

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20-22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

การไหลราบเรียบเป็นคาบและการถ่ายเทความร้อนในช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสด้วยแผ่นกั้น เอียงมุม 20°

Laminar Periodic Flow and Heat Transfer in a Square Channel with 20° Inclined Baffles

สมบัติ ทำนา^{1*}, วราคม เนติน้อย², นเรนศ ชัยธานี¹, ธิติพัทธ์ ลิ้มกุล³ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์³

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น เลขที่ 1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง
เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เลขที่ 51 หมู่ 1 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย
เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530

³ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

*ผู้ติดต่อ: sombat_ae@tni.ac.th, 02-763-2600 ต่อ 2924, 02-763-2600 ต่อ 2900

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์เชิงตัวเลขสำหรับพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและการไหลแบบราบเรียบเป็นคาบ (laminar periodic flow) ในช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสสามมิติ (3D) ที่มีอุณหภูมิผนังท่อคงที่ โดยติดแผ่นกั้นวางเอียงมุม 20° ที่ผนังบนและล่างในแนวตรงกัน ซึ่งมีอัตราส่วนการกั้นการไหล ($BR=b/H$) เท่ากับ 0.10 0.15 0.20 0.25 และ 0.30 ตามลำดับ ในการคำนวณใช้วิธีปริมาตรสืบเนื่องและอัลกอริทึมแบบ SIMPLE สำหรับการไหลของของไหลในเทอมของเลขเรย์โนลด์ส (Reynolds Number) อยู่ในช่วง Re เท่ากับ 100 ถึง 1000 ผลการคำนวณชี้ให้เห็นว่าการถ่ายเทความร้อนของแผ่นกั้นที่มีอัตราส่วนการกั้นการไหลเท่ากับ 0.30 ให้ค่าสูงสุดในทุกเลขเรย์โนลด์ส และพบว่าค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (η) ของการติดแผ่นกั้นมุมปะทะ 20° ในช่วงเลขเรย์โนลด์สที่ทำการศึกษาให้ค่าสูงสุดเท่ากับ 2.4 ที่อัตราส่วนการกั้นการไหลเท่ากับ 0.20 และเลขเรย์โนลด์สเท่ากับ 1000

คำหลัก: การไหลเป็นคาบ, ช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส, การไหลแบบราบเรียบ, การถ่ายเทความร้อน, แผ่นกั้น

Abstract

The article presents a numerical investigation on laminar periodic flow and heat transfer behaviors in a three-dimensional isothermal wall square channel fitted with 20° -inline angled baffles on the upper and lower channel walls for five flow blockage ratios, $BR=b/H=0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ and 0.30 . The computations based on the finite volume method with the SIMPLE algorithm have been conducted for the fluid flow in the form of Reynolds numbers ranging from 100 to 1000. Effects of different baffle heights on heat transfer and flow behaviors in the channel are examined. The computational results

reveal that the maximum heat transfer is at $BR=0.30$. The maximum thermal enhancement factor of using the 20° angled baffle is found to be about 2.4 at $BR=0.20$ and $Re=1000$.

Keywords: Periodic flow, Square channel, Laminar flow, Heat transfer, Baffle.

1. บทนำ

การเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนในท่อผิวเรียบวิธีที่ได้ผลดีมากที่สุดอย่างหนึ่งคือการติดตั้งบนผนังภายในท่อ ทำให้ส่งผลต่อการเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ซึ่งวิธีการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนนี้ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ทางด้านวิศวกรรม เช่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกระจัดรัด เครื่องทำอากาศร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ และแผงระบายความร้อนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งที่ผ่านมาได้มีผู้ที่ศึกษาเรื่องที่เกี่ยวข้องดังนี้ Patankar และคณะ [1] ทำการคำนวณการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อ โดยคิดลักษณะการไหลเป็นคาบในการไหลที่มีการพัฒนาเต็มที่ Berner และคณะ [2] ศึกษาพฤติกรรมของการไหลแบบราบเรียบในช่องขนานที่ติดแผ่นกัน พบว่าที่เลขเรย์โนลด์ต่ำกว่า 600 จะไม่เกิด vortex shedding Webb และ Ramadhyani [3] ได้คำนวณเชิงตัวเลขของการไหลและการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานผิวเรียบที่ติดแผ่นกันแนวเยื้องกัน โดยพิจารณาลักษณะการไหลเป็นคาบในการไหลที่มีการพัฒนาเต็มที่ของ Patankar และคณะ [1] Sripattanapipat และ Promvong [4] วิเคราะห์เชิงตัวเลขการถ่ายเทความร้อนแบบราบเรียบ 2 มิติในช่องขนานที่ติดแผ่นกันรูปเพชรที่ผนังบนและล่างแนวเยื้องกัน โดยคิดลักษณะการไหลเป็นคาบ ใช้เงื่อนไขอุณหภูมิที่ผนังคงที่ เลขเรย์โนลด์ที่ใช้ช่วง 100-600 พบว่าเมื่อลดมุมที่ยอดรูปเพชรจะทำให้ค่าเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น และยังพบว่าทุกค่าเลขเรย์โนลด์ที่ใช้ มุมยอดเพชรที่ 5° และ 10° ให้ค่าตัวประกอบเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (η) สูงกว่ามุมยอดเพชรที่ 0° (แผ่นกันแบน) Promvong และคณะ [5] นำเสนอการถ่ายเทความร้อนช่วงการไหลแบบราบเรียบในช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสด้วยแผ่นกันวางเอียงมุมปะทะ 45° โดยติดแผ่นกันที่ผนังด้านเดียวพิจารณา

ค่าอัตราส่วนการกั้นการไหลที่ $BR=b/H=0.1-0.5$ เปรียบเทียบกับแผ่นกันวางขวาง (มุมปะทะ 90°) พบแผ่นกันวางเอียงมุมปะทะ 45° จะเกิดวอร์เทกซ์ (P-vortex) หมุนควงจัดกระทบที่ผนังทำให้การถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าแผ่นกันวางขวาง

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการคำนวณเชิงตัวเลขสำหรับการไหลแบบราบเรียบ 3 มิติ พิจารณาลักษณะการไหลเป็นคาบในช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกันวางเอียงท่ามุมปะทะ 20° ที่ผนังด้านในทั้งสองด้านแนวตรงกัน โดยศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการกั้นการไหล (BR) ของแผ่นกันที่มีค่าตัวประกอบเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

รายการสัญลักษณ์

BR	อัตราส่วนการกั้นการไหล, ($=b/H$)
b	ความสูงของแผ่นกัน, m
D_h	เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส
f	ตัวประกอบเสียดทาน
H	ความสูงของช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส, m
h_x	สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉพาะที่, W/m^2-K
k	ค่าการนำความร้อน, $W/m-K$
L	ความยาวคาบของส่วนทดสอบ (หรือระยะพิตช์, H), m
Nu	เลขนัสเซลท์
p	ความดันสถิตย์, Pa
Pr	เลขพรานด์เทิล
Re	เลขเรย์โนลด์ส
T	อุณหภูมิ, K
u_i	ความเร็วในทิศทาง x_i , m/s
\bar{u}	ความเร็วเฉลี่ยในช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส, m/s
	ตัวอักษรกรีก
μ	ความหนืดสมบูรณ์, $kg/s-m$

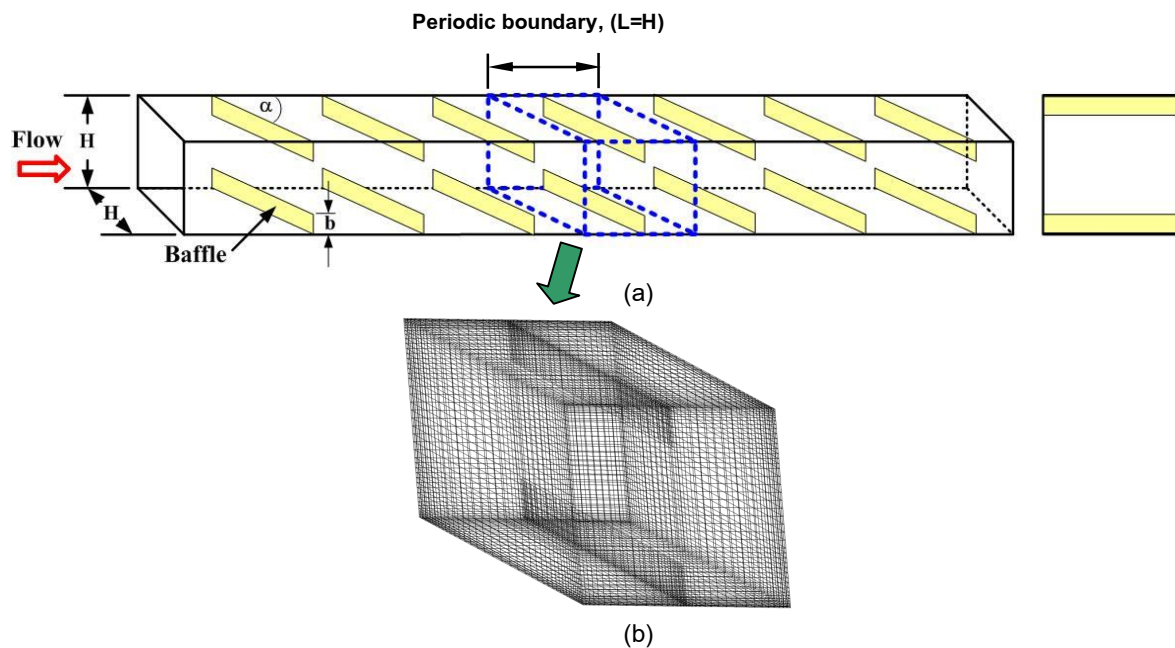
- Γ สภาพการแพร่ทางความร้อน
- α มุมปะทะ, องศา
- η ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน
- ρ ความหนาแน่น, kg/m^3

- ตัวห้อย
- ave เฉลี่ย
 - in ทางเข้า
 - 0 ท่อผิวเรียบ
 - w ผัน

2. สมมติฐานและสมการควบคุมการไหล

2.1 รูปทรงช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสและแผ่นกั้น

ปัญหาที่ทำการศึกษาเป็นการไหลในช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสติดแผ่นกั้นภายในที่ผนังด้านบนและด้านล่างในแนวตรงกัน ซึ่งแผ่นกั้นที่ติดนั้นมีระยะพิตซ์คงที่เท่ากับ 0.05 m และวางเอียงทำมุมปะทะ, $\alpha = 20^\circ$ อัตราส่วนการกั้นการไหล (BR) เท่ากับ 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 ตามลำดับ ความสูงของช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส (H) ที่ใช้ในการคำนวณมีค่าเท่ากับ 0.05 m ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งพิจารณาการไหลเป็นคาบ โดยโดเมนที่ใช้ในการคำนวณตัดเอียงตามแผ่นกั้น



รูปที่ 1 (a) รูปทรงช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสและแผ่นกั้น และ (b) กริดของโดเมนที่ใช้ในการคำนวณการไหลเป็นคาบ

2.2. พื้นฐานทางคณิตศาสตร์

การพัฒนาแบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการไหลของไหลและการถ่ายเทความร้อนในช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยมีสมมติฐานดังต่อไปนี้

- การไหลของไหลและการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบคงตัว 3 มิติ
- การไหลเป็นแบบราบเรียบและอัดตัวไม่ได้
- คุณสมบัติของไหลคงที่

- ไม่คำนึงแรงวัตถุนและการสูญเสียเนื่องจากความหนืด

- ไม่คำนึงการแผ่รังสีความร้อน

จากสมมติฐานข้างต้น สำหรับการไหลราบเรียบในช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส สมการควบคุมประกอบไปด้วย สมการความต่อเนื่อง 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 คือการแพร่ทางความร้อน กำหนดโดย

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

สมการควบคุมทั้งหมดจะถูกดิสcretize โดยแบบแผนวิธีผลต่างควอดราติก(Quadratic upstream interpolation for convective kinetics differencing scheme, QUICK) แล้วทำการคำนวณหาผลเฉลยตามระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่อง [6] โดยใช้อัลกอริทึมแบบ SIMPLE (Semi-implicit method for pressure-linked equations) การลู่เข้าหาคำตอบจะพิจารณาที่ความแตกต่างของค่าการแปรเปลี่ยนน้อยกว่า 10^{-5} ของทุกตัวแปร ยกเว้นค่าการแปรเปลี่ยนของสมการพลังงานพิจารณาที่ 10^{-8}

สำหรับงานวิจัยนี้มีตัวแปรที่พิจารณาดังต่อไปนี้ เลขเรย์โนลด์ส นิยามโดย

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

ตัวประกอบเสียดทาน, f คำนวณได้จากความดันตกคร่อม, Δp ตลอดช่วงความยาว periodic ของช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส, L

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

การถ่ายเทความร้อนคำนวณหาจากค่าเลขนัสเซลท์เฉพาะที่ ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

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

ค่าเลขนัสเซลท์เฉลี่ยสามารถคำนวณได้จาก

$$Nu = \frac{1}{L} \int Nu_x dx \quad (8)$$

ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน, η

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

เมื่อ Nu_0 และ f_0 คือ เลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานของช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบตามลำดับ

สำหรับการไหลในช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสนี้ โดเมนที่ใช้ในการคำนวณเป็นเอลิเมนต์รูปทรงสี่เหลี่ยมและแบ่งกริดแบบไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform grid) การหาผลกระทบของกริดที่มีผลต่อคำตอบ ได้ทำการเปรียบเทียบผลเฉลยโดยใช้จำนวนของกริดที่แตกต่างกันคือที่ 50,000 และ 100,000 พบว่าเมื่อขนาดเพิ่มขึ้นเป็น 100,000 ค่าเลขนัสเซลท์เปลี่ยนแปลงน้อยกว่า 1.5% ดังนั้นจึงเลือกจำนวนกริดเท่ากับ 50,000 ไปใช้ในการศึกษาอิทธิพลของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ต่อไป

2.3 เงื่อนไขขอบเขต

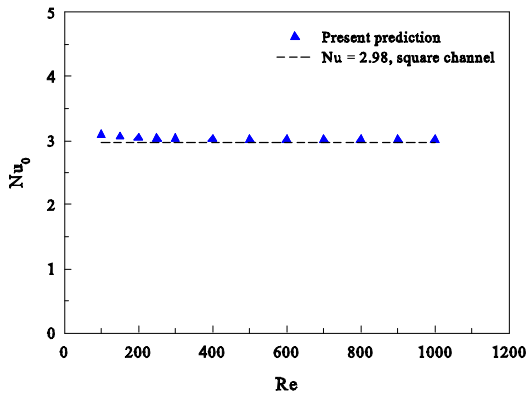
พิจารณาทางเข้าและทางออกเป็นแบบ periodic translation สมมติอากาศอุณหภูมิ 300 K มีค่าเลขพรานด์เทิล 0.7 ไหลเข้าด้วยอัตราการไหลเชิงมวลคงที่ รูปร่างความเร็วทางเข้าและทางออกเหมือนกัน คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศค่าคงที่ โดยอ้างอิงอุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางเข้า ไม่มีการลื่นไถลที่ผนัง (no-slip conditions) และเป็นผนังที่อยู่กับที่ (stationary wall) กำหนดให้ที่ผนังทุกด้านของช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีอุณหภูมิผิวคงที่ 310 K สมมติไม่มีการถ่ายเทความร้อนที่ผนังของแผ่นกัน

3. ผลการคำนวณและการอภิปราย

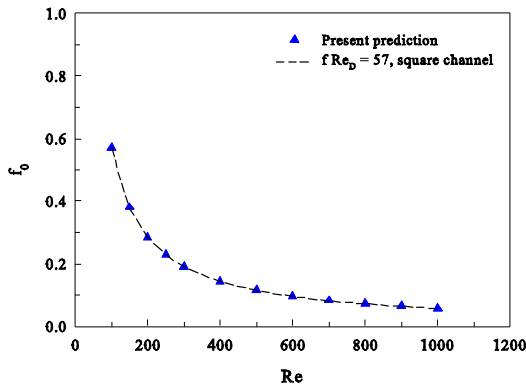
3.1 การตรวจสอบความถูกต้อง

ในการตรวจสอบความถูกต้องนั้นจะพิจารณาการถ่ายเทความร้อนซึ่งอยู่ในรูปของเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานของช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบที่ไม่ติดแผ่นกัน โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณเชิงตัวเลขและผลเฉลยแม่นยำตรงภายใต้เงื่อนไขเดียวกันนี้ ซึ่งค่าผลเฉลยแม่นยำตรงสามารถเปิดดูได้ในหนังสือ[7] สำหรับรูปที่ 2a แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Re กับ Nu พบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณเชิงตัวเลขจะมีความคลาดเคลื่อนจากผลเฉลยแม่นยำตรงประมาณ 1.7% ส่วนรูปที่ 2b แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า Re กับ f พบว่าค่าที่ได้จาก

การคำนวณเชิงตัวเลขจะมีความคลาดเคลื่อนจากผลเฉลยแม่นยำตรงประมาณ 0.8% ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้โดยวิธีเชิงตัวเลขทั้งค่าเลขนัยเซิลท์และค่าตัวประกอบเสียดทานมีความสอดคล้องกันกับผลเฉลยแม่นยำตรงเป็นอย่างดี



(a)



(b)

รูปที่ 2 ความถูกต้องสำหรับการไหลในช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบของ (a) เลขนัยเซิลท์ (b) ตัวประกอบเสียดทาน

3.2 โครงสร้างการไหล

การไหลในช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสติดแผ่นกั้นเอียงทำมุมปะทะ 20° โดยการไหลมีทิศตามแกน +x ดังรูปที่ 3 อธิบายได้จากเวกเตอร์ความเร็วของการไหลที่หน้าตัดตามขวางที่ตำแหน่งด้านหน้าสุดถึงท้ายสุดของแผ่นกั้นเอียงในช่วงคาบการไหล 9 โมดูล ค่า Re = 1000 และอัตราส่วนการกั้นการไหล, BR = 0.20 พบว่ากระแสการไหลจะหมุนควงเป็นรูปคล้ายวงรีสองวงบริเวณครึ่งบนและครึ่งล่างของช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสใน

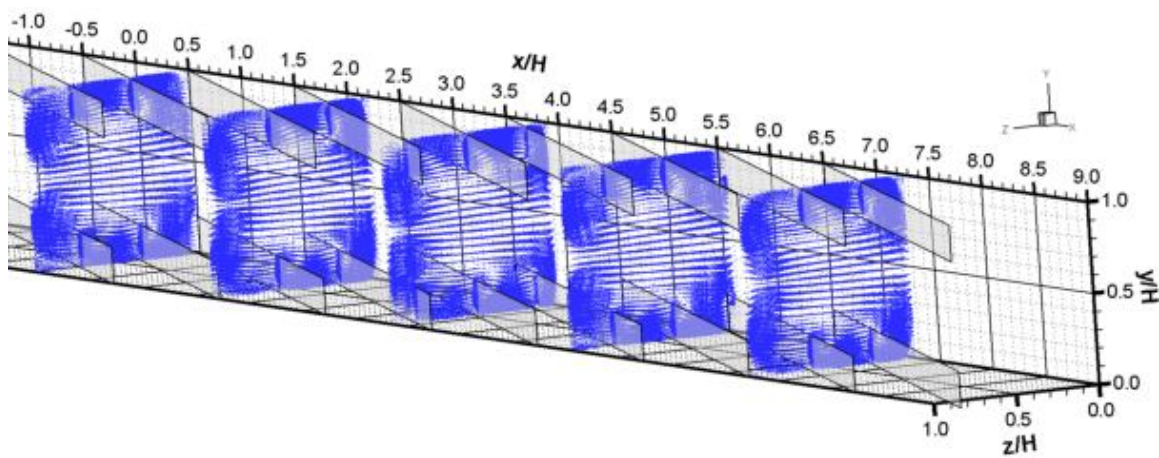
ทิศสวนทางกัน(วงการหมุนครึ่งบนหมุนทิศตามเข็มนาฬิกา ส่วนวงการหมุนครึ่งล่างหมุนทิศสวนเข็มนาฬิกา) ซึ่งการหมุนควงนี้ทำให้กระแสการไหลตกกระทงที่ผนังด้านข้าง(z/H = 0.0) มากกว่าผนังด้านอื่น เมื่อมีการเพิ่มความสูงของแผ่นกั้นหรือเพิ่มค่า BR มากขึ้น จะทำให้เกิดการไหลกระทงที่ผนังด้านข้าง(z/H = 0.0) มากขึ้นตามลำดับ

3.3 การถ่ายเทความร้อน

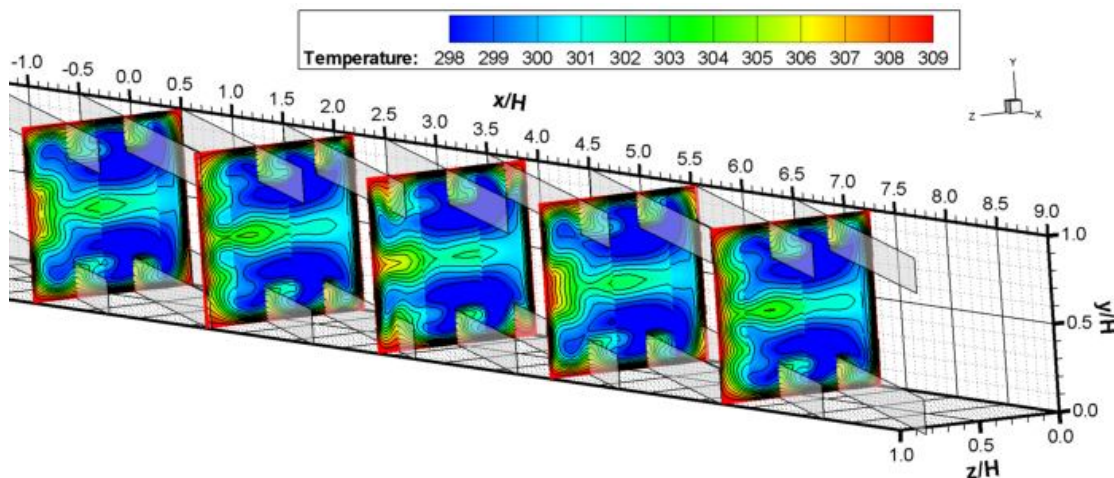
จากรูปที่ 4 แสดงคอนทัวร์ของอุณหภูมิบนหน้าตัดตามขวางที่ตำแหน่งหน้าสุดถึงตำแหน่งท้ายสุดของแผ่นกั้นเอียงทำมุมปะทะ 20° ที่ค่า Re = 1000, BR = 0.20 โดยแสดงช่วงคาบการไหล 9 โมดูล พบว่าที่ผนังด้านข้าง(z/H = 0.0) จะมีชั้นขีดผิวความร้อนที่บางมากกว่าด้านอื่น ซึ่งสืบเนื่องมาจากการไหลหมุนควงกระทงอย่างรุนแรงที่บริเวณนี้ จึงส่งผลให้ผนังด้านนี้ถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุดในผนังทั้งสี่ด้าน รองลงมาคือที่ผนังด้านบนและด้านล่าง(ด้านที่ติดแผ่นกั้น) ซึ่งมีการถ่ายเทความร้อนที่สมมาตรกัน และยังพบอีกว่าเกิดการกระจายของอุณหภูมิไม่ดีตรงบริเวณใกล้ใจกลางของวงการหมุน(บริเวณสีน้ำเงินเข้ม) ทั้งสองวง โดยที่ค่า BR น้อย ๆ บริเวณที่การกระจายของอุณหภูมิไม่ดีจะมีรูปเข้าใกล้รูปวงรีและมีขนาดใหญ่ เพราะความสูงของแผ่นกั้นไม่เพียงพอที่จะเหนี่ยวนำให้เกิดการหมุนควงแล้วไปกระทงที่ผนังได้ จึงไม่เกิดการผสมกันระหว่างอากาศที่เย็นกับอากาศที่รับความร้อนจากผนังท่อ และไม่สามารถทำให้ชั้นขีดผิวของความร้อนบางลงได้ เมื่อมีการเพิ่มความสูงของแผ่นกั้นหรือเพิ่มค่า BR มากขึ้นจะทำให้ชั้นขีดผิวความร้อนบางมากขึ้น เพราะแผ่นกั้นสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการไหลหมุนควงกระทงที่ผนังด้านข้าง(z/H = 0.0) ได้มากขึ้น จึงมีการผสมกันระหว่างอากาศร้อนและอากาศเย็นได้ดีขึ้น(บริเวณสีน้ำเงินเข้มน้อยลง) ส่งผลให้การกระจายของอุณหภูมิตีขึ้นและถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้นตามลำดับ ส่วนรูปที่ 5 แสดงคอนทัวร์ของอุณหภูมิบนหน้าตัดตามยาวที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของแผ่นกั้นเอียงทำมุมปะทะ 20° ที่ค่า Re = 1000, BR = 0.20 โดยแสดงช่วงคาบการไหล 2 โมดูล พบว่าบริเวณหน้าตัดตรง

กลางของช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสมีการกระจายของอุณหภูมิไม่ดี ส่งผลให้บริเวณนี้ถ่ายเทความร้อนไม่ดี ส่วนที่ผนังด้านข้างที่ใกล้ $z/H = 0.0$ จะมีการกระจายอุณหภูมิต่ำกว่าผนังด้านข้างที่ใกล้ $z/H = 1.0$ ทั้งนี้เกี่ยวเนื่องมาจากกระแสการไหลที่พุ่งชนหรือกระแทกที่ผนังบริเวณนั้น ทำให้ชั้นขีดยืดของอุณหภูมิลงเป็นผลให้เกิดการถ่ายเทความร้อนที่บริเวณนี้สูงตาม รูปที่ 6 แสดงคอนทัวร์ของเลขนัสเซลที่ตำแหน่งใด ๆ บนผนังของช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกันวางเอียงทำมุมปะทะ 20° ที่ค่า $Re = 1000$, $BR = 0.20$ โดยแสดงช่วงคาบการไหล 2 โมดูล พบว่าเลขนัสเซลที่ค่าสูง ๆ จะเกิดขึ้นมากที่ผนังด้านข้างที่ค่า $z/H = 0.0$ ของช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส ทำให้ค่าเฉลี่ยเลขนัสเซลที่ผนังด้านนี้

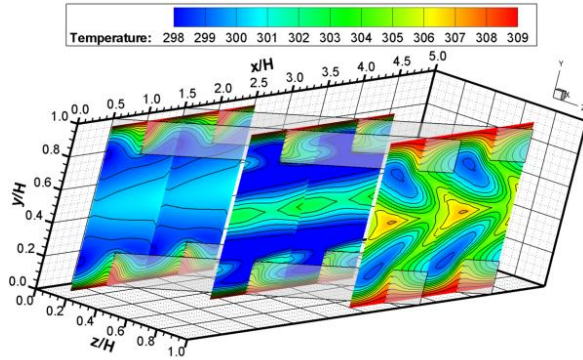
มีค่ามากที่สุดจึงมีการถ่ายเทความร้อนได้สูงสุด เมื่อเพิ่ม BR ค่าเลขนัสเซลก็เพิ่มสูงตาม ในรูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์สกับอัตราส่วนเลขนัสเซลที่ของช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสติดแผ่นกันต่อเลขนัสเซลที่ของช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบ (Nu/Nu_0) โดยมีอัตราส่วนการกันการไหล (BR) เป็น 0.10, 0.15, 0.20, 0.25 และ 0.30 ตามลำดับ ซึ่งพิจารณาช่วงเลขเรย์โนลด์ส ระหว่าง 100 ถึง 1000 จะพบว่าแผ่นกันทุกค่า BR จะมีค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลที่เพิ่มขึ้นตามค่าเลขเรย์โนลด์ส ซึ่งกรณี $BR = 0.30$ มีค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลที่สูงสุด รองลงมาคือกรณี $BR = 0.25$, 0.20, 0.15 และ 0.10 ตามลำดับ



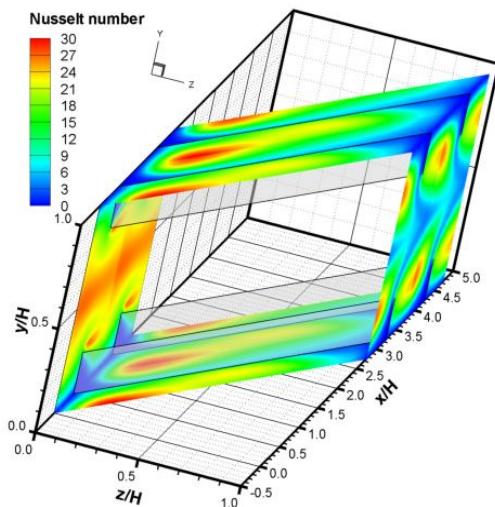
รูปที่ 3 เวกเตอร์ความเร็วที่หน้าตัดตามขวางของการไหลในช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ $Re = 1000$, $BR = 0.20$



รูปที่ 4 คอนทัวร์ของอุณหภูมิตที่หน้าตัดตามขวางในช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัส $Re = 1000$, $BR = 0.20$



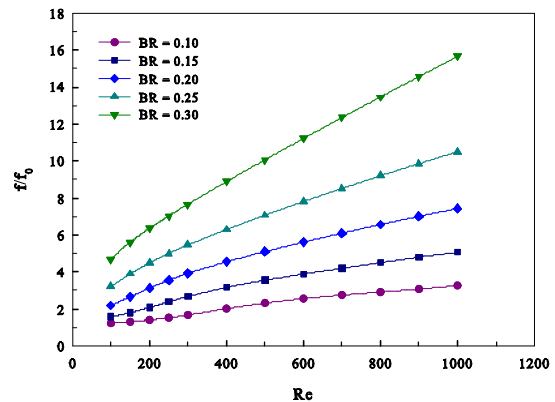
รูปที่ 5 คอนทัวร์ของอุณหภูมิที่หน้าตัดตามยาวในช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ $Re = 1000$, $BR = 0.20$



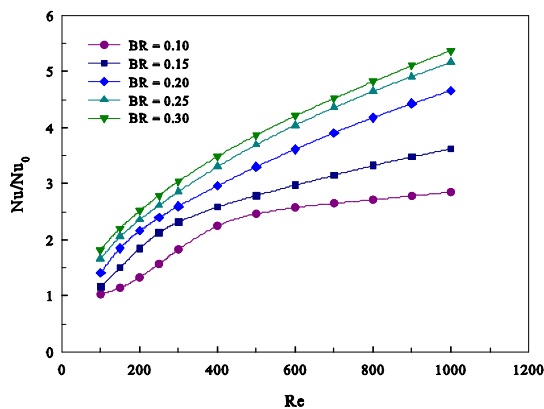
รูปที่ 6 คอนทัวร์ของเลขนีสเซิลท์ที่ผนังของช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ $Re = 1000$, $BR = 0.20$

3.4 การสูญเสียความดัน

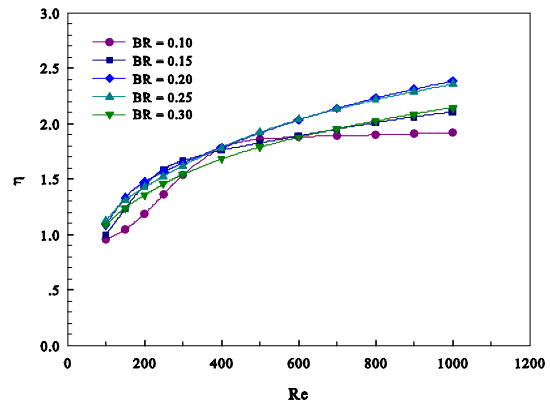
รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์สกับอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานระหว่างช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสติดแผ่นกั้นต่อช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบ, (f/f_0) ที่ค่า $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาช่วงเลขเรย์โนลด์สระหว่าง 100 ถึง 1000 พบว่าค่าเลขเรย์โนลด์สที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นตาม กรณีแผ่นกั้นที่ $BR = 0.30$ มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่า f/f_0 มากและมีค่า f/f_0 มากที่สุดเนื่องจากแผ่นกั้นมีความสูงมากจึงการกั้นการไหลมาก และกรณีแผ่นกั้นที่ $BR = 0.10$ มีค่า f/f_0 น้อยสุด



รูปที่ 8 การแปรเปลี่ยนค่า f/f_0 ของแผ่นกั้นที่ BR ต่างกัน



รูปที่ 7 การแปรเปลี่ยนค่า Nu/Nu_0 ของแผ่นกั้นที่ BR ต่างกัน



รูปที่ 9 การแปรเปลี่ยน η ของแผ่นกั้นที่มี BR ต่างกัน

3.5 ตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 9 แสดงความแปรเปลี่ยนค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน, η ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์ต่างๆ ของการไหลในช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสติดแผ่นกัน $BR = 0.10, 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 ตามลำดับ พบว่าค่าเลขเรย์โนลด์ส์ที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลให้ค่า η เพิ่มขึ้น ยกเว้นกรณี $BR = 0.10$ จะให้ค่า η เพิ่มขึ้นตามค่าเลขเรย์โนลด์ส์ในช่วงจาก 100 ถึง 500 ซึ่งจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นที่สูงมาก เมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มมากกว่านั้นจะไม่มีผลทำให้ค่า η สูงขึ้นเพราะช่วงนี้กระแสดำเนินการไหลมีความเร็วมากพอที่จะข้ามแผ่นกันไปได้โดยไม่เกิดการเหนี่ยวนำให้หมุนควงและกระแทกที่ผนังท่อ ส่วนกรณีแผ่นกันที่ $BR = 0.15, 0.20, 0.25$ และ 0.30 นั้นมีความสูงพอที่จะขวางกระแสดำเนินการไหลและเหนี่ยวนำให้เกิดการหมุนควงกระแทกที่ผนังรุนแรงขึ้นตามลำดับ

4. สรุปผลการคำนวณ

จากผลการคำนวณเชิงตัวเลขข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ติดแผ่นกันวางเอียงทำมุมปะทะ 20° ที่ค่า BR และช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ที่ทำการศึกษาจะช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้มากถึง 5.5 เท่า และมีความเสียหายเพิ่มขึ้นมากถึง 16 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับช่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบ และให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน, η ที่มากกว่า 1 (ถ่ายเทความร้อนดีกว่าท่อผิวเรียบ) และยังพบว่าแผ่นกันที่ค่า $BR = 0.20$ ให้ค่า η สูงสุดถึง 2.4 ที่ค่า $Re = 1000$ ส่วนกรณีค่า $BR = 0.30$ จะมีการถ่ายเทความร้อนมากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามค่าความเสียหายก็เพิ่มมากที่สุดด้วย จึงส่งผลให้ η ต่ำกว่ากรณี $BR = 0.20$ ซึ่งให้ความเสียหายที่เกิดขึ้นน้อยกว่า จึงให้ค่า η สูงสุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น ที่สนับสนุนการวิจัยและสถานที่ในการดำเนินงานวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Patankar, S.V., Liu, C.H., Sparrow, E.M. (1977). Fully developed flow and heat transfer in ducts having streamwise-periodic variations of cross-sectional area, *ASME J. Heat Transfer*, vol. 99, pp. 180 – 186.
- [2] Berner, C., Durst, F., McEligot, D.M. (1984). Flow around baffles, *Trans. ASME J. Heat Transfer*, vol. 106, pp. 743 – 749.
- [3] Webb, B.W., Ramadhyani, S. (1985). Conjugate heat transfer in a channel with staggered ribs, *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol. 28, pp. 1679 – 1687.
- [4] Sripattanapipat, S., Promvong, P. (2009). Numerical analysis of laminar heat transfer in a channel with diamond-shaped baffles, *International Communications in Heat and Mass Transfer* vol. 36(1), October 2008, pp. 32 – 38.
- [5] Promvong, P., Sripattanapipat, S., Tamna S., Kwankaomeng, S., Thianpong, C. (2010). Numerical investigation of laminar heat transfer in a square channel with 45° inclined baffles. *International Communication of Heat and Mass Transfer* vol. 37(2), October 2009, pp. 170 - 177.
- [6] Patankar S.V., (1980). *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*, McGraw-Hill, New York.
- [7] Incropera, F. and Dewitt, P.D. (1996). *Introduction to heat transfer*, John Wiley & Sons Inc, New York.