



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25 19-21 ตุลาคม 2554 จังหวัดกระบี่

การไหลเป็นคาบและการถ่ายเทความร้อนของครีบบางในท่อจัตุรัส Periodic Flow and Heat Transfer for Thin Ribbed Square Channel

ณัฐพล บุญเรือน, ปรมินทร์ ป้องพัฒนกุล, วิฑาดา เจษฎารัตนชัย, ดำริห์ จันทร์แสงสุก และ พงษ์เจต พรหมวงศ์*

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

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลสำหรับการไหลแบบราบเรียบใน ท่อจัตุรัสที่มีอุณหภูมิผิวคงที่โดยใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข ระบบที่ให้ความสนใจมีการติดตั้งครีบบางที่ผนังของท่อทั้ง ด้านบนและด้านล่างโดยมีการจัดวางแบบเยื้อง ครีบมีอัตราส่วนระหว่างระยะห่างของครีบต่อความสูงของท่อ (Pitch ratio, *PR*) เท่ากับ 2 โดยปีกทำมุมปะทะที่ α = 45° และมีค่าอัตราส่วนการบล้อคการไหล (Blockage ratio, *BR*) เท่ากับ 0.10, 0.15, 0.20 และ 0.30 มีการจัดวางแบบปลายวีซี้ทวนกระแสการไหล (V-Upstream) ในการคำนวณใช้ วิธีปริมาตรสืบเนื่องและเลือกลำตับวิธีหาผลเฉลยแบบ SIMPLE ศึกษาในช่วง *Re* = 100 ถึง 800 จากผลการวิจัย ด้วยแบบจำลองเชิงตัวเลขชี้ให้เห็นว่าการเพิ่มครีบให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มมาก ขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อที่มีผนังเรียบ โดยเมื่อเพิ่มความสูงของครีบจะทำให้การถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบ เสียดทานเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้น *BR* = 0.3 จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานมากที่สุด เนื่องจาก ทำให้เกิดการไหลแบบหมุนวนและการกระแทกของการไหลที่บริเวณผิวของท่อ *คำสำคัญ*: ท่อจัตุรัส, ครีบบาง, การไหลเป็นคาบ, การถ่ายเทความร้อน, ความดันสูญเสีย

Abstract

Laminar periodic flow and heat transfer in a three dimensional square channel with isothermal walls and with $\alpha = 45^{\circ}$ V-rib pointing upstream; (diameter ratio (*b*/*H*), *BR*) in range from 0.1 to 0.3 and (Pitch ratio, *PR*) of 2 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 channel ranging from 100 to 800. Effects of rib on heat transfer and pressure loss in the square channel are studied. It is found that the V-rib performs better than the smooth square channel for all Reynolds number values. The present of V-rib leads to an increase in the Nusselt number and friction factor. The computational results reveal that the *BR* of 0.3 provided the highest on both heat transfer and friction factor.

Keywords: square channel, thin rib, periodic flow, heat exchanger, pressure loss





1. บทนำ

ในปัจจุบันข้อจำกัดในส่วนของอุปกรณ์ที่ใช้ใน การศึกษาวิจัยสำหรับการทดลองยังคงเป็นปัญหา สำหรับนักวิจัย เนื่องจากการทดลองต้องมีการลงทุน สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง นอกจากนี้ยังต้อง คำนึงถึงระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัยอีกด้วย รวมถึง ข้อจำกัดของอุปกรณ์ในการทดลองที่ไม่สามารถบอก รายละเอียดได้ถึงพฤติกรรมที่เกิดขึ้นในกระบวนการที่ ต้องการศึกษา ไม่ว่าจะเป็นจุดที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ ไม่เพียงพอ ค่าความละเอียดของอุปกรณ์หรือ เครื่องมือที่ใช้ในการวัด ดังนั้น จากป ัญหาข้างต้นจึงได้ มีผู้ทำการศึกษาวิจัยโดยใช้หลักการคำนวณเชิง คณิตศาสตร์หรือการวิเคราะห์ด้วยวิธีเชิงตัวเลข เข้ามา ช่วยในการอธิบายพฤติกรรมต่าง ๆ ของกระบวนการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกระบวนการถ่ายเทความร้อนซึ่งมี ความสำคัญเป็นอันดับต้น ๆ ในทางอุตสาหกรรม ได้มี นักวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาถึงเทคนิคการเพิ่มการ ้ถ่ายเทความร้อนด้วยการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์

เนื่องจากระบบท่อจริงในทางอุตสาหกรรมมีความ ยาวมากจึงมีผู้นำเสนอหลักการของการไหลที่มีการ ปรับตัวเต็มที่ในท่อ (fully develop) และมีการไหลแบบ เป็นคาบ (periodic) ที่ทำการศึกษาโดย Patankar และคณะ [1] ได้ถูกนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยใช้ ในการศึกษาลักษณะการไหลและพฤติกรรมการ ถ่ายเทความร้อนในท่อโดยการเพิ่มตัวสร้างการไหล ปั้นป่วนในลักษณะต่าง ๆ โดยการใช้วิธีการคำนวณ เชิงคณิตศาสตร์หรือการใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข Promvonge และคณะ [2] ทำการศึกษาวิจัยโดยอาศัย วิธีการใช้การคำนวณเชิงคณิตศาสตร์ของการถ่ายเท ความร้อนและพฤติกรรมการไหลแบบราบเรียบในท่อ ้จัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นเอียงมุม 45 องศาบนผนัง ้ด้านหนึ่งของท่อ จากการศึกษาพบว่าแผ่นกั้นวางเอียง ทำให้เกิดการไหลหมุนวนแบบคู่ซึ่งกระแสการไหลที่ หมุนวนนี้จะไปกระแทกส่วนที่เป็นผนังท่อทำให้เกิด การเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนและค่าสมรรถนะ การเพิ่มการถ่ายเทความร้อน โดยค่าสมรรถนะการ



้วงกลม พบว่าครีบสี่เหลี่ยมจัตุรัสให้สมรรถนะการ

พัฒนาการของเทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

ของพื้นผิวการถ่ายเทความร้อนแบบเป็นคาบ

(periodic) ในการติดตั้งตัวสร้างการไหลป^{ั้}นปวน ไม่ว่า

จะเป็นการใช้ครีบ ร่อง หรือแผ่นกั้นในลักษณะต่าง ๆ

ทั้งในส่วนของการศึกษางานวิจัยด้วยการทดลองและ

ในส่วนของการใช้วิธีเชิงคณิตศาสตร์ซึ่งการรวบรวม

จากผลงานวิจัยที่ได้กล่าวมาในข้างต้นจะเห็นได้ว่า

งานวิจัยส่วนใหญ่จะทำการศึกษาผลและอิทธิพลของ

้ครีบที่มีความหนา แผ่นกั้น ในท่อขนานและในท่อ

สี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นส่วนใหญ่ สำหรับการศึกษาอิทธิพล

ของครีบบางรูปตัววีในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสยังมีการ

นำเสนอในรูปแบบต่าง ๆ น้อยมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้

ได้ให้ความสนใจและทำการศึกษาถึงการคำนวณเชิง

ตัวเลขสำหรับการใหลแบบราบเรียบ 3

และคณะ

มิติ โดย

งานวิจัยเหล่านี้ได้ถูกนำเสนอโดย Hans

[11] และ Varun และคณะ [12]

ได้มีรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาถึง

ถ่ายเทความร้อนดีที่สุดในครีบทั้งหมดที่ทดลอง

ติดครีบบางรูปตัววีที่ผนังของท่อโดยมีการจัดวางใน ลักษณะวางตรงในทิศทางตรงข้ามกัน โดยศึกษาถึงผล ของสัดส่วนการ *BR* ของครีบวางเอียงที่มุมปะทะ α = 45° ที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความ ร้อน ลักษณะการใหลและค่าความเสียดทาน

2. โครงร่างการไหลและสมการที่เกี่ยวข้อง 2.1 ระบบท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่การเพิ่มครีบบางและ โดเมนที่ใช้ในการคำนวณ

ระบบที่ให้ความสนใจเป็นท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสติดตั้ง ครีบบางรูปตัววีทำมุม มีอัตราส่วนระหว่างระยะห่าง ระหว่างแผ่นต่อความสูงของท่อ (*P*/*H*) หรือระยะพิตท์ ของมีค่าคงที่เท่ากับ 2*H* ทำมุมปะทะ, α = 45° และมี อัตราความสูงของครีบต่อความสูงของท่อ (*b*/*H*) ในช่วง 0.1–0.3 ความสูงของท่อหน้าตัดจัตุรัสที่ใช้ใน การจำลองนี้มีค่า *H* = 0.05 m และสมมติท่อยาวมาก ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งพิจารณาการไหลเป็นแบบ periodic มีการจัดวางครีบบางแบบปลายวีชี้ทวน กระแสการไหลดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 รูปทรงของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งครีบบางรูปตัววีแบบปลายวีชี้ทวนกระแสการไหลและโดเมนที่ใช้ ในการคำนวณโดยคิดการไหลแบบ periodic ที่มีการสร้างตาข่ายสี่เหลี่ยมแบบไม่สม่ำเสมอ

2.2 สมมติฐานและสมการในการคำนวณ

การพัฒนาแบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการไหล ของของไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยม จัตุรัส โดยมีสมมติฐานดังต่อไปนี้

การไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อน
 เป็นแบบคงตัว 3 มิติ

การไหลเป็นแบบลามินาร์และเป็นแบบอัดตัว
 ไม่ได้

- คุณสมบัติของของไหลคงที่

 ไม่คำนึงแรงวัตถุและการสูญสลายเนื่องจาก ความหนืด

- ไม่คำนึงการแผ่รังสีความร้อน



จากสมมติฐานข้างต้น สำหรับการไหลในท่อ สี่เหลี่ยมจัตุรัสสมการควบคุมประกอบไปด้วยสมการ ความต่อเนื่อง สมการนาเวียร์–สโตก และสมการ พลังงาน สามารถเขียนในรูปเทนเซอร์ในระบบพิกัด คาร์ทีเซียนดังนี้

สมการความต่อเนื่อง:

$$\frac{\partial}{\partial x_i} \left(\rho u_i \right) = 0 \tag{1}$$

สมการโมเมนตัม:

$$\frac{\partial \left(\rho u_{i} u_{j}\right)}{\partial x_{j}} = -\frac{\partial p}{\partial x_{i}} + \frac{\partial}{\partial x_{j}} \left[\mu \left(\frac{\partial u_{i}}{\partial x_{j}} + \frac{\partial u_{j}}{\partial x_{i}} \right) \right]$$
(2)

สมการพลังงาน:

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

เมื่อ Γ คือ การแพร่ทางความร้อน กำหนดโดย

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

สมการควบคุมทั้งหมดจะถูกดิสเครทไทซ์โดยแบบ แผนวิธีผลต่างครอดราติค(Quadratic upstream interpolation for convective kinetics differencing scheme, QUICK) แล้วทำการคำนวณหาผลเฉลยตาม ระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่อง [9] โดยแผนผังวิธีแบบ SIMPLE (Semi-implicit method for pressure-linked equations) ในการลู่เข้าหาคำตอบจะพิจารณาที่ความ แตกต่างของค่าการแปรเปลี่ยนน้อยกว่า 10⁻⁵ ของทุก ตัวแปร

ในงานวิจัยนี้มีตัวแปรที่ให้ความสนใจอยู่ 4 ตัว แปร คือ เลขเรย์โนลด์ ตัวประกอบเสียดทาน เลขนัสเซิลท์ และ สมรรถนะเชิงความร้อน ซึ่งค่าเลข เรย์โนลด์นิยามโดย

$$\operatorname{Re} = \rho \overline{\mu} D_h / \mu \tag{5}$$

ค่าความดันสูญเสียแสดงในรูปของตัวประกอบเสียด ทาน, f คำนวณได้จากความดันตกคร่อม, ⊿p ตลอด ช่วงความยาว periodic ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส, L

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

CST 058

การถ่ายเทความร้อนแสดงในรูปของค่าเลขนัสเซิลที่จุด ใด ๆ ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$Nu_x = \frac{h_x D_h}{k} \tag{7}$$

ค่าเลขนัสเซิลเฉลี่ยสามารถคำนวณได้จาก

$$Nu = \frac{1}{A} \int Nu_x \partial A \tag{8}$$

สมรรถนะเชิงความร้อน,*TEF*

$$TEF = (Nu / Nu_0) / (f / f_0)^{1/3}$$
(9)

เมื่อ Nu_o และ f_o คือ เลขนัสเซิลและตัวประกอบเสียด ทานของท่อผิวเรียบ ตามลำดับ

พิจารณาทางเข้าและทางออกเป็นแบบ periodic translation สมมติอากาศที่ 300 K และมีค่าเลข พรานด์ 0.7 ใหลเข้าด้วยอัตราการใหลเซิงมวลคงที่ รูปร่างความเร็วทางเข้าและทางออกเหมือนกัน สมมติ คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศมีค่าคงที่ โดย อ้างอิงที่อุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางเข้า เงื่อนไขขอบเขตไม่มี การลื่นไถลที่ผนัง (no–slip conditions) หรือความเร็ว ที่ผนังมีค่าเท่ากับศูนย์ เป็นผนังที่อยู่กับที่ (stationary wall) กำหนดให้ที่ผนังทุกด้านของท่อจัตุรัสมีอุณหภูมิ ผิวคงที่ 310 K และสมมติให้ครีบบางเป็นแผ่นกั้น ความร้อนไม่สามารถผ่านได้

 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล
 3.1 การพิสูจน์ความถูกต้องของท่อจัตุรัสผิวเรียบ และจำนวนกริด



โครงสร้างของการไหลในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ ติดตั้งครีบบางรูปตัววีทำมุมปะทะ 45° ที่ค่าสัดส่วน BR = 0.2 และ Re = 500 จากรูปที่ 3 โครงสร้างการ ใหลในระนาบขวางการใหล พบว่าการเพิ่มครีบบางรูป ตัววีทำให้เกิดการหมุนวนและการกระแทกที่ผนังท่อ ของกระแสการไหล เมื่ออากาศไหลผ่านครีบจะเกิด การหมุนวนที่ด้านหลังของครีบและเกิดการกระแทก ของกระแสการใหลที่บริเวณผนังทั้งสี่ด้านของท่อ โดยเฉพาะบริเวณด้านหลังของครีบที่จะมีการ เหนี่ยวนำทำให้เกิดการกระแทกของกระแสซึ่งส่วนนี้ เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการเพิ่มการถ่ายเทความ ร้อน โดยแกนการไหลจะมีการเปลี่ยนตำแหน่ง แตกต่างกันออกไปดังรูป หน้าตัดดังกล่าวจะ สังเกตเห็นทั้งในส่วนของแกนการไหลของกระแสหลัก และกระแสย่อยที่หมุนวนในส่วนของมุมของท่อ สำหรับแกนการไหลแบบหมุนวนที่อยู่ดำแหน่งบริเวณ ใกล้กับผิวท่อทั้งสึ่ด้านแสดงว่าเกิดการกระแทกที่ ้าเริเวณผนังซึ่งจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ บริเวณนั้นเพิ่มสูงขึ้น

รูปที่ 4 แสดงกระแสการใหลสามมิติสำหรับครีบ บางที่มีการจัดวางแบบปลายวีชี้ทวนกระแสการไหล และการกระจายเลขนัสเซิลที่บริเวณผิวท่อ จะเห็นได้ ว่า เกิดการกระแทกของกระแสการไหลทั้งบริเวณที่ติด ครีบและไม่ติดครีบ โดยจุดที่เกิดการกระแทกจะเห็น เป็นแถบหรือคอนทัวร์เลขนัสเซิลสีแดงซึ่งแสดงให้เห็น ถึงอัตราการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้น รูป 4(a) การกระแทกของกระแสการไหลที่ผิวท่อด้านที่มีการ ติดครีบจะเกิดขึ้นที่บริเวณจุดกึ่งกลางของด้านนั้น



รูปที่ 3 โครงสร้างการไหลในระนาบขวางการไหล สำหรับครีบบาง *BR* = 0.2, *Re* = 500

5 10 15 20 25 30 35 40 4



รูปที่ 2 การตรวจสอบความถูกต้องของ (a) เลขนัสเซิลท์ (b) ตัวประกอบเสียดทานของท่อ สี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบ

ในการพิสูจน์ความถูกต้องของการถ่ายเทความ ร้อนและตัวประกอบเสียดทานในท่อจัตุรัสผิวเรียบที่ไม่ มีการเพิ่มการติดดั้งครีบ โดยทำการเปรียบเทียบ ระหว่างค่าที่ได้จากวิธีเชิงตัวเลขและผลเฉลยแม่นตรง ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันนี้ ซึ่งค่าผลเฉลยแม่นตรงนี้ สามารถศึกษาได้จากอ้างอิง [10] โดยพบว่าค่าที่ได้ จากวิธีเชิงตัวเลขจะมีความคลาดเคลื่อนจากผลเฉลย แม่นตรงประมาณ 0.5% ทั้งในส่วนของค่าเลขนัสเซิล และค่าตัวประกอบเสียดทาน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้โดยวิธี เชิงตัวเลขทั้งมีความสอดคล้องกันกับผลเฉลยแม่นตรง อย่างดีและมีความน่าเชื่อถือได้

สำหรับการไหลในท่อนี้ โดเมนที่ใช้ในการ คำนวณหาผลเฉลยเป็นเอลิเมนต์รูปทรงสี่เหลี่ยม เนื่องจากเหมาะสมกับการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเท ความร้อนและแบ่งกริดแบบไม่สม่ำเสมอ (Nonuniform grid) การหาผลกระทบของกริดที่มีผลต่อ คำตอบ ได้ทำการเปรียบเทียบผลเฉลยโดยใช้จำนวน ของกริดที่แตกต่างกันคือที่ 120,000 และ 240,000 พบว่าเมื่อขนาดเพิ่มขึ้นเป็น 240,000 ค่าเลขนัสเซิล เปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 0.7% ดังนั้นจึงเลือกจำนวนกริด เท่ากับ 120,000 ไปใช้ในการศึกษาอิทธิพลของ ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ต่อไป

3.2 พฤติกรรมการไหล







รูปที่ 4 โครงสร้างการไหลสามมิติสำหรับครีบบางและการกระจายเลขนัสเซิล *BR* = 0.2, *Re* = 500 โดยทิศทางการ ไหลจากซ้ายไปขวา (a) การกระแทกของกระแสการไหลที่บริเวณผนังด้านล่างและด้านบน (b) การกระแทกของ กระแสการไหลที่ผนังด้านข้าง

แต่สำหรับรูป 4(b) การกระแทกที่ผิวท่อที่ไม่ได้มี การติดครีบจะเกิดขึ้นที่ขอบทั้งสองด้านบริเวณ ด้านหน้าของครีบ ดังนั้นจากรูปจึงสามารถสรุปได้ว่า การเพิ่มครีบบางจะทำให้เกิดการกระแทกของกระแส การไหลที่ผิวท่อในทุก ๆ ด้านส่งผลให้เกิดการเพิ่ม อัตราการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน, ค่าความดันตกคร่อม และค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

จากรูปที่ 5 แสดงคอนทัวร์หรือการกระจายของ สนามอุณหภูมิสำหรับครีบบางที่ค่า *Re* = 500 และ *BR* = 0.2 ซึ่งพบว่าบริเวณชั้นชิดผิวความร้อนที่จะบาง กว่ากรณีท่อผิวเรียบซึ่งแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งแผ่น ครีบบางจะทำให้เกิดการก่อกวนบริเวณชั้นชิดผิว ซึ่ง ส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศและผนังมี อัตราที่สูงขึ้น จากรูปแสดงให้เห็นได้ว่าบริเวณผนัง ด้านข้างทั้งสองด้านจะมีชั้นชิดผิวความร้อนที่หนา มากกว่าผนังด้านบนและล่าง ซึ่งกรณีการเพิ่มครีบบาง *BR* = 0.3 ให้การถ่ายเทความร้อนที่บริเวณผนังสูงกว่า กรณีอื่น ๆ ในทุกกรณีที่ทดสอบ เนื่องจากกรณีนี้จะทำ ให้เกิดกระแสการไหลที่มีการกระแทกสูงที่สุด

รูปที่ 6 แสดงคอนทัวร์หรือการกระจายตัวของ เลขนัสเซิลสำหรับครีบบางที่ค่า *Re* = 500 และ *BR* = 0.2 พบว่าเกิดการกระแทกที่ผนังทั้งสี่ด้านของท่อทำ ให้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น โดยส่วนที่ มีการแสดงคอนทัวร์สีแดงจะเป็นส่วนที่มีการเกิดการ กระแทกของกระแสการใหลมากที่สุด โดยกรณีนี้จะ เกิดที่บริเวณผนังด้านบนและด้านล่างของท่อเป็นส่วน ใหญ่



รูปที่ 5 การกระจายของอุณหภูมิและโครงสร้างการ ไหลในระนาบขวางการไหลสำหรับครีบบาง BR = 0.2, Re = 500



รูปที่ 6 การกระจายเลขนัสเซิลที่บริเวณผนังท่อ สำหรับครีบบาง *BR* = 0.2, *Re* = 500

รูปที่ 7 แสดงการแปรเปลี่ยนค่าอัตราส่วน เลขนัสเซิลกับเลขเรย์โนลด์ ของครีบบางทำมุมปะทะ 45° ที่ค่า BR ต่าง ๆ จากกราฟพบว่าค่าอัตราส่วน เลขนัสเซิลมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อค่า Re และ BR เพิ่ม มากขึ้น โดยพบว่าที่ค่า BR = 0.3 มีค่าอัตราส่วน เลขนัสเซิลเพิ่มมากที่สุดเมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบโดยมี ค่าเท่ากับ 8 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าผิวเรียบที่ไม่ได้ มีการเพิ่มครีบ



100

รูปที่ 7 การแปรเปลี่ยนของค่าอัตราส่วนเลขนัสเซิลกับ เลขเรย์โนลด์ของครีบบางทำมุมปะทะ 45° ที่ค่า *BR* ต่าง ๆ

สำหรับค่าความดันสูญเสียหรือค่าความดันตก คร่อมแสดงไว้ในรูปของอัตราส่วนของค่าความดันตก คร่อมกรณีเพิ่มครีบบางต่ออัตราส่วนค่าความดันตก คร่อมของท่อเปล่าดังรูปที่ 8 ที่ค่า *BR* ต่าง ๆ ซึ่งเมื่อ พิจารณาช่วงเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 100 ถึง 800 พบว่า ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อ ค่า *Re* และค่า *BR* เพิ่มมากขึ้น โดยค่า *BR* = 0.3 จะ ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากที่สุดและค่า *BR* = 0.1 จะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน น้อยที่สุด จากกราฟสรุปได้ว่าการติดตั้งครีบบาง โดย มีค่า *BR* = 0.1–0.3 จะให้ค่าตัวประกอบเสียดทานอยู่ ในช่วง 1–50 เท่าเมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบ



รูปที่ 8 การแปรเปลี่ยนของค่าอัตราส่วนตัวประกอบ เสียดทานของครีบบางทำมุมปะทะ 45° ที่ค่า *BR* ต่าง ๆ

จากค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในรูปของ อัตราส่วนเลขนัสเซิลและค่าความดันสูญเสียในรูปของ อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน พบว่าที่ค่า *BR* = 0.3 มีค่าการเพิ่มขึ้นของอัตราการถ่ายเทความร้อนและค่า ความดันสูญเสียมากที่สุด ดังนั้นจึงทำการพิจารณา กรณีที่ทำการศึกษาด้วยค่าสมรรถนะการเพิ่มการ ถ่ายเทความร้อนดังสมการที่ (9) ซึ่งพิจารณาทั้งใน ส่วนของการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและค่าความดัน สูญเสีย ซึ่งแสดงดังรูปที่ 9

รูปที่ 9 แสดงความแปรเปลี่ยนค่าสมรรถนะการ เพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่ค่าเลขเรย์โนลด์ต่าง ๆ ของ ท่อจัตุรัสติดตั้งครีบบางทำมุม โดยมีค่า *BR* = 0.1–0.3 พบว่าค่าเลขเรย์โนลด์ที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้น ของสมรรถนะเชิงความร้อนในช่วงเลขเรย์โนลด์ที่ พิจารณา โดยค่า *BR* = 0.15 จะให้ค่าสมรรถนะเชิง ความร้อนที่สูงที่สุดที่ทำการพิจารณา โดยมีค่าเท่ากับ 2.6 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 800 ค่าสมรรถนะเชิง ความร้อนที่ได้จากการติดตั้งครีบบางที่ *BR* = 0.1–0.3 จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.9–2.6



รูปที่ 9 การแปรเปลี่ยน *TEF* ของครีบบางทำมุมปะทะ 45[°] ที่ค่า BR ต่าง ๆ

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาพฤติกรรมการไหลและลักษณะการ ถ่ายเทความร้อนของครีบบางรูปตัววีทำมุม 45° โดยมี ค่า PR = 2 และ BR = 0.1–0.3 ทำการศึกษาในช่วง การไหลราบเรียบที่ค่า Re = 100–800 มีการจัดวาง ครีบบางแบบปลายวีชี้ทวนกระแสการไหล พบว่า ค่า การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสำหรับการเพิ่มครีบกรณี ที่ทำการศึกษามีค่าอยู่ในช่วง 100–800% แต่อย่างไรก็ ตามการติดตั้งครีบบางก็ทำให้ค่าความดันตกคร่อม เพิ่มมากขึ้นด้วย โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1–50 เท่าเมื่อ เทียบกับท่อเปล่า และเมื่อพิจารณาทั้งส่วนของการ เพิ่มการถ่ายเทความร้อนและค่าความดันตกคร่อมใน รูปของสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนพบว่า ค่า BR = 0.15 ให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเท ความร้อนมากที่สุดถึงแม้ว่าจะไม่ใช่กรณีที่ให้ค่า



อัตราส่วนเลขนัสเซิลสูงที่สุดก็ตาม แต่กรณีนี้ก็ให้ อัตราส่วนการเพิ่มขึ้นระหว่างเลขนัสเซิลและความดัน ตกคร่อมซึ่งเป็นสัดส่วนที่เหมาะสมที่สุดในกรณีที่ ทำการศึกษา โดยมีค่าเท่ากับ 2.6 ค่าค่าเลขเรย์โนลด์ เท่ากับ 800 ซึ่งเป็นเลขเรย์โนลด์ที่สูดที่สุดใน การศึกษา

จากการศึกษาโครงสร้างการไหลของครีบบางใน ช่วงความสูงที่ศึกษาพบว่า เมื่อเทียบกับงานวิจัยที่ ผ่านมากจะเห็นได้ว่าจุดเด่นของครีบบางคือทำให้เกิด การกระแทกของกระแสการไหลเนื่องจากครีบบางจะ ทำการรบกวนแกนการไหลหลัก ซึ่งต่างจากครีบที่มี ความหนาและมีความสูงไม่มากนักซึ่งใช้อยู่กันใน ป[ั]จจุบันจะรวบกวนเพียงแค่ขอบนอกของวงหมุนใน การไหลเท่านั้น จึงสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อน เพียงเล็กน้อย

5. เอกสารอ้างอิง

[1] Patankar, S.V., Liu, C.H. and Sparrow, E.M., Fully developed flow and heat transfer in ducts having streamwise–periodic variations of crosssectional area, *ASME J. Heat Transfer*, vol.99 (1977), pp.180–186.

[2] Promvonge, P., Sripattanapipat, S., Tamna, S., Kwankaomeng, S. and Thianpong, C., Numerical investigation of laminar heat transfer in a square channel with 45 deg inclined baffles, *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, vol.37 (2010), pp.170–177.

[3] Amiri, A., Vafai, K. and Kuzay, T.M., Effects of boundary conditions on non–Darcian heat transfer through porous media and experimental comparison. *Numer. Heat Transfer*, Part A: Appl, vol.27 (1995), pp.651–664. [4] Sripattanapipat, S. and Promvonge, P., Numerical analysis of laminar heat transfer in a channel with diamond-shaped baffles, *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, vol.36 (2009), pp.32–38.

[5] 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.

[6] Han, J.C. and Zhang, Y.M., High performance heat transfer ducts with parallel broken and V– shaped broken ribs, *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol.35 (1992), pp.513–523.

[7] Liou, T.M. and Hwang, J.J., Turbulent heat transfers augmentation and friction in periodic fully developed channel flows, *ASME J. Heat Transfer*, vol.114 (1992), pp.56–64.

[8] Liou, T.M. and Hwang, J.J., Effect of ridge shapes on turbulent heat transferand friction in a rectangular channel, *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol.36 (1993), pp.931–940.

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

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

[11] Hans, V.S., Saini, R.P. and Saini, J.S., Performance of artificially roughened solar air heaters-a review, *Renewable Sustainable Energy Rev*, vol.13 (2009), pp.1854–1869.

[12] 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.