

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 24
20 - 22 ตุลาคม 2553 จังหวัดอุบลราชธานี

การศึกษาเชิงทดลองคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน แบบ 3 ท่อซ้อนกันร่วมศูนย์

Experimental Study of Heat Transfer Characteristics of Triple Concentric-tube Heat Exchanger

ศักดิ์ชัย แสงทับทิม¹ กฤษฎา ไชยราช¹ และ ชลภัทร ตันประดิษฐ์^{2*}

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีปทุมวัน
833 ถนนพระราม1 แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

² สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เลขที่ 2 ถนนนางลิ้นจี่ เขตสาทร กรุงเทพฯ 10120

* ติดต่อ: โทรศัพท์: 0-2287-9653 ต่อ1246, โทรสาร: 0-2287-9653

E-mail: cholapatr_tan@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนซึ่งประกอบด้วยการกระจายตัวอุณหภูมิและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 3 ท่อซ้อนกันร่วมศูนย์ (TTHE) ใช้ท่อทองแดงมีเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 13 31.8 และ 51 mm ตามลำดับ โดยมีความหนา 1.5 mm และความยาว 2.30 m เท่ากันหมด ใช้น้ำเป็นสารทำงาน กำหนดให้น้ำร้อนไหลภายในท่อชั้นกลาง (ท่อที่ 2) ซึ่งมีอุณหภูมิอยู่ระหว่าง 50-60 °C และมีลักษณะการไหลเป็นแบบสวนทางกันกับน้ำเย็นซึ่งไหลอยู่ในท่อชั้นใน (ท่อที่ 1) และนอก (ท่อที่ 3) ค่าเรย์โนลด์ส์นับเบอร์ที่ใช้ทดสอบอยู่ในช่วงระหว่าง 1,668 - 41,339 จากการทดสอบพบว่ากรณีแรกให้อัตราการไหลของน้ำที่ไหลในท่อทั้งสามเท่ากัน ค่าอุณหภูมิแอปโพรชโดยเฉลี่ยทั้งหมดของท่อที่ 1 และ 3 เท่ากับ 10.6 °C และ 12.4 °C ตามลำดับ U_{21}/U_{23} เท่ากับ 3.90 และ U_e เท่ากับ 2.46 kW/m² กรณีที่ให้อัตราการไหลท่อ 1 และ 3 คงที่ พบว่าค่าอุณหภูมิแอปโพรชของท่อที่ 1 และ 3 เท่ากับ 12.5 °C และ 13.1 °C ตามลำดับ ค่า U_{21}/U_{23} เท่ากับ 2.82 และ U_e เท่ากับ 2.50 kW/m² กรณีที่ให้อัตราการไหลท่อ 1 และ 2 คงที่ พบว่าค่าอุณหภูมิแอปโพรชของท่อที่ 1 และ 3 เท่ากับ 5 °C และ 4.5 °C ตามลำดับ ค่า U_{21}/U_{23} เท่ากับ 1.19 และ U_e เท่ากับ 3.55 kW/m² และกรณีที่สุดท้ายให้อัตราการไหลท่อ 2 และ 3 คงที่ พบว่าค่าอุณหภูมิแอปโพรชโดยเฉลี่ยทั้งหมดของท่อที่ 1 และ 3 เท่ากับ 7.2 °C และ 10 °C ตามลำดับ ค่า U_{21}/U_{23} เท่ากับ 13.03 และ U_e เท่ากับ 2.25 kW/m² สรุปได้ว่าท่อน้ำร้อนได้ส่งถ่ายความร้อนผ่านท่อที่ 1 มากกว่าท่อที่ 3 เว้นแต่ท่อที่ 3 มีการเพิ่มอัตราการไหลสูงมากโดยที่ท่อที่ 1 และ 2 คงที่

คำสำคัญ: อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน สามท่อซ้อนกันร่วมศูนย์ การถ่ายเทความร้อน

Abstract

The objective of this experiment is to study the characteristic of heat transfer which comprise of temperature distribution and coefficient of heat transfer of the triple concentric-tube heat exchanger (TTHE) which using a copper tube, outer diameter of 13, 31.8 and 51 mm respectively, with the same thickness and length of 1.5 mm and 2.30 m respectively, In this experiment, water act as a working fluid, started from release the hot water to flow in the middle level tube (2nd tube) which the temperature was at 50-60 °C and counter flow with cold water in the inner tube (1st tube) and outer tube (3rd tube). Reynolds number in this experiment was set between 1,668 - 41,339. From this experiment, the flow rate of water in three tubes is equal. The total average approach temperatures of the 1st and 3rd tubes were equal 10.6 °C and 12.4 °C respectively. The value of U_{12}/U_{23} equal to 3.90 and U_e equal to 2.46 kW/m². In case that the flow rate of the 1st and 3rd tube were 12.5 °C and 13.1 °C respectively. The value of U_{12}/U_{23} equal to 2.82 and U_e equal to 2.50 kW/m². In case that the flow rate of the 1st and 2nd tube were constant, found that the approach temperatures of the 1st and 3rd tube were equal to 5 °C and 4.5 °C respectively. The value of U_{12}/U_{23} equal to 1.19 and U_e equal to 3.55 kW/m². And in the last case, the flow rate of 2nd and 3rd were constant, found that the total average approach temperatures of the 1st and 3rd tube were equal to 7.2 °C and 10 °C respectively. The value of U_{12}/U_{23} equal to 13.03 and U_e equal to 2.25 kW/m². This can be concluded that hot water tube had transfer heat through 1st tube more than 3rd tube except that the flow rate of the 3rd tube was highly increased while of the 1st and 2nd tube were remain constant.

Keywords: Triple Concentric-tube Heat Exchanger, Heat Transfer

1. บทนำ

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นเครื่องมือหนึ่งที่สามารถถูกนำมาใช้กระบวนการนำพลังงานย้อนกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลังงานทางด้านความร้อน เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนนั้นมีหลายลักษณะซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการที่จะนำไปใช้ประโยชน์เป็นหลัก โดยทั่วไปเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนมีสองช่องทางคือของไหลเย็นและของไหลร้อน ดังนั้นจึงมีแนวความคิดที่จะพัฒนาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นไม่ว่าจะเป็น ถ่ายเทความร้อนได้ดีขึ้น มีขนาดเล็กและราคาประหยัด โดยทำการศึกษาเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 3 ท่อร่วมศูนย์ ซึ่งจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสของท่อให้มากขึ้นและสามารถถ่ายเทความร้อนให้กับของไหลมากกว่า 1 ชนิดได้ ในอดีตมีนักวิจัยได้ศึกษาเกี่ยวกับเรื่องนี้ โดย KO และคณะ

(1996) [1] ได้วิเคราะห์หาสมรรถนะที่ดีที่สุดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 3 ท่อ Ahmet Unal (1998) [2] ได้ศึกษาทฤษฎีของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 3 ท่อร่วมศูนย์ ซึ่งได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และใช้แบบจำลองนี้ศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน Ahmet Unal (2001) [3] ได้พัฒนาแบบจำลองทางทฤษฎีในส่วนของการคำนวณสมรรถนะและการคำนวณเพื่อการออกแบบ รวมถึงการหาความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของ 3 ท่อที่ส่งผลต่อการถ่ายเทความร้อน ต่อมา Ahmet Unal (2003) [4] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของ Effectiveness - NTU สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 3 ท่อร่วมศูนย์ Ediz Batmaz และคณะ (2005) [5] ได้ศึกษาถึงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 3 ท่อร่วมศูนย์ ธนาคาร

สุนทรชัยนาคแสง และ นพพร เปรมใจ (2006) [6] ได้ทำการศึกษาจากรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสามช่องทาง ดังนั้นการศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองขั้นพื้นฐานเพื่อพิจารณาถึงพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 3 ช่องกันร่วมศูนย์

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษานี้แบ่งได้ดังนี้ ตัวแปรไร้หน่วย การถ่ายเทความร้อน อัตราส่วนสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของระบบ

2.1 การคำนวณตัวแปรไร้หน่วย

การคำนวณหาค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์ที่นำมาใช้เพื่อการทดสอบแสดงดังสมการที่ (1)

$$Re = \frac{GD_h}{\mu} \quad (1)$$

โดย Re คือค่าเรย์โนลด์ นัมเบอร์ μ คือค่าความหนืดซึ่งพิจารณาจากอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำ G อัตราการไหลมวลต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ($kg/s.m^2$) ซึ่งพิจารณาได้ดังสมการที่ (2) D_h คือเส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิกส์ (m) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3)

$$G = \frac{\dot{m}}{A} \quad (2)$$

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (3)$$

โดย $\dot{m}$ คืออัตราการไหลมวล (kg/s) A คือพื้นที่หน้าตัดท่อ (m^2) และ P เส้นรอบรูปของพื้นที่หน้าตัด (m)

2.2 การถ่ายเทความร้อน

การคำนวณในเรื่องของอัตราการถ่ายเทความร้อนของของไหลนั้นสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการ (4) – (6) โดยพิจารณาจากรูปที่ 1 แสดงถึงคุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของระบบ

$$\dot{Q}_h = \dot{m}_h C_{p,h} \Delta T_h \quad (4)$$

$$\dot{Q}_{cl} = \dot{m}_{cl} C_{p,cl} \Delta T_{cl} \quad (5)$$

$$\dot{Q}_{c2} = \dot{m}_{c2} C_{p,c2} \Delta T_{c2} \quad (6)$$

โดยที่ $\dot{Q}_{cl}$, $\dot{Q}_{c2}$ และ $\dot{Q}_h$ คืออัตราการถ่ายเทความร้อน (W) ของน้ำเย็นท่ที่ 1,2 และน้ำร้อน $\dot{m}_{cl}$, $\dot{m}_{c2}$ และ $\dot{m}_h$ คืออัตราการไหลมวลของน้ำเย็น1,2และน้ำร้อน C_p คือค่าความร้อนจำเพาะ ($kJ/kg.K$) ΔT_{cl} , ΔT_{c2} และ ΔT_h คือผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย (K) ของน้ำเย็นท่ที่ 1,2 และน้ำร้อน

2.3 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

สมการสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสามารถพิจารณาได้จากสมการ (7) และ (8)

$$U_{21} = \frac{\dot{Q}_{cl}}{LMTD_{21} \times A_{21}} \quad (7)$$

$$U_{23} = \frac{\dot{Q}_{c2}}{LMTD_{23} \times A_{23}} \quad (8)$$

โดย U_{21} และ U_{23} คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจากน้ำร้อนไปยังน้ำเย็นท่ที่ 1 และ 2 การคำนวณค่าผลต่างอุณหภูมิเชิงล็อก (LMTD) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (9) และ (10)

$$LMTD_{21} = \frac{((T_{h,i} - T_{c1,o}) - (T_{h,o} - T_{c1,i}))}{\ln \left[\frac{(T_{h,i} - T_{c1,o})}{(T_{h,o} - T_{c1,i})} \right]} \quad (9)$$

$$LMTD_{23} = \frac{((T_{h,i} - T_{c2,o}) - (T_{h,o} - T_{c2,i}))}{\ln \left[\frac{(T_{h,i} - T_{c2,o})}{(T_{h,o} - T_{c2,i})} \right]}$$

(10)

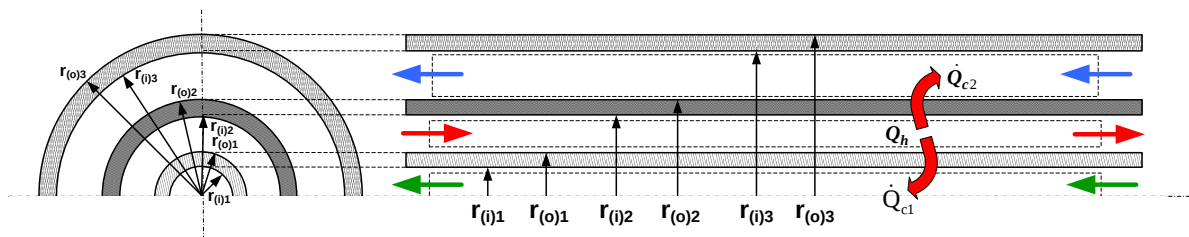
$LMTD_{21}$ และ $LMTD_{23}$ คืออุณหภูมิเฉลี่ยเชิงล็อกระหว่างท่อน้ำร้อนกับน้ำเย็นท่ที่ 1 และ 2 A_{21} และ A_{23} คือพื้นที่การถ่ายเทความร้อนระหว่างท่อน้ำร้อนกับท่อน้ำเย็นท่ที่ 1 และ 2 ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (11) และ (12)

$$A_{21} = \pi \times D_{1,o} \times L \quad (11)$$

$$A_{23} = \pi \times D_{2,i} \times L \quad (12)$$

โดยที่ $D_{2,i}$ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อที่ 2 $D_{1,o}$ คือเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อที่ 1 และ L คือ

ความยาวท่อ



รูปที่ 1 คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนของระบบ

2.4 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมสามารถคำนวณได้จากสมการ (13)

$$U_e = \frac{\dot{Q}_h}{A_e \times (T_{\text{average},h} - T_s)} \quad (13)$$

โดยที่ U_e คือสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมของอุปกรณ์ A_e พื้นที่การถ่ายเทความร้อนรวม $T_{\text{average},h}$ อุณหภูมิของของไหลร้อนเฉลี่ย T_s คืออุณหภูมิเทียบเท่าของของไหลเย็นทั้งสองท่อ

2.5 อุณหภูมิแอปโพรช (Temperature Approach;TA)

อุณหภูมิแอปโพรช คือผลต่างระหว่างอุณหภูมิทางเข้าของของไหลชนิดหนึ่ง และอุณหภูมิทางออกของของไหลอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งความแตกต่างของอุณหภูมิเป็นผลให้ทราบค่าความสามารถของอุปกรณ์เบื้องต้นในการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยที่อุณหภูมิแอปโพรชน้อยแสดงถึงความสามารถของการถ่ายเทความร้อนของตัวอุปกรณ์ที่ดี แสดงได้ดังสมการที่ (14) และ (15) คือผลต่างอุณหภูมิระหว่างของไหลร้อนกับของไหลเย็น 1 ตรงทางเข้า

$$\Delta T_{21,i} = T_{2,i} - T_{c1,o} \quad (14)$$

ทำนองเดียวกันกับผลต่างอุณหภูมิระหว่างของไหลร้อนกับของไหลเย็น 2 ตรงทางเข้า

$$\Delta T_{23,i} = T_{2,i} - T_{c2,o} \quad (15)$$

โดยที่ $T_{2,i}$ คืออุณหภูมิของน้ำร้อนทางเข้าท่อที่ 2

$T_{c1,o}$ คืออุณหภูมิของน้ำเย็นทางออกท่อที่ 1

$T_{c2,o}$ คืออุณหภูมิของน้ำเย็นทางออกท่อที่ 2

$\Delta T_{21,i}$ คืออุณหภูมิแอปโพรชระหว่างท่อน้ำร้อนกับท่อน้ำเย็นท่อที่ 1

$\Delta T_{23,i}$ อุณหภูมิแอปโพรชระหว่างท่อน้ำร้อนกับท่อน้ำเย็นท่อที่ 2 (ท่อที่ 3)

3. อุปกรณ์ที่ใช้และวิธีการทดสอบ

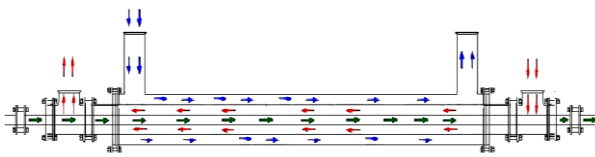
อุปกรณ์และเครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดสอบการติดตั้ง รวมไปถึงวิธีการทดสอบซึ่งมีดังนี้

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้และสภาวะการทดสอบ

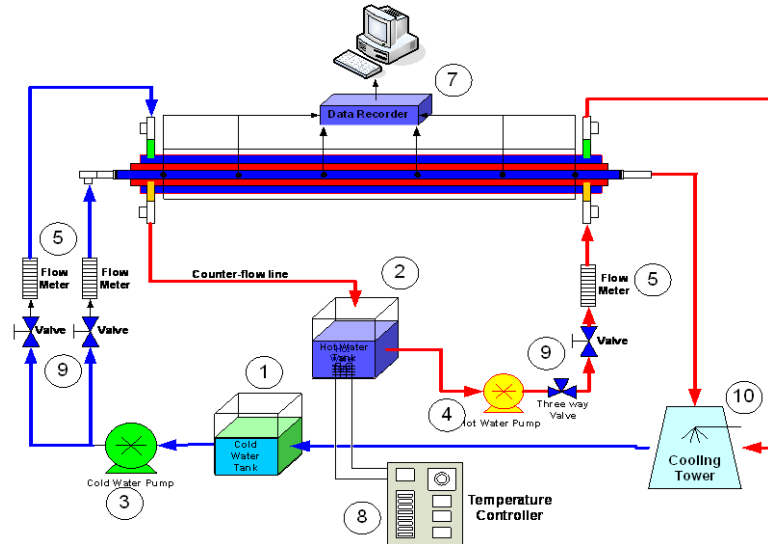
อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน 3 ท่อร่วม ศูนย์แสดงดังรูปที่ 2 และเครื่องมือที่จำเป็นซึ่งถูกติดตั้งในชุดทดสอบสามารถพิจารณาได้ดังรูปที่ 3 ซึ่งประกอบด้วย 1) ถังเก็บน้ำเย็น 2) ถังเก็บน้ำร้อน 3) ปั๊มน้ำเย็น 4) ปั๊มน้ำร้อน 5) อุปกรณ์วัดอัตราการไหล 6) เครื่องทำความร้อน 7) เครื่องบันทึกข้อมูล 8) ชุดควบคุมอุณหภูมิ 9) วาล์วปรับอัตราการไหล 10) ถังพักน้ำเย็น การทดสอบนั้นเป็นไปตามตารางที่ 1

3.2 ขั้นตอนการทดสอบ

เริ่มจากเติมน้ำใสในถังน้ำร้อนและถังน้ำเย็นให้ได้ระดับพอดี จากนั้นปรับเปลี่ยนวาล์วควบคุมทิศทางการไหลเป็นแบบแบบสวนทางกัน ปรับอุณหภูมิของของไหลร้อนให้ได้คงที่ 60°C จากนั้นเปิดปั๊มน้ำร้อนและน้ำเย็นโดยควบคุมอัตราการไหลตามสภาวะที่กำหนดไว้ รอให้เข้าสู่สภาวะคงตัว จากนั้นทำการบันทึกค่าอุณหภูมิแต่ละจุด



รูปที่ 2 ชุดแลกเปลี่ยนความร้อน 3 ท่อร่วมศูนย์



รูปที่ 3 การติดตั้งอุปกรณ์และเครื่องมือวัดชุดทดสอบ

ตารางที่ 1 รูปแบบสภาวะอัตราการไหลที่กำหนด

รูปแบบ	อัตราการไหลท่อ1(LPM)	อัตราการไหลท่อ2(LP M)	อัตราการไหลท่อ3(LPM)
1	4	4	4
	6	6	6
	8	8	8
	10	10	10
2	4	6	4
	4	8	4
	4	10	4
	4	12	4
3	4	4	6
	4	4	8
	4	4	10
	4	4	12
4	6	4	4
	8	4	4
	10	4	4
	12	4	4

4. ผลการทดสอบและวิจารณ์

การรายงานผลนี้แบ่งออกเป็นสามส่วนด้วยกัน การกระจายตัวอุณหภูมิ อัตราส่วนสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

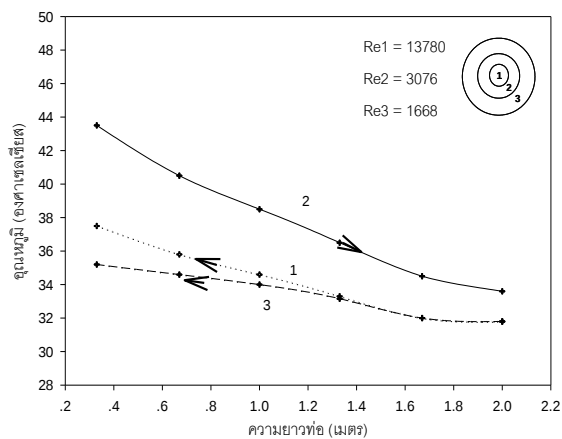
4.1 การกระจายอุณหภูมิที่อัตราการไหลต่าง ๆ

กรณีแรกกำหนดให้อัตราการไหลทั้ง 3 ท่อเท่ากัน กรณีที่สองกำหนดให้อัตราการไหลน้ำเย็นคงที่ กรณีที่สามกำหนดให้อัตราการไหลน้ำร้อนและ

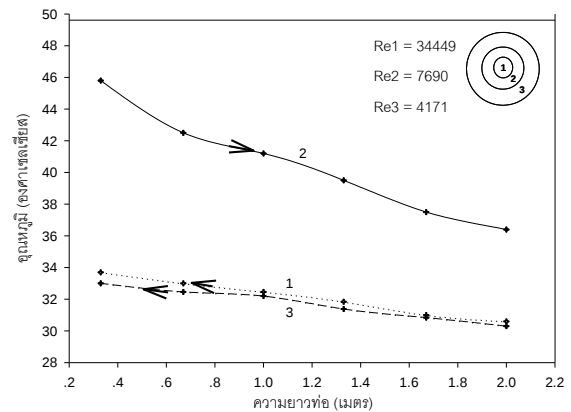
น้ำเย็นท่อที่1คงที่ กรณีสุดท้ายกำหนดให้อัตราการไหลน้ำร้อนและน้ำเย็นท่อที่3คงที่

4.1.1 อัตราการไหลเท่ากันทั้ง 3 ท่อ

จากรูปที่ 4 - 7 แสดงการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆภายในท่อ โดยมีอัตราการไหลเท่ากันทุกท่อ จากผลการทดสอบพบว่าค่า Approach Temperature โดยเฉลี่ย ระหว่างท่อที่ 2 (น้ำร้อน) ไปยังท่อที่ 1 เท่ากับ 10.6°C และ ท่อที่ 2 ไปยังท่อที่ 3 เท่ากับ 12.4°C ลักษณะการถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มไปยังท่อที่ 1 มากกว่าท่อที่ 3 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะในท่อที่ 1 อยู่ในช่วงที่มีการไหลปั่นป่วน (Turbulence) มากกว่าจึงส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนดีกว่าท่อที่ 3



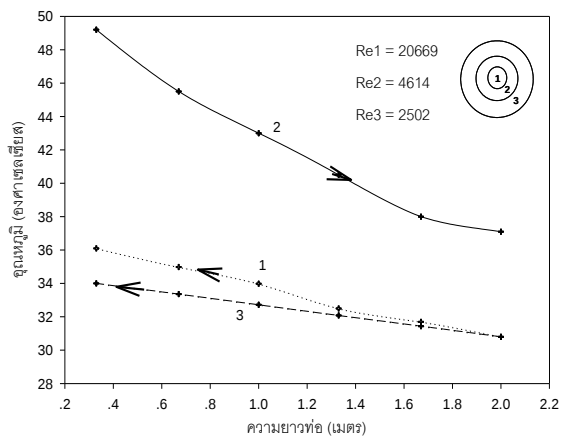
รูปที่ 4 การกระจายอุณหภูมิที่อัตราการไหล 4-4-4



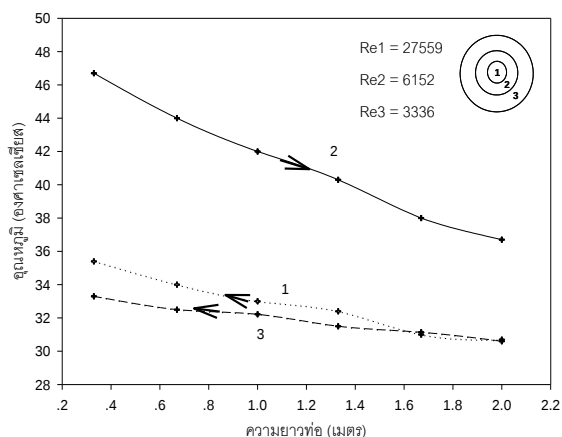
รูปที่ 7 การกระจายอุณหภูมิที่อัตราการไหล 10-10-10

4.1.2 อัตราการไหลน้ำเย็นคงที่

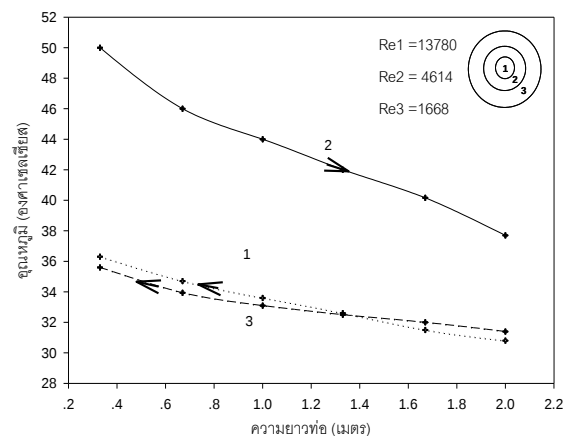
จากรูปที่ 8 - 11 พบว่าผลต่างอุณหภูมิเฉลี่ย Approach Temp. โดยเฉลี่ย ระหว่างท่อที่ 2 ไปยังท่อที่ 1 และ 3 เท่ากับ 12.5°C และ 13.1°C ตามลำดับ สังเกตว่าเมื่อมีการปรับเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำร้อน คุณลักษณะการถ่ายเทความร้อนค่อนข้างเป็นไปในลักษณะเดียวกัน นั่นคือการไหลในท่อที่ 1 มีอุณหภูมิแอปโพรชน้อยกว่าท่อที่ 3 เนื่องจากของไหลในท่อที่ 1 มีการไหลที่มีความปั่นป่วนมากกว่า ส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนที่ดี



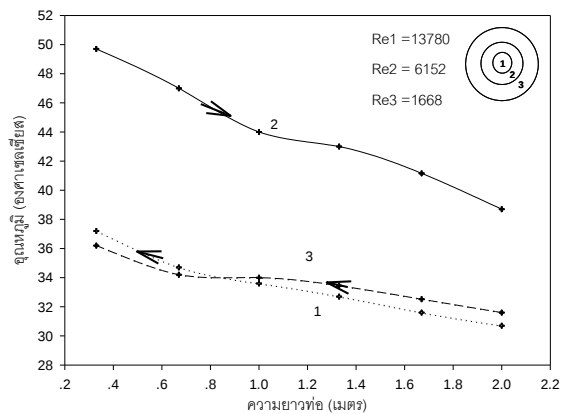
รูปที่ 5 การกระจายอุณหภูมิที่อัตราการไหล 6-6-6



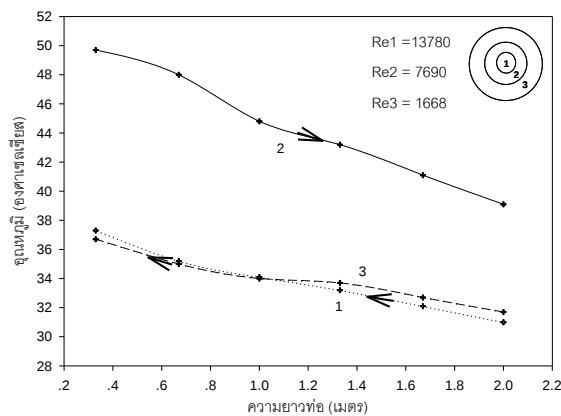
รูปที่ 6 การกระจายอุณหภูมิที่อัตราการไหล 8-8-8



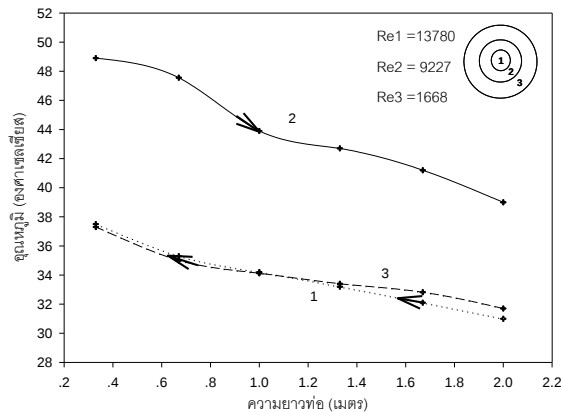
รูปที่ 8 การกระจายอุณหภูมิที่อัตราการไหล 4-6-4



รูปที่ 9 การกระจายอุณหภูมิที่อัตราการไหล 4-8-4



รูปที่ 10 การกระจายอุณหภูมิที่อัตราการไหล 4-10-4

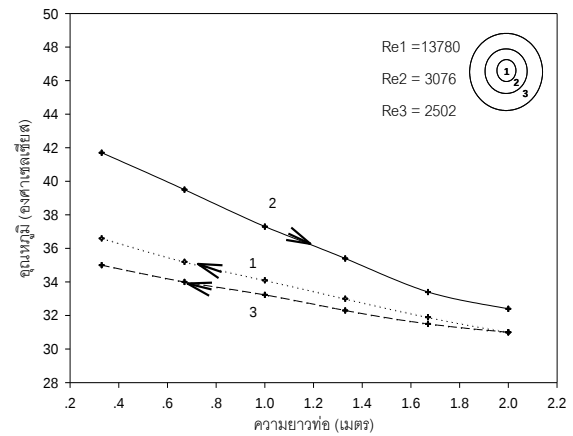


รูปที่ 11 การกระจายอุณหภูมิที่อัตราการไหล 4-12-4

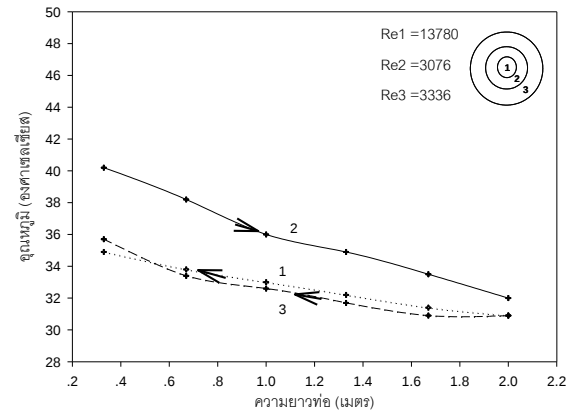
4.1.3 อัตราการไหลน้ำร้อนและน้ำเย็นที่ท่อที่ 1 คนที่

จากรูปที่ 12 - 15 พบว่าค่าอุณหภูมิแอปโพรชของท่อที่ 1 และ 3 เท่ากับ 5°C และ 4.5°C ตามลำดับ สังเกตว่าเมื่อมีการเพิ่มอัตราการไหลท่อที่ 3 สูงขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิแอปโพรชน้อยกว่าท่อที่ 1 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะท่อที่ 3 มีพื้นที่แลกเปลี่ยนความ

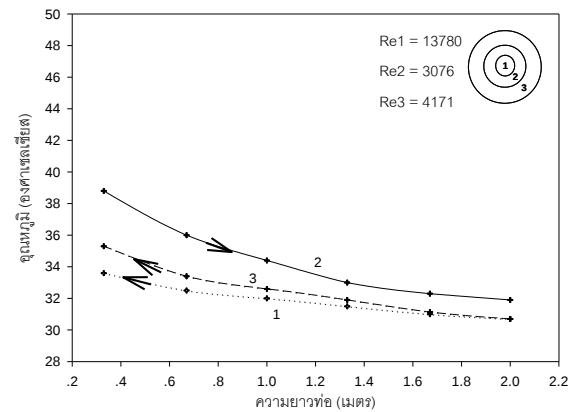
ร้อนที่มากกว่าท่อที่ 1 จึงส่งผลให้มีการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่า



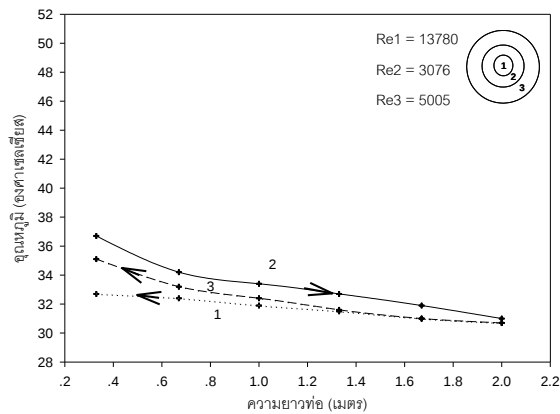
รูปที่ 12 การกระจายอุณหภูมิที่อัตราการไหล 4-4-6



รูปที่ 13 การกระจายอุณหภูมิที่อัตราการไหล 4-4-8



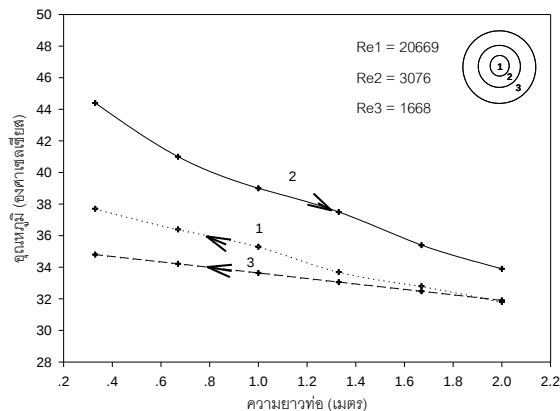
รูปที่ 14 การกระจายอุณหภูมิที่อัตราการไหล 4-4-10



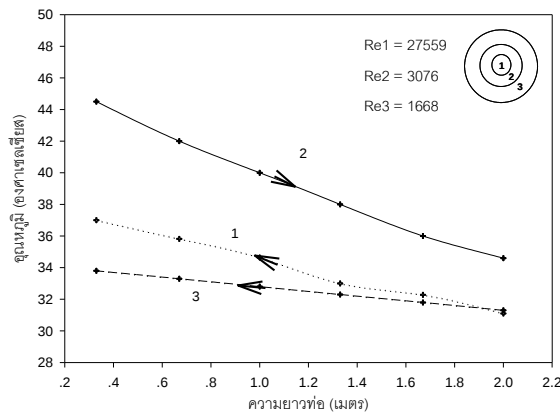
รูปที่ 15 การกระจายอุณหภูมิที่อัตราการไหล 4-4-12

4.1.4 อัตราการไหลน้ำร้อนและน้ำเย็นที่ 3 คงที่

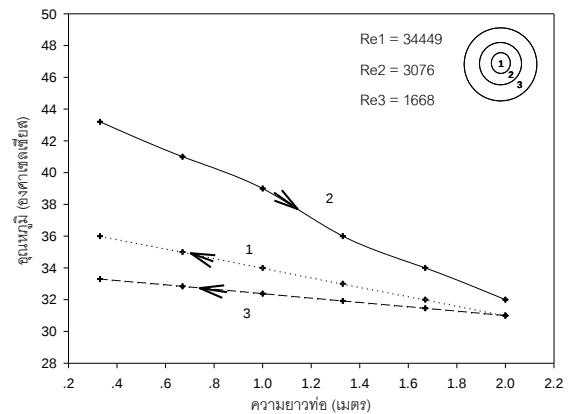
จากรูปที่ 16 - 19 พบว่า อุณหภูมิแอปโพรชระหว่างท่อที่ 2 ไปยังท่อที่ 1 และท่อที่ 3 เท่ากับ 7.2 °C และ 10 °C ตามลำดับ สังเกตว่าท่อที่ 1 สูงขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิแอปโพรชน้อยกว่าท่อที่ 3 ทุกกรณี จึงมีการถ่ายเทความร้อนที่ดีกว่า



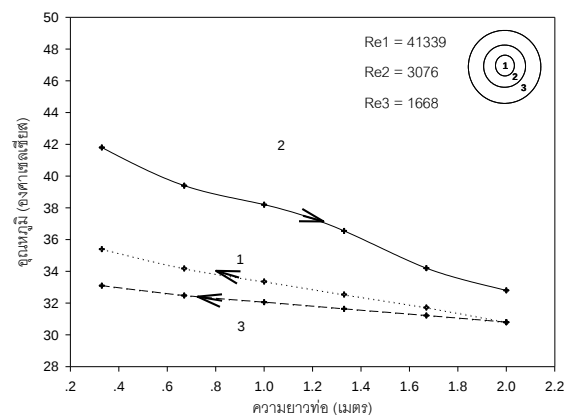
รูปที่ 16 การกระจายอุณหภูมิที่อัตราการไหล 6-4-4



รูปที่ 17 การกระจายอุณหภูมิที่อัตราการไหล 8-4-4



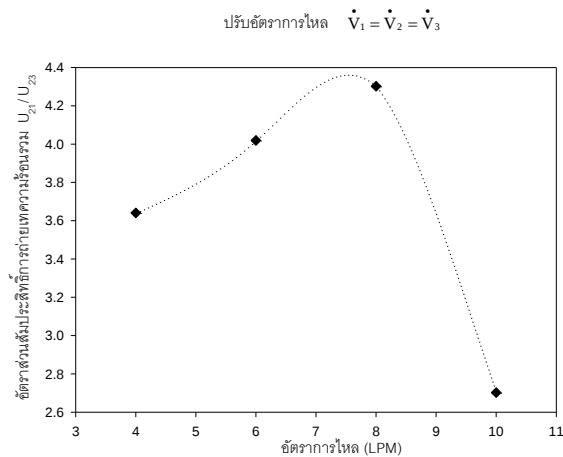
รูปที่ 18 การกระจายอุณหภูมิที่อัตราการไหล 10-4-4



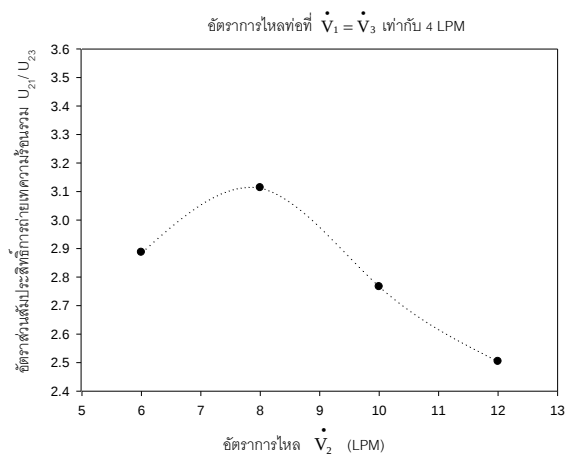
รูปที่ 19 การกระจายอุณหภูมิที่อัตราการไหล 12-4-4

4.2 อัตราส่วนสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

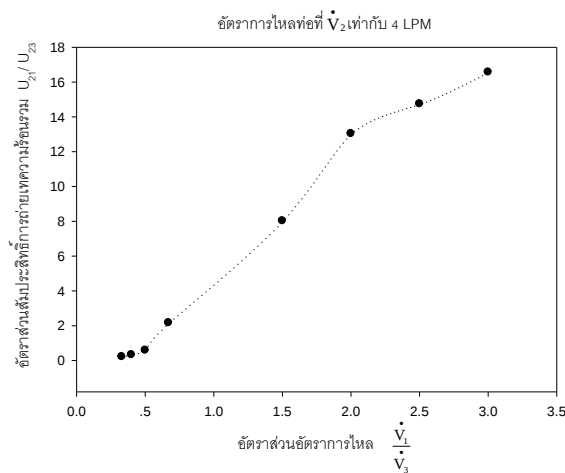
จากรูปที่ 20 ที่อัตราการไหลเท่ากันทุกท่อที่ 4, 6, 8 และ 10 LPM พบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างท่อที่ 1 และ 2 สูงกว่าระหว่างท่อที่ 2 และ 3 ทุกอัตราการไหล เนื่องจากการไหลในท่อที่ 1 นั้นมีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วนมากกว่าท่อที่ 3 จึงส่งผลให้การถ่ายเทความร้อนนั้นดีกว่าท่อที่ 3 โดย U_{21}/U_{23} สูงสุดที่ เท่ากับ 4.30 จากรูปที่ 21 เป็นผลของกรณีอัตราการไหลของน้ำเย็นคงที่ (ท่อที่ 1 และ 3 คงที่ที่ 4 LPM) พบว่า U_{21}/U_{23} สูงสุดเท่ากับ 3.13 และกรณีสุดท้ายคืออัตราการไหลในท่อน้ำร้อนคงที่ และพิจารณาสัดส่วนอัตราการไหลในท่อที่ 1 และ 3 แสดงได้ดังรูปที่ 22 พบว่าที่อัตราการไหลของท่อที่ 1 สูงกว่าท่อที่ 3 ค่า U_{21}/U_{23} มีค่า 8 เท่าขึ้นไปจนสูงสุดเท่ากับ 17 และที่อัตราการไหลของท่อที่ 3 สูงกว่าท่อที่ 1 พบว่าค่า U_{21}/U_{23} มีค่าตั้งแต่ 0.1 เท่าขึ้นไปจนสูงสุดเท่ากับ 3 เท่า



รูปที่ 20 อัตราส่วนสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่อัตราการไหลเท่ากันทุกท่อที่ 4, 6, 8 และ 10 LPM



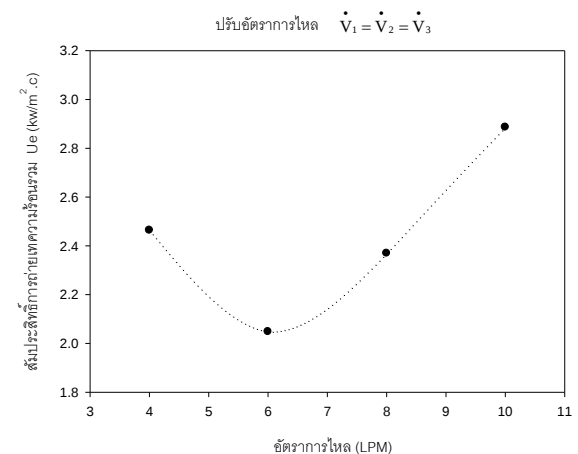
รูปที่ 21 อัตราส่วนสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่อัตราการไหลน้ำเย็นคงที่ที่ 4 PLM



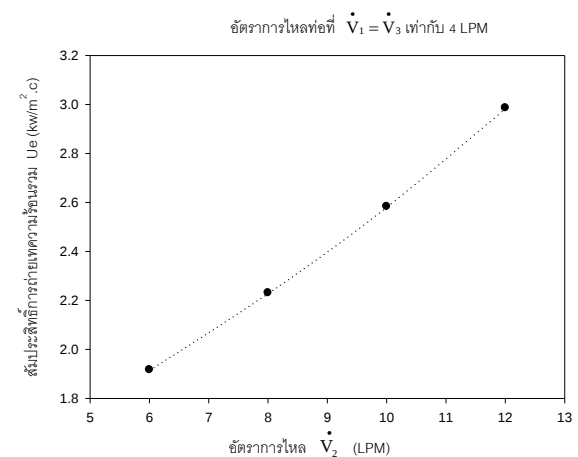
รูปที่ 22 อัตราส่วนสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนตามสัดส่วนอัตราการไหลท่อน้ำเย็น

4.3 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม

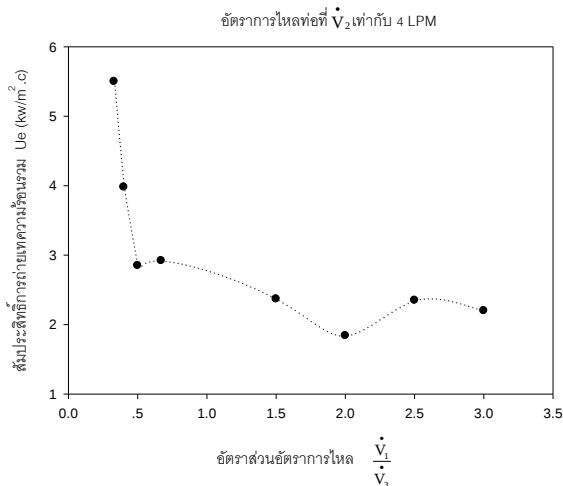
จากรูปที่ 23 แสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม (U_e) ที่มีอัตราการไหลเท่ากันที่ 4, 6, 8 และ 10 LPM พบว่ามีค่า U_e สูงสุดเท่ากับ $2.90 \text{ Kw/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวินาที พิจารณารูปที่ 24 เป็นกรณีของอัตราการไหลน้ำเย็นมีค่าคงที่ที่ 4 LPM พบว่ามีค่า U_e สูงสุดเท่ากับ $3.0 \text{ Kw/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ ที่อัตราการไหล 12 ลิตรต่อวินาทีของท่อน้ำร้อน (ท่อที่ 2) กรณีสุดท้าย อัตราการไหลน้ำร้อนคงที่ที่ 4 PLM และปรับอัตราการไหลน้ำเย็นตามสัดส่วนซึ่งแสดงดังรูปที่ 25 พบว่าที่อัตราการไหลของท่อที่ 1 สูงกว่าท่อที่ 3 ค่า U_e มีค่าประมาณ $2.0 \text{ kw/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ และที่อัตราการไหลของท่อที่ 3 สูงกว่าท่อที่ 1 พบว่า U_e มีค่าสูงสุดเท่ากับ $5.5 \text{ kw/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$



รูปที่ 23 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่อัตราการไหลเท่ากันทุกท่อที่ 4, 6, 8 และ 10 LPM



รูปที่ 24 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมที่อัตราการไหลน้ำเย็นคงที่ที่ 4 PLM



รูปที่ 25 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม
ที่อัตราการใช้พลังงานน้ำร้อนคงที่ 4 PLM

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

กรณีแรกให้อัตราการใช้พลังงานของน้ำที่ไหลในท่อทั้งสามเท่ากัน ค่าอุณหภูมิแอปโพรชโดยเฉลี่ยทั้งหมดของท่อที่ 1 และ 3 เท่ากับ 10.6°C และ 12.4°C ตามลำดับ U_{21}/U_{23} เท่ากับ 3.90 และ U_e เท่ากับ 2.46 kW/m^2 กรณีให้อัตราการใช้พลังงานท่อ 1 และ 3 คงที่ พบว่าค่าอุณหภูมิแอปโพรชของท่อที่ 1 และ 3 เท่ากับ 12.5°C และ 13.1°C ตามลำดับ ค่า U_{21}/U_{23} เท่ากับ 2.82 และ U_e เท่ากับ 2.50 kW/m^2 กรณีให้อัตราการใช้พลังงานท่อ 1 และ 2 คงที่ พบว่าค่าอุณหภูมิแอปโพรชของท่อที่ 1 และ 3 เท่ากับ 5°C และ 4.5°C ตามลำดับ ค่า U_{21}/U_{23} เท่ากับ 1.19 และ U_e เท่ากับ 3.55 kW/m^2 และกรณีสุดท้ายให้อัตราการใช้พลังงานท่อ 2 และ 3 คงที่ พบว่าค่าอุณหภูมิแอปโพรชโดยเฉลี่ยทั้งหมดของท่อที่ 1 และ 3 เท่ากับ 7.2°C และ 10°C ตามลำดับ ค่า U_{21}/U_{23} เท่ากับ 13.03 และ U_e เท่ากับ 2.25 kW/m^2 สรุปได้ว่าท่อน้ำร้อนได้ส่งถ่ายความร้อนผ่านท่อที่ 1 มากกว่าท่อที่ 3 เว้นแต่ท่อที่ 3 มีการเพิ่มอัตราการใช้พลังงานสูงมากโดยที่ท่อที่ 1 และ 2 คงที่

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การศึกษานี้เป็นเพียงแค่การศึกษาเบื้องต้นของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบ 3 ช่องกันร่วม

ศูนย์ ดังนั้นผลการทดสอบอาจยังไม่มากพอต้องมี การขยายผลการศึกษามากขึ้น

5.2.2 ควรมีการทำแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบที่ได้หรือนำผลของนักวิจัยท่านอื่นมาเปรียบเทียบเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก กองทุนเพื่อส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ผู้วิจัยและทีมงานขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้ด้วย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] C.L. Ko and G.L. Wedekind, "Analysis for the Optimum Performance of Three-Channel Split-Flow Heat Exchangers.", Int. J. Heat Mass Transfer Vol. 39, No. 4, pp. 691-705, 1996.
- [2] Ahmet Unal, "Theoretical Analysis of Triple Concentric-Tube Heat Exchangers." Part 1 Mathematical Modeling, Karadeniz Technical University, 1998
- [3] Ahmet Unal, "Theoretical Analysis of Triple Concentric-Tube Heat Exchangers." Part 2 Case Studies, Karadeniz Technical University, 2001
- [4] Ahmet Unal, "Effectiveness-NTU Relations for Triple Concentric-Tube Heat Exchangers." Karadeniz Technical University, 2003
- [5] Ediz Batmaz and K.P. Sandeep "Overall Heat Transfer Coefficients and Axial Temperature Distribution of Fluids in A Triple Tube Heat Exchangers." Department of Food Science, North Carolina State University, 2005
- [6] Kreith, F. and M.S Bohn, Principle of Heat Transfer, PWS Publishing Company, New York, 5th ed., 1997.

- [7] Ozisik, M.N., Heat Transfer: A Basic Approach, McGraw-Hill Book Company, New York, 2nd ed., 1991.
- [8] White, F.M., Heat and Mass Transfer, Addison- Wesley Publishing Company, New York, International edition, 1991.
- [9] Jack B. Evett, and Cheng Liu 1988 Fluid Mechanics and Hydraulics. McGraw-Hill Book Company, New York.
- [10] Robert L. Daugherty, Joseph B. Franzini , and E.John Finnemore 1985. Fluid Mechanics with Engineering Applications. McGraw- Hill Book Company, New York.
- [11] Victor L. Streeter and E. Benjamin Wylie 1987. Fluid Mechanics. McGraw – Hill Book Company, London.
- [12] ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง, การถ่ายเทความร้อน, สำนักพิมพ์ท็อป, 2547
- [13] ธนาคม สุนทรชัยนาคแสง และ นพพร เปรมใจ, “เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบสามช่องทาง”, เทคนิคเครื่องกลชุดที่ 9, หน้า 231-235, 2548
- [14] พงษ์ธร จรรย์ภากรณ์, อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนในงานอุตสาหกรรม, เอ็มแอนด์อี, 2542