

## การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยครีบบางขวาง

สุรียา โชคเพิ่มพูน<sup>1</sup>, พงษ์เจต พรหมวงศ์<sup>1</sup>, ชินรัชย์ เขียรพงษ์<sup>1</sup>, สมิทธิ์ เอี่ยมสะอาด<sup>2</sup> และ สมพล สุกุลหลง<sup>3</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530

<sup>3</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

199 หมู่ 6 ถนนสุขุมวิท ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

ผู้เขียนติดต่อ: พงษ์เจต พรหมวงศ์ E-mail: kppongje@kmitl.ac.th

### บทคัดย่อ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนับเป็นอุปกรณ์ทางวิศวกรรมที่สำคัญและมีการประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลายในงานอุตสาหกรรม รวมทั้งงานทางด้านเกษตรกรรม ซึ่งกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนจำเป็นจะต้องใช้พลังงานจำนวนหนึ่งในการขับเคลื่อนกระบวนการ โดยปริมาณพลังงานที่ใช้จะมากหรือน้อยเพียงใดนั้นส่วนหนึ่งมาจากสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน หากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีสมรรถนะสูงสามารถเกิดกระบวนการการแลกเปลี่ยนความร้อนได้อย่างรวดเร็วก็จะช่วยลดปริมาณพลังงานที่จ่ายแก่ระบบได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาถึงการเพิ่มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อกลมด้วยเทคนิคครีบบางขวางการไหลของอากาศภายในท่อ ทำการศึกษาที่อัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีบท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ( $PR = P/D$ ) เป็น 0.5, 1.0 และ 1.5 โดยครีบบางมีความสูง ( $H$ ) จำนวน 2 ขนาด ได้แก่ 5 และ 10 มิลลิเมตร ( $BR = H/D = 0.1$  และ  $0.2$  ตามลำดับ) ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์ 5300–24,000 ภายใต้สภาวะเงื่อนไขพลศาสตร์ความร้อนที่ผิวท่อคงที่ พบว่าการใช้ครีบบางขวางการไหลสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ 2.04–3.32 เท่าของท่อเปล่า และให้ตัวประกอบความเสียดทานสูงขึ้นประมาณ 3–24 เท่าของท่อเปล่า เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียดทานซึ่งแสดงในรูปของค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนภายใต้กำลังของปั๊มเดียวกัน จะเห็นว่า การใช้เทคนิคครีบบางขวางการไหลสามารถเพิ่มค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนได้ ย่อก่อให้เกิดผลดีหากมีการนำแนวคิดนี้ไปประยุกต์ใช้ในแง่ของการประหยัดพลังงานเนื่องจากช่วยเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนหรือในแง่ของการลดต้นทุนทางวัสดุเนื่องจากเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ค่าสมรรถนะสูงขึ้นทำให้สามารถลดขนาดเครื่องลงได้ในขณะที่ขีดความสามารถการทำงานยังคงเดิม ตัวอย่างของการประยุกต์ใช้งาน เช่น กระบวนการอบไล่ความชื้น, เครื่องอบแห้งเมล็ดพันธุ์หรือผลผลิตทางการเกษตร เป็นต้น

คำสำคัญ: เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน; การไหลปั่นป่วน; ครีบบางขวาง

### 1. บทนำ

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนับเป็นอุปกรณ์ที่มีใช้กันอย่างแพร่หลายในงานทางด้านวิศวกรรมในระบบอุตสาหกรรม รวมทั้งงานทางด้านเกษตรกรรม ดังนั้นความสามารถในการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ จึงนับว่า

เป็นประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับงานอุตสาหกรรมในแง่ของการประหยัดพลังงานและการการลงทุน ดังนั้นในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีความพยายามในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนด้วยวิธีการแบบต่างๆ โดยเทคนิคในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

สามารถแบ่งได้ 2 วิธีการ คือ วิธีการแบบ Active และ วิธีการแบบ Passive

นักวิจัยจำนวนมากได้ทำการศึกษาด้านการใช้เทคนิคในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนแบบ Passive ในรูปแบบพื้นผิวแลกเปลี่ยนความร้อนที่หลากหลายได้แก่การใช้ใบปิด Eiamsa-ard และคณะ [1] ทำการศึกษาเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนและความสูญเสียจากการสอดใบปิดเดี่ยว ใบปิดคู่ที่มีอัตราส่วนการบิด 3 ค่า ( $y/W=3.0, 4.0$  และ  $5.0$ ) และใบปิดคู่แบบแยกตัวที่มีอัตราส่วนการเว้นระยะ 3 ค่า ( $s/D=0.75, 1.5$  และ  $2.25$ ) ภายใต้สภาวะพลาซมาความร้อนที่ผิวคงที่ ในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ 4000-19,000 Murugesan และคณะ [2] นำเสนอผลศึกษาผลกระทบของใบปิดที่มีการตัดขอบเว้าเข้าเป็นรูปตัววีที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน ตัวประกอบความเสียดทานและตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนในท่อหน้าตัดกลมในช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ 2000-12,000 ที่อัตราส่วนการบิด ( $y$ ) เป็น 2.0, 4.4 และ 6.0 โดยใช้ค่าอัตราส่วนความลึก ( $DR$ ) และอัตราส่วนความกว้าง ( $WR$ ) ของการตัดแตกต่างกันจำนวน 3 ค่า Promvongse [3] ได้รายงานถึงผลกระทบจากการใช้ลวดขดหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานในท่อภายใต้พลาซมาความร้อนที่ผิวคงที่ และทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับกรณีท่อที่ใช้ลวดขดหน้าตัดรูปวงกลม Gunes และคณะ [4] ศึกษาเชิงทดลองถึงการถ่ายเทความร้อนและความดันสูญเสียที่เกิดจากการสอดใส่ลวดขดที่มีหน้าตัดเป็นรูปสามเหลี่ยมด้านเท่าภายในท่อ ทำการปรับอัตราส่วนระยะพิตต์ ( $P/D$ ) จำนวน 3 ค่า ที่อัตราส่วนความกว้างของด้านหน้าตัดลวดต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ( $a/D$ ) เป็น 0.0714 และ 0.0892 โดยมีระยะห่างระหว่างลวดขดกับผิวท่อด้านในเท่า 1 มิลลิเมตร

นอกจากการใช้ใบปิดและลวดขดรูปแบบต่างๆซึ่งเป็นอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนสำหรับการไหลภายในท่อที่ได้รับความนิยมนั้นยังมีงานวิจัยที่ศึกษาถึงอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนในรูปแบบอื่นๆ Yu Wang และคณะ [5] ศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ท่อที่มีรอยบวมเป็นรูปวงรี Tandiroglu [6] ใช้แผ่นกันครึ่งวงกลมจัดวางในลักษณะต่างๆเป็นตัวช่วยสำหรับการเพื่อการถ่ายเทความร้อน Bilen และคณะ [7] นำเสนอการใช้ท่อที่มีการเจาะร่องพื้นผิวด้านใน รูปแบบต่างแทนการใช้ท่อผิวเรียบ

เมื่อทำการศึกษาควบคู่กับการใช้อุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนหน้าตัดอื่นๆเช่นท่อหน้าตัดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส [8] และท่อหน้าตัดรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า [9] พบว่าอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนที่ได้รับ ความนิยมนั้นให้ผลลัพธ์ที่ดีนั้นคือการใช้ครีบริบบแบบต่างๆ โดยศึกษาถึงลักษณะของครีบริบ ระยะการจัดวาง เป็นต้น แต่ การศึกษาเชิงทดลองสำหรับใช้ครีบริบเป็นอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนภายในท่อหน้าตัดกลมยังมีอยู่ในปริมาณน้อย งานวิจัยฉบับนี้จึงได้นำแนวคิดการประยุกต์ใช้ครีบริบวงขวาง สำหรับเป็นอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนของการไหลภายในท่อ หน้าตัดกลม

## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ทำการศึกษาลดลองเพื่อเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

## 3. การวิเคราะห์ข้อมูล

### 3.1 เลขเรย์โนลด์ส์

เลขเรย์โนลด์ส์เป็นตัวแปรที่ใช้แสดงเกี่ยวกับพฤติกรรมของการไหลของของไหลทำงาน ซึ่งสามารถแสดงในรูปตัวแปรไร้มิติได้ดังนี้

$$Re = UD_h / \nu \quad (1)$$

### 3.2 การถ่ายเทความร้อน

ความสามารถในการพาความร้อนที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ฉบับจะนำเสนอในรูปของเลขนัสเซลท์ จากความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ได้รับโดยของไหลทำงานกับการพาความร้อนที่เกิดจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแสดงดังต่อไปนี้

$$Q_{air} = Q_{conv} = \dot{m}C_p(T_o - T_i) = hA(\bar{T}_s - T_b) \quad (2)$$

โดยที่  $T_b$  คือ bulk temperature สามารถคำนวณได้จากอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของของไหลทำงาน ตามสมการที่ (3)

$$T_b = (T_o + T_i) / 2 \quad (3)$$

และ  $\bar{T}_s$  คือ อุณหภูมิผิวท่อเฉลี่ย

$$\bar{T}_s = \sum T_s / 24 \quad (4)$$

โดยสัมประสิทธิ์การพาความร้อนพิจารณาดังต่อไปนี้

$$h = \frac{MC_p(T_o - T_i)}{A(\bar{T}_s - T_b)} \quad (5)$$

เลขนัสเซิลท์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6)

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (6)$$

เมื่อ  $h$  คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อน,  $D$  คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ และ  $k$  คือ สภาพการนำความร้อนของของไหลทำงาน

### 3.3 ตัวประกอบความเสียดทาน

ตัวประกอบความเสียดทาน ( $f$ ) สามารถอธิบายได้ตั้งสมการที่ (7) โดย  $\Delta P$  คือความดันตกคร่อมบริเวณท่อทดสอบ,  $L$  คือความยาวท่อทดสอบ,  $\rho$  คือความหนาแน่นของของไหลทำงานที่อุณหภูมิบัลค์ และ  $U$  คือความเร็วเฉลี่ยในแนวแกน

$$f = \frac{2}{(L/D)} \frac{\Delta P}{\rho U^2} \quad (7)$$

### 3.4 คุณสมบัติทางความร้อน

การหาค่าขีดความสามารถของอุปกรณ์เพิ่มการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน จะพิจารณาจากการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนและการเพิ่มขึ้นของการสูญเสียจากความเสียดทานจากอุปกรณ์ ภายใต้เงื่อนไขการควบคุมกำลังทำงานของปั๊มคงที่ โดยสามารถแสดงสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ตั้งสมการที่ (8)

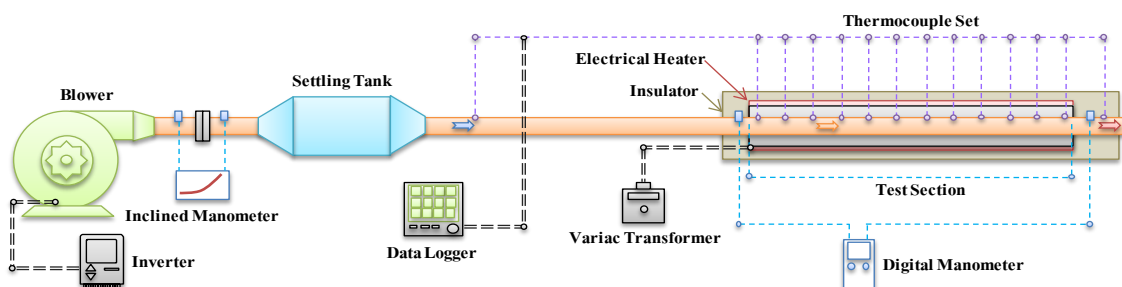
$$\eta = \frac{h}{h_0} \Big|_{pp} = \frac{Nu}{Nu_0} \Big|_{pp} = \left( \frac{Nu}{Nu_0} \right) \left( \frac{f}{f_0} \right)^{-1/3} \quad (8)$$

## 4. การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

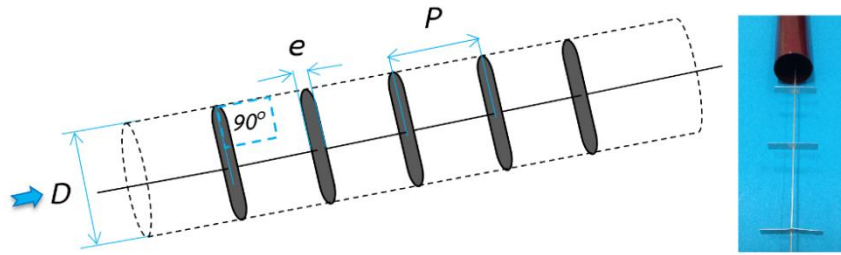
รูปที่ 1 แสดงลักษณะการติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดสอบ โดยใช้อากาศเป็นของไหลทำงานถูกจ่ายจากพัดลมความดันสูงขนาด 1.5 kW ความเร็วของพัดลมสามารถกระทำได้โดยการควบคุมผ่านอินเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้ปริมาณอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการ อัตราการไหลของอากาศคำนวณได้จากการวัดค่าความดันตกคร่อมแผ่น Orifice โดยใช้ Inclined manometer เทอร์โมคัลป์เปิดชนิด K จำนวน 24 ตัวถูกติดตั้งที่ผนังด้านบนและด้านข้างของช่วงท่อทดสอบอย่างละ 12 ตัว และเทอร์โมคัลป์เปิดอีกจำนวน 2 ตัวใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของอากาศขาเข้าและขาออกจากช่วงท่อทดสอบ โดยค่าอุณหภูมิทั้งหมดจะแสดงผลผ่านเครื่อง Data Logger ผนังด้านนอกของช่วงท่อทดสอบมีการติดตั้งฮีตเตอร์สำหรับให้ความร้อนภายใต้สภาวะเงื่อนไขพลศาสตร์ความร้อนคงที่ เครื่อง Digital differential pressure ถูกใช้สำหรับอ่านค่าความดันตกคร่อมที่วัดได้จากจุดวัดค่าความดันที่อยู่คร่อมช่วงท่อทดสอบ ทดสอบในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่ค่าเลขเรย์โนลด์ส์ระหว่าง 5300 – 24,000

รูปที่ 2 แสดงลักษณะของครีบบางขวางที่ใช้สำหรับสอดใส่ในท่อเพื่อทำการทดสอบ แผ่นครีบบาง

จากแผ่นอะลูมิเนียมหนา 0.3 มิลลิเมตร มีอัตราส่วนระยะห่างระหว่างครีบบางต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ( $PR = P/D$ ) เป็น 0.5, 1.0 และ 1.5 โดยครีบบางมีความสูง ( $H$ ) 5 และ 10 มิลลิเมตร ( $BR = H/D = 0.1$  และ 0.2 ตามลำดับ)



รูปที่ 1 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดลอง



รูปที่ 2 ลักษณะครีบบางขวางที่ใช้ในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

## 5. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

### 5.1 การทดสอบท่อเปล่า

การนำเสนอผลการศึกษาดทดลองของการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานภายในท่อเปล่าจะแสดงในเทอมเลขนัสเซลท์และตัวประกอบความเสียดทาน ตามลำดับ และเพื่อความน่าเชื่อถือของชุดทดสอบจึงทำการทดสอบท่อเปล่าและนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ โดยผลของเลขนัสเซลท์จากการทดลองได้นำไปเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Gnielinski และสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter ในขณะที่ค่าตัวประกอบความเสียดทานจะทำการเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Petukhov และสหสัมพันธ์ของ Blasius [10] โดยสหสัมพันธ์ทั้งหมดแสดงในสมการที่ 9-12

สหสัมพันธ์ของ Gnielinski

$$Nu = \frac{(f/8)(Re-1000)Pr}{1 + 12.7(f/8)^{1/2}(Pr^{2/3}-1)} \quad (9)$$

สหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter

$$Nu = 0.023Re^{0.8} Pr^{0.4} \quad (10)$$

สหสัมพันธ์ของ Petukhov

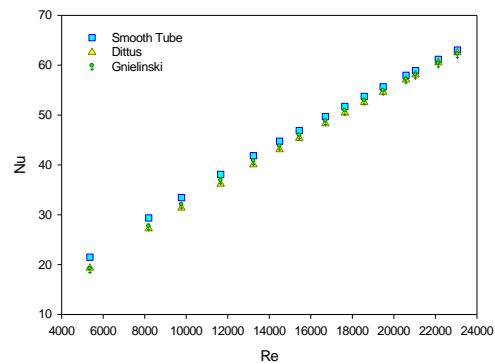
$$f = (0.79 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad (11)$$

สหสัมพันธ์ของ Blasius

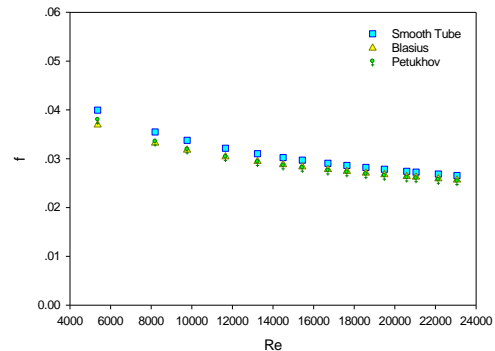
$$f = 0.316Re^{-2.5} \quad (12)$$

รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบตัวเลขนัสเซลท์ที่ได้จากการทดลองกับสมการที่ (9) และ (10) พบว่าค่าการถ่ายเทความร้อนที่ได้จากชุดทดสอบจะมีค่ามากกว่าค่าการถ่ายเทความร้อนจากสหสัมพันธ์ ให้ค่าความผิดพลาดไม่เกิน 4% และรูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบตัวประกอบความเสียดทานที่ได้จากการทดลองกับสมการที่ (11) และ (12)

พบว่าค่าตัวประกอบความเสียดทานของชุดทดสอบมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากสหสัมพันธ์มีค่าความผิดพลาดประมาณ 6%



รูปที่ 3 ตัวเลขนัสเซลท์ของท่อเปล่าเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์

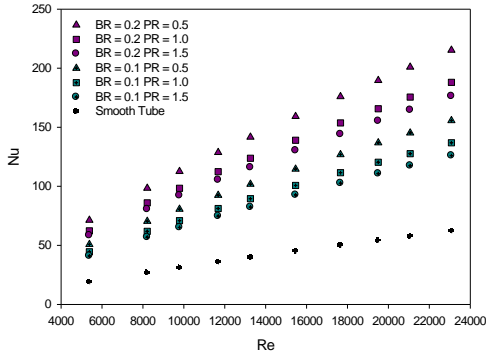


รูปที่ 4 ค่าตัวประกอบความเสียดทานของท่อเปล่าเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์

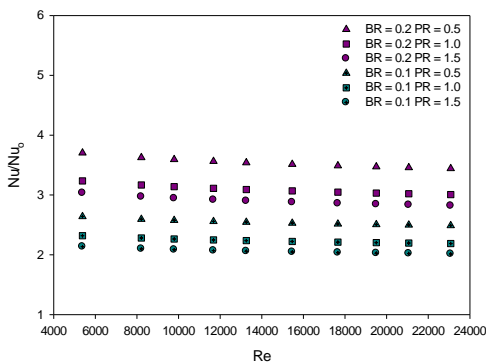
### 5.2 การถ่ายเทความร้อน

จากรูปที่ 5 พบว่าการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นจากกรณีการใช้ครีบบางขวางจะให้ค่าที่สูงกว่ากรณีท่อเปล่าทุกกรณีศึกษา เนื่องจากครีบบางขวางจะหยุดยั้งการขยายตัวของชั้นขอบเขตของการไหลและเพิ่มระดับความปั่นป่วนมากกว่ากรณีท่อเปล่า ทำให้ช่องไหลทำงานสามารถเพิ่มการแลกเปลี่ยนความร้อนจากบริเวณผิวท่อร้อนได้มากขึ้น ครีบบาง

วางขวางที่  $BR = 0.2$  จะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่มากกว่า  $BR = 0.1$  และการใช้ครีบบที่ระยะห่างน้อยจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่า ภายใต้ขอบเขตการศึกษาจะเห็นว่า การใช้ครีบบวางขวางสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้สูงกว่ากรณีท่อเปล่าประมาณ 2.04–3.32 เท่า โดยแสดงในรูปอัตราส่วนการถ่ายเทความร้อนของแต่ละกรณีศึกษาเทียบกับการถ่ายเทความร้อนของท่อเปล่า ( $Nu/Nu_0$ ) ตามรูปที่ 6



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของตัวเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์



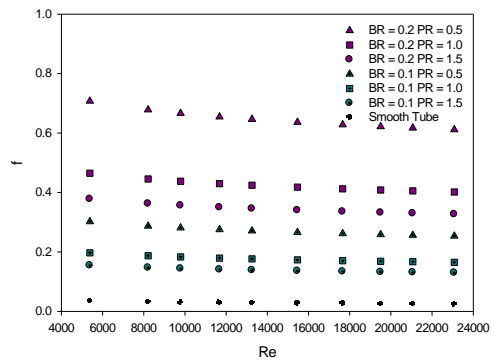
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์อัตราส่วนตัวเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์ส์

### 5.3 ตัวประกอบความเสียหาย

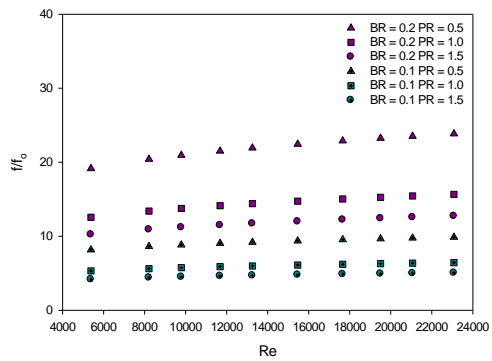
ความเสียหายที่เกิดขึ้นจากกรณีการใช้ครีบบวางขวาง แสดงดังรูปที่ 7 และ 8 ในรูปของตัวประกอบความเสียหายและอัตราส่วนตัวประกอบความเสียหายของแต่ละกรณีศึกษาเทียบกับท่อเปล่า ตามลำดับ

จากการศึกษาพบว่า การใช้ครีบบวางขวางส่งผลให้ค่าตัวประกอบความเสียหายสูงขึ้นประมาณ 3–24 เท่าของท่อเปล่า โดยครีบบวางขวางที่  $BR = 0.2$  จะให้ค่าตัวประกอบความเสียหายที่มากกว่า  $BR = 0.1$  และมีค่าลดลงเมื่อระยะห่างการติดครีบบเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากครีบบจะขัดขวาง

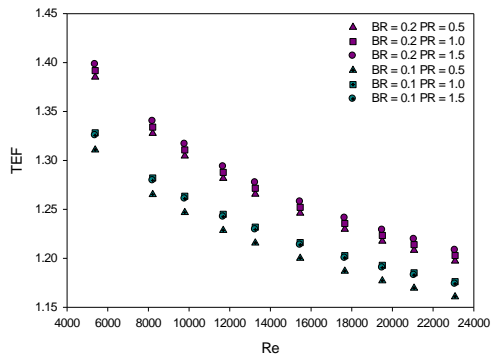
การไหลของของไหลทำงานทำให้เกิดความดันตกคร่อมเพิ่มมากขึ้นตามลักษณะการติดตั้ง



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ตัวประกอบความเสียหายกับเลขเรย์โนลด์ส์



รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์อัตราส่วนตัวประกอบความเสียหายกับเลขเรย์โนลด์ส์



รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส์

### 5.4 สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 9 แสดงค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่เลขเรย์โนลด์ส์ต่างๆของกรณีศึกษาทั้งหมด พบว่าแนวโน้มของสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจะมีค่าลดลงเมื่อตัวเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้น ค่าสมรรถนะการเพิ่มการ



ถ่ายเทความร้อนให้ผลดีตลอดช่วงเลขเรย์โนลด์ส์ที่ทำการทดสอบ โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.16-1.39 โดยให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดมีค่าประมาณ 1.39 สำหรับกรณีการติดตั้งครีบริ้วขวาง BR = 0.2 และ PR = 1.5 ที่เลขเรย์โนลด์ส์ 5300

## 6. สรุปผลการทดลอง

จากศึกษาถึงการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่โดยการสอดใส่ครีบริ้วขวาง ภายใต้ขอบเขตการศึกษานี้ พบว่าการสอดใส่ครีบริ้วขวางทุกกรณีจะให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียหายที่สูงกว่ากรณีท่อเปล่า และเห็นว่าทุกกรณีการสอดใส่ครีบริ้วขวางจะให้ผลดีในแง่ของค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้ผลดีตลอดช่วงตัวเลขเรย์โนลด์ส์ที่ทำการทดสอบ

การศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการสอดใส่ครีบริ้วขวางสามารถช่วยเพิ่มค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้น ดังนั้นผลจากการศึกษาวิจัยนี้บ่งชี้ให้เห็นว่าการใช้ครีบริ้วขวางสำหรับเป็นอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนสามารถช่วยการพัฒนาประสิทธิภาพของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้ในแง่การประหยัดพลังงานสำหรับอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เพิ่มสูงขึ้น หรือการในแง่การประหยัดต้นทุนสำหรับการจัดสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเนื่องจากความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มากขึ้น

## 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้ได้รับการสนับสนุนด้านเงินทุนจากกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

## 8. เอกสารอ้างอิง

[1] Eiamsa-ard, S. Thianpong, C. Eiamsa-ard, P. and Promvonge, P. (2010). Thermal characteristics in a heat exchanger tube fitted with dual twisted tape elements in tandem, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 37, 2010, pp. 39–46.

[2] Murugesan, P. Mayilsamy, K. Suresh S. and Srinivasan, P.S.S. (2011). Heat transfer and pressure drop characteristics in a circular tube fitted with and without V-cut twisted tape insert, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 38, 2011, pp. 329–334.

[3] P. Promvonge, (2008). Thermal performance in circular tube fitted with coiled square wires, *Energy Conversion and Management*, vol. 49, 2008, pp. 980–987.

[4] Gunes, S. Ozceyhan, V. and Buyukalaca, O. (2010). Heat transfer enhancement in a tube with equilateral triangle cross sectioned coiled wire inserts, *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 34, 2010, pp. 684–691.

[5] Yu Wang, Ya-Ling He, Yong-Gang Lei and Jie Zhang, (2010). Heat transfer and hydrodynamics analysis of a novel dimpled tube, *Experimental Thermal and Fluid Science*, vol. 34, 2010, pp. 1273–1281.

[6] Tandiroglu, A. (2006). Effect of flow geometry parameters on transient heat transfer for turbulent flow in a circular tube with baffle inserts, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 49, 2006, pp. 1559–1567.

[7] Bilen, K. Cetin, M. Gul H. and Balta, T. (2009). The investigation of groove geometry effect on heat transfer for internally grooved tubes, *Applied Thermal Engineering*, vol. 29, 2009, pp. 753–761.

[8] Suwannapan, S. Chompookham, T. Tamna, S. Skullong, S. Thianpong C. and Promvonge, P. (2012). Augmented Heat Transfer in Square Channel with 45° Inline





---

Baffles, *International Conference on Green and Sustainable Innovation 2012*, Chiang Mai, Thailand.

- [9] Chokphoemphun, S. Chompookham, T. Skullong S. and Promvonge, P. (2012). Heat Transfer in Solar Air Heater Channel with Inline 45° Wavy-Ribs, *International Conference on Green and Sustainable Innovation 2012*, Chiang Mai, Thailand.
- [10] Incropera, F., Dewitt, P.D. (1996) *Introduction to heat transfer, 3rd edition*, John Wiley & Sons Inc.