

อิทธิพลของการจัดวางแผ่นกั้นตัววีแยกตัวต่อโครงสร้างการไหลความดันตกคร่อมและ
การถ่ายเทความร้อนแบบราบเรียบในท่อจัตุรัส

**Effect of V-discrete Baffle on Laminar Flow Structure, Friction Loss and Heat
Transfer in Square Duct**

วิชาดา เจษฎารัตนชัย, พิทักษ์ พร้อมไธสง และ พงษ์เจต พรหมวงศ์*

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

*ติดต่อ: E-mail: kppongje@kmitl.ac.th, โทรศัพท์: (662) 329-8350-1, โทรสาร: (662) 329-8352

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนสำหรับการไหลแบบราบเรียบในท่อจัตุรัสที่มีอุณหภูมิผนังคงที่ โดยมีการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีแยกตัวบนแผ่นบางแล้วเสียบเข้าไปในท่อจัตุรัสแบบวางทแยงมุม โดยแผ่นกั้นที่ติดตั้งมีลักษณะการจัดวางเอียงทำมุมปะทะการไหลที่ $\alpha = 30^\circ$ และมีค่าอัตราส่วนการบล็อกรวมการไหล (Blockage ratio, BR) เท่ากับ 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.20 มีอัตราส่วนระหว่างระยะห่างของแผ่นกั้นต่อความสูงของท่อ (Pitch ratio, PR) คงที่เท่ากับ 1.0 ในการคำนวณใช้วิธีปริมาตรสี่เหลี่ยมและเลือกลำดับวิธีหาผลเฉลยแบบ SIMPLE ซึ่งการจำลองนี้ได้นำเสนอคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน, การไหลของของไหลและการสูญเสียความดันสำหรับเลขเรย์โนลด์บนพื้นฐานเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อช่วงจาก $Re = 200$ ถึง 1200 โดยแสดงค่าการถ่ายเทความร้อนในเทอมของเลขนัสเซิลท์ (Nusselt number) และการสูญเสียความดันในเทอมของตัวประกอบเสียดทาน (friction factor) จากการศึกษาพบว่า การเพิ่มแผ่นกั้นตัววีแยกตัวจะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อที่มีผนังเรียบ และเมื่อเพิ่มความสูงของแผ่นกั้นตัววีแยกตัวจะทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องจากแผ่นกั้นตัววีแยกตัวจะทำให้เกิดการไหลแบบหมุนวนและการกระแทกของการไหลที่บริเวณผิวของท่อ ในขณะที่เดียวกันก็จะทำให้เกิดความดันสูญเสียเพิ่มมากขึ้นด้วย

คำหลัก: แผ่นกั้น, ท่อจัตุรัส, การถ่ายเทความร้อน, ความเสียดทาน, การไหลราบเรียบ

Abstract

This paper present laminar periodic flow and heat transfer in a three dimensional square duct with isothermal walls and with $\alpha = 30^\circ$ V-discrete Baffle; (blockage ratio, BR) are 0.05, 0.10, 0.15 and 0.20 and (Pitch ratio, PR) of 1.0 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 1200. Effects of baffle height on heat transfer and pressure loss in the square duct are studied. It is found that the V-discrete baffle performs better than the smooth square duct for all

CST-2037

Reynolds number values. The increase of the BR leads to an increase in the Nusselt number and friction factor.

Keywords: baffle, square duct, heat exchanger, friction loss, laminar flow.

1. บทนำ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่ถูกนำไปใช้ในทางด้านอุตสาหกรรมอย่างมากมาย เช่น เครื่องระบายความร้อน เครื่องทำความเย็นขนาดใหญ่ เป็นต้น การปรับปรุงสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้ดีขึ้นเป็นเรื่องสำคัญมาก เนื่องจากสามารถช่วยลดต้นทุนการผลิต ลดขนาด ลดพื้นที่การติดตั้ง และลดค่าขนส่งอุปกรณ์เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้อีกด้วย การปรับปรุงอุปกรณ์ด้านความร้อนให้มีสมรรถนะสูงขึ้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การใช้อุปกรณ์ทางกล หรือระบบทางไฟฟ้าเพื่อทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น ซึ่งวิธีนี้มีข้อเสียคือ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชำรุดเร็วขึ้น และสิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น และอีกวิธีหนึ่งที่นักวิจัยนิยมใช้กันคือการทำให้ของไหลที่อยู่ภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีการไหลที่ปั่นป่วนมากขึ้น โดยอาศัยการติดตั้งตัวสร้างการไหลแบบหมุนวนที่เรียกว่า turbulators เช่น ครีบ (ribs) , แผ่นขรุขระหรือผิวท่อที่มีการเซาะร่อง (grooves/dimples) , ปีก (winglets) และแผ่นกั้น (baffles) [1] โดยตัวสร้างการไหลหมุนวนนี้ถูกนำมาใช้เพื่อเป็นการก่อกวนการไหลทำให้เกิดการหมุนวนของการไหลแนวยาวและเพิ่มการผสมให้ดียิ่งขึ้น การถ่ายเทความร้อนในท่อนั้นหากมีการติดตั้งตัวสร้างการไหลหมุนวนจะเป็นการช่วยเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในท่อให้สูงขึ้น และในทำนองเดียวกันก็จะส่งผลทำให้เกิดค่าความดันตกคร่อมที่ทางเข้าและทางออกของท่อที่ไม่เท่ากันอีกด้วย เนื่องจากค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนขึ้นอยู่กับปัจจัยสองตัวแปรคือค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานที่บ่งชี้ถึงการสูญเสียความดัน ทำให้การปรับปรุงเพื่อเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนที่มากเกินไปอาจจะไม่เกิดประโยชน์สูงสุด เพราะฉะนั้นเราจึงต้องทำการศึกษาเพื่อค้นหาผลของ

พารามิเตอร์ที่สามารถช่วยส่งเสริมให้เกิดการถ่ายเทความร้อนภายในท่อให้มีความสามารถในการถ่ายเทความร้อนที่ดีและเกิดความเสียดทานที่ลดลง อันนำไปสู่สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่สูงที่สุด

เนื่องจากระบบท่อจริงในทางอุตสาหกรรมมีความยาวมากจึงมีผู้นำเสนอหลักการของการไหลที่มีการปรับตัวเต็มที่ในท่อ (fully develop) และมีการไหลแบบเป็นคาบ (periodic) ที่ทำการศึกษาโดย Patankar et al. [2] ได้ถูกนำไปใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยทำการศึกษาลักษณะการไหลและพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนในท่อโดยการเพิ่มตัวสร้างการไหลปั่นป่วนในลักษณะต่าง ๆ โดยการใช้วิธีการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์หรือการใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข ซึ่ง Promvong et al. [3] ได้ทำการศึกษาวิจัยโดยอาศัยวิธีการใช้การคำนวณเชิงคณิตศาสตร์ของการถ่ายเทความร้อนและพฤติกรรมการไหลแบบราบเรียบในท่อจัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นเอียงมุม 45° บนผนังด้านหนึ่งของท่อ จากการศึกษาพบว่าแผ่นกั้นเอียงทำให้เกิดการไหลหมุนวนแบบคู่ซึ่งกระแสการไหลที่หมุนวนนี้จะไปกระแทกส่วนที่เป็นผนังท่อทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนและค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน โดยค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่มากที่สุดเท่ากับ 2.2 ที่ค่า $BR = 0.4$ และ $Re = 1200$ ส่วน Han et al. [4] ศึกษาเชิงทดลองการถ่ายเทความร้อนในท่อจัตุรัสที่ติดครีบบนผนังสองด้านโดยใช้รูปทรงครีบแตกต่างกัน 9 แบบ และแต่ละรูปทรงจะพิจารณาที่ค่า ระยะพิทท์ต่อความสูงครีบเท่ากับ 10 และ ความสูงครีบต่อความสูงท่อเท่ากับ 0.0625 ผลลัพธ์ของการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยและตัวประกอบเสียดทานพบว่า ครีบบางทำมุม และครีบบรูปตัววีให้การถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าครีบบยาวต่อเนื่อง และยังพบว่าที่มุม 60° ให้การถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงสุดในจำนวน

CST-2037

ครีบริ้วที่วางเอียง ต่อมา Liou and Hwang [5, 6] ได้ทำการทดลองครีบริ้วสี่เหลี่ยมจัตุรัส ครีบริ้วสามเหลี่ยม และครีบริ้วครึ่งวงกลม พบว่าครีบริ้วสี่เหลี่ยมจัตุรัสให้สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนดีที่สุดในครีบริ้วทั้งหมดที่ทดลอง และ Han and Zhang [7] นำเสนอการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นในท่อจัตุรัสด้วยครีบริ้วทั้งหมด 7 รูปทรงของครีบริ้วที่วางเว้นช่วง พบว่าครีบริ้วรูปตัววีวางเว้นช่วงมุม 60° ให้การถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าท่อผิวเรียบ 4.5 เท่า และดีกว่าครีบริ้ววางต่อเนื่อง การทดลองทั้งหมดได้ติดครีบริ้วที่ผนังสองด้านและค่าความสูงครีบริ้วต่อความสูงท่อมี่ค่า 0.0625 และระยะพิทท์ต่อความสูงครีบริ้วที่ค่า 10

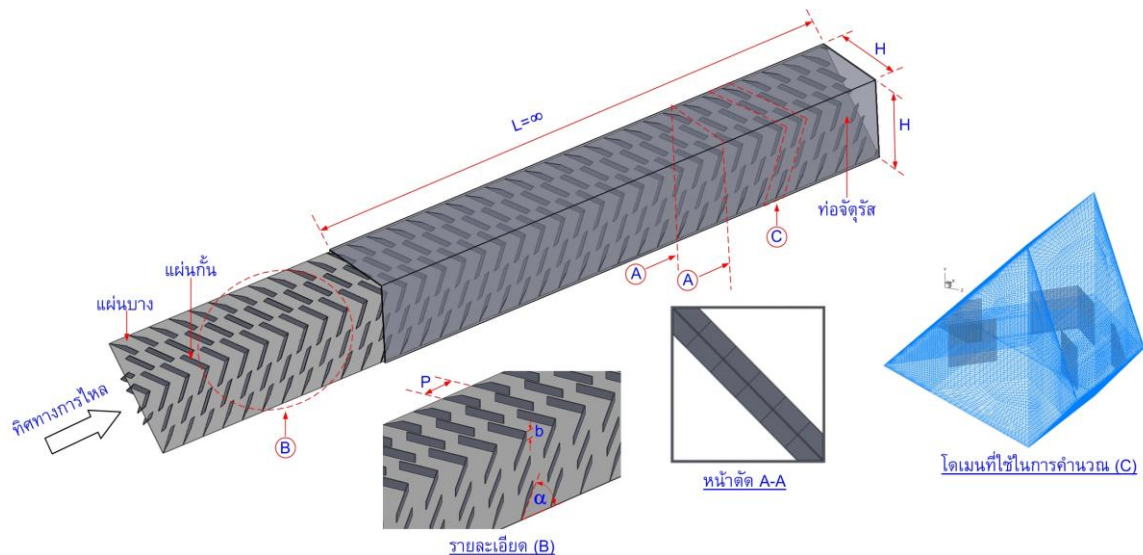
จากผลงานวิจัยที่ได้กล่าวมาในข้างต้นจะเห็นได้ว่างานวิจัยส่วนใหญ่ได้ทำการศึกษาค่าผลและอิทธิพลของครีบริ้วที่ติดตั้งบนผนังของท่อเท่านั้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจและทำการศึกษารูปแบบครีบริ้วบางรูปตัววีแบบแยกตัวติดตั้งบนผนังบาง แล้วเสียบผนังบางเข้าไปในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบทแยง มีการจัดวางแบบปลายวีชี้ตามกระแสการไหล (V-Downstream) โดยศึกษาถึงผลของสัดส่วนการ

บล็อก (BR) ที่มีอิทธิพลต่อสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ลักษณะการไหลและค่าความเสียดทาน

2. แบบจำลองและสมการที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดครีบริ้วบาง

ระบบที่ให้ความสนใจเป็นท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสติดตั้งแผ่นกั้นบางรูปตัววีแบบแยกตัวทำมุมบนผนังบางแล้วเสียบผนังบางเข้าไปในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบทแยงมุม มีอัตราส่วนระหว่างระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นต่อความสูงของท่อ (PIH, PR) หรือระยะพิทท์ที่มีค่าคงที่เท่ากับ 1.0 โดยแผ่นกั้นทำมุมปะทะการไหล $\alpha = 30^\circ$ และมีอัตราส่วนระหว่างความสูงของแผ่นกั้นต่อความสูงของท่อ (b/H, BR) หรือค่าอัตราส่วนการบล็อกการไหลเท่ากับ 0.05, 0.10, 0.15 และ 0.20 ความสูงของท่อหน้าตัดจัตุรัสที่ใช้ในการจำลองนี้มีค่า $H = 0.05$ m และสมมติท่อยาวมาก ดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งพิจารณาการไหลเป็นแบบคาบ (periodic) และมีการจัดวางแผ่นกั้นบางแบบปลายวีชี้ตามกระแสการไหล



รูปที่ 1 รูปทรงของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและโดเมนที่ใช้ในการคำนวณโดยพิจารณาการไหลแบบ periodic ที่มีการสร้างตาข่ายสี่เหลี่ยมแบบไม่สม่ำเสมอ

2.2 สมมติฐานและสมการในการคำนวณ

การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีสมมติฐานดังต่อไปนี้

การไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบคงตัว 3 มิติ โดยมีการไหลเป็นแบบราบเรียบและเป็นการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ กำหนดให้คุณสมบัติของ

CST-2037

ของไหลคงที่, ไม่คำนึงแรงวัตถุ, การสูญเสียเนื่องจากความหนืดและการแผ่รังสีความร้อน

จากสมมติฐานข้างต้น สำหรับการไหลในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส สมการควบคุมประกอบไปด้วยสมการความต่อเนื่อง สมการนาเวียร์-สโตก และสมการพลังงาน สามารถเขียนในรูปแบบเทนเซอร์ในระบบพิกัดคาร์ทีเซียนดังนี้

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 โดยแบบแผนวิธีผลต่างครอตราติค (Quadratic upstream interpolation for convective kinetics differencing scheme, QUICK) แล้วทำการคำนวณหาผลเฉลยตามระเบียบวิธีปริมาตรสืบเนื่อง [8] โดยแผนผังวิธีแบบ SIMPLE (Semi-implicit method for pressure-linked equations) ในการสุ่มเข้าหาคำตอบจะพิจารณาที่ความแตกต่างของค่าการแปรเปลี่ยนน้อยกว่า 10^{-5} ของทุกตัวแปร

ในงานวิจัยนี้มีตัวแปรที่ให้ความสนใจอยู่ 4 ตัวแปร คือ เลขเรย์โนลด์ ตัวประกอบเสียดทาน เลขนัสเซลท์และสมรรถนะเชิงความร้อน ซึ่งค่าเลขเรย์โนลด์นิยามโดย

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

ตัวประกอบเสียดทาน, f คำนวณได้จากความดันตกคร่อม, Δp ตลอดช่วงความยาว periodic ของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส, L

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

การถ่ายเทความร้อนคำนวณหาจากค่าเลขนัสเซลท์ที่จุดใด ๆ ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

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

ค่าเลขนัสเซลท์เฉลี่ยสามารถคำนวณได้จาก

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

สมรรถนะเชิงความร้อน, TEF

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

เมื่อ Nu_0 และ f_0 คือ เลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานของท่อผิวเรียบ ตามลำดับ

2.3 เงื่อนไขขอบ

2.3.1 พิจารณาทางเข้าและทางออกเป็นแบบ periodic translation

2.3.2 สมมติอากาศที่ 300 K และมีค่าเลขพรานด์ 0.7

2.3.3 ไหลเข้าด้วยอัตราการไหลเชิงมวลคงที่

2.3.4 รูปร่างความเร็วทางเข้าและทางออกมีลักษณะเดียวกัน

2.3.5 สมมติคุณสมบัติทางกายภาพของอากาศมีค่าคงที่ โดยอ้างอิงที่อุณหภูมิเฉลี่ยที่ทางเข้า

2.3.6 เงื่อนไขขอบเขตไม่มีการลื่นไถลที่ผนัง (no-slip conditions) หรือความเร็วที่ผนังมีค่าเท่ากับศูนย์ เป็นผนังที่อยู่กับที่ (stationary wall)

2.3.7 กำหนดให้ที่ผนังทุกด้านของท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสอุณหภูมิผิวคงที่ 310 K

2.3.8 ให้แผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวและแผ่นบางเป็นแบบความร้อนไม่สามารถผ่านได้

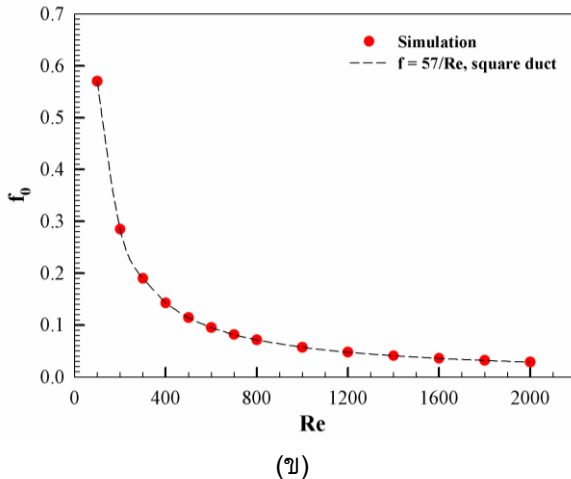
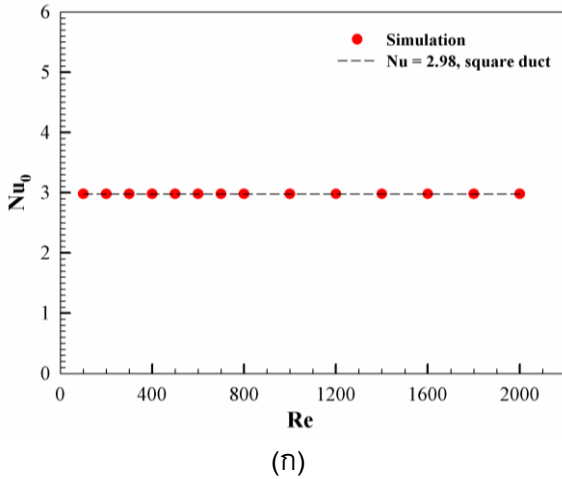
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 การพิสูจน์ความถูกต้องของท่อจัตุรัสผิวเรียบ

ในการพิสูจน์ความถูกต้องของการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานในท่อจัตุรัสผิวเรียบที่ไม่มีการเพิ่มการติดตั้งครีป โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากวิธีเชิงตัวเลขและผลเฉลยแม่นยำภายใต้เงื่อนไขเดียวกันนี้ ซึ่งค่าผลเฉลยแม่นยำนี้สามารถศึกษาได้จากอ้างอิง [9] โดยพบว่าค่าที่ได้จากวิธีเชิงตัวเลขจะมีความคลาดเคลื่อนจากผลเฉลยแม่นยำประมาณ 0.5% ทั้งในส่วน of ค่าเลขนัสเซลท์และ

CST-2037

ค่าตัวประกอบเสียดทาน ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้โดยวิธีเชิงตัวเลขทั้งมีความสอดคล้องกันกับผลเฉลยแม่นยำตรง และมีความน่าเชื่อถือดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) และ (ข)



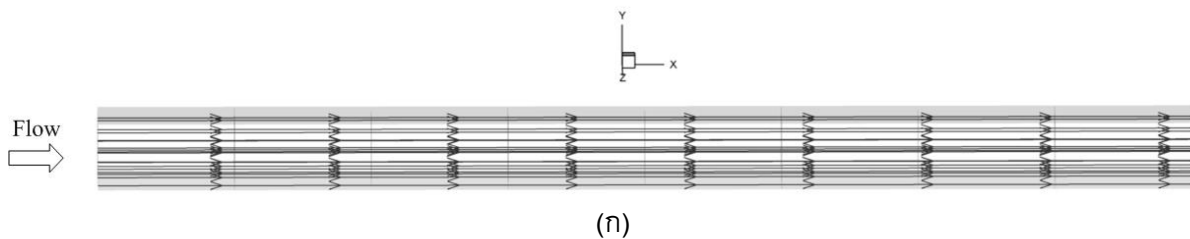
รูปที่ 2 การตรวจสอบความถูกต้องของ
(ก) เลขนัสเซลท์ (ข) ตัวประกอบเสียดทานของท่อ
สี่เหลี่ยมจัตุรัสผิวเรียบ

3.2 โดเมนและกริดที่ใช้ในการคำนวณ

สำหรับการไหลในท่อจัตุรัสนี้ โดเมนที่ใช้ในการคำนวณหาผลเฉลยเป็นเอลิเมนต์รูปทรงสี่เหลี่ยมและแบ่งกริดแบบไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform grid) โดยให้บริเวณใกล้ผิวท่อที่มีความละเอียดมากกว่า การหาผลกระทบของกริดที่มีผลต่อคำตอบ ได้ทำการเปรียบเทียบผลเฉลยโดยใช้จำนวนของกริดที่แตกต่างกัน คือ ที่ 42500, 82500, 160000 และ 240000 พบว่าเมื่อเพิ่มจำนวนกริดจาก 160000 เป็น 240000 ค่าเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานมีค่าการเปลี่ยนแปลงเพียง 0.35 % ดังนั้นจึงเลือกจำนวนกริดเท่ากับ 160000 สำหรับการวิเคราะห์เชิงตัวเลข

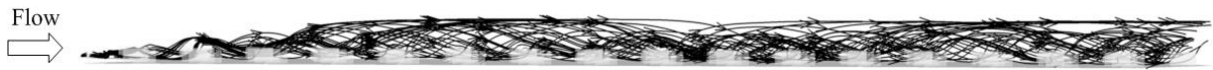
3.3 พฤติกรรมการไหล

รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างการไหลตามแนวยาวสำหรับท่อเปล่า ซึ่งจากรูปพบว่าโครงสร้างการไหลตามแนวยาวสำหรับท่อเปล่าจะมีลักษณะเป็นแบบไหลตรง และพบว่าการเพิ่มแผ่นกั้นรูปตัววีแยกตัวส่งผลให้โครงสร้างการไหลตามแนวยาวของอากาศเกิดการปั่นป่วนตามรูปที่ 4 (ก) และเกิดการหมุนวนของกระแสในระนาบหน้าตัดขวางการไหล ซึ่งหน้าตัดดังกล่าวจะสังเกตเห็นแกนการไหลของกระแสหลัก 4 แกนดังรูปที่ 4 (ข) การปั่นป่วนนี้ส่งผลให้เกิดการกระแทกที่ผนังท่อของกระแสการไหล เมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกั้นจะเกิดการหมุนวนที่ด้านหลังของแผ่นกั้น และเกิดการกระแทกของกระแสการไหลที่บริเวณผนังท่อ การกระแทกที่ผนังของกระแสนี้เป็นส่วนสำคัญที่ทำให้เกิดการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

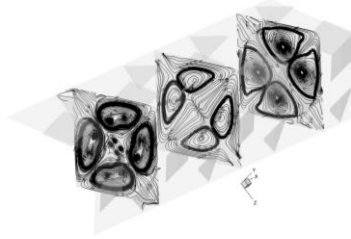


รูปที่ 3 โครงสร้างการไหลตามแนวยาวสำหรับท่อเปล่า

CST-2037



(ก)



(ข)

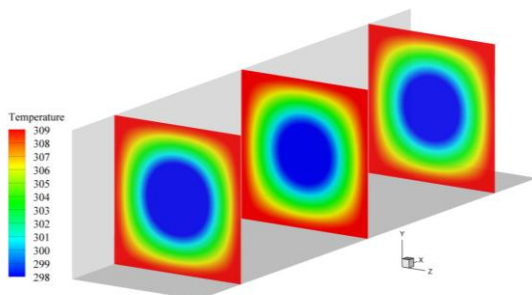
รูปที่ 4 (ก) โครงสร้างการไหลตามแนวยาว (ข) โครงสร้างการไหลในระนาบขวางการไหล สำหรับท่อติดแผ่นกั้นตัววีแยกตัวที่ค่า $\alpha = 30^\circ$, $BR=0.20$ และ $Re=1200$

3.4 พฤติกรรมการถ่ายเทความร้อน

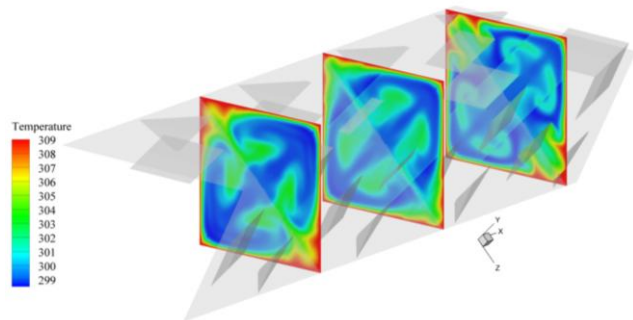
จากการไหลในท่อเปล่าที่มีลักษณะโครงสร้างการไหลเป็นแบบไหลตรงดังแสดงในรูปที่ 3 ส่งผลให้การกระจายอุณหภูมิในระนาบขวางการไหลมีลักษณะดังรูปที่ 5 (ก) ซึ่งจะเห็นว่าอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำจะอยู่บริเวณกลางท่อ และอากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะอยู่บริเวณใกล้กับผนังท่อ ส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่บริเวณใกล้กับผนังท่อและอุณหภูมิของท่อมีความแตกต่างกันน้อย เป็นสาเหตุให้การแลกเปลี่ยนความร้อนเกิดขึ้นได้ไม่ดี และพบว่าโครงสร้างการไหลที่มีความปั่นป่วนดังรูปที่ 4 (ข) ส่งผลให้การกระจายอุณหภูมิในระนาบขวางการไหลมีลักษณะดังรูปที่ 5 (ข) ซึ่งจะเห็นว่าความปั่นป่วนของกระแสการไหลนี้ทำให้เกิดการกระจายของอากาศที่มี

อุณหภูมิต่ำไปยังบริเวณใกล้กับผนังท่อซึ่งผนังท่อมีอุณหภูมิที่สูงกว่า ส่งผลให้ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศที่บริเวณใกล้กับผนังท่อและอุณหภูมิของท่อมีความแตกต่างกันมาก ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับท่อเปล่า

รูปที่ 6 แสดงการกระจายความร้อนในรูปของเลขนัสเซลท์ พบว่ากรณีท่อติดแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวส่งผลให้เกิดการกระแทกของกระแสการไหลที่ผนังท่อและความปั่นป่วนของกระแสจะช่วยให้กระจายอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำไปยังบริเวณใกล้กับผนังท่อ ทำให้การถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศและผนังมีอัตราที่สูงขึ้นเมื่อเทียบกับท่อเปล่า โดยสังเกตจากคอนทัวร์สีแดงบริเวณผนังท่อดังรูปที่ 6 (ข)



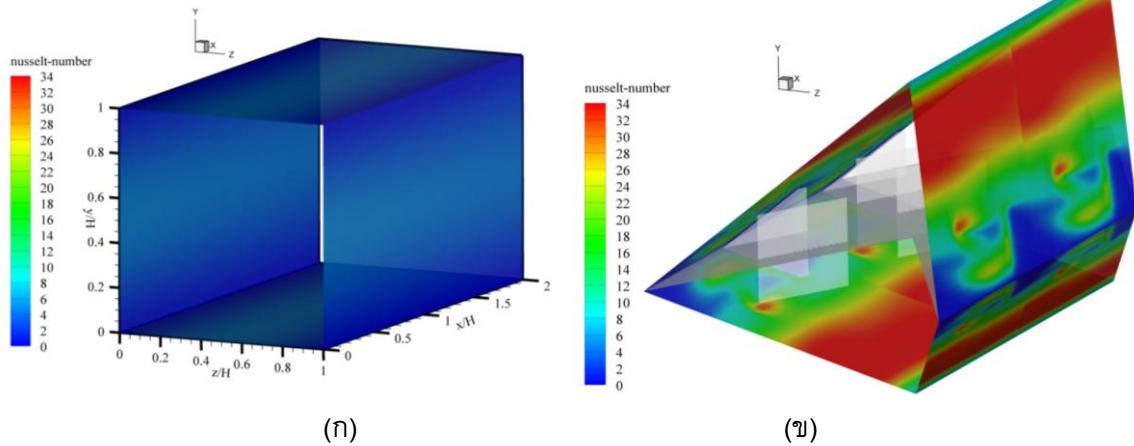
(ก)



(ข)

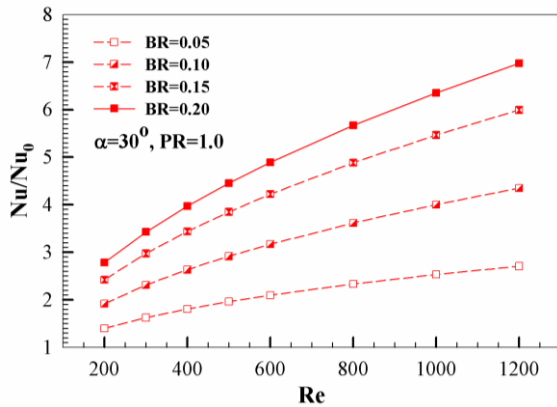
รูปที่ 5 การกระจายอุณหภูมิในระนาบขวางการไหล (ก) ท่อเปล่า (ข) ท่อติดแผ่นกั้นตัววีแยกตัวที่ค่า $\alpha = 30^\circ$, $BR=0.20$ และ $Re=1200$

CST-2037



รูปที่ 6 การกระจายเลขนัสเซลท์ (ก) ท่อเปล่า (ข) ท่อติดแผ่นกั้นตัววีแยกตัวที่ค่า $\alpha = 30^\circ$, $BR=0.20$ และ $Re=1200$

รูปที่ 7 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวที่ค่า BR ต่างๆ พบว่าเมื่อ BR และ Re เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์เพิ่มมากขึ้น สำหรับค่า $BR=0.05$ ที่ $Re=200$ ให้ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์น้อยที่สุด และค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 6.97 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าที่ $BR=0.20$, $Re=1200$

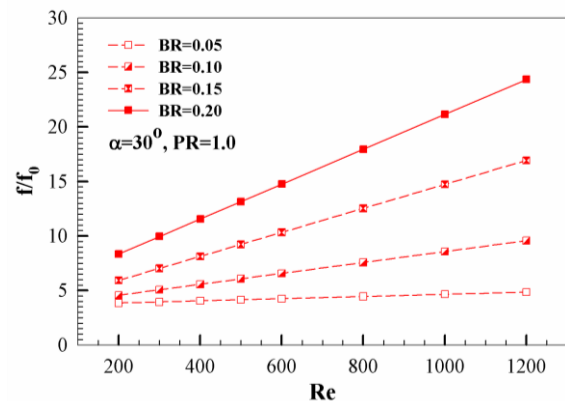


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววีแยกตัวที่ค่า BR ต่างๆ

3.5 การสูญเสียความดัน

สำหรับค่าความดันสูญเสียหรือค่าความดันตกคร่อมแสดงไว้ในรูปของอัตราส่วนของค่าความดันตกคร่อมกรณีเพิ่มแผ่นกั้นต่ออัตราส่วนค่าความดันตกคร่อมของท่อเปล่าดังรูปที่ 8 ที่ค่า BR ต่าง ๆ ซึ่งเมื่อพิจารณาช่วงเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 100 ถึง 1200

พบว่าค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่า BR และค่า Re เพิ่มมากขึ้น โดยค่า $BR=0.20$ จะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากที่สุดที่ $Re=1200$ โดยมีค่าเท่ากับ 24.35 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่า

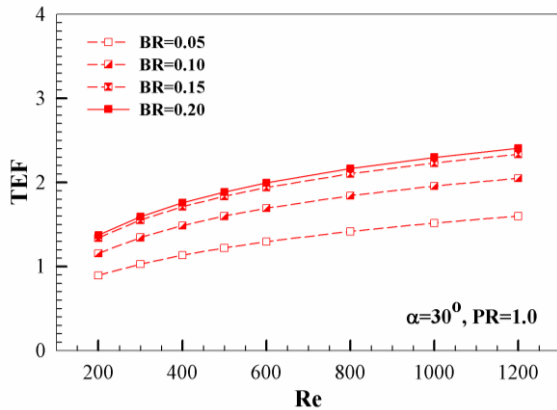


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววีแยกตัวที่ค่า BR ต่างๆ

3.6 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวที่ค่า BR ต่างๆ พบว่าค่าเลขเรย์โนลด์ที่เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของสมรรถนะเชิงความร้อนในช่วงเลขเรย์โนลด์ที่พิจารณา โดยค่า $BR=0.20$ ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดที่ 2.4 ที่ $Re = 1200$

CST-2037



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ของแผ่นกั้นตัววีแยกตัวที่ค่า BR ต่างๆ

4. สรุปผลการทดลอง

จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลและลักษณะการถ่ายเทความร้อนในท่อจัดรัศมีที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตัววีแบบแยกตัวทำมุมปะทะ 30° ที่อัตราส่วนระยะพิตต์เท่ากับ 1.00 ที่ค่า $BR = 0.05, 0.10, 0.15$ และ 0.20 พบว่าเมื่อเพิ่มแผ่นกั้นตัววีแยกตัวในท่อสี่เหลี่ยมจัดรัศมีจะทำให้เกิดการไหลแบบหมุนวนและเกิดการกระแทกของกระแสการไหลที่บริเวณผนังท่อและช่วยกระจายอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำไปยังบริเวณใกล้เคียงผนังท่อส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดที่ 6.97 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่าที่ $BR=0.20, Re = 1200$ และการปั่นป่วนที่เกิดขึ้นส่งผลให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น โดยค่า $BR=0.20$ จะให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานมากที่สุดที่ $Re=1200$ โดยมีค่าเท่ากับ 24.35 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่า และด้วยความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกับค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลท์ที่เหมาะสมแล้ว ส่งผลให้ $BR=0.20$ มีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดที่ 2.4 ที่ค่า $Re = 1200$

5. เอกสารอ้างอิง

[1] S. Sripattanapipat, P. Promvong, Numerical analysis of laminar heat transfer in a channel with diamond-shaped baffles, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol.36, January 2009, pp. 32-38.

[2] 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.

[3] Promvong, 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, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol.37, February 2010, pp.170-177.

[4] 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.

[5] 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.

[6] Liou, T.M. and Hwang, J.J., Effect of ridge shapes on turbulent heat transfer and friction in a rectangular channel, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol.36, March 1993, pp.931-940.

[7] Han, J.C. and Zhang, Y.M., High performance heat transfer ducts with parallel broken and V-shaped broken ribs, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol.35, February 1992, pp.513-523.

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

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