

การศึกษาเชิงตัวเลขของการพาความร้อนแบบปั่นป่วนในช่องการไหลที่มี แผ่นกั้นรูปตัววีปรับแต่ง

Numerical Study of Turbulent Convection in a Channel with Modified V-Baffles

สมชาย ศรีพัฒนะพิพัฒน์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530

Email: ssomchai@mut.ac.th

และ พงษ์เจต พรหมวงศ์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Email: kppongje@kmitl.ac.th

Manuscript received December 5, 2021

Revised December 17, 2021

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเชิงตัวเลขของการไหลแบบปั่นป่วนและการถ่ายเทความร้อนในช่องการไหลสามมิติที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีปรับแต่ง บนผนังด้านล่างของช่องการไหล โดยมีเงื่อนไขการใส่ฟลักซ์ความร้อนที่ผนังด้านล่าง ส่วนผนังด้านบนหุ้มฉนวนไว้ ในการคำนวณใช้วิธีการเชิงตัวเลขแบบปริมาตรสี่เหลี่ยมร่วมกับระเบียบวิธี Coupled ในการศึกษาอัตราการไหลที่ใช้จะเปลี่ยนแปลงไปตามเลขเรย์โนลด์ส (Reynolds number, Re) ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 4000 จนถึง 20000 จากการจำลองแสดงให้เห็นการหมุนวนตามกันเป็นคู่เกิดขึ้นเมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกั้นรูปตัววี การไหลดังกล่าวจะทำให้เกิดการกระแทกของการไหลบริเวณผนังทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (η) สูงสุดเท่ากับ 2.25 ที่สัดส่วน $BR_f=0.04$, $BR_b=0.20$ และ $Re=4000$

คำสำคัญ: การไหลแบบปั่นป่วน, ช่องการไหล, แผ่นกั้นรูปตัววี

ABSTRACT

A numerical work has been conducted to examine turbulent flow and heat transfer characteristics in a three-dimensional channel with modified V-baffles placed on the lower wall. The heat flux condition is applied only to the lower wall while the upper wall is insulated. The computations are based on the finite volume method with the Coupled algorithm for the airflow rate in terms of Reynolds numbers ranging from 4,000 to 20,000. The computation reveals that pairs of counter-rotating vortices created by the modified V-baffle induce impingement/attachment flows on the walls leading to greater increase in heat transfer over the heated wall. The maximum value of the thermal enhancement factor, η is found to be 2.25 at $BR_f=0.04$, $BR_b=0.20$ and $Re=4000$.

Keywords: Turbulent flow, Channel flow, V-baffle

1. บทนำ

การเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยการติดแผ่นกั้นบนผนังภายในท่อเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้ทางด้านวิศวกรรม เช่น เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบกะทัดรัด เครื่องทำอากาศร้อนจากแผงรับแสงอาทิตย์ และแผงระบายความร้อนอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาถึงลักษณะการถ่ายเทความร้อน การไหลและความดันตกคร่อมโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Patankar และคณะ [1] ศึกษารูปแบบการไหลและการถ่ายเทความร้อนแบบเป็นคาบของการไหลที่มีการพัฒนาเต็มที่ Kellar and Patankar [2] ศึกษาพฤติกรรมของการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นวางเอียง จากผลการศึกษาสรุปได้ว่าค่าการถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มความสูงของแผ่นกั้นและทำการลดระยะห่างระหว่างแผ่น Webb และ Ramadhyani [3] คำนวณเชิงตัวเลขของลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนในช่องขนานผิวเรียบที่ติดแผ่นกั้นแนวเอียงกันโดยใช้เงื่อนไขพื้นฐานลักษณะการไหลเป็นคาบในการไหลที่มีการพัฒนาเต็มที่ของ Patankar และคณะ [1] Sripattanapipat และ Promvong [4] วิเคราะห์เชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนแบบราบเรียบ 2 มิติในช่องขนานที่ติดแผ่นกั้นรูปเพชรที่ผนังบนและล่างแนวเอียง โดยคิดลักษณะการไหลเป็นคาบ โดยใช้เงื่อนไขอุณหภูมิที่ผนังคงที่ เลขเรย์โนลด์ส์ที่ใช้ช่วง 100-600 พบว่าเมื่อลดมุมที่ยอดรูปเพชรจะทำให้ค่าเลขนัสเซลล์และตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น และยังพบว่าทุกค่าเลขเรย์โนลด์ส์ที่ใช้มุมยอดเพชรที่ 5 องศา และ 10 องศา ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงกว่ามุมยอดเพชรที่ 0 องศา (แผ่นกั้นแบน) Ko และ Anand [5] ทำการศึกษาวิจัยการทดลองของการไหลแบบปั่นป่วนในช่องขนานที่มีการเพิ่มแผ่นกั้นแบบพรุนและพบว่าค่าการเพิ่มแผ่นกั้นแบบพรุนจะทำให้พฤติกรรมการไหลเปลี่ยนไปซึ่งให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าการใช้แผ่นกั้นแบบธรรมดา Han และ Zhang [6] นำเสนอการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นในท่อจัดด้วยครีบทังหมด 7 รูปทรงของครีบทังวางเว้นช่วง พบว่าครีบริ้วรูปตัววีวางเว้นช่วงมุม 60 องศา ให้การถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าท่อผิวเรียบ 4.5 เท่า และดีกว่าครีบริ้ววางต่อเนื่อง การทดลองทั้งหมดได้ติดครีบทังผนังสองด้านและค่าความสูงครีบทังต่อความสูงท่อมีค่า 0.0625 และระยะพิชต์ต่อความสูงครีบทังมีค่า 10 Promvong และคณะ [7] ศึกษาค่าการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลแบบราบเรียบในท่อเหลี่ยมที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นเอียงทำมุม

45 องศา ที่ผนังของท่อด้านเดียว โดยมีการจัดวางแผ่นกั้นที่อัตราส่วนระหว่างระยะห่างของครีบทังต่อความสูงของท่อเท่ากับ 1 จากการศึกษาพบว่าค่าการเพิ่มแผ่นกั้นวางขวางทำให้เกิดการไหลแบบหมุนวนแบบคู่ซึ่งการหมุนวนที่เกิดขึ้นจะช่วยให้เกิดการกระแทกที่บริเวณด้านบนและล่างของท่อรวมถึงด้านข้างท่อในส่วนที่ติดกับปลายครีบทัง การเกิดการไหลกระแทกทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 2.2 ที่ค่า BR เท่ากับ 0.4 และ Re เท่ากับ 1200 Liou และ Hwang [8] ได้ทำการทดลองครีบทังเหลี่ยมจัตุรัส ครีบทังสามเหลี่ยม และครีบทังครึ่งวงกลม พบว่าครีบทังเหลี่ยมจัตุรัสให้สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนดีที่สุดในครีบทังทั้งหมดที่ทดลอง Tamna และคณะ [9] ได้ทำการทดลองและการจำลองของการใส่แผ่นกั้นรูปตัววี 3 ซึ่งติดตั้งในช่องการไหล 3 รูปแบบคือติดตั้งผนังด้านเดียว ติดตั้งผนังสองด้านตรงกัน ติดตั้งผนังสองด้านเอียงกัน พบว่าการติดตั้งแผ่นกั้นบนผนังด้านเดียวให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุด Promvong และ Skullong [10] ได้ศึกษาการติดตั้งแผ่นกั้นแบบปีกเล็กรูปตัววีในท่อกลม พบว่าแผ่นกั้นแบบปีกเล็กรูปตัววีช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน โดยการสร้างการหมุนวนของกระแสอากาศภายในท่อ Promvong และ Skullong [11] ได้ทำการทดลองและการจำลองการไหลในท่อกลมที่สอดใส่แผ่นติดตั้งครีบทังตัววีไว้กลางท่อ พบว่าทำให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นโดยมีสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดเท่ากับ 2.07

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใส่แผ่นกั้นรูปตัววีก่อนหน้านี้ พบว่าความสูงของยอดตัววีด้านหน้าและด้านหลังมักจะใช้ค่าเท่ากัน ทำให้เกิดหัวข้อในงานวิจัยนี้ เพื่อที่จะศึกษาอิทธิพลของการปรับลดความสูงของยอดแผ่นกั้นทางด้านหน้า โดยคงความสูงของยอดแผ่นกั้นทางด้านหลังไว้คงที่ว่าจะส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อนและความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในช่องการไหลอย่างไร โดยอาศัยการจำลองการไหลแบบปั่นป่วนแบบสามมิติ

2. โครงร่างการไหลและพื้นฐานทางคณิตศาสตร์

2.1 รูปทรงของช่องการไหลที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีปรับแต่ง

ระบบที่ให้ความสนใจเป็นช่องการไหลติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีปรับแต่งบนผนังด้านล่างของช่องการไหล ดังแสดงในรูปที่ 1 ในการจำลองกำหนดความสูงของช่องการไหล (H) เท่ากับ 0.05 m ความ

กว้างของยอดตัววีของแผ่นกั้น (L) เท่ากับ 0.05 m โดยจัดวางแผ่นกั้นเรียงต่อกันไป มีระยะห่าง (P) เท่ากับ 0.05 m แผ่นกั้นที่ใช้มีความสูงของยอดตัววีด้านหน้า (h_f) เท่ากับ 0.010 m, 0.008 m, 0.006 m, 0.004 m, 0.002 m และ 0 m ส่วนความสูงของยอดตัววีทางด้านหลัง (h_b) มีค่าคงที่เท่ากับ 0.010 m เมื่อคิดเป็นสัดส่วนเทียบกับความสูงของช่องการไหลก็จะได้ดังต่อไปนี้

$$BR_f = (h_f/H) = 0.20, 0.16, 0.12, 0.08, 0.04, 0.00$$

$$BR_b = (h_b/H) = 0.20$$

มุมเอียงแผ่นกั้นรูปตัววีเมื่อเทียบกับแนวกระแสการไหลทางเข้า มีมุม (θ) เท่ากับ 45 องศา

2.2 พื้นฐานทางคณิตศาสตร์

การคำนวณเชิงตัวเลขของการไหลและการถ่ายเทความร้อนมีสมมติฐานดังต่อไปนี้ การไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบคงตัว 3 มิติ การไหลเป็นแบบปั่นป่วนและอัดตัวไม่ได้ คุณสมบัติของของไหลคงที่ ไม่คิดผลของแรงโน้มถ่วงและไม่คิดผลของการแผ่รังสีความร้อน

จากสมมติฐานข้างต้นสำหรับการไหลในช่องการไหลสมการควบคุมประกอบไปด้วยสมการความต่อเนื่อง สมการนาเวียร์-สโตกส์ และสมการพลังงาน สามารถเขียนในรูปเทนเซอร์ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนดังนี้

สมการความต่อเนื่อง

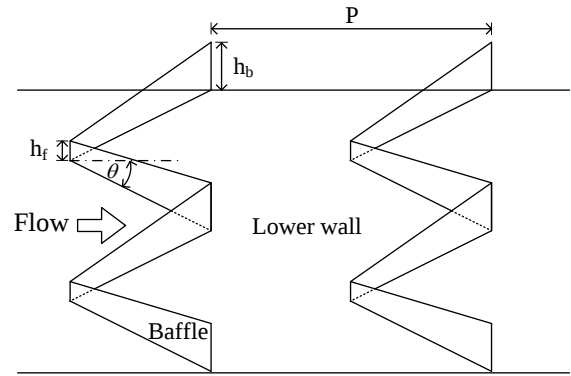
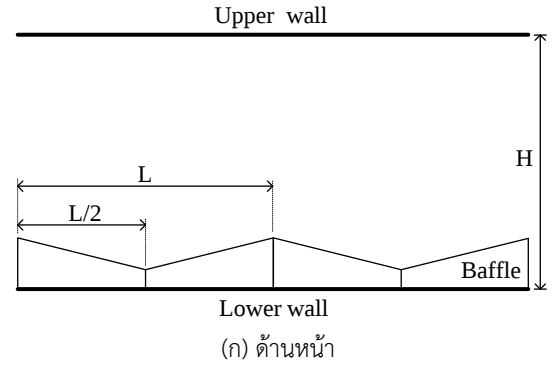
$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

สมการนาเวียร์-สโตกส์

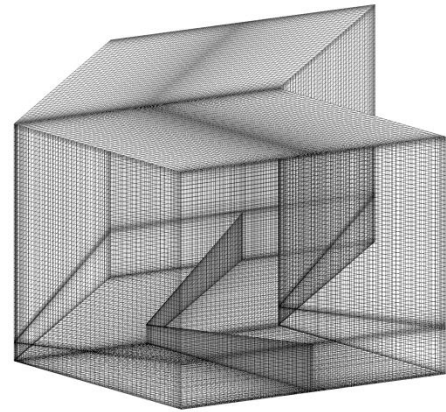
$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) &= -\frac{\partial p}{\partial x_i} \\ &+ \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \rho \overline{u'_i u'_j} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

สมการพลังงาน

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



(ข) ด้านข้าง



(ค) โดเมน

รูปที่ 1 รูปร่างของช่องการไหลที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววี (ก) มุมมองด้านหน้า (ข) มุมมองด้านข้าง (ค) โดเมนและกริดที่ใช้ในการคำนวณ

ในการจำลองการไหลแบบปั่นป่วนจะมีเทอมเพิ่มขึ้นมาทำให้ต้องมีแบบจำลองเข้ามาช่วยในการคำนวณ โดยอาศัยสมมติฐานของ Boussinesq

$$-\overline{\rho u_i' u_j'} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \left(\rho k + \mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \delta_{ij} \quad (4)$$

ในการจำลองนี้จะใช้แบบจำลอง GEKO k- ω ที่ช่วยทำนายการไหลบริเวณใกล้ผิวได้ดี ซึ่งมีสมการดังต่อไปนี้

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega \quad (6)$$

รายละเอียดของแบบจำลองและวิธีการเชิงตัวเลขแบบปริมาตรสี่เหลี่ยมสามารถดูได้ในเอกสารอ้างอิง [12], [13]

ในงานวิจัยนี้มีตัวแปรที่ให้ความสนใจอยู่ 4 ตัวแปร คือ เลขเรย์โนลด์ส ตัวประกอบเสียดทาน เลขนัสเซิลต์ และค่าสมรรถนะเชิงความร้อน

ซึ่งค่าเลขเรย์โนลด์สนิยามโดย

$$Re = \frac{\rho \bar{u} D_h}{\mu} \quad (7)$$

ตัวประกอบเสียดทาน, f คำนวณได้จากความดันตกคร่อม, Δp ตลอดช่วงความยาวของช่องการไหล, L

$$f = \frac{(\Delta p/L) D_h}{(1/2) \rho \bar{u}^2} \quad (8)$$

การถ่ายเทความร้อนคำนวณหาจากค่าเลขนัสเซิลต์เฉพาะที่ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$Nu_x = \frac{h_x D_h}{\lambda} \quad (9)$$

ค่าเลขนัสเซิลต์เฉลี่ยสามารถคำนวณได้จาก

$$Nu = \frac{1}{A} \int Nu_x dA \quad (10)$$

ค่าสมรรถนะเชิงความร้อน, η [10]

$$\eta = \frac{Nu/Nu_0}{(f/f_0)^{16/55}} \quad (11)$$

เมื่อ Nu_0 และ f_0 คือ เลขนัสเซิลต์และตัวประกอบเสียดทานของช่องการไหลผิวเรียบ ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนนี้พิจารณาในกรณีกำลังปั๊มที่ใช้ในช่องการไหลผิวเรียบและช่องการไหลที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีปรับแต่งมีค่าเท่ากัน

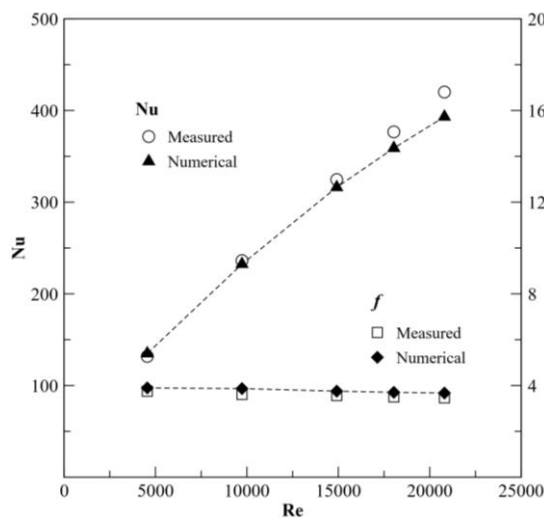
2.3 เงื่อนไขขอบเขต

เงื่อนไขทางเข้าและทางออกของช่องขนานเป็นการไหลแบบเป็นคาบในช่วงการไหลพัฒนาเต็มที่ โดยในการคำนวณจะระบุอัตราการไหลเชิงมวลที่ทางเข้าและทางออกเท่ากัน ซึ่งอัตราการไหลดังกล่าวหาได้จากค่าตัวเลขเรย์โนลด์ส (Re) ที่ใช้ในการวิเคราะห์ ส่วนอุณหภูมิอากาศในตอนเริ่มต้นเท่ากับ 300 K ผนังด้านล่างมีการใส่ฟลักซ์ความร้อน 600 W/m^2 ส่วนผนังด้านบนเป็นฉนวนความร้อน ตัวแผ่นกั้นก็ให้เป็นฉนวนความร้อนเช่นเดียวกัน

3. ผลการจำลองและการอภิปราย

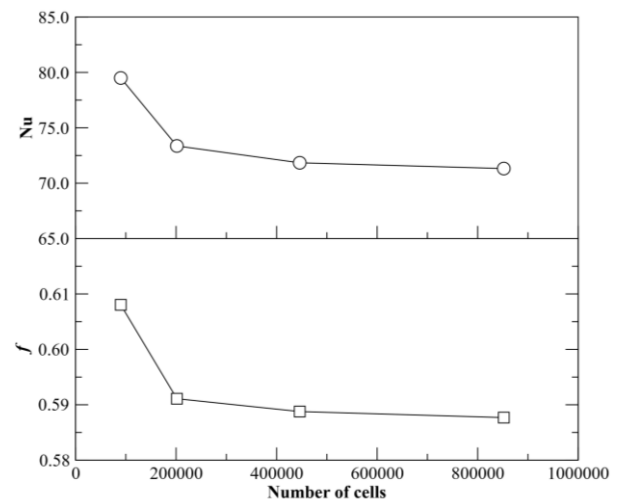
3.1 การตรวจสอบแบบจำลองและจำนวนเซลล์ที่ใช้

ในการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่ใช้ ทำได้โดยการวิเคราะห์การไหลและการถ่ายเทความร้อนในช่องการไหลที่มีความใกล้เคียงกับช่องการไหลที่ทำการศึกษา ในที่นี้จะนำผลการทดลองของ Tamna และคณะ [9] ซึ่งเป็นการไหลผ่านแผ่นกั้นรูปตัววีแบบปกติ มาใช้ในการตรวจสอบ ผลการเปรียบเทียบแสดงในรูปที่ 2 จากรูปพบว่าผลการจำลองมีความสอดคล้องกับผลการทดลองเป็นอย่างดี โดยมีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของ Nu เท่ากับ 3.55 เปอร์เซ็นต์ ส่วนค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของ f เท่ากับ 5.66 เปอร์เซ็นต์ ทำให้แบบจำลอง GEKO k- ω ที่เลือกใช้มีความน่าเชื่อถือ



รูปที่ 2 การเปรียบเทียบผลการจำลองกับผลการทดลอง

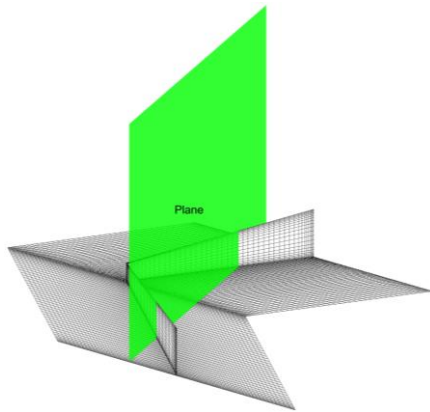
การตรวจสอบความเป็นอิสระของจำนวนเซลล์ทำได้โดยการเพิ่มจำนวนเซลล์ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งการเพิ่มจำนวนเซลล์ไม่ส่งผลต่อค่าที่วิเคราะห์จากแบบจำลอง ซึ่งในที่นี้จะวิเคราะห์จากค่า Nu และ f เมื่อใช้จำนวนเซลล์ 4 ค่าคือ 90000 เซลล์ 201600 เซลล์ 446040 เซลล์ และ 852000 เซลล์ จากผลการเปรียบเทียบดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่า Nu และ f มีค่าความแตกต่างน้อยลงเมื่อใช้จำนวนเซลล์มากขึ้น เมื่อเพิ่มจำนวนเซลล์จาก 90000 เป็น 201600 ค่า Nu และ f มีความแตกต่างกัน 8.36 เปอร์เซ็นต์และ 2.87 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และเมื่อเพิ่มจำนวนเซลล์จาก 201600 เป็น 446040 ค่า Nu และ f มีความแตกต่างกัน 2.12 เปอร์เซ็นต์และ 0.39 เปอร์เซ็นต์ สุดท้ายเมื่อเพิ่มจำนวนเซลล์จาก 446040 เป็น 852000 ค่า Nu และ f มีความแตกต่างกัน 0.73 เปอร์เซ็นต์และ 0.18 เปอร์เซ็นต์ สรุปได้ว่าการเลือกใช้จำนวนเซลล์ประมาณ 400000 ก็เพียงพอสำหรับการจำลอง



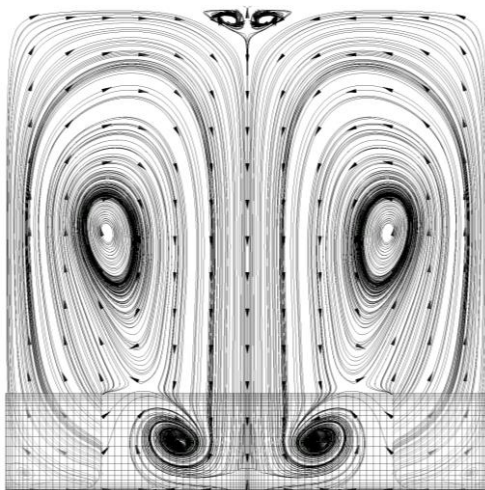
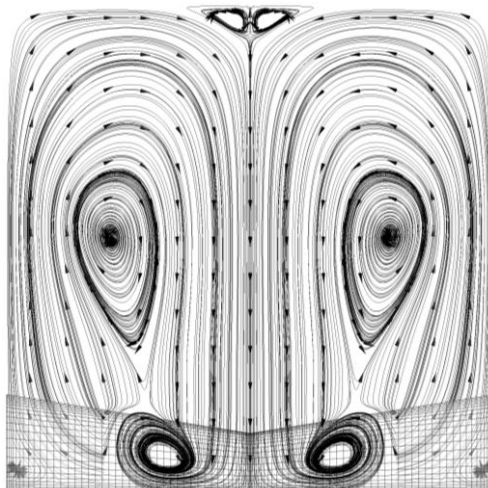
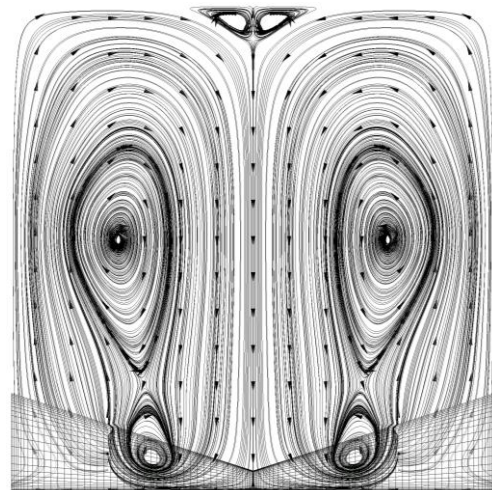
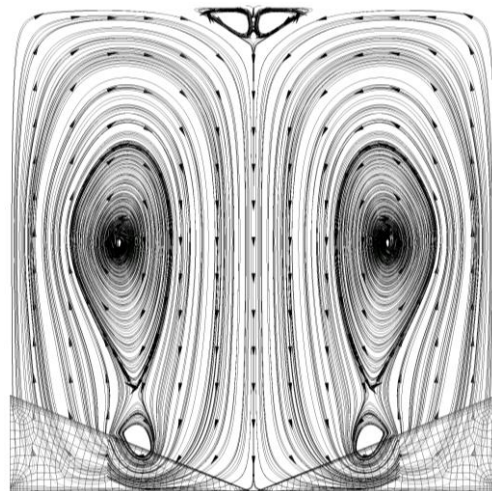
รูปที่ 3 การตรวจสอบความเป็นอิสระของจำนวนเซลล์ที่ใช้

3.2 โครงสร้างการไหล

โครงสร้างของการไหลในช่องการไหลที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววี ปรับแต่ง ที่ค่าสัดส่วน $BR_f = 0.20, 0.12, 0.04, 0.00$ และ $BR_b = 0.20$ ที่ค่า $Re = 12000$ บนระนาบดังแสดงในรูปที่ 4 (ก) จากรูปที่ 4 (ข) ถึง 4 (จ) พบว่าแผ่นกั้นรูปตัววีมีผลอย่างมากต่อการไหลของอากาศในช่องการไหล โดยเมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกั้นรูปตัววีจะเกิดการแยกของการไหลออกเป็นสองส่วนดังแสดงในรูป โดยปรากฏการหมุนวนที่เกิดขึ้น 4 ตำแหน่งบนระนาบดังกล่าว การหมุนวนขนาดใหญ่เกิดบริเวณกึ่งกลางช่องการไหล ตามด้วยการหมุนวนบริเวณแผ่นกั้น และการหมุนวนขนาดเล็กบริเวณผนังด้านบนและผนังด้านล่าง การหมุนวนที่เกิดขึ้นช่วยเหนี่ยวนำกระแสอากาศเย็นที่อยู่บริเวณด้านบนและกึ่งกลางของช่องการไหลให้ไหลมากระแทกกับผนังมากขึ้น การลดความสูงของปลายยอดแผ่นกั้นทางด้านหน้าลง ซึ่งทำให้สัดส่วน BR_f ลดลงจาก 0.20 เป็น 0.00 โดยที่ยังคงสัดส่วน BR_b เท่ากับ 0.20 นั้นส่งผลต่อปริมาณของกระแสอากาศที่ไหลไปกระแทกบริเวณผนังด้านล่างอย่างชัดเจน ซึ่งจะส่งผลอย่างมากต่อการถ่ายเทความร้อนดังจะได้แสดงในหัวข้อถัดไป



(ก) ระนาบที่ใช้แสดงผล

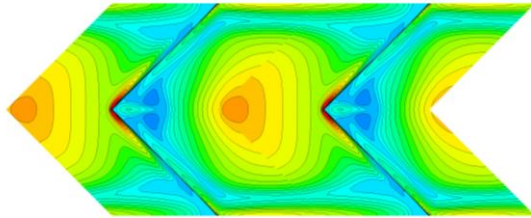
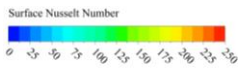
(ข) $BR_f = 0.20, BR_b = 0.20$ (ค) $BR_f = 0.12, BR_b = 0.20$ (ง) $BR_f = 0.04, BR_b = 0.20$ (จ) $BR_f = 0.00, BR_b = 0.20$

รูปที่ 4 กระแสการไหลบนระนาบของช่องการไหลที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีปรับแต่งที่ Re เท่ากับ 12000

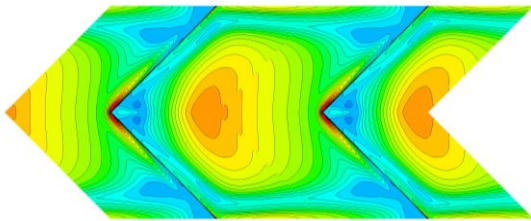
3.3 การถ่ายเทความร้อน

จากรูปที่ 5 แสดงการกระจายเลขนัสเซลล์ที่ผนังด้านล่างสำหรับแผ่นกั้นรูปวีปรับแต่งที่ค่า $Re = 12000$ พบว่าที่สัดส่วนความสูงแผ่นกั้น $BR_f = 0.20$ และ $BR_b = 0.20$ ดังแสดงในรูปที่ 5 (ก) เลขนัสเซลล์จะมีค่าสูงโดยเฉพาะบริเวณกึ่งกลางระหว่างแผ่นกั้นสองแผ่นที่อยู่ติดกัน แต่ก็จะมีบริเวณที่มีค่าเลขนัสเซลล์ต่ำโดยเฉพาะบริเวณด้านหลังของปลายยอดตัววี ในทางกลับกันด้านหน้าของ

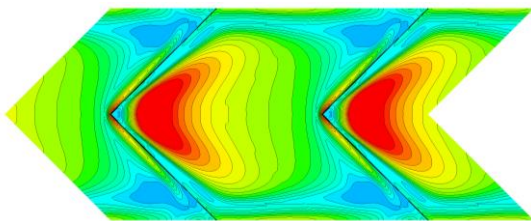
ปลายยอดตัววีจะมีเลขนัสเซลล์สูงมาก อันเป็นผลมาจากการไหลปะทะของกระแสอากาศกับปลายยอดของแผ่นกัน แต่ก็มีส่วนที่เพียงเล็กน้อย เมื่อทำการลดความสูงของปลายยอดแผ่นกันด้านหน้าลง $BR_f = 0.12$ พื้นที่ของเลขนัสเซลล์ที่มีค่าสูงขยายวงกว้างขึ้นเมื่อเทียบกับกรณี $BR_f = 0.20$ ดังแสดงในรูป 5 (ข)



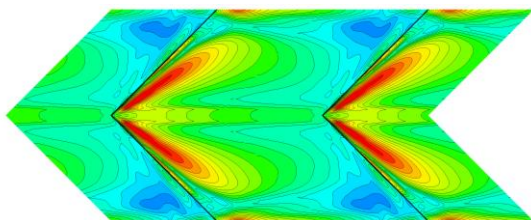
(ก) $BR_f = 0.20, BR_b = 0.20$



(ข) $BR_f = 0.12, BR_b = 0.20$



(ค) $BR_f = 0.04, BR_b = 0.20$

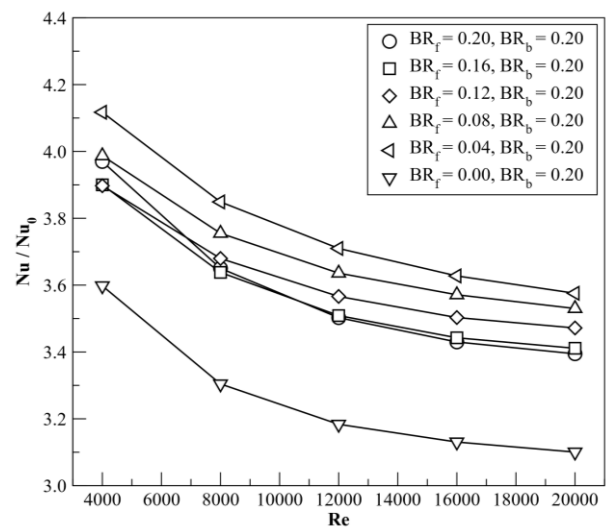


(ง) $BR_f = 0.00, BR_b = 0.20$

รูปที่ 5 การกระจายตัวของเลขนัสเซลล์ บริเวณผนังด้านล่างของช่องการไหลที่ $Re = 12000$

และเริ่มสังเกตเห็นการเคลื่อนตัวของตำแหน่งปะทะที่อยู่ระหว่างแผ่นกัน ในกรณีที่ใช้แผ่นกันตัววีที่มีค่า $BR_f = 0.04$ และ $BR_b = 0.20$ ดังแสดงในรูป 5 (ค) พบว่าการกระจายเลขนัสเซลล์มีค่าสูงมาก ซึ่งเป็นมาจากการเสริมกันของกระแสหมุนที่เกิดจากปลายยอดของแผ่นกัน ในรูปที่ 5 (ง) ซึ่งแสดงกรณีความสูงของปลายยอดแผ่นกันตัวด้านหน้าเป็นศูนย์ $BR_f = 0.00$ จะพบว่าเกิดบริเวณที่มีค่าเลขนัสเซลล์สูงด้านหลังของแผ่นกันตัววี แต่จะเกิดแยกกัน ไม่ได้ร่วมตัวกัน เหมือนกับกรณีแผ่นกันตัววีที่มีความสูงของปลายยอดด้านหน้า

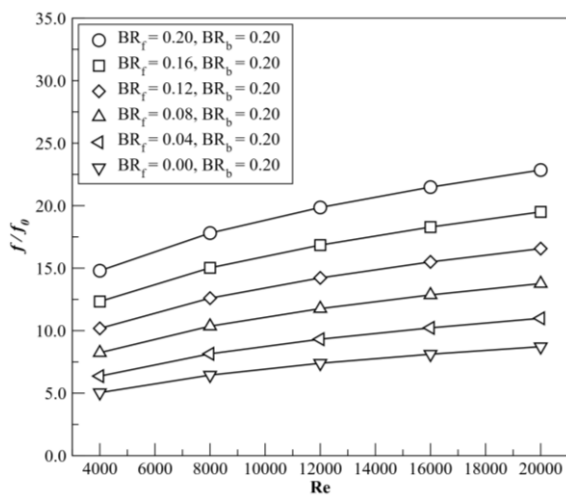
รูปที่ 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ (Nu/Nu_0) เทียบกับเลขเรย์โนลด์ส (Re) ที่สัดส่วนความสูงแผ่นกันต่างๆ จากรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มค่า Re จะทำให้ค่า Nu/Nu_0 ของทุกสัดส่วนความสูงของแผ่นกันรูปตัววีปรับแต่งมีแนวโน้มลดลง และเมื่อเปรียบเทียบที่สัดส่วนความสูง BR_f ต่างๆ จะพบว่าเมื่อลดค่า BR_f จะทำให้ได้ค่า Nu/Nu_0 เพิ่มสูงขึ้น โดยมีค่า Nu/Nu_0 สูงสุดเท่ากับ 4.12 ที่สัดส่วน $BR_f=0.04, BR_b=0.20$ และ $Re=4000$ แต่เมื่อลดสัดส่วนความสูง BR_f เป็นศูนย์กลับทำให้ค่า Nu/Nu_0 ลดลงเป็นอย่างมาก ทั้งนี้ก็เป็นผลมาจากการแยกห่างออกจากกันของกระแสหมุนวน ดังที่ได้แสดงผลดังกล่าวที่เกิดขึ้นกับค่าการกระจายตัวของเลขนัสเซลล์ก่อนหน้านี้



รูปที่ 6 ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลล์ที่ค่าสัดส่วนความสูงของแผ่นกันรูปตัววีต่าง ๆ

3.4 การสูญเสียความดัน

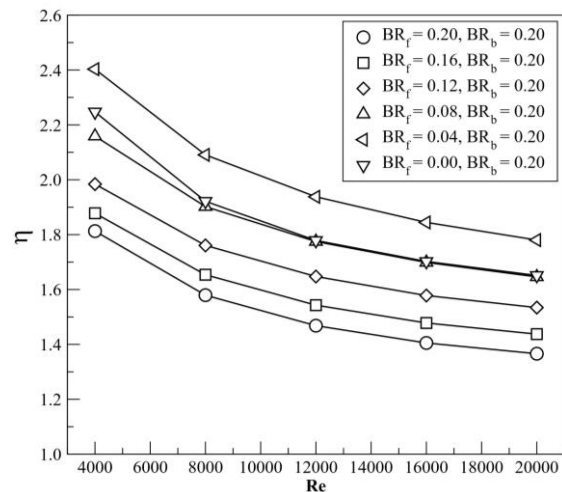
รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์ส (Re) กับ อัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน (f/f_0) ของช่องการไหลซึ่งติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีปรับแต่งที่สัดส่วนความสูงแผ่นกั้นต่างๆ เมื่อพิจารณาช่วงเลขเรย์โนลด์สระหว่าง 4000 ถึง 20000 พบว่าเมื่อลดสัดส่วนความสูง BR_f ลงค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานในช่องการไหลก็จะลดลงตาม และเมื่อทำการเพิ่มค่าเลขเรย์โนลด์ส จะทำให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงสุดเท่ากับ 22.85 ที่ค่าที่สัดส่วน $BR_f=0.20$, $BR_b=0.20$ และเลขเรย์โนลด์ส 20000



รูปที่ 7 ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานที่ค่าสัดส่วนความสูงของแผ่นกั้นรูปตัววีปรับแต่งต่าง ๆ

3.5 สมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน (η) กับเลขเรย์โนลด์ส (Re) ของช่องการไหลซึ่งติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีปรับแต่งที่สัดส่วนความสูงแผ่นกั้นต่าง ๆ จากรูปจะพบว่าค่า η มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่า Re เพิ่มขึ้น และเมื่อทำการลดสัดส่วนความสูง BR_f จะทำให้ค่า η มีค่าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งมีค่า η สูงสุดเท่ากับ 2.25 ที่สัดส่วน $BR_f=0.04$, $BR_b=0.20$ และ $Re=4000$ แต่เมื่อลดสัดส่วนความสูง BR_f จนกระทั่งเป็นศูนย์ ค่า η กลับลดลงใกล้เคียงกับกรณี $BR_f=0.08$



รูปที่ 8 ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ค่าสัดส่วนความสูงของแผ่นกั้นรูปตัววีปรับแต่งต่าง ๆ

4. สรุป

จากผลการจำลองการไหลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ช่องการไหลที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีปรับแต่ง ที่มีค่าสัดส่วนความสูง BR_f อยู่ในช่วง 0.20 ถึง 0.00 โดยมีค่า BR_b คงที่เท่ากับ 0.20 และค่า Re ตั้งแต่ 4000 ถึง 20000 จะช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน 3.10 ถึง 4.12 เท่าและมีตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น 5.04 ถึง 22.85 เท่า การเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนดังกล่าวเป็นผลสืบเนื่องมาจากการเกิดการหมุนวนเป็นคู่ตามกันซึ่งจะเหนี่ยวนำการไหลให้เกิดการกระแทกที่ผนังด้านล่างแต่ก็ทำให้เกิดการสูญเสียความดันมากตามมาด้วยเช่นกัน ค่าสมรรถนะเชิงความร้อน (η) ในงานวิจัยนี้มีค่าตั้งแต่ 1.37 ถึง 2.25 ซึ่งมีค่ามากกว่าหนึ่งตลอดช่วงของการศึกษา ซึ่งเป็นการยืนยันว่าการใช้แผ่นกั้นรูปตัววีปรับแต่งดีกว่าการใช้ช่องการไหลผิวเรียบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] S.V. Patankar, C.H. Liu and E.M. Sparrow, "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, 1977.
- [2] K.M. Kelkar and S.V. Patankar, "Numerical prediction of flow and heat transfer in a parallel plate channel with staggered fins," *ASME J. Heat Transfer*, vol. 109, pp. 25–30, 1987.
- [3] B.W. Webb and S. Ramadhyani, "Conjugate heat transfer in a channel with staggered ribs," *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol. 28, pp. 1679–1687, 1985.
- [4] S. Sripattanapipat and P. Promvonge, "Numerical analysis of

- laminar heat transfer in a channel with diamond-shaped baffles,” *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, vol.36, pp. 32–38, 2009.
- [5] K.H. Ko and N.K. Anand, “Use of porous baffles to enhance heat transfer in a rectangular channel,” *Int. J. of Heat and Mass Transfer*, vol. 46, pp. 4191-4199, 2003.
- [6] J.C. Han and Y.M. Zhang, “High performance heat transfer ducts with parallel broken and V-shaped broken ribs,” *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol. 35, pp. 513–523, 1992.
- [7] P. Promvong, S. Sripattanapipat, S. Tamna, S. Kwankaomeng, C. Thianpong, “Numerical investigation of laminar heat transfer in a square channel with 45 deg inclined baffles,” *Int. Commun. Heat Mass Transfer*, vol. 37(2), pp. 170-177, 2010.
- [8] T.M. Liou and J.J. Hwang, “Effect of ridge shapes on turbulent heat transfer and friction in a rectangular channel,” *Int. J. Heat Mass Transfer*, vol. 36, pp. 931–940, 1993.
- [9] S.Tamna, S.Skullong, C. Thianpong, P. Promvong, Heat transfer behaviors in a solar air heater channel with multiple V-baffle vortex generators, *Solar Energy*, vol. 110 , pp. 720-735, 2014.
- [10] P. Promvong, S. Skullong, Thermo-hydraulic performance in heat exchanger tube with V-shaped winglet vortex generator, *Appl. Therm. Eng.*, vol. 164, 2020.
- [11] P. Promvong, S. Skullong, Augmented heat transfer in tubular heat exchanger fitted with V-baffled tapes, *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 155, 2020.
- [12] Versteeg H.K. and Malalasekera W., *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*, Longman Scientific & Technical, Longman Group Limited, English, 1995.
- [13] ANSYS 2021 R2, *Fluent User's Guide*, 2021.



สมชาย ศรีพัฒนพิพัฒน์ จบการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรม เครื่องกล ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
งานวิจัยเกี่ยวกับการจำลองการไหลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์และ การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในอุปกรณ์



พงษ์เจต พรหมวงศ์ จบการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จาก Imperial College London ประเทศอังกฤษ ปัจจุบันเป็นรองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ที่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง งานวิจัยเกี่ยวกับการทดลองและการจำลองการไหลภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงความร้อน