

อิทธิพลของแผ่นกั้นตรงตามขวางต่อลักษณะการเพิ่มสมรรถนะ ทางความร้อน

Influence of transverse baffles on thermal enhancement characteristics

อานัติ พิลลา วรินทร์ เกียรติคุณกุล และ สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย เขตหนองจอก กรุงเทพฯ 10530

พิชิต แก้วโกสุม

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Email: 66016068@kmitl.ac.th

อนุชา สายสร้อย และ ขวัญชัย หนาแน่น

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ตำบล นาวิ่ง อำเภอเมือง เพชรบุรี 76000

Manuscript Received June 17, 2024

Revised June 24, 2024

Accepted June 26, 2024

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของแผ่นกั้นตรง
วางขวาง (TB) ต่อเลขนัสเซลท์ (Nu) ตัวประกอบความเสียด
ทาน (f) และตัวประกอบเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนในช่วง
ค่าเลขเรย์โนลด์ส (Re) 6,000-24,000 ในการทดลองแผ่นกั้นตรง
วางขวาง (TB) มีการปรับสัดส่วนของค่าความสูงของแผ่นกั้นบาง
ต่อความสูงของท่อสี่เหลี่ยม (e/H) เท่ากับ 0.30 โดยค่าสัดส่วน
ของระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นต่อความสูงของแผ่นกั้น (P/e) คงที่
เท่ากับ 2 จากผลการทดลองพบว่าแผ่นกั้นตรงที่ค่า e/H เท่ากับ
0.30 และ ค่า P/e เท่ากับ 2 ให้ค่าเลขนัสเซลท์ (Nu) เท่ากับ
96.15 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส 24,000 และ ให้ค่าตัวประกอบเพิ่ม

สมรรถนะทางความร้อน (TEF) สูงที่สุดเท่ากับ 0.97 ที่ค่าเลขเรย์
โนลด์ส 6,000

คำสำคัญ: แผ่นกั้นตรงวางขวาง เลขนัสเซลท์ ค่าตัวประกอบความ
เสียดทาน ตัวประกอบเพิ่มสมรรถนะทางความร้อน

ABSTRACT

The objective of this paper is to investigate the
influence of transverse baffles (TB) on Nusselt number
(Nu), friction factor (f), and thermal enhancement factor
(TEF) in the Reynolds number (Re) range of 6,000-
24,000. In the experiments, the transverse baffles (TB)
have the blockage height ratio (e/H) equal to 0.30,
while keeping the baffle pitch to baffle height ratio (P/e)

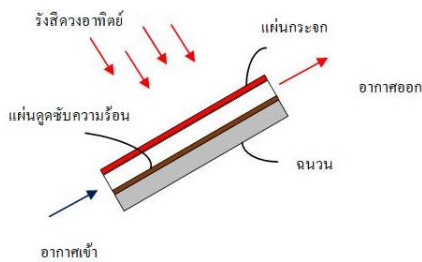
constant at 2. The results showed that for TB ($e/H=0.30$, $P/e=2$), the highest Nusselt number (Nu) value is 96.15 and the Reynolds number of 24,000. The transverse baffle (TB) gives the highest thermal enhancement factor (TEF) of 0.97 at a Reynolds number of 6,000.

Keywords: Transverse baffle, Nusselt number, Friction factor, Thermal enhancement factor

1. ข้อมูลทั่วไป

แนวโน้มการใช้พลังงาน และ ราคาพลังงานในปัจจุบันมีแนวโน้มสูงขึ้นทุกปี ค่าพลังงานที่มีราคาสูงย่อมส่งผลกระทบต่อต้นทุนในภาคอุตสาหกรรม และในครัวเรือน ดังนั้น การใช้พลังงานอย่างประหยัด มีความคุ้มค่า ย่อมเป็นการสร้างความยั่งยืนให้กับผู้ประกอบการในอนาคต

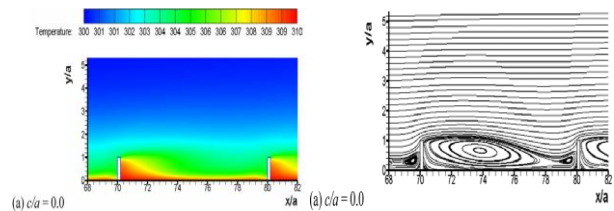
เครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ (solar air heater) เป็นอุปกรณ์ชนิดหนึ่งที่รับความร้อนจากแสงอาทิตย์มาเก็บไว้ และใช้พัดลมดูดอากาศดูดความร้อนที่สะสมไว้บนแผ่นดูดซับ (absorber plate) ไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น การบ่มผลไม้ การอบแห้ง ผลผลิตทางการเกษตร เป็นต้น รูปแสดงหลักการดูดซับความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์ (solar air heater) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ท่ออุ่นอากาศพลังงานแสงอาทิตย์แบบช่องสี่เหลี่ยมที่มีผนังเรียบ

ปัญหาของการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับแผ่นดูดซับความร้อนแบบดั้งเดิมจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ค่อนข้างต่ำ เนื่องจากเป็นแบบช่องทางที่มีผนังเรียบ (ท่อเปล่า) ที่มีการถ่ายเทความร้อนที่ผิวต่ำ เทคนิคการเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยทั่วไปสามารถแบ่งเทคนิคที่ใช้ในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้

3 แบบ ได้แก่ แบบแอคทีฟ (Active techniques) แบบพาสซีฟ (Passive techniques) และ แบบผสมผสาน (Compound techniques) [1] โดยวิธีแบบพาสซีฟ (Passive techniques) เป็นเทคนิคที่นิยมใช้ในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ต้องนำพลังงานจากภายนอกมาใช้แต่จะเป็นการปรับปรุงพื้นผิวหรือโครงสร้าง เช่น การปรับเปลี่ยนพื้นผิวหยาบเพื่อส่งเสริมการสร้างความปั่นป่วนของอากาศที่ผิว [2] ซึ่งตัวสร้างความปั่นป่วน (Turbulator) จะทำลายชั้นขอบเขต (Boundary Layer) ที่บริเวณผิว ตัวอย่างการสร้างความขรุขระที่ผิว เช่น การสอดใส่ครีบริบ (Rib), แผ่นกั้น (Baffle) และ ชิ้นงานรูปร่างอื่นๆวางบนพื้นผิว เพื่อให้โอกาสเกิดความปั่นป่วนหลังชิ้นงานที่สอดใส่เพื่อทำลายหรือรบกวนชั้นขอบเขตระหว่างของไหลกับพื้นผิวท่อ ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณผิวมากขึ้น ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปแบบของการไหลเมื่อเคลื่อนที่ผ่านชิ้นงานสร้างความปั่นป่วน [2]

ตัวอย่างชิ้นงานที่นำมาสอดใส่ในเครื่องทำความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ เช่น การติดตั้งแผ่นกั้นบาง (baffle) [3] - [6] การติดตั้งครีบริบบางแบบต่าง ๆ (rib) [6-8] และการปรับปรุงผิวของท่อ (modification surface) [9] เป็นต้น [3] ทำการตรวจสอบเชิงตัวเลขพบว่าผลกระทบของอัตราส่วนพิทซ์และความสูง ($P/e=7.14-35.71$ และ $e/D=0.021-0.042$) ของครีบริบตามขวางแบบหน้าตัดสี่เหลี่ยมต่อสมรรถนะทางความร้อน พบว่าชิ้นที่มี $P/e=10.71$ และ $e/D=0.042$ ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุด [6] ในกรณีของ T-Rib วางกลับหัวตามขวาง พบว่าระบบให้ค่า TPF สูงสุด 1.86 ที่ $P/e=7.14$, $e/D_h=0.042$ และ $Re=15,000$ นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเรื่องอัตราส่วนการขวางการไหลของครีบริบ [10] - [13] [11] ศึกษาพฤติกรรมการไหลและการถ่ายเทความร้อนบนพื้นผิวของที่ติดตั้งด้วยแผ่นกั้นทรงกลมที่มีอัตราส่วนการขวางการไหลที่ต่างกัน 3 แบบ ($D/H=0.25, 0.38$ และ 0.5) ในช่วง $63 \leq Re \leq 165$ ผลการศึกษา

พบว่าอัตราส่วนการขวางการไหลที่ 0.38 ให้อัตราการถ่ายเทความร้อนสูงสุด [13] พบว่าการใช้ครีปในเครื่องทำความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบช่วยปรับปรุงสมรรถนะเชิงความร้อนได้มากขึ้นกว่า 9% เป็นต้น

จากงานวิจัยหลายชิ้น พบว่าการสอดใส่แผ่นกันตรง และแผ่นกันรูปร่างอื่น ๆ สามารถช่วยให้การถ่ายเทความร้อนที่ผิวท่อเพิ่มสูงขึ้น และยังช่วยเพิ่มค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อน (Thermal Enhancement Factor, TEF) ซึ่งเป็นการประเมินที่พิจารณาทั้งการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียจากความเสียหายที่เกิดขึ้น

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ ต้องการศึกษาคืออิทธิพลของแผ่นกันต่อลักษณะการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนเทียบกับท่อผิวเรียบ (ท่อเปล่า) โดยพิจารณาค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนซึ่งเป็นสัดส่วนสัมประสิทธิ์การพาความร้อนกับค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของท่อผนังเรียบ ที่พิจารณาภายใต้สภาวะการใช้กำลังขับพัดลมโบลเวอร์เดียวกัน

2. วิธีการทดลอง

ชุดทดลองท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบช่องขนานสี่เหลี่ยมผืนผ้า แสดงในรูปที่ 3 แสดงถึงการทำงานของอุปกรณ์ในการทดลองหลังจากติดตั้งชิ้นงานสร้างความปั่นป่วนที่ชั้นผิว เพื่อศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ความดันสูญเสียในระบบ และสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน โดยมีอุปกรณ์ ส่วนประกอบต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้



รูปที่ 3 ชุดทดลองท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบช่องขนานสี่เหลี่ยมผืนผ้า

1. พัดลมโบลเวอร์ดูดอากาศ สำหรับดูดอากาศเข้าชุดทดสอบ

2. อินเวอร์เตอร์ สำหรับควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสสลับ

3. ออร์ิฟิสมิเตอร์ สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศ

4. อุปกรณ์วัดผลต่างของความดัน

5. ถังพักลม สำหรับปรับสภาพการไหลอากาศก่อนเข้าท่อทดสอบ

6. ท่อทดสอบ ประกอบด้วย 3 ส่วน คือส่วนทางเข้า ส่วนท่อทดสอบ และ ส่วนทางออก

7. แผ่นเทอร์โมโครมิกคลิควิดคริสตอล (Thermochromics Liquid Crystal Sheet, TLCs) สำหรับวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวท่อ บริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน

8. กล้องดิจิทัลความละเอียดสูง สำหรับบันทึกผลคุณภาพภาพสี่ บนแผ่นเทอร์โมโครมิกคลิควิดคริสตอล และ แปลงเป็นสี เพื่อดูผลการพาความร้อนที่ผิวท่อ

9. อุปกรณ์วัดผลต่างของความดัน สำหรับวัดความดันที่แตกต่างระหว่างหน้า และ หลังแผ่นออร์ิฟิสมิเตอร์

10. เครื่องบันทึกอุณหภูมิและแสดงผลสำหรับตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศก่อน และ หลังเข้าท่อทดสอบ

11. เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ สำหรับวัดค่าอุณหภูมิทางเข้า และ ทางออกท่อทดสอบ เพื่อใช้คำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนในท่อทดสอบ

12. เครื่องวัดความเร็วของอากาศเครื่องวัดความเร็วของอากาศ สำหรับวัดอัตราการไหลอากาศที่เข้าท่อทดสอบ

13. แผ่นให้ความร้อน สำหรับให้ความร้อนกับงานที่ใช้ทดสอบ

14. อุปกรณ์ควบคุมกระแสและแรงดันไฟฟ้า ของแผ่นฮีตเตอร์ สำหรับควบคุมปริมาณไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นความร้อน

15. เครื่องแสดงผลของกำลังไฟฟ้า สำหรับแสดงผลของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นให้ความร้อน

16. คอมพิวเตอร์ สำหรับบันทึกข้อมูลการทดลอง วิเคราะห์ภาพถ่ายสี่ของแผ่นเทอร์โมโครมิกคลิควิดคริสตอล เพื่อคำนวณหาอุณหภูมิพื้นผิวที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน

การศึกษาทดลองที่เกี่ยวกับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและความดันสูญเสียในระบบที่มีการติดตั้งแผ่นกัน ในลักษณะรูปร่างแบบต่าง ๆ ภายในท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าสามารถแบ่งชุดอุปกรณ์ออกได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

- 1) กลุ่มแหล่งกำเนิดของอากาศ

- 2) กลุ่มอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ
- 3) กลุ่มส่วนประกอบของท่อทดสอบ
- 4) กลุ่มเครื่องมือวัดต่างๆ

โดยอุปกรณ์ดังกล่าวใช้ในการบันทึกค่าเพื่อคำนวณหาเลขนัสเซลท์และ ตัวประกอบความเสียดทาน ซึ่งรายละเอียดจะมิตั้งต่อไปนี้

2.1 แหล่งกำเนิดอากาศ

แหล่งกำเนิดอากาศประกอบด้วยอุปกรณ์ทดสอบ รายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงข้อมูลอุปกรณ์และรูปภาพประกอบของแหล่งกำเนิดอากาศ

คำอธิบายอุปกรณ์ทดสอบ	รูปภาพประกอบ
พัดลมโบลเวอร์ดูดอากาศ (Ring Blower) พัดลมอัดหรือดูดอากาศซึ่งเป็นแหล่งจ่ายอากาศสำหรับชุดทดลอง สามารถสร้างอากาศที่ใช้สำหรับงานที่ต้องการแรงดันสูง มีใบพัดซี่เล็กและการสั่นสะเทือนน้อย ดังนั้นลมที่ได้มีความนิ่งกว่าใบพัดขนาดใหญ่ กำลังขนาด 3 แรงม้า (2.2 กิโลวัตต์) ปริมาณการไหลของอากาศ 318 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ความดันสูงสุดที่สามารถทำได้ 21,000 ปาสคาล (2,142 เมตรปรอท) ใช้ไฟฟ้า 3 เฟส (345-415 โวลต์)	
อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ใช้สำหรับควบคุมความเร็วของมอเตอร์กระแสสลับ โดยเปลี่ยนความถี่ของไฟฟ้ากระแสสลับ ความเร็วมอเตอร์จะเปลี่ยนตาม และควบคุมอัตราการไหลของอากาศให้ได้ค่าตามที่กำหนดไว้ ในการทดลองจะใช้อินเวอร์เตอร์ ขนาด 0.4-2.2 กิโลวัตต์ ใช้ไฟฟ้า 3 เฟส (345-415 โวลต์)	

2.2 อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ

อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ มีรายละเอียดดังตารางที่ 2

2.3 อุปกรณ์ส่วนของการทดสอบ

ในการทดสอบจะใช้ท่อในการทดลอง (Experimental Duct) แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของทางเข้า (Inlet Section) ส่วนทดสอบ (Test Section) และส่วนทางออก (Exit Section) ซึ่งรายละเอียดของแต่ละส่วน มีรายละเอียด ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 2 ตารางแสดงข้อมูลอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ

คำอธิบายอุปกรณ์ทดสอบ	รูปภาพประกอบ
ออริฟิสมิเตอร์ (Orifice Meter) สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศในชุดทดสอบ โดยติดตั้งบริเวณทางเข้าชุดทดสอบ (Test Section) ระหว่างพัดลมดูดอากาศและถังพักอากาศโดยที่ออริฟิสมิเตอร์ทำจากแผ่นสแตนเลสหนา 5 มม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 51 มม.	
เครื่องส่งสัญญาณความแตกต่างของค่าความดันดิฟเฟอเรนเชียล สำหรับการตรวจสอบความดันและความเร็วลมเป็นเครื่องวัดขนาดกะทัดรัด มีค่าความคลาดเคลื่อนในการวัดอยู่ที่ ±2% ที่ต่ำกว่า 250 ปาสคาล และ ±1% ที่อยู่ในช่วง 250-1250 ปาสคาล ใช้สำหรับวัดผลต่างของความดันที่บริเวณด้านหน้าและด้านหลังของแผ่นออริฟิสมิเตอร์	
ถังพักลม (Settling Tank) กว้าง 380 มม. ยาว 450 มม. และความสูง 300 มม. โดยติดตั้งแผ่นกระจายอากาศ (แผ่นเจาะรู) ด้านในของถังพักลมเพื่อปรับสภาพการไหลของอากาศ ให้มีการจัดเรียงตัวของอากาศ และปรับสภาพการไหลของอากาศให้นิ่งก่อนเข้าสู่ท่อทดสอบ	

ตารางที่ 3 ตารางแสดงอุปกรณ์และรูปภาพประกอบของอุปกรณ์ส่วนของการทดสอบ

คำอธิบายอุปกรณ์ทดสอบ	รูปภาพประกอบ
ส่วนของทางเข้า (Inlet Section) เพื่อป้องกันปัญหาการไหลแบบไม่เต็มท่อหลังจากลมได้ออกจากท่อพัก จึงทำการออกแบบให้ความยาวในส่วนนี้เพียงพอสำหรับการพัฒนาการไหลให้เป็น แบบเต็มท่อ (Fully Development Flow) โดยแสดงวิธีการคำนวณในหัวข้อ 3.1.2 ซึ่งท่อทางเข้าต้องมีความยาวมากกว่า 1.896 ม. แสดงการคำนวณดังสมการ 3.8 มีการติดตั้งตัววัดอุณหภูมิ 3 จุด ใช้ในการคำนวณหาอุณหภูมิทางเข้าเฉลี่ย	
ส่วนของการทดสอบ (Test Section) ติดตั้งแผ่นความร้อน สภาวะหลักคือความร้อนที่ผนังท่อคงที่ หลังจากนั้นติดตั้งแผ่น สแตนเลสบางความหนา 0.05 มม. ทำหน้าที่กระจายความร้อนจากแผ่นความร้อน และ ที่แผ่นสแตนเลสบาง โดยทำการติดตั้งแผ่นเทอร์โมโคมิคัลอิวิตคริสตอลเพื่อวัดอุณหภูมิที่ผิวด้านล่างผนังท่อ โดยเป็นแผ่นอะคริลิกหนา 10 มม. ใช้กล้องดิจิตอลถ่ายภาพเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงสีบนแผ่นเทอร์โมโคมิคัลอิวิตคริสตอล โดยท่อทดสอบมีความยาว 900 มม.	
ส่วนของทางออก (Exit Section) มีความสำคัญเนื่องจากความยาวต้องมากพอที่จะทำให้ของไหลมีการผสมกันดี สำหรับการทดลองนี้ใช้ท่อที่มีความยาว 600 มม. และทำการติดตั้งเครื่องวัดอุณหภูมิทั้งหมด 8 จุด ทั่วหน้าตัด เพื่อใช้ในการคำนวณหาอุณหภูมิทางออกเฉลี่ย	

2.4 อุปกรณ์และเครื่องมือวัดอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

อุปกรณ์และเครื่องมือวัดอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ในการบันทึกข้อมูลมี รายละเอียด แสดงดังตารางที่ 4

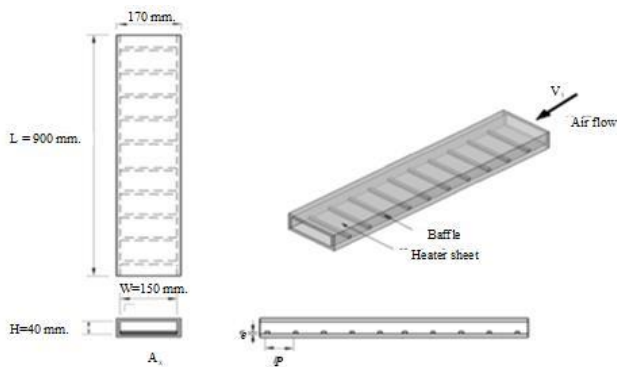
ตารางที่ 4 ตารางแสดงข้อมูลอุปกรณ์และรูปภาพประกอบของ อุปกรณ์และเครื่องมือวัดอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องในการบันทึก

คำอธิบายอุปกรณ์ทดสอบ	รูปภาพประกอบ
แผ่นเทอร์โมโครมิกคริสตัล (Thermochromic Liquid Crystal Sheet, TLCs) สำหรับวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่พื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อน โดยช่วงการทดสอบอยู่ระหว่าง 30-35 องศาเซลเซียส มีค่าความคลาดเคลื่อน $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$	 (แหล่งที่มา: Toriyama et al [14])
กล้องบันทึกภาพสี ใช้กล้องดิจิทัลที่มีความละเอียดสูง เพื่อให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงความร้อนบนผิวท่อ ในรูปของภาพสีที่แสดงบนแผ่นเทอร์โมโครมิกคริสตัลที่ถ่ายจากกล้องดิจิทัล ความละเอียดถึง 16.2 ล้านจุด	
เครื่องวัดผลต่างของความดัน (Pressure Differential Transmitter) ความคลาดเคลื่อนในการวัดอยู่ที่ $\pm 1\%$ สามารถวัดความดันสูงสุด 250 ปาสคาล ใช้สำหรับวัดค่าความดันที่แตกต่างบริเวณท่อทดสอบเพื่อใช้คำนวณค่าตัวประกอบความเสียดทาน	
เครื่องบันทึกอุณหภูมิและแสดงผลอุณหภูมิ สำหรับวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอากาศก่อนและหลังของไหล (อากาศ) ผ่านท่อทดสอบ เครื่องบันทึกข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง ความเร็วต่ำสุดในการวัดค่าสัญญาณอยู่ที่ 10 มิลลิวินาที บันทึกและแสดงผลได้สูงสุด 30 ช่องสัญญาณ	
ตัววัดอุณหภูมิ (Temperature Sensor) แบบ RTD (Resistance Temperature Detector) รุ่น Pt100 ใช้สำหรับวัดค่าอุณหภูมิและนำไปคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนภายในท่อ โดยตัววัดอุณหภูมิชนิดนี้จะมี ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ ± 0.001 โอห์ม ที่อุณหภูมิ 0°C ($\pm 0.05^{\circ}\text{C}$ ที่อุณหภูมิ -130 จนถึง 95°C)	
เครื่องวัดความเร็วของอากาศ (Anemometer) ใช้สอบเทียบแผ่นออริฟิส เพื่อคำนวณหาอัตราการไหลอากาศที่ไหลเข้าท่อทดสอบ เป็นแบบเส้นลวดร้อน (Hot-Wire Anemometer) ความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ $\pm 3\%$ สำหรับค่าที่อ่านได้ (± 0.015 m/s ที่ช่วงความเร็ว 0 จนถึง 50 m/s) และมีความละเอียดในการวัด 0.01 เมตรต่อวินาที	

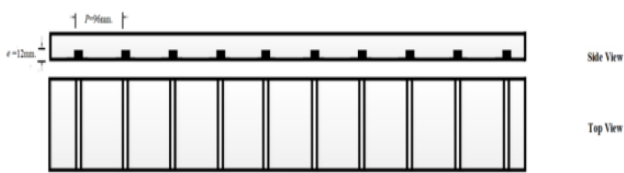
แผ่นให้ความร้อน (Heater Sheet) เป็นแบบแผ่น (เส้น ขดลวดแบนแล้วเคลือบด้วยสารโพลีเมอร์) ขนาด 720 วัตต์ (10 วัตต์ต่อตารางนิ้ว) มีขนาดความกว้าง 150 มม. และมีความยาว 300 มม. ซึ่งในการทดลองจะใช้ ทั้งหมด 3 แผ่น วางเรียงติดต่อกัน จะทำการติดตั้งที่ ผังงด้านข้างของท่อทดสอบเพียงด้านเดียว	
เครื่องแสดงผลของกำลังไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแผ่นให้ความ ร้อน ซึ่งสามารถแสดงผลได้หลากหลายรูปแบบ อาทิ เช่นกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า หรือกำลังไฟฟ้าเป็นต้น	
อุปกรณ์ควบคุมกระแสและแรงดันไฟฟ้าของแผ่น ฮีตเตอร์ใช้แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าสลับไม่เกิน 115 โวลต์ ดังนั้น ในการทดลองจึงต้องควบคุมกระแสและ แรงดันให้ไม่เกินตามคู่มือของแผ่นให้ความร้อน เครื่อง ปรังกระแสและแรงดัน ยี่ห้อ TKXEC รับกำลังไฟฟ้าได้ สูงสุด 10,000 วัตต์ และกระแสสูงสุดได้ไม่เกิน 45 แอมป์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการควบคุมปริมาณไฟฟ้าที่ จ่ายให้กับแผ่นฮีตเตอร์ให้ได้ตามค่าที่กำหนด	
เครื่องอ่านค่ากำลังไฟฟ้า ที่วัดได้จะถูกนำไปใช้ในการ คำนวนการถ่ายเทความร้อนภายในท่อ และเพื่อ ความถูกต้องสำหรับการวัดในขณะที่ทำการอ่านค่า กำลังของไฟฟ้าจะทำการตรวจสอบและวัดค่าจาก แคลมป์มิเตอร์	
คอมพิวเตอร์ (Computer) ใช้ในการเชื่อมต่อกับเครื่อง บันทึกข้อมูล เพื่อเก็บบันทึกค่าข้อมูลต่างๆในการ ทดลอง และใช้วิเคราะห์ภาพถ่ายของแผ่นเทอร์โมโคร มิกคริสตัลคริสตัล เพื่อนำไปคำนวณอุณหภูมิของพื้นผิว ที่มีการแลกเปลี่ยนความร้อน	

2.5 วิธีการทดสอบ

ชิ้นงานทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาการเพิ่มการถ่ายเท ความร้อนและความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นในท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยทำ การติดตั้งชิ้นงานทดสอบเพื่อศึกษาพฤติกรรมการสร้างความปั่นป่วน บริเวณผิวท่อที่ติดตั้งแผ่นกั้นตรงขวางขวาง (Transverse Baffle, TB) แสดงดังรูปที่ 4 และ รูปที่ 5



รูปที่ 4 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบที่วางในท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า



รูปที่ 5 ลักษณะการวางชิ้นงานทดสอบ (TB) ที่ค่า $e/H = 0.30$ และ ค่า $P/e = 8$

รูปชิ้นงานแผ่นกั้นตรงวางขวาง (TB) ที่ค่า $e/H=0.30$ และ $P/e=2$ แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 รูปชิ้นงานทดสอบที่ค่าความสูงของแผ่นกั้นต่อความสูงของท่อสี่เหลี่ยม (e/H) คงที่ เท่ากับ 0.30 และ $P/e = 2$

โดยเงื่อนไขของการทดลองและพารามิเตอร์ต่าง ๆ จะแสดงอยู่ในตารางที่ 5 และมีรายละเอียดดังนี้ ค่าสัดส่วนของค่าความสูงของแผ่นกั้นตรง (e) ต่อความสูงของท่อสี่เหลี่ยม (H) (Blockage Height Ratios, e/H) เท่ากับ 0.30 และ ค่าสัดส่วนของระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นต่อความสูงของแผ่นกั้น (Baffle Pitch Length to Baffle

Height Ratio, P/e) เท่ากับ 2 แผ่นกั้นตรงมีความหนา (t) เท่ากับ 1.5 มิลลิเมตร ความสูงของท่อสี่เหลี่ยม (H) 400 มิลลิเมตร ความกว้างของท่อสี่เหลี่ยม (W) 150 มิลลิเมตร และ มีความยาวของท่อสี่เหลี่ยม (L) 900 มิลลิเมตร ค่าความสูงของแผ่นกั้นบาง (e) เท่ากับ 12 มิลลิเมตร ความสูงของท่อสี่เหลี่ยม (H) เท่ากับ 40 มิลลิเมตร จากงานวิจัยที่ผ่านมา [15], [16] แนะนำค่าความสูงของแผ่นกั้นบาง (e) เท่ากับ 4-12 มิลลิเมตร ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนของค่าความสูงของแผ่นกั้นบางต่อความสูงของท่อ (e/H) เท่ากับ 0.05-0.30 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสูงที่สุด [16], [17]

ตารางที่ 5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ (แผ่นกั้นตรง)

ท่อทดสอบ (Test section)	
ความสูงของท่อ, H (mm)	40
ความกว้างของท่อ, W (mm)	150
ความยาวของท่อ, L (mm)	900
แผ่นกั้น (Baffles)	
รูปแบบของแผ่นกั้น	แผ่นกั้นตรงวางขวาง
- สัดส่วนของความสูงแผ่นกั้นต่อความสูงท่อสี่เหลี่ยม, e/H	0.30
- สัดส่วนของระยะห่างแผ่นกั้นต่อความสูงแผ่นกั้น, P/e	2
วัสดุที่ใช้ทำ	พลาสติกพีแอลเอ (PLA)
ความหนาของแผ่นกั้น, t (mm)	1.5
ความกว้างของแผ่นกั้น, w (mm)	150
ความสูงของแผ่นกั้น, e (mm)	12
เงื่อนไขของการทดสอบ (Test condition)	
ของไหลที่ใช้ในการทดสอบ	อากาศ
ค่าเลขเรย์โนลด์ส, Re	6,000 จนถึง 24,000
ค่าเลขพรานด์เทิล, Pr	0.7

2.5.1 ขั้นตอนการทดสอบ

1. การขึ้นรูปชิ้นงานและออกแบบการทดลองจากเงื่อนไขต่างๆ เรียบร้อยแล้ว จึงนำชิ้นงานมาติดตั้งกับชุดทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อสร้างความปั่นป่วนภายในท่อทดสอบ
2. ตรวจสอบตำแหน่งอุปกรณ์ให้ถูกต้องหลังจากนั้นจึงเปิดพัดลมอัดอากาศผ่านชุดการทดลองรวมถึงปรับความเร็วรอบการทำงานของพัดลมด้วยอินเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้อัตราการไหลตามเงื่อนไขของการทดลองและอ่านค่าอัตราการไหลจากเครื่องวัดความดันตกคร่อมและบันทึกข้อมูล

3. ตรวจสอบบริเวณบันทึกภาพจากแผ่นเทอร์โมโครมิกคลิควิดคริสตอล ด้วยแผ่นสอบเทียบที่เตรียมไว้ ให้มีค่าเหมือนกับค่าที่วัดได้จากการสอบเทียบ รวมทั้งการจัดแสงให้เหมาะสมกับการถ่ายภาพ

4. วัดค่าความดันตกคร่อมของท่อทดสอบที่ค่าเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 6,000 ถึง 24,000 ทั้งหมด 7 ระดับ ทำการปรับค่าเลขเรย์โนลด์ที่ 6,000 เพื่อทดสอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในช่วงการไหลปั่นป่วน

5. เปิดการทำงานของฮีตเตอร์โดยการเปิดไฟฟ้ากระแสสลับโดยการปรับกระแสและแรงดันให้มีค่าคงที่เพื่อให้ความร้อนกับที่บริเวณผนังท่อด้วยเงื่อนไขพลั๊กความร้อนคงที่

6. ตรวจสอบอุณหภูมิทุกตำแหน่งของการทดลอง ได้แก่ อุณหภูมิทางเข้า อุณหภูมิทางออก และ อุณหภูมิของผนังท่อที่วัดได้จากแผ่นเทอร์โมโครมิกคลิควิดคริสตอลให้มีค่าคงที่ จากนั้นบันทึกค่าที่ได้จากตำแหน่งต่าง ๆ รวมทั้งบันทึกภาพถ่ายจากการเปลี่ยนแปลงความร้อนที่แสดงออกจากแผ่นเทอร์โมโครมิกคลิควิดคริสตอล

7. เพิ่มค่าเลขเรย์โนลด์โดยการปรับอินเวอร์เตอร์จนครบทั้ง 7 ระดับ ซึ่งอยู่ในช่วง 6,000 ถึง 24,000 หลังจากนั้นดำเนินการทดสอบซ้ำตามขั้นตอน 4 - 7

8. วิเคราะห์ข้อมูลค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนในรูปแบบของเลขนัสเซลท์ ค่าการสูญเสียความดันในรูปแบบของตัวประกอบแรงเสียดทาน การคำนวณหาค่าตัวประกอบเพิ่มสมรรถนะความร้อน

3. สมการที่ใช้ในการคำนวณและการวิเคราะห์ข้อมูล

จากการเก็บข้อมูลจากการทดลองจะนำมาคำนวณหาค่าเลขนัสเซลท์ (Nu) ตัวประกอบความเสียดทาน (f) และ ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อน (TEF) ที่เงื่อนไขค่าเลขเรย์โนลด์ (Re) ในช่วงของการไหลแบบปั่นป่วน รวมทั้งกรณีที่มีการติดตั้งชิ้นงานสร้างความปั่นป่วน และ กรณีที่เป็นท่อที่มีผนังเรียบ สามารถคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ ได้จาก

$$\dot{m} = \rho A_x \bar{V}_i \quad (1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m^3)
 A_x คือ พื้นที่ตัดขวางของการไหล (m^2)

\bar{V}_i คือ ความเร็วเฉลี่ยของอากาศขาเข้า (m/s)

ความเร็วของอากาศภายในท่อทดสอบ หาได้จาก

$$V = \frac{\dot{m}}{\rho_b A_x} \quad (2)$$

เมื่อ ρ_b คือ ความหนาแน่นของอากาศที่อุณหภูมิของของไหลเฉลี่ย (kg/m^3)

ความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากขดลวดความร้อน คำนวณได้จาก

$$Q_t = V_v I \quad (3)$$

เมื่อ V_v คือ แรงดันของไฟฟ้า (V)

I คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านขดลวดความร้อน (A)

ความร้อนที่สูญเสีย (Q_{loss}) ผ่านฉนวนกันความร้อนสามารถคำนวณได้จากการวัดค่าอุณหภูมิที่ผนังเฉลี่ยและอุณหภูมิภายนอกของอากาศ โดยมีค่าประมาณ 3-5% ของความร้อนทั้งหมดที่คำนวณได้จากขดลวดความร้อน

ดังนั้น ความร้อนที่เกิดขึ้นจริงที่ได้มาจากขดลวดความร้อน คือ

$$Q_1 = Q_t - Q_{\text{loss}} \quad (4)$$

ความร้อนที่อากาศได้รับ คำนวณได้จาก

$$Q_2 = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \quad (5)$$

เมื่อ C_p คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศ ($\text{J/kg}\cdot\text{K}$)

T_i คือ อุณหภูมิของอากาศทางเข้าของท่อทดสอบ (K)

T_o คือ อุณหภูมิของอากาศทางออกของท่อทดสอบ (K)

สมดุลความร้อนระหว่างความร้อนที่เกิดขึ้นจริง (Q_1) และความร้อนที่อากาศได้รับ (Q_2) มีค่าเท่ากับ 1-4% สำหรับทุกเงื่อนไขการทดลอง ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของอัตราการถ่ายเทความร้อนรวม (Q) ที่ได้รับจากความร้อนที่เกิดขึ้นจริงมาจากขดลวดไฟฟ้าและความร้อน

ที่อากาศได้รับสามารถคำนวณหาได้จาก

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2} \quad (6)$$

และฟลักซ์ความร้อน คำนวณหาได้โดย

$$q = \frac{Q}{WL} \quad (7)$$

เมื่อ W คือ ความกว้างของขดลวดความร้อนชนิดแบบแผ่น (m)

L คือ ความยาวของท่อทดสอบ (m)

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ณ ตำแหน่ง x ใดๆ หาได้จาก

$$h_x = \frac{q}{(T_{wx} - T_{bx})} \quad (8)$$

เมื่อ T_{bx} คือ อุณหภูมิของไหลเฉลี่ยที่ตำแหน่ง x ใดๆ (K)

T_{wx} คือ อุณหภูมิผนังท่อสอบที่วัดจากแผ่นเทอร์โมลิตควิด คริสตอลที่ตำแหน่ง x ใดๆ (K)

อุณหภูมิของอากาศ ณ ตำแหน่ง x ใด ๆ สามารถกำหนดได้ โดยสมการสมดุลพลังงาน ดังต่อไปนี้

$$T_{bx} = T_i + \frac{qwx}{\dot{m}C_p} \quad (9)$$

เมื่อ W คือ ความกว้างของขดลวดความร้อนชนิดแบบแผ่น (m)

x คือ ระยะทางตามแนวยาวของท่อทดสอบ (m)

ค่าเลขนัสเซลท์ ณ ตำแหน่ง x ใด ๆ สามารถคำนวณได้จาก

$$Nu_x = \frac{h_x D_h}{k} \quad (10)$$

เมื่อ k คือ ค่าการนำความร้อนของอากาศ (W/m·K)

D_h คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเทียบเท่า (m)

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย หาได้จาก

$$h = \frac{q}{(T_w - T_b)} \quad (11)$$

เมื่อ T_b คือ อุณหภูมิของไหลเฉลี่ย (K)

T_w คือ อุณหภูมิที่ผนังท่อที่วัดได้จากแผ่นเทอร์โมลิตควิด คริสตอล (K)

ค่าเลขนัสเซลท์เฉลี่ย ได้จากสมการต่อไปนี้

$$Nu = \frac{hD_h}{k} \quad (12)$$

ตัวประกอบความเสียดทาน สามารถหาได้จาก

$$f = \frac{\Delta P}{\left(\frac{L}{D_h}\right)\left(\rho_b \frac{V^2}{2}\right)} \quad (13)$$

เมื่อ ΔP คือ ความดันลดของชุดทดสอบ (N/m²)

ที่สภาวะกำลังขับเดียวกัน (constant pumping power)

$$(\dot{V}\Delta P) = (\dot{V}\Delta P)_s \quad (14)$$

เมื่ออัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและเขียนอยู่ในรูปของ ตัวประกอบความเสียดทานและค่าเลขเรย์โนลด์ส์ จะได้ว่า

$$(f Re^3) = (f Re^3)_s \quad (15)$$

จัดรูปแบบสมการใหม่ จะได้ว่า

$$Re_0 = Re(f/f_s)^{1/3} \quad (16)$$

ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อน คือ สัดส่วนของ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของท่อทดสอบที่มีการติดตั้งชิ้นงาน

สร้างความปั่นป่วน (h) เทียบกับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของท่อที่มีผนังเรียบ (h_s) ที่กำลังขับของพัดลมที่มีค่าเท่ากัน (Constant Pumping Power)

$$\text{TEF} = \frac{h}{h_s} \bigg|_{\text{pp}} = \frac{Nu}{Nu_s} \bigg|_{\text{pp}} = \left(\frac{Nu}{Nu_s} \right) \left(\frac{f}{f_s} \right)^{-1/3} \quad (17)$$

เมื่อ Nu_s คือ ค่าเลขนัสเซลท์ของท่อที่มีผนังเรียบ
 f_s คือ ตัวประกอบความเสียดทานของท่อที่มีผนังเรียบ

ตัวประกอบเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนเป็นเครื่องมือที่ใช้วัดความสามารถในการถ่ายเทความร้อน โดยเทียบกับกรณีที่ใช้กำลังขับของพัดลมมีค่าเท่ากัน ในกรณีที่มีค่ามากกว่า 1 จะแสดงให้เห็นถึงว่ามีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่าท่อที่มีผนังเรียบในการพัฒนาอุปกรณ์การถ่ายเทความร้อนมีเป้าหมายเพื่อได้ตัวประกอบเพิ่มสมรรถนะความร้อนสูงสุด ซึ่งสามารถลดขนาดของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนำไปสู่การลดต้นทุนการผลิต เกิดประโยชน์ทั้งการติดตั้งและการลดพื้นที่ รวมถึงมีสมรรถนะสูงขึ้นพร้อมทั้งประหยัดต้นทุนของพลังงาน ลดการใช้ทรัพยากรต่าง ๆ ซึ่งสามารถนำไปแก้ไขวิกฤตทรัพยากรพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดได้

ผลการทดลอง

ก่อนจะทำการทดสอบเพื่อคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อน ไม่ว่าจะเป็นการคำนวณค่าเลขนัสเซลท์ (Nu) ตัวประกอบความเสียดทาน (f) และตัวประกอบเพิ่มสมรรถนะทางความร้อน (TEF) เพื่อเปรียบเทียบผลสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนต้องทำการทดสอบกับท่อผิวเรียบเพื่อเปรียบเทียบค่าสัมพัทธ์กับงานวิจัยในอดีตที่ได้ทำการทดสอบไว้ เพื่อยืนยันว่าท่อทดสอบมีค่าความน่าเชื่อถือเพียงพอในการทดสอบ

4.1 การตรวจสอบความถูกต้องของท่อทดสอบผิวเรียบ

ก่อนที่จะเริ่มการดำเนินการทดสอบตามขอบเขตของงานวิจัย งานวิจัยต้องทำการทดสอบคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อน และการสูญเสียความดันจากการไหลภายในท่อทดสอบรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสำหรับในกรณีท่อผนังเรียบซึ่งจำเป็นต้องทำการเปรียบเทียบค่าการ

ถ่ายเทความร้อน ที่แสดงให้เห็นผ่านตัวแปรไร้มิติของค่าเลขนัสเซลท์ (Nu_s) กับสมการ Dittus-Boelter [18] และ Gnielinski [19] ดังแสดงในสมการที่ (18) (19) และ ค่าการสูญเสียความดันจากการไหล แสดงให้เห็นผ่านตัวแปรไร้มิติของค่าตัวประกอบความเสียดทาน (f_s) กับสมการสหสัมพันธ์พื้นฐานของ Blasius [18,20] และ Pethkhov [21] ดังแสดงในสมการที่ (20) และ (21)

4.1.1 สมการสหสัมพันธ์ที่ใช้ในการทดสอบท่อทดสอบผิวเรียบ (ท่อเปล่า)

สหสัมพันธ์พื้นฐานที่ใช้ในการทดสอบท่อทดสอบผิวเรียบของ Dittus-Boelter (สำหรับ $6,000 \leq Re \leq 5 \times 10^7$ และ $0.5 \leq Pr \leq 120$)

$$Nu_s = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (18)$$

สหสัมพันธ์พื้นฐานของ Gnielinski (สำหรับ $3,000 \leq Re \leq 5 \times 10^6$)

$$Nu_s = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1 + 12.7(f/8)^{0.5}(Pr^{0.66}-1)} \quad (19)$$

สหสัมพันธ์พื้นฐานของ Modified Blasius

$$f_s = 0.085 Re^{-0.25} \quad (20)$$

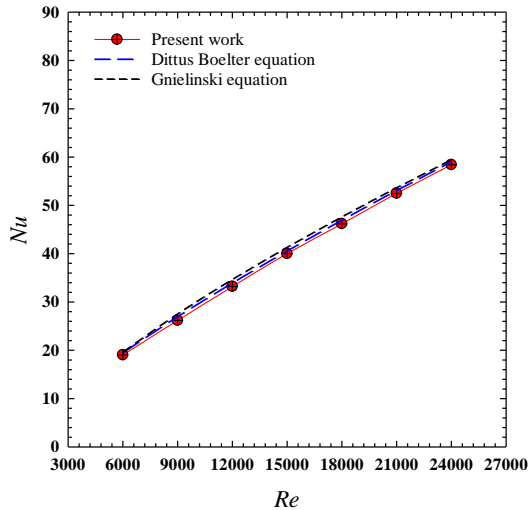
สหสัมพันธ์พื้นฐานของ Pethkhov

$$f_s = 0.431 Re^{-0.292} \quad (21)$$

4.1.2 ผลการทวนสอบท่อที่มีผนังเรียบ

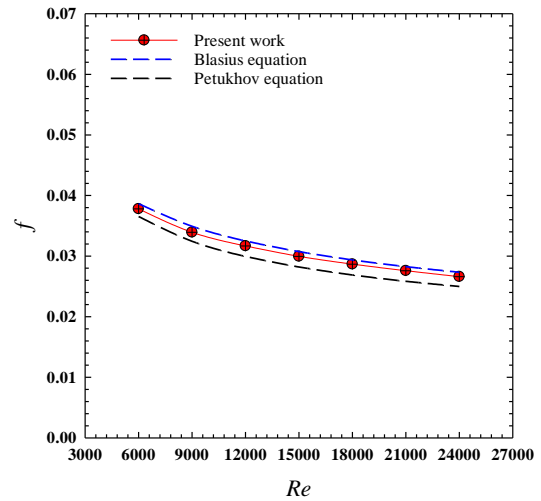
ค่าเลขนัสเซลท์ (Nu) จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างค่าเลขนัสเซลท์กับค่าเลขเรย์โนลด์ส์สำหรับท่อทดสอบที่มีผนังเรียบ (ท่อเปล่า) จากการทดลองพบว่า ค่าเลขนัสเซลท์ที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ส์มีค่าสูงขึ้น และ เมื่อเปรียบเทียบค่าเลขนัสเซลท์ที่ได้จากการทดลองกับค่าเลขนัสเซลท์ที่ได้จากสมการสหสัมพันธ์พื้นฐานของ Dittus-Boelter และ Gnielinski พบว่า

ตลอดช่วงของการไหลแบบปั่นป่วนค่าเลขนัสเซลที่มีค่าใกล้เคียงกันตลอดของช่วงที่ทำการทดสอบ โดยค่าเลขนัสเซลที่ได้จากการทดลองมีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ $\pm 3.2\%$ เมื่อทำการเปรียบเทียบกับสมการที่ (18) และ (19)



รูปที่ 7 การทวนสอบค่าเลขนัสเซลของท่อที่มีผนังเรียบ

ตัวประกอบความเสียดทาน (f) จากรูปที่ 8 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบความเสียดทานกับค่าเลขเรย์โนลด์สในกรณีท่อที่มีผนังเรียบสำหรับช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ค่าตัวประกอบความเสียดทานจะมีค่าลดลงเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์สมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าตัวประกอบความเสียดทานจากผลที่ได้จากการทดลองและค่าตัวประกอบความเสียดทานจากสมการสหสัมพันธ์ของ Blasius และ Pethkhov ดังสมการที่ (20) และ (21) พบว่าค่าตัวประกอบความเสียดทานที่ได้จากการทดลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าตัวประกอบความเสียดทานที่ได้จากสมการสหสัมพันธ์พื้นฐาน โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงสุด เท่ากับ $\pm 10.4\%$ โดยค่าตัวประกอบความเสียดทานจากสมการสหสัมพันธ์ของ Blasius จะใช้ในการหาค่าตัวประกอบความเสียดทานสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนที่ปรับตัวเต็มที่แล้วในท่อที่มีผนังเรียบ ในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ส เท่ากับ $2,300 < Re < 5 \times 10^6$ เท่านั้น



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบความเสียดทานกับค่าเลขเรย์โนลด์สสำหรับท่อที่มีผนังเรียบ

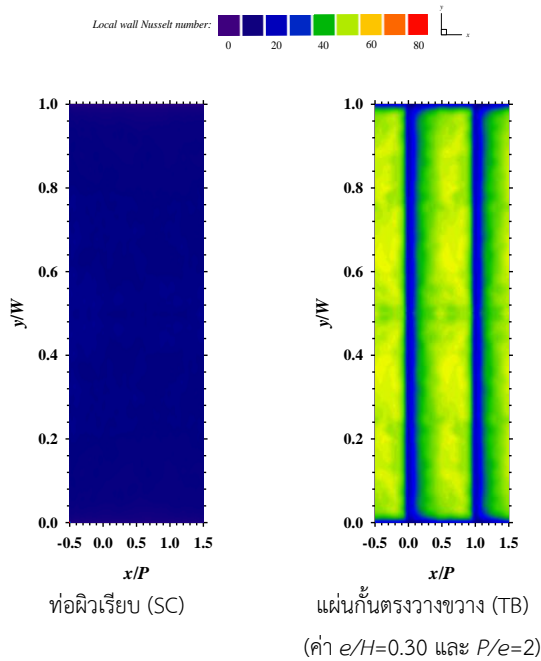
งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาคัดตั้งแผ่นกั้นตรงวางขวาง (TB) ที่ส่งผลกระทบต่อ การเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (Nu) ตัวประกอบความเสียดทาน (f) และค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อน (TEF) ดังผลการทดลองในหัวข้อ 4.2

4.2 อิทธิพลของแผ่นกั้นตรงเมื่อเทียบกับท่อเปล่า

อิทธิพลของแผ่นกั้นตรง (TB) ที่มีสัดส่วนของค่าความสูงของแผ่นกั้นต่อความสูงของท่อสี่เหลี่ยม (Blockage Height Ratios, e/H) เท่ากับ 0.30 ($e = 12$ มม., $H = 40$ มม.) และมีค่าสัดส่วนของระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นต่อความสูงของแผ่นกั้น (Baffle Pitch Length to Baffle Height Ratio, P/e) เท่ากับ 2 ($P = 24$ มม.) ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่ค่าเรย์โนลด์ส เท่ากับ 6,000 จนถึง 24,000 เมื่อเทียบกับท่อเปล่า

4.2.1 รูปแบบการกระจายตัวของค่าเลขนัสเซล

รูปแบบของการกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลที่ในการศึกษาวิจัยนี้ได้แสดงที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 6,000 ของแผ่นกั้นตรง ที่ค่า $e/H=0.30$ และ $P/e=2$ จากรูปที่ 9 จะเห็นได้ว่าอิทธิพลของแผ่นกั้นตรง (TB) ที่ค่า $e/H=0.30$ และ $P/e=2$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ผิวเป็นบริเวณกว้างหลังแผ่นกั้น และสูงมากกว่าท่อเปล่า โดยค่า

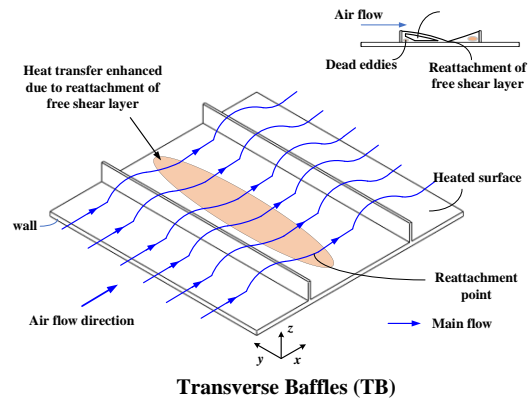


รูปที่ 9 การกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลท์และค่าเฉลี่ยของค่าเลขนัสเซลท์ที่ตำแหน่ง y ตามความยาวของท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตรงที่มีค่า $e/H=0.30$ และค่า $P/e=2$ ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์เท่ากับ 6,000 เทียบกับท่อเปล่า

เลขนัสเซลท์หากเข้มเป็นสีแดงแสดงว่ามีการถ่ายเทความร้อนที่ผิวดีมาก หากเป็นสีน้ำเงินแสดงว่าถ่ายเทความร้อนได้น้อย

ดังนั้น จากรูปการกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลท์จากการทดลองสามารถบอกได้ว่า อิทธิพลของแผ่นกั้นตรงวางขวาง ที่ค่า $e/H=0.30$ และ $P/e=2$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ผิวเป็นบริเวณกว้างหลังแผ่นกั้น และ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่ผิวสูงมากกว่าท่อเปล่า

รูปที่ 10 แสดงการจำลองลักษณะการไหลและการหักเหของการไหลของอากาศ เมื่อเคลื่อนผ่านแผ่นกั้น พบว่าเมื่ออากาศไหลข้ามแผ่นกั้นจะมีการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ผิวหลังแผ่นกั้นตรงได้ดีขึ้น ก่อนจะข้ามแผ่นกั้นถัดไป

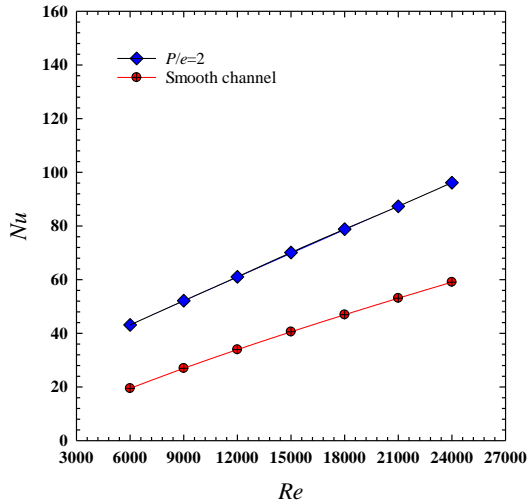


รูปที่ 10 รูปจำลองลักษณะการไหลของอากาศผ่านแผ่นกั้นตรง (TB)

และจากรูปการกระจายตัวของค่าเลขนัสเซลท์แสดงถึงอิทธิพลของของแผ่นกั้นตรงวางขวาง จะสร้างการไหลของอากาศ ตกกระทบบหลังแผ่นกั้น และ สร้างความปั่นป่วนบริเวณพื้นผิวหลังแผ่นกั้น ทำให้การถ่ายเทความร้อนที่ผิวเกิดได้มากกว่าท่อเปล่า

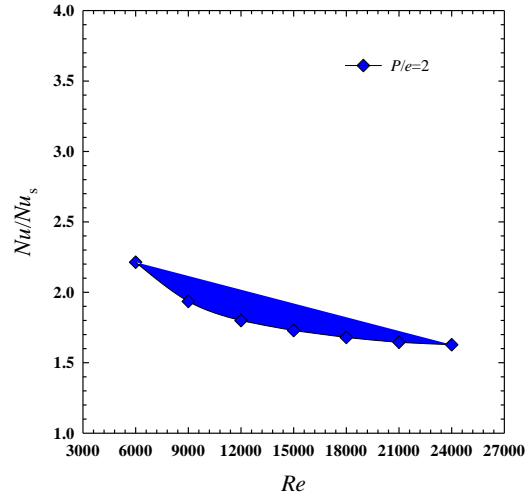
4.2.2 ผลกระทบค่าเลขนัสเซลท์จากการติดตั้งแผ่นกั้นตรง

อิทธิพลของแผ่นกั้นตรง ที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนภายในท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า ที่มีแผ่นกั้นตรงที่ค่า $e/H=0.30$ และ ค่า $P/e=2$ ในการทดสอบสภาวะปลั๊กความร้อนที่ผนังมีค่าคงที่ โดยความสัมพันธ์ระหว่างค่าเลขนัสเซลท์กับค่าเลขเรย์โนลด์ส์ที่อยู่ในช่วง 6,000 จนถึง 24,000 ซึ่งเป็นการไหลในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน แสดงอยู่ในรูปที่ 11 เป็นที่ทราบกันดีว่าค่าเลขนัสเซลท์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าเลข เรย์โนลด์ส์มีค่าสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์มีค่าสูงขึ้นจะเป็นการเพิ่มระดับความเร็วของการไหลภายในท่อให้มีค่าสูงขึ้น ส่งผลให้บริเวณการถ่ายเทความร้อนที่ผิวระหว่างแผ่นกั้นตรงมีค่าสูงขึ้นจากค่าเลขนัสเซลท์ที่เพิ่มขึ้นนอกจากนี้ ค่าเลขนัสเซลท์จะมีค่ามากกว่าค่าเลขนัสเซลท์ของท่อที่มีผนังเรียบ แสดงให้เห็นถึงผลที่ได้จากการติดตั้งตัวช่วยสร้างความปั่นป่วนภายในท่อทดสอบที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตรงให้ค่าเลขนัสเซลท์สูงสุดที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์เท่ากับ 24,000 โดยมีค่าเลขนัสเซลท์อยู่ที่ 96.15



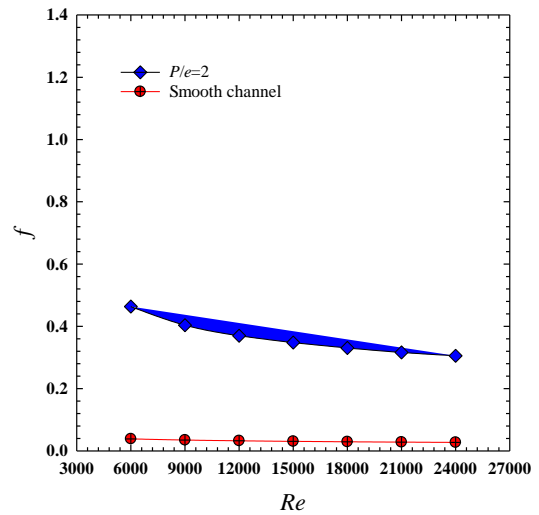
รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเลขนัสเซลท์กับค่าเลขเรย์โนลด์สของท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตรงที่มีสัดส่วนของค่า $e/H=0.30$ และค่า $P/e=2$

รูปที่ 12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของค่าเลขนัสเซลท์ (Nu/Nu_s) กับค่าเลขเรย์โนลด์ส (Re) ซึ่งเป็นอัตราส่วนของค่าเลขนัสเซลท์ ที่เป็นสัดส่วนระหว่างค่าเลขนัสเซลท์ที่มีการติดตั้งชิ้นงานสร้างความปั่นป่วนกับค่าเลขนัสเซลท์ของท่อที่มีผนังเรียบ(ท่อเปล่า) จากผลการ ทดลองพบว่าอัตราส่วนของค่าเลขนัสเซลท์จะมีค่าลดลงเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์สมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับค่าเลขนัสเซลท์ ในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์สอยู่ระหว่าง 6,000 จนถึง 24,000 โดยอัตราส่วนของค่าเลขนัสเซลท์ในท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตรงสูงสุดอยู่ที่ค่าเลขเรย์โนลด์สเท่ากับ 6,000 มีค่าเท่ากับ 2.21 เท่า โดยช่วงค่าอัตราส่วนของค่าเลขนัสเซลท์อยู่ในช่วง 1.63-2.21 เท่า



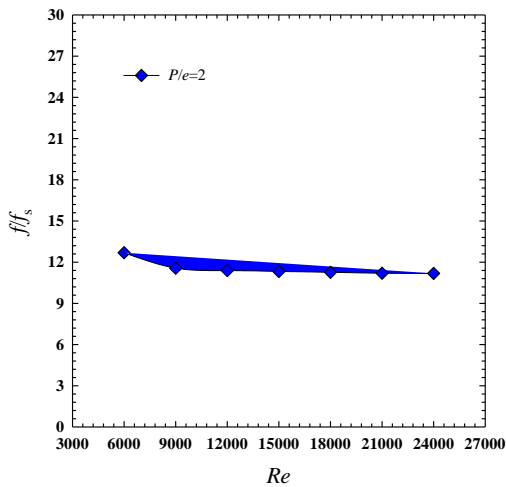
รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนค่าเลขนัสเซลท์เทียบกับค่าเลขนัสเซลท์ของท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตรงที่มีค่า $e/H=0.30$ และค่า $P/e=2$

4.2.3 ผลกระทบค่าตัวประกอบความเสียดทานจากการติดตั้งแผ่นกั้นตรง



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบความเสียดทานกับค่าเลขเรย์โนลด์สของท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตรงที่มีค่า $e/H = 0.30$ และค่า $P/e = 2$

ผลกระทบของแผ่นกั้นตรงต่อค่าตัวประกอบความเสียหาย แสดงดังในรูปที่ 13 จะเห็นได้ว่า ค่าตัวประกอบความเสียหายจะมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ส์มีค่าเพิ่มสูงขึ้น แผ่นกั้นตรงที่ติดตั้งเข้าไปจะส่งผลให้เกิดการขัดขวางการไหลของอากาศที่ไหลผ่านมากขึ้น ทำให้เกิดการเพิ่มการสูญเสียความดันที่มากขึ้นตามไปด้วย ค่าตัวประกอบความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการติดตั้งแผ่นกั้นตรงสูงสุดมีค่าเท่ากับ 0.46 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์ เท่ากับ 6,000 ที่ระดับค่า $e/H=0.30$ และ ค่า $P/e=2$



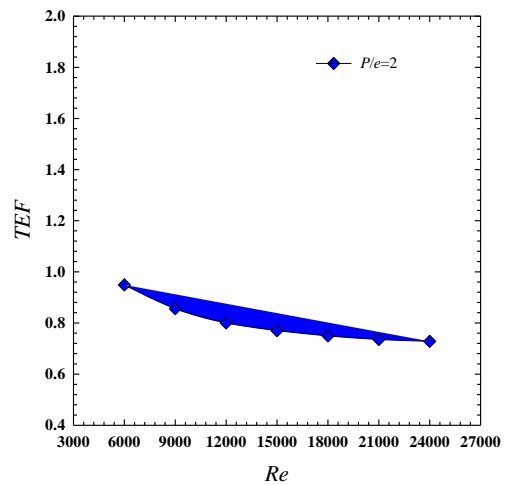
รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของตัวประกอบความเสียหาย (ff_s) กับค่าเลขเรย์โนลด์ส์ของท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตรงที่มีค่า $e/H=0.30$ และ ค่า $P/e=2$

อัตราส่วนของตัวประกอบความเสียหาย (ff_s) ก็มีความสัมพันธ์ในแนวโน้มสอดคล้องกับตัวประกอบความเสียหาย (f) เมื่อเทียบกับค่าเลขเรย์โนลด์ส์ โดยเมื่อแผ่นกั้นตรงที่สอดใส่เข้าไปส่งผลต่อการขวางการไหลก็ย่อมส่งผลต่อการสูญเสียความดันที่มากขึ้นด้วย จากรูปที่ 14 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนของตัวประกอบความเสียหายมีค่าสูงสุดเท่ากับ 12.0 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่า ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์เท่ากับ 6,000

4.2.4 ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อน

รูปที่ 15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนกับค่าเลขเรย์โนลด์ส์ภายในท่อ

สี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตรงที่มีค่า $e/H=0.30$ และ ค่า $P/e=2$ จากการทดลองเห็นได้ว่าค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนจะมีค่าลดลงเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์ส์มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนในกรณีนี้ที่ติดตั้งแผ่นกั้นตรงมีค่าสูงกว่ากรณีท่อที่มีผนังเรียบ (ท่อเปล่า) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0.73 ถึง 0.97 ภายใต้สภาวะกำลังขับพัดลมอัดอากาศที่มีค่าเท่ากัน โดยค่าสูงสุดเท่ากับ 0.97 อยู่ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์ 6,000



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนกับค่าเลขเรย์โนลด์ส์ของท่อที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตรงที่มีค่า $e/H=0.30$ และค่า $P/e=2$

5. สรุป

ผลกระทบของแผ่นกั้นตรง (TB) ที่ทำการปรับสัดส่วนของค่าความสูงของแผ่นกั้นตรง (e) ต่อความสูงของท่อสี่เหลี่ยม (H), ค่า $e/H=0.30$ และกำหนดค่าสัดส่วนของระยะห่างระหว่างแผ่นกั้นต่อความสูงของแผ่นกั้น (Baffle Pitch Length to Baffle Height Ratio, P/e), ค่า $P/e=2$ ต่อการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ตัวประกอบความเสียหาย และ ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อน สำหรับช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ที่มีค่าเลขเรย์โนลด์ส์อยู่ในช่วง 6,000 จนถึง 24,000 โดยผลการทดสอบสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ท่อทดสอบที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตรงวางขวาง ที่มีค่า $e/H=0.30$ และค่า $P/e=2$ แผ่นกั้นตรงจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อน

สูงกว่าผนังท่อผิวเรียบ และตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนมีค่าสูงกว่าผนังท่อเปล่า แต่ค่าตัวประกอบความเสียดทานก็จะสูงกว่าท่อเปล่าเช่นกัน

2. ท่อทดสอบที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตรงวางขวางที่มีค่า $e/H=0.30$ และค่า $P/e=2$ จะส่งผลกระทบต่อการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าผนังท่อผิวเรียบ และมีการถ่ายเทความร้อนหลังแผ่นกั้นตรงมากกว่า โดยสังเกตได้จากสีที่มีสีเขียวและเหลืองเป็นบริเวณกว้างกว่าท่อผนังเรียบซึ่งพื้นผิวเป็นสีน้ำเงิน (การถ่ายเทความร้อนต่ำ)

3. ค่าเลขนัสเซลท์ (Nu) ในท่อทดสอบที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตรงจะให้ค่าเลขนัสเซลท์ (Nu) มากกว่ากรณีท่อเปล่า โดยค่าเลขนัสเซลท์ (Nu) สูงสุดอยู่ที่ 96.15 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์เท่ากับ 24,000 และ อัตราส่วนของค่าเลขนัสเซลท์ (Nu/Nu_0) อยู่ในช่วง 1.63-2.21 เท่า โดยมีค่าสูงสุดอยู่ที่ค่า 2.21 เท่า ที่เลขเรย์โนลด์ส์เท่ากับ 6,000

4. ท่อทดสอบที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นตรง จะให้ค่าตัวประกอบความเสียดทาน (f) มากกว่าท่อผิวเรียบ โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.46 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์เท่ากับ 6,000 และ อัตราส่วนของตัวประกอบความเสียดทาน (f/f_0) เท่ากับ 12.0 เท่าเมื่อเทียบกับท่อผนังเรียบที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์เท่ากับ 6,000

5. ตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนสำหรับการติดตั้งแผ่นกั้นตรง ที่มีค่า $e/H=0.30$ และค่า $P/e=2$ โดยค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนสูงสุดเท่ากับ 0.97 ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์ 6,000 ภายใต้สภาวะกำลังขับพัดลมอัดอากาศที่มีกำลังขับเท่ากัน

ดังนั้น ค่าเลขนัสเซลท์ของการติดตั้งแผ่นกั้นตรงจะมีค่าสูงกว่าท่อเปล่า และ ขณะเดียวกันการติดตั้งแผ่นกั้นตรงส่งผลต่อการขัดขวางการไหลจึงทำให้ค่าความเสียดทานในท่อมีสุงตามไปด้วย สำหรับค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนพบว่าการติดตั้งแผ่นกั้นตรงทำให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนมีค่าสูงกว่ากรณีท่อที่มีผนังเรียบ โดยมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.97 อยู่ที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์ 6,000

ข้อเสนอแนะ

ในการพัฒนาแนวทางการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนในแผ่นกั้นตรง ยังมีพารามิเตอร์ที่สามารถช่วยเพิ่มค่าเลขนัสเซลท์ (Nu) และตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนอีกหลายตัว เช่น

การหาความสูงของแผ่นกั้นค่า e/H และระยะ P/e ที่เหมาะสม [15] – [17] รวมถึงการออกแบบแผ่นกั้นที่ช่วยเพิ่มค่าเลขนัสเซลท์ (Nu) หรือออกแบบรูปร่างต่าง ๆ ที่สามารถลดค่าตัวประกอบความเสียดทานลง การลดลงของค่าตัวประกอบความเสียดทาน ส่งผลให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มสมรรถนะทางความร้อนเพิ่มสูงขึ้นได้

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Liu, M. Sakr, "A comprehensive review on passive heat transfer enhancements in pipe exchangers," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 19, pp. 64-81, 2013.
- [2] W. Changcharoen, and S. Eiamsa-ard, "Numerical Investigation of Turbulent Heat Transfer in Channels with Detached Rib-Arrays," *Heat Transfer—Asian Research*, vol. 40(5), pp. 431–447, 2011.
- [3] C. Maradiya, J. Vadher and R. Agarwal, "The heat transfer enhancement techniques and their Thermal Performance Factor," *Journal of Basic and Applied Sciences*, vol. 7, pp 1-21, 2018.
- [4] S. Yadav, and J. L. Bhagoria., "A numerical investigation of square-sectioned transverse rib roughened solar air heater," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 79, pp. 111-131, 2014.
- [4] P. Promvong, S. Tamna, M. Pimsarn and C. Thianpong, "Thermal characterization in a circular tube fitted with inclined horseshoe baffles," *Appl. Therm. Eng.*, vol.75, pp.1147-1155, 2015.
- [5] A. Tandiroglu, "Effect of flow geometry parameters on transient heat transfer for turbulent flow in a circular tube with baffle inserts," *Int. J. Heat Mass Transf.*, vol.49, pp.1559-1567, 2006.
- [6] Y. Mahanand, and J. R. Senapati, "Thermal enhancement study of a transverse inverted-T shaped ribbed solar air heater," *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 119, 104922, 2020.
- [7] C. Thianpong, T. Chompookham, S. Skullong and P. Promvong, "Thermal characterization of turbulent flow in a channel with isosceles triangular ribs," *Int. Commun. Heat Mass Transf.*, vol.36, pp.712-717, 2009.
- [8] D.S. Rawat, and A.R. Jaurker, "Enhancement of heat transfer using artificial roughness in solar air heater," *Int. J. Eng. Sci. Invent.*, vol.3, pp.50-63, 2014.
- [9] D.J. Kukulka and R. Smith, "Enhancement heat transfer surface development for exterior tube surfaces," *Chem. Eng. Trans.*, vol.32, pp.511-516, 2013.
- [10] W. Yang, S. Xue, Y. He, and W. Li, "Experimental study on the heat transfer characteristics of high blockage ribs channel," *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 83, pp. 248– 259, 2017.
- [11] A. Vyas, B. Mishra, and A. Srivastava, "Investigation of the effect of blockage ratio on flow and heat transfer in the wake region of a cylinder embedded in a channel using whole field dynamic measurements," *International Journal of Thermal Sciences.*, vol. 153, pp. 106322, 2020.
- [12] J. S. Park, Y. H. Jo, and J. S. Kwak, "Heat transfer in a rectangular duct with perforated blockages and dimpled side walls," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 97, pp. 224-231, 2020.
- [13] M. Ansari, and M. Bazargan, "Optimization of Flat Plate Solar Air Heaters with Ribbed Surfaces," *International Journal of Thermal Sciences*, vol. 136, pp 356-363, 2018.
- [14] K. Toriyama S. Tada K. Ichimiya S. Funatani and Y. Tomita "A new method of temperature measurement using thermochromic

liquid crystals (extension of measurable range based on spectral intensity in the narrow-band wavelength),” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol.92, pp.483-489, 2016.

- [15] J.C. Han, L.R. Glicksman, and W.M. Rohsenow, “Heat transfer and friction for rib roughened surfaces,” *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol.21, pp.1143-1156, 1978.
- [16] B.N. Prasad, and J.S. Saini, “Effect of artificial roughness on heat transfer and friction factor in a solar air heater,” *Solar Energy*, vol.41(6), pp. 555-560, 1988.
- [17] Varun, R.P. Saini, and S.K. Singal, “A review on roughness geometry used in solar air heaters,” *Solar Energy*, vol.81(11), pp.1340-1350, 2007.
- [18] T. Alam, R.P. Saini, and J.S. Saini, “Experiment investigation on heat transfer enhancement due to V-shaped perforated blocks in a rectangular duct of solar air heater,” *Energy Conversion and Management*, vol.81, pp.374-383, 2014.
- [19] A. Kumar, and A. Layek, “Thermo-hydraulic performance of solar air heater having twisted rib over absorber plate,” *International Journal of Thermal Sciences*, vol.133, pp.181-195, 2018.
- [20] K.R. Aharwal, B.K. Gandhi, and J.S. Saini, “Experimental investigation on heat-transfer enhancement due to a gap in an inclined continuous rib arrangement in a rectangular duct of solar air heater,” *Renewable Energy*, vol. 33, pp. 585-596, 2008.
- [21] M.M.K. Bhuiya, M.S.U. Chowdhury, M. Shahabuddin, M. Saha, and L.A. Memon, “Thermal characteristics in a heat exchanger tube fitted with triple twisted tape inserts,” *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol.48, pp.124-132, 2013.



ศ.ดร. สมิทธิ์ เอี่ยมสอาด สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ระดับปริญญาโท-เอก สาขาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และระดับปริญญาเอกวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมระบบ มหาวิทยาลัยมีเอะ ประเทศญี่ปุ่น เริ่มทำงานที่

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครในปี พ.ศ. 2539 มีความสนใจงานวิจัยในเรื่องเทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้อุปกรณ์สร้างการไหลหมุนวน งานทางด้านของไหลและความร้อน และงานด้านเทคนิค visualization ต่างๆ สำหรับศึกษาพฤติกรรมการไหลและความร้อน



ศ.ดร. อาณัติ พิลา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกสาขาวิศวกรรมเครื่องกลจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เริ่มทำงานที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครในปี พ.ศ. 2549 มีความสนใจงานวิจัยในเรื่องเทคนิคการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

เทคโนโลยีการอบแห้งและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง



ผศ.ดร. วรินทร์ เกียรติคุณกุล สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์สาขาวิศวกรรมอุตสาหการจากมหาวิทยาลัยขอนแก่น ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตร์สาขาวิศวกรรมอุตสาหการจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และ ปริญญาเอก วิศวกรรมศาสตร์สาขาวิศวกรรมเครื่องกลจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

มหานคร เริ่มทำงานที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครในปี พ.ศ. 2551 ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมกระบวนการและอุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร มีความสนใจในงานวิจัยในเรื่องการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน งานทางด้านของไหลและความร้อน และ เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



พจิฑิต แก้วโกสุม สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี-โท สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปัจจุบันศึกษาต่อระดับปริญญาเอกสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีความสนใจในงานวิจัยในเรื่องการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจากการติดตั้งอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วน

งานทางด้านพฤติกรรมการณ์ไหลและความร้อน และการเผาไหม้ของหม้อไอน้ำ



ผศ.ดร. อนุชา สายสร้อย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี ปริญญาโทวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ และปริญญาเอกวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร เริ่มทำงานที่

มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรีตั้งแต่ปี 2012 มีความสนใจในงานวิจัยในเรื่อง การคำนวณพลศาสตร์ของไหล (CFD) การถ่ายเทความร้อน การไหลของของไหล และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



ผศ.ดร. ขวัญชัย หนาแน่น สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี-โท-เอก วิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และ

เทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี มีความสนใจในงานวิจัยในเรื่องการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน งานทางด้านของไหลและ

ความร้อน และการไหลเจ็ทพุ่งชน