

พฤติกรรมเชิงความร้อนภายในช่องขนานจัตุรัสสอดด้วยแผ่นกั้นเอียง 45° วางไขว้กัน

Thermal Behavior in a Square Channel with 45° Cross Baffle Insert

จิตกร กนกนัยการ^{1*}, สมพล สกกุลหลง² และ พงษ์เจต พรหมวงศ์^{3*}

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

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา
199 หมู่ 6 ถนนสุขุมวิท ตำบลทุ่งสุขลา อำเภศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

³ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
1 ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง เขต ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

*ติดต่อ: chitakornk@kmutnb.ac.th, kpongje@kmitl.ac.th, โทรศัพท์: (662) 326-4197, โทรสาร: (662) 326-4198

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาพฤติกรรมเชิงความร้อนและความดันสูญเสียภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบช่องขนานรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่สอดด้วยแผ่นกั้นเอียงโดยจัดวางไขว้กันที่ผนังช่องขนานด้านตรงข้ามกัน 2 ด้าน โดยทำการทดลองที่สภาวะการถ่ายเทความร้อนที่ผิวแบบคงที่ ทำการศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนและการไหลของของไหลในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 4000 ถึง 40,000 โดยติดตั้งแผ่นกั้นเอียงทำมุม 45° มีระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นเท่ากับความสูงช่องขนาน (P/H หรือ $PR=3$) ที่ผนังด้านบนและด้านล่างตามแนวแกนตลอดความยาวของชุดทดลอง ทำการทดสอบโดยพิจารณาผลของตัวแปรด้านสัดส่วนความสูงของแผ่นกั้นต่อความสูงช่องขนานทั้งห้า ($e/H = 0.1, 0.15, 0.2, 0.25$ และ 0.3) ที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนดังแสดงในพจน์ของเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number, Nu) และความดันสูญเสียในรูปของตัวประกอบเสียดทาน (Friction Factor, f) จากผลการทดลองพบว่าในการสอดแผ่นกั้นเอียงที่จัดวางไขว้กันที่มีค่า $e/H = 0.3$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าที่ความสูงอื่นๆ

คำหลัก: พฤติกรรมเชิงความร้อน; ช่องขนานจัตุรัส; แผ่นกั้นเอียง; เลขเรย์โนลด์; ตัวประกอบเสียดทาน

Abstract

The paper presents a study of heat transfer and pressure loss in a heat exchanger channel inserted with inclined baffles on two opposite walls in cross arrangement. The channel has a square section with uniform wall heat flux conditions. The fluid flow and heat transfer characteristics are presented for Reynolds numbers based on the hydraulic diameter of the channel ranging from 4000 to 40,000. The inclined baffles with a longitudinal pitch equal to three times of channel height and with the attack angle of 45° are mounted in tandem and cross arrangement on the upper and lower walls of the test channel. Effects of five baffle-to-channel height ratios ($e/H = 0.1, 0.15, 0.2, 0.25$ and 0.3) on heat transfer in terms of Nusselt number and pressure loss in the form of friction factor are experimentally

ETM-130

investigated. The experimental result shows that the insertion of cross inclined baffles with the $e/H = 0.3$ provides higher heat transfer and friction factor values than others.

Keywords: thermal behavior; square channel; inclined baffle; Reynolds number; friction factor

1. บทนำ

การเพิ่มพื้นที่ผิวในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและลดขนาดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น หม้อน้ำรถยนต์, เครื่องปรับอากาศ ซึ่งเป็นการประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่าย ดังนั้นจึงมีการเพิ่มพื้นที่ผิวเพื่อเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งส่งผลให้สมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดีขึ้น รูปทรงของครีบบัฟเฟอร์ที่ใช้มีแบบครีบบเรียบ, ครีบบรูปคลื่น, ครีบลับฟันปลา, ครีบบแบบเจาะรูและครีบบแบบบานเกล็ด ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นและยังทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนดีขึ้นอีกด้วย ดังนั้นครีบบรูปคลื่นจึงเป็นที่สนใจอย่างยิ่งเพราะง่ายต่อการผลิตและสามารถนำไปใช้เพิ่มสมรรถนะให้แก่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ในช่วงเวลาที่ผ่านมา มีงานวิจัยมากมายที่ทำการศึกษาในเรื่องการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อาทิเช่น Promvong and Thianpong [1] ทำการศึกษาอิทธิพลของครีบบรูปทรงเหลี่ยมต่างๆ (สามเหลี่ยมหน้าจั่วและสามเหลี่ยมมุมฉาก) ต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนภายในท่อสี่เหลี่ยม ในการทดสอบจะใช้อากาศในการทดสอบ โดยการไหลเป็นแบบปั่นป่วนที่ช่วงตัวเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 5000 ถึง 16,000 และพบว่า ครีบบสามเหลี่ยมมุมฉากแบบซี่ตามการไหลให้การถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานมากที่สุดในขณะที่ครีบบสามเหลี่ยมหน้าจั่วให้ค่าสมรรถนะความร้อนมากที่สุด Thianpong et al. [2] ทำการศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของครีบบรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว $e/H = 0.13, 0.2$ และ 0.26 แบบเท่ากันทั้งแผ่นและแบบไม่เท่ากันโดยสลับค่าระหว่าง $e/H = 0.13$ และ 0.2 โดยที่ $P = 40$ มิลลิเมตร ติดตั้งที่ผิวบนและล่างของช่องขนานที่มีค่า $AR = 10$ พบว่าครีบบแบบความสูงเท่ากันให้สมรรถนะความร้อนสูงกว่าแบบความสูง

ไม่เท่ากัน การจัดวางแบบแนวเดียวกันให้การถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมสูงสุดแต่ครีบบที่มีความสูงต่ำที่สุดที่จัดวางแบบเอียงกันให้สมรรถนะความร้อนสูงสุด Han et al. [3-4] ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีครีบบรูปตัววีและครีบบรูปสามเหลี่ยม พบว่า ครีบบรูปสามเหลี่ยมให้การเพิ่มสมรรถนะความร้อนที่ดีที่สุดและได้ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของครีบบรูปตัววีมุม 45° และครีบบรูปตัววีมุม 60° แนวครีบบมีทิศทางเดียวกับการไหลและแนวครีบบมีทิศตรงข้ามกับการไหลจากการทดลองพบว่า การเพิ่มสมรรถนะความร้อนครีบบรูปตัววีมีทิศทางตรงข้ามกับการไหลให้ค่ามากกว่าครีบบรูปตัววีมีทิศทางเดียวกับการไหล โดยครีบบรูปตัววีมุม 45° มีค่าการเพิ่มสมรรถนะความร้อนมากกว่าครีบบรูปตัววีมุม 60° Choi et al. [5] ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสและความร้อนที่ให้เป็นแบบปลั๊กความร้อนที่ผิวคงที่ โดยติดครีบบรูปตัววีมีทิศทางเดียวกับการไหลและครีบบรูปตัววีมีทิศทางเดียวตรงข้ามกับการไหล จากการทดลองพบว่าครีบบรูปตัววีมีทิศทางตรงข้ามกับการไหลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานมากกว่าครีบบรูปครีบบรูปตัววีมีทิศทางเดียวกับการไหล สมพล สกุลหลงและคณะ [6] ศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งครีบบเอียงทำมุม 45° พบว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งครีบบเอียงให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานมากกว่าท่อผนังเรียบ

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษาถึงพฤติกรรมเชิงความร้อนและความดันสูญเสียในท่อจัตุรัสที่ทำการทดสอบโดยติดตั้งแผ่นกันเอียงที่มีค่าสัดส่วนความสูงของแผ่นกันต่อความสูงท่อ (BR or e/H) = $0.1, 0.15, 0.2, 0.25$ และ 0.3 สัดส่วนระยะพิชิตซ์ของแผ่น

ETM-130

กันต่อความสูงท่อ (PR) = 3 แผ่นกันเอียงทำมุม (α) 45° ติดตั้งที่ผนังด้านบนและล่างของท่อในทิศทางตรงข้าม โดยทำการศึกษาในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ $Re = 4000 - 40,000$ เพื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาประยุกต์ใช้เพื่อพิจารณาปรับปรุงการถ่ายเทความร้อนผ่านท่อสี่เหลี่ยมที่มีแผ่นกันเอียง

2. ทฤษฎี

เป้าหมายของงานวิจัยนี้เพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานในท่อมของเลขนัสเซลท์ โดยเลขเรย์โนลด์สในท่อมของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (D_h) สามารถเขียนได้เป็น

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

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

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

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

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

$$\text{และ } \tilde{T}_s = \Sigma T_s / 28. \quad (5)$$

ท่อม A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนแบบการพาของผนังด้านบนของช่องขนานที่ถูกให้ความร้อน เมื่อ \tilde{T}_s คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ยที่ได้จากอุณหภูมิผิวในแต่ละจุด (T_s) ตามแนวยาวของช่องขนาน, T_i , T_o คือ อุณหภูมิทางเข้าและทางออกตามลำดับ โดยท่อม \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 คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศ ถูกกำหนดที่อุณหภูมิของไหลเฉลี่ย (T_b) จากสมการ (4)

ที่สภาวะกำลังขับ (pumping power) เดียวกัน

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

เมื่อ \dot{V} อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและเขียนในท่อมตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ได้เป็น

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

สมรรถนะความร้อน (TEF) คือ อัตราส่วนของสมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นผิวทดสอบ (h) เทียบกับสมประสิทธิ์การพาความร้อนพื้นผิวเรียบ (h_0) ที่กำลังขับเดียวกัน

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

3. อุปกรณ์ทดลอง

อุปกรณ์ทดลอง ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 1 ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีความสูง (H) = 45 มิลลิเมตร, ส่วนทดสอบ ยาว (L) = 1000 มิลลิเมตร แผ่นกันเอียงทำมุม (α) = 45° สัดส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงท่อ (P/H , PR) = 3 ทำการติดตั้งแผ่นกันที่ผิวด้านบนสองและด้านล่างของท่อชุดทดสอบ โดยจัดวางในทิศทางตรงกันข้าม แผ่นกันซึ่งใช้เป็นตัวสร้างการไหลแบบหมุนวน มีสัดส่วนความสูงแผ่นกันต่อความสูงท่อ (e/H) = 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 และ 0.3 ดังแสดงในรูปที่ 2 พัดลม (Blower) ขนาด 1.5 kW เป็นแหล่งกำเนิดการไหลของอากาศ, Control valve ควบคุมอัตราการไหลอากาศเข้าสู่ส่วนทดสอบ, Orifice

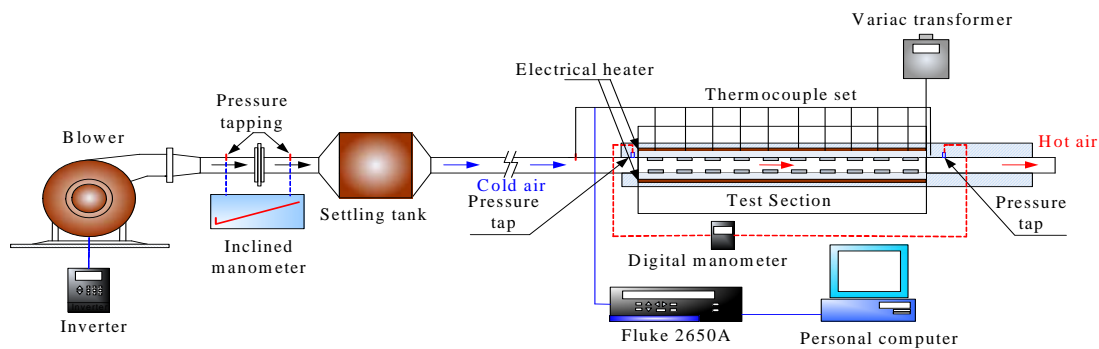
ETM-130

meter ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศที่ทางเข้าชุดทดลอง, Manometer ใช้วัดความแตกต่างของความดัน เพื่อใช้หาอัตราการไหลของอากาศ ความแตกต่างของความดัน โดยการอ่านค่าจากความแตกต่างของระดับน้ำ Inclined manometer, Settling tank ซึ่งมีหน้าที่จัดระเบียบการไหลของอากาศให้มีการไหลปั่นป่วนน้อยที่สุด, ท่อปรับสภาพการไหลเพื่อให้อากาศที่ไหลก่อนเข้าชุดทดลองมีลักษณะเป็น Fully develop และไหลเข้าส่วนทดสอบ, ท่อจตุรัสที่ใช้ทดสอบถูกทำให้ร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าซึ่งทำการควบคุมพลังค์ความร้อนด้วยเครื่องควบคุมความร้อนแผ่นฮีตเตอร์แบบปรับค่าโวลท์เตจ TDGC 2-3 kVA CAPACITY : 3000 VA MAX. 12 Amp เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับแผ่นฮีตเตอร์เพื่อให้ค่าพลังค์ความร้อนของแผ่นฮีตเตอร์เป็นไปตามที่กำหนดตามที่กำหนด, Data Logger FLUKE 2680A เป็นอุปกรณ์เก็บและแสดงข้อมูลอุณหภูมิผิว 30 ตำแหน่ง, อุณหภูมิทางเข้าและอุณหภูมิทางออก เชื่อมต่อข้อมูลจากเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ทั้งหมด 30 ตัว โดยแยก, เครื่องวัดความดันตกคร่อม digital manometer DWYER SERIES 475 MARK III เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันตกคร่อมระหว่างตำแหน่งทางเข้าและตำแหน่งทางออกของส่วนทดสอบ, คอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลที่ได้รับจาก Data Logger และเครื่องวัดความดันตกคร่อม โดยส่วน

ทดสอบมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนที่ชุดทดสอบเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากแผ่นฮีตเตอร์ไหลออกสู่ภายนอก

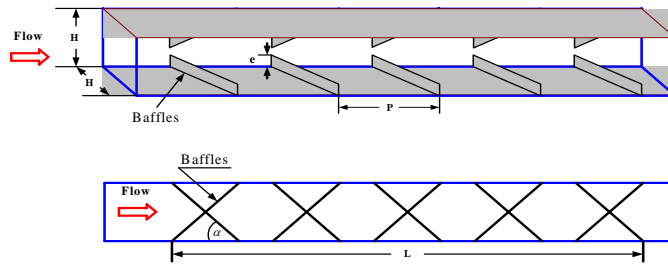
4. วิธีการทดลอง

การทดลองเพื่อหาค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีแผ่นกันเอียงที่ผนังด้านบนและด้านล่างของชุดทดสอบทำมุมปะทะ 45° จัดวางแบบไขว้กัน สัดส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงช่องขนาน $PR = 3$ และสัดส่วนความสูงแผ่นกันต่อความสูงช่องขนาน (e/H or Blockage ratio or BR) = 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 และ 0.3 ติดตั้งแผ่นกันเอียงที่ผนังด้านบนและด้านล่างของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสทำมุม 45° ในทิศทางตรงข้ามกัน การทดลองทำการเปิดพัดลมจากนั้นปรับปริมาณการไหลของลมให้ได้ตามที่ต้องการ โดยควบคุมความเร็วลมให้ได้ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ให้มีค่าอยู่ในช่วง 4000 – 40,000 ในแต่ละช่วงความเร็วลมที่ทดสอบ จะต้องรอให้อุณหภูมิผิวภายในชุดทดสอบและอุณหภูมิอากาศเข้าออก มีค่าคงที่ก่อนจะทำการบันทึกค่า โดยทำการตรวจวัดอุณหภูมิในชุดทดสอบทั้งหมด 28 ตำแหน่ง และอีก 2 จุดสำหรับอุณหภูมิอากาศเข้าและออกแผ่นช่องขนานและทำการตรวจวัดและจดบันทึกค่าความดันตกคร่อมท่อส่วนทดสอบด้วยเช่นกัน



รูปที่ 1 อุปกรณ์ชุดทดลอง

ETM-130

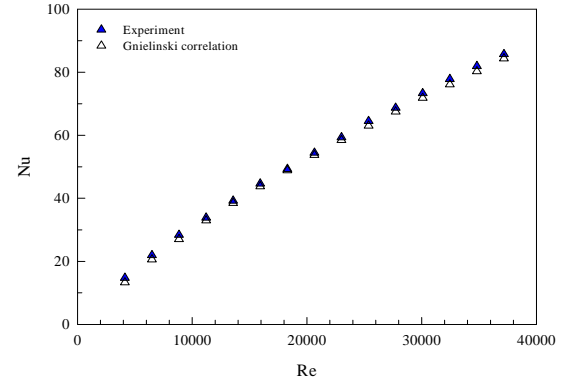


รูปที่ 2 แผ่นกั้นเอียงทำมุม 45° วางไขว้กัน

5. ผลการทดลอง

5.1 การทดสอบท่อจัดรัศมีเรียง

การทดลองนี้ศึกษาผลของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันของท่อจัดรัศมีเรียงในเทอมของเลขนีสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานตามลำดับ เปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับสหสัมพันธ์ของ Gnielinski และของ Petukhov อ้างอิงในเอกสาร [7] ในช่วงการไหลปั่นป่วน สหสัมพันธ์ของ Gnielinski, การให้ความร้อน



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนีสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ กรณีท่อมีผนังเรียบ

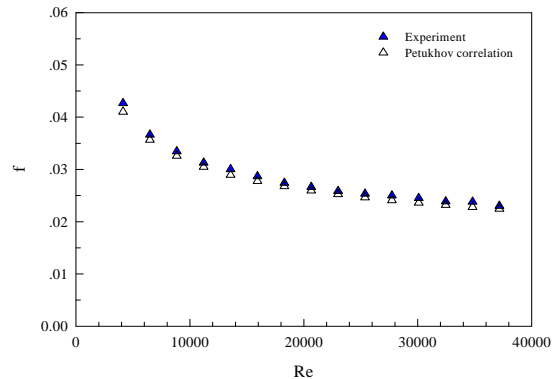
$$Nu = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1+12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3}-1)} \quad (11)$$

สำหรับค่า $3000 < Re < 5 \times 10^6$

สหสัมพันธ์ของ Petukhov,

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

สำหรับค่า $3000 < Re < 5 \times 10^6$



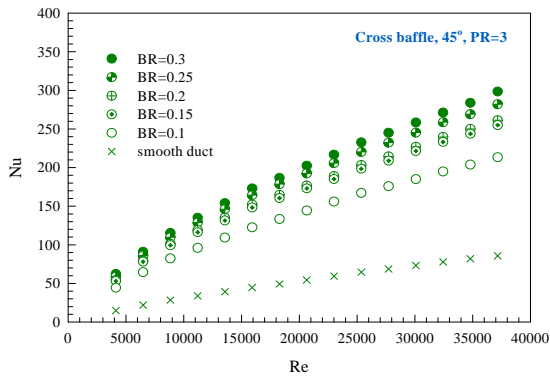
รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ กรณีท่อมีผนังเรียบ

จากรูปที่ 3 และ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเลขนีสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานที่ได้จากการทดลองกับสหสัมพันธ์สมการ (11) และ (12) พบว่าค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 2.8 \%$ และ $\pm 3.2 \%$ ทั้งสหสัมพันธ์เลขนีสเซลท์และสหสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทานตามลำดับ

5.2 ผลการทดลองท่อจัดรัศมีที่มีแผ่นกั้น

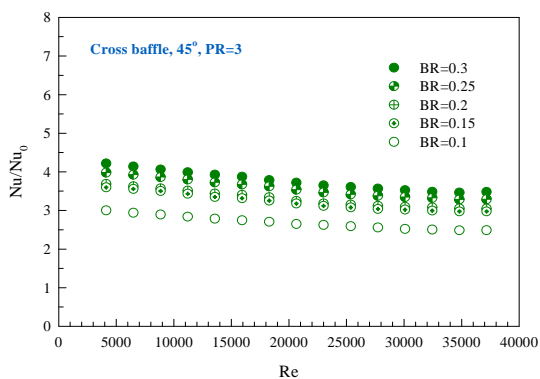
การทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนและความดันสูญเสียในท่อจัดรัศมีที่สอดแผ่นกั้นเอียงทำมุม 45° ที่ด้านบนและด้านล่างของผนังท่อโดยจัดวางไขว้กัน สัดส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน $PR=3$ และสัดส่วนความสูงแผ่นกั้นต่อความสูงท่อจัดรัศมี (BR) = 0.3, 0.25, 0.2, 0.15 และ 0.1 ผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ดังต่อไปนี้

ETM-130



รูปที่ 5 การแปรเปลี่ยนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส

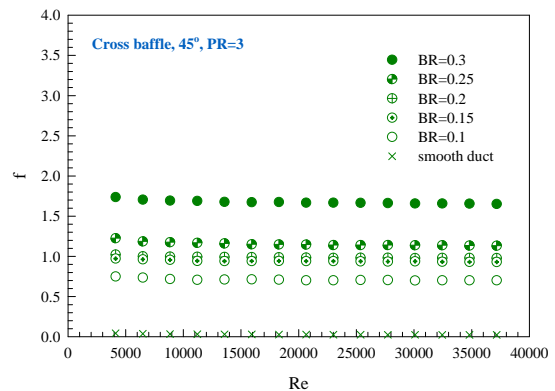
รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส กรณีท่อจัดรัศมีด้วยแผ่นกั้นเอียงทำมุม 45° วางไขว้ในทิศทางตรงข้ามกัน จากการทดลองพบว่าการเพิ่มเลขเรย์โนลด์สขึ้นส่งผลให้เลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของค่าเลขเรย์โนลด์สทำให้เกิดการเพิ่มการไหลแบบปั่นป่วนเป็นเหตุให้ความหนาของชั้นขีดผิวลดลงจึงทำให้ได้ค่าเลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้น แผ่นกั้นที่สัดส่วนความสูงแผ่นกั้นต่อความสูงช่องท่อจัดรัศมี (BR) = 0.3 ให้ค่าเลขนัสเซลท์ที่สูงที่สุด ตามด้วย BR=0.25, 0.2, 0.15 0.1 และท่อผนังเรียบตามลำดับ



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเลขนัสเซลท์ที่ท่อติดแผ่นกั้นต่อท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ส

รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเลขนัสเซลท์ที่ท่อติดแผ่นกั้นต่อเลขนัสเซลท์ของท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ส พบว่าสัดส่วนเลขนัสเซลท์ที่ท่อติดแผ่นกั้นต่อเลขนัสเซลท์ของท่อผนังเรียบมีค่าลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นแบบขของเลขนัสเซลท์ของท่อผนังเรียบแบบก้าวกระโดดในขณะที่เพิ่มค่าเลขเรย์โนลด์ส การติดตั้งแผ่น

กั้นเอียงจัดวางไขว้กันที่ $e/H = 0.3$ ให้ค่าสัดส่วนเลขนัสเซลท์ที่สูงที่สุด ตามด้วย $e/H = 0.25, 0.2, 0.15$ และ 0.1 ตามลำดับ โดยมีค่าสัดส่วนเลขนัสเซลท์ที่ท่อติดแผ่นกั้นเฉลี่ยต่อเลขนัสเซลท์ของท่อผนังเรียบมากกว่าท่อผนังเรียบ 3.76, 3.57, 3.30, 3.22 และ 2.69 เท่า ตามลำดับ

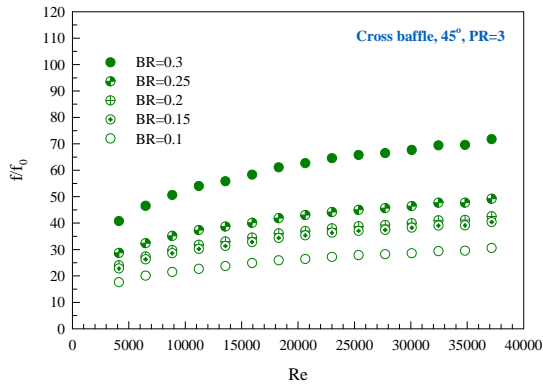


รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานลดลงเล็กน้อยเป็นผลมาจากค่าความแตกต่างความดันที่เพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นในขณะที่ความเร็วเพิ่มขึ้นแบบกำลังสองทำให้ได้ค่า f เกือบคงที่ การติดตั้งแผ่นกั้นเอียงที่ผนัง 2 ด้านในท่อจัดรัศมีให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ แผ่นกั้นเอียงที่มีค่า $e/H=0.3$ ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมากที่สุด ตามด้วยแผ่นกั้นเอียงที่มีค่า $e/H=0.25, 0.2, 0.15, 0.1$ และท่อผนังเรียบตามลำดับ

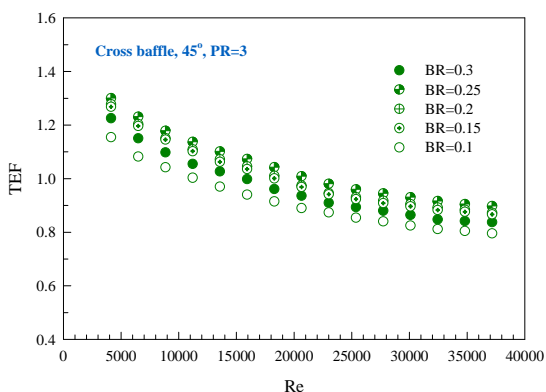
รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนตัวประกอบเสียดทานของท่อติดแผ่นกั้นเอียงต่อตัวประกอบเสียดทานของท่อที่มีผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ส พบว่าแผ่นกั้นเอียงที่มี $e/H=0.3$ มีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงสุด ตามด้วย $e/H=0.25, 0.2, 0.15$ และ 0.1 ตามลำดับ โดยมีสัดส่วนประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าท่อผนังเรียบ 60.32, 41.52, 35.60, 33.95, และ 25.57 เท่า สำหรับการติดตั้งแผ่นกั้นเอียงที่ $e/H=0.3, 0.25, 0.2, 0.15$ และ 0.1 ตามลำดับ

ETM-130



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนส่วนตัวประกอบเสียดทานของท่อติดตั้งแผ่นกั้นเอียงต่อท่อหนึ่งเรียบกับเลขเรย์โนลด์ส์

รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส์นี้เป็นค่าที่ได้จากการคิดคำนวณจากเลขนัสเซลท์และค่าตัวประกอบเสียดทานโดยคิดที่กำลัซซิบเดียวกัน พบว่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนแนวโน้มนลดลงเมื่อที่เลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น การติดตั้งแผ่นกั้นเอียงทำมุม 45° ที่ผนังด้านบนและด้านล่างโดยจัดวางไขว้กันที่ $e/H=0.25$ ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมากกว่าที่ $e/H=0.3, 0.2, 0.15$ และ 0.1 ที่ทุกค่าเลขเรย์โนลด์ส์ โดยมีค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยสูงสุดที่ $e/H = 0.25$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.04



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ตัวค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส์

6. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ว่าท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่สอดด้วยแผ่นกั้นเอียงที่ผนังด้านบนและด้านล่างของชุดทดสอบจัดวางแบบไขว้กันทำมุมปะทะ (α) 45° กับทิศทางการไหลของอากาศ และ $PR = 3$ ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์ตั้งแต่ 4000 ถึง 40,000 พบว่าแผ่นกั้นเอียง $e/H = 0.3$ ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงสุดเนื่องจากทำให้เกิดจากการไหลแบบปั่นป่วนเพิ่มขึ้นและเกิดการหมุนควงที่แข็งแรงเพิ่มสูงขึ้น ตามด้วย $e/H = 0.25, 0.2, 0.15$ และ 0.1 สำหรับแผ่นกั้นเอียง $e/H = 0.3$ ให้ค่า $Nu/Nu_0 = 3.76$ เท่าและค่า $f/f_0 = 60.32$ เท่า แต่ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนต่ำ ในขณะที่แผ่นกั้นเอียง $e/H = 0.25$ ให้ค่า Nu/Nu_0 สูงเป็นอันดับสองและ f/f_0 ค่อนข้างต่ำจึงทำให้ได้ค่าให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Promvong, P. and 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.
- [2] Thianpong, C., Chompookham, T., Skullong, S., and 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.
- [3] Han, J.C., Zhang, Y.M., and Lee, C.P. (1991). Augmented heat transfer in square channels with parallel, crossed and V-shaped angled ribs, ASME Journal of Heat transfer, vol. 113, pp. 590-596

ETM-130

- [4] Han, J.C., Huang, J.J., and Lee, C.P. (1993). Augmented heat transfer in square channels with wedge-shaped and delta-shaped turbulence promoters, *Journal of Enhanced Heat transfer*, vol. 1, pp. 37-52.
- [5] Choi, C., Rhee, D.H. and Cho, H.H. (2002). Heat/mass transfer and pressure drop in a square duct with V-shaped ribs, *KSME Journal of Heat transfer*, vol. 26, pp. 1542-1551.
- [6] สมพล สกุลหลง, ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์, ภูดิทชัย ดิลกพัฒนกุล และ พงษ์เจต พรหมวงศ์ (2554). พฤติกรรมความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้ครีบเอียงทำมุม, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25
- [7] Incropera, F., Dewitt, P.D. (1996). *Introduction to heat transfer*, 3rd edition, John Wiley Sons Inc.