

การศึกษาทดลองการแลกเปลี่ยนความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบท่อขดเกลียว

Experimental studies heat exchange of the spiral tube condenser

ธนาพล สุขชนะ^{*}, และ สรวุฒิ สิริเกษมสุข

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยปทุมธานี ปทุมธานี 12000

* ติดต่อ: โทรศัพท์: 02-9756999, โทรสาร: 02-9796728

E-mail: TON0019@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษาทดลองประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยน ความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบท่อ ขดเกลียว เป็น การศึกษาเพื่อการออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนสำหรับระบายความร้อนสารทำความเย็นโดยใช้น้ำแบบ ระบบปิด เพื่อประสิทธิภาพการทำงานและความเหมาะสมของระบบการทำน้ำเย็นขนาดเล็ก โดย ทดลองกับระบบ ทำน้ำเย็นขนาด 1 ตัน ใช้ท่อทองแดงขนาด 6.35 มิลลิเมตร สร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน แบบท่อ ขดเป็น เกลียว 2 แถว ชนิดไหลแบบสวนทางและไหลวนกลับ ทดลองด้วยน้ำหล่อเย็นที่มีอัตราการไหล คงที่ 5 อัตราไหล จากการศึกษาดทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนความร้อนของอุปกรณ์ ทั้งสองชนิด ต่างกันโดย ที่ชนิด ไหลแบบสวนทางมีประสิทธิภาพสูงกว่าชนิดไหลวนกลับเฉลี่ย 5 เปอร์เซ็นต์

คำหลัก: คอนเดนเซอร์, ความร้อน, น้ำเย็น, ประสิทธิภาพ, ท่อขด

Abstract

This paper presents the experimental studies of heat exchange of the spiral tube condenser. Study the characteristic to designs a refrigerant heat exchanger with the water close system for high performance and optimum design a small chiller. The experimental were designed for 1 ton chiller, fabrication spiral tube condenser with 6.35 mm copper tube diameter and 2 rows of spiral coil tube in two type of heat exchange are counter current flow and one loop current flow type. The experiments were performed by varying five steady flow rate of cooling water. The result showed that the heat exchange efficiency of two devices is differentiated, it can be seen the counter current flow type is more effective than one loop current flow type average of 5 percent.

Keywords: Condenser, Heat, Chiller, Performance, Spiral tube

1. บทนำ

จากการศึกษาระบบการทำงานของเครื่องฉีด พลาสติก สำหรับอุตสาหกรรมฉีดพลาสติกขนาดย่อม

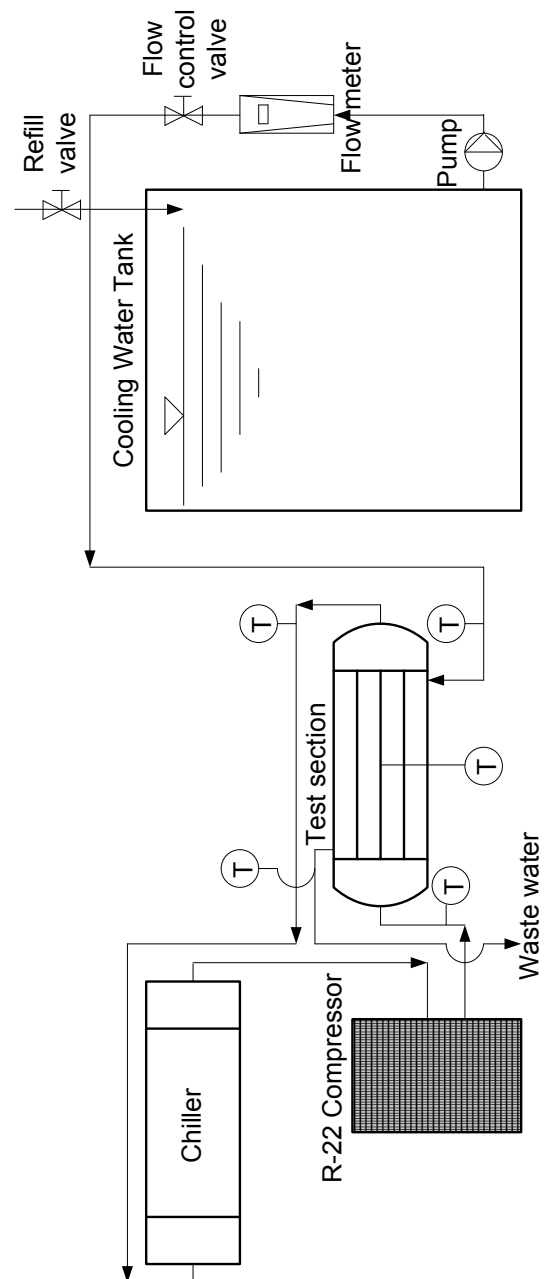
ในกระบวนการฉีดพลาสติกนั้นจะต้องมีระบบน้ำหล่อ เย็นซึ่งระบบการลงทุนจะเลือกใช้ระบบทำน้ำเย็นขนาด เล็กขนาด 1-5 ตันทำความเย็น ซึ่งส่วนใหญ่คอนเดน

เซอร์ จะใช้น้ำระบายความร้อนแต่เป็นการระบายความร้อน แบบปล่อย น้ำทิ้ง เป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากร และค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น ผู้วิจัยจึงศึกษาแนวทางในการออกแบบสร้างเครื่องทำน้ำเย็นแบบครบวงจรที่ไม่ปล่อยน้ำระบายความร้อนทิ้ง โดยศึกษาการแลกเปลี่ยนความร้อนของคอนเดนเซอร์ ชนิดท่อขดเกลียว เพื่อออกแบบให้เหมาะสมในการระบายความร้อนตามขนาดของการทำความเย็น และความเหมาะสมด้านขนาดของตัวเครื่อง จากการศึกษาผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแลกเปลี่ยนความร้อนแบบใช้ท่อขดเกลียว เช่น P. Naphon [1] ได้ศึกษาวิจัยลักษณะการไหลและการถ่ายเทความร้อนในท่อขดเกลียวโดยใช้ท่อทองแดงขนาด 8 มิลลิเมตรขดเป็นเกลียวมีขนาดวงในและวงนอกเท่ากับ 270 และ 406 มิลลิเมตร ซึ่งมีผลทำให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงขึ้นเฉลี่ย 1.5 เท่า, P. Naphon and J. Suwagrai [2] ศึกษาทดลองผลของอัตราส่วนโค้งของท่อขดเกลียวต่อการถ่ายเทความร้อนและการไหลของของไหลในแนวนอน โดยใช้แบบจำลอง ซึ่งพบว่าอัตราส่วนของโค้งมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อม, P. Naphon and S. Wongwises [3] ได้รวบรวมผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ คุณลักษณะของการไหลและการถ่ายเทความร้อนสำหรับท่อโค้ง, P. Naphon and S. Wongwises [4,5] ศึกษาทดลองสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อนในลักษณะผิวแห้ง และผิวเปียกสำหรับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบท่อขดเกลียว ซึ่งสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนที่ได้มีความแตกต่างกันโดยชนิดผิวเปียกก็มีสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าชนิดผิวแห้ง, Ping Cui and et.al. [6] ได้ศึกษาวิจัย การแลกเปลี่ยนความร้อนใต้พิภพด้วยท่อขดเกลียวซึ่งระยะช่องว่างและตำแหน่ง มีอิทธิพลต่อการแก้ไขปัญหาการแลกเปลี่ยนความร้อน, Yan Ke and et.al. [7] ได้จำลองเชิงตัวเลขลักษณะการถ่ายเทความร้อนของมัดท่อเกลียวรูปกรวย, Mooyeon Lee; Taehyung Kang and Yongchan Kim [8] ศึกษาทดลองลักษณะการแลกเปลี่ยนความร้อนของท่อขดเกลียวที่มีครีป ด้านลมเย็นของเครื่อง

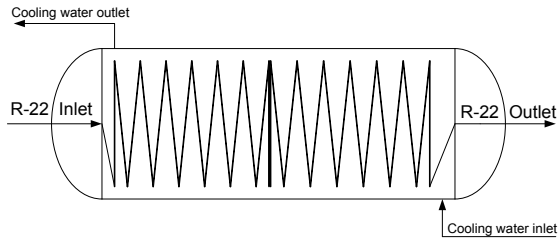
ปรับอากาศแบบน้ำเย็น, จากงานวิจัยต่างๆ พบว่าท่อขดเกลียวสามารถช่วยให้ประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนโดยรวมสูงขึ้น และช่วยให้การออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีขนาด เล็กลง ได้ และสิ้นเปลืองท่อน้อยลงทำให้มีความ สะดวกในการสร้างและการใช้งาน

2. อุปกรณ์การทดลอง

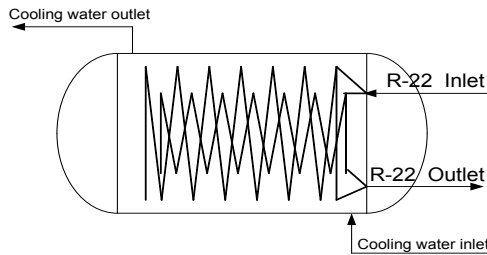
2.1 อุปกรณ์ทดลองและส่วนประกอบ



รูปที่ 1 ไดอะแกรมอุปกรณ์การทดลอง



รูปที่ 2 counter current flow heat exchanger



รูปที่ 3 one loop current flow heat exchanger

ไดอะแกรมอุปกรณ์การทดลองดังรูปที่ 1 ประกอบด้วย R-22 Compressor ขนาดของการทำความเย็น 3.516 kW (1 ตัน), Chiller อัตราการไหลคงที่ 25 ลิตรต่อนาที, Test section เป็น heat exchanger 2 แบบ คือ counter current flow และ one loop current flow โดยใช้ท่อทองแดง ขนาด 6.35 มิลลิเมตร ยาว 12 เมตร ขดเป็นวง ดังรูปที่ 2 และ 3, ชุด Cooling water tank ประกอบ ด้วย Water pump ทำหน้าที่สร้างการไหลเวียนของน้ำหล่อเย็นในระบบ, Flow meter วัดอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น, Flow control valve ควบคุมอัตราการไหลให้คงที่ และ Water refill valve ทำหน้าที่ควบคุมระดับน้ำในถัง วัดอุณหภูมิด้วย เทอร์โมคัปเปิลบันทึกด้วย Data Logger

2.2 การทดลอง

เติมสารทำความเย็น R-22 ในระบบให้ได้ความดันตามมาตรฐาน ปรับอัตราการไหลของน้ำใน Chiller ให้อัตราการไหลคงที่ 25 ลิตรต่อนาที ปรับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นให้คงที่ 10, 12, 14, 16, และ 18 ลิตรต่อนาที เปิดสวิทซ์ให้คอมเพรสเซอร์ทำงาน สังเกต อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นและสารทำความเย็น R-22 คงที่ นำค่าอุณหภูมิและอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นมาคำนวณหาอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อน

3. ทฤษฎีและการคำนวณผลการทดลอง

3.1 การถ่ายเทความร้อนของสารทำความเย็น

$$Q_R = m_R c_{p,R} (T_{R,out} - T_{R,in}) \quad (1)$$

3.2 การถ่ายเทความร้อนของน้ำหล่อเย็น

$$Q_c = m_c c_{p,c} (T_{c,in} - T_{c,out}) \quad (2)$$

3.3 การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย

$$Q_{ave} = \left(\frac{Q_c + Q_R}{2} \right) \quad (3)$$

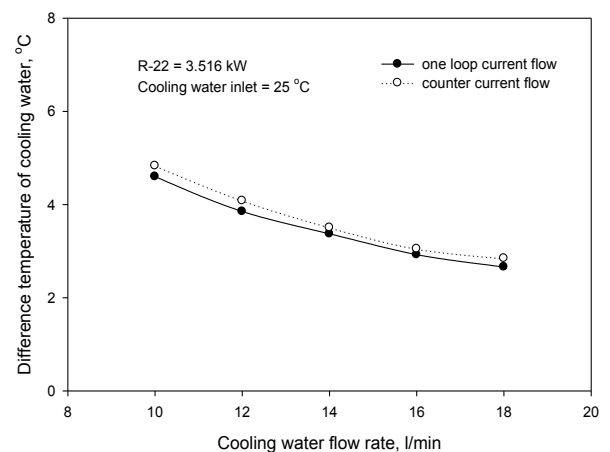
3.4 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนรวม

$$Q_{ave} = h_i A_i (T_{R,ave} - T_{s,ave}) \quad (4)$$

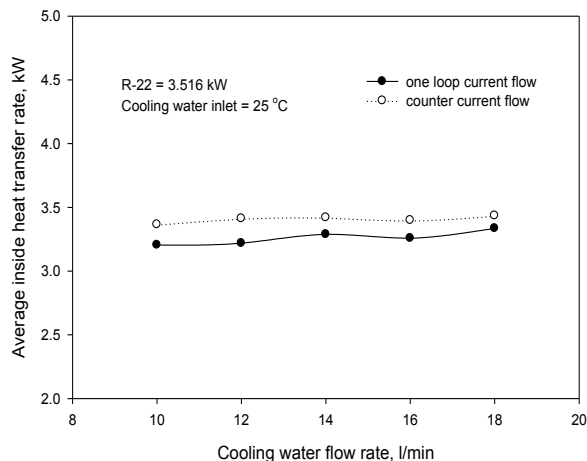
3.5 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

$$Nu = \frac{h_i D_i}{k} \quad (5)$$

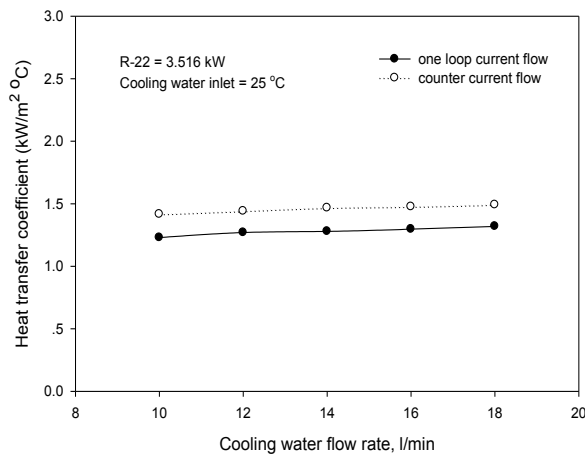
4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล



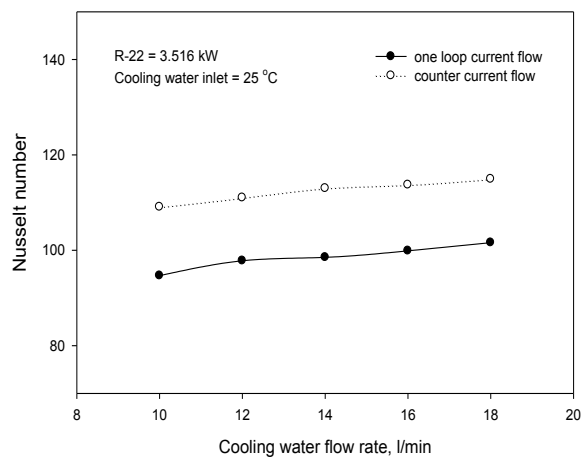
รูปที่ 4 ผลต่างอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็น



รูปที่ 5 การถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยของคอนเดนเซอร์



รูปที่ 6 สัมประสิทธิ์การพาความร้อนรวม



รูปที่ 7 สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

รูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น และผลต่างอุณหภูมิทางเข้าและทางออกของน้ำหล่อเย็น ซึ่งพบว่าผลต่างอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นของคอนเดนเซอร์แบบ ไหลสวนทางสูงกว่าแบบ ไหลวนกลับโดยมีค่าแปรผกผันกับอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็น เมื่อนำมาคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ย ด้วยสมการที่ (1-3) พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบไหลสวนทางสูงกว่าแบบไหลวนกลับ ดังรูปที่ 5 โดยที่แต่ละอัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นสามารถถ่ายเทความร้อนได้ใกล้เคียงกัน เมื่อนำอัตราการถ่ายเทความร้อนเฉลี่ยมาคำนวณด้วยสมการที่ (4,5) เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนรวม และสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อน ดังรูปที่ 6 และ 7 ซึ่งพบว่าสัมประสิทธิ์ การพาความร้อนรวมและสัมประสิทธิ์ การถ่ายเทความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบไหลสวนทางสูงกว่าแบบ ไหลวนกลับ

5. สรุปและอภิปรายผลการทดลอง

จากการศึกษาทดลอง การแลกเปลี่ยนความร้อนของคอนเดนเซอร์แบบท่อขดเกลียวทั้งสองแบบที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการถ่ายเทความร้อนให้กับสารทำความเย็น R-22 พบว่า คอนเดนเซอร์แบบ counter current flow ให้ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนสูงกว่าแบบ one loop current flow เฉลี่ยประมาณ 5% ซึ่งถือว่าให้ผลแตกต่างกันไม่มากนัก สำหรับการออกแบบสร้างพบว่าแบบ one loop current flow สามารถออกแบบสร้างได้ง่ายกว่ารวมทั้งสามารถดูแล รักษาได้ง่าย ในการเลือกใช้อัตราการไหลของน้ำหล่อเย็นจะต้องคำนึงถึงผลต่างของอุณหภูมิ คอนเดนเซอร์ เพื่อการออกแบบสร้างอุปกรณ์ระบายความร้อนให้น้ำหล่อเย็น เพื่อให้ระบบทำน้ำเย็นขนาดเล็กสามารถทำงานได้แบบครบวงจรโดยไม่ต้องสูญเสีย น้ำหล่อเย็น

6. รายการสัญลักษณ์

6.1 สัญลักษณ์ตัวอักษร

- A พื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อน (m^2)
- C_p ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/Kg.K)
- D_i เส้นผ่าศูนย์กลางท่อใน (m)

- h สัมประสิทธิ์ถ่ายเทความร้อน ($W/m^2.K$)
 k สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($W/m.K$)
 m อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
 Nu ค่าตัวเลขนัสเซลท์
 Q อัตราความร้อนที่ถ่ายเท (W)
 T อุณหภูมิ (K)

6.2 สัญลักษณ์ตัวห้อย

ave	Average
c	Cooling water
i	inner
in	Inlet
o	outer
out	outlet
R	Refrigerant
s	Surface

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] P. Naphon, (2011). Study on the heat transfer and flow characteristics in a spiral-coil tube. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. Vol. 38, pp. 69–74.
- [2] P. Naphon and J. Suwagrai., (2007). Effect of curvature ratios on the heat transfer and flow developments in the horizontal spirally coiled tubes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. Vol. 50, pp. 444–451.
- [3] P. Naphon and S. Wongwises., (2006). A review of flow and heat transfer characteristics in curved tubes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol.10, pp. 463–490.
- [4] P. Naphon and S. Wongwises., (2005). Heat transfer coefficients under dry- and wet-surface conditions for a spirally coiled finned tube heat exchanger. *International Communications in Heat and Mass Transfer*. Vol.32, pp. 371–385.
- [5] P. Naphon and S. Wongwises., (2004). A study of the heat transfer characteristics of a

compact spiral coil heat exchanger under wet-surface conditions. *Experimental Thermal and Fluid Science*. Vol. 29, pp. 511–521.

[6] Ping Cui and et.al., (2011). Heat transfer analysis of pile geothermal heat exchangers with spiral coils. *Applied Energy*. Vol.88, pp. 4113–4119.

[7] Yan Ke and et.al., (2011). Numerical simulation on heat transfer characteristic of conical spiral tube bundle. *Applied Thermal Engineering*. Vol.31, pp. 284-292.

[8] Mooyeon Lee; Taehyung Kang and Yongchan Kim., (2010). Air-side heat transfer characteristics of spiral-type circular fin-tube heat exchangers. *International Journal of refrigeration* Vol.33, pp. 313-320.