

อิทธิพลของแผ่นกั้นเอียงติดบนแผ่นบางสอดทแยงมุมต่อพฤติกรรมเชิงความร้อนในท่อจัตุรัส Effects of Inclined Baffle Tape inserted diagonally on Thermal Behaviors in a Square Duct

จิตกร กนกนัยการ^{1*}, ธนวัฒน์ โพธิ์งาม¹, จิรศักดิ์ ศิริโกการัตนา¹, ชินรัชย์ เขียวพงษ์² และ พงษ์เจต พรหมวงศ์^{2*}

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกลและยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ วิทยาเขตระยอง

หมู่ 11 ตำบลหนองละคร อำเภอบ้านค่าย จังหวัดระยอง 21120

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของแผ่นกั้นเอียงทำมุม $\alpha = 20^\circ$ ติดบนแผ่นบางสอดทแยงมุมในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ส่งผลต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความดันสูญเสีย สัดส่วนความสูงแผ่นกั้นต่อความสูงช่องขนาน (e/H or BR) = 0.10, 0.15, 0.2 และ 0.25 และสัดส่วนระยะพิทช์ต่อความสูงช่อง (P/H or PR) = 3 ทำการทดลองโดยควบคุมสภาวะการถ่ายเทความร้อนที่ผิวคงที่ (Constant Heat Flux) ความเร็วอากาศที่ใช้ในการทดลองทำการปรับให้สอดคล้องกับค่าเลขเรย์โนลด์ส (Reynolds Number, Re) มีค่าระหว่าง 4000-26,000 อิทธิพลของแผ่นกั้นบนแผ่นบางในด้านการถ่ายเทความร้อนแสดงในรูปเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number, Nu) และการสูญเสียความดันในรูปตัวประกอบเสียดทาน (Friction Factor, f) และทำการเปรียบเทียบผลกับช่องขนานผิวเรียบ จากการทดลองพบว่า แผ่นกั้นที่มีค่า $BR = 0.25$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่าท่อผนังเรียบประมาณ 4.61 และ 45.6 เท่า ตามด้วย $BR = 0.2$, $BR = 0.15$ และ $BR = 0.10$ ตามลำดับ ขณะที่ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF) กรณีแผ่นกั้นเอียงบนแผ่นบางที่ $BR = 0.2$ ให้ค่าสูงสุดที่ 1.40 สูงกว่ากรณีที่ทำการทดสอบ

คำหลัก: ท่อจัตุรัส; อิทธิพล; แผ่นบาง; เลขเรย์โนลด์ส; ตัวประกอบเสียดทาน

Abstract

The research work presents a study on the effects of 20° inclined baffles tape inserted diagonally on heat transfer and pressure loss in a square duct. The duct 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 26,000. The inclined baffles with an longitudinal pitch equal to three times of channel height and with the attack angle of 20° are mounted in tandem on the aluminum tape and inserted diagonally in the test channel. Effects of four baffle-to-channel height ratios (e/H or $BR = 0.1, 0.15, 0.2$, and 0.25) on heat transfer in terms of Nusselt number and pressure loss in the form of friction factor are experimentally investigated. The experimental result shows that the insertion of inclined baffles tape with the $BR = 0.25$ provides higher heat transfer of 4.61 time and friction factor values of 45.6 times than others but the inclined baffles tape with $BR = 0.2$ yields the thermal enhancement performance of 1.40 higher than other in all investigated cases

Keywords: square duct; effects; tape; Reynolds number; friction factor

TSF-24

1. บทนำ

การเพิ่มพื้นที่ผิวในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและลดขนาดเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน เช่น หม้อน้ำรถยนต์, เครื่องปรับอากาศ ซึ่งเป็นการประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่าย ดังนั้นจึงมีการเพิ่มพื้นที่ผิวเพื่อเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนซึ่งส่งผลให้สมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนดีขึ้น รูปทรงของครีปที่ใช้มีแบบครีปเรียบ, ครีปรูปคลื่น, ครีปสลับฟันปลา, ครีปแบบเจาะรูและครีปแบบบานเกล็ด ซึ่งทำให้พื้นที่ผิวเพิ่มขึ้นและยังทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนดีขึ้นอีกด้วย ดังนั้นครีปรูปคลื่นจึงเป็นที่สนใจอย่างยิ่งเพราะง่ายต่อการผลิตและสามารถนำไปใช้เพิ่มสมรรถนะให้แก่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

ในช่วงเวลาที่ผ่านมา มีงานวิจัยมากมายที่ทำการศึกษาในเรื่องการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อาทิเช่น Thianpong et al. [1] ทำการศึกษาสมรรถนะเชิงความร้อนของครีปรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว $e/H = 0.13, 0.2$ และ 0.26 แบบเท่ากันทั้งแผ่นและแบบไม่เท่ากันโดยสลับค่าระหว่าง $e/H = 0.13$ และ 0.2 โดยที่ $P = 40$ มิลลิเมตร ติดตั้งที่ผิวบนและล่างของช่องขนานที่มีค่า $AR = 10$ พบว่าครีปแบบความสูงเท่ากันให้สมรรถนะความร้อนสูงกว่าแบบความสูงไม่เท่ากัน การจัดวางแบบแนวเดียวกันให้การถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมสูงสุดแต่ครีปที่มีความสูงต่ำที่สุดที่จัดวางแบบเอียงกันให้สมรรถนะความร้อนสูงสุด Chompookham et al. [2] ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมในท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีครีปรูปลิ้มร่วมกับตัวสร้างความปั่นป่วนรูปปีก ทำการศึกษสมรรถนะเชิงความร้อนของครีปรูปลิ้มทรงสามเหลี่ยมมุมฉาก $e/H = 0.2$ ที่ $P/H = 1.33$ และตัวสร้างความปั่นป่วนรูปปีกทำมุม $(\alpha) 60^\circ$ พบว่า ครีปรูปรูปลิ้มทรงสามเหลี่ยมมุมฉากที่ติดเอียงกันร่วมกับตัวสร้างความปั่นป่วนรูปปีกให้การเพิ่มสมรรถนะความร้อนที่ดีที่สุด Eiamsa-ard et al. [3] ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสและความร้อนที่ให้

แบบฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ โดยสอดคล้องขดลวดแบบเต็มความยาวชุดทดสอบ และขดลวดที่มีความยาว 1D มีระยะห่างระหว่างขดลวด 1D และ 2D จากการทดลองพบว่าการสอดคล้องขดลวดดังกล่าวให้ค่าการถ่ายเทความร้อน ตัวประกอบเสียดทานและค่าสมรรถนะความร้อนมากกว่าท่อเปล่า สมพล สุกุลหลง และคณะ [4] ศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดตั้งครีปเอียงทำมุม 45° พบว่าเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ติดตั้งครีปเอียงให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานมากกว่าท่อผนังเรียบ Promvong et al. [5] ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่สอดคล้องกับบิดร่วมกับตัวสร้างความปั่นป่วนรูปปีก ไบบิดมีสัดส่วนการบิดเป็น $Y=4$ และ 5 และปีกมีค่า $R_p = 0.1, 0.15$ และ 0.2 และมีค่า $R_p = 2, 2.5, 4$ และ 5 และทำมุม $\alpha = 30^\circ$ พบว่า ไบบิดมีสัดส่วนการบิดเป็น $Y=4$ ร่วมกับตัวสร้างความปั่นป่วนรูปปีกมีค่า $R_p = 2$ และ $R_p = 0.1$ ให้การเพิ่มสมรรถนะความร้อนที่ดีที่สุด

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ทำการศึกษถึงพฤติกรรมเชิงความร้อนและความดันสูญเสียในท่อจัตุรัสที่ทำการทดสอบโดยติดตั้งแผ่นกันเอียงบนแผ่นบางที่มีค่าสัดส่วนความสูงของแผ่นกันต่อความสูงท่อ (BR or e/H) = $0.1, 0.15, 0.2$, และ 0.25 สัดส่วนระยะพิตช์ของแผ่นกันต่อความสูงท่อ (PR) = 3 แผ่นกันเอียงทำมุม $(\alpha) 20^\circ$ ติดตั้งที่ผนังด้านบนและล่างของท่อในทิศทางตรงข้าม โดยทำการศึกษในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ $Re = 4000 - 26,000$ เพื่อนำข้อมูลทั้งหมดมาประยุกต์ใช้เพื่อพิจารณาปรับปรุงการถ่ายเทความร้อนผ่านท่อสี่เหลี่ยมที่มีแผ่นกันเอียง

2. ทฤษฎี

เป้าหมายของงานวิจัยนี้เพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานในทอของเลขนัสเซลท์ โดยเลขเรย์โนลด์สในทอของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก (D_h) สามารถเขียนได้เป็น

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

TSF-24

เมื่อ U และ v เป็นความเร็วเฉลี่ยและความหนืดเชิงจลน์ของอากาศตามลำดับ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (h) หาได้จาก การวัดอุณหภูมิและความร้อนที่ป้อนเข้าระบบ ความร้อนที่ให้กับอากาศ (Q_{air}) และความแตกต่างของอุณหภูมิผนังกับอุณหภูมิอากาศ ($T_w - T_b$) สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยหาได้จากข้อมูลทดลองดังสมการ

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

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

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

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

เทอม 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

เลขนัสเซิลท์เฉลี่ย (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 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 $\dot{V}$ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและเขียนในเทอมตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ได้เป็น

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

สมรรถนะความร้อน (TEF) คือ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นผิวทดสอบ (h) เทียบกับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนพื้นผิวเรียบ (h_0) ที่กำลังขับเดียวกัน

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

3. อุปกรณ์ทดลอง

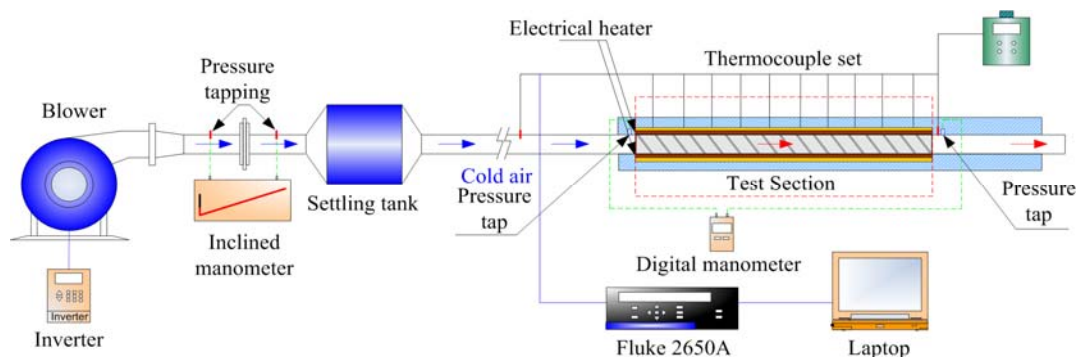
อุปกรณ์ทดลอง ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 1 ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีความสูง (H) = 45 มิลลิเมตร, ส่วนทดสอบ ยาว (L) = 1000 มิลลิเมตร แผ่นกันเอียงทำมุม (α) = 20° สัดส่วนระยะพิตช์ต่อความสูงท่อ (P/H , PR) = 3 ทำการติดตั้งแผ่นกันที่ผิวด้านบนสองและด้านล่างของท่อชุดทดสอบ โดยจัดวางในทิศทางตรงกันข้าม แผ่นกันซึ่งใช้เป็นตัวสร้างการไหลแบบหมุนวน มีสัดส่วนความสูงแผ่นกันต่อความสูงท่อ (e/H) = 0.1, 0.15, 0.2, และ 0.25 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, ท่อปรับสภาพการไหลเพื่อให้อากาศที่ไหลก่อนเข้าสู่ชุดทดลองมีลักษณะเป็น Fully developed และไหลเข้าส่วนทดสอบ, ท่อจัตุรัสที่ใช้ทดสอบถูกทำให้ร้อนด้วยฮีตเตอร์ไฟฟ้าซึ่งทำการควบคุมฟลักซ์ความร้อนด้วยเครื่องควบคุมความร้อนแผ่นฮีตเตอร์แบบปรับค่าโวลต์เตจ TDGC 2-3 kVA CAPACITY : 3000 VA MAX. 12 Amp เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับแผ่นฮีต

TSF-24

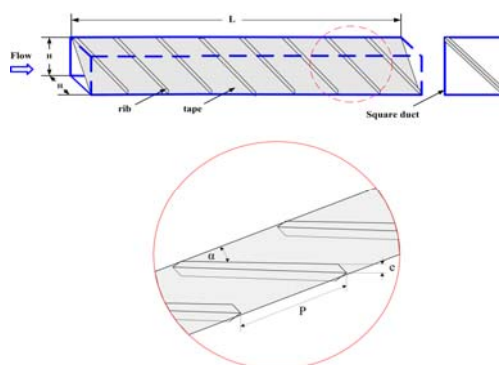
เตอร์เพื่อให้ค่าฟลักซ์ความร้อนของแผ่นฮีตเตอร์เป็นไปตามที่กำหนดตามที่กำหนด, Data Logger FLUKE 2680A เป็นอุปกรณ์เก็บและแสดงข้อมูลอุณหภูมิผิว 30 ตำแหน่ง, อุณหภูมิทางเข้าและอุณหภูมิทางออก เชื่อมต่อข้อมูลจากเทอร์โมคัปเปิลชนิด K ทั้งหมด 30 ตัว โดยแยก, เครื่องวัดความดันตกคร่อม digital manometer DWYER SERIES 475 MARK III เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันตกคร่อมระหว่างตำแหน่งทางเข้าและตำแหน่งทางออกของส่วนทดสอบ, คอมพิวเตอร์บันทึกข้อมูลที่รับจาก Data Logger และเครื่องวัดความดันตกคร่อม โดยส่วนทดสอบมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนที่ชุดทดสอบเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากแผ่นฮีตเตอร์ไหลออกสู่ภายนอก

4. วิธีการทดลอง

การทดลองเพื่อหาค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสสอดด้วยติดตั้งแผ่นกันเอียงบนแผ่นบางในแนวทแยงมุมของชุดทดสอบทำมุมปะทะ 20° สัดส่วนระยะพิชชิตต่อความสูงช่องขนาน $PR = 3$ และสัดส่วนความสูงแผ่นกันต่อความสูงช่องขนาน (e/H or Blockage ratio or BR) = 0.1, 0.15, 0.2, และ 0.25 การทดลองทำการเปิดพัดลม จากนั้นปรับปริมาณการไหลของลมให้ได้ตามที่ต้องการ โดยควบคุมความเร็วลมให้ได้ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ส์ให้มีค่าอยู่ในช่วง 4000 – 26,000 ในแต่ละช่วงความเร็วลมที่ทดสอบ จะต้องรอให้อุณหภูมิผิวภายในชุดทดสอบและอุณหภูมิอากาศเข้าออก มีค่าคงที่ก่อนจะทำการบันทึกค่า โดยทำการตรวจวัดอุณหภูมิในชุดทดสอบทั้งหมด 28 ตำแหน่ง และอีก 2 จุดสำหรับอุณหภูมิอากาศเข้าและออกแผ่นช่องขนานและทำการตรวจวัดและจดบันทึกค่าความดันตกคร่อมที่ส่วนทดสอบด้วยเช่นกัน



รูปที่ 1 อุปกรณ์ชุดทดลอง



รูปที่ 2 แผ่นกันเอียงทำมุม 45° วางไขว้กัน

TSF-24

5. ผลการทดลอง

5.1 การทดสอบท่อจตุรัสผืนเรียบ

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

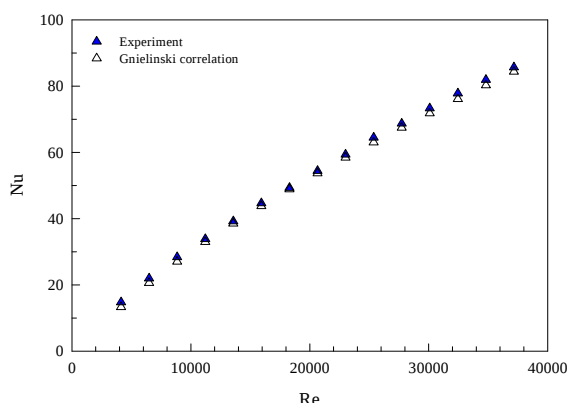
$$Nu = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1+12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3}-1)} \quad (11)$$

สหสัมพันธ์ของ Petukhov,

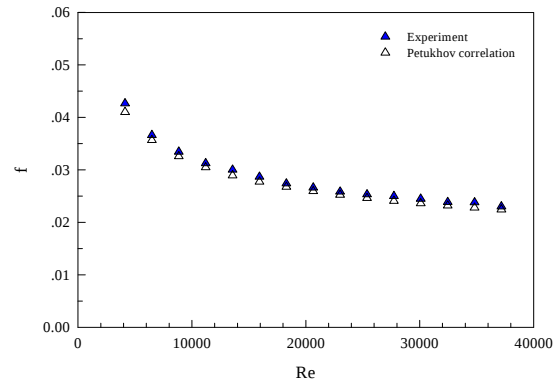
$$f = 0.316 Re^{-0.25} \quad (12)$$

สำหรับค่า $3000 < Re < 5 \times 10^6$

จากรูปที่ 3 และ 4 แสดงการเปรียบเทียบค่าเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานที่ได้จากการทดลองกับสหสัมพันธ์สมการ (11) และ (12) พบว่าค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 2.8\%$ และ $\pm 3.2\%$ ทั้งสหสัมพันธ์เลขนัสเซลท์และสหสัมพันธ์ตัวประกอบเสียดทานตามลำดับ



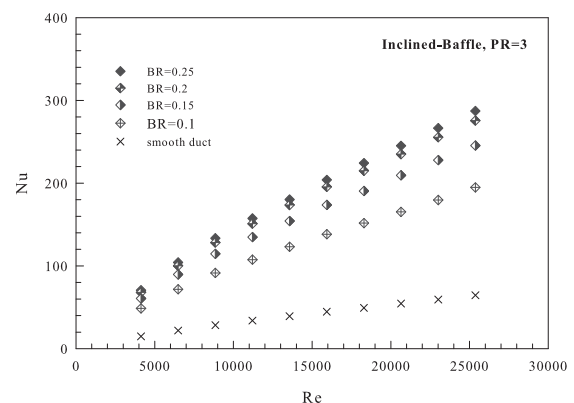
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ กรณีท่อมีผืนเรียบ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ กรณีท่อมีผืนเรียบ

5.2 ผลการทดลองท่อจตุรัสที่มีแผ่นกั้น

การทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความดันสูญเสียในท่อจตุรัสที่สอดด้วยแผ่นกั้นเอียงทำมุม 20° บนแผ่นบางในแนวทแยงมุมของท่อ ที่สัดส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงช่องขนาน $PR=3$ และสัดส่วนความสูงแผ่นกั้นต่อความสูงท่อจตุรัส (BR) = 0.25, 0.2, 0.15 และ 0.1 ผลการทดลองที่ได้แสดงไว้ดังต่อไปนี้

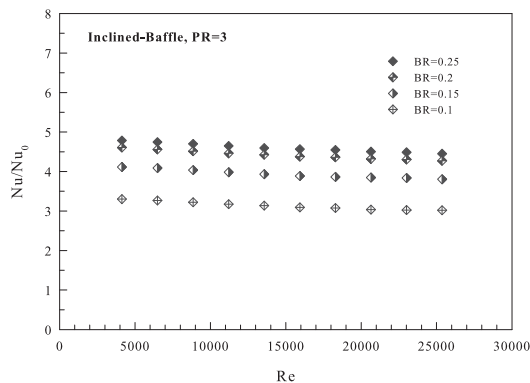


รูปที่ 5 การแปรเปลี่ยนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส กรณีท่อจตุรัสสอดด้วยแผ่นกั้นเอียงทำมุม 20° บนแผ่นบางโดยสอดในแนวทแยงมุมของท่อ จากการทดลองพบว่า การเพิ่มเลขเรย์โนลด์สขึ้นส่งผลให้เลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้นเช่นกัน เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของค่าเลขเรย์โนลด์สทำให้เกิดการเพิ่มการไหลแบบปั่นป่วนเป็นเหตุให้ความหนาของชั้นขีดผิวดลดลง จึงทำให้ได้ค่าเลขนัสเซลท์เพิ่มขึ้น แผ่นกั้นที่สัดส่วน

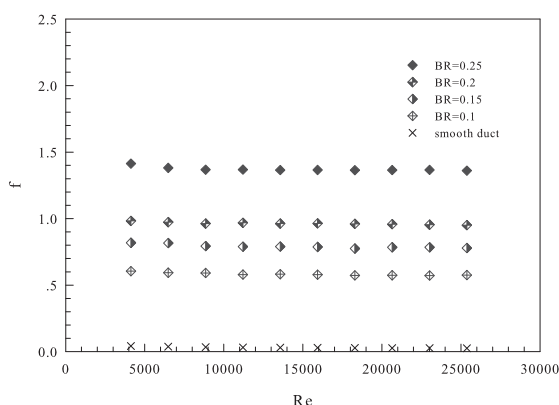
TSF-24

ความสูงแผ่นกั้นต่อความสูงช่องท่อจตุรัส (BR) = 0.25
ให้ค่าเลขนัสเซลท์ที่สูงที่สุด ตามด้วย BR=0.2, 0.15 0.1
และท่อผนังเรียบตามลำดับ



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเลขนัสเซลท์ท่อที่ติดแผ่นกั้นต่อท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์

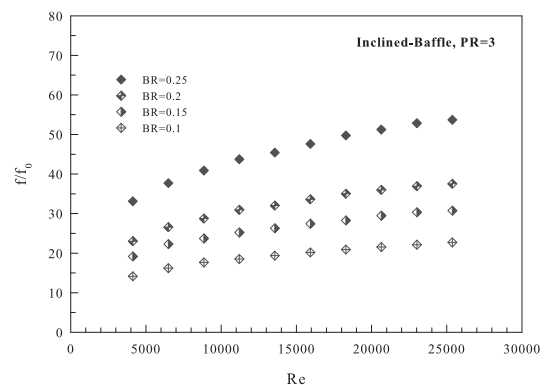
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนเลขนัสเซลท์ท่อติดแผ่นกั้นต่อเลขนัสเซลท์ของท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ พบว่าสัดส่วนเลขนัสเซลท์ท่อติดแผ่นกั้นต่อเลขนัสเซลท์ของท่อผนังเรียบมีค่าลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นนั้นเป็นผลจากการเพิ่มขึ้นแบบของเลขนัสเซลท์ของท่อผนังเรียบแบบก้าวกระโดดในขณะที่เพิ่มค่าเลขเรย์โนลด์ การติดตั้งแผ่นกั้นเอียงจัดวางไขว้กันที่ $e/H = 0.25$ ให้ค่าสัดส่วนเลขนัสเซลท์ที่สูงที่สุด ตามด้วย $e/H = 0.2, 0.15$ และ 0.1 ตามลำดับ โดยมีค่าสัดส่วนเลขนัสเซลท์ท่อติดแผ่นกั้นเฉลี่ยต่อเลขนัสเซลท์ของท่อผนังเรียบมากกว่าท่อผนังเรียบ 4.60, 4.42, 3.94 และ 3.14 เท่า ตามลำดับ



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าตัวประกอบเสียดทานลดลงเล็กน้อยเป็นผลมาจากค่าความแตกต่างความดันที่เพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นในขณะที่ความเร็วเพิ่มขึ้นแบบกำลังสอง การติดตั้งแผ่นกั้นเอียงบนแผ่นบางและสอดทแยงมุมในท่อจตุรัสให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ แผ่นกั้นเอียงที่มีค่า $e/H=0.25$ ให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมากที่สุด ตามด้วยแผ่นกั้นเอียงที่มีค่า $e/H=0.2, 0.15, 0.1$ และท่อผนังเรียบตามลำดับ

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนตัวประกอบเสียดทานของท่อติดแผ่นกั้นเอียงต่อตัวประกอบเสียดทานของท่อที่มีผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ พบว่าแผ่นกั้นเอียงที่มี $e/H=0.25$ มีค่าตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงสุด ตามด้วย $e/H=0.2, 0.15$ และ 0.1 ตามลำดับ โดยมีสัดส่วนประกอบเสียดทานเฉลี่ยสูงกว่าท่อผนังเรียบ 45.59, 32.04, 26.29, และ 19.33 เท่า สำหรับการติดตั้งแผ่นกั้นเอียงที่ $e/H=0.25, 0.2, 0.15$ และ 0.1 ตามลำดับ

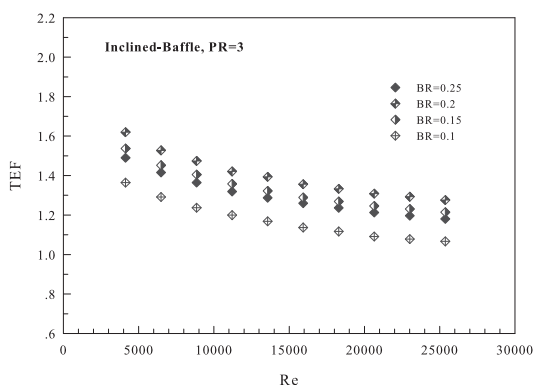


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนส่วนตัวประกอบเสียดทานของท่อติดตั้งแผ่นกั้นเอียงต่อท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์

รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนกับเลขเรย์โนลด์สเป็นค่าที่ได้จากการคิดคำนวณจากเลขนัสเซลท์และค่าตัวประกอบเสียดทานโดยคิดที่ กำลังขับเดียวกัน พบว่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่ม

TSF-24

การถ่ายเทความร้อนแนวโน้มลดลงเมื่อที่เลขเรย์โนลด์สเพิ่มขึ้น การติดตั้งแผ่นกันเอียงทำมุม 45° ที่ผนังด้านบนและด้านล่างโดยจัดวางไขว้กันที่ $e/H=0.25$ ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมากกว่าที่ $e/H=0.2$, 0.15 และ 0.1 ที่ทุกค่าเลขเรย์โนลด์ส โดยมีค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน(TEF)เฉลี่ยสูงสุดที่ $e/H = 0.2$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.40 รองลงมาคือ $e/H = 0.15$ ให้ค่า $TEF=1.33$ ตามด้วย $e/H = 0.25$ ให้ค่า $TEF=1.29$ และสุดท้ายคือ $e/H = 0.1$ ให้ค่า $TEF=1.17$ ตามด้วย



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส

6. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ว่าท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่สอดด้วยแผ่นกันเอียงทำมุม 20° บนแผ่นบางโดยสอดในแนวทแยงมุมของท่อชุดทดสอบทำมุม $\alpha=20^\circ$ กับทิศทางการไหลของอากาศ และ $PR = 3$ ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่ค่าเลขเรย์โนลด์สตั้งแต่ 4000 ถึง 26,000 พบว่าแผ่นกันเอียง $e/H = 0.25$ ให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงสุดเนื่องจากทำให้เกิดจากการไหลแบบปั่นป่วนเพิ่มขึ้นและเกิดการหมุนวนที่แข็งแรงเพิ่มสูงขึ้น ตามด้วย $e/H = 0.2$, 0.15 และ 0.1 สำหรับแผ่นกันเอียง $e/H = 0.25$ ให้ค่า $Nu/Nu_0 = 4.60$ เท่าและค่า $f/f_0 = 45.59$ เท่า แต่ให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนต่ำ ในขณะที่แผ่นกันเอียง $e/H = 0.2$ ให้ค่า $Nu/Nu_0 = 4.42$ เท่า สูงเป็นอันดับสองและ $f/f_0 = 32.04$ เท่าซึ่งค่อนข้างต่ำกว่าจึงทำให้ได้ค่าตัวประกอบ

สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนประมาณ 1.40: เป็นค่าสูงที่สุดสำหรับการทดสอบครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] 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(7), August 2009, pp. 712-717.
- [2] Chompookham T., Thianpong, C., Kwankaomeng S., and Promvong, P. (2010). Heat transfer augmentation in a wedge-ribbed channels using winglet vortex generators, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 37(2), February 2010, pp. 163-169
- [3] Eiamsa-ard, S., Koolnapadol, N., and Promvong, P. (2010). Heat transfer behavior in a square duct with tandem wire coil element insert, *Chinese Journal of Chemical Engineering*, vol. 20(5), October 2012, pp. 863-869
- [4] สมพล สกูลหลง, ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์, ภูติทชัย ดิลกพัฒนกุล และ พงษ์เจต พรหมวงศ์ (2554). พฤติกรรมความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้ครีปเอียงทำมุม, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25
- [5] Promvong, P., Suwannapan, S., Pimsarn, M., and Thianpong, C., (2014). Experimental study on heat transfer in square duct with combined twisted-tape and winglet vortex generator, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 59, December 2014, pp. 158-165
- [6] Bergman, T.L, Lavine, A.S, Incropera, F.P, Dewitt, P.D. (2011). *Introduction to heat transfer*, 6th edition, John Wiley Sons Inc.