

พฤติกรรมทางความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อจัดรัศ ที่ติดตั้งปีกบางขวางแนวการไหล

Thermal Characteristics in a Square-Duct Heat Exchanger with Winglets Placed in Central Core Flow

สุริยา โชคเพิ่มพูน¹ สุภัทรชัย สุวรรณพันธุ์² โชติวุฒิ ประสพสุข³
และ พงษ์เจต พรหมวงศ์⁴

Suriya Chokphoemphun¹, Supattarachai Suwannapan², Chotiwt Prasopsuk³
and Pongjet Promvongse⁴

¹สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร
199 หมู่ 3 ถนนพังโคน-วาริชภูมิ ตำบลพังโคน อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร 47160 E-mail : chok_suriya_@hotmail.com

²สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
150 หมู่ 6 ถนนศรีจันทร์ตำบลในเมือง อำเภอเมืองขอนแก่น จังหวัดขอนแก่น 30000 E-mail : oak_su@hotmail.com

³สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี
321 ถนนนารายณ์มหาราช ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี 15000 E-mail : sompop2525@gmail.com

⁴สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 E-mail : kppongje@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวสร้างความปั่นป่วนแบบปีกบางที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะเชิงความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อจัดรัศปีกบางที่ใช้ในการทดสอบมีลักษณะที่แตกต่างกันของมุมปะทะการไหล ($\alpha=30^\circ$, 45° และ 60°) และอัตราส่วนความสูงปีก ($BR=e/H=0.05$, 0.10 และ 0.15) ที่อัตราส่วนระยะพิตต์คงที่ ($PR=P/H=1.0$) ซึ่งปีกบางจะถูกสอดใส่ในช่วงท่อทดสอบตามแนวทแยงมุมของหน้าตัดและให้ปีกบางลอยอยู่บริเวณกลางหน้าตัดท่อทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขสภาวะพลาซความร้อนที่ผิวคงที่ มีอากาศเป็นของไหลทำงานในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่เลขเรย์โนลด์มีค่าระหว่าง 6000 ถึง 26,000 ผลการศึกษาของกรณีศึกษาทั้งหมดจะทำการเปรียบเทียบกับท่อผิวเรียบ พบว่าการใช้ปีกบางช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนและทำให้เกิดการสูญเสียความดันที่สูงกว่าท่อผิวเรียบและมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อมุมปะทะการไหลและอัตราส่วนความสูงปีกมีค่าสูงขึ้นภายใต้เงื่อนไขการศึกษานี้ ค่าการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบความเสียดทานเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นจากท่อผิวเรียบประมาณ 1.55–2.29 และ 2.27–8.48 เท่า ตามลำดับ ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดเท่ากับ 1.49 เกิดขึ้นในกรณีการใช้ปีกบางที่ $Re=6500$, $\alpha=30^\circ$ และ $BR=0.10$.

คำสำคัญ: เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ท่อจัดรัศ ปีกบาง

Abstract

This work presents the effect of winglet vortex generators on heat transfer and thermal performance enhancement of a square-duct heat exchanger. In the

present work, the winglet with a three different attack angle ($\alpha=30^\circ$, 45° and 60°) and three different winglet-height or blockage ratios ($BR=e/H=0.05$, 0.10 and 0.15) at fixed winglet pitch ratios ($PR=P/H=1.0$) were inserted diagonally and placed in the core flow area into the test duct. The experiment was carried out in a uniform wall heat flux tube by varying turbulent airflow for Reynolds number (Re) ranging from 6000–26,000. The experimental results for the winglet at various parameters were evaluated and compared with those for the smooth tube. The measurement reveals that the winglet provides a considerable increase in the Nusselt number (Nu) and friction factor (f) above the smooth duct. The Nu and f increase with the increment of α and BR . The average Nu and f for the winglet with various parameters are in the range of 1.55–2.29 and 2.27–8.48 times above the plain tube, respectively. The maximum thermal enhancement factor for using winglet tabulators is 1.49 at $Re=6500$, $\alpha=30^\circ$ and $BR=0.1$.

Keywords: heat exchanger, square-duct, winglets

1. บทนำ

การศึกษากการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนับว่าเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการนำไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดต่าง ๆ ที่มีการใช้งานกันอย่าง

แพร่หลายในระบบอุตสาหกรรม โดยหากสามารถเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนหรือขีดความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้ ทำให้กระบวนการในการแลกเปลี่ยนความร้อนสั้นลงหรืออาจช่วยลดขนาดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนลงได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวย่อมส่งผลดีในแง่ของการประหยัดพลังงานและในแง่ของการลงทุน

ชุดทดสอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่นิยมใช้ในการศึกษาวิจัยสามารถจำแนกตามลักษณะรูปร่างหน้าตัดท่อได้เป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ ท่อหน้าตัดกลมและท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยมซึ่งมีลักษณะผิวภายในท่อที่แตกต่างกัน ดังนั้นตัวสร้างความปั่นป่วนที่นำมาใช้สำหรับการเพิ่มสมรรถนะของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนจึงมีลักษณะความแตกต่างกันตามความเหมาะสมของลักษณะผิวภายในท่อโดยพบว่าวิธีการที่เป็นที่นิยมสำหรับการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในกรณีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อหน้าตัดกลมคือการสอดใส่ใบพัดและขดลวดในรูปแบบต่างๆ Eiamsa-ard และคณะ [1] นำเสนอถึงผลของมุมปะทะของปีกบนใบพัดและผลของการบิดสลับแกนของใบพัดที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน Murugesan และคณะ [2] ศึกษาอิทธิพลใบพัดที่มีการตัดขอบเป็นช่องสี่เหลี่ยมที่อัตราส่วนการบิดค่าต่าง ๆ ต่อการเพิ่มสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน Promvonge [3] นำเสนอผลศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการใช้ขดลวดหน้าตัดสี่เหลี่ยมกับขดลวดหน้าตัดวงกลมที่มีต่อสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน ส่วนในกรณีชนิดท่อหน้าตัดสี่เหลี่ยม ตัวสร้างการหมุนควงที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้ ได้แก่ ครีบ ปีกและแผ่นกั้นการไหลรูปแบบต่าง ๆ Zhou และ Ye [4] ทำการทดลองเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของรูปทรงปีกลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ปีกสี่เหลี่ยม ปีกสามเหลี่ยม ปีกสี่เหลี่ยมคางหมูและปีกสี่เหลี่ยมคางหมูแบบผิวโค้งที่มีต่อคุณลักษณะทางความร้อน Tanda [5] ศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยการใช้ครีบบางขวางแบบต่อเนื่องและแบบแยกตัว ครีบบางทำมุมแบบแยกตัว Chompookham และคณะ [6] นำเสนออิทธิพลของการใช้ครีบและปีกที่มีต่อพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสำหรับการไหลแบบปั่นป่วนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบช่องขนาน Promvonge และคณะ [7] นำเสนอถึงพฤติกรรมทางความร้อนในในท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีการติดตั้งแผ่นกั้นวางเอียงมุมปะทะการไหลเท่ากับ 45° ที่ผนังด้านเดียวด้วยวิธีการเชิงตัวเลขจากการศึกษางานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้ตัวสร้างความปั่นป่วนหรือตัวสร้างการหมุนควงที่มีรูปแบบแตกต่างกันนั้นส่งผลต่อคุณลักษณะทางความร้อนและพฤติกรรมการไหลที่เกิดขึ้นแตกต่างกันไป แต่สำหรับในงานวิจัยนี้ได้สังเกตเห็นข้อดีของการใช้ปีกบางซึ่งสามารถช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ดีและก่อให้เกิดความสูญเสียความดันในระบบค่อนข้างต่ำ ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้จึงได้นำแนวคิดการใช้ปีกบางเป็นตัวสร้างการหมุนควงมาประยุกต์ในท่อจัตุรัสโดยทำการติดตั้งบริเวณกลางหน้าตัดท่อ

ทดสอบเพื่อหาการไหลหลัก ซึ่งเป็นการประยุกต์ลักษณะการติดตั้งจากงานวิจัยอื่นๆ ที่มักนิยมจะติดตั้งปีกบางบนพื้นผิวภายในของท่อทดสอบ เพื่อช่วยเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนและสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน ภายใต้สภาวะการไหลแบบปั่นป่วนของอากาศภายใต้เงื่อนไขฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ โดยศึกษาถึงอิทธิพลของความเร็วในการไหล มุมปะทะการไหลและอัตราส่วนความสูงปีก

2. ทฤษฎี

2.1. การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เกิดจากกระบวนการพาความร้อนที่ใช้อากาศเป็นของไหลทำงาน ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ได้รับโดยของไหลทำงานกับปริมาณการพาความร้อนที่เกิดขึ้นในการหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน และทำการนำเสนอค่าการถ่ายเทความร้อนที่คำนวณได้ในรูปตัวแปรไร้มิติคือเลขนัสเซลท์ ซึ่งเป็นอัตราส่วนการพาความร้อนต่อการนำความร้อนภายในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใดๆ แสดงดังสมการที่ (1)

$$Nu = hD_h / k \quad (1)$$

เมื่อ h คือสัมประสิทธิ์การพาความร้อน, D_h คือเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อจัตุรัส และ k คือค่าการนำความร้อนของของไหลทำงาน

2.2. ตัวประกอบความเสียดทาน

ค่าตัวประกอบความเสียดทานเป็นตัวแปรไร้มิติของค่าความดันตกคร่อมสำหรับการไหลภายในท่อที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวท่อใดๆ ด้วยความเร็วของของไหลค่าหนึ่ง ดังแสดงสมการที่ (2)

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

เมื่อ ΔP คือความดันตกคร่อมบริเวณท่อทดสอบ, L คือความยาวท่อช่วงทดสอบ, ρ คือความหนาแน่นของของไหลทำงานและ U คือความเร็วเฉลี่ยในแนวแกน โดยคุณสมบัติของอากาศพิจารณาที่อุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศขาเข้าและขาออก (T_b)

2.3. สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน

การหาค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (η) พิจารณาจากการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียจากความเสียดทานของอุปกรณ์ซึ่งเกิดขึ้นควบคู่กันไป โดยการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนนั้นสามารถอธิบายได้ด้วยอัตราส่วนของเลขนัสเซลท์จากท่อที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนตัวเลขต่อตัวเลขเซลท์จากท่อที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (Nu/Nu_0) ในทำนองเดียวกัน

อัตราส่วนตัวประกอบความเสียหายสามารถอธิบายได้ด้วยอัตราส่วนของตัวประกอบความเสียหายจากท่อที่มีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนต่อตัวประกอบความเสียหายจากท่อที่ไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ที่ช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (f/f_0) อัตราส่วนทั้งสองถูกนำไปประยุกต์สำหรับค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนภายใต้เงื่อนไขการควบคุมกำลังทำงานของปั๊มคงที่ สามารถแสดงสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนได้ว่า

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

2.4 เลขเรย์โนลด์

เลขเรย์โนลด์เป็นตัวแปรที่ใช้แสดงเกี่ยวกับพฤติกรรมการณ์การไหลของของไหลทำงาน ซึ่งสามารถแสดงในรูปตัวแปรไร้มิติได้ดังนี้

$$Re = UD_h / \nu \quad (4)$$

3. อุปกรณ์การทดลอง

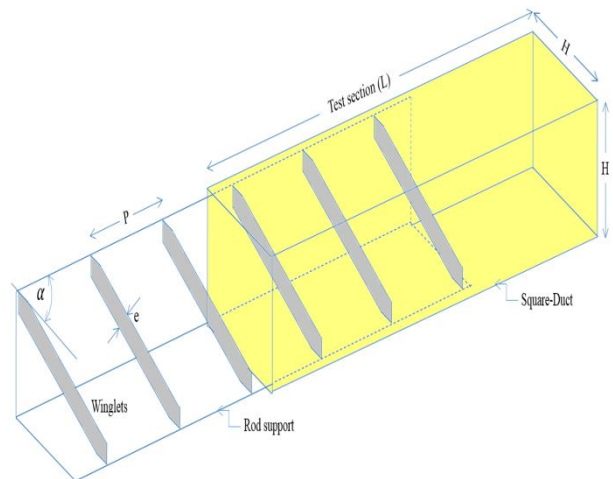
3.1. ปีกบัง

ปีกบังทำจากแผ่นอะลูมิเนียมมีความหนา 0.3 มิลลิเมตร ติดตั้งบนโครงสวดและสอดชิ้นงานตามแนวทแยงมุมของหน้าตัดท่อเพื่อให้ชิ้นงานลอยอยู่บริเวณกึ่งกลางหน้าตัดท่อทดสอบ โดยทำการศึกษาอิทธิพลของมุมปะทะการไหล (α) จำนวน 3 ค่า ได้แก่ 30° 45° และ 60° อัตราส่วนความสูง ($BR=e/H$) จำนวน 3 ค่า ได้แก่ 0.1 0.15 และ 0.2 ที่มีอัตราส่วนระยะพิตต์คงที่ ($PR=P/H$) เท่ากับ 1.0 ดังแสดงในภาพที่ 1

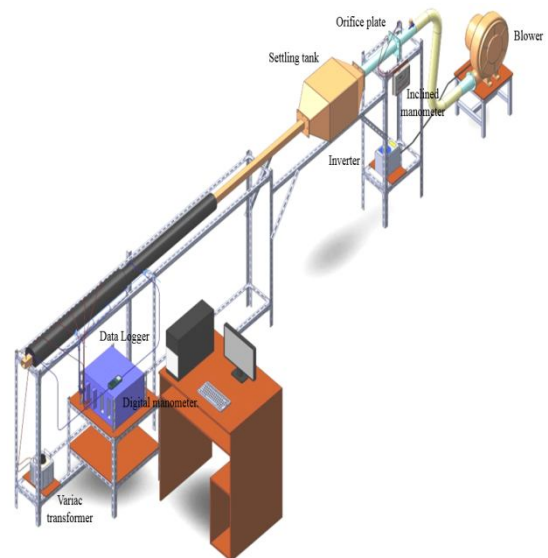
3.2. ชุดทดสอบการแลกเปลี่ยนความร้อน

ภาพที่ 2 แสดงลักษณะการติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดสอบการแลกเปลี่ยนความร้อนประกอบด้วยชุดท่อแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อจัดรัสเป็นท่ออะลูมิเนียมหนา 3 มิลลิเมตร ขนาดหน้าตัดท่อกว้าง 45 มิลลิเมตร ความยาวช่วงท่อทดสอบ 1000 มิลลิเมตร ผนังด้านนอกของท่อช่วงทดสอบทำการติดตั้งฮีตเตอร์สำหรับให้ความร้อนภายใต้สภาวะเงื่อนไขพลศาสตร์ความร้อนที่ผิวคงที่และมีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จำนวน 28 ตัว ที่ผนังด้านบน ด้านล่างและด้านข้าง สำหรับวัดอุณหภูมิที่ผิวของท่อช่วงทดสอบ บริเวณทางเข้าและออกจากท่อช่วงทดสอบมีการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิชนิด RTD ตำแหน่งละหนึ่งตัวสำหรับวัดอุณหภูมิทางเข้าและออกจากท่อช่วงทดสอบของอากาศที่ใช้เป็นสารทำงาน ผนังด้านนอกของท่อช่วงทดสอบมีการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันความร้อนสูญเสียออกจากระบบ สายวัดอุณหภูมิทั้งหมดจะต่อเข้าเครื่อง Data Logger และเชื่อมต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกและแสดงผลอากาศถูกถ่ายจากพัดลมความดันสูงขนาด 1.45 kW มีอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่ควบคุม

ความเร็วของพัดลมเพื่อให้ได้ปริมาณของอากาศตามที่ต้องการ อัตราการไหลของอากาศคำนวณได้จากการวัดค่าความดันตกคร่อมแผ่นอริฟิคที่สร้างตามมาตรฐาน ASME [8] โดยใช้मानอมิเตอร์แบบเอียง (Inclined manometer) การทดสอบกำหนดอยู่ในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่ค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 6000–26,000 ค่าความดันตกคร่อมช่วงท่อทดสอบวัดค่าโดยเครื่องวัดความดันแตกต่างแบบดิจิตอล (Digital manometer)



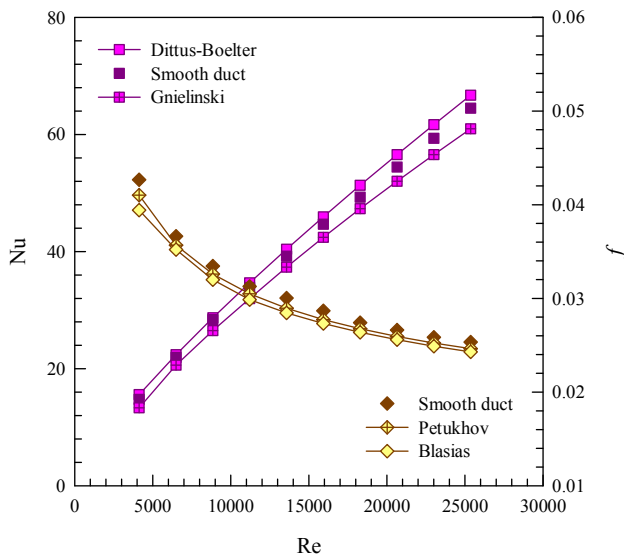
ภาพที่ 1 ท่อช่วงทดสอบติดตั้งปีกบัง



ภาพที่ 2 ชุดทดสอบการแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อจัดรัส

4. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

4.1. การทวนสอบท่อผิวเรียบ

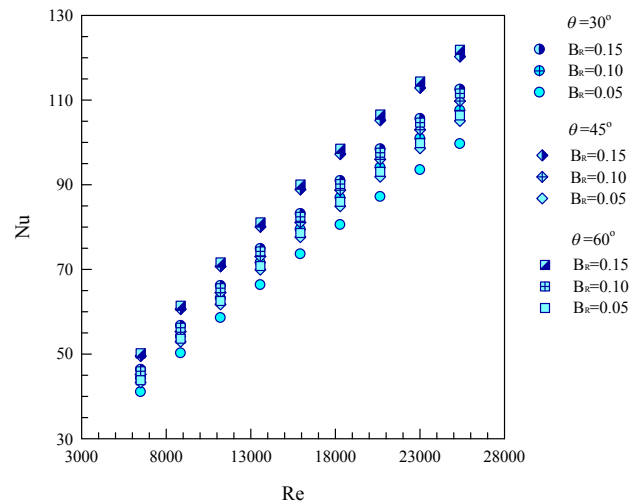


ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu และ f กับ Re ของการทวนสอบท่อผิวเรียบ

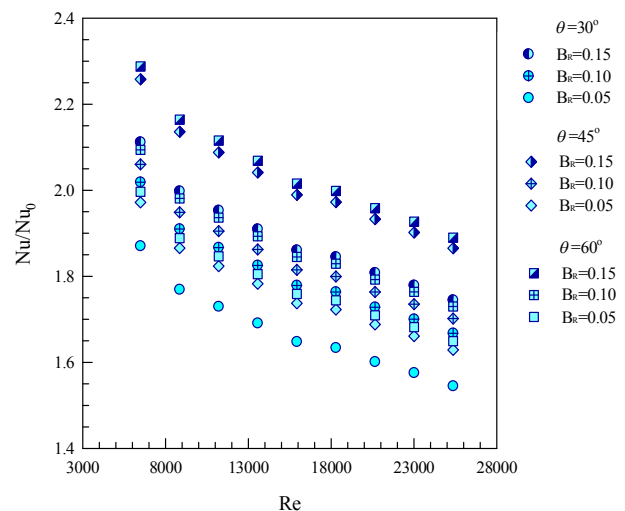
การตรวจสอบความน่าเชื่อถือของการติดตั้งชุดทดสอบเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนกรณีท่อผิวเรียบค่าการถ่ายเทความร้อนจะแสดงในพจน์ของเลขนัสเซลท์สำหรับนำไปเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และ Gnielinski ค่าการสูญเสียความดันจะแสดงในพจน์ตัวประกอบเสียดทานสำหรับนำไปเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Petukhov และ Blasius ตามอ้างอิงเอกสาร [9] พบว่าแนวโน้มของเลขนัสเซลท์และตัวประกอบเสียดทานสอดคล้องกับผลจากสหสัมพันธ์ เลขนัสเซลท์มีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ $\pm 4\%$ และ $\pm 5\%$ เมื่อเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter และ Gnielinski ตามลำดับ ในขณะที่ตัวประกอบเสียดทานเมื่อเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Petukhov และ Blasius มีค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ $\pm 3\%$ และ $\pm 5\%$ ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 3

4.2. เลขนัสเซลท์

ความสัมพันธ์ระหว่างเลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์แสดงในภาพที่ 4 พบว่าแนวโน้มค่าเลขนัสเซลท์ของกรณีศึกษาทั้งหมดรวมทั้งมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นเนื่องจากเลขเรย์โนลด์ที่เพิ่มขึ้นหมายถึงความเร็วในการไหลที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลลักษณะความปั่นป่วนที่รุนแรงขึ้น นอกจากนี้ยังแสดงถึงปริมาณการไหลของอากาศเย็นเข้าสู่ระบบที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้มีของไหลทำงานสำหรับรับการแลกเปลี่ยนความร้อนที่มากขึ้น



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu กับ Re



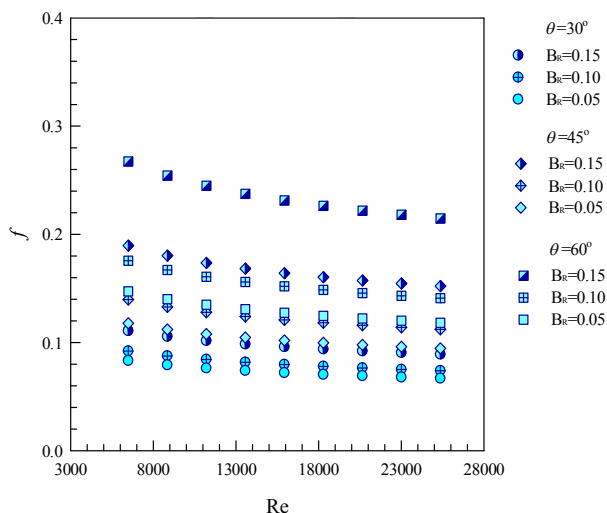
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Nu/Nu_0 กับ Re

ภาพที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของการถ่ายเทความร้อนของกรณีติดตั้งปีกบางต่อกรณีท่อผิวเรียบ พบว่าการติดตั้งปีกบางทุกกรณีให้ค่าเลขนัสเซลท์ที่สูงกว่ากรณีท่อผิวเรียบ เนื่องจากปีกบางทำให้เกิดการไหลแบบหมุนควงตามแนวยาวส่งผลให้เกิดผสมผสานของของไหลที่ติดระหว่างกระแสน้ำของไหลกับผิวร้อนของท่อและระหว่างกระแสน้ำของไหลร้อนกับกระแสน้ำของไหลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในท่อช่วงทดสอบ จึงช่วยให้เกิดกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เพิ่มมากขึ้นค่าเลขนัสเซลท์มีค่าเพิ่มขึ้นตามขนาดมุมปะทะการไหลและอัตราส่วนความสูงปีก เพราะว่าการลักษณะปีกบางที่มีมุมปะทะการไหลและอัตราส่วนความสูงปีกมีค่าสูงกว่าจะขัดขวางการไหลได้มากกว่า ทำให้การไหลแบบหมุนควงและการไหลแบบปั่นป่วนที่รุนแรงกว่า โดยพบว่าที่ $\alpha = 60^\circ$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยที่สูงกว่า $\alpha = 45^\circ$ และ 30° ประมาณ 2% และ 6% ตามลำดับ และภายใต้มุมปะทะการไหลเดียวกันจะเห็นว่า $BR = 0.15$ ให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยที่สูงกว่า $BR = 0.10$ และ $BR = 0.05$ ประมาณ 5% และ 13%, 9%

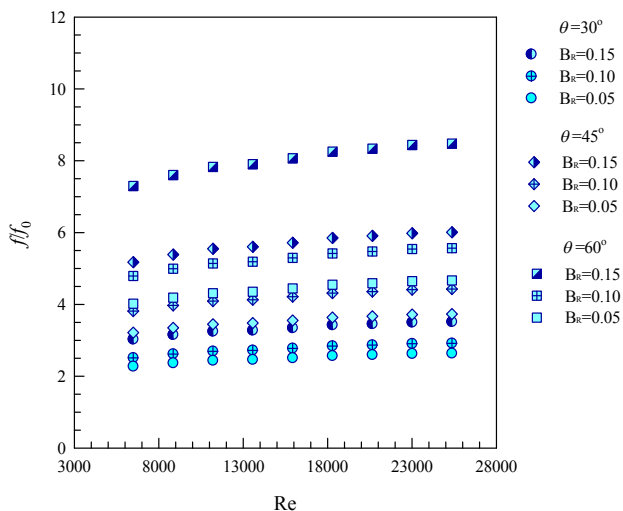
และ 14% และ 11% และ 15% สำหรับ $\alpha=30^\circ$, 45° และ 60° ตามลำดับ

4.3. ตัวประกอบความเสียหาย

อิทธิพลผลของการติดตั้งปีกบางต่อการสูญเสียความดันภายในท่อทดสอบแสดงในภาพที่ 6 พบว่าการติดตั้งปีกบางส่งผลให้ค่าตัวประกอบความเสียหายมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเร็วในการไหลเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากความปั่นป่วนในการไหลที่เพิ่มสูงขึ้นตามความเร็วในการไหลนั้นจะทำให้ความสูญเสียที่เกิดขึ้นภายในของไหลที่ค่าลดลง



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง f กับ Re

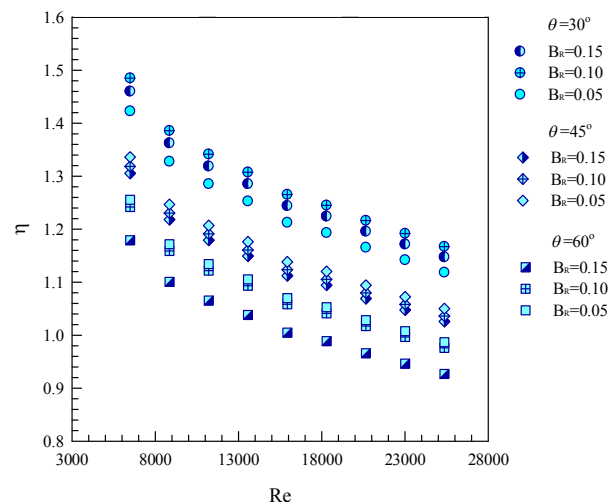


ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่าง f/f_0 กับ Re

ภาพที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ของอัตราส่วนของตัวประกอบความเสียหายของกรณีติดตั้งปีกบางต่อกรณีท่อผิวเรียบ พบว่าการติดตั้งปีกบางทุกกรณีให้ค่าตัวประกอบความเสียหายที่สูงกว่ากรณีท่อผิวเรียบเช่นเดียวกับการถ่ายเทความร้อนเพราะการติดตั้งปีกบางเข้าไปภายในท่อทดสอบจะทำให้พื้นที่ในการไหลของของไหลลดลงและปีกบางที่ติดตั้งจะเข้าไปขัดขวางการไหล

เป็นปัจจัยให้เกิดการสูญเสียความดันที่เพิ่มมากขึ้น ซึ่งการสูญเสียความดันนั้นจะส่งผลโดยตรงกับค่าตัวประกอบความเสียหาย ขนาดมุมปะทะการไหลและอัตราส่วนความสูงปีกที่เพิ่มสูงขึ้นจะให้ค่าตัวประกอบความเสียหายที่เพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากลักษณะทางกายภาพของปีกบางที่มุมปะทะการไหลและอัตราส่วนความสูงปีกมีค่าสูงกว่าจะขัดขวางการไหลได้มากกว่าและลดพื้นที่การไหลให้น้อยลงทำให้เกิดการสูญเสียความดันที่สูงมากกว่าโดยพบว่าค่าตัวประกอบความเสียหายเฉลี่ยที่ $\alpha=60^\circ$ มีค่าสูงกว่า $\alpha=45^\circ$ และ 30° เท่ากับ 23%, 26% และ 41% และ 77%, 91% และ 141% สำหรับ $BR=0.05$, 0.10 และ 0.15 ตามลำดับ และภายใต้มุมปะทะการไหลเดียวกันจะเห็นว่า $BR=0.15$ ให้ค่าตัวประกอบความเสียหายเฉลี่ยที่สูงกว่า $BR=0.10$ และ $BR=0.05$ ประมาณ 20% และ 33%, 36% และ 61% และ 52% และ 82% สำหรับ $\alpha=30^\circ$, 45° และ 60° ตามลำดับ

4.4. สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่าง η กับ Re

ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจากการศึกษาอิทธิพลขนาดมุมปะทะการไหลอัตราส่วนความสูงปีกและอัตราเร็วของการไหลนำเสนอในภาพที่ 8 พบว่าค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มลดลงเมื่อเลขเรย์โนลด์เพิ่มสูงขึ้นอันเป็นผลสืบเนื่องมาจากที่เลขเรย์โนลด์เพิ่มสูงขึ้นอัตราส่วนของการถ่ายเทความร้อนของกรณีติดตั้งปีกบางต่อกรณีท่อผิวเรียบมีแนวโน้มลดลงในขณะที่อัตราส่วนของตัวประกอบความเสียหายมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนความสูงปีกเดียวกันสำหรับแต่ละมุมปะทะการไหล จะได้ว่า $\alpha=30^\circ$ ให้ค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดและมีค่าลดลงเมื่อขนาดมุมปะทะเพิ่มมากขึ้น เมื่อพิจารณาภายใต้มุมปะทะการไหลเดียวกันพบว่าค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดที่ $\alpha=30^\circ$ เกิดขึ้นที่ $BR=0.10$ ในขณะที่ $\alpha=45^\circ$ และ 60° เกิดขึ้นที่ $BR=0.05$ ทั้งสองกรณีและจะมีค่าลดลงถ้าอัตราส่วนความสูงปีกมี



ค่าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อขนาดขนาดมุมปะทะการไหลเพิ่มมากขึ้นค่าอัตราส่วนความสูงปีกที่ใช้จะต้องมีค่าลดลงเพื่อลดปัจจัยที่ทำให้เกิดการสูญเสียความดันจากการขัดขวางการไหล ภายใต้เงื่อนไขและขอบเขตการศึกษาวิจัยนี้ พบว่าค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุดมีค่าเท่ากับ 1.49 เกิดขึ้นในกรณีมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30° อัตราส่วนความสูงปีกเท่ากับ 0.10 และที่เลขเรย์โนลด์ประมาณ 6500

5. สรุปผลการวิจัย

การประยุกต์ปีกบางสำหรับเป็นตัวสร้างความปั่นป่วนโดยทำการศึกษาถึงอิทธิพลของขนาดมุมปะทะการไหลและอัตราส่วนความสูงปีกที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน การสูญเสียความดันและสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อจัดรูสในช่องการไหลแบบปั่นป่วนที่เลขเรย์โนลด์ตั้งแต่ 6000 ถึง 26,000 ภายใต้เงื่อนไขสภาวะพลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ พบว่าการใช้ปีกบางให้ค่าการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันที่สูงกว่าท่อผิวเรียบมีค่าระหว่าง 1.55–2.29 และ 2.27–8.48 เท่าของท่อผิวเรียบ ตามลำดับขึ้นอยู่กับแต่ละกรณีศึกษาโดยค่าการถ่ายเทความร้อนและการสูญเสียความดันจะแปรผันกับขนาดมุมปะทะการไหลและอัตราส่วนความสูงปีกค่าสมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนและอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของตัวประกอบเสียดทานที่ได้จากการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างมุมปะทะการไหลกับอัตราส่วนความสูงปีก โดยค่าสูงสุดเกิดขึ้นในกรณีมุมปะทะการไหลเท่ากับ 30° อัตราส่วนความสูงปีกเท่ากับ 0.10 และที่เลขเรย์โนลด์ประมาณ 6500 มีค่าเท่ากับ 1.49

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัยโครงการปริญญาเอกกาญจนาภิเษก (คปก.)

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Eiamsa-ard, K. Wongcharee, P. Eiamsa-ard, C. Thianpong, "Thermohydraulic investigation of turbulent flow through a round tube equipped with twisted tapes consisting of centre wings and alternate-axes," Experimental Thermal and Fluid Science, 34, 1151-1161, 2010.
- [2] P. Murugesan, K. Mayilsamy, S. Suresh, "Turbulent Heat Transfer and Pressure Drop in Tube Fitted with Square-cut Twisted Tape," Chinese Journal of Chemical Engineering, 18(4), 609-617, 2010.
- [3] P. Promvong, "Thermal performance in circular tube fitted with coiled square wires," Energy Conversion and Management, 49(5), 980-987, 2008.

- [4] G. Zhou, Q. Ye, "Experimental investigations of thermal and flow characteristics of curved trapezoidal winglet type vortex generators," Applied Thermal Engineering, 37, 241-248, 2012.
- [5] G. Tanda, "Heat transfer in rectangular channel with transverse and V-shaped broken ribs," International Journal of Heat and Mass Transfer, 47, 229-243, 2004.
- [6] T. Chompookham, C. Thianpong, S. Kwankaomeng, P. Promvong, "Heat transfer augmentation in a wedge-ribbed channel using winglet vortex generators," International Communications in Heat and Mass Transfer, 37, 163-169, 2010.
- [7] P. Promvong, S. Sripattanapipat, S. Tamna, S. Kwankaomeng, C. Thianpong, "Numerical investigation of laminar heat transfer in a square channel with 45 inclined baffles," International Communications in Heat and Mass Transfer, 37(2), 170-177, 2010.
- [8] ASME, Standard Measurement of fluid flow in pipes using orifice, nozzle and venture. ASME MFC-3M-1984, United Engineering Center 345 East 47th Street, New York, 1-56, 1984.
- [9] Incropera FP, Witt PD, Bergman TL, Lavine AS. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. John-Wiley & Sons, 2006.