

# การศึกษาการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมที่มีแผ่นรูปตัววี

## Investigation of heat transfer in a rectangular duct fitted with V-shaped baffles

กฤษณ์ เรืองพุงศักดิ์ และ นีวัต พิริยะรุ่งโรจน์

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันนวัตกรรมมหานคร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร 140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530

Corresponding author, E-mail: nivat@mut.ac.th

Manuscript Received October 25, 2023

Revised November 8, 2023

Accepted November 22, 2023

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีที่เตรียมจากแผ่นบิดที่มีอัตราส่วนระยะบิดต่อระยะความกว้าง ( $y/w$ ) = 2, 3, 4 และ 5 โดยทำการทดลองที่อัตราส่วนระยะห่างต่อความสูงของแผ่นกั้น ( $p/w$ ) = 4, 6, 8, 10 และ 12 และ ในช่วงตัวเลขเรย์โนลด์ 4,000 – 20,000 โดยใช้อากาศเป็นของไหลในการแลกเปลี่ยนความร้อนเมื่ออากาศไหลผ่านแผ่นกั้นทำให้เกิดการไหลปั่นป่วนภายในท่อเพิ่มขึ้น มีผลให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้นและยังมีผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นเช่นกัน จากผลการทดลองกรณีติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีที่  $p/w = 4$  และ  $y/w = 3$  สามารถเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนได้สูงที่สุดถึง 2.02 ทั้งนี้ที่  $p/w = 6, 8, 10$  และ 12 ให้มีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนถึง 1.99, 1.93, 1.85 และ 1.82 ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** การแลกเปลี่ยนความร้อน, เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน, แผ่นกั้นบิดรูปตัววี

### ABSTRACT

*The present research investigated heat transfer in a rectangular duct with V-shaped baffles by using air as the heat transfer fluid. The V-shaped baffles were fabricated from twisted tapes having twist ratios ( $y/w$ ) of 2, 3, 4, and 5. The baffles were installed with pitch ratios ( $p/w$ ) = 4, 6, 8, 10, and 12. Experiments were carried out in the Reynolds number range of 4,000 to*

*20,000. The presence of the baffles facilitated turbulence within the duct, resulting in boosting both heat transfer and friction factor. The V-shaped baffles with the narrowest pitch ratio ( $p/w = 4$ ) and a moderate twist ratio ( $y/w = 3$ ), offered the best thermal performance factor which was as high as 2.02 meanwhile the baffles with  $p/w = 6, 8, 10$ , and 12 gave the maximum thermal performance factors of 1.99, 1.93, 1.85 and 1.82, respectively.*

**Keywords:** Heat transfer, heat exchanger, twisted V-baffle

### 1. บทนำ

ในสถานการณ์ปัจจุบันการใช้พลังงานเป็นสิ่งจำเป็น ไม่ว่าจะเป็นการใช้ในอุตสาหกรรมทั้งขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ การประกอบสัมมาอาชีพ หรือแม้กระทั่งการใช้เพื่อการดำรงชีวิต พลังงานกลายเป็นสิ่งจำเป็นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ไม่ว่าจะเป็นพลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิงจากแหล่งต่างๆ เป็นต้น พลังงานมี 2 ประเภท ประเภทแรกเป็นพลังงานหมุนเวียน เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ เป็นต้น แบบที่สองใช้แล้วหมดไป เช่น ถ่านหิน น้ำมันเชื้อเพลิง แก๊สธรรมชาติ เป็นต้น ในขณะที่การใช้แหล่งพลังงานประเภทใช้แล้วหมดไปยังคงมีการใช้ในปริมาณที่มากกว่า ทำให้พลังงานจากแหล่งธรรมชาติเริ่มลดน้อยลง และเริ่มคลาดแคลน จึงส่งผลให้ราคาพลังงานปรับตัวสูงขึ้นมาก หน่วยงานทั้งภาครัฐและเอกชนเข้ามาจับบทบาทเกี่ยวกับการใช้พลังงานให้คุ้มค่า

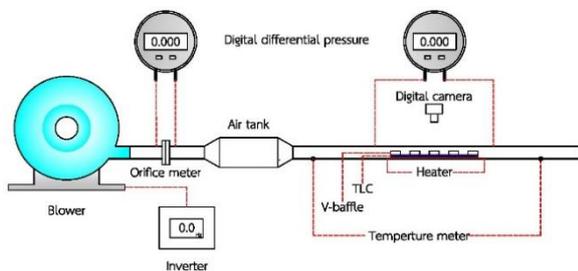
ลดการใช้พลังที่สิ้นเปลือง และใช้พลังงานที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการใช้พลังงานให้คุ้มค่ามากที่สุดเช่น การปรับปรุงสมรรถนะเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นก็เป็นสิ่งที่จำเป็น การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องถ่ายเทความร้อนด้วยการใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่เข้ามาปรับปรุงปรับปรุง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงขึ้นแล้วนำไปใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนในอุตสาหกรรมทั้งขนาดเล็กและขนาดใหญ่ ก็จะเป็นการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานโดยตรง และยังมีส่วนช่วยให้ต้นทุนการผลิตลดลงด้วย โดย Peng *et al.* [1] ได้ศึกษาการพาความร้อนในช่องสี่เหลี่ยมที่มีแผ่นกั้นลักษณะต่าง ๆ ขวางการไหลสร้างความปั่นป่วนประกอบด้วย แผ่นกั้นตรงแบบต่อเนื่อง 90° แผ่นกั้นตรงแบบไม่ต่อเนื่อง 90° แผ่นกั้นรูปตัววีแบบต่อเนื่อง 45° แผ่นกั้นรูปตัววีแบบไม่ต่อเนื่อง 45° แผ่นกั้นรูปตัววีแบบต่อเนื่อง 60° และแผ่นกั้นรูปตัววีแบบไม่ต่อเนื่อง 60° ใช้ตัวเลขเรย์โนลด์ ระหว่าง 6000 ถึง 15,000 Lanjewar *et al.* [2] ได้ทดลองสร้างรูปแบบการไหลแบบไม่เรียบโดยการติดตั้งแผ่นกั้นรูป W ที่ผนังท่อขวางการไหลเพื่อเพิ่มสมรรถนะของการถ่ายเทความร้อนให้กับเครื่องทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ ลักษณะของท่อเป็นสี่เหลี่ยมกำหนดพารามิเตอร์สำหรับการศึกษานี้ ใช้อัตราส่วนความกว้างของแผ่นกั้นต่อความสูงของท่อ ( $W/H$ ) เท่ากับ 8.0 อัตราส่วนระยะห่างต่อความสูงแผ่นกั้น ( $p/e$ ) เท่ากับ 10 อัตราส่วนความสูงแผ่นกั้นต่อความโตท่อสี่เหลี่ยม ( $e/D_h$ ) เท่ากับ 0.018 ถึง 0.03375 และมุมของแผ่นกั้นรูป W ระหว่าง 30° ถึง 75° กำหนดตัวเลขเรย์โนลด์ ระหว่าง 2300 ถึง 14,000 ผลจากการทดลองพบว่าอัตราส่วนความสูงแผ่นกั้นต่อความโตท่อสี่เหลี่ยม  $e/D_h$  เท่ากับ 0.03375 สามารถเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนได้สูงที่สุดและมุมของแผ่นกั้นรูป W เท่ากับ 60° เป็นมุมที่ดีที่สุด Jedsadaratanachai and Boonloi [3] บทความนี้นำเสนอลักษณะของการไหลและการถ่ายเทความร้อนในช่องสี่เหลี่ยมที่ติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีมุม 30° แบบคู่ขวางการไหล โดยติดตั้งทั้งผนังด้านบนและด้านล่างของช่องสี่เหลี่ยม ใช้พารามิเตอร์อัตราส่วน ( $b/H$ ) ระหว่าง 0.05 ถึง 0.25 และอัตราส่วน ( $L/H$ ) ระหว่าง 1 ถึง 2 และตัวเลขเรย์โนลด์ ระหว่าง 100 ถึง 1200 จากการตรวจสอบของพฤติกรรมการณ์การถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันพบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันสูงขึ้นกว่าช่องสี่เหลี่ยมผิวเรียบที่ไม่มีโครงสร้างความปั่นป่วน การเพิ่มขึ้นค่าการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุดจะพบว่าที่อัตราส่วน ( $L/H$ ) เท่ากับ 1 และอัตราส่วน ( $b/H$ ) เท่ากับ 0.10 และตัวเลขเรย์โนลด์

เท่ากับ 1200 Alam *et al.* [4] ศึกษาผลกระทบของอากาศที่ไหลผ่านแผ่นกั้นรูปตัววีซึ่งติดอยู่กับผนังด้านหนึ่งของท่อเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าและใช้ความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ แผ่นกั้นรูปตัววีขวางการไหลมีการเจาะรูที่แผ่นกั้น โดยรูเจาะมีลักษณะแตกต่างกันไป ประกอบด้วย รูกลม สี่เหลี่ยมผืนผ้าและสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดของรูเจาะตั้งแต่ 0.6 ถึง 1.0 อัตราส่วนระยะห่างต่อความสูงของแผ่นกั้น ( $p/e$ ) เท่ากับ 4 ถึง 12 อัตราส่วนความสูงแผ่นกั้นต่อความสูงท่อ ( $e/H$ ) เท่ากับ 0.4 ถึง 1.0 และมุมของแผ่นกั้นระหว่าง 30° ถึง 75° ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ ระหว่าง 2000 ถึง 20,000 จากการทดลองพบว่าพารามิเตอร์ที่กำหนดมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและแรงเสียดทานโดยประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดกรณีใช้รูเจาะรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.69 อัตราส่วนระยะห่าง ( $p/e$ ) เท่ากับ 8 อัตราส่วนความสูงแผ่นกั้นกับความสูงท่อ ( $e/H$ ) เท่ากับ 0.8 และมุมของแผ่นกั้นเท่ากับ 60° Jedsadaratanachai *et al.* [5] ใช้โปรแกรมคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อดำเนินการในการตรวจสอบลักษณะการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมที่มีความร้อนคงที่ในช่วงระยะต่างๆโดยติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีทำมุม 45° ทั้งด้านบนและด้านล่างของผนังท่อกลม เพื่อศึกษาการเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ผลการคำนวณแสดงให้เห็นว่าปัจจัยการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุดอยู่ที่อัตราส่วนความสูง ( $e/D$ ) เท่ากับ 0.20 สำหรับแผ่นกั้นตัววีแบบ V-upstream และอัตราส่วนความสูง ( $e/D$ ) เท่ากับ 0.25 สำหรับแผ่นกั้นตัววีแบบ V-downstream Ameer [6] ได้ศึกษาผลกระทบการไหลผ่านท่อสี่เหลี่ยมที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นที่มีผลต่อการแลกเปลี่ยนความร้อน จากการไหลของของไหลและการกระจายความร้อนด้วยการจำลองเชิงตัวเลข ลักษณะรูปร่างของแผ่นมีมุมลอน ( $\alpha$ ) ของแผ่นกั้นเท่า 0°, 22.5° และ 45° ความสูง ( $h$ ) เป็นอัตราส่วน  $h/H = 0.4, 0.5$  และ  $0.6$  พบว่าสมรรถนะโดยรวมเพิ่มขึ้นจาก 1.27 เป็น 1.53 เท่า จากการเพิ่มมุมลอนจาก 0° เป็น 45° และที่ความสูง  $h/H = 0.5$  เป็นค่าที่ดีที่สุด Al-Lami *et al.* [7] ได้ศึกษาการแลกเปลี่ยนความร้อนในไหลแบบปั่นป่วนด้วยการใช้อุปกรณ์กั้นขวางการไหลทรงกรวยตรงบริเวณกลางท่อในท่อกลมด้วยการใช้แบบจำลองเชิงตัวเลข โดยใช้ตัวเลขเรย์โนลด์ ระหว่าง 10,000 ถึง 50,000 ภายใต้การให้ความร้อนคงที่ และระยะห่างของแผ่นกั้นทรงกรวย PR ( $s/d$ ) ในช่วงระหว่าง 1, 2, 3, 4 และ 5 ผลการศึกษาพบว่าการจัดการจัดวาง และระยะห่างของการติดตั้งมีผลการเปลี่ยนแปลงของการถ่ายเทความร้อนอย่างมีนัยสำคัญ ในกรณีที่ดีที่สุดของการจัด

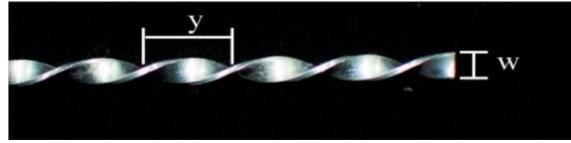
วางแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ระยะห่าง PR เท่ากับ 5 และตัวเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 10,000 มีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน 2 และ 2.25 ตามลำดับ

## 2. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

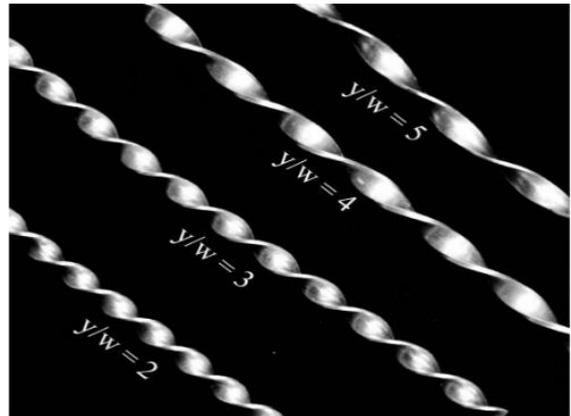
ชุดอุปกรณ์การทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นเพื่อสร้างการไหลแบบปั่นป่วนแสดงในรูปที่ 1 ในการทดลองใช้อากาศเป็นของไหลในการทดสอบเพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันในท่อ ด้วยการใช้โบลเวอร์เพื่อสร้างการไหลของอากาศผ่านท่อ ซึ่งถูกควบคุมด้วยอินเวอร์เตอร์ จากนั้นจะทำการวัดอุณหภูมิขาเข้าด้วยเทอร์โมคัปเปิล และความเร็วลมด้วยออร์ทิฟิสมิเตอร์ ส่งลมผ่านถึงพักอากาศ และไหลต่อไปยังท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดความสูง 10 มิลลิเมตร กว้าง 100 มิลลิเมตร และยาว 2,400 มิลลิเมตร ซึ่งท่อสี่เหลี่ยมสร้างจากแผ่นอะคริลิกใสขึ้นรูปขนาดความยาวชุดทดสอบ 300 มิลลิเมตร และที่ทางออกมีตัววัดอุณหภูมิรวมทั้งมีการวัดค่าความดันตกคร่อมระหว่างชุดทดสอบ การทดลองใช้ช่วงตัวเลขเรย์โนลด์ ระหว่าง 4000 ถึง 20,000 อัตราส่วนระยะห่างต่อความสูงของแผ่นกั้น  $p/w$  เท่ากับ 4, 6, 8, 10 และ 12 และใช้ระยะบิด  $y/w$  เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5 ในการทดลอง แผ่นกั้นบิดรูปตัววีมุม ( $\alpha$ ) เท่ากับ  $60^\circ$ , ความสูงของแผ่นกั้น ( $w$ ) เท่ากับ 3 มิลลิเมตร, ใช้แผ่นเทอร์โมโครมิกคลิควิดคริสตอล (TLC) รุ่น LCS-95 มีคุณสมบัติเปลี่ยนสีตามอุณหภูมิอย่างรวดเร็วและมีความถูกต้องเท่ากับ  $\pm 1^\circ$  ใช้สำหรับพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและแปลงค่าอุณหภูมิเป็นค่าการถ่ายเทความร้อน ( $Nu$ ), บันทึกภาพด้วยกล้องดิจิทัลที่ควบคุมระยะการถ่ายภาพ ปรับแสง และปริมาณแสงที่สภาวะเดียวกัน



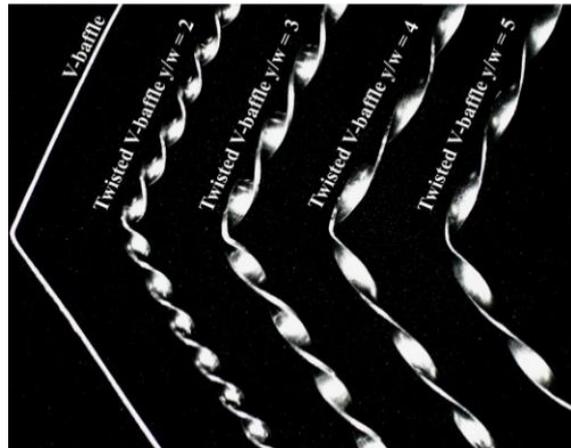
รูปที่ 1 แผนผังอุปกรณ์ของชุดทดลองแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า และอุปกรณ์การไหลทดสอบ



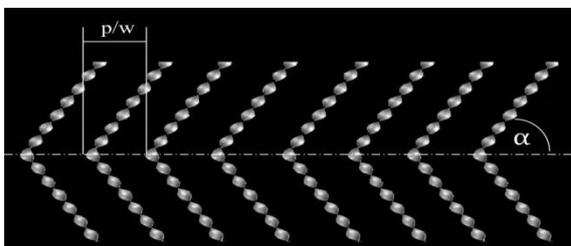
(ก) รูปแสดงระยะบิด ( $y$ ) และระยะความกว้าง ( $w$ ) ของแผ่นบิด



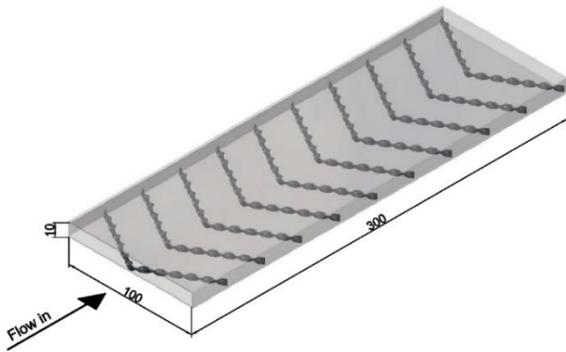
(ข) รูปแผ่นบิดที่  $y/w$  เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5



(ค) รูปแผ่นกั้นรูปวีและแผ่นบิดรูปตัววี



(ง) รูปการติดตั้งแผ่นกั้นบิดในชุดทดลองที่ระยะห่าง  $p/w$  เท่ากับ 4, 6, 8, 10 และ 12



(จ) การติดตั้งแผ่นกั้นบิตรูปตัววีในท่อสี่เหลี่ยม

รูปที่ 2 แผ่นกั้นบิตรูปตัววีและการติดตั้งแผ่นปิดในชุดทดลอง

### 3. ทฤษฎีในการวิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลอง

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน สัมประสิทธิ์ตัวประกอบเสียดทานเนื่องจากการไหล และสมรรถนะเชิงความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถ คำนวณได้ดังนี้

$$\dot{Q}_{air} = \dot{Q}_{conv} \tag{1}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}c_p(T_o - T_i) \tag{2}$$

สมการการพาความร้อนที่ผิวสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\dot{Q} = hA(T_w - T_b) \tag{3}$$

$$h = \frac{\dot{Q}}{A(T_w - T_b)} \tag{4}$$

$$Nu = \frac{hD}{k} \tag{5}$$

ค่าตัวเลขเรย์โนลด์หาได้จาก

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \tag{6}$$

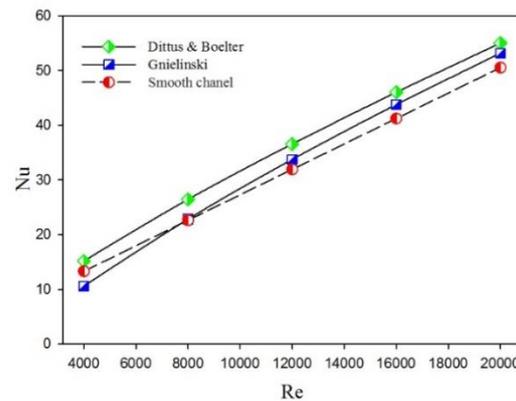
ค่าตัวประกอบเสียดทานหาได้จาก

$$f = \frac{\Delta P 2D}{\rho LV^2} \tag{7}$$

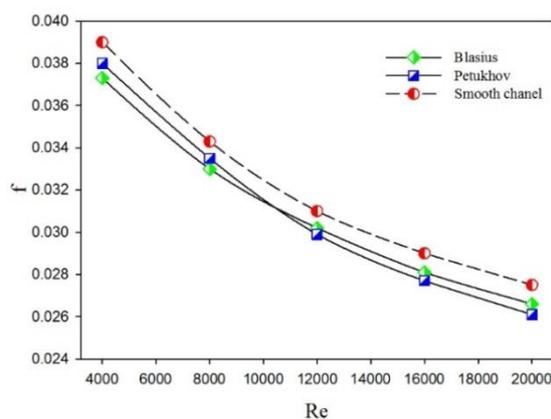
การหาสมรรถนะการแลกเปลี่ยนความร้อนทำขึ้นเพื่ออยากทราบว่าที่ได้ทำการทดลองการติดตั้งแผ่นกั้นนั้น ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นหรือลดลงและค่าตัวประกอบเสียดทานนั้นมีค่าเป็นอย่างไร ดังนั้นเราจึงทำการหาประสิทธิภาพเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนี้ว่า ผลออกมาจะคุ้มค่าหรือไม่

$$\eta = \left[ \frac{Nu / Nu_s}{(f / f_s)^{1/3}} \right] \tag{8}$$

### 4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการถ่ายเทความร้อนกรณีท่อเปล่าเปรียบเทียบกับสมการ Dittus and Boelter และ Gnielinski

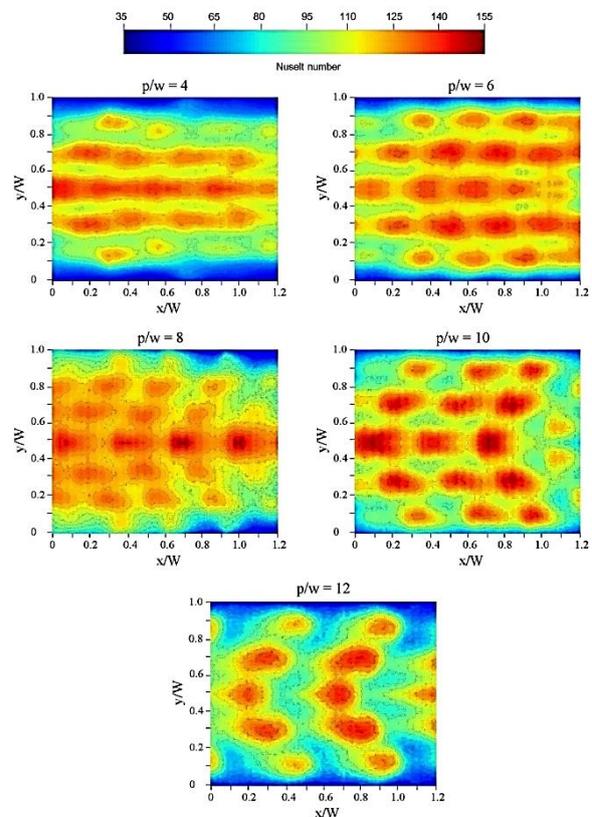


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกรณีท่อเปล่าเปรียบเทียบกับสมการ Blasius และ Petukhov

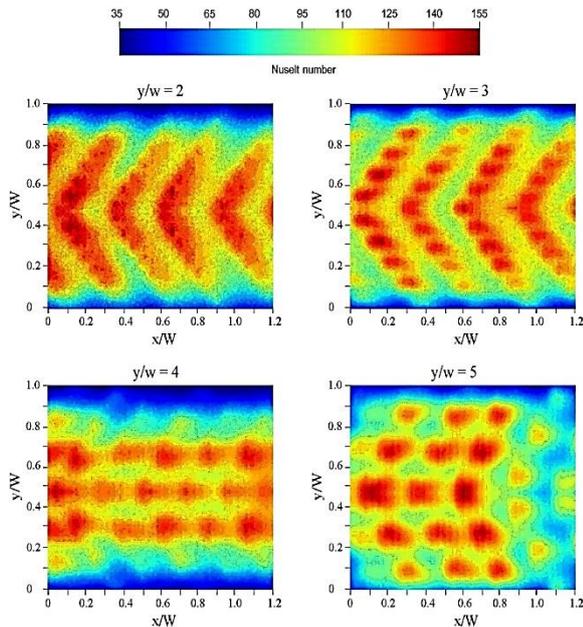
การทดลองการถ่ายเทความร้อนของท่อผิวเรียบในเทอมของตัวเลขนัสเซลท์ (Nu) และตัวเลขเรย์โนลด์ (Re) เพื่อเป็นการตรวจสอบการทดลอง, อุปกรณ์การทดลอง และเครื่องมือวัด แล้วนำผลการทดลอง เทียบกับสหสัมพันธ์ในอดีตของ Dittus-Boelter และ Gnielinski จากการทดลองพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวเลขนัสเซลท์ และตัวเลขเรย์โนลด์ของท่อผิวเรียบ มีความคลื่อนเฉลี่ย 11.63% เมื่อเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และ 8.55% เมื่อเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Gnielinski แสดงในรูปที่ 3 และสำหรับการทดลองการสูญเสียความดันภายในท่อทดสอบของท่อผิวเรียบในเทอมของตัวประกอบเสียดทาน และตัวเลขเรย์โนลด์ เทียบกับสหสัมพันธ์ในอดีตของ Blasius และ Petukhov จากการทดลองพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทาน และตัวเลขเรย์โนลด์ของท่อเปล่า มีความคลื่อนเฉลี่ย 4.55% เมื่อเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Blasius และ 3.75% เมื่อเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Petukhov แสดงในรูปที่ 4

รูปที่ 5 แสดงการกระจายตัวของค่าการถ่ายเทความร้อนกรณีติดตั้งแผ่นกั้นบิตรูปตัววีเปรียบเทียบกับระยะห่าง  $p/w$  เท่ากับ 4, 6, 8, 10 และ 12 ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 3 ที่เลขเรย์โนลด์ 20,000 จากการทดลองพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อน (Nu) ที่ระยะห่าง  $p/w$  เท่ากับ 4 จะเห็นค่าการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดเมื่อเทียบกับระยะห่าง  $p/w$  อื่นๆ สำหรับการศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากผลกระทบของอัตราส่วนระยะบิตต่อความสูงของแผ่นกั้น  $y/w$  โดยใช้ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5 ในการทดลอง พบว่านอกจากระยะห่างของแผ่นกั้นที่ส่งผลกระทบต่อค่าการถ่ายเทความร้อนแล้วนั้น ระยะบิตก็มีผลกระทบต่อค่าการถ่ายเทความร้อนเช่นกัน โดยเมื่อระยะบิตเปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเปลี่ยนแปลงไปด้วย ซึ่งผลกระทบดังกล่าวเกิดจากของไหลที่ไหลผ่านช่องเกลียวบิต แสดงในรูปที่ 6 การทดลองที่ระยะห่างของแผ่นกั้น  $p/w$  เท่ากับ 6 และที่ตัวเลขเรย์โนลด์ 20,000 พบว่าอัตราส่วนระยะบิตต่อความสูงแผ่นกั้น  $y/w$  เท่ากับ 3 มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด โดยที่ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 5, 4 และ 2 มีค่าการถ่ายเทความร้อนลดลงตามลำดับ เนื่องจากที่ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 3 ของไหลสามารถไหลผ่านช่องบิต และกระทบกับพื้นผิว

แลกเปลี่ยนความร้อนได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับระยะบิต  $y/w$  อื่น ในกรณีระยะบิตแคบเกิดไปของไหลจะไม่เกิดการไหลลอดช่องเกลียวบิตได้และไหลข้ามแผ่นกั้นเป็นส่วนใหญ่ หรือในกรณีระยะบิตที่กว้างเกินไปจะทำให้ของไหลไหลผ่านช่องบิตได้อย่างสะดวกไม่สร้างความปั่นป่วนในการไหลหรือความปั่นป่วนในการไหลเกิดขึ้นน้อย ทำให้ของไหลกระทบกับผนังแลกเปลี่ยนความร้อนน้อยลง จึงไม่สามารถสร้างค่าการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุดได้ ดังนั้นระยะบิตที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองคือระยะอัตราส่วนระยะบิตต่อความสูงของแผ่นกั้น  $y/w$  เท่ากับ 3 และที่ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 5, 4 และ 2 ตามลำดับ

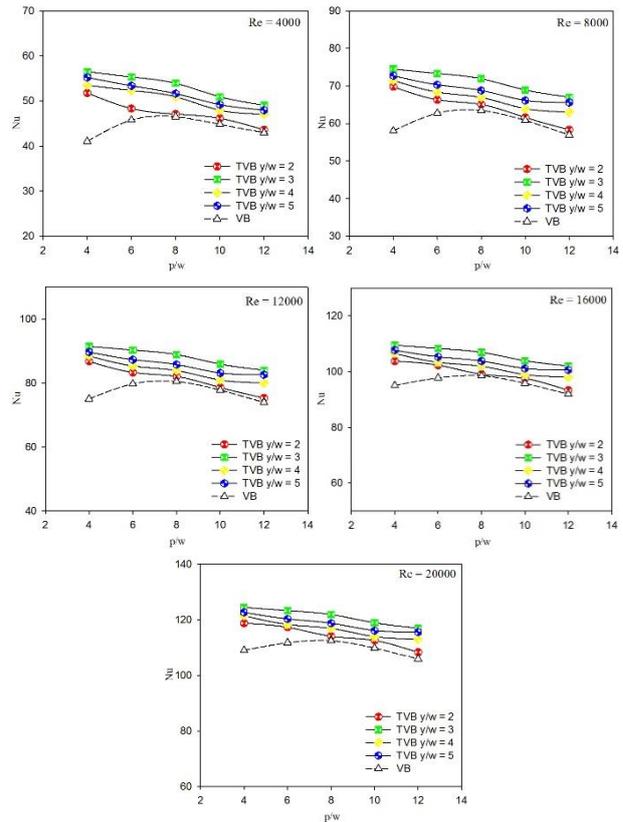


รูปที่ 5 การกระจายตัวของค่าการถ่ายเทความร้อนกรณีติดตั้งแผ่นกั้นบิตรูปตัววีเปรียบเทียบกับระยะห่าง  $p/w$  เท่ากับ 4, 6, 8, 10 และ 12 ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 3 ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ 20,000



รูปที่ 6 รูปแสดงการกระจายตัวของค่าการถ่ายเทความร้อนติดตั้งแผ่นกั้นปิดรูปตัววี เปรียบเทียบระยะปิด  $y/w$  เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5 ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ 20,000 และระยะห่าง  $p/w$  เท่ากับ 6

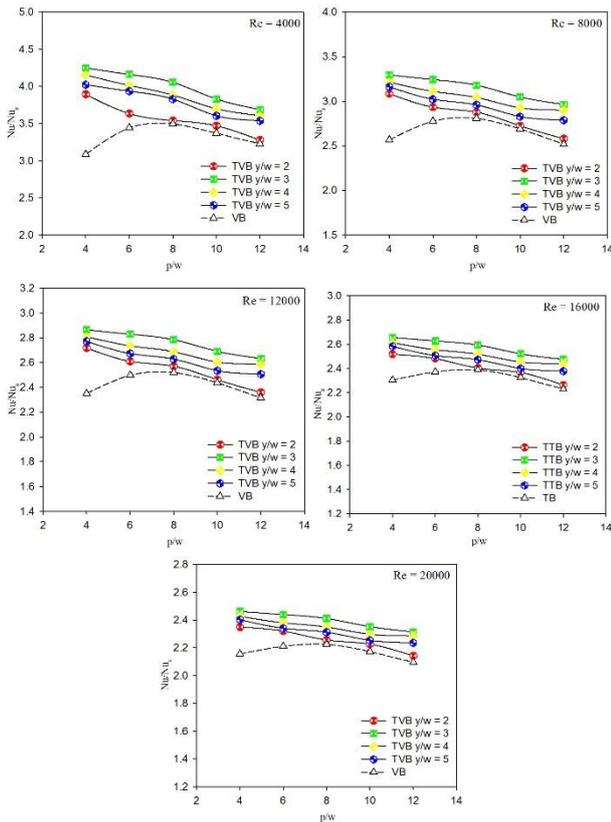
รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งการติดตั้งแผ่นกั้นที่ระยะห่าง  $p/w$  กับค่าการถ่ายเทความร้อน จากการทดลองที่ตัวเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 20,000 โดยใช้อัตราส่วนระยะปิดต่อความสูงของแผ่นกั้น  $y/w$  เท่ากับ 3 พบว่าการติดตั้งแผ่นกั้นที่ระยะห่าง  $p/w$  เท่ากับ 4 มีค่าการถ่ายเทความร้อน เท่ากับ 124.50 และที่ระยะห่าง  $p/w$  เท่ากับ 6, 8, 10 และ 12 มีค่าการถ่ายเทความร้อน เท่ากับ 123.34, 121.93, 118.93 และ 117.03 ตามลำดับ จากการพิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นจากอัตราส่วนระยะปิดต่อความสูงแผ่นกั้น  $y/w$  เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5 พบว่าที่ระยะปิด  $y/w$  เท่ากับ 3 จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด โดยที่ระยะปิด  $y/w$  เท่ากับ 5, 4 และ 2 มีค่าการถ่ายเทความร้อนลดลงตามลำดับ ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ 20,000 ระยะห่าง  $p/w$  เท่ากับ 4 และระยะปิด  $y/w$  เท่ากับ 3 เป็นพารามิเตอร์ที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดมีค่าการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 124.50 และที่ระยะปิด  $y/w$  เท่ากับ 5, 4 และ 2 มีค่าการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 122.71, 121.50 และ 118.78 ตามลำดับ



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่าง  $p/w$  กับค่าการถ่ายเทความร้อน กรณีใส่แผ่นกั้นปิดรูปตัววี ที่ระยะปิด  $y/w$  เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5

รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่าง  $p/w$  กับอัตราส่วนการเพิ่มของค่าการถ่ายเทความร้อน กรณีใส่แผ่นกั้นปิดรูปตัววีที่ระยะปิด  $y/w$  เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5 พบว่าอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อนเมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบพบว่าที่ตัวเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 4000 มีการเพิ่มขึ้นของค่าถ่ายเทความร้อนสูงที่สุดสำหรับผลกระทบของระยะห่างของแผ่นกั้นต่อความสูงของแผ่นกั้นที่ระยะ  $p/w$  เท่ากับ 4 มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อนมากที่สุดที่ตัวเลขเรย์โนลด์ 4000 และที่ระยะปิด  $y/w$  เท่ากับ 3 ค่าการถ่ายเทความร้อนมีอัตราการเพิ่มขึ้นจากท่อผิวเรียบ เท่ากับ 4.24 เท่า ส่วนที่ระยะห่าง  $p/w$  เท่ากับ 6, 8, 10 และ 12 มีอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อน เท่ากับ 4.16, 4.05, 3.83 และ 3.68 เมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบตามลำดับ ในส่วนการทดลองใช้แผ่นกั้นปิดวางรูปตัววีที่อัตราส่วนระยะปิดต่อความสูงของแผ่นกั้น  $y/w$  เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5 พบว่ากรณี ที่ระยะปิด  $y/w$  เท่ากับ 3 จะมี

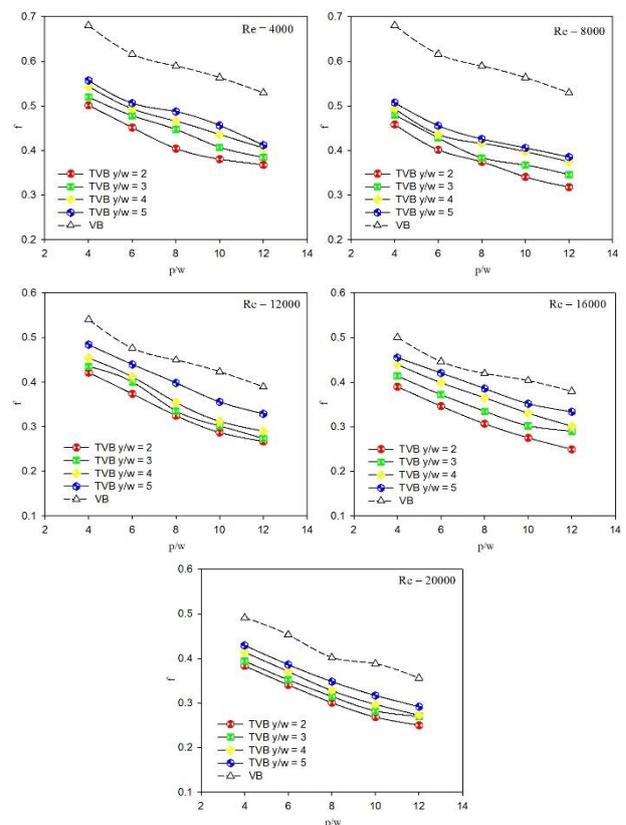
อัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุด พิจารณาที่ตัวเลขเรย์โนลด์ 4000 และระยะห่าง  $p/w$  เท่ากับ 4 จะมีอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อน 4.24 เท่า เมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบ ส่วนที่ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 4, 5 และ 2 มีอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อน 4.15, 4.02 และ 3.89 เท่าเมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบตามลำดับ



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่าง  $p/w$  กับอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อน กรณีใส่แผ่นกันบิตรูปตัววีที่ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5

รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่าง  $p/w$  กับค่าตัวประกอบเสียดทานที่เกิดขึ้นในการทดลองใส่แผ่นกันรูปตัววีบิดทำมุม  $60^\circ$  ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ ระหว่าง 4,000 ถึง 20,000 จากการทดลองพบว่าค่าตัวประกอบเสียดทาน จะสูงที่สุดในที่เลขเรย์โนลด์ 4000 และจะลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์สูงขึ้น กรณีของแผ่นกันรูปตัววีจะมีค่าตัวประกอบเสียดทานสูงสุด และค่าลดต่ำลงมาเป็นกรณีแผ่นกันบิตรูปตัววี สำหรับผลกระทบของระยะห่างการติดตั้งแผ่นกัน

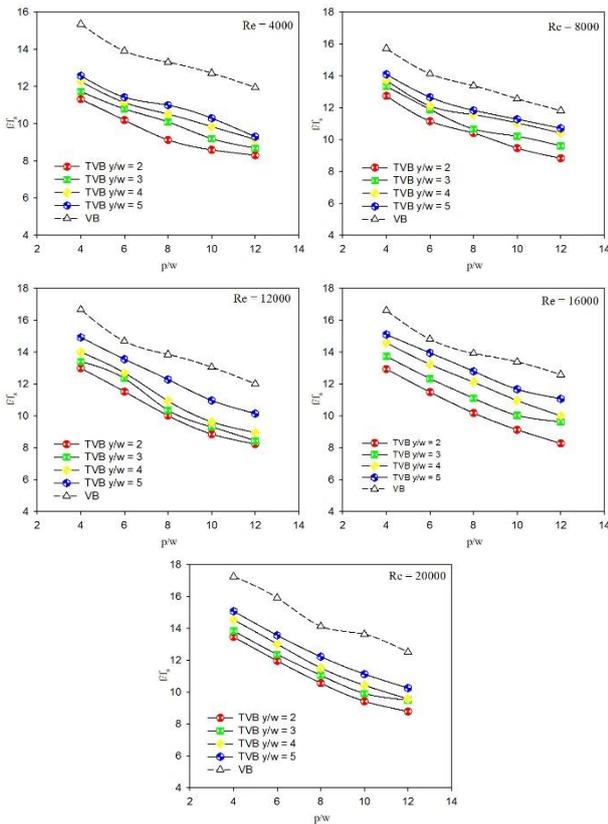
$p/w$  จะเห็นได้ว่าที่ระยะห่างของแผ่นกัน  $p/w$  เท่ากับ 4 จะมีค่าตัวประกอบเสียดทานสูงสุด และที่ระยะห่างของแผ่นกัน  $p/w$  เท่ากับ 6, 8, 10 และ 12 มีค่าตัวประกอบเสียดทานลดลงตามลำดับ จากผลการทดลองที่ตัวเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 4000 และที่อัตราส่วนระยะบิตต่อความสูงของแผ่นกัน  $y/w$  เท่ากับ 2 จะมีค่าตัวประกอบเสียดทานที่เกิดขึ้น เท่ากับ 0.55 และที่ระยะห่าง  $p/w$  ที่ 6, 8, 10 และ 12 มีค่าตัวประกอบเสียดทาน เพิ่มขึ้น 0.50, 0.48, 0.45 และ 0.41 โดยจะลดลงตามลำดับ ผลกระทบของระยะห่าง  $p/w$  กรณีติดตั้งแผ่นกันบิตรูปตัววี จึงเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับกรณีติดตั้งแผ่นกันบิต



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่าง  $p/w$  กับค่าตัวประกอบเสียดทาน กรณีใส่แผ่นกันบิตรูปตัววี ที่ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5

เมื่อวิเคราะห์ด้านผลกระทบของอัตราส่วนระยะบิตต่อความสูงของแผ่นกัน  $y/w$  จะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนระยะบิตต่อความสูงของแผ่นกัน  $y/w$  เท่ากับ 5 จะมีค่าตัวประกอบเสียดทานสูงสุด และที่อัตราส่วนระยะบิตต่อความสูงของแผ่นกัน  $y/w$  เท่ากับ 4, 3 และ 2

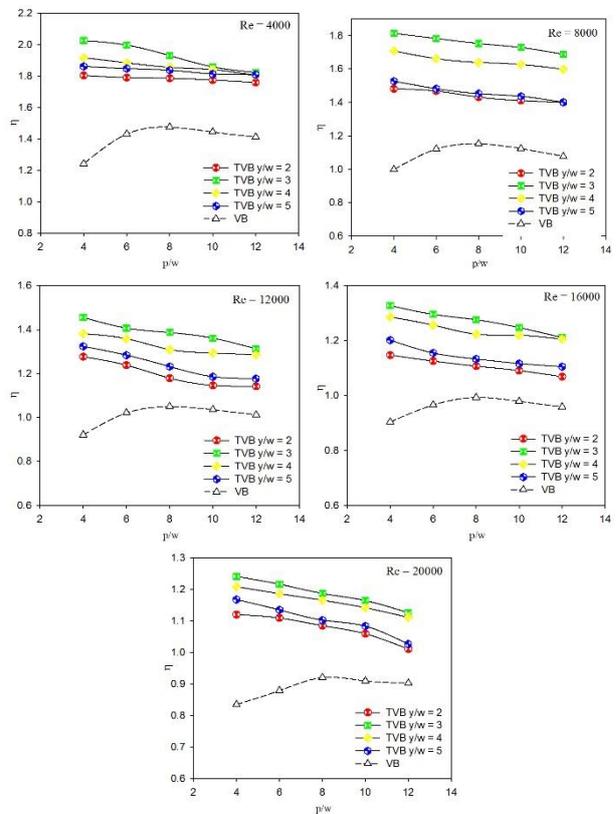
จะมีค่าตัวประกอบเสียดทาน ลดลงตามลำดับ เมื่อนำผลการทดลอง ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ 4000 และระยะห่างของแผ่นกัน  $p/w$  เท่ากับ 4 ค่าตัวประกอบเสียดทานที่ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 5 มีค่าตัวประกอบเสียดทาน เท่ากับ 0.55 และที่ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 4, 3 และ 2 มีค่าตัวประกอบเสียดทาน เท่ากับ 0.54, 0.51 และ 0.50 ตามลำดับ



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่าง  $p/w$  กับอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าตัวประกอบเสียดทาน กรณีใส่แผ่นกันบิดรูปตัววีที่ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5

รูปที่ 10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่าง  $p/w$  กับอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าตัวประกอบเสียดทาน พบว่าที่ระยะห่าง  $p/w$  เท่ากับ 4 มีอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าตัวประกอบเสียดทานมากที่สุดโดยพิจารณาที่ตัวเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 20,000 และที่ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 5 มีอัตราส่วนการเพิ่มขึ้น 15.05 เท่า เมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบและที่ระยะระยะห่าง  $p/w$  เท่ากับ 6, 8, 10 และ 12 มีอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าตัวประกอบเสียดทาน เท่ากับ 13.56,

12.22, 11.13 และ 10.24 เท่า เมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบ ในด้านผลกระทบของอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าตัวประกอบเสียดทาน จะเห็นได้ว่าที่อัตราส่วนระยะบิตต่อความสูงของแผ่นกัน  $y/w$  เท่ากับ 5 จะมีอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของค่าตัวประกอบเสียดทานสูงที่สุดโดย เมื่อพิจารณาที่ตัวเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 20,000 ที่ระยะห่างของแผ่นกัน  $p/w$  เท่ากับ 4 พบว่าที่ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 5 มีค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น 15.07 เท่าเมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบ และที่ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 4, 3 และ 2 มีค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น 14.54, 13.84 และ 13.46 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบ



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่าง  $p/w$  กับค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน เปรียบเทียบที่ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5

รูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่าง  $p/w$  กับค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน กรณีติดตั้งแผ่นกันบิดตัววี (Twisted V-baffle) เพื่อเปรียบเทียบกับแผ่นกันตัววี (V-baffle) จากการ

ทดลองพบว่าแผ่นกั้นบิตรูปตัววี จะมีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแผ่นกั้นตัววี เมื่อพิจารณาผลกระทบบของตัวเลขเรย์โนลด์ โดยใช้ตัวเลขเรย์โนลด์ ระหว่าง 4000 ถึง 20,000 ในการทดลองพบว่าที่ตัวเลขเรย์โนลด์ 4000 จะมีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุด โดยค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะลดลงตามตัวเลขเรย์โนลด์ที่ต่ำลง สำหรับแผ่นกั้นบิตรูปตัววี จะมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกับแผ่นกั้นตัววี คือที่ตัวเลขเรย์โนลด์ 4000 จะมีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุด และที่ตัวเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นคือ 8000, 12,000, 16,000 และ 20,000 ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะลดลง ตามลำดับ สำหรับผลกระทบของระยะห่างของแผ่นกั้น  $p/w$  เท่ากับ 4, 6, 8, 10 และ 12 ที่ใช้ในการทดลองพบว่ากรณีของแผ่นกั้นบิตรูปตัววี จะมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และที่ระยะห่าง  $p/w$  เท่ากับ 4 จะมีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุด และที่ระยะห่าง  $p/w$  เท่ากับ 6, 8, 10 และ 12 ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะลดลง ตามลำดับ เมื่อนำผลการทดลองที่ตัวเลขเรย์โนลด์ 4000 และที่ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 3 มาเปรียบเทียบ จะมีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน เท่ากับ 2.02 ที่ระยะ  $p/w$  เท่ากับ 6, 8, 10, และ 12 มีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน เท่ากับ 1.99, 1.93, 1.85, 1.81 และ 1.80 โดยจะลดลงตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบของอัตราส่วนระยะบิตต่อความสูงของแผ่นกั้น  $y/w$  กรณีใส่แผ่นกั้นบิตรูปตัววี โดยใช้ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5 ในการทดลอง พบว่าค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน และที่ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 3 จะมีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุด และที่ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 4, 5 และ 2 ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะลดลง ตามลำดับ จากกรณีวิเคราะห์ที่ตัวเลขเรย์โนลด์ 4000 และระยะห่างของแผ่นกั้น  $p/w$  เท่ากับ 4 พบว่าที่ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 3 มีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 2.02 และที่ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 4, 5 และ 2 มีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 1.91, 1.86 และ 1.80 โดยจะลดลงตามลำดับ

## 5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน เพื่อนำไปปรับปรุงอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จากการทดลองใช้ท่อสี่เหลี่ยม และใส่แผ่นกั้นขวางการไหลลักษณะต่าง ๆ เพื่อเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน ประกอบด้วย แผ่นกั้นบิตวงรูปตัววี

กับแผ่นกั้นรูปตัววี โดยใช้ระยะการติดตั้งที่ระยะห่างต่อความสูงของแผ่นกั้น  $p/w$  เท่ากับ 4, 6, 8, 10 และ 12 ในส่วนของแผ่นกั้นบิตรูปตัววี ใช้อัตราส่วนระยะบิตต่อความสูงแผ่นกั้น  $y/w$  เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5 และใช้ช่วงตัวเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 4000 ถึง 20,000 มีผลการทดลองดังต่อไปนี้

- ตัวเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 4000 จะมีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุด และค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนจะลดลงเมื่อตัวเลขเรย์โนลด์สูงขึ้น โดยจะมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน สำหรับแผ่นกั้นทุกรูปทรง
- กรณีแผ่นกั้นบิตวงรูปตัววี สามารถเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนได้สูงที่สุด โดยที่ระยะห่าง  $p/w$  เท่ากับ 4 และระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 3 มีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 2.02 และที่ระยะห่าง  $p/w$  เท่ากับ 6, 8, 10 และ 12 มีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน เท่ากับ 1.99, 1.93, 1.85 และ 1.82 ตามลำดับ มีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน
- สำหรับกรณีแผ่นกั้นบิตรูปตัววี โดยใช้ระยะบิตที่  $y/w$  เท่ากับ 2, 3, 4 และ 5 สรุปได้ว่าที่ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 3 มีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงสุด และเมื่อนำมาติดตั้งที่ระยะห่าง  $p/w$  เท่ากับ 4 จะมีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 2.02 และที่ระยะบิต  $y/w$  เท่ากับ 4, 5 และ 2 มีค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนเท่ากับ 1.91, 1.86 และ 1.80 ตามลำดับ

## เอกสารอ้างอิง

- [1] W. Peng, P.X. Jiang, Y.P. Wang, B.Y. Wei, Experimental and numerical investigation of convection heat transfer in channels with different types of ribs, *Applied Thermal Engineering* 31 (2011) 2702-2708.
- [2] A. Lanjewar, J.L. Bhagoria, R.M. Sarviya, Heat transfer and friction in solar air heater duct with W-shaped rib roughness on absorber plate, *Energy* 36 (2011) 4531-4541.
- [3] W. Jedsadaratanachai, A. Boonloi, Effects of block a geratioand pitch ratio on thermal performance in a square channel with 30° double V-baffles, *Case Studies in Thermal Engineering* 4 (2014) 118-128.
- [4] T. Alam, R.P. Saini, J.S. Saini, Effect of circularity of perforation holes in V-shaped blockages on heat transfer and friction characteristics of rectangular solar air heater duct, *Energy Conversion and Management* 86 (2014) 952-963.
- [5] W. Jedsadaratanachai, N. Jayranaiwachira, P. Promvong, 3D numerical study on flow structure and heat transfer in a circular tube with V-baffles, *Chinese Journal of Chemical Engineering* 23 (2015) 342-349.
- [6] Houari Ameer, Effect of corrugated baffles on the flow and thermal fields in a channel heat exchanger, *Journal of Applied and Computational Mechanics* 6 (2020) 209-218.
- [7] Hayder Al-Lami, Murtadha Saeed Mohammed, Radhwan Ali, Ahmed Alshara, and Hussein Kareem Abdul Zahra,

Characteristics of heat transfer and turbulent flow in a baffled pipe with different arrangements, *European Journal of Engineering and Technology Research* 7 (2022) 113–119.



**กฤษฎณ์ เรืองพยุงศ์กิติ์** จบการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันทำงานเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีความสนใจงานวิจัยในด้านเทคโนโลยีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



**นิวัตติ พิริยะรุ่งโรจน์** จบการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีความสนใจงานวิจัยในด้านเทคโนโลยีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน หม้อต้มไอน้ำ หม้อต้มน้ำมันร้อน