



## อิทธิพลของแผ่นกั้นวางเอียงต่อสมรรถนะเชิงความร้อนภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส Effect of V-shaped baffles on thermal performance in a square duct

นรินทร์ กลุณภาดล<sup>1</sup>, สุรียา โชคเพิ่มพูน<sup>2</sup>, พงษ์เจต พรหมวงศ์<sup>3</sup>, พิทักษ์ พร้อมไธสง<sup>4</sup>, ประทาน ศรีชัย<sup>5</sup>  
และ สมพล สกุลหลง<sup>6\*</sup>

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลยานยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์  
ถนนมรุพงษ์ อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000

<sup>2</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร  
199 ม.3 ต.พังโคน อ.พังโคน จ.สกลนคร 47160

<sup>3</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

<sup>4</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร  
140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530

<sup>5</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์  
99 หมู่ 8 ต.โคกเคียน อ.เมือง จ.นราธิวาส 96000

<sup>6</sup> กลุ่มวิจัยระบบพลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา  
199 หมู่ 6 ถนนสุขุมวิท ตำบลทุ่งสุขลา อำเภอศรีราชา จังหวัดชลบุรี 20230

\*ติดต่อ: E-mail: sfengsps@src.ku.ac.th, sompol@eng.src.ku.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนในท่อรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสด้วยการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววี การทดลองดำเนินการโดยปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของอากาศที่มีค่าเลขเรย์โนลด์ส์อยู่ในช่วง 4160 ถึง 38,000 ในสภาวะผิวท่อเป็นแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ (Constant heat flux) แผ่นกั้นรูปตัววีมีอัตราส่วนความสูงของแผ่นกั้นต่อความสูงท่อ ( $b/H=BR$ ) เท่ากับ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 มีมุมปะทะ ( $\theta$ ) เท่ากับ  $60^\circ$  และอัตราส่วนระยะพิชิตซ์ต่อความสูงท่อ ( $P/H=PR$ ) เท่ากับ 3 เพื่อพิจารณาผลของการถ่ายเทความร้อนซึ่งแสดงในพจน์ของเลขนัสเซลต์ (Nusselt number,  $Nu$ ) และการสูญเสียความดันซึ่งแสดงในพจน์ของตัวประกอบเสียดทาน (friction factor,  $f$ ) จากการทดลองพบว่า การติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีมีค่าการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อที่มีผนังเรียบ โดยมีค่าเลขนัสเซลต์เฉลี่ยสูงกว่าท่อผนังเรียบ 3.1, 3.9, 4.5 และ 5.1 เท่า ขณะที่ตัวประกอบเสียดทานมีค่าเฉลี่ยสูงกว่าท่อผนังเรียบ 14.1, 24.8, 41.2 และ 76.2 เท่า สำหรับกรณี  $BR = 0.1, 0.2, 0.3$  และ  $0.4$  ตามลำดับ ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีที่ค่า  $BR$  ให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนเฉลี่ยสูงสุดสำหรับกรณีทดสอบนี้ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.67

**คำหลัก:** ท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส, แผ่นกั้นรูปตัววี, การถ่ายเทความร้อน, เลขเรย์โนลด์ส์, สมรรถนะเชิงความร้อน

### Abstract

The work presents the study of thermal performance enhancement in a square duct fitted with V-shaped baffles. The experiments are carried out by varying airflow rate for Reynolds number ranging from 4160 to 38,000 in the test section with a uniform wall heat flux condition. The baffle- to



channel-height ratios ( $b/H=BR$ ) of 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4, the attack angle ( $\theta$ ) of  $60^\circ$  and the baffle-pitch to duct-height ratio ( $P/H=PR$ ) of 3 are introduced in the current work. The effects of the BR on heat transfer in terms of Nusselt number (Nu) and pressure drop in the form of friction factor ( $f$ ) are experimentally investigated. The experimental results show that the use of the V-shaped baffles provides higher heat transfer and friction loss than the smooth duct with no baffle. The mean Nu are found to be 3.1, 3.9, 4.5 and 5.1 times above the smooth duct while the mean  $f$  are 14.1, 24.8, 41.2 and 76.2 times for the BR = 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4, respectively. The square duct with V-shaped baffle at BR = 0.2 yields the highest average thermal performance factor (TEF) of 1.67.

**Keywords:** Square duct, V-shaped baffle, Heat transfer, Reynolds number, Thermal performance.

### 1. บทนำ

ปัจจุบันความต้องการทางด้านพลังงานมีเพิ่มสูงขึ้น ประกอบกับแหล่งพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดและยิ่งเหลือน้อยลงทุกทีเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากร ชุมชน และความต้องการความสะดวกสบายของมนุษย์ ดังนั้น การพัฒนาระบบทางด้านพลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงจึงเป็นสิ่งจำเป็นและท้าทายอย่างยิ่งสำหรับนักวิจัย เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์สำคัญชนิดหนึ่งที่มีใช้ทั่วไปทั้งงานทางด้านวิศวกรรมและภาคอุตสาหกรรม การพัฒนาระบบของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสามารถนำไปสู่การลดการใช้พลังงาน ลดขนาด รวมทั้งค่าใช้จ่ายของต้นทุนการผลิตได้ โดยทั่วไปการเพิ่มสมรรถนะให้แก่เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนิยมใช้เทคนิคแบบ Passive [1] เช่น การติดตั้งอุปกรณ์สร้างการไหลปั่นป่วน/หมุนวน/หมุนควง ชนิดลวดขด ใบพัด ครีบนั่น และปีก ซึ่งจะติดตั้งไว้ภายในท่อของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทำให้สามารถเพิ่มระดับความปั่นป่วนให้กับสารทำงาน (Working fluid) ส่งผลให้เกิดการขัดขวางการก่อตัวของชั้นขอบเขตความร้อน (Thermal boundary layer) ที่นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของค่าการถ่ายเทความร้อน

ปัจจุบันนักวิจัยจำนวนมากได้มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดย Promvong and Thianpong [2] ทำการศึกษาการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนโดยใช้ครีบบสามเหลี่ยมมุมฉากด้าน

ตั้งรับลมและด้านเอียงรับลม ครีบบสามเหลี่ยมหน้าจั่วและสี่เหลี่ยมที่ค่า  $e/H$  เท่ากับ 0.3 และที่ค่า  $P/e$  เท่ากับ 6.67 ติดตั้งที่ผิวบนและล่างของท่อสี่เหลี่ยมผืนผ้า จากการทดลองพบว่า การจัดวางครีบบสามเหลี่ยมมุมฉากด้านตั้งรับลมจัดวางแบบแนวเดียวกันให้การถ่ายเทความร้อนสูงสุด ขณะที่ครีบบสามเหลี่ยมหน้าจั่วจัดวางแบบเอียงกันให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด Sripattanapipat and Promvong [3] ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนแบบราบเรียบโดยการจำลองแบบ 2 มิติ ในท่อขนานที่ติดแผ่นกั้นรูปเพชรที่ผนังบนและล่างแบบแนวเอียงในสภาวะเงื่อนไขอุณหภูมิที่ผนังคงที่ จากการศึกษา พบว่า เมื่อลดมุมที่ยอดรูปเพชรส่งผลทำให้ค่าเลขนัสเซลต์และตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้น ทุกค่าเลขเรย์โนลด์ส์ที่ใช้มุมยอดเพชรที่  $5^\circ$  และ  $10^\circ$  จะให้สมรรถนะเชิงความร้อนสูงกว่ามุมยอดเพชรที่  $0^\circ$  Choi et al. [4] ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อน และตัวประกอบเสียดทานในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสในสภาวะแบบปลั๊กความร้อนที่ผิวคงที่ โดยติดครีบบรูปตัววีที่ผิว มีทิศทางเดียวกันและทิศทางตรงข้ามกับการไหล พบว่า ครีบบรูปตัววีมีทิศทางตรงข้ามกับการไหลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานมากกว่าครีบบรูปตัววีมีทิศทางเดียวกับการไหล Han et al. [5,6] ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีครีบบรูปตัววีและครีบบรูปสามเหลี่ยม พบว่า ครีบบรูปสามเหลี่ยมให้การเพิ่มตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนดีที่สุดและได้



ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของครีบริบรูปตัววีมุม  $45^\circ$  และมุม  $60^\circ$  แนวครีบริบมีทิศทางการไหลและมีทิศทางตรงข้ามกับการไหล จากการทดลอง พบว่า การเพิ่มตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนของครีบริบรูปตัววีมีทิศทางการไหลตรงข้ามกับการไหลให้ค่ามากกว่ามีทิศทางการไหล โดยครีบริบรูปตัววีมุม  $45^\circ$  มีค่าการเพิ่มตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนมากกว่ามุม  $60^\circ$  Promvong et. al [7,8] ทำการศึกษาเชิงทดลองและวิเคราะห์เชิงตัวเลขของพฤติกรรมทางความร้อนและความเสียดทานภายในท่อจัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นกันเสียง โดยผลการทดลองและผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขมีค่าใกล้เคียงกัน และมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน การติดตั้งแผ่นกันเสียงที่ค่า  $BR=0.3$  และ  $PR=1$  มีค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานสูงสุด ขณะที่  $BR=0.2$  และ  $PR=1$  มีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด สมบัติ ทำนา [9] ทำการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนกรณีการไหลแบบราบเรียบในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีอุณหภูมิผิวคงที่ โดยมีการติดตั้งแผ่นกันวางขวาง, แผ่นกันวางเอียง และแผ่นกันรูปตัววีที่ผนังทั้งสองด้านของท่อ จากการศึกษา จากการวิจัยพบว่า แผ่นกันรูปตัววีสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าแผ่นกันแบบวางเอียงและแบบวางขวางตามลำดับ สมพล สกุลหลง และคณะ [10] ศึกษาเชิงทดลองของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสด้วยการติดตั้งครีบริบเอียงทำมุมเท่ากับ  $45^\circ$  ที่สภาวะพลั๊กความร้อนที่ผิวคงที่ การทดลองแสดงให้เห็นว่า การติดตั้งครีบริบเอียงให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและค่าตัวประกอบเสียดทานมากกว่าท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีผนังเรียบ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าการติดตั้งแผ่นกันสามารถช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนได้เป็นอย่างดีโดยเฉพาะแผ่นกันรูปตัววีแต่ยังมีกรวิจัยอยู่อย่างจำกัดโดยเฉพาะภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นในการศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีอากาศเป็นของไหลทดสอบ

ในสภาวะแบบพลั๊กความร้อนที่ผิวคงที่ ด้วยการติดตั้งแผ่นกันรูปตัววีที่ผิวล่างของส่วนทดสอบโดยทำมุมปะทะ ( $\theta$ ) เท่ากับ  $60^\circ$  อัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงท่อ ( $P/H=PR$ ) เท่ากับ 3 และปรับเปลี่ยนอัตราส่วนความสูงแผ่นกันต่อความสูงท่อ 4 ค่า ( $b/H=BR= 0.1, 0.2, 0.3$  และ  $0.4$ )

## 2. ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์

เป้าหมายของงานวิจัยนี้เพื่อหาค่าการถ่ายเทความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสซึ่งแสดงในพจน์ของเลขนัสเซลต์ โดยสามารถเขียนสมการในเทอมของเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก ( $D_h$ ) ได้ดังนี้

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

เมื่อ  $U$  และ  $\nu$  เป็นความเร็วเฉลี่ยและความหนืดเชิงจลน์ของอากาศ ตามลำดับ สมประสิทธิผลการพาความร้อนเฉลี่ย ( $h$ ) หาค่าได้จากการวัดอุณหภูมิและความร้อนที่ป้อนเข้าระบบ ความร้อนที่ให้กับอากาศ ( $Q_{air}$ ) และความแตกต่างของอุณหภูมิมิผนังกับอุณหภูมิอากาศ ( $T_s - T_b$ ), สมประสิทธิผลการพาความร้อนเฉลี่ย หาค่าได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$Q_{air} = Q_{conv} = \dot{m}C_p(T_{out} - T_{in}) = VI \quad (2)$$

$$h = \frac{Q_{conv}}{A(\tilde{T}_s - T_b)} \quad (3)$$

$$\text{โดยที่ } T_b = (T_{out} + T_{in}) / 2 \quad (4)$$

$$\text{และ } \tilde{T}_s = \sum T_s / 28 \quad (5)$$

เมื่อ  $A$  คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนแบบการพา

$\tilde{T}_s$  คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ย

$T_s$  คือ อุณหภูมิผิวแต่ละจุดตามแนวยาวท่อ

$T_{in}, T_{out}$  คือ อุณหภูมิทางเข้าและทางออก

$\dot{m}, C_p, V$  และ  $I$  คือ อัตราการไหลเชิงมวลของ

อากาศ, ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ, ความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าตามลำดับ

เลขนัสเซลต์เฉลี่ย ( $Nu$ ) เขียนได้เป็น

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

ตัวประกอบเสียดทาน ( $f$ ) หาค่าได้จาก

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

เมื่อ  $\Delta P$  คือ ค่าความดันตกคร่อม และ

$\rho$  คือ ความหนาแน่นของของไหลจากสมบัติทางกายภาพของอากาศ ถูกกำหนดที่อุณหภูมิของไหลเฉลี่ย ( $T_b$ ) จากสมการ (4)

ที่สภาวะกำลังขับ (pumping power) เดียวกัน

$$(\dot{V}\Delta P)_0 = (\dot{V}\Delta P) \quad (8)$$

เมื่อ  $\dot{V}$  คืออัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศและเขียนในเทอมตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ส์ได้เป็น

$$\begin{aligned} (f Re^3)_0 &= (f Re^3) , \\ Re_0 &= Re(f/f_0)^{1/3} \end{aligned} \quad (9)$$

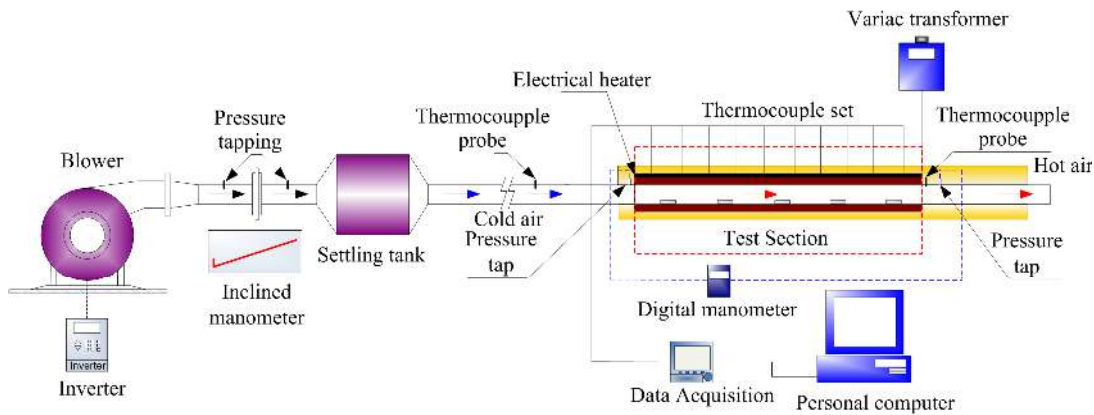
สมรรถนะเชิงความร้อน (Thermal Enhancement Factor, TEF) คือ อัตราส่วนของค่าการถ่ายเทความร้อนกรณีพื้นผิวทดสอบ (ติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววี) เทียบกับค่าการถ่ายเทความร้อนกรณีพื้นผิวเรียบหารด้วยอัตราส่วนของค่าตัวประกอบเสียดทานกรณีพื้นผิวทดสอบ (ติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววี) เทียบกับค่าตัวประกอบเสียดทานกรณีพื้นผิวเรียบโดยคิดที่ กำลังขับเดียวกัน จากข้อเสนอแนะของ Webb [11] และเอกสารอ้างอิง [1-3]

$$TEF = \left( \frac{Nu}{Nu_0} \right) \left( \frac{f}{f_0} \right)^{-1/3} \quad (10)$$

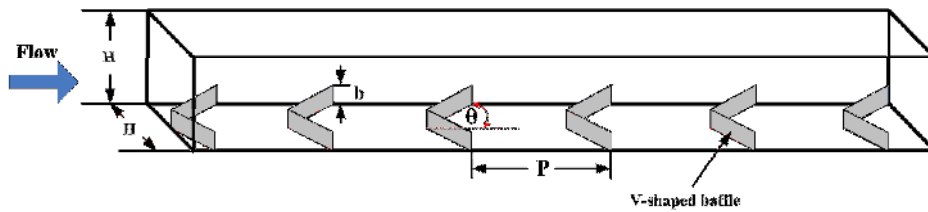
### 3. เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและวิธีการทดลอง

ชุดทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อจัดเรียงประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยท่อจัดเรียงมีความสูง (H) 45 มิลลิเมตร ส่วนทดสอบยาว (L) 1000 มิลลิเมตร แผ่นกั้นรูปตัววีถูกติดตั้งบริเวณผิว

ล่างของส่วนทดสอบที่มีอัตราส่วนความสูงแผ่นกั้นต่อความสูงท่อ 4 ค่า ( $b/H=BR= 0.1, 0.2, 0.3$  และ  $0.4$ ) ทำมุมปะทะ ( $\theta$ ) เท่ากับ  $60^\circ$  และอัตราส่วนระยะพิชต์ต่อความสูงท่อ ( $P/H=PR$ ) เท่ากับ 3 ซึ่งใช้เป็นตัวสร้างการไหลหมุนวนภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2 blower ขนาด 2 กิโลวัตต์ เป็นแหล่งกำเนิดการไหลของอากาศ, control valve ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของอากาศก่อนเข้าสู่ส่วนทดสอบ, orifice meter ใช้สำหรับวัดอัตราการไหลของอากาศที่ทางเข้าชุดทดสอบ, inclined manometer ใช้วัดความแตกต่างของความดันเพื่อใช้หาอัตราการไหลของอากาศ โดยอ่านค่าจากความแตกต่างของระดับน้ำ, settling tank ทำหน้าที่ปรับสภาพการไหลของอากาศให้มีความเสถียรมากที่สุด, สภาพการไหลของอากาศก่อนเข้าสู่ชุดทดลองมีลักษณะเป็น fully developed flow, ท่อทดสอบถูกทำให้ร้อนด้วย electric heater ซึ่งสามารถควบคุมฟลักซ์ความร้อนของแผ่น heater ได้ตามที่ต้องการ, data logger เป็นอุปกรณ์เก็บและแสดงค่าอุณหภูมิที่เชื่อมต่อข้อมูลจากเทอร์มอคัปเปิลชนิด K ทั้งหมด 30 ตัว ซึ่งวัดค่าอุณหภูมิที่ผิว 28 ตำแหน่ง และอุณหภูมิที่ตำแหน่งทางเข้าและทางออกอย่างละ 1 ตำแหน่ง, เครื่องวัดความดันตกคร่อมเป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความดันตกคร่อมระหว่างตำแหน่งทางเข้าและทางออกของส่วนทดสอบ, คอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่บันทึกข้อมูลที่ได้จาก data logger, ส่วนทดสอบจะทำการหุ้มฉนวนอย่างดีเพื่อป้องกันความร้อนสูญเสียจากแผ่น heater ออกสู่บรรยากาศภายนอก



รูปที่ 1 ชุดทดสอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อจัดรัส



รูปที่ 2 การติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววีภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน

4. ผลการทดลอง

การทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานของการไหลภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นรูปตัววี เพื่อให้การทดลองนี้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องแม่นยำจึงได้ทำการเปรียบเทียบผลการทดลองของเลขนัสเซลต์ (Nusselt number, Nu) และตัวประกอบเสียดทาน (friction factor, f) กับสหสัมพันธ์ของ Gnielinski และของ Petukhov ตามลำดับ อ้างอิงในเอกสาร [12] ในช่วงของการไหลแบบปั่นป่วนที่พัฒนาเต็มที่ภายในท่อ

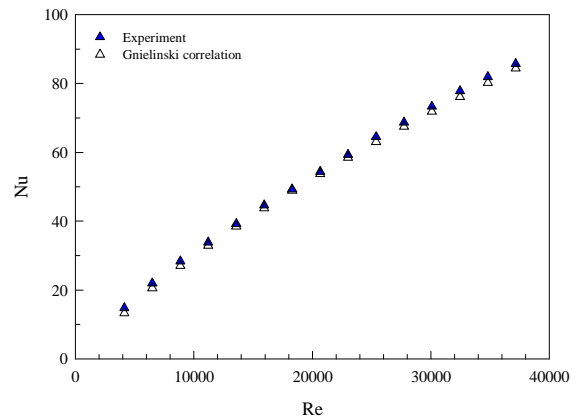
สหสัมพันธ์ของ Gnielinski

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

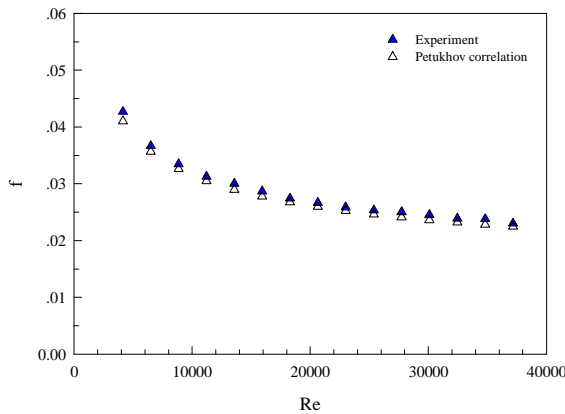
สหสัมพันธ์ของ Petukhov

$$f = (0.79 \ln Re - 1.64)^{-2} \tag{10}$$

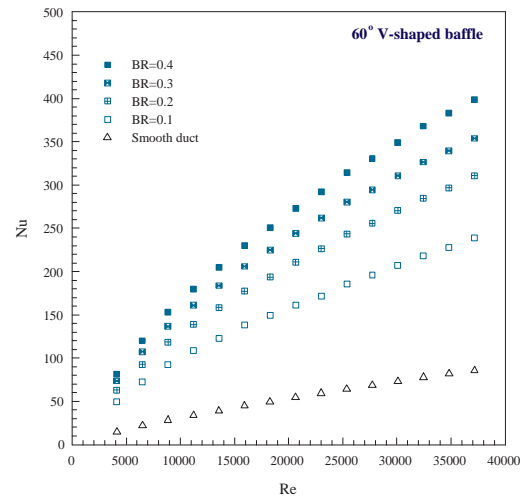
รูปที่ 3 และ 4 แสดงการเปรียบเทียบเลขนัสเซลต์และตัวประกอบเสียดทานที่ได้จากการทดลองกับสหสัมพันธ์ของสมการ (9) และ (10) พบว่า มีค่าคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง ±5% ทั้งสหสัมพันธ์ของเลขนัสเซลต์และสหสัมพันธ์ของตัวประกอบเสียดทาน



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลต์กับเลขเรย์โนลด์ส์กรณีท่อผนังเรียบ



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส์กรณีท่อผนังเรียบ

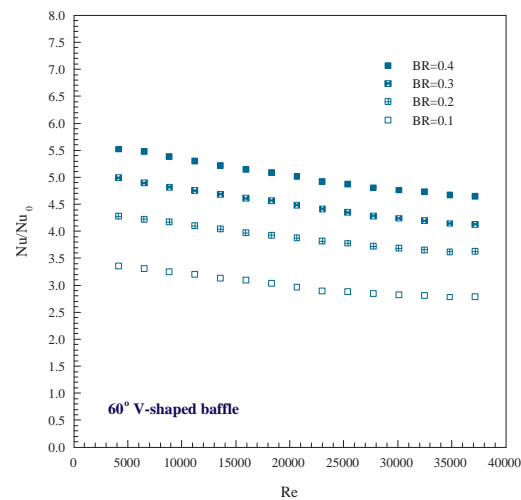


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลต์กับเลขเรย์โนลด์ส์

การทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดัน โดยติดตั้งแผ่นกั้นรูตัววีภายในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส ผลจากการทดลองสามารถแสดงได้ 3 ส่วน ดังนี้

#### 4.1 การถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลต์กับเลขเรย์โนลด์ส์ จากการทดลองพบว่า เมื่อเลขเรย์โนลด์ส์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าเลขนัสเซลต์เพิ่มขึ้นเช่นกัน การติดตั้งแผ่นกั้นรูตัววีให้ค่าเลขนัสเซลต์เพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ เนื่องจากแผ่นกั้นสามารถสร้างการไหลแบบหมุนวนซึ่งส่งผลต่อการลดปริมาณการสร้างชั้นขอบเขตความร้อนและเพิ่มระดับความปั่นป่วนให้กับของไหล การติดตั้งแผ่นกั้นรูตัววีให้ค่าเลขนัสเซลต์สูงกว่ากรณีท่อผนังเรียบอยู่ในช่วง 64–82% โดยกรณี BR = 0.4 มีค่าเลขนัสเซลต์สูงกว่า BR = 0.3, 0.2 และ 0.1 ตามลำดับ



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลต์กรณีทดสอบต่อเลขนัสเซลต์ของท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ส์

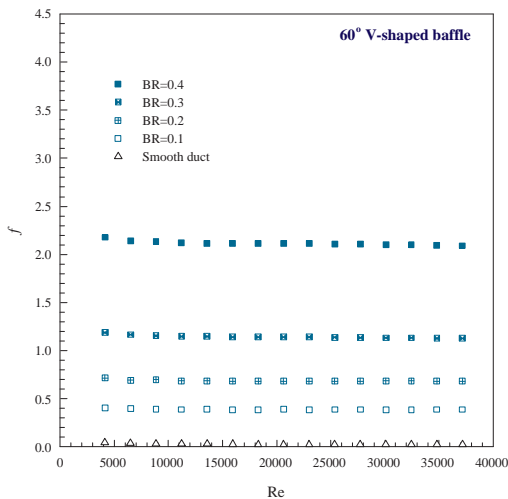
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนเลขนัสเซลต์กรณีทดสอบต่อเลขนัสเซลต์ของท่อผนังเรียบ ( $Nu/Nu_0$ ) กับเลขเรย์โนลด์ส์ จากการทดลองพบว่า ค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลต์กรณีทดสอบต่อเลขนัสเซลต์ของท่อผนังเรียบมีค่าลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งการติดตั้งแผ่นกั้นรูตัววีมีค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลต์เฉลี่ยมากกว่าท่อผนังเรียบเท่ากับ 5.1, 4.5, 3.9 และ 3.1 สำหรับกรณี BR = 0.4, 0.3, 0.2 และ 0.1 ตามลำดับ การติดตั้งแผ่นกั้นรูตัววีที่ BR = 0.4 มีค่าอัตราส่วนเลขนัสเซลต์

เซลล์สูงกว่า  $BR = 0.3, 0.2$  และ  $0.1$  ในช่วง  $9.6-11.3\%$ ,  $22.1-23.1\%$  และ  $39.2-40.2\%$  ตามลำดับ

**4.2 ความเสียดทาน**

ความเสียดทานการไหลกรณีติดตั้งแผ่นกั้นรูตัววี แสดงในพจน์ของตัวประกอบเสียดทาน ( $f$ ) และอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกรณีทดสอบต่อตัวประกอบเสียดทานของท่อผนังเรียบ ( $f/f_0$ )

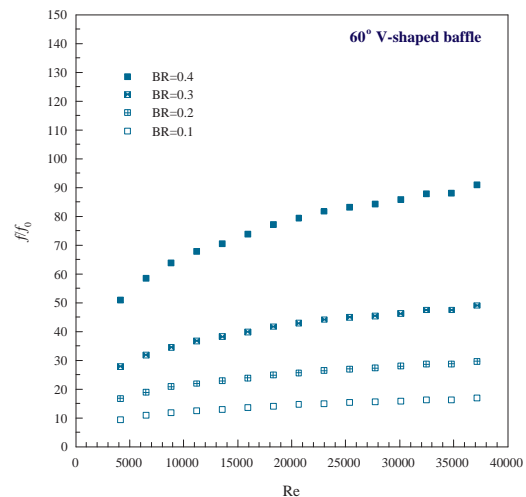
รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานและเลขเรย์โนลด์ส จากรูปแสดงให้เห็นว่า เมื่อเลขเรย์โนลด์สมีค่าเพิ่มขึ้นค่าตัวประกอบเสียดทานจะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย การติดตั้งแผ่นกั้นรูตัววีให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับท่อที่มีผนังเรียบ เนื่องจากเกิดการขวางการไหล (flow blockage) และพื้นผิวสัมผัสที่สูงกว่าเป็นผลให้เกิดการไหลกลับ (reverse flow) โดยเฉพาะกรณี  $BR = 0.4$  มีค่าตัวประกอบเสียดทานสูงสุดในกรณีทดสอบนี้ การติดตั้งแผ่นกั้นรูตัววีให้ค่าตัวประกอบเสียดทานสูงกว่ากรณีท่อผนังเรียบ  $89-98\%$



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์ส

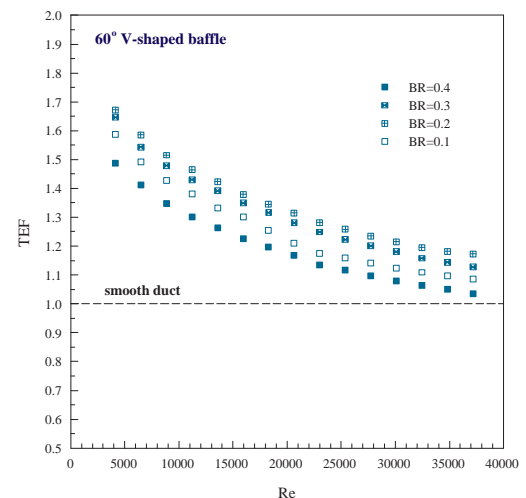
รูปที่ 8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกรณีทดสอบต่อตัวประกอบเสียดทาน

ของท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ส จากการทดลองพบว่า ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกรณีทดสอบต่อตัวประกอบเสียดทานของท่อผนังเรียบมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์สมีค่าเพิ่มขึ้น แผ่นกั้นรูตัววีที่ค่า  $BR = 0.4$  ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงสุด ตามด้วยที่ค่า  $BR = 0.3, 0.2$  และ  $0.1$  ตามลำดับ โดยมีอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานเฉลี่ยมากกว่าท่อผนังเรียบเท่ากับ  $76.2, 41.2, 24.8$  และ  $14.1$



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานกรณีทดสอบต่อตัวประกอบเสียดทานของท่อผนังเรียบกับเลขเรย์โนลด์ส

**4.3 สมรรถนะเชิงความร้อน**



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนกับเลขเรย์โนลด์ส

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการประเมินสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแสดงดังสมการที่ (10) โดยความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) กับเลขเรย์โนลด์ส์ ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากค่าเลขนัสเซลล์ต์และค่าตัวประกอบเสียดทานโดยคิดที่กำลังขับเดียวกันแสดงดังรูปที่ 9 จากรูปแสดงให้เห็นว่า ตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์ส์มีค่าเพิ่มขึ้น การติดตั้งแผ่นกั้นรูตัววีมุมปะทะ ( $\theta$ ) เท่ากับ  $60^\circ$  ที่ค่า BR = 0.2 มีค่าตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุดโดยมีค่าเท่ากับ 1.67 และมีค่าเฉลี่ยมากกว่ากรณี BR = 0.3, 0.1 และ 0.4 เท่ากับ 2.6%, 4.3% และ 11.2% ตามลำดับ

### 5. สรุปผลการทดลอง

การทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้แผ่นกั้นรูตัววีติดตั้งที่ผิวล่างของส่วนทดสอบที่มีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนความสูงของแผ่นกั้นต่อความสูงท่อค่าต่างๆ ในช่วงการไหลปั่นป่วน ( $Re = 4160-38,000$ ) สามารถสรุปได้ดังนี้

➢ การติดตั้งแผ่นกั้นรูตัววีภายในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้เป็นอย่างดีเมื่อเปรียบเทียบกับท่อผนังเรียบ โดยเฉพาะกรณี BR = 0.4 มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงสุดในกรณีทดสอบซึ่งมีค่าสูงกว่าท่อผนังเรียบถึง 82%

➢ แผ่นกั้นรูตัววีกรณี BR = 0.2 มีค่าตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด เนื่องจากมีค่าตัวประกอบเสียดทานต่ำกว่ากรณี BR = 0.4 และ 0.3 ค่อนข้างมาก ในขณะที่เดียวกันก็มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงกว่ากรณี BR = 0.1 ดังนั้นเมื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนจึงส่งผลให้แผ่นกั้นรูตัววีที่ BR = 0.2 มีค่าสูงสุดสำหรับกรณีทดสอบนี้

➢ การเลือกใช้แผ่นกั้นรูตัววีแบ่งได้เป็น 2 กรณี คือ (1) หากต้องการเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนสูงควรเลือกใช้ BR = 0.4 เนื่องจากมี

ค่าเลขนัสเซลล์ต์สูงสุด (2) หากต้องการประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนควรเลือกใช้กรณี BR = 0.2 เนื่องจากให้ค่าตัวประกอบสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด

### 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Liu, S., Sakr, M. (2013). A comprehensive review on passive heat transfer enhancements in pipe exchangers, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 19, pp. 64–81.
- [2] Promvong, P., Thianpong, C. (2008). Thermal performance of turbulent channel flows over different shaped ribs, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 35, pp. 1327–1334.
- [3] Sripattanapipat, S., Promvong, P. (2009). Numerical analysis of laminar heat transfer in a channel with diamond-shaped baffles, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 36, pp. 32–38.
- [4] Choi, C., Rhee, D.H., Cho, H.H. (2002). Heat/mass transfer and pressure drop in a square duct with V-shaped ribs, *KSME Journal of Heat Transfer*, vol. 26, pp. 1542–1551.
- [5] Han, J.C., Huang, J.J., Lee, C.P. (1993). Augmented heat transfer in square channels with wedge-shaped and delta-shaped turbulence promoters, *Journal of Enhanced Heat Transfer*, vol. 1, pp. 37–52.
- [6] Han, J.C., Zhang, Y.M., Lee, C.P. (1991). Augmented heat transfer in square channels with parallel, crossed, and V-shaped angled ribs, *ASME Journal of Heat Transfer*, vol. 113, pp. 590–596.





- [7] Promvongse, P., Skullong, S., Kwankaomeng, S., Thiangpong, C. (2012). Heat transfer in square duct fitted diagonally with angle-finned tape– Part 1: Experimental study, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 39, pp. 617–624.
- [8] Promvongse, P., Skullong, S., Kwankaomeng, S., Thiangpong, C. (2012). Heat transfer in square duct fitted diagonally with angle-finned tape– Part 2: Numerical study, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 39, pp. 625–633.
- [9] สมบัติ ทำนา (2552). การวิเคราะห์เชิงตัวเลขของการถ่ายเทความร้อนแบบลามินาร์ในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้แผ่นกั้นวางเอียง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [10] สมพล สกกุลหลง, ภาณุวัฒน์ หุ่นพงษ์, ภูติท ชัยดิภกพัฒน์กุล และ พงษ์เจต พรหมวงศ์ (2554). พฤติกรรมความร้อนในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสโดยใช้ครีบเอียงทำมุม. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25.
- [11] Webb R.L. (1992). Principles of Enhanced Heat Transfer, John-Wiley & Sons, New York, USA, 166–194.
- [12] Bergman, T.L., Lavine, A.S., Incropera, F.P., Dewitt, P.D. (2011). Fundamentals of Heat and Mass Transfer, seventh edition, John Wiley & Sons Inc.