

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25
19-21 ตุลาคม 2554 จังหวัดกระบี่

**การศึกษาเชิงตัวเลขแบบสามมิติสำหรับการไหลราบเรียบความดันตกพร้อมและการ
ถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีการเพิ่มแผ่นออริฟิตวางเอียง**

**3D Simulation on Laminar Flow Structure, Friction loss and Heat Transfer Behavior
in Square Duct with Inclined Orifices**

เกียรติวัชรวิธ จันทราภิบาล, เฉลิมพล ไผทพฤกษ์, วิหดา เจษฎารัตนชัย, มิ่ง โสกิจแสงทอง
และ พงษ์เจต พรหมวงศ์*

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
* ติดต่อ: โทรศัพท์: (662) 326-4197, โทรสาร: (662) 326-4198,
E-mail: kpongje@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนสำหรับการไหลแบบราบเรียบในท่อจัตุรัสที่มีอุณหภูมิผิวดำที่ โดยมีการติดตั้งออริฟิตวางเอียงที่ผนังของท่อ มีอัตราส่วนระหว่างระยะห่างของออริฟิตต่อความสูงของท่อ (Pitch ratio, PR) คงที่เท่ากับ 1.5 โดยออริฟิตที่ติดตั้งนั้นมีลักษณะการจัดวางเอียงทำมุมปะทะที่ $\alpha = 60^\circ$ จัดวางแบบเอียงและมีค่าอัตราส่วนการบล็อกการไหล (Blockage ratio, BR) เท่ากับ 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.25 ในการคำนวณใช้วิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมและเลือกลำดับวิธีหาผลเฉลยแบบ SIMPLE ซึ่งการจำลองนี้ได้นำเสนอคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน, การไหลของของไหลและการสูญเสียความดันสำหรับเลขเรย์โนลด์บนพื้นฐานเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อ ช่วงจาก $Re = 100$ ถึง 800 โดยค่าการถ่ายเทความร้อนโดยแสดงในเทอมของเลขนัสเซล (Nusselt number) และการสูญเสียความดันโดยแสดงในเทอมของตัวประกอบเสียดทาน (friction factor) พบว่าการเพิ่มออริฟิตจะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อที่มีผนังเรียบและพบว่าเมื่อเพิ่มความสูงของออริฟิตจะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากออริฟิตจะทำให้เกิดการไหลแบบหมุนวนและการกระแทกของการไหลที่บริเวณผิวของท่อ ในขณะเดียวกันเมื่อเพิ่มความสูงของออริฟิตก็จะทำให้เกิดความดันสูญเสียเพิ่มมากขึ้นด้วย

คำสำคัญ: ท่อจัตุรัส, ออริฟิต, การไหลราบเรียบ, การถ่ายเทความร้อน, ความเสียดทาน

Abstract

This paper present laminar periodic flow and heat transfer in a three dimensional square duct with isothermal walls and with $\alpha = 60^\circ$ incline orifice; (blockage ratio (b/H), BR) in range from 0.1 to 0.25 and (Pitch ratio, PR) of 1.5 is investigated numerically. The computations based on the finite volume method, and the SIMPLE algorithm has been implemented. The fluid flow and heat transfer characteristics are presented for Reynolds numbers based on the hydraulic diameter of the square duct

ranging from 100 to 800. Effects of orifice height on heat transfer and pressure loss in the square duct are studied. It is found that the orifice performs better than the smooth square duct for all Reynolds number values. The increase of the BR leads to an increase in the Nusselt number and friction factor.

Keywords: square duct, orifice, laminar flow, heat exchanger, friction loss

1. บทนำ

จากข้อจำกัดของอุปกรณ์และเครื่องมือต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการศึกษาวิจัยด้วยการทดลอง เช่น ความละเอียดของเครื่องมือในการวัด จำนวนจุดที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิและตำแหน่งที่ใช้ในการวัด นำไปสู่การศึกษาวิจัยด้วยวิธีเชิงตัวเลข โดยเฉพาะอย่างยิ่งการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน

เนื่องจากระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นระบบที่สำคัญสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ดังนั้นจึงได้มีความสนใจในการศึกษาในส่วนของการเพิ่มการแลกเปลี่ยนความร้อนและพฤติกรรมการไหลรวมถึงค่าความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นโดยมีการศึกษาทั้งในส่วนของการใช้การทดลองและในส่วนของการศึกษาโดยใช้วิธีเชิงตัวเลขหรือการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเป็นการศึกษาถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้น Han และคณะ [1, 2] ทำการศึกษาโดยใช้การทดลองเพื่อดูค่าการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการเพิ่มครีบทำมุมที่ผนังทั้งสองด้านของท่อ โดยมีค่า $L/b = 10$ และ $b/D = 0.0625$ จากการศึกษาสรุปได้ว่า ครีบทำมุมและครีบทำมุมทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อน Murata และ Mochizuki [3] ทำการศึกษาโดยใช้วิธีเชิงตัวเลขแบบ large eddy simulation (LES) ของค่าการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่มีการเพิ่มครีบทำมุม โดยมีการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้ $b/D = 0.1$, $L/b = 10$ และ 60° จากผลการศึกษาสรุปได้ว่า การเพิ่มครีบทำมุมลักษณะดังกล่าวทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อน

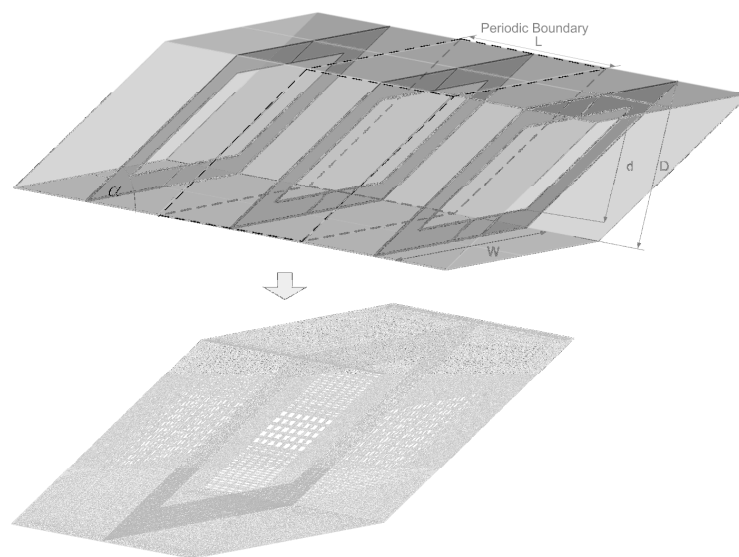
ได้มีการทำการศึกษาและรวบรวมเกี่ยวกับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยมีการถ่ายเทความร้อนแบบเป็นคาบที่มีการเพิ่มครีบทำมุมที่มีการให้ความร้อนที่ผิวด้านบนเพียงด้าน

เดียว โดยมีการศึกษาทั้งในส่วนของการใช้วิธีคำนวณเชิงตัวเลขและการศึกษาโดยการทดลองจริง ซึ่งการรวบรวมข้อมูลดังกล่าวได้มีการนำเสนอโดย Hans และ คณะ [4] และ Varun และคณะ [5] ได้มีการศึกษาการไหลแบบเป็นคาบสำหรับการไหลที่มีการพัฒนาเต็มที่โดยใช้วิธีคำนวณเชิงตัวเลขในส่วนของการพฤติกรรมของการไหลและลักษณะการถ่ายเทความร้อนในท่อทั้งการไหลแบบลามินาร์และการไหลแบบปั่นป่วนโดย Patankar และคณะ [6] Guo และ Anand [11] ทำการศึกษาพฤติกรรมของการไหลแบบลามินาร์ในช่องขนานที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นทำมุม 90 องศาทั้งด้านบนและด้านล่างของท่อ โดยมีการจัดวางแบบเยื้องพบว่าค่าการไหลที่ค่า Re น้อยกว่า 600 จะไม่ทำให้เกิด vortex shedding Webb และ Ramadhyani [7] ได้นำเอาหลักของการไหลแบบเป็นคาบของการไหลที่พัฒนาเต็มที่ซึ่งได้มีการศึกษาไว้จากอ้างอิงที่ [8] ทำการศึกษาโดยใช้วิธีการคำนวณเชิงตัวเลขของการไหลและค่าการถ่ายเทความร้อนในท่อผิวเรียบและท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นที่มีการวางแบบเยื้อง Kellar และ Patankar [9] ศึกษาวิจัยลักษณะค่าการถ่ายเทความร้อนในท่อขนานที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นในลักษณะการจัดวางแบบเยื้องและพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่ได้จะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของความสูงของแผ่นกั้นรวมถึงการลดลงของระยะห่างระหว่างแผ่นกั้น

การศึกษาโดยใช้แบบวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขแบบสามมิติของการไหลแบบเป็นคาบที่มีการพัฒนาการไหลเต็มที่สำหรับการพาความร้อนแบบบังคับของการไหลแบบลามินาร์ มีการให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ที่ด้านบนและด้านล่างของผนังได้ถูกศึกษาโดย Lopez และคณะ [10] Guo และ Anand [11] ศึกษาและวิจัยค่าการถ่ายเทความร้อนแบบสามมิติในท่อขนานที่มีการติดตั้งครีบทำมุมที่ทางเข้า

ถึงแม้ว่างานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นจะพูดถึง การศึกษาด้วยวิธีการทดลองสำหรับเทคนิคการเพิ่ม การถ่ายเทความร้อน หรือการวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิง ตัวเลข โดยงานวิจัยที่ได้จากการทดลองจริงจะมี ข้อจำกัดในเรื่องของเครื่องมือ, ระยะเวลาในการ ทดลองนอกจากนี้ยังไม่สามารถอธิบายถึงพฤติกรรม ในการไหลและการถ่ายเทความร้อนได้ จึงต้องอาศัย การบวนการเชิงตัวเลขเข้ามาช่วย จากงานวิจัยที่ผ่าน มายังไม่ได้มีผู้กล่าวถึงการศึกษากฎการไหล

และการถ่ายเทความร้อนในท่อที่มีการเพิ่มแผ่นออริ ฟิตวางเอียง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการ คำนวณเชิงตัวเลขสำหรับการไหลแบบลามินาร์สามมิติ โดยพิจารณาลักษณะการไหลเป็นคาบ ในท่อจัตุรัสที่มี การติดตั้งแผ่นออริฟิตวางเอียงที่ผนังด้านในท่อ โดย ศึกษาถึงผลของอัตราส่วนการบล็อกการไหลของแผ่น ออริฟิตที่มุมปะทะ $\alpha = 60^\circ$ ที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะ การเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ลักษณะการไหลและค่า ความเสียดทาน



รูปที่ 1 รูปทรงของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นออริฟิตและโดเมนที่ใช้ในการคำนวณโดยคิดการไหล แบบ periodic ที่มีการสร้างตาข่ายสี่เหลี่ยมแบบไม่สม่ำเสมอ

2. การสร้างแบบจำลองและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 รูปทรงของท่อที่มีการติดตั้งแผ่นออริฟิต

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษามีลักษณะเป็นท่อ สี่เหลี่ยมจัตุรัสติดตั้งแผ่นออริฟิตวางเอียงทำมุม ซึ่ง แผ่นออริฟิต มีอัตราส่วนระหว่างระยะห่างระหว่างแผ่น ต่อความสูงของท่อ (P/H) หรือระยะพิทท์ของมีค่าคงที่ เท่ากับ $1.5H$ วางเอียงทำมุมปะทะ, $\alpha = 60^\circ$ และมี อัตราส่วนความสูงของแผ่นออริฟิตต่อความสูงของท่อ (b/H) ในช่วง $0.1-0.25$ ความสูงของท่อนำตัดจัตุรัส ที่ใช้ในการจำลองนี้มีค่า $H = 0.05$ m และสมมติท่อ ยาวมาก ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งพิจารณาการไหลเป็น แบบคาบ (periodic)

2.2 สมมติฐาน

การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการไหล ของของไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยม จัตุรัส มีสมมติฐานดังต่อไปนี้

การไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนเป็น แบบคงตัว 3 มิติ โดยมีการไหลแบบราบเรียบและเป็น อัดตัวไม่ได้ กำหนดให้คุณสมบัติของของไหลคงที่ ไม่ คำนึงแรงวัตถุ, การสูญเสียเนื่องจากความหนืดและ การแผ่รังสีความร้อน

2.3 สมการที่เกี่ยวข้อง

จากสมมติฐานข้างต้น สำหรับการไหลในท่อ สี่เหลี่ยมจัตุรัสสมการควบคุมประกอบไปด้วยสมการ

ความต่อเนื่อง สมการนาเวียร์-สโตก และสมการพลังงาน สามารถเขียนในรูปเทนเซอร์ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนดังนี้

สมการความต่อเนื่อง:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

สมการโมเมนตัม:

$$\frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] \quad (2)$$

สมการพลังงาน:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma \frac{\partial T}{\partial x_j} \right) \quad (3)$$

เมื่อ Γ คือ การแพร่ทางความร้อน กำหนดโดย

$$\Gamma = \frac{\mu}{Pr} \quad (4)$$

สมการควบคุมทั้งหมดจะถูก discretize โดยแบบแผนวิธีผลต่างครอตราคิค (Quadratic upstream interpolation for convective kinetics differencing scheme, QUICK) แล้วทำการคำนวณหาผลเฉลยตามระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่อง [12] โดยแผนผังวิธีแบบ SIMPLE (Semi-implicit method for pressure-linked equations) ในการลู่อเข้าหาคำตอบจะพิจารณาที่ความแตกต่างของค่าการแปรเปลี่ยนน้อยกว่า 10^{-5} ของทุกตัวแปร

ในงานวิจัยนี้มีตัวแปรที่ให้ความสนใจอยู่ 4 ตัวแปร คือ เลขเรย์โนลด์ ตัวประกอบเสียดทาน เลขนัสเซลและสมรรถนะเชิงความร้อน ซึ่งค่าเลขเรย์โนลด์นิยามโดย

$$Re = \rho \bar{u} D_h / \mu \quad (5)$$

ตัวประกอบเสียดทาน, f คำนวณได้จากความดันตกคร่อม, Δp ตลอดช่วงความยาว periodic ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส, L

$$f = \frac{(\Delta p / L) D_h}{(1/2) \rho \bar{u}^2} \quad (6)$$

การถ่ายเทความร้อนคำนวณหาจากค่าเลขนัสเซลที่จุดใด ๆ ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$Nu_x = \frac{h_x D_h}{k} \quad (7)$$

ค่าเลขนัสเซลเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จาก

$$Nu = \frac{1}{A} \int Nu_x dA \quad (8)$$

สมรรถนะเชิงความร้อน, η

$$\eta = (Nu / Nu_0) / (f / f_0)^{1/3} \quad (9)$$

เมื่อ Nu_0 และ f_0 คือ เลขนัสเซลและตัวประกอบเสียดทานของท่อผิวเรียบ ตามลำดับ

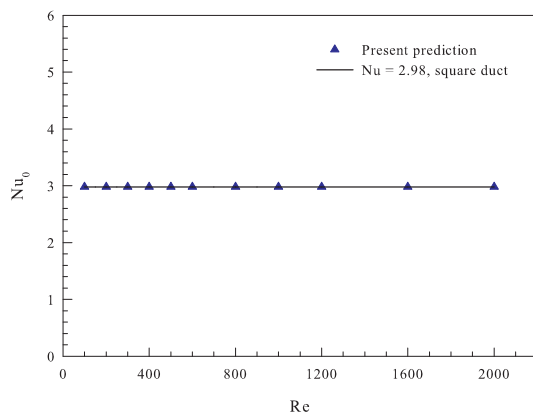
2.4 เงื่อนไขขอบ

พิจารณาทางเข้าและทางออกเป็นแบบ periodic translation สมมติอากาศที่ 300 K และมีค่าเลขพรานด์ 0.7 ไหลเข้าด้วยอัตราการไหลเชิงมวลคงที่ รูปร่างความเร็วทางเข้าและทางออกเหมือนกัน สมมติคุณสมบัติทางกายภาพของอากาศมีค่าคงที่ โดยอ้างอิงที่อุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางเข้า เงื่อนไขขอบเขตไม่มีการลื่นไถลที่ผนัง (no-slip conditions) หรือความเร็วที่ผนังมีค่าเท่ากับศูนย์ เป็นผนังที่อยู่กับที่ (stationary wall) กำหนดให้ที่ผนังทุกด้านของท่อจัตุรัสมีอุณหภูมิผิวคงที่ 310 K และสมมติให้แผ่นออริฟิตเป็นแผ่นกั้นความร้อนไม่สามารถผ่านได้

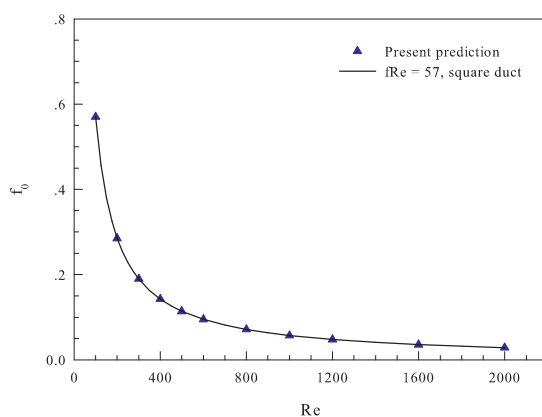
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 การพิสูจน์ความถูกต้องของท่อจัตุรัสผิวเรียบ

ในการพิสูจน์ความถูกต้องของการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานในท่อจัตุรัสผิวเรียบที่ไม่มีการเพิ่มการติดตั้งแผ่นออริฟิต โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากวิธีเชิงตัวเลขและผลเฉลยแม่นยำตรงภายใต้เงื่อนไขเดียวกันนี้ ซึ่งค่าผลเฉลยแม่นยำนี้สามารถศึกษาได้จากอ้างอิง [13] โดยพบว่าค่าที่ได้จากวิธีเชิงตัวเลขจะมีความคลาดเคลื่อนจากผลเฉลยแม่นยำตรงประมาณ 0.5% ทั้งในส่วน of ค่าเลขนัสเซลและค่าตัวประกอบเสียดทาน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้โดยวิธีเชิงตัวเลขทั้งมีความสอดคล้องกันกับผลเฉลยแม่นยำตรงอย่างดีและมีความน่าเชื่อถือได้ดังรูป 2(a) และ (b)



(a)



(b)

รูปที่ 2 การตรวจสอบความถูกต้องของ (a) เลขนัสเซลท์ (b) ตัวประกอบเสียดทานของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบ

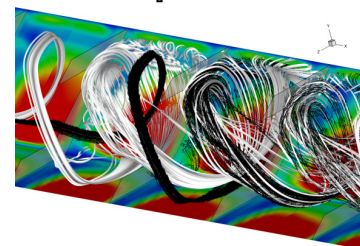
3.2 โดเมนและกริดที่ใช้ในการคำนวณ

สำหรับการไหลในท่อจัตุรัสนี้ โดเมนที่ใช้ในการคำนวณหาผลเฉลยเป็นเอลิเมนต์รูปทรงสี่เหลี่ยมและแบ่งกริดแบบไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform grid) โดยให้บริเวณใกล้ผิวท่อมีความละเอียดมากกว่า การหาผลกระทบบของกริดที่มีผลต่อคำตอบ ได้ทำการเปรียบเทียบผลเฉลยโดยใช้จำนวนของกริดที่แตกต่างกัน คือ ที่ 42000, 84000, 160000 และ 240000 พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนกริดจาก 160000 เป็น 240000 ค่าเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานมีค่าการเปลี่ยนแปลงเพียง 0.4 % ดังนั้นจึงเลือกจำนวนกริดเท่ากับ 160000 สำหรับการวิเคราะห์เชิงตัวเลข

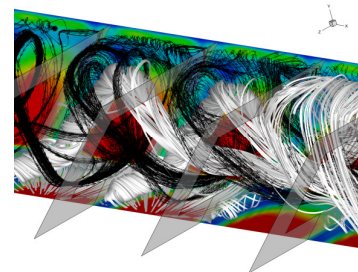
3.3 พฤติกรรมการไหล

รูปที่ 3 แสดงพฤติกรรมของการไหลในท่อที่มีการเพิ่มแผ่นออริฟิตวางเอียงที่ $BR = 0.2$, $Re = 800$ โดยคอนทัวร์สีจะแสดงถึงค่าเลขนัสเซลท์ที่บริเวณผิวท่อ รูปที่ 3(a) แสดงโครงสร้างการไหลของของไหลที่เกิดการกระแทกบริเวณผนังท่อด้านข้าง โดยแสดงการกระแทกที่ผนังสองโมดูลด้วยเส้นกระแสการไหลสีขาวและสีดำ จากรูปพบว่าบริเวณที่แสดงคอนทัวร์สีแดงจะเกิดการกระแทกของกระแสการไหลของของไหลซึ่งการกระแทกจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้นโดยแนวโน้มของการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความสูงของแผ่นออริฟิตมีค่าเพิ่มมากขึ้นซึ่งจะแสดงในรูปอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ในรูปที่ 5

รูปที่ 3(b) แสดงโครงสร้างการไหลสำหรับเส้นกระแสการไหลที่กระแทกบริเวณผนังท่อด้านข้างแสดงด้วยเส้นสีดำและกระแสการไหลที่กระแทกบริเวณผนังด้านล่างซึ่งแสดงด้วยเส้นสีขาว จากรูปพบว่าหลักจากที่เกิดการกระแทกที่ผนังทั้งด้านข้างและด้านล่าง กระแสการไหลทั้งสองจะรวมตัวกันโดยพันกันเป็นเกลียว แล้วไปกระแทกโมดูลต่อ ๆ ไป



(a)



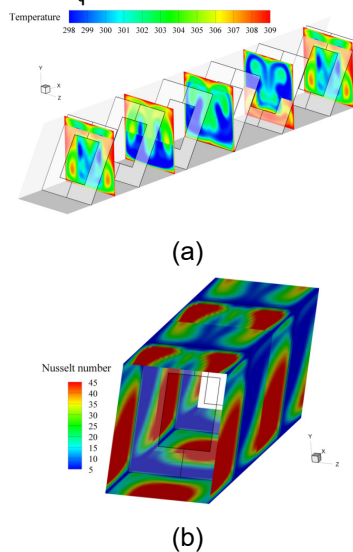
(b)

รูปที่ 3 โครงสร้างการไหลสำหรับท่อที่มีการติดตั้งแผ่นออริฟิตวางเอียงที่ $BR = 0.2$, $Re = 800$ สำหรับ (a) การกระแทกของกระแสการไหลที่ผนังด้านข้างของท่อ และ (b) การกระแทกของกระแสการไหลที่บริเวณผนังด้านข้างและด้านล่างของท่อ

3.4 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

จากรูปที่ 4(a) และ (b) แสดงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนสำหรับท่อที่มีการติดตั้งแผ่นออริฟิต โดยแสดงในรูปของการกระจายอุณหภูมิและการกระจายเลขนัสเซล

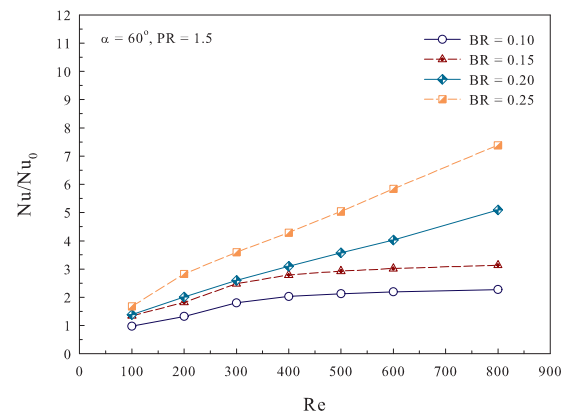
เมื่อพิจารณาค่าการกระจายอุณหภูมิพบว่าเมื่อเพิ่มแผ่นออริฟิตทำให้เกิดการผสมระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่กลางท่อกับบริเวณผิวท่อได้ดีกว่าท่อเปล่าที่ไม่มีการเพิ่มแผ่นออริฟิต และเมื่อพิจารณาจากรูปการกระจายเลขนัสเซลดังรูป 4(b) จะเห็นได้ว่าเกิดบริเวณแถบสีแดงซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดการกระแทกของกระแสการไหลเมื่อผ่านแผ่นออริฟิตโดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณผนังท่อทั้งสองด้านจะเกิดอัตราการถ่ายเทความร้อนมากกว่าบริเวณอื่น ๆ ส่วนบริเวณมุมท่อทั้ง 4 ด้านจะเกิดแถบสีฟ้า ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการถ่ายเทความร้อนน้อยที่สุด



รูปที่ 4 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน (a) คอนทัวร์อุณหภูมิและ (b) คอนทัวร์เลขนัสเซล สำหรับกรณี $BR = 0.2$, $Re = 800$

รูปที่ 5 การแปรเปลี่ยนของค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นออริฟิตวางเอียงทำมุมปะทะ 60° ที่ค่า BR ต่าง ๆ จากกราฟพบว่าเมื่อค่า Re และ BR เพิ่มขึ้นค่า อัตราส่วนเลขนัสเซลเพิ่มมากขึ้นด้วย พบว่าที่ $BR = 0.25$ จะให้ค่า

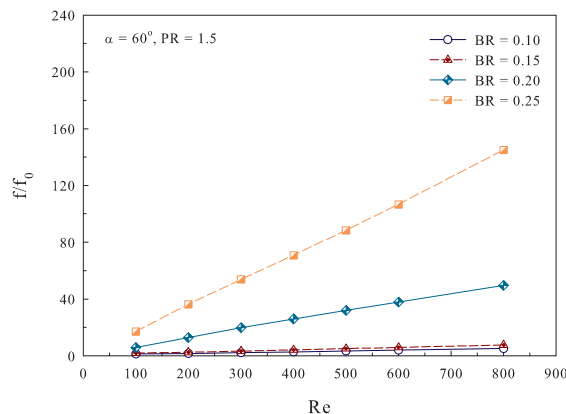
อัตราส่วนเลขนัสเซลมากที่สุดเมื่อเทียบกับท่อเปล่า สำหรับค่า $BR = 0.1$ ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลน้อยที่สุด ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 7.5 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าที่ $BR = 0.25$ และ $Re = 800$



รูปที่ 5 การแปรเปลี่ยนของค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นออริฟิตวางเอียงทำมุมปะทะ 60° ที่ค่า BR ต่าง ๆ

3.5 การสูญเสียความดัน

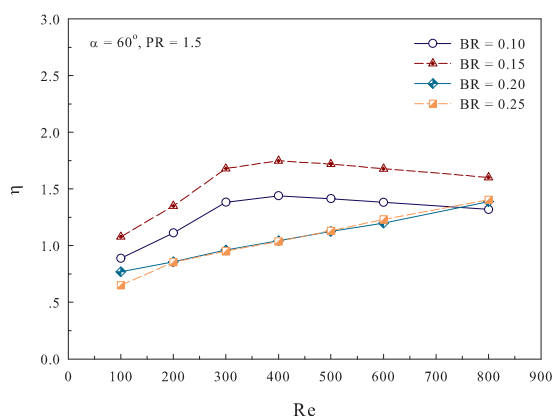
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานระหว่างท่อจัดรัศติดแผ่นออริฟิตต่อท่อจัดรัศผิวเรียบ, (f/f_0) ที่ค่า BR ต่าง ๆ ซึ่งเมื่อพิจารณาช่วงเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 100 ถึง 800 พบว่าค่าเลขเรย์โนลด์ที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นตาม และเมื่อทำการเพิ่มค่า BR ทำให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นกัน กรณีแผ่นออริฟิตวางเอียงทำมุมปะทะ 60° ที่ $BR = 0.25$ มีอัตราการเพิ่มค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงที่สุด โดยมีค่าเป็น 140 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่า จากกราฟสรุปได้ว่าการติดตั้งแผ่นออริฟิตทำมุม โดยมีค่า $BR = 0.1-0.25$ จะให้ค่าตัวประกอบเสียดทานอยู่ในช่วง 1-140 เท่า เมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบ



รูปที่ 6 การแปรเปลี่ยนของค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นออริฟิตวางเอียงทำมุมปะทะ 60° ที่ค่า BR ต่าง ๆ

3.6 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 7 แสดงความแปรเปลี่ยนค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่ค่าเลขเรย์โนลด์ต่าง ๆ ของท่อจัตุรัสติดตั้งแผ่นออริฟิตทำมุม โดยมีค่า $BR = 0.1-0.25$ พบว่า $BR = 0.15$ จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่สูงที่สุดที่ทำการพิจารณา โดยมีค่าเท่ากับ 1.75 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 400 ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่ได้จากการติดตั้งแผ่นออริฟิตที่มี $BR = 0.1-0.25$ จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.6-1.75



รูปที่ 7 การแปรเปลี่ยน η ของแผ่นออริฟิตวางเอียงทำมุมปะทะ 60° ที่ค่า BR ต่าง ๆ

4. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาด้วยวิธีการวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับพฤติกรรมกรไหล, การถ่ายเทความร้อน, ค่าความดันตกคร่อมและสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

สำหรับท่อเหลี่ยมที่มีการติดตั้งแผ่นออริฟิตทำมุม 60° ที่ $PR = 1.5$ โดยทำการศึกษาในช่วง $BR = 0.1-0.25$ และค่า $Re = 100-800$

พบว่าเมื่อเพิ่มแผ่นออริฟิตในท่อสี่เหลี่ยมจะเกิดการไหลแบบหมุนวนและเกิดการกระแทกของกระแสการไหลที่บริเวณผนังท่อ สำหรับกรณีที่ศึกษาให้ค่าอัตราการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 100-750% ค่าความดันตกคร่อมเท่ากับ 1-140 เท่า เมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบ และให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 0.6-1.75

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Han, J.C., Zhang, Y.M. and Lee, C.P., Augmented heat transfer in square channels with parallel, crossed and V-shaped angled ribs, *ASME J. Heat Transfer*, vol.113 (1991), pp.590-596.
- [2] Han, J.C., Zhang, Y.M. and Lee, C.P., Influence of surface heat flux ratio on heat transfer augmentation in square channels with parallel, crossed, and V-shaped angled ribs, *ASME J. Turbomachinery*, vol.114 (1992), pp.872-880.
- [3] Murata, A. and Mochizuki, S., Comparison between laminar and turbulent heat transfer in a stationary square duct with transverse or angled rib turbulators, *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol.44 (2001), pp.1127-1141.
- [4] Hans, V.S., Saini, R.P. and Saini, J.S., Performance of artificially roughened solar air heaters-A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol.13 (2009), pp.1854-1869.
- [5] Varun, Saini, R.P. and Singal, S.K., A review on roughness geometry used in solar air heaters, *Solar Energy*, vol.81 (2007), pp.1340-1350.
- [6] Patankar, S.V., Liu, C.H., and Sparrow, E.M., Fully developed flow and heat transfer in ducts

having streamwise-periodic variations of cross-sectional area, *ASME J. Heat Transfer*, vol.99 (1977), pp.180–186.

[7] Berner, C., Durst, F. and McEligot, D.M., Flow around baffles, *Trans. ASME J. Heat Transfer*, vol.106 (1984), pp.743–749.

[8] Webb, B.W. and Ramadhyani, S., Conjugate heat transfer in a channel with staggered ribs, *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol.28 (1985), pp.1679–1687.

[9] Kelkar, K.M. and Patankar, S.V., Numerical prediction of flow and heat transfer in a parallel plate channel with staggered fins, *ASME J. Heat Transfer*, vol.109 (1987), pp.25–30.

[10] Lopez, J.R., Anand, N.K., and Fletcher, L.S., Heat transfer in a three-dimensional channel with baffles, *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, vol.30 (1996), pp.189–205.

[11] Guo, Z. and Anand, N.K., Three-dimensional heat transfer in a channel with a baffle in the entrance region, *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, vol.31(1) (1997), pp.21–35.

[12] Patankar, S.V. (1980). *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, McGraw-Hill, New York.

[13] Incropera, F. and Dewitt, P.D. (1996), *Introduction to heat transfer*, 3rd edition John Wiley & Sons Inc.