

ความดันสูญเสียของการไหลสถานะเดียวภายในท่อตรงและท่อขดเกลียวขนาดเล็ก

Single-Phase Pressure Drop in the Straight and Helical Minichannel Tubes

สันติภาพ นาคแก้ว¹ สุประดิษฐ์ ยวนทอง² และ จตุพร แก้วอ่อน^{3*}

Santiphap Nakkaew¹ Supradit Yuanthong² and Jatuporn Kaew-On^{3*}

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาลักษณะการไหลของน้ำผ่านท่อกลมขนาดเล็กที่เป็นท่อตรง และท่อขดเกลียว ท่อทดสอบทำมาจากสแตนเลสซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อเท่ากับ 1.75 มิลลิเมตร ยาว 70 เซนติเมตร ในขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางของคอยล์ (ท่อขดเกลียว) เท่ากับ 34.48 และ 61 มิลลิเมตร ค่าความดันสูญเสียที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะจะทดลองโดยใช้การให้ความร้อนแบบให้ความร้อนโดยตรง การทดลองจะทำการทดลองโดยการปรับเปลี่ยน อัตราการไหลของน้ำ และฟลักซ์ความร้อน ค่า Reynolds number จะควบคุมให้ครอบคลุมทั้งช่วงของการเปลี่ยนผ่านและช่วงการไหลแบบปั่นป่วน ในขณะที่ฟลักซ์ความร้อนอยู่ในช่วง 30 - 70 kW/m² จากผลการทดลองพบว่าเมื่อค่าความดันสูญเสียเพิ่มขึ้นค่าสัดส่วนความโค้งมีค่ามากขึ้น ส่วนค่าของฟลักซ์ความร้อนจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความดันสูญเสียและเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าสหสัมพันธ์ที่เสนอโดย Moody [1], Churchill [2], Round [3] และ Haaland [4] พบว่าสหสัมพันธ์อ้างอิงไม่สามารถทำนายค่าจากการทดลองได้อย่างถูกต้อง

คำสำคัญ : ความดันสูญเสีย ท่อขดเกลียว การไหลแบบสถานะเดียว

Abstract

In the present work, the pressure drop of water flowing through the straight and helical minichannel 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 pressure drop 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.

¹นิสิตปริญญาตรี สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณพัทลุง 93110

²นิสิตปริญญาโท สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณพัทลุง 93110

³อ.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)

The Reynolds numbers were performed covering transition to turbulent flow regimes, while the supplying heat fluxes were approximately $30 - 70 \text{ kW/m}^2$. The result illustrates that more enhanced pressure drop increase for tubes with greater curvature ratio. The supply heat fluxes have no significant effect on the pressure drop. Furthermore, from the comparison of the experimental results with the selected correlations Moody [1], Churchill [2], Round [3] and Haaland [4], we found that all of correlation failed to predict.

Keywords: Pressure drop, Helically coiled tube, Single-phase flow

1 บทนำ

ในปัจจุบันท่อกลมขนาดเล็กกำลังได้รับความสนใจและนิยมเป็นอย่างมาก เพราะสามารถนำไปใช้เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในงานต่างๆ เช่น เครื่องปรับอากาศรถยนต์ ระบบทำความร้อน ระบบทำความเย็น เครื่องปฏิกรณ์เคมี ตลอดจนถึงการระบายความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ทั้งนี้เนื่องมาจากประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนที่สูง น้ำหนักเบา กะทัดรัด อีกทั้งยังช่วยประหยัดพลังงานที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนได้ ซึ่งจากข้อได้เปรียบเมื่อเทียบกับท่อขนาดใหญ่แล้ว ทำให้นักวิจัยมุ่งเน้น และสนใจที่จะนำท่อขนาดเล็กมาใช้งานทำเป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในรูปแบบต่างๆ จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า มีงานวิจัยที่นักวิจัยได้ศึกษา ดังนี้

Naphon [5] ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและความดันตกในท่อขุ่ขานแบบมีเกลียวด้านใน โดยใช้ท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 8.10 มิลลิเมตร และ 9.54 มิลลิเมตร เกลียวทำมาจากอลูมิเนียมที่มีความหนาเท่ากับ 1 มิลลิเมตร และยาวเท่ากับ 2,000 มิลลิเมตร กำหนดให้อัตราการไหลของน้ำเย็นและน้ำร้อนอยู่ระหว่าง $0.01 - 0.07 \text{ kg/s}$ และ $0.04 - 0.08 \text{ kg/s}$ ตามลำดับ และให้อุณหภูมิระหว่าง $5-20$ องศาเซลเซียส และ $40-45$ องศาเซลเซียส ตามลำดับ ซึ่งจะนำค่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและค่าความสูญเสียเนื่องจากเกลียว มาเปรียบเทียบกับท่อที่ไม่มีเกลียว ซึ่งจากการศึกษาได้มีการนำเสนอส่วนมากค่าทั้งสองเท่ากับ $\pm 15\%$ และ $\pm 10\%$ ตามลำดับ ผลงานวิจัยพบว่าท่อที่มีเกลียวมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นและความดันตกก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน พร้อมทั้งได้เสนอความสัมพันธ์สำหรับประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและค่าความสูญเสียจากข้อมูลที่ได้จากการทดลองเพื่อนำไปใช้งานจริง และมีค่าสอดคล้องกับค่าที่มีการนำเสนอก่อนหน้านี้

Caney และคณะ [6] ได้ทำการศึกษาค่าความดันตกและการถ่ายเทความร้อนของการไหลแบบสถานะเดียวในท่อแนวตั้งขนาดเล็กมาก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพิสูจน์ว่าสมการที่มีอยู่เดิมสำหรับท่อขนาดใหญ่จะสามารถนำมาใช้กับท่อขนาดเล็กมากในแนวตั้งได้หรือไม่ เขาได้ศึกษาท่ออลูมิเนียมที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 1 มิลลิเมตร และมีความยาวเท่ากับ 420 มิลลิเมตร เขาได้กำหนดค่า Reynolds number, Re ในช่วง 310 ถึง 7,780 เพื่อให้ครอบคลุมการไหลทั้งแบบราบเรียบและปั่นป่วน ค่าฟลักซ์ความร้อนที่ป้อนให้อยู่ระหว่าง $1-8 \text{ kW/m}^2$ จากการทดลองนี้จะเห็นได้ว่าสมการข้างต้นสามารถนำมาใช้ได้อย่างถูกต้อง

Naphon และ Khonseur [7] ได้ศึกษาการถ่ายเทความร้อนและความดันตกในชุดแลกเปลี่ยนความร้อนขนาดเล็กมาก เขาทำการทดลองภายใต้ฟลักซ์ความร้อนที่ ช่วงของ Reynolds number และฟลักซ์ความร้อนอยู่ระหว่าง $200 - 1,000$ และ $1.80 - 4.40 \text{ kW/m}^2$ ตามลำดับ จากการศึกษาเขาได้พบว่าความแตกต่างของรูปร่างและขนาดของความขรุขระของพื้นผิวช่องทางขนาดเล็กมากมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนและความดันตกเป็นอย่างมาก

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 23 ปี 2556

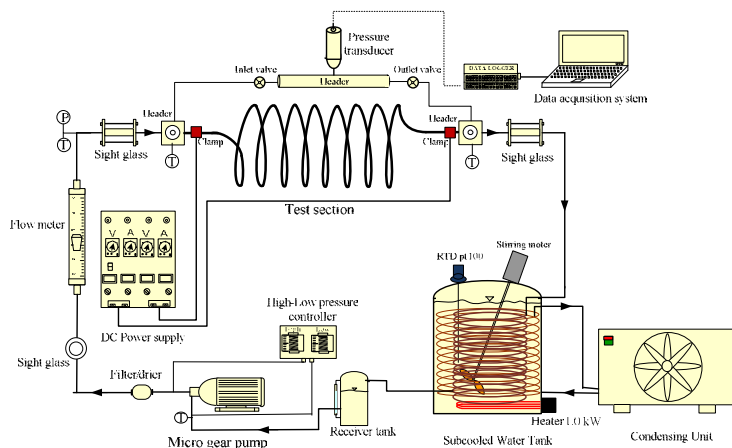
จากการทบทวนวรรณกรรมได้พบว่านักวิจัยหลายท่านทำการศึกษาทดลองเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้ท่อขนาดเล็ก ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่จะทดสอบโดยใช้ท่อตรงเป็นท่อทดสอบ แต่ในการใช้งานจริงของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้ท่อขนาดเล็กจะมีพื้นที่ในการติดตั้งน้อย ดังนั้นจะนำท่อขนาดเล็กมาจัดเป็นขดเกลียวเพื่อให้มีขนาดกะทัดรัด ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นที่จะศึกษาค่าความดันสูญเสียที่เกิดขึ้นขณะไหลภายใต้การรับความร้อนแบบคงที่ผ่านท่อกลมขนาดเล็กทั้งที่เป็นท่อตรงและท่อขดเกลียว เพื่อนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆ มาเป็นแนวทางในการสร้างสหสัมพันธ์เพื่อที่จะนำไปทำนายค่าความดันสูญเสียในการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนต่อไป

2 วิธีการวิจัย

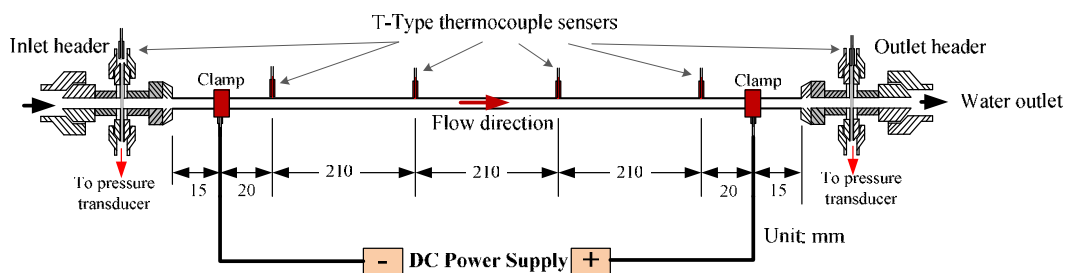
รูปที่ 1 แสดงชุดอุปกรณ์การทดลองซึ่งส่วนประกอบหลักก็จะประกอบไปด้วย Micro gear pump ชุดวัดอัตราการไหล ชุดทดสอบ ชุดการทำความเย็น ชุดควบคุมไฟฟ้า และชุดบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ

สำหรับการทำงานของระบบ โดยเริ่มจากชุดการทำความเย็นทำงานจนกระทั่งได้อุณหภูมิที่เป็นไปตามเงื่อนไขการทดลอง จากนั้น Micro gear pump ก็จะปั๊มสารทำงานจากถังเก็บส่งผ่านไปยัง Flow meter เพื่อวัดอัตราการไหล ซึ่งการปรับอัตราการไหลนั้นสามารถที่จะปรับได้ 2 วิธีด้วยกัน คือ ปรับโดยควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ของ Micro gear pump ผ่านทางอินเวอร์เตอร์ และอีกวิธีก็สามารถปรับได้โดยควบคุมที่วาล์วของวงจรบายพาส เมื่อปรับอัตราการไหลของสารทำงานได้ตามที่กำหนด สารทำงานก็จะไหลผ่านชุดทดสอบ สำหรับรายละเอียดและลักษณะของชุดทดสอบได้แสดงในรูปที่ 2 ที่ผนังท่อด้านนอกของท่อทดสอบได้มีการติดตั้งหัววัดอุณหภูมิซึ่งเป็นแบบชนิดที (T-Type thermocouple) จำนวน 4 ตำแหน่งตลอดความยาวของท่อเพื่อต้องการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งผนังท่อ และได้ติดตั้งหัววัดอุณหภูมิอีก 2 จุดที่ตำแหน่งทางเข้าและทางออกของชุดทดสอบเพื่อวัดอุณหภูมิของสารทำงานที่ตำแหน่งเข้าและออก จากรูปที่ 2 การรับความร้อนของท่อทดสอบของงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการรับความร้อนตรง (Direct heating method) โดยใช้ DC power supply ขนาด 15 Volt 120 Ampere เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน และเมื่อของไหลผ่านชุดทดสอบก็จะวัดความดันสูญเสียโดยติดตั้ง Pressure transducer ซึ่งต่อกับตำแหน่งทางเข้าและทางออกของชุดทดสอบและจะใช้วาล์วในการปิดเปิดเพื่อวัดค่าความดันสูญเสียดังแสดงในรูปที่ 1 เมื่อสารทำงานออกจากท่อทดสอบก็จะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น ดังนั้นเพื่อต้องการที่จะปรับให้อุณหภูมิของสารทำงานกลับมามีค่าเดิมจึงจำเป็นต้องมีชุดระบายความร้อน (Cooling loop) ซึ่งชุดระบายความร้อนจะประกอบไปด้วย Condensing Unit ขนาด 3 ตันความเย็น ถึงเก็บสารทำงานขนาด 60 ลิตร ชุดควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นเมื่อสารทำงานมีอุณหภูมิเท่ากับเงื่อนไขที่ได้ตั้งไว้ก็จะนำไปเก็บที่ถังเก็บ และจะเริ่มการทำงานต่อไป

ในการบันทึกข้อมูลของแต่ละชุดจะทำการบันทึกที่เงื่อนไขสมมูลทุกครั้ง สำหรับเงื่อนไขการทดลองและความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัดได้แสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 1 แสดงส่วนประกอบของชุดอุปกรณ์ทดลอง



รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งเครื่องมือวัดที่ตำแหน่งๆของชุดทดสอบ

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 (°C)	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 (°C)	± 0.5
Mass flow rate of water (% of FS)	± 0.5

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 23 ปี 2556

3 สมการที่ใช้ในการคำนวณ

3.1 ความดันสูญเสีย

จากค่าความดันสูญเสียรวมทั้งหมดของระบบสามารถหาได้จากความดันสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน ความดันสูญเสียเนื่องจากความเร่งของของไหล ความดันสูญเสียทางเข้า ความดันสูญเสียทางออก แสดงได้จากสมการที่ 1

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{fric} + \Delta P_a + \Delta P_{inlet} + \Delta P_{outlet} \quad (1)$$

เมื่อ ΔP_{total} คือ ความดันสูญเสียรวมทั้งหมดระบบ ΔP_{fric} คือ ความดันสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทานจากความขรุขระของท่อ ΔP_a คือ ความดันสูญเสียเนื่องจากความเร่ง ΔP_{inlet} คือ ความดันสูญเสียเนื่องจากตำแหน่งทางเข้า ΔP_{outlet} คือ ความดันสูญเสียเนื่องจากตำแหน่งทางออก แต่จากการวิเคราะห์ระบบการไหลในท่อที่วางในแนวราบ และความเร่ง ดังนั้นค่าความดันสูญเสียในระบบ จะเขียนได้ใหม่ดังสมการ

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{fric} \quad (2)$$

และจากการเปลี่ยนแปลงของความดันของระบบดังสมการ

$$\Delta P = \rho g h_L \quad (3)$$

เมื่อ h_L คือค่า Head loss หาได้จากสมการที่ 4

$$h_L = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (4)$$

เมื่อ h_L คือ ค่าสูญเสียความดันหลักเนื่องจากแรงเสียดทานในท่อ f คือ สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน L คือ ความยาวท่อ D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ v คือ ความเร็วเฉลี่ยของของไหลภายในท่อ g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

4 ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาเชิงทดลองหาค่าความดันสูญเสียของการไหลที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะภายในท่อตรงและท่อขดเกลียวขนาดเล็กโดยใช้เงื่อนไขในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 1 ได้ผลการทดลองดังนี้

4.1 ผลของฟลักซ์มวลและฟลักซ์ความร้อนที่มีผลต่อค่าความดันสูญเสีย

รูปที่ 3 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสียและค่าเรย์โนลด์ส์นับเบอร์ที่ฟลักซ์ความร้อนต่างๆ ของท่อตรงและท่อขดเกลียว จากรูปแสดงให้เห็นว่าเมื่อค่าเรย์โนลด์ส์นับเบอร์มีค่าเพิ่มมากขึ้นค่าความดันสูญเสียจะมีค่าสูงขึ้นด้วยแต่ฟลักซ์ความร้อนจะไม่ผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความดันสูญเสีย

4.2 ผลของอุณหภูมิที่มีผลต่อค่าความดันสูญเสีย

รูปที่ 4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสียและค่าเรย์โนลด์ส์นับเบอร์ที่อุณหภูมิของน้ำเท่ากับ 10 20 และ 30 องศาเซลเซียส ของท่อตรงโดยใช้ฟลักซ์ความร้อนที่ 40 และ 60 kW/m² จากรูปแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของน้ำมีผลต่อค่าความดันสูญเสียน้อยมาก

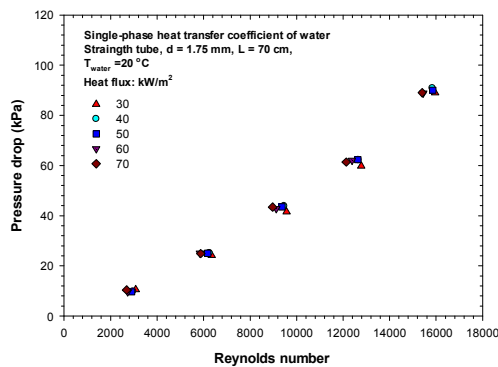
4.3 ผลของขนาดของคอยล์ที่มีผลต่อค่าความดันสูญเสียของท่อเกลียว

รูปที่ 5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสียและค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ที่เส้นผ่านศูนย์กลางของคอยล์ของท่อเกลียวมีขนาดเท่ากับ 34, 48 และ 61 มิลลิเมตร เทียบกับท่อตรง โดยใช้ฟลักซ์ความร้อนที่ 30 และ 50 kW/m^2 จากรูปแสดงให้เห็นว่าค่าความดันสูญเสียจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอยล์ลดลงจาก 61, 48 และ 34 มิลลิเมตร ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับท่อตรงจากกราฟแสดงความสัมพันธ์ พบว่าค่าความดันสูญเสียของท่อตรงมีน้อยกว่าค่าความดันสูญเสียของท่อเกลียว

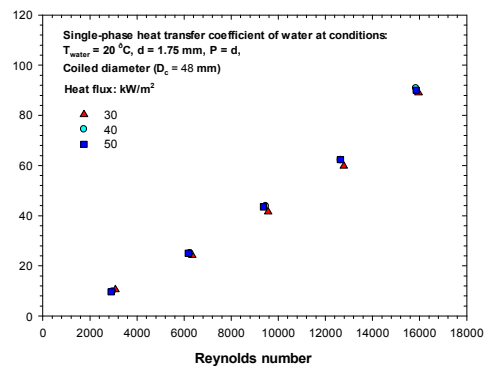
4.4 เปรียบเทียบผลการทดลองกับค่าที่คำนวณได้จากสหสัมพันธ์

จากรูปที่ 6 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสียและค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากสหสัมพันธ์ที่ 20 องศาเซลเซียส ในท่อตรงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อทดลองเท่ากับ 1.75 มิลลิเมตร และยาว 70 เซนติเมตร โดยใช้ฟลักซ์ความร้อนที่ 50 kW/m^2 จากรูปแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้จากสหสัมพันธ์ที่เสนอโดย Moody [1], Churchill [2], Round [3] และ Haaland [4] ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีค่าความดันสูญเสียต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง แต่ลักษณะของเส้นกราฟมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน

รูปที่ 7 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสียที่ได้จากการทำนายจากสหสัมพันธ์ที่เสนอโดย Moody [1], Churchill [2], Round [3] และ Haaland [4] เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการทดลอง ของข้อมูลทั้งหมด พบว่าค่าสหสัมพันธ์ที่ใช้อ้างอิงจะสามารถทำนายค่าจากการทดลองได้ในช่วง - 40 %



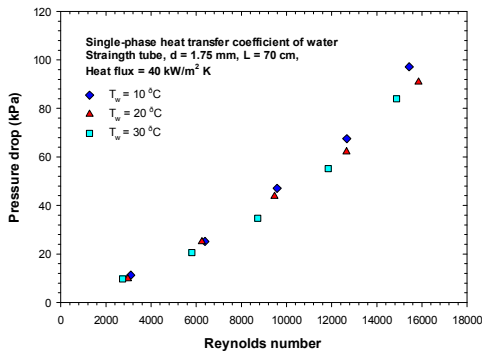
(a)



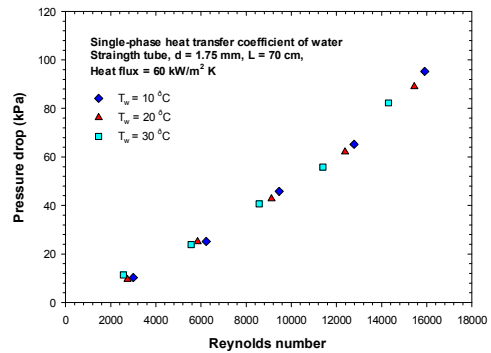
(b)

รูปที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสียและค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์ที่ฟลักซ์ความร้อนต่างๆ

จากงานประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 23 ปี 2556

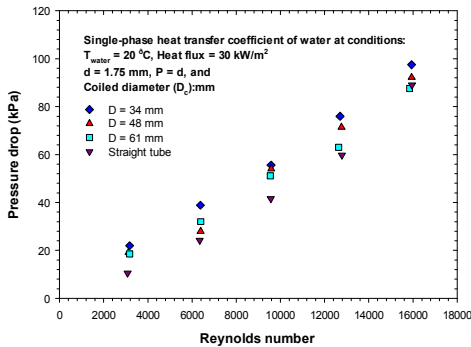


(a)

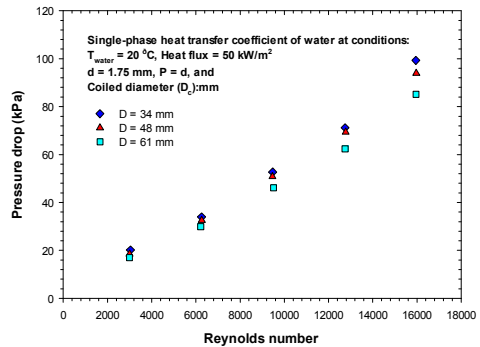


(b)

รูปที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสียและค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่อุณหภูมิต่างๆ

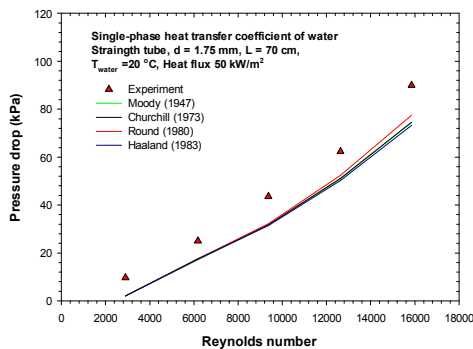


(a)

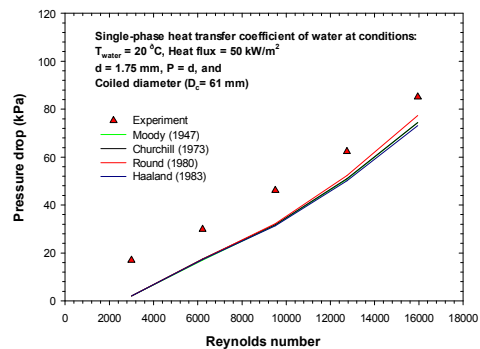


(b)

รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสียและค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างๆ

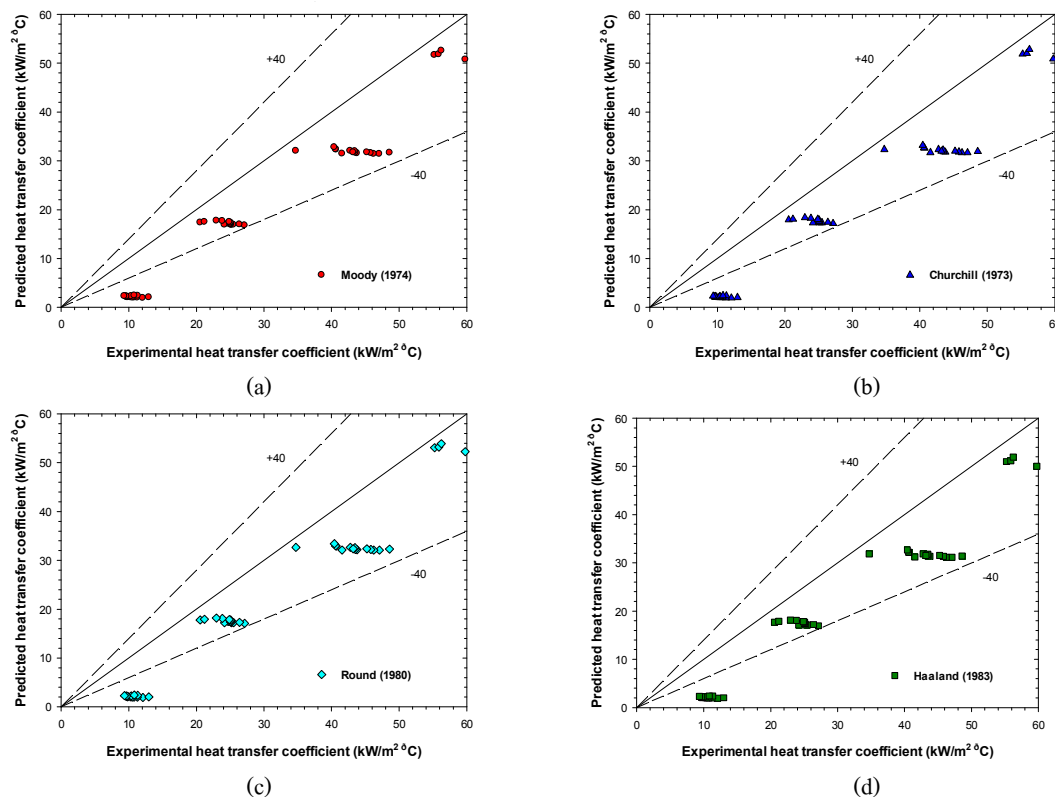


(a)



(b)

รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสียและค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่ได้จากการทดลองเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสของท่อตรงและท่อเกลียว



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันสูญเสียจากการทดลองและค่าความดันสูญเสียจากสหสัมพันธ์ของ Moody [1], Churchill [2], Round [3] และ Haaland [4]

5 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองเพื่อศึกษาค่าความดันสูญเสียของน้ำขณะไหลผ่านท่อกลมขนาดเล็กที่เป็นท่อเส้นตรง และท่อขดเกลียว ซึ่งท่อทดสอบทำมาจากสแตนเลสมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อเท่ากับ 1.75 มิลลิเมตร ยาว 70 เซนติเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางของคอยล์ (ท่อขดเกลียว) เท่ากับ 34, 48 และ 61 มิลลิเมตร จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ค่าความดันสูญเสียจะสูงขึ้นเมื่อค่าเรย์โนลด์ส์นัมเบอร์เพิ่มขึ้น แต่ค่าความดันสูญเสียจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสารทำงานมีค่าลดลง ส่วนผลลัพธ์ความร้อนไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความดันสูญเสีย สำหรับผลของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอยล์ของท่อขดเกลียวพบว่า ค่าความดันสูญเสียมีค่าสูงขึ้นเมื่อขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของคอยล์มีค่าลดลง และจากการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับการทำนายโดยใช้สหสัมพันธ์ที่เสนอโดย Moody [1], Churchill [2], Round [3] และ Haaland [4] ไม่สามารถทำนายได้ถูกต้อง

คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยทักษิณ สำหรับทุนวิจัย และขอขอบคุณสาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยทักษิณ ที่ให้ความสะดวกในเรื่องสถานที่และสนับสนุนงบประมาณบางส่วนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Moody, L.F. (1947). An approximate formula for pipe friction factors. Transaction of ASME. 69 (12), 1005–1011.
- [2] Churchill, S.W. (1973). Empirical expressions for the shear stress in turbulent flow in commercial pipe. AIChE Journal. 19 (2), 375–376.
- [3] Round, G.F. (1980). An explicit approximation for the friction factor-Reynolds number relation for rough and smooth pipes. Canada Journal of Chemical Engineering. 58 (1), 122–123.
- [4] Haaland, S.E. (1983). Simple and explicit formulas for the friction factor in turbulent pipe flow. Journal of Fluids Engineering. 105 (1), 89-90.
- [5] Naphon, P. (2006). Heat transfer and pressure drop in the horizontal double pipes with and without twisted tape insert. International Communication Heat and Mass Transfer. 33, 166–175.
- [6] Caney, N. (2006). Friction losses and heat transfer of single-phase flow in a mini-channel. Applied Thermal Engineering. 27, 1715–1721.
- [7] Naphon, P. and Khonseur, O. (2009). Study on the convective heat transfer and pressure drop in the micro-channel heat sink. International Communication Heat and Mass Transfer. 36, 39–44