำมุมปะทะ (α) = 90° ให้ค่าเลขนัสเซลท์สูงที่สุด ตามด้วย α = 60°, 45°, 30° และท่อผิวเรียบตามลำดับ



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเลขนัสเซลท์ที่ต่อติดแผ่นกันต่อท่อผิวเรียบกับเลขเรย์โนลด์ส

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเลขนัสเซลล์ท์ที่ทอกลมที่สอดด้วยแผ่นปีกคู่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเจาะรูกลมที่มีสัดส่วนระยะพิชต์ต่อเส้นผ่าศูนย์กลางท่อกลม PR=2 ต่อเลขนัสเซลล์ท์ของท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ พบว่าสัดส่วนเลขนัสเซลล์ท์ที่สอดด้วยแผ่นปีกคู่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเจาะรูกลมต่อเลขนัสเซลล์ท์ของท่อผนังเรียบมีค่าลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นแบบของเลขนัสเซลล์ท์ของท่อผนังเรียบแบบก้าวกระโดดในขณะที่เพิ่มค่าเลขเรย์โนลด์ การติดตั้งแผ่นปีกคู่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเจาะรูกลมที่ทำมุม $\alpha = 90^\circ$ ให้ค่าสัดส่วนเลขนัสเซลล์ท์ที่สูงสุด ตามด้วย $\alpha = 60^\circ, 45^\circ$, และ 30° ตามลำดับ โดยมีค่าสัดส่วนเลขนัสเซลล์ท์ที่สอดด้วยแผ่นกั้นเฉลี่ยต่อเลขนัสเซลล์ท์ของท่อผนังเรียบมากกว่าท่อผนังเรียบ 3.55, 3.45, 3.35, และ 3.30 เท่า ตามลำดับ

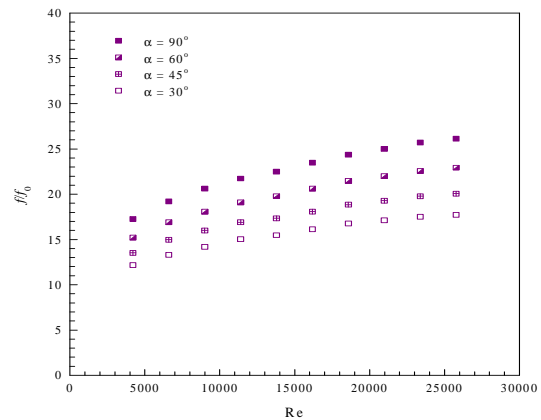


รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานลดลงเล็กน้อยเป็นผลมาจากค่าความแตกต่างความดันที่เพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นในขณะที่ความเร็วเพิ่มขึ้นแบบกำลังสอง การติดตั้งแผ่นปีกคู่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเจาะรูกลมที่มีสัดส่วนระยะพิชต์ต่อเส้นผ่าศูนย์กลางท่อกลม PR=2 ในท่อกลมให้ค่าตัว

ประกอบเสียดทานเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผนังเรียบ แผ่นปีกคู่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเจาะรูกลมที่มีมุม $\alpha = 90^\circ$ ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมากที่สุด ตามด้วยแผ่นปีกคู่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเจาะรูกลมที่มีค่า $\alpha = 60^\circ, 45^\circ, 30^\circ$ และท่อผนังเรียบตามลำดับ

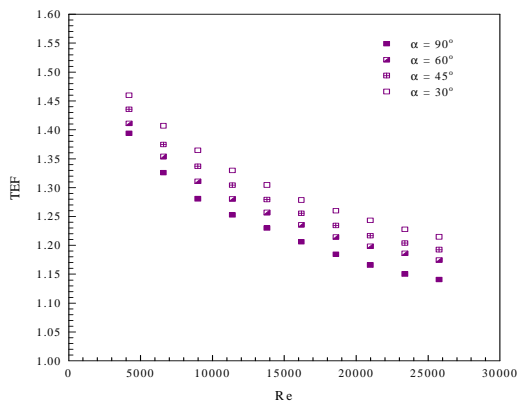
รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนตัวประกอบเสียดทานของท่อติดแผ่นปีกคู่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเจาะรูกลมที่มีสัดส่วนระยะพิชต์ต่อเส้นผ่าศูนย์กลางท่อกลม PR=2 ต่อตัวประกอบเสียดทานของท่อที่มีผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ พบว่าแผ่นปีกคู่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเจาะรูกลมที่มีมุม $\alpha = 90^\circ$ มีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงสุด ตามด้วย $\alpha = 60^\circ, 45^\circ$, และ 30° ตามลำดับ โดยมีสัดส่วนประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าท่อผนังเรียบ 21.75, 18.75, 16.75, และ 14.25 เท่า ตามลำดับ



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนส่วนตัวประกอบเสียดทานของท่อติดตั้งแผ่นกั้นเอียงต่อท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส นี่เป็นค่าที่ได้จากการคิดคำนวณจากเลขนัสเซลล์ท์และค่าตัวประกอบเสียดทานโดยคิดที่กำลังขับเดียวกัน พบว่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนแนวโน้มลดลงเมื่อที่เลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้น การติดตั้งปีกคู่

รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเจาะรูกลมที่มีสัดส่วนระยะพิชต์ต่อเส้นผ่าศูนย์กลางท่อกลม $PR=2$ ที่ทำมุม $\alpha = 30^\circ$ ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมากกว่าที่ $\alpha = 45^\circ, 60^\circ$, และ 90° ที่ทุกค่าเลขเรย์โนลด์ส โดยมีค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงสุดที่ $\alpha = 30^\circ$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.21



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ตัวค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส

6. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ว่าท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่สอดด้วยแผ่นปีกคู่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเจาะรูกลมที่มีสัดส่วนระยะพิชต์ต่อเส้นผ่าศูนย์กลางท่อกลม $PR=2$ และมีมุมปะทะ (α) = $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ และ 90° ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่ค่าเลขเรย์โนลด์สตั้งแต่ 4000 ถึง 26,000 พบว่าแผ่นปีกคู่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเจาะรูกลมทำมุม $\alpha = 90^\circ$ ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงสุดเนื่องจากทำให้เกิดจากการไหลแบบปั่นป่วนเพิ่มขึ้นและเกิดการหมุนควงที่แข็งแรงเพิ่มสูงขึ้นตามด้วยปีกคู่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเจาะรูกลมทำมุม $\alpha = 60^\circ, 45^\circ$, และ 30° สำหรับแผ่นปีกคู่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเจาะรูกลมทำมุม $\alpha = 90^\circ$ ให้ค่า $Nu/Nu_0 = 3.50$ เท่า และค่า $f/f_0 = 22.5$ เท่า แต่ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนต่ำ ในขณะที่แผ่นปีกคู่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเจาะรูกลมทำมุม $\alpha = 30^\circ$ ให้ค่า Nu/Nu_0

สูงเป็นลำดับสุดท้ายและ f/f_0 ค่อนข้างต่ำมากจึงทำให้ได้ค่าให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Promvong, P., Skullong, S., Kwankaomeng, S., Thianpong, C. (2012). Heat transfer in square duct fitted diagonally with angle-finned tape- Part 2: Numerical study, *International Communications Heat and Mass Transfer*, vol.39, 2012, pp. 625–633.
- [5] Promvong, P. (2008). Thermal augmentation in circular tube with twisted tape and wire coil turbulators, *Energy Conversion and Management*, vol.49, 2008, pp. 2949–2955.
- [6] Eiamsa-ard, S., Koolnapadol, N., Promvong, P. (2012). Heat transfer behavior in a square duct with tandem wire coil element



insert, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol.20(5), 2012, pp. 863–869.

[7] 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.

[8] 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.

[9] Sriromreun, P., Thianpong, C., Promvong, P. (2012). Experimental and numerical study on heat transfer enhancement in a channel with Z-shaped baffles, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol.39, 2012, pp. 945–952.

[10] Promvong, P., Eiamsa-ard, S. (2006). Heat transfer enhancement in a tube with combined conical-nozzle inserts and swirl generator, *Energy Conversion and Management*, vol.47, 2006, pp. 2867–2882.

[11] Promvong, P., Eiamsa-ard, S. (2007). Heat transfer behaviors in a tube with combined conical-ring and twisted-tape insert, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 34, 2007, pp. 849–859.

[12] 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.

[13] 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.

[14] Promvong, P., Khanoknaiyakarn, 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.

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