บทความวิจัย

คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของการไหลสถานะเดียวภายในท่อตรงและท่อขดเกลียวขนาดเล็ก

Single-Phase Heat Transfer Characteristics in the Straight and Helical Minichannel Tubes

สันติภาพ นาคแก้ว[1] รอนี บิลหมุด[2] และจตุพร แก้วอ่อน[3*]

Santiphap Nakkaew[1] Ronee Binmud[2] and Jatuporn Kaew-On[3*]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองเพื่อศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของน้ำขณะไหลผ่านท่อกลมขนาดเล็กที่เป็นท่อเส้นตรง และท่อขดเกลียว โดยที่ท่อทดสอบทำมาจากสแตนเลสซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อเท่ากับ 1.75 มิลลิเมตร ยาว 70 เซนติเมตร และที่เส้นผ่านศูนย์กลางของคอยล์ (ท่อขดเกลียว) เท่ากับ 34 48 และ 61 มิลลิเมตร ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของของไหลที่ไม่เปลี่ยนสถานะจะทดลองโดยใช้การให้ความร้อนแบบให้ความร้อนโดยตรง การทดลองจะทำการทดลองโดยการปรับเปลี่ยน อัตราการไหลของน้ำ และฟลักซ์ความร้อนค่า Reynolds number จะควบคุมให้ครอบคลุมทั้งช่วงของการเปลี่ยนผ่านและช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ในขณะที่ฟลักซ์ความร้อนอยู่ในช่วง 30 - 70 kW/m^2 จากผลการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อสัดส่วนความโค้งมีค่ามากขึ้น และเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าสหสัมพันธ์ของ Dittus-Boelter [1] Gnielinski [2] และ Petuknov [3] พบว่าไม่สามารถทำนายได้อย่างถูกต้อง

คำสำคัญ : การถ่ายเทความร้อน ของไหลสถานะเดียว ท่อขดเกลียว

Abstract

In the present work, the single-phase heat transfer of water flowing through the straight and helical minichannesl tubes was experimentally studied. The test section was made from the stainless tube with an internal diameter of 1.75 mm and 70 cm long. The coil diameters were 34, 48, and 61 mm. The single-phase heat transfer is experimentally determined based on the direct heating operation. The experiments have been carried out by varying the water flow rates and supplying heat fluxes. The Reynolds numbers were performed covering transition to turbulent flow regimes, while the

[1]นิสิตปริญญาตรี สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณพัทลุง 93110

[2]นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณพัทลุง 93110

[3*]อ.ดร. ประจำห้องปฏิบัติการ Thermal- Fluids Lab สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ พัทลุง 93110

*Corresponding author. Tel.: +6674-693995-2462; fax: +6674-693995; E-mail address: kaew_on@yahoo.com (J.Kaew-On)

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 23 ปี 2556

supplying heat fluxes were approximately 30 - 70 kW/m^2. The result illustrates that more enhanced heat transfer increase for tubes with greater curvature ratio. Furthermore, from the comparison of the experimental results with the selected correlations Dittus-Boeltor [1] Gnielinski [2] and Petuknov [3], we found that all of correlation failed to predict.

Keywords: Heat transfer, Single-phase, Helically coiled tube

1 บทนำ

ในปัจจุบันท่อกลมขนาดเล็กกำลังได้รับความสนใจและนิยมเป็นอย่างมาก เพราะสามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในงานต่าง ๆ เช่น เครื่องปรับอากาศรถยนต์ ระบบทำความร้อน ระบบทำความเย็น เครื่องปฏิกรณ์เคมี ตลอดจนถึงการระบายความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทั้งนี้เนื่องมาจากประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนที่สูง น้ำหนักเบา กะทัดรัด อีกทั้งยังช่วยประหยัดสารทำงานที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ ซึ่งจะได้เปรียบเมื่อเทียบกับท่อขนาดใหญ่แล้ว ทำให้นักวิจัยมุ่งเน้น และสนใจที่จะนำท่อขนาดเล็กมาใช้ทำเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในรูปแบบต่างๆ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีงานวิจัยที่นักวิจัยได้ศึกษา ดังนี้

Caney และคณะ [4] ได้ทำการศึกษาค่าความดันลดและการถ่ายเทความร้อนของการไหลแบบสถานะเดียวในท่อแนวดิ่งขนาดเล็กมาก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ว่าสมการที่มีอยู่เดิมสำหรับท่อขนาดใหญ่จะสามารถนำมาใช้กับท่อขนาดเล็กมากในแนวดิ่งได้หรือไม่ เขาได้ศึกษาท่ออลูมิเนียมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1 มิลลิเมตร และมีความยาวเท่ากับ 420 มิลลิเมตร เขาได้กำหนดค่า Reynolds number ,Re ในช่วง 310 ถึง 7,780 เพื่อให้ครอบคลุมการไหลทั้งแบบราบเรียบและปั่นป่วน ค่าฟลักซ์ความร้อนที่ป้อนให้อยู่ระหว่าง 1-8 kW/m^2 จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าสมการข้างต้นสามารถนำมาใช้ได้อย่างถูกต้อง

Naphon และ Khonseur [5] ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและความดันลดในชุดแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดเล็กมาก เขาทำการทดลองภายใต้ฟลักซ์ความร้อนคงที่ ช่วงของ Reynolds number และฟลักซ์ความร้อนอยู่ระหว่าง 200 – 1,000 และ 1.80 - 4.40 kW / m^2 ตามลำดับ จากการศึกษาเขาได้พบว่าความแตกต่างของรูปร่างและขนาดของความขรุขระของพื้นผิวช่องทางขนาดเล็กมากมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและความดันลดเป็นอย่างมาก

Garcia-Hernando [6] ได้ศึกษาเชิงทดลองเกี่ยวกับการไหลของของไหลและการถ่ายเทความร้อนในเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดเล็กมากที่เป็นการไหลสถานะเดียว ท่อที่ใช้ทดสอบมีลักษณะเป็นท่อเหลี่ยมหน้าตัด ซึ่งมี 2 ขนาด คือ 100 x 100 μm และ 200 x 200 μm จากการศึกษา เขาได้สรุปว่าการเปรียบเทียบระหว่างผลการทดลองและผลการคำนวณทางทฤษฎีมีความสอดคล้องกันและเป็นไปในทางเดียวกัน

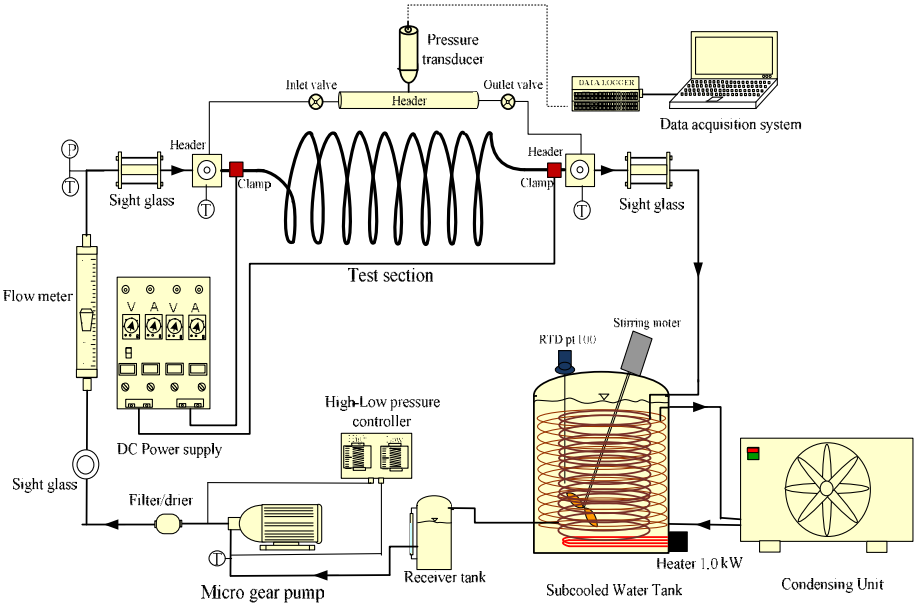
จากการทบทวนวรรณกรรมได้พบว่านักวิจัยหลายท่านทำการศึกษาทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้ท่อขนาดเล็ก ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่จะทดสอบโดยใช้ท่อตรงเป็นท่อทดสอบ แต่ในการใช้งานจริงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ท่อขนาดเล็กจะมีพื้นที่ในการติดตั้งน้อย ดังนั้นจะนำท่อขนาดเล็กมาขดเป็นขดเกลียวเพื่อให้มีขนาดกะทัดรัด ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นที่จะศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นขณะไหลผ่านท่อกลมขนาดเล็กทั้งที่เป็นท่อตรงและท่อขดเกลียว เพื่อนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มาเป็นแนวทางในสร้างสหสัมพันธ์เพื่อจะนำไปทำนายค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่อไป

2 อุปกรณ์การทดลอง

รูปที่ 1 แสดงชุดอุปกรณ์การทดลองซึ่งส่วนประกอบหลักก็จะประกอบไปด้วย Micro gear pump ชุดวัดอัตราการไหล ชุดท่อทดสอบ ชุดการทำความเย็น ชุดควบคุมไฟฟ้า และชุดบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ

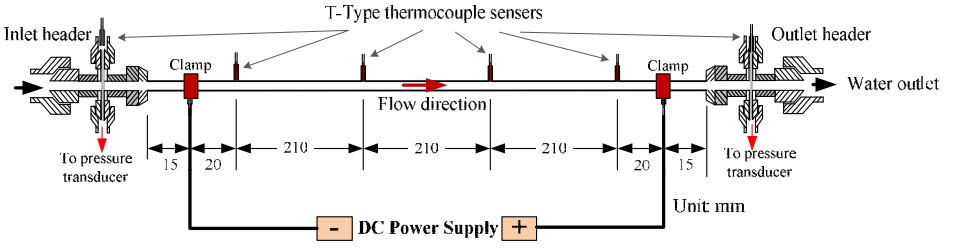
สำหรับการทำงานของระบบโดยเริ่มจากชุดการทำความเย็นทำงานจนกระทั่งได้อุณหภูมิที่เป็นไปตามเงื่อนไขการทดลอง จากนั้น Micro gear pump ก็จะปั๊มสารทำงานจากถังเก็บส่งผ่านไปยังชุดวัดอัตราการไหลเพื่อวัดอัตราการไหล ซึ่งการปรับอัตราการไหลนั้นสามารถที่จะปรับได้ 2 วิธีด้วยกัน คือ ปรับโดยควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ของ Micro gear pump ผ่านทางอินเวอร์เตอร์ และอีกวิธีก็สามารถปรับได้โดยควบคุมที่วาล์วของวงจรบายพาส เมื่อปรับอัตราการไหลของสารทำงานได้ตามที่กำหนด สารทำงานก็จะวิ่งผ่านชุดทดสอบ สำหรับรายละเอียดและลักษณะของชุดทดสอบได้แสดงในรูปที่ 2 ที่ผนังท่อด้านนอกของท่อทดสอบได้มีการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิซึ่งเป็นแบบชนิดที (T-Type thermocouple) จำนวน 4 ตำแหน่งตลอดความยาวของท่อเพื่อต้องการวัดอุณหภูมิที่ของผนังท่อ และได้ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิอีก 2 จุดที่ตำแหน่งทางเข้าและทางออกของชุดทดสอบเพื่อวัดอุณหภูมิของสารทำงานที่ตำแหน่งเข้าและออก จากรูปที่ 1 การรับความร้อนท่อทดสอบของงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการรับความร้อนตรง (Direct heating method) โดยใช้ DC power supply ขนาด 15 Volt 120 Ampere เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน เมื่อสารทำงานออกจากท่อทดสอบก็จะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น ดังนั้นเพื่อต้องการที่จะปรับให้อุณหภูมิของสารทำงานกลับมามีค่าเดิมจึงจำเป็นจะต้องมีชุดระบายความร้อน (Cooling loop) ซึ่งชุดระบายความร้อนจะประกอบไปด้วย Condensing Unit ขนาด 3 ตันความเย็น ถังเก็บสารทำงานขนาด 60 ลิตร ชุดควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นเมื่อสารทำงานมีอุณหภูมิเท่ากับเงื่อนไขที่ได้ตั้งไว้ก็จะนำไปเก็บที่ถังเก็บ และจะเริ่มการทำงานต่อไป

ในการบันทึกข้อมูลของแต่ละชุดจะทำการบันทึกที่สภาวะสมดุลทุกครั้ง สำหรับเงื่อนไขการทดลองและความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดได้แสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

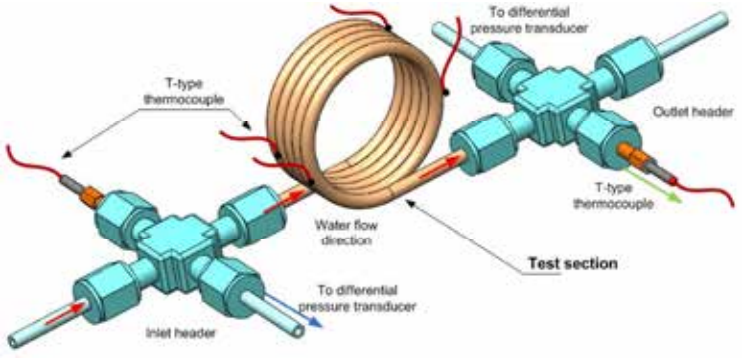


รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์การทดลอง

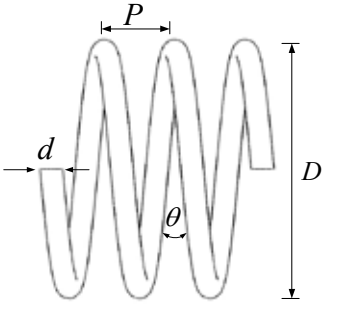
จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 23 ปี 2556



รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งเครื่องมือวัดที่ตำแหน่งๆของชุดทดสอบ



(a) ลักษณะคอยล์ของท่อขดเกลียวที่ใช้ทดลอง



(c) รูปทรงของท่อขดเกลียว

รูปที่ 3 รายละเอียดและลักษณะของชุดทดสอบ

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการทดลอง

Working fluid	Water
Test section material	Stainless
Tube diameter (mm)	1.75
Coiled diameter (mm)	38 48 and 61
Reynolds number (-)	3,000-16,000
Water temperature (ºC)	10 20 and 30
Heat flux (kW/m^2)	30 40 50 60 and 70

ตารางที่ 2 ค่าความคลาดเคลื่อน

Supply voltage (% Volt)	± 0.1
Supply current (% Ampere)	± 0.2
Temperature (ºC)	± 0.5
Mass flow rate of water (% of FS)	± 0.5

3 สมการที่ใช้ในการคำนวณ

3.1 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของการไหลสถานะเดียวภายในท่อตรงและท่อขดเกลียวขนาดเล็กสามารถคำนวณตามลำดับได้ดังนี้

อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ถ่ายเทให้กับสารทำงานจาก DC power supply สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$\dot{Q}_{elec} = VI \tag{1}$$

เมื่อ V และ I คือความต่างศักย์และกระแสไฟฟ้าที่ให้กับระบบสำหรับอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สารทำงานได้รับสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\dot{Q}_w = \dot{m}_w C_{p,w}\left(T_{w,out} - T_{w,in}\right) \tag{2}$$

เมื่อ $\dot{m}_w$ คืออัตราการไหลของน้ำ $C_{p,w}$ คือค่าความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ $T_{w,out}$ คืออุณหภูมิน้ำที่ตำแหน่งทางออก $T_{w,in}$ คืออุณหภูมิน้ำที่ตำแหน่งทางเข้าโดยเราสามารถหาอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยได้จากสมการ

$$\dot{Q}_{avg} = \frac{\dot{Q}_{elec} + \dot{Q}_w}{2} \tag{3}$$

ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ไม่มีการเปลี่ยนสถานะภายในท่อขนาดเล็กสามารถหาได้จากสมการ

$$h_{avg} = \frac{\dot{Q}_{avg}}{A_i\left(T_{wall,i,avg} - T_{w,avg}\right)} \tag{4}$$

เมื่อ $T_{w,avg}$ คืออุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่บริเวณท่อทดสอบ A_i คือพื้นที่ผิวภายในของท่อทดสอบ h_{avg} คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน ณ ตำแหน่งผนังด้านนอกของท่อทดสอบมีการติดตั้งเทอร์โมคับเปิลไว้ 4 จุด ($T_{wall,o}$) ดังนั้นเราสามารถหาค่าอุณหภูมิภายในของท่อได้จากสมการ

$$T_{wall,i} = T_{wall,o} - \frac{q''_{TS} r_i \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{k} \tag{5}$$

เมื่อพจน์หลังของสมการเป็นค่าความต้านทานความร้อนเนื่องจากผนังท่อที่ใช้ทดสอบโดยที่อุณหภูมิเฉลี่ยภายในของท่อทดสอบ ($T_{wall,i,avg}$) ที่ตำแหน่งวัดอุณหภูมิ 4 จุดของท่อทดสอบซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ 6

$$T_{wall,i,avg} = \frac{\sum_{i=1}^{4} T_{wall,i}}{n} \tag{6}$$

4 ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาเชิงทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของการไหลที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะภายในท่อตรงและท่อขดเกลียวขนาดเล็กโดยใช้เงื่อนไขการทดลองในตารางที่ 1 ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 3

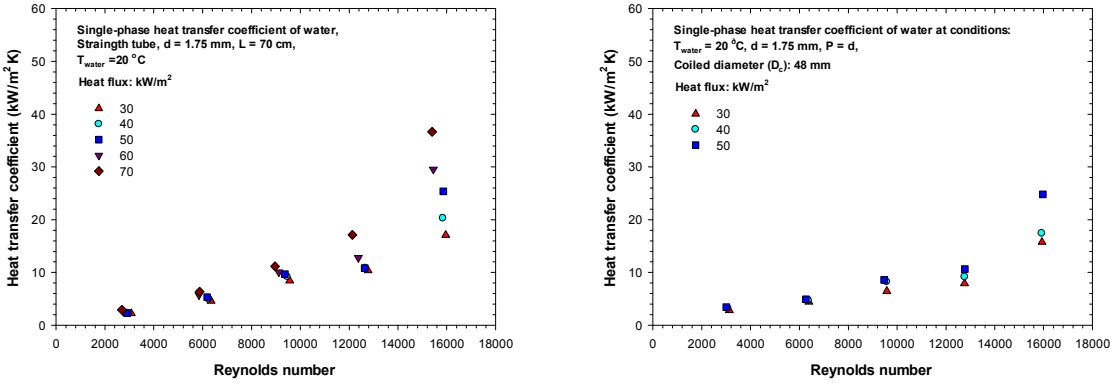
จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 23 ปี 2556

4.1 ผลของฟลักซ์มวลและฟลักซ์ความร้อนที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

จากรูปที่ 3 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ฟลักซ์ความร้อนต่างๆของท่อตรงและท่อขดเกลียว แสดงให้เห็นว่า เมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์มีค่าเพิ่มมากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะมีค่าสูงขึ้น และเมื่อฟลักซ์ความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

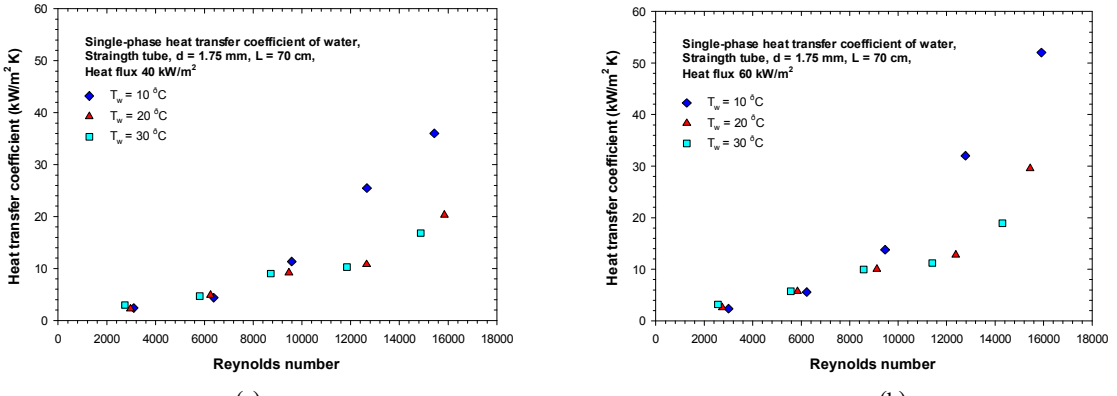
4.2 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 10 20 และ30 องศาเซลเซียส ของท่อตรงโดยใช้ฟลักซ์ความร้อนที่ 40 และ 60 kW/m^2 จากรูปแสดงให้เห็นว่าผลของอุณหภูมิน้ำที่ใช้ในการทดลองมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนน้อยมาก คือค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของน้ำลดลงจาก 30 20 และ 10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



(a) (b)

รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ฟลักซ์ความร้อนต่างๆของท่อตรงและท่อขดเกลียว

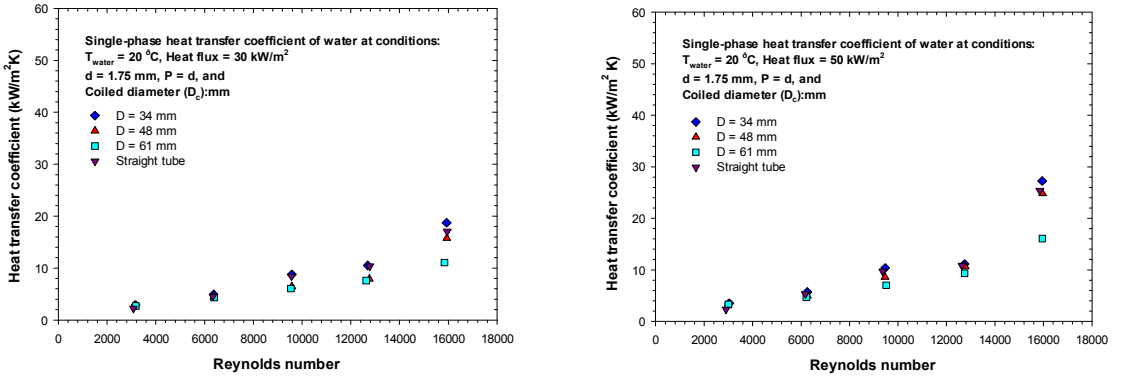


(a) (b)

รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่อุณหภูมิ 10, 20 และ 30 องศาเซลเซียส ของท่อตรง

4.3 ผลของขนาดของคอยล์ที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของท่อขดเกลียว

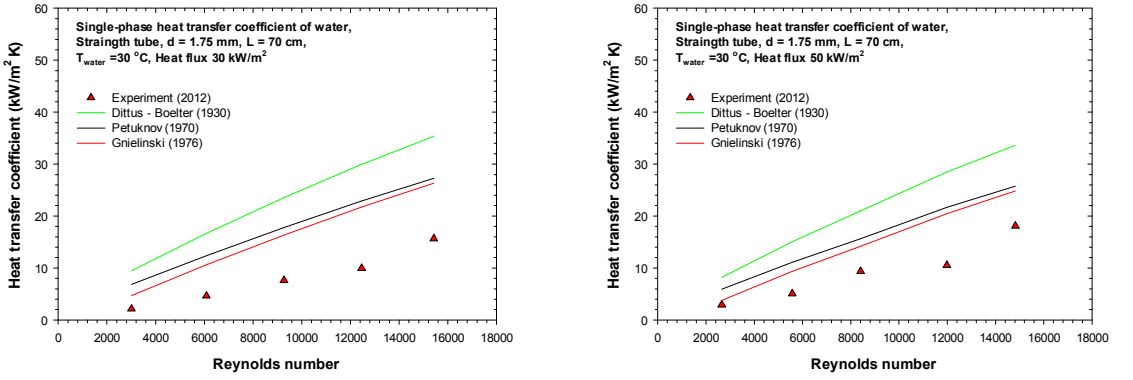
รูปที่ 5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่เส้นผ่านศูนย์กลางของคอยล์ของท่อขดเกลียวมีขนาดเท่ากับ 34 48 และ 61 มิลลิเมตร เปรียบเทียบกับท่อตรงโดยใช้ฟลักซ์ความร้อนที่ 30 kW/m^2 แสดงดังรูปที่ 5a และ 50 kW/m^2 แสดงดังรูปที่ 5b ตามลำดับ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของคอยล์ลดลงจาก 61 48 และ 34 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับท่อตรง จากการพิจารณากราฟความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่า ที่เส้นผ่านศูนย์กลางของคอยล์ของท่อขดเกลียวมีขนาดมากขึ้นไม่ได้ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ขนาดของคอยล์ของท่อขดเกลียวมีขนาดเท่ากับ 34, 48 และ 61 มิลลิเมตร เทียบกับท่อตรง

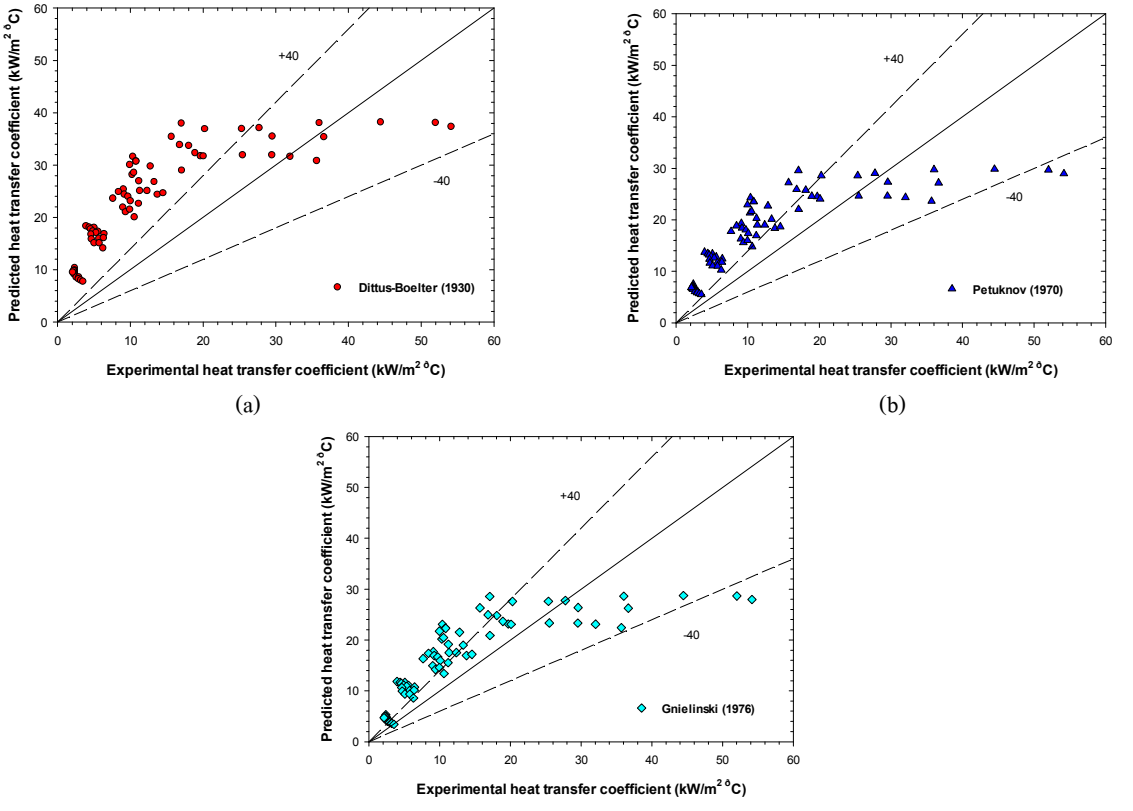
4.4 เปรียบเทียบผลการทดลองกับค่าที่คำนวณได้จากสหสัมพันธ์

รูปที่ 6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากสหสัมพันธ์ที่ 30 องศาเซลเซียส ในท่อตรงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อทดลองเท่ากับ 1.75 มิลลิเมตร และยาว 70 เซนติเมตร โดยใช้ฟลักซ์ความร้อนที่ 30 และ 50 kW/m^2 ตามลำดับ จากรูปแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากสหสัมพันธ์ที่เสนอโดย Dittus-Boelter [1] Gnielinski [2] และ Petuknov [3] มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง แต่ลักษณะของเส้นกราฟมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน จากกราฟแสดงความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าค่าสหสัมพันธ์ที่ใช้อ้างอิงไม่สามารถนำมาใช้ทำนายค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของชุดอุปกรณ์การทดลองนี้ได้ เนื่องจากค่าสหสัมพันธ์ที่ใช้อ้างอิงนั้นได้มาจากการทดลองท่อที่มีขนาดใหญ่และลักษณะเฉพาะของท่อที่ใช้ทดลองต่างกัน



(a) (b)

รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ขนาดของคอยล์ของท่อขดเกลียวมีขนาดเท่ากับ 34 48 และ 61 มิลลิเมตร เทียบกับท่อตรง



(a) (b)

(c)

รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากการทดลองและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากสหสัมพันธ์ของ (a) Dittus-Boelter [1] (b) Gnielinski [2] (c) Petuknov [3]

รูปที่ 7 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ได้จากการทำนายจากสหสัมพันธ์เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง ของข้อมูลทั้งหมด จากรูปแสดงให้เห็นว่าค่าสหสัมพันธ์ที่เสนอโดย Dittus-Boelter [1] Gnielinski [2] และ Petuknov [3] สามารถทำนายค่าที่ได้จากการทดลองได้ในช่วงที่มีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน

5 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองเพื่อศึกษาคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของน้ำขณะไหลผ่านท่อกลมขนาดเล็กที่เป็นท่อเส้นตรง และท่อขดเกลียว ท่อทดสอบทำมาจากสแตนเลสซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อเท่ากับ 1.75 มิลลิเมตร ยาว 70 เซนติเมตร ในขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางของคอยล์ (ท่อขดเกลียว) เท่ากับ 34 48 และ 61 มิลลิเมตร จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ค่าสัมประสิทธ์การถ่ายเทความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์และฟลักซ์ความร้อนมีค่าสูงขึ้น แต่ค่าสัมประสิทธ์การถ่ายเทความร้อนจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสารทำงานมีค่าลดลง สำหรับผลของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอยล์ของท่อขดเกลียวพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายความร้อนมีค่าสูงขึ้นเมื่อขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางคอยล์มีค่าลดลง และสุดท้ายจากการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับการทำนายโดยใช้สหสัมพันธ์ที่เสนอโดย Dittus-Boelter [1] Gnielinski [2] และ Petuknov [3] ไม่สามารถทำนายผลการทดลองได้อย่างถูกต้อง

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ สำหรับทุนวิจัย และขอขอบคุณสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณที่ให้ความสะดวกในเรื่องสถานที่และสนับสนุนงบประมาณบางส่วนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Dittus, F.W. and Boelter L.M.K. (1930). Heat transfer in automobile radiators of tabular type, University of California, Berkley, **PublEng.** 2, 459-470.

[2] Petuknov B.S. (1970). Heat transfer and friction in turbulent pipes flow with variable physical properties. In Advances in Heat Transfer, (6).

[3] Gnielinski,V. (1976). New equations for heat and mass transfer in turbulent pipe and channel flow, International Journal of Chemical Engineering. 16, 359-368.

[4] Caney N. (2006). Friction losses and heat transfer of single-phase flow in a mini-channel. Applied Thermal Engineering. 27, 1715–1721.

[5] Naphon, P. and Wongwises, S. (2006) A review of flow and heat transfer characteristics in curved tubes, Renewable and Sustainable Energy Review. 10, 463-490.

[6] Garcia-Hernando, N. (2009). Experimental investigation of fluid flow and heat transfer in a single-phase liquid flow micro-heat exchanger. International Journal Heat and Mass Transfer. 52, 5433–5446.