

การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเมื่อมีการใส่ วงแหวนหกเหลี่ยม

Heat Transfer Enhancement in Heat Exchanger Tube in Hexagon Ring Insert

นรินทร์ กุลนภาดล¹ พงษ์เจต พรหมวงศ์² สุริยา โชคเพิ่มพูน³ และ วิฑูรย์ ชิงถ้วยทอง^{4*}

¹ สาขาวิศวกรรมเครื่องกลยานยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์
422 ถนนมรุพงษ์ ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดฉะเชิงเทรา 24000

² สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เลขที่ 1 ซอยฉลองกรุง 1 ถนนฉลองกรุง แขวงลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

³ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
199 หมู่ 3 ตำบลพังโคน จังหวัดสกลนคร 47160

⁴ สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
321 ถนนนารายณ์มหาราช ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี 15000

*ติดต่อ: witton9912@gmail.com, narin2006@gmail.com โทร 036-422-125

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการไหลแบบปั่นป่วนและคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนภายในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนภายใต้สภาวะพลักซ์ความร้อนที่ผิวท่อคงที่ ซึ่งมีการใส่แผ่นกั้นการไหลรูปวงแหวนหกเหลี่ยม โดยใช้อากาศเป็นของไหลทำงานด้วยความเร็วการไหลในรูปเลขเรย์โนลด์ (Re) ระหว่าง 4500 ถึง 20000 วงแหวนหกเหลี่ยมถูกติดตั้งในลักษณะวางเอียงทำมุม (α) เท่ากับ 45° ถูกใส่ภายในท่อทดสอบด้วยอัตราการขวางการไหล (R_b) ของแผ่นกั้นเท่ากับ 0.05, 0.10 และ 0.15 และมีอัตราส่วนระยะพิตต์ (R_p) ของแผ่นกั้นที่ระยะแตกต่างกันจำนวน 3 ค่า เท่ากับ 1.0, 1.5 และ 2.0 ผลการศึกษาพบว่าค่าการถ่ายเทความร้อน (Nu) และการสูญเสียความดันเนื่องจากการไหล (f) มีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราส่วนระยะพิตต์ของแผ่นกั้นมีค่าเพิ่มสูงขึ้นและที่อัตราส่วนการขวางการไหลมีค่าลดลง วงแหวนหกเหลี่ยมด้านในสามารถทำให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนเพิ่มขึ้น และพบว่าที่ $R_b = 0.1$ และ $R_p = 1.0$ จะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงที่สุด

คำหลัก: วงแหวนหกเหลี่ยม, การถ่ายเทความร้อน, เลขนัสเซลท์, ตัวประกอบความเสียดทาน, สมรรถนะเชิงความร้อน

Abstract

The objective of this research is to study the turbulent flow behavior and heat transfer characteristics in a tube heat exchanger under isothermal-flux condition inserted with hexagon rings. Air is the working fluid with the air flow velocity in terms of Reynolds numbers (Re) ranging from 4500 to 20000. The hexagon rings elements with a single inclination angle of 45° were inserted periodically into the test tube at a three different flow blockage ratio ($R_b=e/D$) of 0.05, 0.10 and 0.15 and three

different baffle-pitch ratios ($R_p=P/D$) of 1.0, 1.5 and 2.0. It is observed that that both heat transfer (Nu) rate and friction loss (f) decreases with increment of pitch length and decreasing of flow blockage ratio. The hexagon ring is can increase the thermal performance enhancement factor (TEF) value and the highest TEF found in the case of BR = 1.0 and PR = 1.0.

Keywords: hexagon ring, heat transfer, flow behavior, Nusselt number, friction factor, Thermal Enhancement Factor

1. บทนำ

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์สำหรับใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างของไหลร้อนและของไหลเย็น ซึ่งมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั้งในกระบวนการต่างๆ สำหรับภาคอุตสาหกรรมและอุปกรณ์เครื่องใช้ในชีวิตประจำวัน การศึกษาเพื่อปรับปรุงสมรรถนะทางความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง การที่สมรรถนะทางความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสูงนั้นย่อมแสดงศักยภาพที่ดีในกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดขึ้นและย่อมส่งผลถึงปริมาณการใช้พลังงานซึ่งสามารถทำให้อุปกรณ์มีขนาดเล็กลงหรือใช้พลังงานลดลงได้ ด้วยเหตุนี้จึงมีการศึกษาวิจัยเพื่อสมรรถนะทางความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกันอย่างแพร่หลาย ซึ่งวิธีที่ได้รับความนิยมวิธีหนึ่งคือการติดตั้งหรือสอดใส่อุปกรณ์สำหรับช่วยพัฒนารูปแบบการไหลให้มีพฤติกรรมการไหลเป็นแบบหมุนวนหรือหมุนควงซึ่งมีผลกระทบต่อการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยวิธีนี้เป็นวิธีที่ไม่ต้องอาศัยพลังงานจากภายนอกเพิ่มเข้ามา (passive method) ซึ่งมีหลายรูปแบบ เช่นการใส่ใบพัด การใส่แผ่นกั้น การใส่ปีกสร้างความปั่นป่วน เป็นต้น แต่การที่มีการใส่อุปกรณ์เพิ่มเข้าไปในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้มีการต้านการไหลเพิ่มขึ้น จึงต้องพิจารณาสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นกับการสูญเสียเนื่องจากการไหลที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน ดังนั้น จึงมีนักวิจัยที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้าเพิ่ม

สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนด้วยวิธีนี้กันอย่างแพร่หลาย ดังต่อไปนี้

Sarviya and Veeresh [1] ได้ทำการศึกษาค้นคว้าเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการใส่ใบพัดที่มีการตัดขอบแบบต่อเนื่อง โดยใช้น้ำเป็นของไหลทำงาน มีอัตราส่วนของการบิดเป็น 3 และ 5 ซึ่งพบว่าสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้มากกว่าท่อที่ไม่มีการติดตั้งใบพัด ประมาณ 2.23 เท่า และมากกว่าใบพัดที่ไม่มีการตัดขอบประมาณ 1.63 เท่า แต่ขณะเดียวกันก็ทำให้เพิ่มความต้านทานการไหลในท่อเช่นกัน

Sombat และคณะ[2] ได้ศึกษาค้นคว้าถ่ายเทความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการใส่ใบพัดคู่รูปตัววี ซึ่งมีมุม 30° ที่มีอัตราส่วนความสูงระยะต่างๆ กัน 4 ค่า คือ 0.038, 0.005, 0.075 และ 0.1 โดยใช้อากาศเป็นสารทำงานที่ค่าตัวเลขเรย์โนลด์ 5,300-24,000 ซึ่งพบว่าสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ แต่ก็เป็น การเพิ่มความเสียดทานในการไหลเช่นกัน โดยสามารถให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ถึง 1.4

Promvong และ Eiamsa-ard [3] ได้ทำการศึกษาค้นคว้าถ่ายเทความร้อนในท่อกลมที่มีการใส่ตัวสร้างความปั่นป่วนแบบแหวนกรวย (conical-ring) ในการทดลองได้แบ่งเป็น 2 แบบคือ ใช้ตัวสร้างความปั่นป่วนแบบแหวนกรวยที่จัดวางแบบลู่ออก (D-nozzle arrangement) และแบบแหวนกรวยที่จัดวางแบบลู่ออก (C-nozzle arrangement) นำมาใส่ในท่อทดลอง ซึ่งการทดสอบจะอยู่ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 8,000 ถึง 18,000 วาง

แหวนกรวยที่มีอัตราส่วนระยะพิตซ์ต่าง ๆ กัน คือ 2, 4 และ 7 พบว่าเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นจะเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ แหวนกรวยแบบลู่ออกจะสร้างความปั่นป่วนได้มากกว่าแหวนกรวยแบบลู่ออกเป็นผลให้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่า ในขณะที่เดียวกันก็เป็นผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานมากกว่าเช่นกัน แต่ทั้งสองแบบก็ยังให้การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่มากกว่าท่อผิวเรียบในช่วง 236 – 344% ขึ้นอยู่กับเลขเรย์โนลด์และการจัดวางตัวสร้างความปั่นป่วน

Kongkaitpaiboon และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาผลของการพาความร้อนและการสูญเสียความดันในท่อกลมเมื่อมีการติดตั้งวงแหวนสร้างความปั่นป่วน ที่มีเส้นผ่านของช่องวงแหวน 0.5, 0.6 และ 0.7 และอัตราส่วนระยะพิตซ์ 6, 8 และ 12 ในช่วงค่า $Re = 4,000 - 20,000$ พบว่าเมื่อมีการติดตั้งวงแหวนสร้างความปั่นป่วนจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น 57-195% เมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบ และพบว่าที่อัตราส่วนระยะพิตซ์น้อยและขนาดของช่องวงแหวนมีค่าน้อย จะมีการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่สูง

Promvongse และคณะ [5] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยใช้วงแหวนวางเอียงในท่อเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยศึกษาการวางเอียงที่มุม 30° ที่อัตราส่วนด้านกราดไหล 0.1, 0.15 และ 0.2 ทดลองในช่วงค่า $Re = 5,000 - 26,000$ พบว่าที่อัตราส่วนการด้านกราดไหลที่สูงจะทำให้เกิดวอร์เทคที่รุนแรงเป็นผลให้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น แต่จะทำให้เกิดความเสียดทานที่สูงขึ้นเช่นกัน โดยที่อัตราส่วนระยะพิตซ์ 0.5 และอัตราส่วนระยะพิตซ์ 1.0 จะให้ค่าสมรรถนะความร้อนที่สูงที่สุด

Chingtuaythong และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนโดยใช้วงแหวนรูปตัววีในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน โดยศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนระยะพิตซ์ 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 และอัตราส่วนการด้านกราดไหลที่ 0.1, 0.15 และ 0.2 พบว่าวงแหวนดังกล่าว

สามารถเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนได้โดยการทำให้เกิดการไหลแบบวอร์เทคด้านหลังของวงแหวน ซึ่งสามารถเพิ่มตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ถึง 1.63 ในช่วงที่มีค่าเลขเรย์โนลด์ต่ำ

นอกจากการใช้ใบปิดและขดลวดรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งเป็นอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนสำหรับการไหลภายในท่อกลมที่ได้รับความนิยมแล้วยังมีงานวิจัยที่ศึกษาถึงอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนในรูปแบบอื่น ๆ ดังนี้ Yu Wang และคณะ [7] ได้ทำการศึกษาค้นคว้าเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ท่อที่มีรอยบุ๋มเป็นรูปวงรี Tandiroglu [8] ได้ทำการศึกษาค้นคว้าเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยใช้แผ่นกั้นครึ่งวงกลมจัดวางในลักษณะต่างๆ เป็นตัวช่วยสำหรับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน Bilen และคณะ [9] ได้นำเสนอการใช้ท่อที่มีการเจาะร่องพื้นผิวด้านในรูปแบบต่างแทนการใช้ท่อผิวเรียบ และเมื่อทำการศึกษาควบคู่กับการใช้อุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนหน้าตัดอื่นๆ เช่น ท่อหน้าตัดรูปทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส [10,11] และท่อหน้าตัดรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า [12] พบว่าอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนที่ได้รับความนิยมและให้ผลลัพธ์ที่ดีนั้นคือการใช้ครีป, ปีก และแผ่นกั้น โดยศึกษาถึงลักษณะรูปแบบต่างๆ ระยะการจัดวาง เป็นต้น แต่การศึกษาเชิงทดลองที่ใช้แผ่นกั้นสำหรับเป็นอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนภายในท่อหน้าตัดกลมยังมีงานวิจัยอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก งานวิจัยนี้จึงได้นำแนวคิดการประยุกต์ติดตั้งวงแหวนข้าวหลามตัด-วงรีวางเอียง 45° มาเป็นอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนของการไหลภายในท่อหน้าตัดกลม เพื่อลดความเสียดทานด้านข้างของวงแหวน โดยที่วงแหวนจะช่วยทำให้เกิดการไหลแบบหมุนวนตามแนวยาว โดยทดลองที่อัตราการขยายการไหล ($BR = e/D$) เป็น 0.30 และ 0.35 ที่มีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระยะพิตซ์ ($PR = P/D$) เป็น 1.0, 1.25, 1.5 และ 2.0 ทดลองอัตราการไหลของอากาศซึ่งแสดงในรูปแบบของเลขเรย์โนลด์ (Re) อยู่ในช่วงระหว่าง 4,000-20,000 ภายใต้เงื่อนไขของพลาจิกซ์ความร้อนที่

ให้กับผนังของท่อทดลองคงที่ ในส่วนของผลการทดลอง ได้นำเสนอในรูปแบบของเลขนัสเซิลท์ (Nu) และตัวประกอบความเสียดทาน (f) สำหรับลักษณะของการถ่ายเทความร้อนและลักษณะของความดันตกคร่อมตามลำดับ

โดยที่

$$T_b = (T_o - T_i) / 2 \quad (4)$$

และ

$$\tilde{T}_s = \sum T_s / 20 \quad (5)$$

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาการเพิ่มของค่าสมรรถนะเชิงความร้อนในกรณีที่มีการใส่แกววนหกเหลี่ยมที่มีอัตราการขวางการไหล (R_B) เท่ากับ 0.05, 0.10 และ 0.15 และมีอัตราส่วนระยะพิทต์ (R_p) เท่ากับ 1.0, 1.5 และ 2.0

3. ทฤษฎีและการวิเคราะห์ข้อมูล

งานวิจัยทำการศึกษาค่าสมรรถนะเชิงความร้อนภายในท่อหน้าตัดวงกลมในเทอมของเลขนัสเซิลท์โดยเลขเรย์โนลด์ส์ในเทอมของเส้นผ่านศูนย์กลาง (D) สามารถเขียนได้เป็น

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

เมื่อ U และ ν เป็นความเร็วเฉลี่ยและความหนืดเชิงจลน์ของอากาศตามลำดับ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ย (h) หาค่าได้จากการวัดอุณหภูมิและความร้อนที่ป้อนเข้าระบบความร้อนที่ให้กับอากาศ (Q_{air}) และความแตกต่างของอุณหภูมิผนังกับอุณหภูมิอากาศ ($T_w - T_b$) สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเฉลี่ยหาได้จากข้อมูลทดลองดังสมการ

$$\dot{Q}_{air} = \dot{Q}_{conv} = \dot{m} C_p (T_o - T_i) \quad (2)$$

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

เทอม A คือ พื้นที่การถ่ายเทความร้อนแบบการพาของผนังที่ถูกให้ความร้อนของท่อหน้าตัดกลม เมื่อ \tilde{T}_s คือ อุณหภูมิผิวเฉลี่ยที่ได้จากอุณหภูมิผิวในแต่ละจุด (T_s) ตามแนวยาวของท่อหน้าตัดกลม, T_i , T_o คือ อุณหภูมิทางเข้าและทางออกตามลำดับ โดยเทอมของ \dot{m} และ C_p คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศและค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศ, ตามลำดับ เลขนัสเซิลท์เฉลี่ย (Nu) เขียนได้เป็น

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

ตัวประกอบเสียดทาน (f) หาค่าได้จาก

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

เมื่อ ΔP คือ ค่าความดันตกคร่อม และ ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล คุณสมบัติทางกายภาพของอากาศ ถูกกำหนดที่อุณหภูมิของไหลเฉลี่ย T_b จากสมการ (4)

ค่าประสิทธิภาพหรือสมรรถนะเชิงความร้อน (TEF) คือ อัตราส่วนของสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของพื้นทดสอบ (h) เทียบกับสัมประสิทธิ์การพาความร้อนพื้นผิวเรียบ (h_0) ที่กำลังขับเดียวกัน

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

4. การติดตั้งอุปกรณ์และวิธีการทดลอง

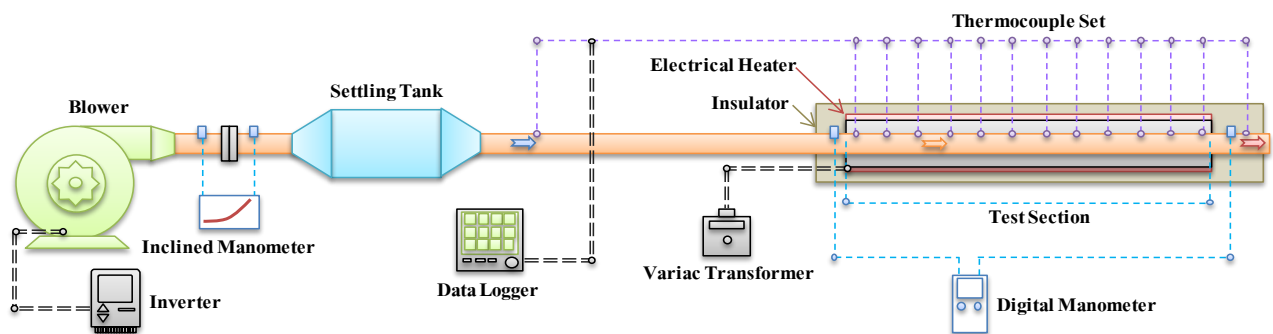
อุปกรณ์สำหรับการทดสอบการเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังรูปที่ 1 โดยใช้ท่อทดสอบเป็นท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (D_i) = 50 มิลลิเมตร หนา (t) = 1 มิลลิเมตร ยาว (L) = 4,000 มิลลิเมตร และในช่วงการทดสอบความยาว 2,000 มิลลิเมตร ทำการติดตั้งขดลวดทำความร้อน (Heater) ขนาด 3,000 วัตต์ ไว้ที่ผิวท่อทดสอบพร้อมทั้งมีการหุ้มฉนวนกันความร้อนถ่ายเทออกสู่บรรยากาศ ทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิผิวท่อโดยใช้หัววัดแบบเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จำนวน 20 จุดตลอดความยาวท่อทดสอบ โดยตำแหน่งการติดตั้งมีระยะห่าง 10 เซนติเมตร รวมทั้งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแบบ RTD Pt-100 เพื่อวัดอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้า-ออกของท่อทดสอบจำนวน 2 จุดวัด บันทึกข้อมูลอุณหภูมิในคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งติดตั้งชุดวัดความดันลกระหว่างช่วงทดสอบ โดยใช้เครื่องมือวัดเครื่องวัดความดันตกคร่อม รุ่น Dwyer 457 Mark III ช่วงการใช้งาน 0 – 10.0 IN W.C. การปรับค่าอัตราการไหลของอากาศใช้การปรับรอบคอมมอเตอร์ของพัดลม โดยใช้อินเวอร์เตอร์ (inverter)

ยี่ห้อ Omron Inverter ขนาด 1.5 kW วัตต์อัตราการไหลของอากาศโดยใช้เครื่องวัดอัตราการไหลแบบออร์ฟิส

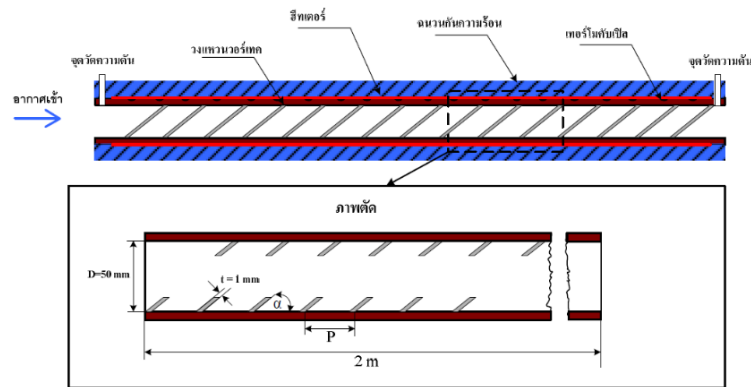
ชิ้นงานที่ใช้ใส่ในท่อทดสอบทำจากแผ่นอะคริลิก หนา 2 มิลลิเมตร ลักษณะเป็นวงแหวนด้านในทึบเหลี่ยมและด้านนอกเป็นรูปวงรี วางทำมุมปะทะกับทิศทางการไหลของอากาศเท่ากับ 45° โดยวงแหวนทึบเหลี่ยมมีอัตราส่วนการวางกั้นการไหลหรืออัตราส่วนระหว่างความสูงวงแหวนต่อขนาดท่อ (R_B) เท่ากับ 0.05, 0.10, 0.15 และมีค่าอัตราส่วนระยะพิตต่อขนาดท่อ (R_p) = 1.0, 1.5, 2.0 ตามลำดับ ดังรูปที่ 2 และ 3 โดยทำการทดลองตามเงื่อนไขในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เงื่อนไขในการทดลอง

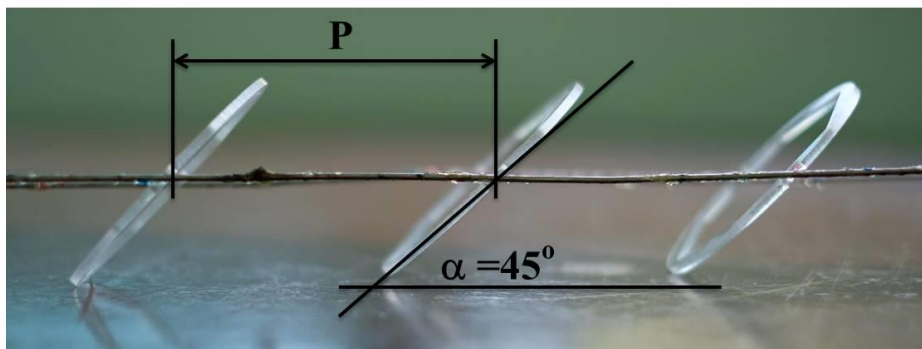
ของไหล	อากาศ
เลขเรย์โนลด์	4500 – 20000
เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทดลอง	50 mm
อัตราส่วนการด้าน, R_B	0.05, 0.10, 0.15
มุมปะทะ, α	45°
อัตราส่วนระยะพิตซ์, PR	1.0, 1.5 และ 2.0



รูปที่ 1 ชุดทดสอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน



รูปที่ 2 ลักษณะการติดตั้งวงแหวนหกเหลี่ยมเอียงในท่อทดสอบ



รูปที่ 3 ลักษณะพารามิเตอร์ของวงแหวนหกเหลี่ยมเอียง

5. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

5.1 การทวนสอบท่อผิวเรียบ

การทดสอบการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดัน จะแสดงในเทอมของตัวแปรไร้มิติ คือ เลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทาน ตามลำดับซึ่งการ

ทวนสอบชุดทดลองสำหรับท่อผิวเรียบนั้นมีการทดสอบและเปรียบเทียบ โดยเลขนัสเซลท์เปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Gnielinski และตัวประกอบเสียดทานเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Petukhov ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วน [13]

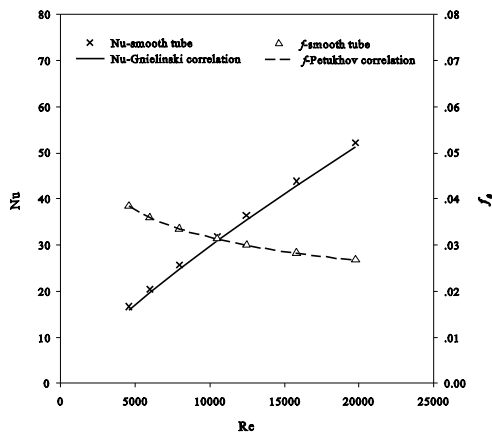
สหสัมพันธ์ของ Gnielinski,

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

สหสัมพันธ์ของ Petukhov

$$f = (0.790 \ln Re - 1.64)^{-2} \quad (10)$$

จากการทดลองท่อผิวเรียบเพื่อเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ดังกล่าว แสดงในรูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์ ในช่วง 4500 – 25000 กับเลขนัสเซลท์ จากการทดสอบพบว่าเลขนัสเซลท์ของท่อทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับสหสัมพันธ์จาก สมการที่ (9) โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย $\pm 5\%$ และความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์ กับตัวประกอบเสียดทาน พบว่าตัวประกอบเสียดทานท่อทดสอบมีค่าใกล้เคียงกับสหสัมพันธ์จาก สมการที่ (10) มีค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในช่วง $\pm 6\%$

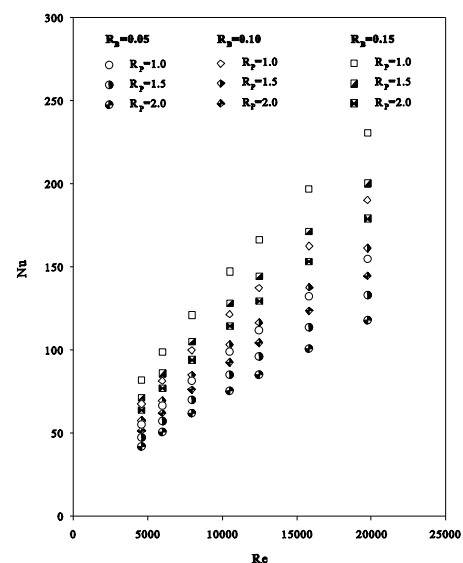


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับเลขนัสเซลท์ และเลขเรย์โนลด์กับตัวประกอบเสียดทานในกรณีท่อผิวเรียบ

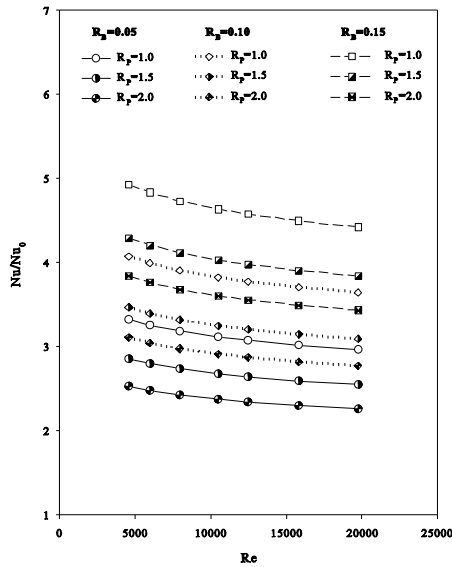
5.2 การถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับเลขนัสเซลท์ ของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใส่วงแหวนหกเหลี่ยมวางเอียง จากการทดลองพบว่า การใส่วงแหวนหกเหลี่ยมเอียงมุมปะทะเท่ากับ 45° ที่อัตราการ

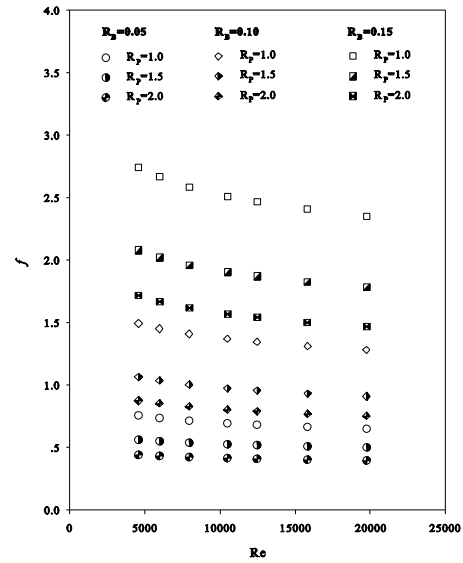
ขวางการไหล (R_B) เท่ากับ 0.05, 0.10 และ 0.15 ที่มีอัตราส่วนระยะพิตซ์ (R_P) เท่ากับ 1.0, 1.5 และ 2.0 ทุกกรณีสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้เมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบ โดยลักษณะของเส้นกราฟพบว่า เลขนัสเซลท์มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น โดยกรณีที่ค่า R_B เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าเลขนัสเซลท์ที่สูงกว่าค่า R_B น้อย ๆ เนื่องจากที่ค่า R_B มากลักษณะของวงแหวนหกเหลี่ยมจะมีส่วนที่ปะทะการไหลมากกว่ากรณีที่มีค่า R_B น้อย โดยความหนาของปีกวงแหวนหกเหลี่ยมจะส่งผลให้อากาศที่ปะทะเกิดการเปลี่ยนพฤติกรรมจากการไหลตามแนวท่อเป็นการไหลแบบวอร์เทคตามยาว ในขณะที่ค่า R_P ที่ลดลงจะส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน เนื่องจากค่า R_P น้อย ๆ จะมีจำนวนวงแหวนหกเหลี่ยมที่มีค่ามากและเป็นการเพิ่มพื้นที่ทำให้การรบกวนชั้นขีดผิวความร้อนทำได้อย่างต่อเนื่อง สำหรับในรูปที่ 6 แสดงอัตราส่วนเลขนัสเซลท์เป็นการเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนระหว่างกรณีใส่วงแหวนหกเหลี่ยมวางเอียงกับกรณีท่อผิวเรียบ พบว่า อัตราส่วนเลขนัสเซลท์มีค่าในช่วง 3.4 – 4.9, 2.7 – 4.0, และ 2.3 – 3.3 ที่อัตราส่วนการวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.15, 0.10 และ 0.05 ที่ค่า อัตราส่วนระยะพิตซ์เท่ากับ 1.0, 1.5 และ 2.0 ตามลำดับ



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับเลขนัสเซลท์



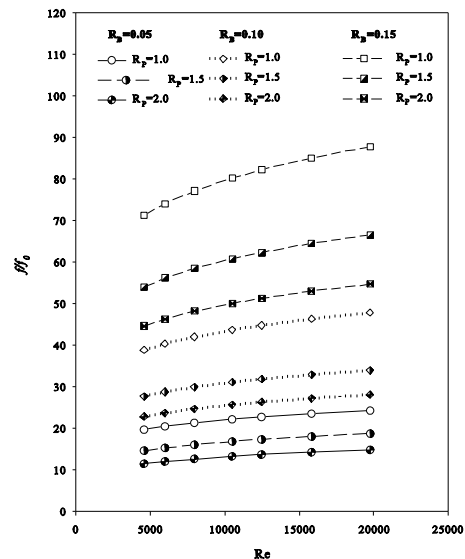
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับอัตราส่วนเลขนัสเซลท์



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับตัวประกอบเสียดทาน

5.3 การสูญเสียความดัน

รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์และตัวประกอบเสียดทาน พบว่าแนวโน้มตัวประกอบเสียดทานมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนระยะพิตซ์น้อย ($R_p = 1.0$) มีค่าตัวประกอบเสียดทานมากที่สุด และลดลงเมื่อมีอัตราส่วนระยะพิตซ์เพิ่มขึ้น เนื่องจากที่อัตราส่วนระยะพิตซ์น้อยจะมีจำนวนวงแหวนมากทำให้มีการต้านการไหลมาก โดยที่ $R_B = 0.15$ และ $R_p = 1.0$ ให้ค่าอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานสูงสุดถึง 87 เท่า เมื่อเทียบกับท่อผิวเรียบที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 25000 และมีค่าสูงกว่ากรณีอื่นมาก เนื่องจากการมีวงแหวนหกเหลี่ยมวางเอียงมีจำนวนมากทำให้การไหลของอากาศในท่อความร้อนไหลมากปะทะกับพื้นผิวสัมผัสของวงแหวน ส่วนในรูปที่ 8 แสดงอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทานซึ่งเป็นการเทียบตัวประกอบเสียดทานกรณีใส่วงแหวนหกเหลี่ยมกับกรณีท่อผิวเรียบ พบว่า มีค่าในช่วง 44 – 87, 22 – 47, และ 11 – 24 ที่อัตราส่วนการวางกั้นการไหลเท่ากับ 0.15, 0.10 และ 0.05 ที่ค่าอัตราส่วนระยะพิตซ์เท่ากับ 1.0, 1.5, 2.0 ตามลำดับ

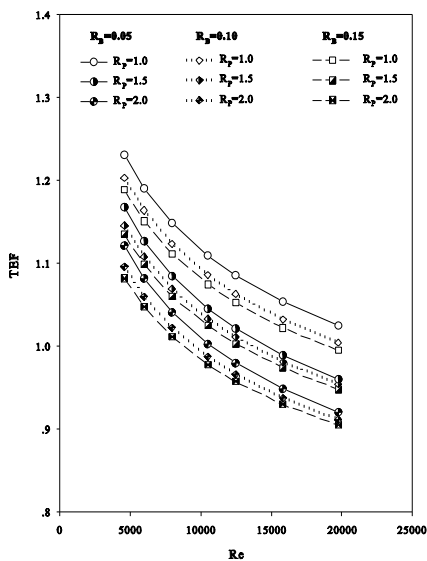


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับอัตราส่วนตัวประกอบเสียดทาน

5.4 ค่าสมรรถนะเชิงความร้อน

รูปที่ 9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับค่าสมรรถนะเชิงความร้อน ซึ่งพิจารณาเทียบกับท่อผิวเรียบ(กรณีไม่มีการติดตั้งวงแหวน) ที่การใช้พลังงานของกำลังขับเท่ากัน โดยเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนที่เพิ่มขึ้นเทียบกับการสูญเสียความดันที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน พบว่าเมื่อใส่วงแหวนภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนซึ่ง

สามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้นแต่จะส่งผลให้ค่าตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นสูงเช่นเดียวกัน โดยเมื่อนำมาวิเคราะห์กรณีศึกษาที่กำลังขับเท่ากับท่อผิวเรียบ และที่ค่าการไหลเดียวกัน พบว่าวงแหวนหกเหลี่ยมที่มี $R_B = 0.05$ ที่ค่า $R_p = 1.0$ มีค่าสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด และมีค่าเท่ากับ 1.20 เมื่อเทียบกับกรณีท่อผิวเรียบ ที่ค่าเลขเรย์โนลด์เท่ากับ 4500 ทั้งนี้เนื่องจากที่ค่า R_p มากสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้มากกว่าการเพิ่มของตัวประกอบเสียดทาน โดยที่ $R_B = 0.05$ และ $R_p = 1.0$ วงแหวนหกเหลี่ยมจะมีปีกที่บาง และจำนวนของวงแหวนหกเหลี่ยมมีจำนวนที่ทำให้เกิดระยะของการไหลแบบวอร์เทคแนวยาว (longitudinal vortex) ที่เหมาะสมกับการถ่ายเทความร้อนที่ดีเมื่อเทียบกับกรณีศึกษาอื่น ๆ



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับสมรรถนะเชิงความร้อน

6. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาวิจัยพบว่า การใส่วงแหวนหกเหลี่ยมวางเอียงเข้าไปในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้นได้ ซึ่งวงแหวนนี้ช่วยให้เกิดการไหลแบบวอร์เทคแนวยาว (longitudinal vortex) ด้านหลังของวงแหวน ซึ่งจะเป็น

การรบกวนชั้นขีดผิวความร้อนของการไหล ส่งผลให้เลขนัสเซลล์มีค่าสูงขึ้นโดยวงแหวนหกเหลี่ยมเอียงที่มีมุมปะทะ, $\alpha = 45^\circ$ และมีอัตราส่วนการขวางกั้นการไหล (R_B) = 0.05 พบว่าที่ระยะพิตช์น้อย ($R_p = 1.0$) จะเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้สูงขึ้นมากประมาณ 4.9 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับท่อผิวเรียบ แต่ก็ส่งผลให้ตัวประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และเมื่อพิจารณาค่าสมรรถนะเชิงความร้อน โดยพิจารณาในรูปของตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน พบว่าวงแหวนหกเหลี่ยมวางเอียงสามารถเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ในทุกช่วงของเลขเรย์โนลด์ โดยเฉพาะในช่วงที่มีค่าเลขเรย์โนลด์ต่ำจะให้ค่าสมรรถนะเชิงความร้อนที่สูงที่สุด และมีค่าสูงสุด ที่ค่า $R_B = 0.05$ และ $R_p = 1.0$ ที่ค่า $Re = 4500$ ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนและท่อความร้อนได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏราชนครินทร์และมหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี ที่สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการงานวิจัยนี้รวมทั้งทุนในการนำเสนอ

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] R.M. Sarviya and Veeresh Fuskele. (2018). Heat transfer and Pressure Drop in a Circular Tube Fitted with Twist Tape Insert Having Continuous Cut Edges. Journal of Energy Storage. Vol.19, pp. 10-14.
- [2] Sombat Tamna, Yingyong Kaewkohkiat, Sompol Skullong and Pongjet Promvonge. (2016). Heat transfer enhancement in tubular heat exchanger with double V-ribbed twisted-tapes. Case Studies in Thermal Engineering. Vol 7, pp. 14-24.



- [3] Promvong P., Koolnapadol N., Pimsarn M. and Thianpong C. (2014). Thermal performance enhancement in a heat exchanger tube fitted with inclined vortex rings. *Applied Thermal Engineering*. Vol.62, pp. 285-292.
- [4] Chingtuaythong W., Promvong P., Thianpong C. and Pimsarn M. (2017). Heat transfer characterization in a turbular heat exchanger with V-shaped rings. *Applied Thermal Engineering*. Vol.110, pp. 1164-1171.
- [5] Pongjet Promvong, Narin Koolnapadol, Monsak Pimsarn and Chinaruk Thianpong. (2014). Thermal performance enhancement in a heat exchanger tube fitted with inclined vortex rings. *Applied Thermal Engineering*. Vol.62, pp. 285-292.
- [6] Chingtuaythong W., Promvong P., Thianpong C. and Pimsarn M. (2017). Heat transfer characterization in a turbular heat exchanger with V-shaped rings. *Applied Thermal Engineering*. Vol.110, pp. 1164-1171.
- [7] 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, pp. 1273–1281.
- [8] 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, pp. 1559–1567.
- [9] 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, pp. 753–761.
- [10] Suwannapan, S. Chompookham, T. Tamna, S. Skullong, S. Thianpong C. and Promvong, P. (2012). Augmented Heat Transfer in Square Channel with 45° Inline Baffles. *International Conference on Green and Sustainable Innovation*, Chiang Mai, Thailand.
- [11] Koolnapadol N, Hoonpong P., Skullong A., Kammul P. and Promvong P. (2017), Turbulent Heat Transfer and Pressure Loss in a Square-Duct Heat Exchanger with Inclined-Baffle Inserts. *Engineering Journal*. vol.21, Issue 7, pp.485-497.
- [12] Chokphoemphun, S. Chompookham, T. Skullong S. and Promvong, P. (2012). Heat Transfer in Solar Air Heater Channel with Inline 45° Wavy-Ribs, *International Conference on Green and Sustainable Innovation*, Chiang Mai, Thailand.
- [12] Webb, R.L. (1994). *Principles of Enhanced Heat Transfer*. John Wiley & Sons, New York.
- [13] Incropera, F. Dewitt, P.D. (1996). *Introduction to Heat Transfer*, 3rd edition, John Wiley & Sons Inc.