

การศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนที่มีแผ่นครีบบิดสอดอยู่

A Study of Heat Transfer Characteristics of Double Pipe Heat Exchanger with Twisted Tape Inserts

มานพ พิพัฒน์ตฤกุล* มกร ลักขณา และ สุรชัย จึงจตุพรชัย

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

833 ถนนพระราม 1 แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทรศัพท์: 02-219-3833 E-mail: Nop_mt@hotmail.com

Manop Pipathattakul*, Makorn Lakkana and Surachai Chungchatupornchai

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Pathumwan Institute of Technology

833 Rama I Road, Wangmai, Pathumwan, Bangkok 10330, Thailand. Tel: 02-219-3833, E-mail: Nop_mt@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษา คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบท่อซ้อนร่วมศูนย์สองชั้น ที่มีแผ่นครีบบิดสอดอยู่ทางด้านท่อใน โดยแผ่นครีบบิดทำจากอลูมิเนียมและเหล็ก ซึ่งชุดอุปกรณ์การทดลองถูกสร้างขึ้นจากท่อเหล็ก และท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 54.5 mm และ 25.5 mm, ความหนา 1.5 mm และความยาว 2 m ในการทดลองน้ำร้อน และน้ำเย็นจะไหลสวนทางกัน ภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน โดยน้ำร้อนจะไหลทางด้านท่อใน ที่มีแผ่นครีบบิดสอดอยู่ในขณะที่น้ำเย็นจะไหลผ่านตลอด ทางช่องวงแหวน โดยมีอัตราการไหลของน้ำร้อน และน้ำเย็นเป็น 4, 6, 8 และ 10 LPM ในขณะที่ อุณหภูมิทางเข้าของน้ำเย็น จะมีค่าคงที่ 30°C และอุณหภูมิทางเข้าของน้ำร้อนเป็น 50, 55 และ 60°C ตามลำดับ โดยแผ่นครีบบิดมีระยะพิทซ์ 160 mm และมีความหนา 2 mm โดยเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้ ระหว่างในกรณีที่มีแผ่นครีบบิดและในกรณีที่ไม่มีการสอดแผ่นครีบบิด จากผลการทดลองพบว่าท่อที่มีการติดตั้งแผ่นครีบบิด จะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่าท่อที่ไม่มีแผ่นครีบบิด ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การไหลหมุนวนที่เกิดขึ้นเนื่องจากแผ่นครีบบิด จะช่วยทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U) ของอุปกรณ์เพิ่มขึ้น โดยค่า U เฉลี่ยของแผ่นครีบบิดอลูมิเนียม, เหล็ก และไม่มีแผ่นครีบบิด จะมีค่าเป็น 876, 738 และ 660 W/m².°C ตามลำดับ

คำสำคัญ : การถ่ายเทความร้อน, แผ่นครีบบิด, การไหลวน

Research Paper

* Corresponding author.

Abstract

This research studied the heat transfer characteristics in a double pipe heat exchanger fitted with full length twisted tape and the twisted – tapes were made from steel and aluminum. The test sections were built from steel and copper tubes ID 54.5 mm and 25.5 mm, thickness 1.5 mm and length 2 m. In the experiments, the hot water was flowed through the inner tube fitted with a twisted – tape while the cold water was passed in the counter flow through the annulus. The volume flow rate of hot and cold water were flowed at 4, 6, 8 and 10 LPM while the inlet temperature of cold water was constant at 30°C and hot water was 50, 55 and 60°C, respectively. The pitch of a twisted – tape was 160 mm and thickness 2 mm. The experimental data of the tube fitted with a twisted – tape was compared with the plain tube data obtained. From the experimental results, a twisted – tape gave better heat transfer rate than the plain tube. It can be noted that the swirl flow helped to increase of the overall heat transfer coefficient (U). The test results found that the average value of U for Aluminum, Steel and plain tubes were 876, 738 and 660 W/m².°C, respectively.

Keywords: Heat transfer, twisted tape, swirl flow

Received 13 December 2012

Accepted 26 March 2013

1. บทนำ

ในปัจจุบันเนื่องจากปัญหาต่างๆ ด้านพลังงานจึงมีความพยายามที่จะหาทางลดขนาดและค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ให้มีความสามารถในการถ่ายโอนความร้อน ได้ดีในขณะที่มีขนาดเล็ก ซึ่งตัวแปรสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อขนาดและค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ก็คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ซึ่งถ้าสามารถทำให้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้นก็จะทำให้ขนาดและค่าใช้จ่ายต่างๆ ลดลงตาม ซึ่งนักวิจัยจำนวนมาก ได้มีความพยายามในการใช้วิธีการออกแบบต่างๆ เพื่อช่วยเพิ่มอัตราการถ่ายเทความร้อนจากการพาความร้อนแบบบังคับ ซึ่งจะช่วยเพิ่มสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนให้มีค่าสูงขึ้นด้วย ซึ่งโดยทั่วไปแนวทางในการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนสามารถทำได้ด้วยกันสองวิธี วิธีที่หนึ่งเรียกว่าแบบ Passive method เป็นวิธีที่ไม่ต้องอาศัยแหล่งพลังงานจากภายนอกได้แก่ การใช้พื้นผิวหยาบ (Rough surface), การใช้พื้นผิวยื่น (Extended surface), การติดตั้งอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการไหลหมุนวน (Swirl flow devices) เป็นต้น ส่วนวิธีที่สองเรียกว่าแบบ Active method ซึ่งอาศัยแหล่งพลังงานจากภายนอกมาเป็นตัวกระตุ้น ทำให้การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ได้แก่ การใช้อุปกรณ์ทางกลที่ทำให้เกิดการสั่นของผิว หรือเกิดการสั่นของของไหล, การฉีดปะทะแบบเจ็ท เป็นต้น โดยวิธีการที่ทำได้ง่ายและมีค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนักก็คือการติดตั้งอุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการไหลหมุนวนภายในท่อ เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถในการถ่ายเทความร้อน ในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งโดยทั่วไปการไหลหมุนวนในท่อแบ่งได้เป็น 2 ประเภทคือ 1) การไหลหมุนวนแบบต่อเนื่อง และ 2) การไหลหมุนวนในช่วงเริ่มต้น โดยการไหลหมุนวนแบบต่อเนื่องจะเกิดขึ้นตลอดทั้งความยาวท่อ ในขณะที่การไหลหมุนวนในช่วงเริ่มต้นนั้น การหมุนวนจะเกิดขึ้นที่ช่วงต้นของท่อและการหมุนวนจะลดลง และสลายไปในที่สุด โดยในการสร้างการไหลหมุนวนแบบต่อเนื่องนั้นสามารถทำได้โดยการใส่แผ่นครีบบิด, ใส่ขดลวดสปริง, ติดตั้งครีบบั่น, การเซาะร่องเกลียวที่พื้นผิวด้านในภายในท่อ เพื่อให้เกิดการไหลหมุน

วนแบบต่อเนื่องตลอดความยาวท่อ ในขณะที่อุปกรณ์ที่ทำให้เกิดการไหลหมุนวนในช่วงต้น เช่นการติดตั้งครีบบิดแบบ Helical vane ที่ทางเข้าจะเกิดการไหลหมุนวนในช่วงเริ่มต้น สำหรับการไหลหมุนวนแบบต่อเนื่อง จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน มีค่าคงที่ตลอดความยาวท่อ ในขณะที่การไหลหมุนวนในช่วงเริ่มต้น จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน มีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงเริ่มต้นและจะลดลงตามระยะทางการไหล

ในปัจจุบันการเพิ่มการถ่ายเทความร้อนโดยการทำให้เกิดการไหลหมุนวนนั้น ได้รับความสนใจและถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ โดยวิธีใส่แผ่นครีบบิดเพื่อให้เกิดการไหลหมุนวนอย่างต่อเนื่องนั้น ได้ถูกมาใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีต้นทุนต่ำ และสามารถประยุกต์ใช้ได้กับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเดิมที่มีอยู่แล้วได้ง่าย แต่ในขณะเดียวกันก็จะมีค่าความดันลดลงสูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากมีแผ่นครีบบิดขวางการไหลของของไหลอยู่ สำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเปลือกและท่อ จากงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมา ได้แสดงให้เห็นว่าการใส่แผ่นครีบบิด สามารถช่วยเพิ่มการถ่ายเทความร้อนภายในท่อให้สูงขึ้นได้ โดย Date [1] และ Date และ Saha [2] ได้นำเสนอ ผลเฉลยในการคำนวณการถ่ายเทความร้อน และความดันลดในกรณีที่มีผิวชั้นการไหลเป็นแบบฟลักซ์ความร้อนมีค่าสม่ำเสมอ ทั้งการไหลแบบราบเรียบและแบบปั่นป่วน จากนั้น Hong และ Bergles [3], Mamer และ Bergles [4], Sukhatme และคณะ [5] ได้ทำการทดลองเพื่อหาผลกระทบของการใส่แผ่นครีบบิด ที่มีต่อการถ่ายเทความร้อน และความดันลดภายใต้เงื่อนไข ฟลักซ์ความร้อนมีค่าสม่ำเสมอในการไหลแบบราบเรียบ ในขณะที่ Mamer และ Bergles [6], Lepina และ Bergles [7], Bergles และคณะ [8], Manglik และ Bergles [9] ได้ทำการศึกษาทั้งการคำนวณเชิงตัวเลขแล้วเชิงการทดลอง ในกรณีที่พื้นผิวมีอุณหภูมิคงที่ ภายใต้เงื่อนไขการไหลแบบราบเรียบ ในปี 1967 Lepina และ Bergles [7] ได้นำเสนอสมการสหสัมพันธ์ ของการถ่ายเทความร้อนภายในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับการไหลแบบปั่นป่วน และในปี 2010 S. Eiamsa-ard และคณะ [10] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของแผ่นครีบบิดที่มีต่อ การถ่ายเทความร้อนและความดันลด

โดยทดลองทั้งใส่แผ่นครีบบิด 1 ชุด และใส่แผ่นครีบบิด 2 ชุด ที่บิดตามกันและบิดสวนทางกัน

จากงานวิจัยต่างๆที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า ได้ศึกษาการเพิ่มการถ่ายเทความร้อน โดยการใช้แผ่นครีบบิดแต่ยังไม่ได้ศึกษาถึงผลของชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ทำเป็นแผ่นครีบบิดนำมาสู่วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ โดยจะทำการศึกษาคูณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนที่มีน้ำร้อนและน้ำเย็นไหลสวนทางกัน โดยใส่แผ่นครีบบิดเพื่อสร้างการไหลวนภายในท่อในทางค้ำน้ำร้อน โดยแผ่นครีบบิดที่ใช้ทำจากวัสดุ 2 ชนิด ได้แก่ เหล็กและอลูมิเนียม โดยเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ระหว่างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่มีแผ่นครีบบิดและแบบที่มีแผ่นครีบบิดที่ทำจากเหล็กและอลูมิเนียม

2. ทฤษฎีในการวิเคราะห์

ในการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน ที่เกิดขึ้นของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนร่วมศูนย์กลางสองชั้นที่มีน้ำร้อนและน้ำเย็นไหลสวนทางกัน โดยอัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานของ น้ำร้อนและน้ำเย็นได้จากสมการที่ (1) และ (2)

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_c C_{pc} (T_{co} - T_{ci}) \quad (1)$$

$$\dot{Q}_h = \dot{m}_h C_{ph} (T_{hi} - T_{ho}) \quad (2)$$

เมื่อ

\dot{Q}_c = อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานของของไหลเย็น, W

\dot{Q}_h = อัตราการเปลี่ยนแปลงพลังงานของของไหลร้อน, W

\dot{m}_c = อัตราการไหลเชิงมวลของของไหลเย็น, kg/s

\dot{m}_h = อัตราการไหลเชิงมวลของของไหลร้อน, kg/s

T_{co} = อุณหภูมิทางออกของของไหลเย็น, °C

T_{ci} = อุณหภูมิทางเข้าของของไหลเย็น, °C

T_{ho} = อุณหภูมิทางออกของของไหลร้อน, °C

T_{hi} = อุณหภูมิทางเข้าของของไหลร้อน, °C

C_{pc} = ความร้อนจำเพาะของของไหลเย็น, J/kg.°C คิดที่

อุณหภูมิของไหลเย็นเฉลี่ย $T_{c,av} = (T_{co} + T_{ci})/2$

C_{ph} = ความร้อนจำเพาะของของไหลร้อน, J/kg.°C คิดที่

อุณหภูมิของไหลร้อนเฉลี่ย $T_{h,av} = (T_{ho} + T_{hi})/2$

สำหรับการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall heat transfer coefficient, U) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนได้จากสมการที่ (3), (4), (5) และ (6)

$$U_o = \frac{\dot{Q}_{av}}{A_o \Delta T_{LMTD}} \quad (3)$$

$$\dot{Q}_{av} = \frac{(\dot{Q}_h + \dot{Q}_c)}{2} \quad (4)$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{hi} - T_{co}) - (T_{ho} - T_{ci})}{\ln \left[\frac{(T_{hi} - T_{co})}{(T_{ho} - T_{ci})} \right]} \quad (5)$$

$$A_o = \pi d_o L \quad (6)$$

เมื่อ

U_o = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ที่อ้างอิงที่พื้นที่ผิวด้านนอกของท่อใน, W/m².°C

\dot{Q}_{av} = อัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน, W

ΔT_{LMTD} = ความแตกต่างอุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อกของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน, °C

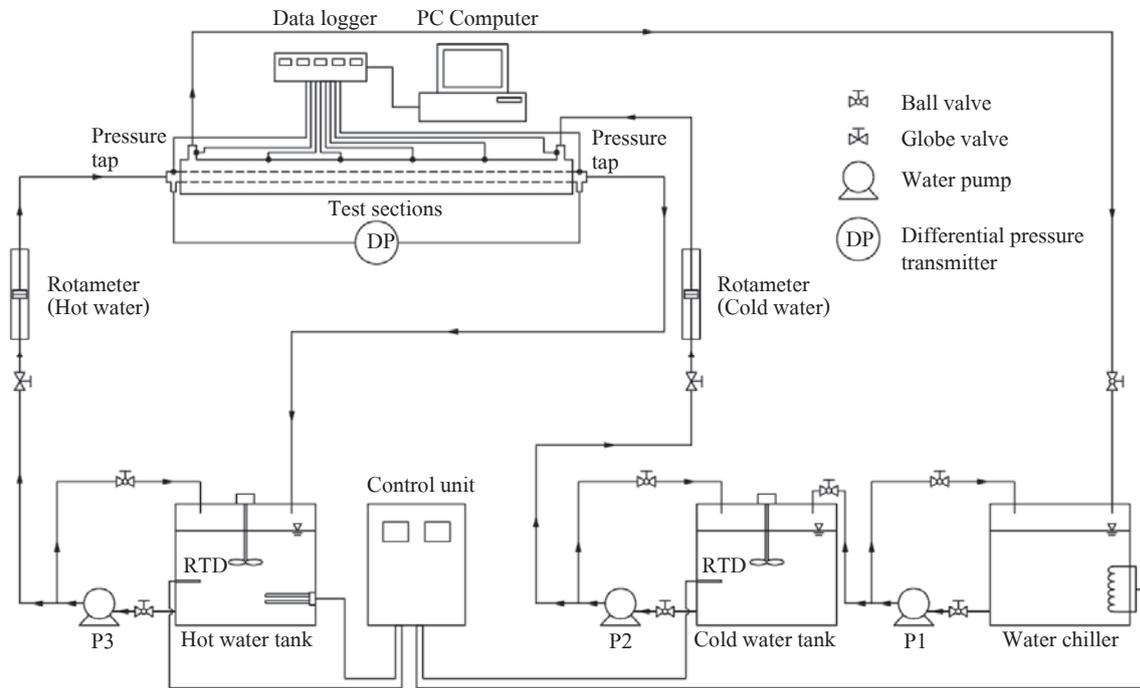
A_o = พื้นที่ผิวด้านนอกของท่อใน, m²

d_o = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อใน, m

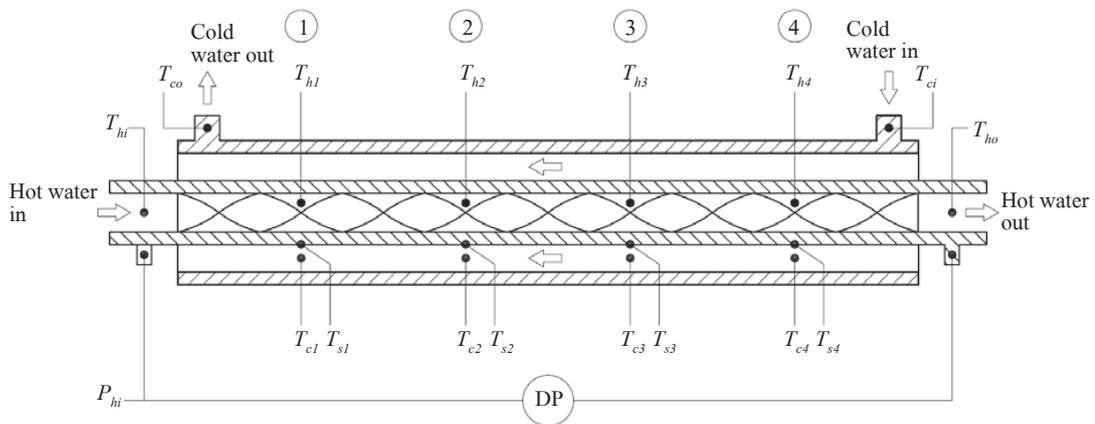
L = ความยาวของท่อทดลอง, m

3. ชุดทดลองและวิธีการทดลอง

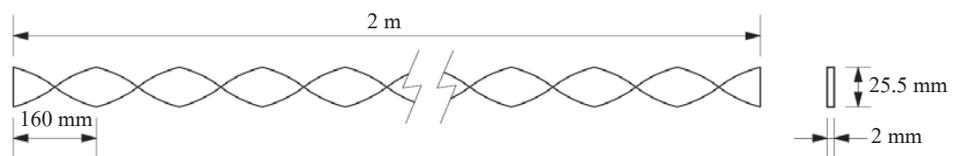
ในการศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อนที่มีการใส่แผ่นครีบบิดเข้าไปที่ด้านท่อใน จะมีชุดอุปกรณ์การทดลองดังแสดงในรูปที่ 1 โดยส่วนที่เป็น Test sections ซึ่งก่อนอกทำจากท่อเหล็กที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 54.5 mm ในขณะที่ท่อในทำจากท่อทองแดง ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 25.5 mm หนา 1.5 mm ซ้อนร่วมศูนย์กลางกัน ซึ่งในการทดลอง น้ำเย็นจะไหลผ่านก่อนอกด้วยอัตราการไหล (q_c) 4, 6, 8, และ 10 LPM ตามลำดับโดยมีการควบคุมอุณหภูมิทางเข้าของน้ำเย็นให้คงที่ 30 °C ในขณะที่น้ำร้อนจะไหลผ่านท่อในด้วยอัตราการไหล (q_h) 4, 6, 8, และ 10 LPM ตามลำดับโดยมีการควบคุมอุณหภูมิทางเข้าของน้ำร้อนให้คงที่ 50, 55 และ 60 °C ตามลำดับโดยให้น้ำร้อนและน้ำเย็นไหลสวนทางกันตลอดความยาวท่อทดสอบ ซึ่งความยาวท่อที่เป็นส่วนของ Test



รูปที่ 1 Schematic diagram ของอุปกรณ์ทดลอง



รูปที่ 2 ตำแหน่งจุดวัด ต่างๆของ Test sections

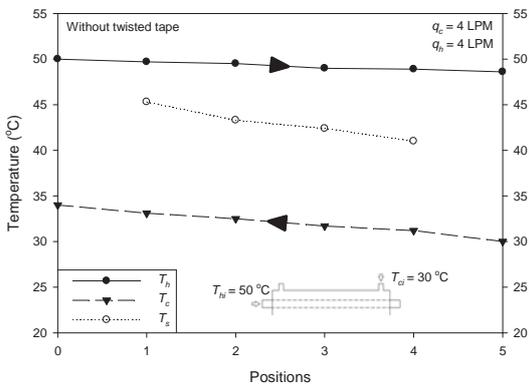


รูปที่ 3 ขนาดและระยะพิทช์ของแผ่นครีบบิด

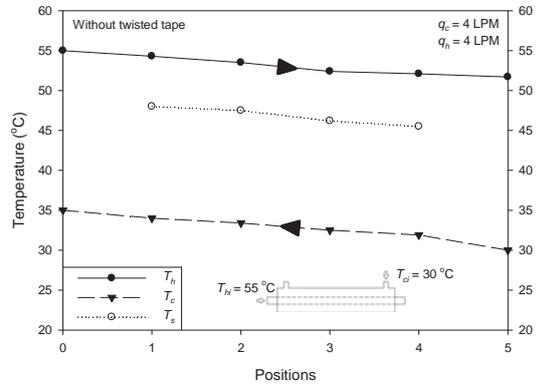
sections มีความยาวรวมทั้งสิ้น 2 m โดยมีการติดตั้ง Thermo couple type K เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เมื่อเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกันระหว่างน้ำร้อนและน้ำเย็น โดยตำแหน่งของจุดวัดอุณหภูมิ ดังรูปที่ 2 ซึ่งแผ่นครีบบิดมีระยะพิทช์ และขนาดต่างๆ ดังรูปที่ 3 โดยให้ T_h แทนอุณหภูมิน้ำร้อน, T_c แทนอุณหภูมิน้ำเย็น, T_s แทนอุณหภูมิผิวท่อด้านนอกของท่อทองแดง, P_{hi} แทนความดันทางเข้าของน้ำร้อน และ DP แทนความแตกต่างความดันของน้ำร้อนที่ได้จาก Differential pressure transmitter ซึ่งอุณหภูมิที่ได้จากตำแหน่งต่างๆ จะถูกบันทึกค่าโดย Data logger และจัดเก็บข้อมูลด้วย PC Computer เพื่อนำไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งชุดอุปกรณ์ทั้งหมดได้ทำการหุ้มฉนวน เพื่อลดผลกระทบจากการถ่ายเทความร้อน ให้กับสิ่งแวดล้อม

4. ผลการทดลอง

วัตถุประสงค์สำคัญของงานวิจัยชิ้นนี้คือศึกษาถึงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน โดยเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างท่อที่ไม่มีแผ่นครีบบิด และมีแผ่นครีบบิดที่ทำจากเหล็ก และอลูมิเนียมสอดคอยู่ทางด้านนอกใน ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แสดงดังรูปที่ 4, 5 และ 6

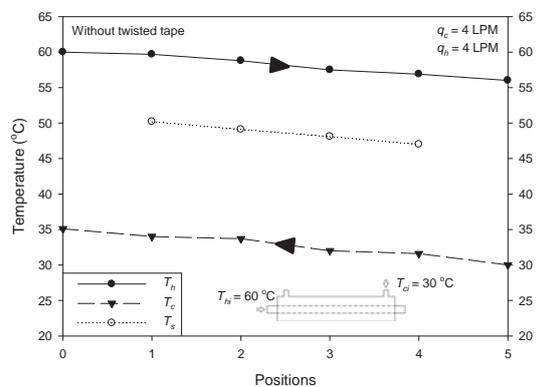


รูปที่ 4 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่มีแผ่นครีบบิดที่ $T_{hi} = 50^\circ\text{C}$



รูปที่ 5 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่มีแผ่นครีบบิดที่ $T_{hi} = 55^\circ\text{C}$

จากรูปที่ 4 แสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่จุดต่างๆ เมื่อไม่มีการติดตั้งแผ่นครีบบิด ที่อัตราการไหล $q_h = q_c = 4 \text{ LPM}$ เมื่อ $T_{hi} = 50^\circ\text{C}$ และ $T_{ci} = 30^\circ\text{C}$ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการแลกเปลี่ยนพลังงานเกิดขึ้นเมื่อของไหลทั้งสองเข้าสู่ อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน อุณหภูมิของน้ำร้อน (T_h) จะค่อยๆ มีอุณหภูมิลดลงตามทิศทางการไหล เนื่องจากถ่ายโอนความร้อนให้กับน้ำเย็น ในขณะที่อุณหภูมิของน้ำเย็น (T_c) ก็จะมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเนื่องจากรับพลังงานที่ถูกถ่ายโอนมาจากน้ำร้อน เช่นเดียวกันกับอุณหภูมิที่ผิวด้านนอกของท่อ (T_s) จะมีค่าอยู่ระหว่าง T_h กับ T_c ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความแตกต่างระหว่าง $(T_h - T_s) < (T_s - T_c)$ เนื่องจากการนำความร้อนที่ดีของท่อทองแดง

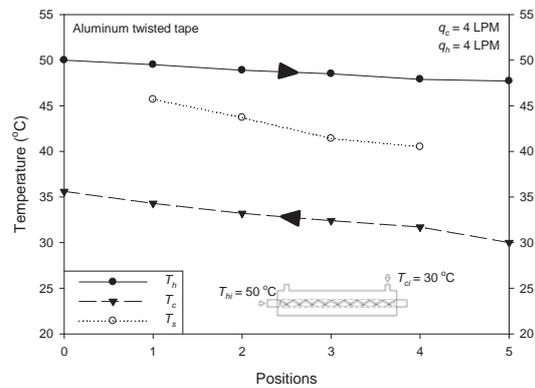


รูปที่ 6 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่มีแผ่นครีบบิดที่ $T_{hi} = 60^\circ\text{C}$

ในการทดลองเมื่อเพิ่มอุณหภูมิทางเข้าของน้ำร้อน (T_{hi}) เป็น 55 และ 60°C ตามลำดับ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ ยังคงมีลักษณะเช่นเดิม ดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6 โดยจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิทางออกของน้ำเย็น (T_{co}) ที่ออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน จะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง จากนั้นเมื่อทำการติดตั้งแผ่นครีบบิดเหล็ก และอลูมิเนียมเข้าไปยังท่อใน ทางด้านน้ำร้อนซึ่งจะได้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ดังรูปที่ 7 และ 8

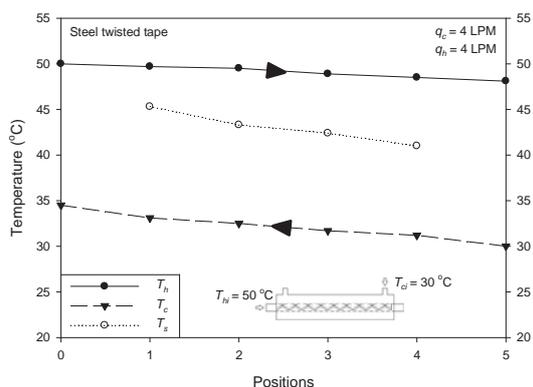
จากรูปที่ 7 และ 8 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการติดตั้งแผ่นครีบบิดเข้าไปยังท่อใน ทางด้านน้ำร้อน ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่จุดต่างๆ ยังคงมีลักษณะเช่นเดิม แต่เมื่อมีการติดตั้งแผ่นครีบบิดเข้าไป จะสังเกตได้ว่า อุณหภูมิทางออกของน้ำร้อน (T_{ho}) จะมีค่าลดลงมากกว่าในกรณีไม่มีแผ่นครีบบิด ในขณะที่อุณหภูมิทางออกของน้ำเย็น (T_{co}) ก็จะมีค่าสูงขึ้นมากกว่าด้วยเช่นกัน ซึ่งการลดลงของอุณหภูมิน้ำร้อนและการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิน้ำเย็น ที่สูงขึ้น แสดงให้เห็นว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อมีการติดตั้งแผ่นครีบบิดเข้าไปยังท่อด้านใน แผ่นครีบบิดจะสร้างการไหลหมุนวนขึ้นภายในท่อ ส่งผลทำให้การพาความร้อนแบบบังคับ ภายในท่อมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (Overall heat transfer coefficient, U) มีค่าเพิ่มขึ้นตามนั่นเอง โดยแผ่นครีบบิดอลูมิเนียม จะให้ค่า

ความแตกต่างอุณหภูมิที่เข้าและออกของน้ำร้อนและน้ำเย็น ได้มากกว่าแผ่นครีบบิดเหล็ก

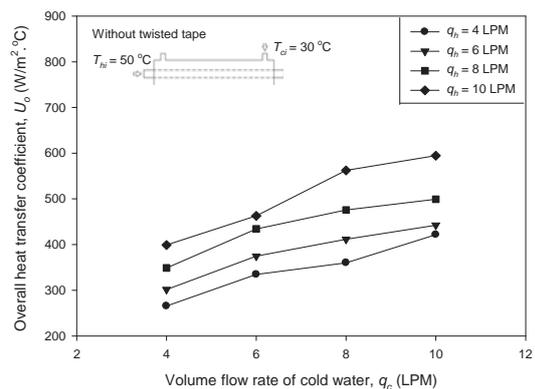


รูปที่ 8 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีแผ่นครีบบิดอลูมิเนียม ที่ $T_{hi} = 50^\circ\text{C}$

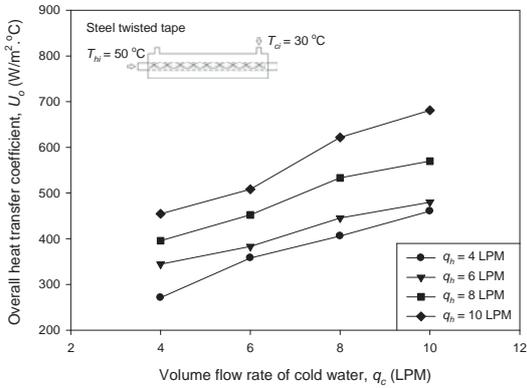
เมื่อนำผลที่ได้จากการทดลองมา คำนวณค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย (\dot{Q}_{av}) ตามสมการที่ (4) และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม ที่อ้างอิงที่พื้นที่ผิวด้านนอกของท่อใน (U_o) ตามสมการที่ (3) จะได้ค่าของ U_o ดังแสดงในรูปที่ 9, 10 และ 11



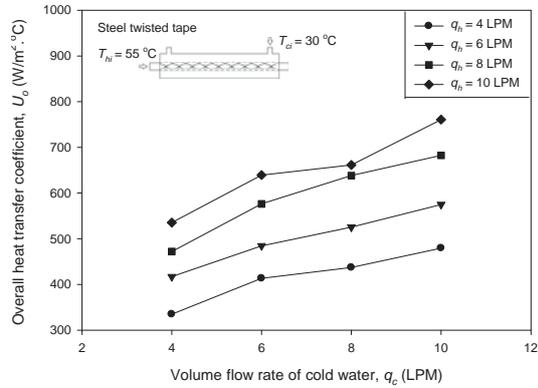
รูปที่ 7 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีแผ่นครีบบิดเหล็ก ที่ $T_{hi} = 50^\circ\text{C}$



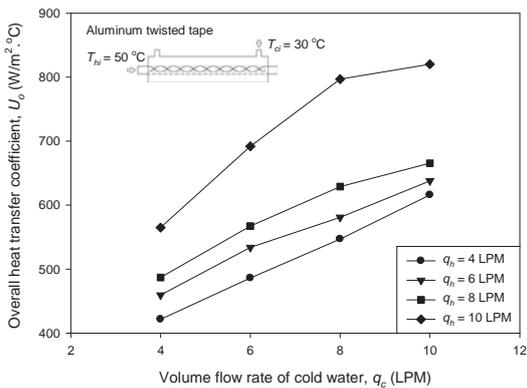
รูปที่ 9 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ไม่มีแผ่นครีบบิด ที่ $T_{hi} = 50^\circ\text{C}$



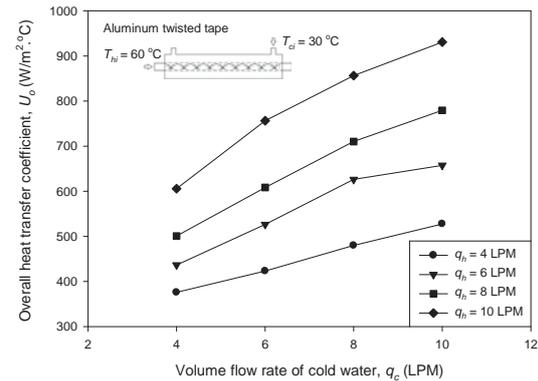
รูปที่ 10 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีแผ่นครีบบิดเหล็ก ที่ $T_{hi} = 50^\circ\text{C}$



รูปที่ 12 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีแผ่นครีบบิดเหล็ก ที่ $T_{hi} = 55^\circ\text{C}$



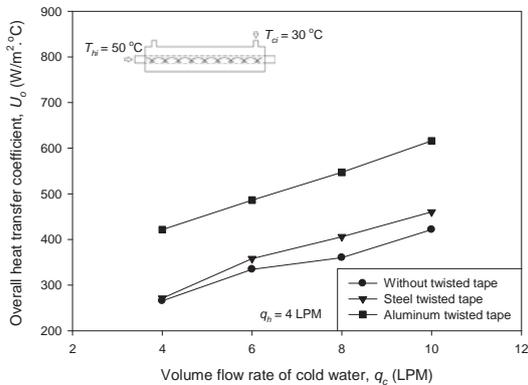
รูปที่ 11 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีแผ่นครีบบิดอลูมิเนียม ที่ $T_{hi} = 50^\circ\text{C}$



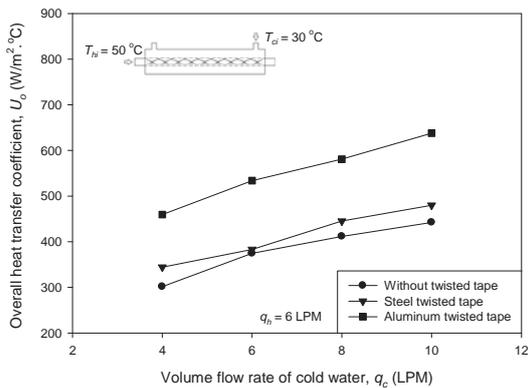
รูปที่ 13 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีแผ่นครีบบิดอลูมิเนียม ที่ $T_{hi} = 60^\circ\text{C}$

จากรูปที่ 9, 10 และ 11 จะเห็นได้ว่า ค่าของ U_o จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการไหลที่เพิ่มขึ้นของทั้งทางด้านน้ำร้อนและน้ำเย็นเนื่องจากการพาความร้อนแบบบังคับ ภายในท่อจะขึ้นอยู่กับความเร็วในการไหล ดังนั้นเมื่ออัตราการไหลสูงขึ้นจึงทำให้การพาความร้อนที่เกิดขึ้นสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งส่งผลทำให้ค่าของ U_o ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์มีค่าสูงขึ้น ซึ่งในกรณีของแผ่นครีบบิดเหล็กและอลูมิเนียมก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกันดังแสดงในรูปที่ 12 และ 13 โดยค่า U_o เฉลี่ยสูงสุด (ที่ $q_h = 10$ LPM) ของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไม่มีแผ่นครีบบิด, มีแผ่นครีบบิดเหล็ก และมีแผ่นครีบบิดอลูมิเนียม จะมีค่าเป็น 660, 738 และ 876 $\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$ ตามลำดับ

ซึ่งในการทดลองจะเห็นได้ว่าอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่มีการติดตั้งแผ่นครีบบิดเข้าไปที่ท่อในทางด้านน้ำร้อน จะให้ค่า U_o สูงกว่าในกรณีที่ไม่มีแผ่นครีบบิด เนื่องจากเมื่อทำการติดตั้งแผ่นครีบบิดจะทำให้เกิดการไหลหมุนวนขึ้นภายในท่อในชั้นที่ชิดติดกับพื้นผิวของท่อ ซึ่งการไหลหมุนวนนี้จะเห็นขวนำทำให้เกิดเป็นการไหลแบบปั่นป่วน ภายในขอบเขตการไหล ของชั้นที่ชิดติดกับผิวของผิวท่อ ส่งผลทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้นนั่นเอง จากนั้นเมื่อพิจารณาถึงผลกระทบของชนิดของวัสดุที่นำมาใช้ในการทำแผ่นครีบบิด ดังแสดงในรูปที่ 14, 15, 16 และ 17



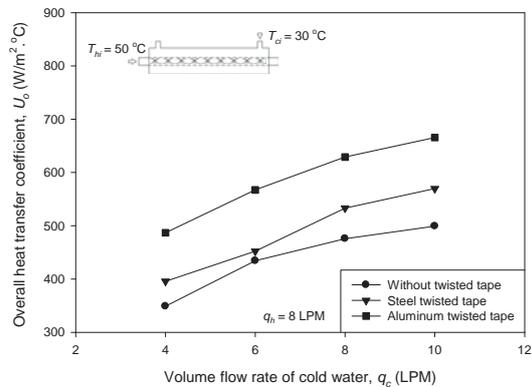
รูปที่ 14 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน $T_{hi} = 50^{\circ}\text{C}$ และ $q_h = 4$ LPM



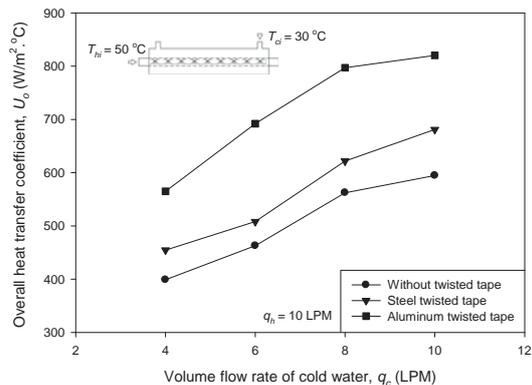
รูปที่ 15 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน $T_{hi} = 50^{\circ}\text{C}$ และ $q_h = 6$ LPM

จากรูปที่ 14, 15, 16 และ 17 เมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U_o) ของท่อที่ไม่มีแผ่นครีบบิด และท่อที่มีการติดตั้งแผ่นครีบบิด ที่ทำจากเหล็กและอลูมิเนียม จะเห็นได้ว่าท่อที่มีการติดตั้งแผ่นครีบบิดจะมีค่า U_o สูงกว่าท่อที่ไม่มีแผ่นครีบบิด โดยแผ่นครีบบิดที่ทำจากอลูมิเนียมจะให้ค่า U_o สูงกว่าแผ่นครีบบิดที่ทำจากเหล็ก เนื่องจากเมื่อพิจารณาถึงลักษณะการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในบริเวณชั้นขีดติดกับผิวท่อ ซึ่งมีการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นโดยเกิดการไหลหมุนวนที่ถูกสร้างขึ้นจากแผ่นครีบบิด ในขณะที่ผิวของไหลที่เกิดการไหลวนในบริเวณชั้นขีดติดกับผิว จะได้รับผลของการถ่ายเทความร้อนเนื่องมาจากการพา

แบบบังคับ และการนำความร้อนผ่านแผ่นครีบบิดอีกด้วย ดังนั้นเนื่องจากการนำความร้อนจะขึ้นอยู่กับค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุ (Thermal conductivity, k) ซึ่งค่า k ของอลูมิเนียมจะมีค่ามากกว่า k ของเหล็ก ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงค่าการนำความร้อนของวัสดุ รวมทั้งการเพิ่มการพาความร้อนแบบบังคับ เนื่องจากการไหลวนแล้วจึงทำให้ค่า U_o ของแผ่นครีบบิดอลูมิเนียมมีค่ามากกว่า U_o ของแผ่นครีบบิดเหล็ก



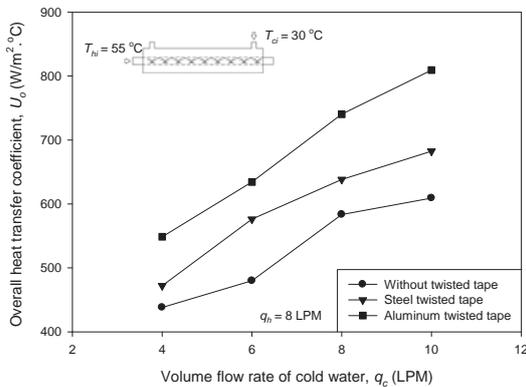
รูปที่ 16 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน $T_{hi} = 50^{\circ}\text{C}$ และ $q_h = 8$ LPM



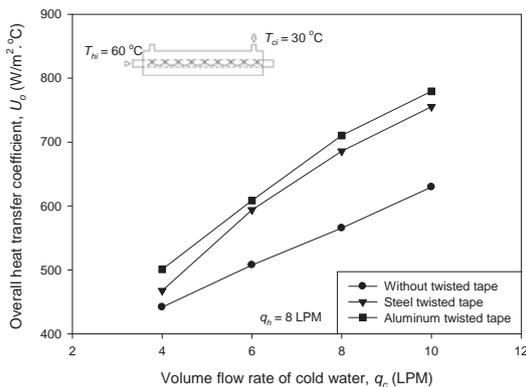
รูปที่ 17 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน $T_{hi} = 50^{\circ}\text{C}$ และ $q_h = 10$ LPM

โดยในการทดลองเพื่อให้อุณหภูมิทางเข้าของน้ำร้อน (T_{hi}) สูงขึ้นเป็น 55 และ 60°C ที่อัตราการไหลสูงๆ ค่าของ U_o ที่ได้ก็จะมีแนวโน้มสูงขึ้นตามอุณหภูมิทางเข้าของน้ำร้อน โดย

U_o ของแผ่นครีบบิดลูมิเนียมจะมีค่าสูงกว่าแผ่นครีบบิดเหล็กเช่นกัน ดังรูปที่ 18 และ 19



รูปที่ 18 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน $T_{hi} = 55^\circ\text{C}$ และ $q_h = 8 \text{ LPM}$



รูปที่ 19 การเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน $T_{hi} = 60^\circ\text{C}$ และ $q_h = 8 \text{ LPM}$

5. สรุป

ในการศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อซ้อน ที่มีน้ำร้อนและน้ำเย็นไหลสวนทางกัน โดยให้น้ำร้อนไหลทางด้านท่อในและน้ำเย็นไหลทางด้านท่อนอก จากนั้นทำการติดตั้งแผ่นครีบบิดที่ทำจากเหล็กและอลูมิเนียม เข้าไปในท่อในทางด้านน้ำร้อนตลอดความยาวท่อทดสอบ ซึ่งผลที่ได้เมื่ออุณหภูมิของน้ำร้อนเพิ่มขึ้น จะทำให้ความแตกต่างอุณหภูมิ ระหว่างน้ำร้อนและน้ำเย็นที่

เข้าและออกจากอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นโดย $(T_h - T_c) < (T_s - T_c)$ ในขณะที่เมื่ออัตราการไหลของน้ำร้อนและน้ำเย็น เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าของ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่อ้างอิงที่พื้นที่ผิวด้านนอกของท่อใน (U_o) สูงขึ้น จากนั้นเมื่อติดตั้งแผ่นครีบบิดเข้าไปที่ท่อในทางด้านน้ำร้อนเพื่อสร้างการไหลหมุนวน จะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีค่าสูงขึ้น โดยค่า U_o ของอุปกรณ์มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งแผ่นครีบบิดอลูมิเนียม, แผ่นครีบบิดเหล็ก และไม่มีแผ่นครีบบิด จะมีค่า U_o เฉลี่ยสูงสุดที่ $q_h = 10 \text{ LPM}$ เป็น 876, 738 และ 660 $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ ตามลำดับ

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางทีมวิจัยต้องขอขอบคุณ สำนักวิจัยและบริการวิชาการ “กองทุนวิจัยสถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน” ที่เป็นผู้ออกทุนสนับสนุนในการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- [1] A.W. Date, *Prediction of fully developed flow in a tube containing a twisted tape*, Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 17, 1974, pp. 845-859.
- [2] A.W. Date and S.K. Saha, *Numerical prediction of laminar flow and heat transfer in a tube fitted with regularly spaced twisted – tape elements*, Int. J. Heat Fluid Flow, Vol. 11, 1990, pp. 346-354.
- [3] S.W. Hong and A.E. Bergles, *Augmentation of laminar flow heat transfer in tubes by means of twisted – tape inserts*, Int. J. Heat transfer, Vol. 98, 1976, pp. 251-256.
- [4] W.J. Marner and A.E. Bergles, *Augmentation of tube side laminar flow heat transfer by means of twisted – tape inserts, static mixer inserts, and internally finned tubes*, Pro. Sixth Int, Heat Transfer Conference, Washington D.C., 1978, pp. 583-588.

- [5] S.P. Sukhatme, U.N. Gaitonde, C.S. Shidore and R.S. kuncolienkar, *Forced convection heat transfer to viscous liquid in laminar flow in a tube with a twisted tape*, 1987, Pro. Ninth Natl. Heat Mass Transfer Conf. (Paper no. HMT 7-87) Indian Institute of Science, India, Part B, 1-7.
- [6] W.J. Marner and A.E. Bergles, *Augmentation of highly viscous laminar heat transfer inside tubes in constant wall temperature*, Exp. Therm. Fluid Sci., 1989, pp. 252-267.
- [7] R.F. Lepina and A.E. Bergles, *Heat transfer and pressure drop in tape – generated swirl flow of single – phase water*, ASME J. Heat Transfer, Vol. 91, 1969, pp. 434-442.
- [8] A.E. Bergles, M.K. Jensen, E.F.C. Somerscales and R.M. manglik, *Literature review of heat transfer enhancement technology for heat exchangers in gas – fired applications*, GRI Topical Technical Report, GRI 910146, 1991.
- [9] R.M. Manglik and A.E. Bergles, *Heat transfer and pressure drop correlations for twisted – tape inserts in isothermal tubes*, Part I. Laminar flows, ASME J. Heat Transfer, Vol. 115(4), 1993, pp. 881-889.
- [10] S. Eiamsa – ard, C. Thianpong and P. Eiamsa – ard, *Turbulent heat transfer enhancement by counter/co – swirling flow in a tube fitted with twin twisted tapes*, Exp. Therm. Fluid Sci., Vol. 34, 2010, pp. 53-62.

ประวัติผู้เขียนบทความ

นายมานพ พิพัฒน์หัตถกุล สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ม.เอเชียอาคเนย์ และระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มจร. ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

งานวิจัยที่สนใจ Thermal and Fluid Sciences.

นายมกร ลักขณา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มจร. ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

งานวิจัยที่สนใจ Fluid Sciences and combustion.

นายสุรชัย จิงจตุพรชัย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร และระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สจล. ปัจจุบันดำรงตำแหน่ง อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน

งานวิจัยที่สนใจ Automatic Control and Vibration.