

การศึกษาผลกระทบการถ่ายเทความร้อนต่ออุณหภูมิน้ำที่ออกจากหอทำความเย็นระบบปิด

The Study of Effects of Heat Transfer on Water Outlet temperature in Closed Wet Cooling Tower

ดวงฤดี ชูตระกูล

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี เลข 38 หมู่ 8 ต.นาบัว อ.เมือง
จ.เพชรบุรี 76000

E-mail: duangrudee18@yahoo.com, เบอร์โทรศัพท์: 0-8658-20425

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาผลกระทบของการถ่ายเทความร้อนที่มีผลต่ออุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำความเย็นระบบปิด โดยทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ออุณหภูมิของน้ำเย็นที่ออกจากหอทำความเย็น และศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของหอทำความเย็น ตัวแปรที่ทำการศึกษา ได้แก่ อัตราการไหลเชิงมวลระหว่างสเปรย์น้ำและอากาศ การจัดวางรูปแบบคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแนวตั้งและแนวนอน รวมถึงวัสดุที่ใช้แลกเปลี่ยนความร้อนของคอยล์ระหว่างทองแดงและสแตนเลส จากผลการทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิ น้ำพบว่าเมื่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากขึ้น อุณหภูมิ น้ำลดลง และผลการศึกษาตัวแปรที่มีผลกระทบต่ออัตราการถ่ายเทความร้อน พบว่าการถ่ายเทความร้อนมากขึ้นเมื่ออัตราการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศเพิ่มขึ้น การเปรียบเทียบการเปลี่ยนรูปแบบการจัดวางคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อน จากแนวนอนมาเป็นแนวตั้ง สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้น 37.7% และการจัดวางคอยล์แบบเดียวกันแต่ใช้วัสดุแตกต่างกัน สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของทองแดงจะสูงกว่าสแตนเลสเฉลี่ย 8.3% ดังนั้น ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศ และรูปแบบการจัดวางคอยล์ ส่วนการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำคอยล์ ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นน้อยกว่าการปรับปรุงรูปแบบการวางคอยล์จากแนวนอนมาเป็นแนวตั้ง

คำหลัก: หอทำความเย็นระบบปิด, หอทำความเย็นแบบไหลสวนทาง , หอทำความเย็น

Abstract

The objectives of this research were: to study the effects of heat transfer on the temperature of the cool water outlet from cooling tower by studied the correlation coefficient of heat transfer to the cool water outlet from cooling tower, and studied the effects of variables that affect the heat transfer performance of the cooling tower. The variables of this study were the ratio between the mass flow of air and water spray, the heat exchanging coils placing style as vertical and horizontal, and the heat exchanging materials between copper and stainless steel coils. The result showed that: from the correlation coefficient of heat transfer and temperature, while the heat transfer coefficient increased, the water temperature decreased. The variables that affected on the heat transfer were: when the mass flow rate of air and water spray increase, heat transfer rate will increase too; the heat transfer coefficient increased 37.7% while changed the heat exchanging coil from horizontal to vertical; and the heat transfer coefficient of copper was higher than stainless steel 8.3%. So, the heat transfer efficiency depended on the mass flow rate of air and water spray, and heat exchanging coils placement, but the effect of the heat exchanging materials was less than changed the coils placement from horizontal to vertical.

Keywords: Cooling Tower, Indirect Cooling Tower, Closed Wet Cooling Tower

1. บทนำ

หอทำความเย็นระบบปิด เป็นอุปกรณ์การถ่ายเทความร้อนที่น้ำและอากาศไม่สัมผัสกันโดยตรง อุปกรณ์นี้พัฒนามาจากระบบเปิด เนื่องจากในระบบเปิด น้ำและอากาศสัมผัสกันโดยตรง ทำให้สิ่งสกปรกที่มากับอากาศปนเข้าไปในระบบน้ำ และการควบคุมคุณภาพน้ำทำได้ยาก ดังนั้น จะใช้หอทำความเย็นระบบปิดในกระบวนการผลิตที่ต้องการน้ำที่มีคุณภาพ ในการป้องกันการอุดตันของเครื่องจักร โดยเฉพาะโมลของเครื่องจักรที่น้ำเข้าและมีราคาแพง ปัจจุบันหอทำความเย็นมีทั้งแบบน้ำเข้าและผลิตเองภายในประเทศ ซึ่งราคาผู้ผลิตภายในประเทศใกล้เคียงกับที่น้ำเข้าจากต่างประเทศ เนื่องจากผู้ผลิตบางรายยังเลือกใช้ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นทองแดง ส่วนของน้ำเข้าจะใช้ท่อสเตนเลสหรือท่อเหล็กซึ่งมีราคาที่ถูกลงกว่า ทำให้ราคาใกล้เคียงกัน ผู้ใช้งานส่วนมากเลือกที่จะใช้ของต่างประเทศเนื่องจากราคาที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และยังสามารถให้ข้อมูลด้านวิศวกรรมได้ดี จากแบบจำลองสำหรับหอทำความเย็นระบบปิดของ Pascal Stabat และ Dominique Marchio [1] สมการคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมจะคำนวณเฉพาะเทอมของ การพาความร้อนของน้ำร้อนภายในท่อและการพาความร้อนของน้ำที่สเปรย์ภายนอกท่อเท่านั้น ซึ่งเทอมของการนำความร้อนของท่อถือว่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการพาความร้อนจึงไม่นำมาคำนวณ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจศึกษาผลกระทบของประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนต่ออุณหภูมิของน้ำที่ออกจากท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้วัสดุทำท่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่าง ทองแดงและสเตนเลส ของหอทำความเย็นแบบปิดแบบไหลสวนทางซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิตภายในประเทศ ข้อมูลงานวิจัยดังกล่าวจะสามารถนำไปเป็นฐานข้อมูลในด้านการออกแบบหอทำความเย็นระบบปิดต่อไป

2. ทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

การศึกษาการถ่ายเทความร้อนใน หอทำน้ำเย็นระบบปิด โดยใช้แบบจำลองการถ่ายเทความร้อนของ Armando Oliveira และ Jorge Facao [2]. รูปที่ 1 เป็นปริมาตรควบคุมที่ทำการศึกษา โดยกำหนดให้ผิวสัมผัสระหว่างอากาศกับน้ำที่สเปรย์เป็นอากาศอิมเมอร์ที่อุณหภูมิเฉลี่ยของสเปรย์น้ำ ดังนั้น ความดันที่ผิวสัมผัส

ระหว่างน้ำที่สเปรย์และอากาศจะมีค่าสูงกว่าอากาศ ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อน ซึ่งส่งผลให้เกิดกระบวนการการถ่ายเทความร้อนแบบสัมผัส (Latent heat) เช่นเดียวกัน ความต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวสัมผัสของน้ำกับอากาศ จะทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนด้วยการพา (Convection heat transfer) การพิจารณาแบบจำลองสมการพื้นฐานการถ่ายเทความร้อนและความร้อนที่เกิดใช้สมมุติฐานดังนี้

1. การถ่ายเทความร้อนระหว่างหอทำความเย็น และสิ่งแวดล้อมถือว่าน้อย และไม่มีผลกระทบต่อการคำนวณ
 2. กำหนดให้ความร้อนจำเพาะของของไหลมีค่าคงที่
 3. สเปรย์น้ำครอบคลุมท่อทั้งหมดอย่างสม่ำเสมอ และการกระจายระหว่างน้ำและอากาศสม่ำเสมอทั่วหน้าตัด
- พิจารณาสมมติประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ระหว่างน้ำในท่อจนถึงผิวของน้ำที่สเปรย์ สามารถคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน โดยใช้วิธีความต้านทานเชิงความร้อนได้ดังนี้

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{\alpha} \frac{d_{ext}}{d_{int}} + \frac{d_{ext}}{2k_{tube}} \ln \frac{d_{ext}}{d_{int}} + \frac{1}{\alpha_{spray}} \quad (1)$$

จากแบบจำลองของ Armando Oliveira และ Jorge Facao. ซึ่งสมมติให้อุณหภูมิที่สเปรย์คงที่และกำหนดให้คุณสมบัติเอนทัลปีจำเพาะ และอุณหภูมิที่ผิวสัมผัสของน้ำและอากาศคงที่ตลอดหอทำความเย็น ดังนั้นสมการแสดงอุณหภูมิน้ำเย็นที่ออกจากหอทำความเย็นสัมพันธ์กับตัวแปรต่าง ๆ ดังแสดงในสมการที่ (2)

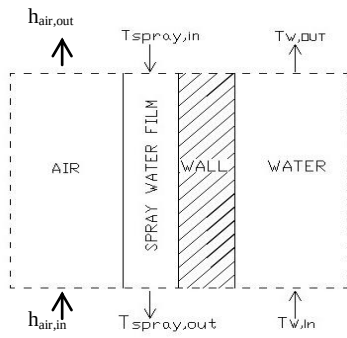
$$\frac{T_{w,in} - t_i}{T_{w,out} - t_i} = \frac{h_i - h_{air,in}}{h_i - h_{air,out}} \exp\left(\frac{K}{\alpha_m c_{pw}} \frac{G}{m_w}\right) \quad (2)$$

การคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสามารถคำนวณได้จากสมการการสมดุลของมวลดังนี้

$$m_{air}(h_{air,out} - h_{air,in}) = \alpha_m A \Delta h_{LM} \quad (3)$$

$$\Delta h_{LM} = \frac{h_{air,out} - h_{air,in}}{\ln \frac{h_{sat,Ti} - h_{air,in}}{h_{sat,Ti} - h_{air,out}}} \quad (4)$$



รูปที่ 1 ปริมาตรควบคุมของการถ่ายเทความร้อน
ในหอทำน้ำเย็นระบบปิดแบบไหลสวนทาง

การคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างท่อและน้ำ
ที่สเปรย์สามารถหาได้จากการทดลองและคำนวณได้
จากการสมดุลของสมการดังนี้

$$m_w c_{p_w} (T_{w,in} - T_{w,out}) = KA \Delta T_{LM} \quad (5)$$

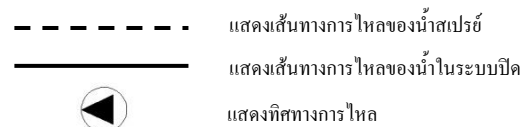
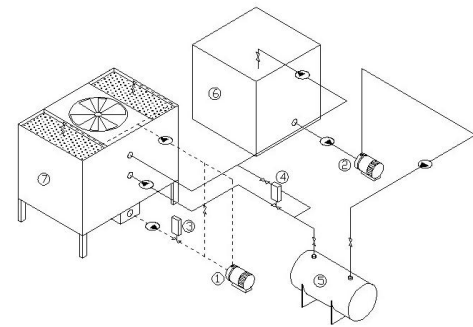
$$\Delta T_{LM} = \frac{T_{w,out} - T_{w,in}}{\ln\left(\frac{T_{w,out} - T_{spray}}{T_{w,in} - T_{spray}}\right)} \quad (6)$$

และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิว
ภายนอกท่อและฟิล์มน้ำที่สเปรย์แสดงในสมการที่ 7

$$\alpha_{spray} = \left[\frac{1}{K} - \frac{d_{ext}}{\alpha_w d_{int}} - \frac{d_{ext}}{2k_{tube}} \ln\left(\frac{d_{ext}}{d_{int}}\right) \right]^{-1} \quad (7)$$

3. อุปกรณ์ทดลองและวิธีการดำเนินการวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยของ Parker [3],
Niitsu Y.[4], Mizushina RIT[5], และ Gyu-Jin [6]
ได้นำมาออกแบบการทดสอบ รวมถึงการต่ออุปกรณ์ใน
การทดสอบดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งแบ่งการทดสอบเป็น
สองส่วนได้แก่ การหาความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์
การถ่ายเทความร้อนต่ออุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำ
ความเย็นโดยทดสอบในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำ
จากสแตนเลส ในการทดสอบกำหนดให้ตัวแปรคงที่ได้แก่
พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน อัตราการไหลของอากาศ
อัตราการไหลของน้ำร้อนในระบบปิด ส่วนตัวแปรที่
ปรับเปลี่ยนค่าได้แก่ อัตราการไหลเชิงมวลของน้ำที่
สเปรย์ต่ออากาศ



คำอธิบายหมายเลข

- | | |
|------------------------|-----------------------------|
| 1 แสดงปั๊มน้ำสเปรย์ | 2 แสดงปั๊มน้ำระบบปิด |
| 3 แสดงเครื่องวัด | 4 แสดงเครื่องวัดอัตราการไหล |
| 5 แสดงเครื่องทำน้ำร้อน | 6 แสดงถังน้ำร้อนอัตราการไหล |
| 7 แสดงหอทำน้ำเย็น | |

รูปที่ 2 แสดงไดอะแกรมของการเชื่อมต่ออุปกรณ์
ทดลองสำหรับการวิจัย

จากรูปที่ 2 โดยเส้นทึบเป็นเส้นทางการไหลของน้ำ
ที่ต้องการระบายความร้อนซึ่งอยู่ในระบบปิด โดยน้ำที่
จะทำการบำบัดจะถูกดูดโดยปั๊ม ② จากถังน้ำร้อน ⑥
เพื่อส่งเข้าไปในเครื่องทำความร้อน ⑤ และถูกวัดโดย
เครื่องมือวัดอัตราการไหล ④ ก่อนส่งเข้าไปในหอทำ
ความเย็น ⑦ สำหรับเส้นประเป็นการแสดงเส้นทางการ
ไหลของน้ำจากสเปรย์ที่ถูกดูดโดยปั๊มน้ำ ① เข้าสู่
ด้านบนของหอทำความเย็น และถูกปล่อยจากด้านบน
ของหอทำความเย็นโดยจะไหลสวนทางกับน้ำร้อนจาก
ระบบปิด โดยน้ำจากสเปรย์ที่ตกลงมาบริเวณด้านล่างจะ
ถูกตรวจสอบอัตราการไหลโดยเครื่องมือวัดอัตราการ
ไหล ③



รูปที่ 3 รูปแบบคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อนทำจากท่อ
ทองแดงและสแตนเลส

การทดสอบส่วนที่สอง เป็นการศึกษาผลกระทบของตัวแปร ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ได้แก่ อัตราการไหลเชิงมวลระหว่างอากาศต่อน้ำที่สเปรย์ รูปแบบการจัดวางท่อแลกเปลี่ยนความร้อนโดยจัดวางแบบแนวนอนและแนวตั้ง และชนิดของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 3 และรูปที่ 4



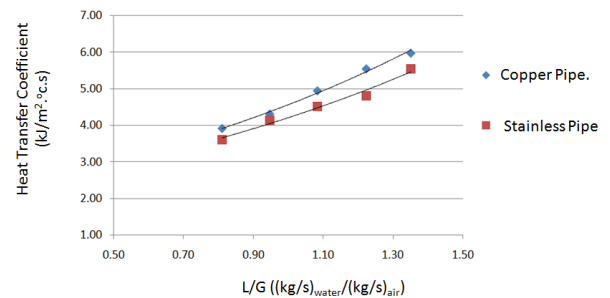
รูปที่ 4 รูปแบบการจัดวางคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแนวตั้งและแนวนอนที่เส้นผ่าศูนย์กลางและพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากัน

4.ผลการวิจัย

ผลการวิจัยผลกระทบของการถ่ายเทความร้อนต่ออุณหภูมิน้ำเย็น และการศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจากการทดสอบ นำผลมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ดังนี้

4.1) การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนหาค่าความเย็น และอัตราการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศ ผลที่ได้นำมาเขียนกราฟเปรียบเทียบระหว่างตัวแปรต่างๆ ดังนี้

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนระหว่างคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากวัสดุแตกต่างกันระหว่างทองแดงและสแตนเลส โดยกำหนดให้การจัดวางคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นแบบแนวตั้งทั้งสองแบบและพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากัน ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5

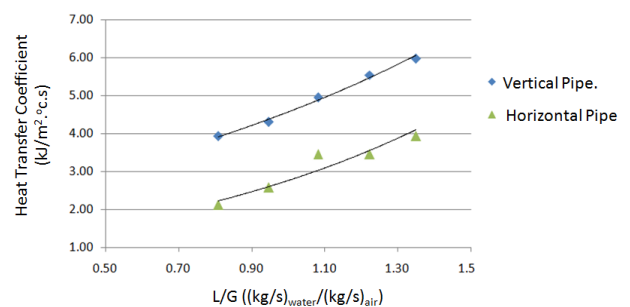


Heat Transfer Coefficient as a function of mass flow rate (water per air)

รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างระหว่างท่อทองแดงและสแตนเลส

จากกราฟพบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศ (L/G) เพิ่มขึ้น และวัสดุที่ทำจากทองแดงมีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงกว่าวัสดุที่ทำจากสแตนเลส โดยเฉลี่ย 8.3 %

การเปรียบเทียบรูปแบบการจัดวางคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแนวตั้ง (Vertical) และแนวนอน (Horizontal) ที่ใช้วัสดุจากทองแดงทั้งสองแบบและมีพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากัน

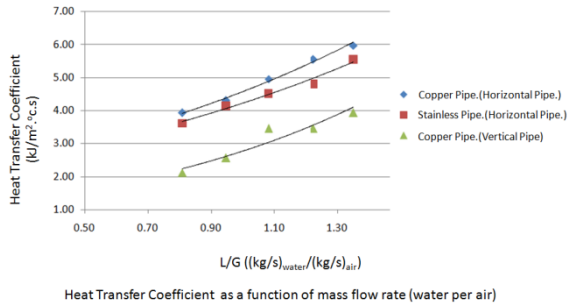


Heat Transfer Coefficient as a function of mass flow rate (water per air)

รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างระหว่างท่อทองแดงวางในแนวตั้งและแนวนอน

จากกราฟพบว่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศ (L/G) เพิ่มขึ้น และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของการจัดวางรูปแบบแนวตั้งสูงกว่าการจัดวางคอยล์แบบแนวนอน โดยเฉลี่ย 37.7 %

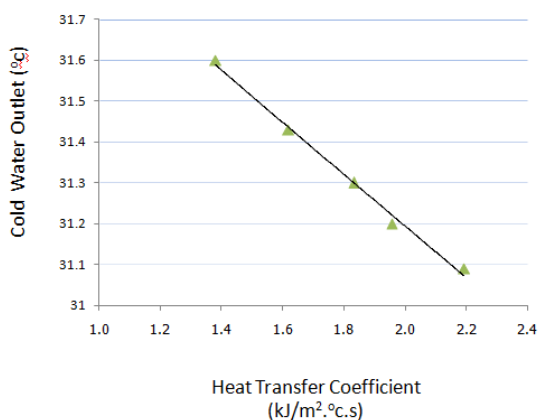
การเปรียบเทียบผลของการจัดวางคอยล์แลกเปลี่ยนและชนิดของวัสดุที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน



รูปที่ 7 กราฟเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในการทดสอบแบบต่างๆ

จากกราฟพบว่ารูปแบบการจัดวางคอยล์แบบแนวนอนสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะต่ำสุด และเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของการจัดวางคอยล์แบบแนวนอนที่ทำจากวัสดุสแตนเลสและทองแดง จะสูงกว่าวัสดุทองแดงในแนวนอนเฉลี่ย 32.0% และ 37.7% ตามลำดับ

4.2) การศึกษาผลกระทบการถ่ายเทความร้อนต่ออุณหภูมิน้ำที่ออกจากหอทำความเย็นโดยศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนต่ออุณหภูมิน้ำในคอยล์สแตนเลสวางแนวตั้ง ผลดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิน้ำที่ออกจากหอทำความเย็นระบบปิด

จากกราฟ อุณหภูมิของน้ำมีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น โดยสมการความสัมพันธ์ระหว่างเท่ากับ $T_{out}=32.48e^{-0.02K}$

5.บทสรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบการถ่ายเทความร้อนต่ออุณหภูมิน้ำที่ออกจากหอทำความเย็นระบบปิด โดยทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและอุณหภูมิของน้ำที่ออกจากหอทำความเย็นโดยใช้คอยล์สแตนเลส วางในแนวตั้ง

ผลการทดสอบพบว่า สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น อุณหภูมิน้ำเย็นลดลงโดยสมการความสัมพันธ์เท่ากับ $T_{out}=32.48e^{-0.02K}$ และเมื่อศึกษาผลกระทบของตัวแปรที่มีผลต่อสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทความร้อนจะมากขึ้นเห็นได้ชัด เมื่ออัตราการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำที่สเปรย์และอากาศเพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนรูปแบบการจัดวางคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อนจากแนวนอนมาเป็นแนวตั้ง โดยสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะเพิ่มขึ้น 37.7% ส่วนการจัดวางคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบเดียวกันแต่ใช้วัสดุแตกต่างกันสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนจะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเฉลี่ย 8.3% ดังนั้น ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจะขึ้นอยู่กับ อัตราการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำและอากาศ และการปรับเปลี่ยนรูปแบบการจัดวางคอยล์ ส่วนการเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อน ประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นจะน้อยกว่าการปรับปรุงรูปแบบการจัดวางคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อน นอกจากนี้ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมากขึ้น อุณหภูมิน้ำจะลดลง

คำอธิบายสัญลักษณ์

สัญลักษณ์

A พื้นที่ (m^2)

C_p ความร้อนจำเพาะ ($J/kg.K$)

d เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (m)

h เอนทาลปีจำเพาะ (J/kg)

K สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมระหว่างน้ำในท่อ/ท่อ/น้ำสเปรย์ ($kJ/m^2.s.°C$)

k ค่าการนำความร้อน ($W/m.K$)

m อัตราการถ่ายเทมวล (kg/s)

q	อัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (W/m ²)
Re	เรย์โนลด์ส์นัมเบอร์
x	อัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำและมวลของอากาศแห้ง (kg water / kg dry air)
T	อุณหภูมิ (K)
α_m	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลระหว่างน้ำสเปรย์และอากาศ (kg/s.m ²)
α_{spray}	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างผิวท่อด้านนอกถึงผิวน้ำสเปรย์ (W/m ² .K)
α_w	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนน้ำภายในท่อ (W/m ² .K)

สัญลักษณ์กำกับล่าง

air	อากาศ
ext	ด้านนอก
i	ผิวสัมผัสระหว่างน้ำสเปรย์และอากาศ
in	ตำแหน่งทางเข้าของหอทำน้ำเย็น
int	ด้านใน
LM	Logarithmic mean difference
out	ตำแหน่งทางออกของหอทำน้ำเย็น
sat	ที่สภาวะอิ่มตัว
spray	น้ำสเปรย์
tube	ท่อ
w	น้ำในท่อ
wb	กระเปาะเปียก

Engineering progress symposium series coolers 1961, p 57-32.

[4] Niitsu Y, Naito, and T, Anzai T. Studies on characteristics and design procedure of evaporative coolers, Journal of SHASE, Japan 1969, Vol 43, p7.

[5] Mizushima RIT, Miyashita H. Characteristics and methods of thermal design of evaporative cooler, International Chemical Engineering 1968, vol 8.No 3, p532-538.

[6] Gyu-Jin, Seung-Moon Baek, Performance Characteristics of a Closed Circuit Cooling Tower with Multi Path, Engineering and Technology, Volume 36 December 2008, p 2070-3740.

6.เอกสารอ้างอิง

[1] Pascal Stabat and Dominique Marchio. Simplified model for indirect contact evaporative cooling-tower behavior, Applied Energy (2004), vol 78, P433-451.

[2] Armando Olivera and Jorge Facao. Heat and mass transfer correlation for the design of small indirect contact cooling tower, Applied thermal engineering, vol 24(14-15), 2004, pp.1969-1978.

[3] Parker, R.O., and R.E Treybal. The heat-and-mass transfer of Evaporative, Chemical