

TSF-264

การเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนโดยการใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสมรรถนะสูง ชนิด Ribbed tube ทดแทนท่อเรียบแบบปกติ

Heat Transfer Augmentation Using a Ribbed Enhanced Tube Instead of Common Smooth Tube

ทแก้ว เยี่ยมสวัสดิ์^{1,2}, วีระพันธ์ ด่วงทองสุข^{1,2*}, และ สมชาย วงศ์วิเศษ²

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์

แขวงหนองคางพลู เขตหนองแขม กทม 10160

² กลุ่มวิจัย FUTURE Lab. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กทม 10140

*ติดต่อ: weerapund@sau.ac.th, +662-807-4500 ต่อ 301, +662-807-4529

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาคงเทียบผลการทดลองในการหาสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนและความดันตกที่เกิดขึ้น จากการไหลของน้ำผ่านท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสมรรถนะสูง (Enhanced tube) ชนิด Ribbed tube ภายใต้สภาวะการไหลแบบปั่นป่วน จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองของท่อเรียบแบบปกติ (Common smooth tube) โดยท่อทดสอบที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนชนิดท่อ 2 ชั้น ไหลสวนทางกัน (Double tube counter flow heat exchanger) โดยท่อด้านในเป็นท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสมรรถนะสูง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 มิลลิเมตร หนา 0.7 มิลลิเมตร ส่วนท่อนอกเป็นท่ออะคริลิกใส มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 25 มิลลิเมตร หนา 2 มิลลิเมตร และน้ำเย็นไหลอยู่ในท่อด้านใน ส่วนน้ำร้อนไหลสวนทางอยู่ภายนอก สภาวะที่ใช้ในการทดลองได้แก่ เลขเรย์โนลด์อยู่ระหว่าง 4,000 ถึง 20,000, อุณหภูมิน้ำเย็นอยู่ที่ 15 องศาเซลเซียส, อุณหภูมิน้ำร้อนอยู่ที่ 35 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของน้ำร้อนแปรเปลี่ยนระหว่าง 3 ถึง 5 ลิตรต่อวินาที นอกจากนั้นเพื่อความน่าเชื่อถือของผลการทดลอง ได้ทำการสอบเทียบอุปกรณ์การทดลองที่สร้างขึ้น โดยใช้สมการของ Dittus-Boelter (1930) สำหรับทำนายค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากการไหลของน้ำและเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลอง จากผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสมรรถนะสูงชนิด Ribbed tube มีค่าสูงกว่าท่อเรียบปกติประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ และให้ความดันตกที่ต่ำกว่าประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์

คำหลัก: สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน; ความดันตก; ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสมรรถนะสูง

Abstract

This article presents an experimental investigation on the heat transfer performance and pressure drop characteristics of DI water flowing through a enhanced tube (Ribbed tube) under turbulent flow regime. The measured data is used to compare with the common smooth tube. In the present work, horizontal double tube counter flow heat exchanger is used as the test section. The inner tube is the test tube and

TSF-264

made from stainless steel tubing with a 8.0 mm inner diameter and a 0.7 mm thickness, while the outer tube is made from acrylic tubing and has a 25 mm inner diameter and 2.0 mm thickness. The water flows inside the test tube whereas the hot water flows in the annulus. The testing conditions are done as follows: 1) Reynolds number ranging between 4,000 and 20,000 2) inlet temperature of 15 °C 3) Hot water temperature is kept at 35 °C and 4) hot water flow rate ranged between 3 and 5 LPM. In order to calibrate the experimental system, the Dittus-Boelter equation (1930) for heat transfer performance is used to compare with the data for conventional smooth tube. The experimental data indicated that the heat transfer coefficient of the enhanced tube is higher than the smooth tube around 35% and the pressure drop is 12% less than the smooth tube, approximately.

Keywords: heat transfer coefficient; pressure drop; enhanced tube

1. บทนำ

เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ทางพลังงานชนิดหนึ่งที่มีใช้กันอยู่โดยทั่วไปในงานทางด้านวิศวกรรมทั้งทางภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรม การพัฒนาให้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีประสิทธิภาพที่สูงขึ้นนั้น เป็นแนวทางหนึ่งที่สำคัญในการช่วยประหยัดพลังงาน เป็นการช่วยลดหรือใช้ทรัพยากรทางพลังงานให้เกิดความคุ้มค่า เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด แต่อย่างไรก็ตามเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ (Tubular heat exchanger) เป็นชนิดหนึ่งที่มีใช้กันอยู่โดยทั่วไปเนื่องจากมีโครงสร้างที่ไม่สลับซับซ้อนง่ายต่อการออกแบบและสร้าง มีต้นทุนในการผลิตต่ำ การศึกษาวิจัยพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดนี้จึงมีความจำเป็นและถูกกระทำกันอย่างต่อเนื่อง แนวทางการพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนร้อนนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีการ แต่วิธีการหนึ่งที่มีความน่าสนใจที่ใช้ในการเพิ่มสมรรถนะการถ่ายเทความร้อน คือการออกแบบให้พื้นผิวช่องทางการไหลหรือพื้นผิวท่อมีรูปทรงหรือลักษณะพิเศษที่ก่อให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนของของไหล หรือเป็นการเพิ่มพื้นที่การถ่ายเทความร้อน โดยท่อพิเศษที่ถูกออกแบบขึ้นมาใหม่นี้ถูกเรียกว่า ท่อสมรรถนะสูง (Enhanced Tube) ท่อสมรรถนะสูงนั้นมีด้วยกันหลากหลายลักษณะ โดยท่อ Ribbed tube หรือ Micro-fin tube เป็นท่อสมรรถนะ

สูงชนิดหนึ่งที่มีความสนใจในการศึกษาวิจัย มีลักษณะเป็นท่อที่มีการเจาะร่องเป็นเกลียวหรือมีลักษณะเป็นครีบนขนาดเล็กภายใต้ผิวท่อ ซึ่งเปรียบเสมือนมีพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าท่อเรียบปกติ และที่สำคัญคือถูกออกแบบให้สามารถสร้างความปั่นป่วนให้แก่ของไหล ขณะที่ของไหลไหลผ่านท่อทำให้สมรรถนะในการถ่ายเทความร้อนนั้นสูงขึ้น

งานศึกษาวิจัยที่เกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนและคุณลักษณะการไหลของท่อสมรรถนะสูงชนิด Micro-fin tube มีจำนวนอยู่พอสมควร มีทั้งการศึกษาที่สถานะของไหลเป็นแบบสถานะเดียว (สถานะของเหลว) และแบบสองสถานะหรือมีการเปลี่ยนแปลงสถานะจากของเหลวเป็นไอก๊าซ อย่างไรก็ตามผลหรือข้อมูลการศึกษาในรูปแบบที่ของไหลทำงานอยู่ในสถานะของเหลวอย่างเดียวนั้นยังคงมีความสำคัญ ซึ่งถือว่าเป็นข้อมูลพื้นฐานที่จำเป็น ตัวอย่างงานวิจัยได้แสดงไว้ดังต่อไปนี้

Brognaux และคณะ [1] ทำการทดลองศึกษาค่าการถ่ายเทความร้อนและคุณลักษณะความเสียดทานของท่อ Micro-fin ชนิด single-grooved และ cross-grooved ของไหลเป็นแบบสถานะเดียวและมีรูปแบบการไหลเป็นปั่นป่วน จากข้อมูลการทดลองแสดงให้เห็นว่า ท่อ Micro-fin ทั้งสองชนิดที่ทำการทดลองมีสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าท่อเรียบ มาก

TSF-264

ไปกว่านั้นพบว่าแบบ cross-grooved มีสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าแบบ single-grooved

Copetti และคณะ [2] นำเสนอผลการทดลองศึกษาการถ่ายเทความร้อนและคุณลักษณะแรงเสียดทานของการการไหลแบบสถานะเดียวของน้ำในท่อสมรรถสูงชนิด Micro-fin การให้ความร้อนเป็นแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ด้วยการใช้เทปฮีตเตอร์ไฟฟ้าพันตลอดความยาวท่อ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์ความร้อนและอัตราการไหลกับค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมถูกนำมาวิเคราะห์ ผลการทดลองพบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของท่อ Micro-fin มีค่าสูงกว่าท่อเรียบถึง 80 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามผลของความดันตกคร่อมก็มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน แต่มีอัตราการเพิ่มขึ้นที่น้อยกว่า

Han และ Lee [3] ทำการทดลองเกี่ยวกับการถ่ายเทความร้อนแบบสถานะเดียวและคุณลักษณะการไหลของของไหลในท่อ Micro-fin รูปแบบการไหลถูกควบคุมให้เป็นแบบปั่นป่วนโดยพิจารณาจากค่าเลขเรย์โนลด์ ผลการทดลองพบว่าท่อ Micro-fin ที่มีความขรุขระผิวที่สูงแต่มีมุมบิดของเกลียวคريبที่ต่ำจะให้ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่ดีที่สุด ในส่วนความดันตกคร่อมมีค่าเพิ่มสูงขึ้นกว่าในกรณีท่อผิวเรียบ

Naphon และ Sriromrulin [4] ศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนค่าความดันลดของท่อ Micro fin ที่มีการใส่ coiled wire โดยการถ่ายเทความร้อนเป็นแบบท่อ 2 ชั้น ของไหลทำงานที่ใช้เป็นน้ำสะอาดทั้งในสายของไหลร้อนและของไหลเย็น ผลของค่าเลขเรย์โนลด์ได้ถูกนำมาพิจารณา ผลการทดลองพบสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของท่อ Micro-fin มีค่าสูงกว่าท่อผิวเรียบธรรมดา ขณะเดียวกันค่าความดันลดก็เพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน

Li และคณะ [5] ทำการศึกษาผลของความดันตกคร่อมและการถ่ายเทความร้อนของท่อ Micro-fin โดยใช้ น้ำและน้ำมันเป็นสารทำงาน ค่าเลขเรย์โนลด์ถูกแปรผันในการทดลอง ผลการทดลองพบว่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อ Micro-fin มีค่าสูงกว่าท่อ

เรียบปกติถึงสองเท่า ผลของความดันพบว่าที่ค่าเลขเรย์โนลด์ต่ำนั้น ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดของทั้งท่อเรียบและท่อสมรรถสูงมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่ที่ค่าเลขเรย์โนลด์สูง ๆ พบว่าค่าของท่อสมรรถสูงมีค่าสูงกว่า

Siddique และ Alhazmy [6] ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนแบบสถานะเดียวและความดันลดของท่อ Micro-fin ที่มีจำหน่ายในเชิงพาณิชย์ อุปกรณ์การทดลองนั้นถูกออกแบบให้เป็นแบบท่อ 2 ชั้น รูปแบบการไหลภายในท่อเป็นแบบปั่นป่วน ผลการทดลองพบว่าค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมีค่าสูงกว่าท่อเรียบ และผลของความดันมีแนวโน้มเช่นเดียวกันคือมีค่าสูงกว่าผลจากท่อเรียบ

ถึงแม้ว่าในอดีตที่ผ่านมา การศึกษาการถ่ายเทความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสมรรถสูงรูปแบบต่างๆ จะมีผู้กระทำการอยู่บ้างแล้ว แต่อย่างไรก็ตามการศึกษาโดยใช้ท่อ Micro-fin tube นั้น ยังคงมีอยู่น้อยมาก ดังนั้นในการศึกษาในครั้งนี้เป็นการทดลองใหม่ที่ต่อยอดจากการทดลองท่อ Micro-fin tube ที่ทำมาแล้ว อีกทั้งวิธีการให้ความร้อนที่ใช้ในการศึกษานี้จะใช้เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อ 2 ชั้น ไหลสวนทางกัน ซึ่งถือว่าเป็นรูปแบบหนึ่งของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีใช้งานจริงกันอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งแตกต่างจากวิธีการให้ความร้อนของการทดลองในอดีตที่ส่วนมากนิยมให้ความร้อนแบบฟลักซ์ความร้อนคงที่ อุณหภูมิผนังคงที่ และภายใต้สภาวะการเดือดแบบฟูล ผลจากงานศึกษาทดลองในครั้งนี้คาดว่าจะสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการพิจารณานำท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสมรรถสูงมาใช้แทนท่อเรียบปกติ เพื่อตอบโจทย์ทางด้านการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า ลดต้นทุนสำหรับทำเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

2. การคำนวณ

TSF-264

การคำนวณค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสมรรถนะสูงชนิด Micro-fin tube สามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่จ่ายให้กับส่วนทดลองจากของของไหลสายร้อน (Q_h) คำนวณได้จาก

$$Q_h = \dot{m}_h C_p \Delta T_h \quad (1)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ของไหลภายในท่อสมรรถนะสูงได้รับ (Q_c) คำนวณได้จาก

$$Q_c = \dot{m}_c C_p \Delta T_c \quad (2)$$

อัตราการถ่ายเทความร้อนความร้อนเฉลี่ย (Q_{avr}) คำนวณได้จาก

$$Q_{avr} = \frac{Q_h + Q_c}{2} \quad (3)$$

เมื่อ ΔT_h และ ΔT_c คือ ผลต่างของอุณหภูมิที่ทางเข้า/ทางออกของของไหลสายร้อนและสายเย็นตามลำดับ, $\dot{m}_h$ และ $\dot{m}_c$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของของไหลสายร้อนและสายเย็น ตามลำดับ

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสมรรถนะสูง (h_i) สามารถคำนวณได้จาก

$$\frac{1}{U_i A_i} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{\delta}{A_{avr} k} + \frac{1}{h_o A_o} \quad (4)$$

โดยที่ U_i คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม, δ คือความหนาท่อ, A_{avr} คือพื้นที่ผิวเฉลี่ย, k คือ ค่าการนำความร้อนของผนังท่อ, A_o คือ พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อนด้านนอกท่อ, A_i คือ พื้นที่ผิวถ่ายเทความร้อนด้านในท่อ h_o คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเท

ความร้อนของท่อด้านนอก (ท่อด้านนอก) คำนวณได้จากคำนวณได้จากสมการของ Dittus-Boelter ดังนี้

$$\frac{h_o D_{h,o}}{k} = 0.023 \text{Re}_o^{0.8} \text{Pr}_o^{0.3} \quad (5)$$

เมื่อ $D_{h,o}$ คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อด้านนอก, Re_o คือ ค่าเลขเรย์โนลด์ในท่อด้านนอก, Pr_o คือ ค่าเลขพรันด์เทิลในท่อด้านนอก, k คือ ค่าการนำความร้อนของของไหล

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U_i) สามารถคำนวณได้จาก

$$Q_{avr} = U_i A_i \Delta T_{LMTD} \quad (5)$$

เมื่อ ΔT_{LMTD} คือ ผลต่างอุณหภูมิเชิงลอการิทึม คำนวณได้ดังนี้

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_{h,o} - T_{c,i})(T_{h,i} - T_{c,i})}{\ln(T_{h,o} - T_{c,i}) / (T_{h,i} - T_{c,i})} \quad (6)$$

เมื่อ $T_{h,i}$ และ $T_{h,o}$ คือ อุณหภูมิของของไหลสายร้อนที่เข้าและทางออก ตามลำดับ, $T_{c,i}$ และ $T_{c,o}$ คือ อุณหภูมิของของไหลสายเย็นที่เข้าและทางออกตามลำดับ

สำหรับอัตราการไหลหรือความเร็วของการไหลถูกแทนด้วยค่าเลขเรย์โนลด์ (Re) ซึ่งมีรูปแบบสมการดังนี้

$$\text{Re} = \frac{\rho v D_h}{\mu} \quad (7)$$

เมื่อ v คือ ความเร็วของของไหล, ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล, μ คือ ความหนืดของของไหล, D_h คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกของท่อสมรรถนะสูง

TSF-264

สมรรถนะการถ่ายเทความร้อนสามารถของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสมรรถนะสูงสามารถรูปของค่าเลขนัสเซิลต์ (Nu) ซึ่งเป็นตัวแปรไร้มิติ ดังนี้

$$Nu = \frac{h_i D_h}{k} \quad (8)$$

สำหรับค่าความดันลดหรือการสูญเสียในท่อสามารถนำเสนอได้ในรูปของตัวแปรไร้มิติหรือตัวประกอบความเสียดทาน (f) คำนวณได้ดังนี้

$$f = \frac{2\rho D_h \Delta P}{Lv^2} \quad (9)$$

เมื่อ ΔP คือ ค่าความดันลด, L คือ ความยาวท่อ, ρ คือ ความหนาแน่นของของไหล

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

รูปที่ 1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองในการหาสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนและความดันลดของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสมรรถนะสูงชนิด Ribbed tube อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ทดสอบเป็นชนิดท่อสองชั้นไหลสวนทางกัน (Double pipe counter flow heat exchanger) ซึ่งน้ำเย็นไหลในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสมรรถนะสูงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 8 mm และความยาว 1.2 m ที่สอดอยู่ภายใน ส่วนน้ำร้อนไหลสวนทางในท่อวงแหวนด้านนอก นอกจากนี้ อุปกรณ์อื่นๆ ยังประกอบด้วย ถังน้ำร้อน (Hot water tank) และถังน้ำเย็น (Cold water tank) ขนาด 30 ลิตร ซึ่งใช้ในการควบคุมอุณหภูมิของน้ำร้อนและน้ำเย็นตามที่ต้องการ สำหรับการควบคุมอัตราการไหลสามารถกระทำได้จากการปรับความเร็วรอบปั๊มขับโดยสังเกตอ่านค่าอัตราการไหลที่ต้องการได้จาก โรตามิเตอร์ (Rotameter) ส่วนอุณหภูมิของน้ำร้อน/น้ำเย็นที่ไหลเข้า/ออกจากท่อทดสอบและอุณหภูมิของผนังท่อทดสอบถูกวัดโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด T (T-Type

Thermocouple) ในส่วนของความดันลดที่เข้าและออกจากท่อทดสอบนั้นวัดโดยใช้เครื่องวัดความดันแบบดิจิตอล (Digital pressure gage)

4. ผลการทดลอง

ก่อนที่จะทำการวัดค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสมรรถนะสูงชนิด Ribbed tube นั้น อุปกรณ์การทดลองที่สร้างขึ้นมานี้ได้ถูกทำการสอบเทียบเพื่อเป็นการยืนยันความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยทำการทดสอบกับท่อเรียบปกติที่มีขนาดช่องทางการไหลและพื้นที่การถ่ายเทความร้อนที่เท่ากันซึ่งใช้น้ำสะอาดเป็นของไหลทำงาน จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากคำนวณด้วยสมการของ Dittus-Boelter [7] ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งจากผลการสอบเทียบพบว่าผลที่ได้จากการวัดจากอุปกรณ์การทดลองที่ได้ดำเนินการสร้างนี้ มีความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการของ Dittus-Boelter [7]

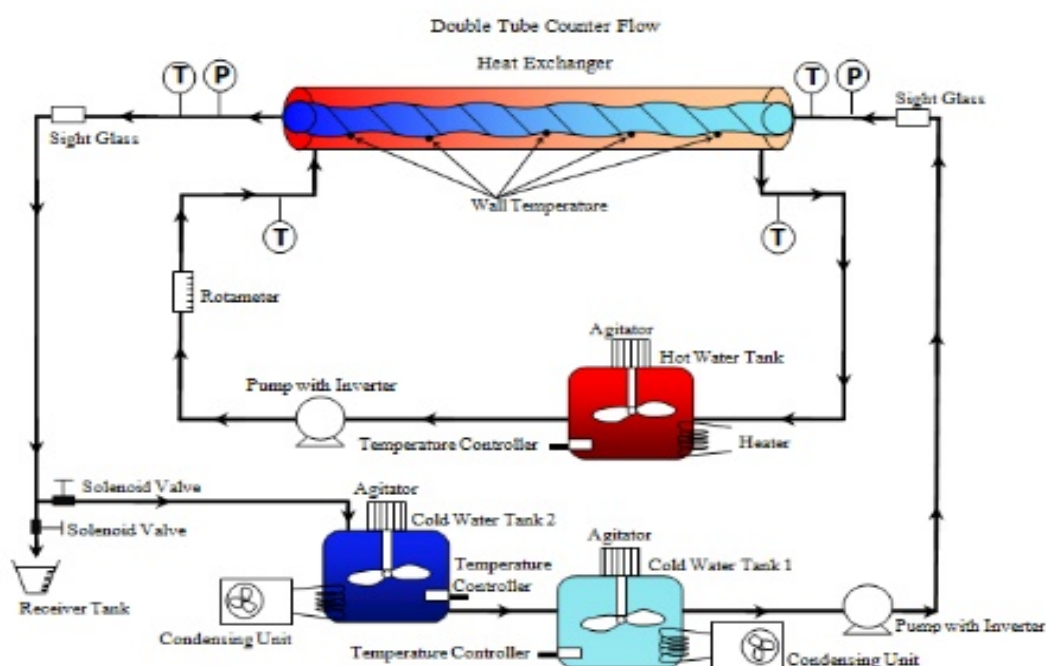
ในรูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ต่างๆ ระหว่างท่อกลมผิวเรียบปกติกับท่อสมรรถนะสูงชนิด Ribbed tube โดยใช้น้ำสะอาดเป็นของไหลทำงานในการทดลอง. เมื่อพิจารณาที่ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เท่ากันหรือใกล้เคียงกันนั้น จะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของท่อสมรรถนะสูงมีค่าที่สูงกว่าท่อเรียบปกติ โดยมีค่าสูงกว่าประมาณ 20-40 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนผลของค่าเลขเรย์โนลด์ พบว่าเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนขึ้น ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันทั้งท่อเรียบและท่อสมรรถนะสูง อย่างไรก็ตามที่ค่าเลขเรย์โนลด์สูงๆ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของท่อสมรรถนะสูงดูเหมือนจะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก สำหรับในรูปที่ 5 นั้นสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนได้ถูกนำเสนอในรูปของตัวแปรไร้มิติในรูปแบบของค่าตัวเลขนัสเซิลต์ ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มเช่นเดียวกันกับผลของค่าสัมประสิทธิ์

TSF-264

การถ่ายเทความร้อน คือ ค่าเลขนัสเซิลต์ที่อสมรรถนะสูงมีค่าที่สูงกว่าท่อเรียบปกติ

ผลของการสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานได้แสดงดังรูปที่ 4 และรูปที่ 6 ซึ่งมันสร้างความประหลาดใจเป็นอย่างยิ่ง เมื่อพบว่าผลการทดลองค่าความดันตกที่เกิดขึ้นของท่อสมรรถนะสูงชนิด Ribbed tube มีค่าที่ต่ำกว่าผลที่ได้จากท่อผิวเรียบปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะสังเกตได้อย่างชัดเจนที่ค่าเลข

เรย์โนลด์สูงๆ ทั้งนี้ พบว่าผลของเลขเรย์โนลด์ที่มีต่อค่าความดันตกคร่อมนั้น ให้ผลในทิศทางเดียวกันทั้งที่เกิดขึ้นในท่อสมรรถนะสูงและท่อเรียบ คือ ความดันตกแปรผันตามค่าเลขเรย์โนลด์ สำหรับในรูปที่ 6 นั้น ได้นำเสนอในรูปของตัวประกอบแรงเสียดทานซึ่งเป็นปริมาณไร้มิติ ก็ยังคงพบว่าท่อสมรรถนะสูงให้ผลที่ต่ำกว่า



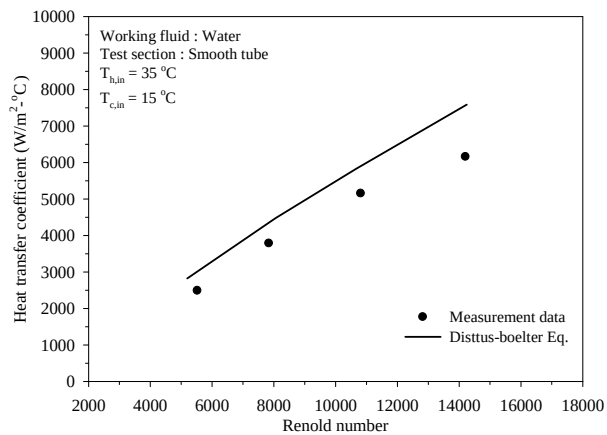
(a)



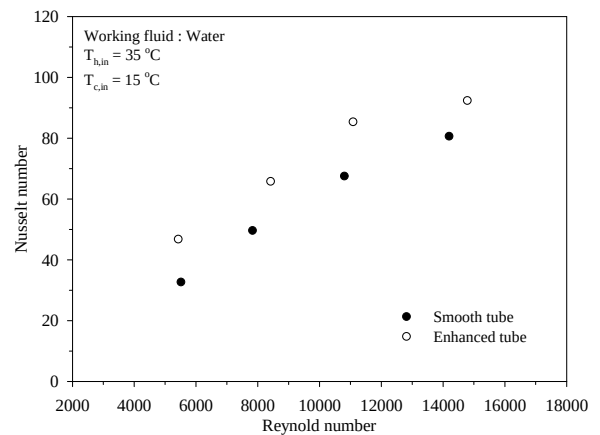
(b)

รูปที่ 1 (a) อุปกรณ์การทดลองสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อสมรรถนะสูง, (b) ลักษณะภายในของท่อสมรรถนะสูงชนิด Ribbed tube

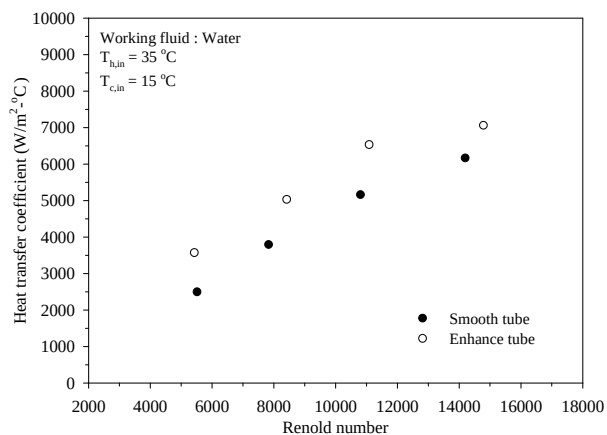
TSF-264



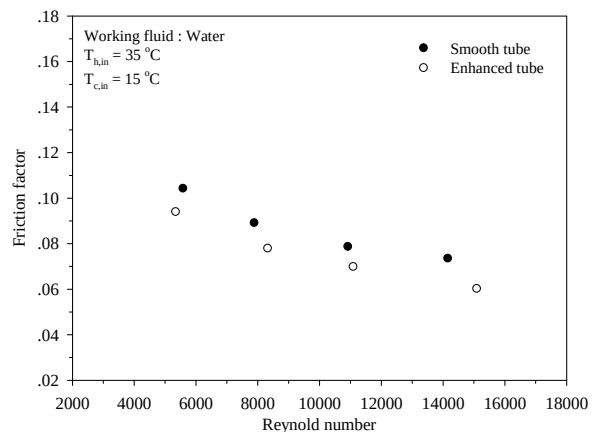
รูปที่ 2 ผลการสอบเทียบอุปกรณ์การทดลอง



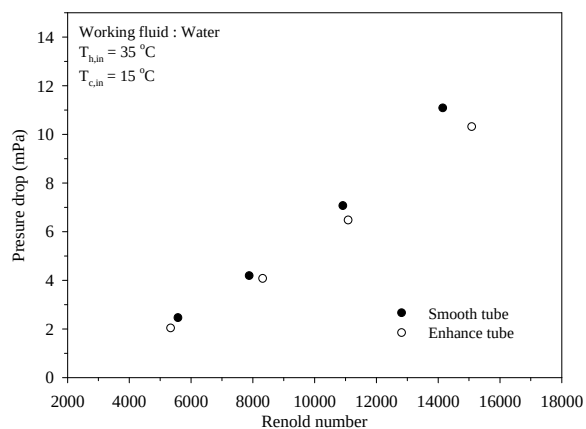
รูปที่ 5 เปรียบเทียบค่าเลขนัสเซลต์ระหว่างท่อเรียบ
ปกติกับท่อสมรรถนะสูง



รูปที่ 3 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน
ระหว่างท่อเรียบปกติกับท่อสมรรถนะสูง



รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่าตัวประกอบความเสียดทานที่
ระหว่างท่อเรียบปกติกับท่อสมรรถนะสูงที่ค่าเลขเรย์
โนลด์ต่างๆ



รูปที่ 4 เปรียบเทียบความดันตกที่เกิดขึ้นระหว่างท่อ
เรียบปกติกับท่อสมรรถนะสูง

การที่ค่าสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อค่าเลขเรย์โนลด์สูงขึ้นนั้น สามารถกล่าวได้ว่าเป็นผลมาจากของไหลทำงานไหลด้วยความเร็วสูงเกิดการปั่นป่วนในช่องทางการไหล ก่อให้เกิดการถ่ายเทพลังงานในก้อนของไหล เช่นเดียวกันนั้นท่อสมรรถนะสูงชนิด Ribbed tube ที่ถูกออกแบบให้ช่องทางการไหลมีลักษณะเป็นร่องเกลียวนั้น ของไหลทำงานที่ไหลผ่านจะถูกบังคับให้มีสภาวะการไหลเป็นแบบปั่นป่วนมากขึ้น จึงทำให้มีสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนที่สูงมากขึ้นเช่นกัน อย่างไรก็ตามในส่วนผล

TSF-264

ของความดันลดในการทดลองนี้ ยังยากที่จะอธิบายหรือให้เหตุผลที่แน่ชัดได้ แต่อาจจะตั้งข้อสันนิษฐานได้ว่า การที่ท่อสมรรถนะสูงให้ผลของความดันลดมีค่าต่ำกว่าผลจากท่อผิวเรียบปกติ อาจจะเป็นผลมาจากเกิดการไหลแบบ สลื่นไถล (slip) ของก้อนของไหล โดยก้อนของไหลอาจถูกบังคับให้ไหลในลักษณะหมุนวนเป็นเกลียวคล้ายสกรูจากลักษณะรูปทรงผิวท่อที่มีลักษณะเป็นเกลียว จากผลการทดลองข้างต้นสามารถกล่าวได้ว่า ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสมรรถนะสูงชนิด Micro-fin tube มีความเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำไปประยุกต์ใช้ในระบบถ่ายเทความร้อนหรืออุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้งานจริงเพื่อก่อให้เกิดผลประโยชน์และประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

5. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาสมรรถนะการถ่ายเทความร้อนของท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสมรรถนะสูงชนิด Ribbed tube โดยการให้ความร้อนเป็นแบบท่อ 2 ชั้น ไหลสวนทางกัน รูปแบบการไหลเป็นแบบปั่นป่วน และมีน้ำสะอาดเป็นของไหลทำงาน ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

- ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสมรรถนะสูงชนิด Ribbed tube มีค่าสูงกว่าท่อเรียบปกติประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์
- ค่าความดันลดที่เกิดขึ้นของ ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสมรรถนะสูงมีค่าต่ำกว่าท่อเรียบปกติประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์
- ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสมรรถนะสูงชนิด Micro-fin tube มีความเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงในระบบหรืออุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนเพื่อก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด

7. กิตติกรรม ประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักรับนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน ภายใต้กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์

พลังงาน ที่ได้มอบทุนอุดหนุนการวิจัย และขอขอบคุณ บริษัท ไทย-เยอรมัน โปรดัคส์ จำกัด (มหาชน) ที่ได้มอบท่อแลกเปลี่ยนความร้อนสมรรถนะสูง ที่ใช้ในการศึกษา ครั้งนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Brognaux, L.J., Webb, R.L., Chamra, L.M. and Chung, B.Y. (1997). Single-phase heat transfer in Micro-fin tubes, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 40(18), November–December 1997, pp. 4345-4357
- [2] Copetti, J.B., Macagnan, M.H., Souza, D. and Oliveski, R.C. (2004). Experiments with Micro-fin tube in single phase, International Journal of Refrigeration, vol. 27(8), December 2004, pp. 876-883
- [3] Han, D.H. and Lee, K.J. (2005). Single-phase heat transfer and flow characteristics of Micro-fin tubes, Applied Thermal Engineering, vol. 25(11–12), August 2005, pp. 1657-1669.
- [4] Naphon, P. and Sriomrui, P. (2006). Single-phase heat transfer and pressure drop in the Micro-fin tubes with coiled wire insert, International Communications in Heat and Mass Transfer, vol. 33(2), February 2006, pp. 176-183.
- [5] Li, X.W., Meng, J.A. and Li, Z.X. (2007). Experimental study of single-phase pressure drop and heat transfer in a Micro-fin tube, Experimental Thermal and Fluid Science, vol. 32(2), November 2007, pp. 641-648.
- [6] Siddique, M. and Alhazmy, M. (2008). Experimental study of turbulent single-phase flow and heat transfer inside a Micro-finned tube, International Journal of Refrigeration, vol. 31(2), March 2008, pp. 234-241

TSF-264

[7] Dittus, F.W. and Boelter, L. M. K. (1930). Heat transfer in automobile radiators of the tubular type. University of California Publications in Engineering, vol.2, 1930, pp. 443-461.