

ศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมที่มีการใส่ไบบิดเกลียวเว้นช่วง Study Enhancement of Heat Transfer in a Tube with Regularly-Spaced Helical Tape

สิริสวัสดิ์ จิ่งเจริญนิรชร¹, นรา บุรีพันธ์², สุริยา โชคเพิ่มพูน³ และ พงษ์เจต พรหมวงศ์^{3*}

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี 321 ถนนนารายณ์มหาราช
ตำบลทะเลชุบศร อำเภอเมืองลพบุรี จังหวัดลพบุรี 15000

²สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธนบุรี 248 เพชรเกษม 110 แขวงหนองค้างพลู เขตหนองแขม กรุงเทพฯ

³สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยการใส่ไบบิดเกลียวเว้นช่วงภายในท่อกลม การทดลองจะเลือกใช้ค่าตัวเลขเรย์โนลด์อยู่ในช่วง 5000 ถึง 25000 และมีอากาศเป็นของไหล ซึ่งทำการศึกษาอัตราส่วนระยะพิตต่อเส้นผ่านศูนย์กลาง ($P/D=PR$) เท่ากับ 2, อัตราส่วนการบล็อกการไหล ($e/D=BR$) เท่ากับ 0.27 และที่มุมปะทะการไหล (α) เท่ากับ 75, 60, 45 และ 30 องศา ตามลำดับ โดยจากการทดลองพบว่าเมื่อติดตั้งขดลวดเกลียวที่มุมต่างๆ ภายในท่อกลมจะช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนจากการใส่ตัวสร้างการหมุนวนแบบขดลวดเกลียวในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมาวิเคราะห์เพื่อหาสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน พบว่าที่มุมปะทะการไหล (α) = 60° จะให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุด ระหว่าง 1.13-1.50 เท่าเมื่อเทียบกับท่อผนังเรียบ

คำหลัก: การถ่ายเทความร้อน, เลขนัสเซลท์, ตัวประกอบเสียดทาน, ขดลวดเกลียวเว้นช่วง

Abstract

This research influence to increase heat transfer with regularly-spaced helical tape in circular tube. The experiments are conducted by varying airflow rate for Reynolds number ranging 5000 to 25000. The pitch ratio ($P/D=PR$) = 2 and the blockage ratio ($e/D=BR$) = 0.27 and vary attack angles = 75, 60, 45, and 30 degree respectively. The experimental result shows regularly-spaced helical tape at the vary attack angle within the tube are increase the thermal enhancement factor between 1.13 – 1.50 better than smooth tube.

Keywords: Heat Transfer, Nusselt Number, Friction Factor, regularly-spaced helical tape

1. บทนำ

ในปัจจุบันปัญหาทางด้านพลังงานเข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวัน เนื่องจากทรัพยากรที่นำมาเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานมีจำนวนลดลงอย่างมากซึ่งจากความต้องการมีปริมาณเพิ่มขึ้น ทำให้เกิด

แนวคิดออกเป็น 2 ทาง คือ 1. ทำการศึกษาหาทรัพยากรที่นำมาเปลี่ยนเป็นพลังงานที่สามารถผลิตขึ้นเองมาทดแทนพลังงานจากน้ำมัน 2. ทำการศึกษาหาวิธีการประหยัดพลังงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ก่อให้เกิดการพัฒนาอุปกรณ์ที่สามารถนำพลังงานมา

TSF-243

ใช้ประโยชน์ได้คุ้มค่าที่สุด โดยอุปกรณ์ด้านการถ่ายเทความร้อนเป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญทางด้านอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม ซึ่งการพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแนวทางหนึ่งที่จะช่วยลดการใช้พลังงานของเครื่องจักรหรือช่วยลดการปล่อยความร้อนสู่บรรยากาศ โดยการเพิ่มสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยการติดตั้งอุปกรณ์เข้ากับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน (Active Method) โดยทำการจ่ายพลังงานให้กับอุปกรณ์ที่ทำการติดตั้ง ซึ่งวิธีดังกล่าวไม่ค่อยนิยม เนื่องจากต้องมีการป้อนพลังงานให้กับตัวอุปกรณ์จากแหล่งพลังงานจากภายนอก และการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยการติดตั้ง/ใส่อุปกรณ์ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อน (Passive Method) ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการไหลของอากาศที่ไหลผ่านท่อโดยวิธีการนี้ไม่มีความจำเป็นต้องอาศัยพลังงานจากแหล่งภายนอก ซึ่งจากการศึกษาพบว่า การติดตั้ง/ใส่อุปกรณ์ภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนให้สูงขึ้น โดยตัวแปรสำคัญสำหรับการพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีสมรรถนะสูงขึ้นคือการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (h) ให้สูงขึ้นในขณะที่ตัวประกอบเสียดทานเท่าเดิมหรือเพิ่มขึ้นไม่สูงมาก ซึ่งที่ผ่านมาได้มีผู้ที่ศึกษาในเรื่องที่เกี่ยวข้องดังนี้

Eiamsa-ard และคณะ [1] ทำการศึกษาเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนและความสูญเสียจากการสโตปบีตเดียว บีตคู่ที่มีอัตราส่วนการบีต 3 ค่า ($y/W=3.0, 4.0$ และ 5.0) และบีตคู่แบบแยกตัวที่มีอัตราส่วนการเว้นระยะ 3 ค่า ($s/D=0.75, 1.5$ และ 2.25) ภายใต้สภาวะฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ในช่วงเลขเรย์โนลด์ 4000-19,000

Promvonge [2] ได้รายงานถึงผลกระทบจากการใช้ลวดขดหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเป็นอุปกรณ์สร้างความปั่นป่วนที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนและความเสียดทานในท่อภายใต้ฟลักซ์ความร้อนที่ผิวคงที่ และ

ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับกรณีท่อที่ใช้ลวดขดหน้าตัดรูปวงกลม

Eiamsa-ard และ Promvonge [3] ได้ทำการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานโดยการใส่ตัวสร้างกระแสนวนแบบขดลวดเกลียวใส่แกน ขดลวดเกลียวไม่มีแกนและขดลวดเกลียวไม่มีแกนเว้นช่วง โดยแบบขดลวดเกลียวไม่มีแกนเว้นช่วงจะมีการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนระยะช่องว่าง (s) = 0.5, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยศึกษาในช่วงเลขเรย์โนลด์ 2000-10,000

2. การวิเคราะห์ข้อมูล

เป็นการศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนในรูปเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number) และการสูญเสียความดันของพัดลม (Blower) ในรูปตัวประกอบเสียดทาน (Friction Factor) โดยมีทฤษฎีที่ใช้ในการคำนวณดังนี้

พลังงานของพัดลม (Blower)

$$\dot{W}_p = Q\Delta P \quad (1)$$

$$\Delta p = \rho_{\text{water}}gh$$

(2)

สมการการถ่ายเทความร้อน (Heat Transfer) การสมดุลพลังงานกรณีฟลักซ์ความร้อนคงที่ (Constant Heat-flux)

$$\dot{Q} = \dot{m}C_p(T_i - T_o) = hA_s(T_s - T_b) \quad (3)$$

โดยที่

$$T_b = (T_o + T_i)/2$$

ค่าเลขเรย์โนลด์ (Reynolds number, Re)

$$Re = \frac{\rho \bar{V}D}{\mu} \quad (4)$$

ค่าตัวเลขนัสเซลท์ (Nusselt Number, Nu_D)

TSF-243

$$Nu_D = \frac{hD}{k} \quad (5)$$

ตัวประกอบเสียดทาน (Friction Factor, f)

$$f = \frac{2}{(L/D)} \frac{\Delta P}{\rho V^2} \quad (6)$$

สมรรถนะการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (Thermal Enhancement Factor, TEF)

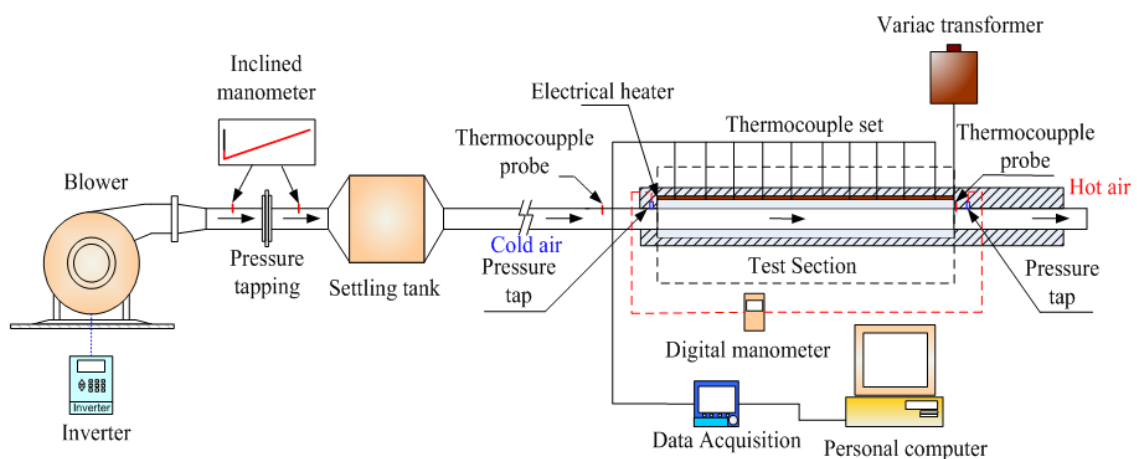
$$TEF_{pp} = (Nu/Nu_o)/(f/f_o)^{1/3} \quad (7)$$

3. การติดตั้งอุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 1. แสดงลักษณะการติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดสอบ โดยใช้อากาศเป็นของไหลทำงานถูกจ่ายจากพัดลมความดันสูงขนาด 1.5 kW ความเร็วของพัดลมสามารถกระทำได้โดยการควบคุมผ่านอินเวอร์เตอร์เพื่อให้ได้ปริมาณอัตราการไหลของอากาศที่ต้องการ อัตราการไหลของอากาศคำนวณได้จากการวัดค่าความดันตกคร่อมแผ่น Orifice โดยใช้ Inclined manometer เทอร์โมคัลป์เบิ้ลชนิด K จำนวน 56 ตัว

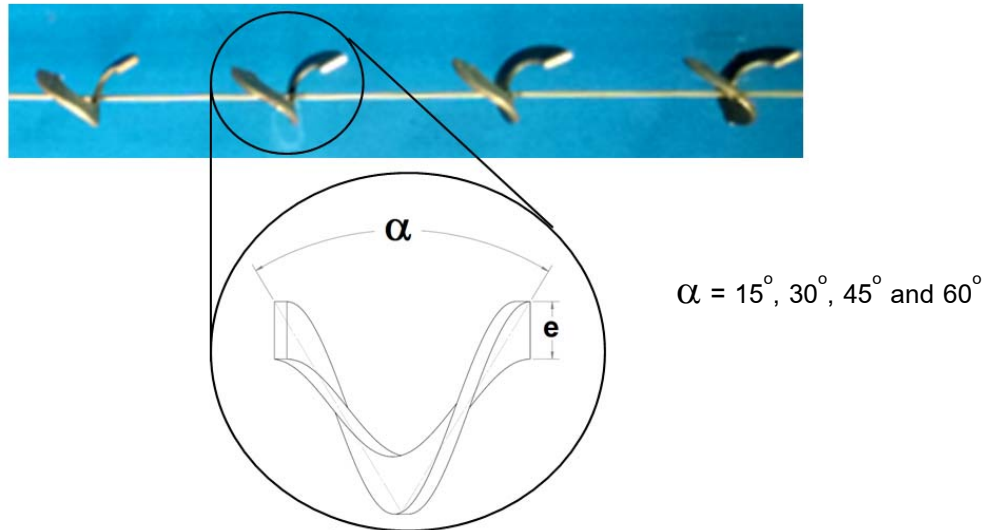
ถูกติดตั้งที่ผนังด้านบนและด้านข้างของท่อทดสอบ และเทอร์โมคัลป์เบิ้ลอีกจำนวน 2 ตัวใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของอากาศทางเข้าและออกจากช่วงท่อทดสอบ โดยค่าอุณหภูมิทั้งหมดจะแสดงผลผ่านเครื่องอ่านค่าอุณหภูมิรุ่น Brain Child VR18 ซึ่งผนังด้านนอกของท่อทดสอบมีการติดตั้งฮีตเตอร์แบบปลอกขนาด 3,000 วัตต์ สำหรับให้ความร้อนภายใต้สภาวะเงื่อนไขฟลักซ์ความร้อนคงที่ โดยควบคุมผ่านอุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้า (Variac Transformer) ที่ทางเข้าและทางออกของท่อทดสอบมีการติดตั้งเครื่อง Digital differential pressure รุ่น Testo 510 เพื่อใช้สำหรับอ่านค่าความดันตกคร่อม โดยทำการทดสอบในช่วงการไหลแบบปั่นป่วนที่ค่าเลขเรย์โนลด์ระหว่าง 5,000 – 25,000

รูปที่ 2 แสดงลักษณะของเกลียวเว้นช่วงที่ใช้สำหรับใส่ในท่อเพื่อทำการทดสอบ ขดลวดเกลียวทำจากแผ่นเหล็กหนา 3 มิลลิเมตร มีระยะพิตต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ($P/D=PR$) เท่ากับ 2.0 โดยอัตราส่วนการบล็อกการไหลต่อเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ($e/D = BR$) เป็น 0.2 และ



รูปที่ 1 การติดตั้งชุดอุปกรณ์ทดลอง

TSF-243

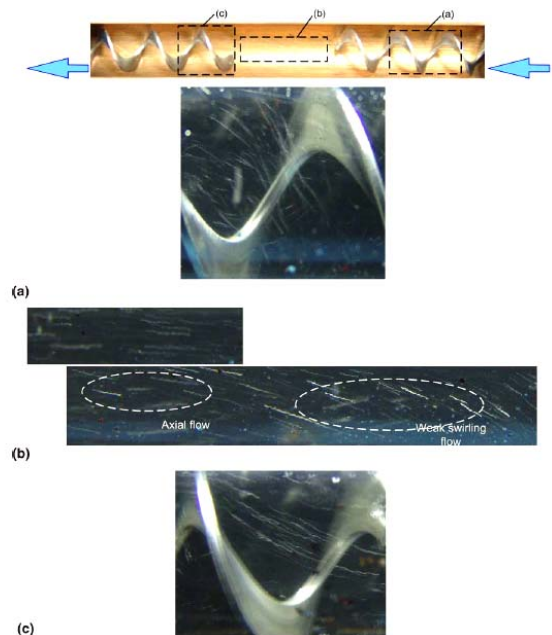


รูปที่ 2 ลักษณะขดลวดเกลียวเว้นช่วง

4. ผลการทดลองและการอภิปรายผล

4.1 อิทธิพลการไหลผ่านตัวสร้างกระแสมุขวนแบบขดลวดเกลียว

รูปที่ 3 แสดงพฤติกรรมของการไหลผ่านตัวสร้างกระแสมุขวนแบบขดลวดเกลียวซึ่งมีลักษณะคล้ายกับชิ้นงานที่ทำการศึกษาวิจัย พบว่าเมื่อทำการใส่ขดลวดเกลียวในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะทำให้อากาศเกิดการเปลี่ยนพฤติกรรมการไหลเป็น 2 ช่วงการไหล 1. การไหลผ่านขดลวดเกลียว อากาศจะเกิดการไหลแบบหมุนวนตามมุมปะทะของขดลวดเกลียว (swirling flow) 2. การไหลผ่านช่องว่างระหว่างขดลวดเกลียว อากาศจะเกิดการไหล 2 รูปแบบ คือ การไหลแบบหมุนวน (swirling flow) และการไหลตามแนวแกน (axial flow) ซึ่งจะสังเกตได้ว่าการไหลแบบหมุนวนจะมีความเร็วสูงกว่าการไหลตามแนวแกน โดยบริเวณที่อากาศเกิดการหมุนวนจะสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้สูงมาก



รูปที่ 3 การไหลในท่อกลมที่ติดตั้งขดลวดเกลียว [3]

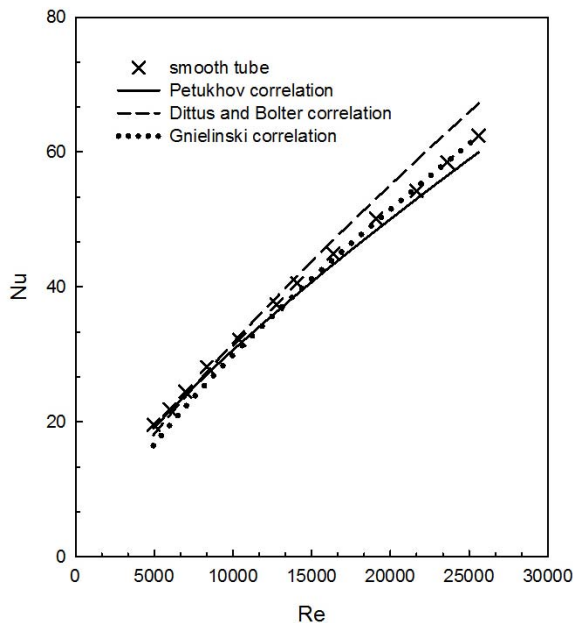
4.2 ผลการทดลอง

4.2.1 การตรวจสอบความแม่นยำของผลการทดลองในกรณีท่อเปล่า

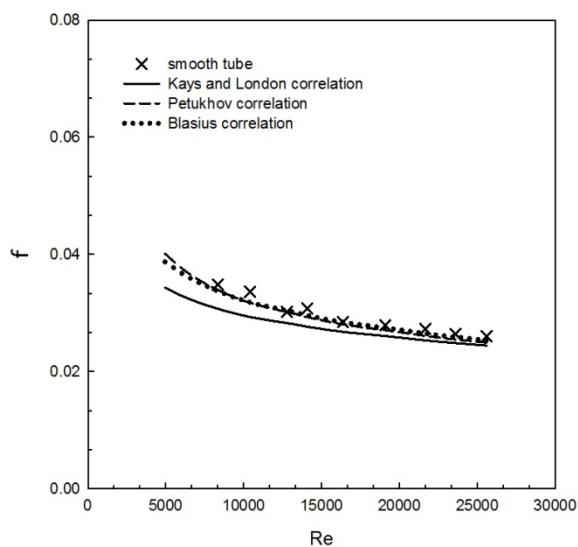
จากการศึกษาผลการทดลองการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานในกรณีท่อเปล่าได้ถูกนำไปเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ในอดีตของ Gnielinski และตัวประกอบเสียดทานได้นำไปเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ของ Blasius พบว่าการณีการถ่ายเทความร้อนมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ $\pm 4\%$

TSF-243

และตัวประกอบเสียดทานมีค่าความผิดพลาดอยู่ที่ $\pm 6\%$ ดังแสดงในรูปที่ 3 และ 4 ตามลำดับ



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่าง เลขนัสเซลท์กับเลขเรย์โนลด์สกรณีท่อเปล่า



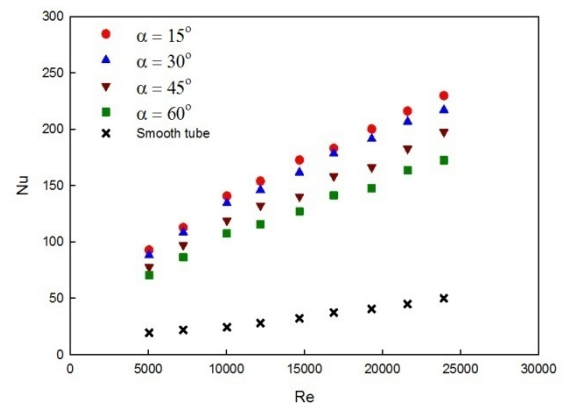
รูปที่ 5 การเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างตัวประกอบเสียดทานกับเลขเรย์โนลด์สกรณีท่อเปล่า

4.2.2 ผลการใส่ตัวสร้างกระแสมุขแบบขดลวดเกลียวเว้นช่วง

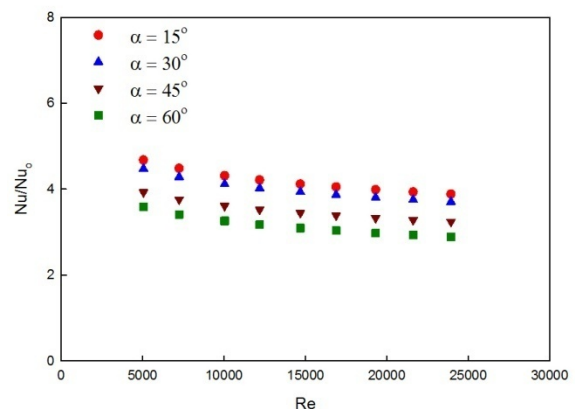
4.2.2.1 การถ่ายเทความร้อน (Nu)

ในส่วนการทดลองเป็นการนำเสนอการถ่ายเทความร้อนในท่อกลมที่มีการใส่ตัวสร้างกระแสมุขแบบขดลวดเกลียวเว้นช่วงภายในท่อทดสอบ โดยการทดสอบที่มุมปะทะการไหลต่างๆ โดยที่มุมปะทะการไหล (α) = 15° สามารถให้ค่า

การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยอากาศที่ไหลผ่านท่อไปปะทะกับขดลวดเกลียวทำให้อากาศเกิดการหมุนวนตามแนวรัศมีของขดลวดเกลียวซึ่งจะส่งผลให้อากาศบริเวณกลางท่อเข้าไปผสมกับอากาศที่บริเวณผนังท่อ ส่งผลให้ค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มสูงขึ้น จากการศึกษายังพบว่า การใส่ขดลวดเกลียวที่มุมปะทะต่างๆ จะสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้สูงขึ้นจากท่อเปล่าถึง 3.8-4.7 เท่า ที่มุมปะทะการไหล (α) = 15° และลดลงที่มุมปะทะการไหล (α) = 30° , 45° , และ 60° ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับ เลขนัสเซลท์



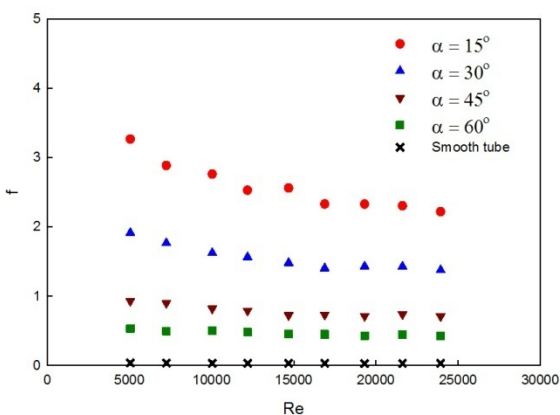
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับสัดส่วน เลขนัสเซลท์

4.2.2.2 ตัวประกอบเสียดทาน (f)

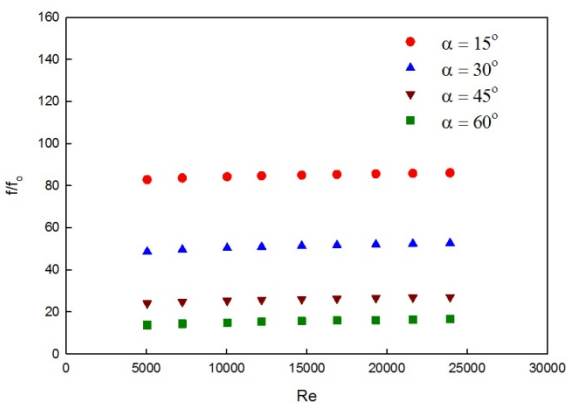
หัวข้อนี้เป็นการนำเสนอค่าตัวประกอบเสียดทานที่มีการใส่ตัวสร้างกระแสมุขแบบขดลวดเกลียวเว้นช่วงภายในท่อทดสอบ โดยการทดสอบที่มุมปะทะการไหลต่างๆ โดยที่มุมปะทะการไหล (α) = 15° จะส่งผลให้เกิดค่าตัวประกอบเสียด

TSF-243

ทานค่าเพิ่มขึ้นสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 8 ตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นเกิดจากอากาศที่ไหลผ่านท่อไปปะทะกับขดลวดเกลียวทำให้เกิดแรงต้านการไหลของอากาศที่ส่งผลให้เกิดการหมุนวนตามแนวรัศมีของขดลวดเกลียว ซึ่งมุมปะทะการไหลของชิ้นงานแบบขดลวดเกลียวมีค่าน้อยก็จะส่งผลให้เกิดแรงต้านสูงตาม จากการศึกษาพบว่ามุมปะทะการไหลของชิ้นงานแบบขดลวดเกลียวมีค่าน้อยก็จะส่งผลให้เกิดแรงต้านสูงตาม จากการศึกษาพบว่ามุมปะทะการไหลของชิ้นงานแบบขดลวดเกลียวมีค่าน้อยก็จะส่งผลให้เกิดแรงต้านสูงตาม จากการศึกษาพบว่ามุมปะทะการไหลของชิ้นงานแบบขดลวดเกลียวมีค่าน้อยก็จะส่งผลให้เกิดแรงต้านสูงตาม จากการศึกษาพบว่ามุมปะทะการไหลของชิ้นงานแบบขดลวดเกลียวมีค่าน้อยก็จะส่งผลให้เกิดแรงต้านสูงตาม



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับตัวประกอบเสียดทาน

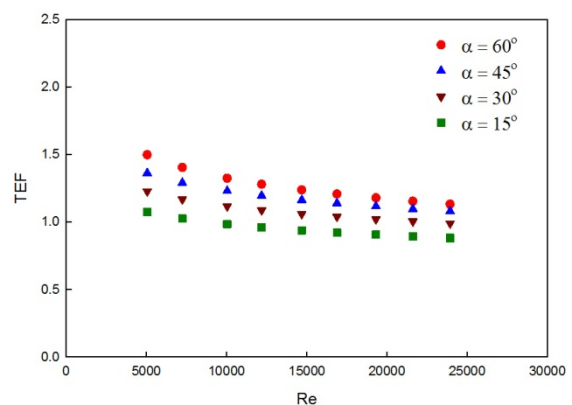


รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับสัดส่วนตัวประกอบเสียดทาน

4.2.2.3 ตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน (TEF)

จากการศึกษาการถ่ายเทความร้อนและตัวประกอบเสียดทานจากการใส่ตัวสร้างการหมุนวนแบบขดลวดเกลียวในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนพบว่าเมื่อค่าการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นก็พบว่าส่งผลให้ค่าตัว

ประกอบ การเสียดทานเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน หมายความว่า ถ้าสามารถค่าการถ่ายเทความร้อนก็ต้องแลกกับการเพิ่มพลังงานของพัดลมขึ้นตาม ดังนั้น เพื่อหาว่าการติดตั้งขดลวดเกลียวในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะสามารถเพิ่มสมรรถนะของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนได้หรือไม่ จึงต้องมีการวิเคราะห์การเพิ่มการถ่ายเทความร้อนที่กำลังของพัดลมเกี่ยวกับกรณีท่อเปล่า จากการวิเคราะห์พบว่าถ้ามีการใส่ขดลวดเกลียวในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะส่งผลให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้น โดยขดลวดเกลียวที่มุมปะทะการไหล (α) = 60° จะให้ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุด (TEF) ระหว่าง 1.13-1.50 และมีผลดีในช่วงค่าเลขเรย์โนลด์ต่ำและค่อยๆ ลดลงที่ค่าเลขเรย์โนลด์สูงขึ้น ในขณะที่ขดลวดเกลียวที่มุมปะทะการไหล (α) = 45°, 30° และ 15° มีค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนลดลงตามลำดับ



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างเลขเรย์โนลด์กับสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน

5. สรุปผลการทดลอง

การศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยการใส่ตัวสร้างการหมุนวนแบบขดลวดเกลียวในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อกลมมีส่วนที่สนใจใน 3 ส่วนสำคัญ ต่อไปนี้

1. การใส่ตัวสร้างการหมุนวนแบบขดลวดเกลียวในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้สูงสุดที่มุมปะทะการไหล (α) = 60°

TSF-243

โดยสามารถเพิ่มค่าการถ่ายเทความร้อนได้สูงขึ้นจาก
ท่อเปล่าถึง 3.8-4.7 เท่า

2. การใส่ตัวสร้างการหมุนวนแบบขดลวด
เกลียวในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนจะส่งผลให้ค่าตัว
ประกอบเสียดทานเพิ่มขึ้นสูงสุดที่มุมปะทะการไหล (α) = 60°
โดยจะส่งผลให้เกิดค่าตัวประกอบเสียดทานสูงขึ้นจาก
ท่อเปล่าถึง 82-86 เท่า

3. เมื่อนำผลของการถ่ายเทความร้อนและ
ค่าตัวประกอบเสียดทานที่เพิ่มขึ้นจากการใส่ตัวสร้าง
การหมุนวนแบบขดลวดเกลียวในท่อแลกเปลี่ยนความ
ร้อนมาวิเคราะห์เพื่อหาสมรรถนะเครื่องแลกเปลี่ยน
ความร้อน พบว่าที่มุมปะทะการไหล (α) = 60° จะให้
ค่าตัวประกอบการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสูงสุด
ระหว่าง 1.13-1.50 เท่าเมื่อเทียบกับท่อเปล่า

6. 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] P. Promvonge, (2008). Thermal performance in circular tube fitted with coiled square wires, Energy Conversion and Management, vol. 49, 2008, pp. 980–987.
- [3] S. Eiamsa-ard, P. Promvonge (2005). Enhancement of heat transfer in a tube with regularly-spaced helical tape swirl, Solar Energy, vol. 78, 2005, pp. 483-494.