การศึกษาอิทธิพลค่าการนำความร้อนของวัสดุต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในหอทำความเย็นระบบปิด

The influence of the conduction heat transfer value of different materials to the thermal effectiveness in the closed wet cooling tower

ดวงฤดี ชูตระกูล[1*], ปวีณ สุขบันเทิง [1], ขวัญชัย หนาแน่น [1] และ อุทัย ผ่องรัศมี [1]

[1] สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี 38 หมู่ 8 ต.นาวุ้ง อ.เมือง จ.เพชรบุรี 76000
*ติดต่อ: duangrudee.chu@mail.pbru.ac.th, 0865820425

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของค่าการนำความร้อนของวัสดุต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในหอทำความเย็นระบบปิด โดยหลักการระบายความร้อนจะให้น้ำร้อนไหลภายในท่อและถ่ายเทความร้อนสู่ผิวท่อ ภายนอกผิวท่อถูกน้ำสเปรย์ที่มีอุณหภูมิน้ำต่ำกว่าน้ำภายในท่อ และพาความร้อนสู่อากาศที่ไหลผ่านน้ำสเปรย์ ซึ่งการถ่ายเทความร้อนมีความซับซ้อนเนื่องจากการระเหยเข้ามาร่วมด้วย ในงานวิจัยที่ผ่านมาเพื่อลดปัญหาความซับซ้อนของค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมในส่วนค่าการนำความร้อนถือว่ามีค่าน้อยมาก จึงไม่นำมาคำนวณ ส่งผลให้วัสดุที่ใช้ เช่น ทองแดง สแตนเลส ท่อเหล็ก มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนไม่แตกต่างกัน งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนรวมระหว่างท่อแลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำจากท่อทองแดงและท่อสแตนเลส โดยควบคุมตัวแปรต้นที่อุณหภูมิน้ำสเปรย์ 32 °C พื้นที่ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนรวม0.26 m^2 อัตราการไหลของน้ำสเปรย์ต่ออากาศ 1.5-2.5 kg/kg อุณหภูมิน้ำร้อนในท่อ 42 °C และอัตราการไหลน้ำร้อน 2.5 m^3/hr ผลการทดสอบ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของท่อทองแดง และสแตนเลส ณ จุดวัดพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 0.034 m^2 มีค่า 0.61 kJ/kg.m^2 0.55 kJ/kg.m^2 ตามลำดับ และจุดวัดที่สองพื้นที่ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้นเป็น 0.08 m^2 ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนร่วมมีค่าเท่ากันคือ 0.47 kJ/kg.m^2 และเมื่อพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของท่อที่ทำจากวัสดุทั้งสองมีค่าเท่ากันตลอดจนถึงท่อทางน้ำร้อนออก จากผลการทดสอบจึงสรุปได้ว่าวัสดุที่ใช้ทำคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อนจะไม่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเมื่อพื้นที่ถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นมากกว่า 30 % ของพื้นที่ทั้งหมด

คำหลัก: หอทำความเย็น หอทำความเย็นระบบปิด เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนแบบระเหย

Abstract

This research studied on the influence of the conduction heat transfer value to the thermal conductivity effectiveness in the closed wet cooling tower. Heat transferring in closed wet cooling tower were 4 steps processes: Heat from hot water inside the tubes transferred to inner surfaces by convection and transferred to outer surfaces of tubes by conduction. Then by water spray outside,

heat transferred to water by convection and at the same time transferred from water spray to the air by evaporation. Because of the evaporation process, calculating the heat transfer value was complex and difficult to do. For solving this complicated process on calculation, the passing researches assumed that the overall heat transfer coefficient is very little amount, so it could be excluded in calculation. That means heat transferring by different materials; such as copper, stainless steel or steel; were no difference. The objective of this research was to compare the effective of overall heat transfer between copper and stainless steel tube. The controlled variables were: the water spray's temperature at 32 $^{\circ}$c, total tube surfaces for transferring process were 0.26 m^2, flow rate of water spray per air at 1.5 – 2.5 kg/kg, control water temperature in the tube at 42 $^{\circ}$c and the flow rate of water in the tube at 2.5 m^3/hr. The results showed that the overall heat transfer coefficient of copper and stainless steel tubes measured at 0.034 m^2 heat transfer surface were 0.61 kJ/kg.m^2 and 0.55 kJ/kg.m^2. At the 2nd point that had more heat transferring surface at 0.08 m^2, the overall heat transfer coefficient were the same at 0.47 kJ/kg.m^2 and when the heat transferring surface were increased, the heat transfer coefficient of both tubes were all the same from the start to the exit tube of hot water. For conclusion, in the closed wet cooling tower, different materials of heat transferring tubes do not influence in overall heat transfer coefficient when the heat transferring surface increased to be 30% of all heat transferred surfaces.

Keywords: Cooling Tower, Closed wet cooling Tower, Evaporator

1. บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในกระบวนการผลิต ซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตจะถูกทิ้งสู่บรรยากาศ โดยมีเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนเป็นตัวกลางในการรับความร้อนและระบายทิ้ง ซึ่งหลักการแลกเปลี่ยนความร้อนที่ใช้มีด้วยกัน 2 แบบ การถ่ายเทความร้อนแบบสัมผัส (sensible heat) คือการถ่ายเทความร้อนจากอุณหภูมิสูงสู่อุณหภูมิต่ำ โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะ เช่น แอร์คอนเดนเซอร์ ส่วนการถ่ายเทความร้อนแบบที่สองคือ การถ่ายเทความร้อนแฝง (latent heat) หลักการถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นได้เนื่องจากการเปลี่ยนสถานะของสาร

อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทิ้งสู่บรรยากาศที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรม ได้แก่หอทำความเย็น (Cooling Tower) ซึ่งใช้หลักการถ่ายเทความร้อนร่วมกันระหว่างความร้อนแฝงและความร้อนสัมผัส ซึ่งหลักการความร้อนแฝงจะมีประสิทธิภาพสูงดังนั้นอุปกรณ์จึงมีขนาดเล็ก ใช้พื้นติดตั้งน้อย และใช้พลังงานต่ำ หอทำความเย็นจึงเป็นส่วนประกอบที่สำคัญเกือบทุกอุตสาหกรรมการผลิต

หอทำความเย็นระบบปิดถูกพัฒนาขึ้นจากหอทำความเย็นเดิมที่นำน้ำสัมผัสกับอากาศโดยตรง ซึ่งการควบคุมคุณภาพน้ำเป็นไปได้ยาก ส่งผลต่อเครื่องจักรที่น้ำจากหอทำความเย็นไประบายความร้อนเกิดการอุดตันได้ง่าย ดังนั้นเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำจึงได้นำน้ำที่ไประบาย

ความร้อนผ่านในท่อและใช้น้ำสเปรย์ภายนอกท่อแทนการสัมผัสโดยตรงกับอากาศ ซึ่งจากการสำรวจหอทำความเย็นระบบปิด วัสดุที่ใช้ทำท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมีด้วยกันหลายชนิดได้แก่ ท่อทองแดง ท่อสแตนเลส และท่อเหล็กชุบ ซึ่งชนิดของท่อมีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน ต้นทุน และการดูแลรักษา และด้วยกระบวนการผลิตที่ใช้ต้องใช้หอทำความเย็นระบบปิดเป็นส่วนประกอบ หอทำความเย็นจึงมีความสำคัญต่อด้านพลังงาน ต้นทุนการผลิต ดังนั้นจึงได้มีงานวิจัยที่พยายามเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนดังนี้

Oliverira and Facao [1] ได้ศึกษาหาความสัมพันธ์การถ่ายเทมวลและความร้อนสำหรับการออกแบบหอทำความเย็นขนาดเล็กแบบระบบปิด (Closed wet cooling tower) ในการทดลองใช้หอทำความเย็นขนาด 10 kW ได้หาความสัมพันธ์ระหว่าง สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล และสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน เปรียบเทียบกับงานวิจัยในอดีตที่รูปแบบคอล์ยแลกเปลี่ยนความร้อนแตกต่างกัน และได้ทำนายประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนที่อัตราการไหลของอากาศ ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวจะใช้ได้กับหอทำความเย็นขนาดเล็ก

Stabat and Marchio [2] ได้สร้างแบบจำลองอย่างง่ายสำหรับหอทำความเย็นระบบปิดโดยอยู่บนพื้นฐานสมการของเมอร์เคิล (Merkel's theory) จากผลการทดสอบ อัตราการถ่ายเทความร้อนจากแบบจำลอง คาดเคลื่อนไม่เกิน ±10% แบบจำลองดังกล่าวสามารถคำนวณค่าพลังงาน และอุณหภูมิของน้ำ ภายใต้ความแตกต่างของอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอัตราการไหลของอากาศ

Shim and Baek [3] ได้ทดสอบประสิทธิภาพเชิงความร้อนในหอทำความเย็นระบบปิดแบบไหลสวนทางโดยออกแบบให้คอล์ยแลกเปลี่ยนความร้อนมีการไหลของน้ำแบบหลายส่วน (Multi path) ในการทดสอบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนการไหลแบบหลายส่วนพบว่ามีค่าประสิทธิภาพสูงกว่าการไหลแบบเข้าทางเดียวประมาณ 18% และ 26 % ในขนาดท่อ 15.88 mm และ 19.05 mm ตามลำดับ

ดวงฤดีและคณะ [4] ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนหอความเย็นระบบปิดแบบไหลตัดผ่านโดยการแทรกแผงกระจายระหว่างชั้นคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อน เมื่อเปรียบเทียบกับคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบไม่มีแผงกระจายพบว่าการแทรกแผงกระจายละอองน้ำสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของหอทำความเย็นระบบปิดได้

จากงานวิจัย[1]-[4] พบว่าประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของหอทำความเย็นระบบปิดขึ้นกับอัตราการไหลของน้ำสเปรย์และอากาศ ลักษณะการจัดวางรูปแบบท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ชนิดของท่อแลกเปลี่ยนความร้อน ซึ่งงานวิจัย[3] ได้สร้างแบบจำลองแบบง่ายโดยวิธีคำนวณสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนได้ละทิ้งพจน์ของค่านำความร้อนจากวัสดุออกเนื่องจากค่าการนำความร้อนแต่ละวัสดุมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ซึ่งจะทำให้การคำนวณง่ายขึ้น นั้นหมายถึงสามารถที่ใช้วัสดุท่อแลกเปลี่ยนความร้อนก็ไม่ผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน

ดังนั้นผู้วิจัยมีแนวคิดออกแบบการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพหอทำความเย็นที่ทำต่างวัสดุกัน ถ้าผลการทดสอบไปตามงานวิจัยดังกล่าว จะเป็นประโยชน์อย่างมากในด้านการลดต้นทุนการผลิตจากวัสดุทองแดงเทียบกับสแตนเลส และการซ่อมบำรุงรักษาทำได้ง่ายขึ้น เนื่องจากสามารถเปลี่ยนท่อแลกเปลี่ยนความร้อนได้ทั้งชุด โดยไม่ต้องเปลี่ยนทีละท่อและผลการทดลองยังสามารถนำมาใช้พัฒนาการออกแบบหอทำความเย็นระบบปิดต่อไป

1.2วัตถุประสงค์

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพหอทำความเย็นระบบปิด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ท่อแลกเปลี่ยนความร้อนทำจากวัสดุทองแดงและสแตนเลส

1.3.2 ทดสอบประสิทธิภาพของหอทำความเย็นที่อัตราการไหลเชิงมวลระหว่างน้ำสเปรย์และอากาศ(L/G) ระหว่าง 0.5<L/G<2.0

2. อุปกรณ์และวิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนระหว่างท่อแลกเปลี่ยนความร้อนทำจากท่อสแตนเลส และท่อทองแดงโดยการทดสอบภายใต้เงื่อนไขเดียวกันคือพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนเท่ากับ 3.13 ตารางเมตร เงื่อนไขการทดสอบดังตารางที่ 2.1

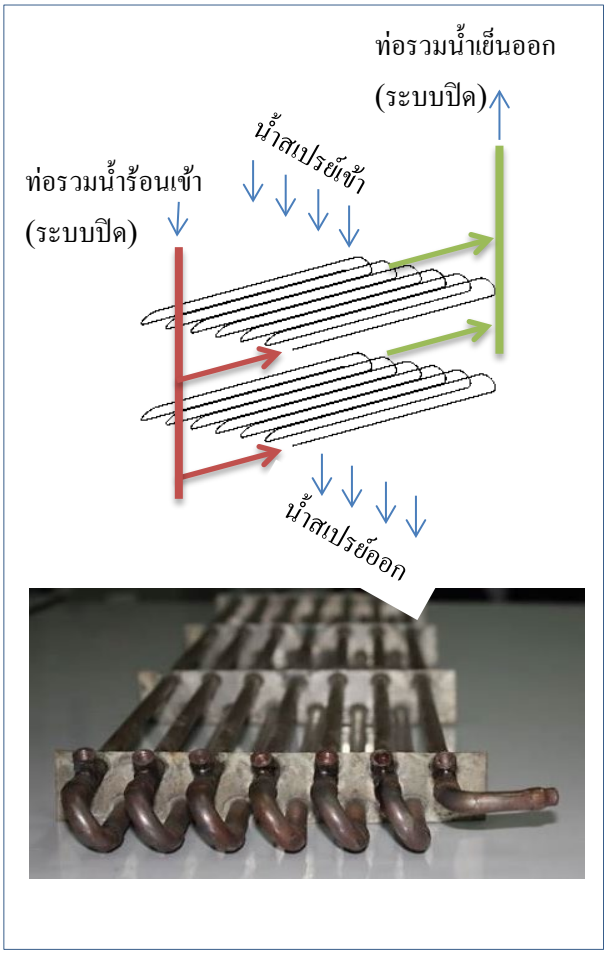
ตาราง 2.1 เงื่อนไขการทดสอบ

กรณีศึกษา	อัตราการไหลของน้ำสเปรย์ m^3/hr	อัตราการไหลของน้ำในระบบปิด m^3/hr	อุณหภูมิน้ำร้อน °C
1	6.00	2.56	42
2	8.00	2.56	42
3	10.00	2.56	42
4	12.00	2.56	42

รูปแบบการจัดวางท่อแลกเปลี่ยนความร้อน มี 2 ลักษณะ การวางในรูปแบบแนวนอน และแนวตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2

จากรูปที่ 1 หลักการทำงานน้ำร้อนไหลผ่านท่อร่วมน้ำร้อนเข้าและแยกเข้าสู่ท่อย่อยตามแนวการวางท่อย่อยในแนวนอนและรวมเข้าสู่ท่อร่วมทางออก และภายนอกท่อย่อยจะมีน้ำสเปรย์อุณหภูมิต่ำกว่าไหลผ่าน ความร้อนจะถ่ายเทความร้อนจากน้ำร้อยภายนอกท่อสู่น้ำสเปรย์

จากรูปที่ 2 หลักการทำงานน้ำร้อนไหลผ่านท่อร่วมน้ำร้อนเข้าและแยกเข้าสู่ท่อย่อยด้านล่างและไหลวนขึ้นตามแนวดิ่งร่วมกันในท่อร่วม และภายนอกท่อจะมีน้ำสเปรย์อุณหภูมิต่ำกว่าไหลผ่าน ความร้อนจะถ่ายเทความร้อนจากน้ำร้อยภายนอกท่อสู่น้ำสเปรย์

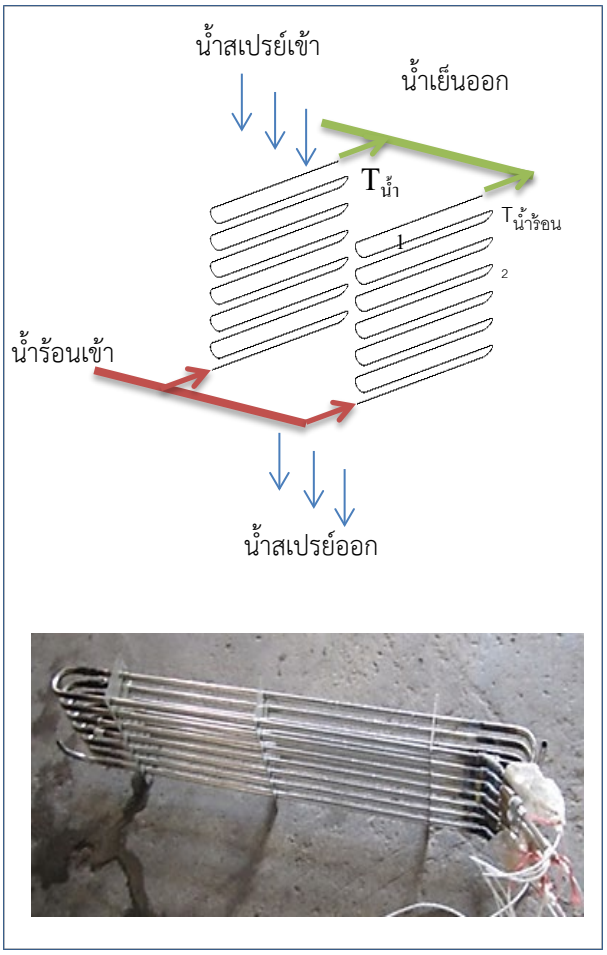


รูปที่ 1 รูปแบบการจัดคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแนวนอน

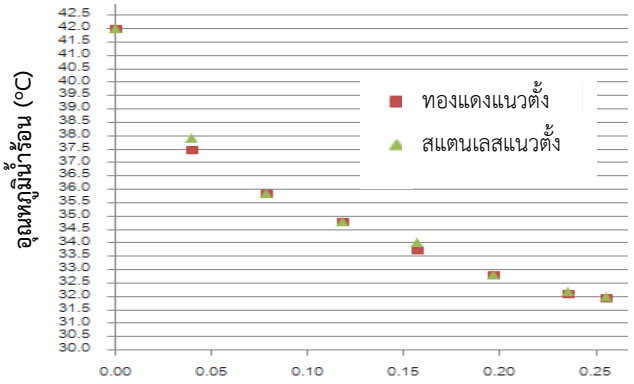
3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1เปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนระหว่างวัสดุท่อแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างทองแดงและสแตนเลส ผลการทดลองจากการจัดวางในแนวนอนดังแสดงในกราฟที่1 และการจัดวางในแนวตั้งดังแสดงในกราฟที่ 2

จากกราฟที่ 1 เส้นกราฟทั้งสองมีแนวโน้มอุณหภูมิน้ำร้อนลดลง เมื่อพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้นโดยช่วงแรก อุณหภูมิน้ำร้อนลดลงแตกต่างกันเล็กน้อย โดยที่พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน 0.04 ตารางเมตร อุณหภูมิน้ำร้อนลงต่างกัน 1.05 % และเมื่อพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มเท่ากับ 0.08 ตารางเมตร อุณหภูมิน้ำเย็นมีค่าลดลงที่เท่ากันตลอดพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนที่เพิ่มขึ้น

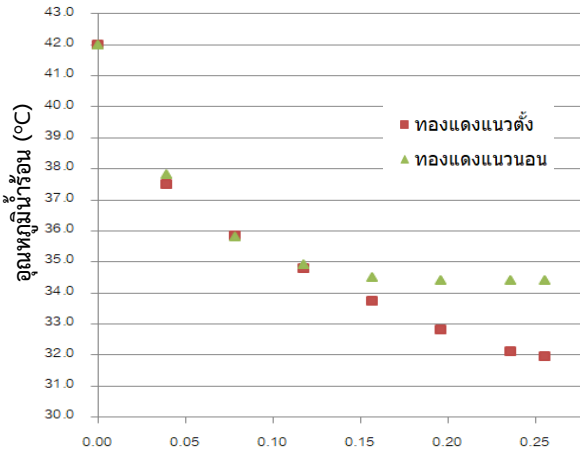


รูปที่ 2 รูปแบบการจัดคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแนวตั้ง



กราฟที่ 1 กราฟเปรียบเทียบความสัมพันธ์พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนและอุณหภูมิร้อนระหว่างการจัดวางทองแดงแนวตั้งและสแตนเลสแนวตั้ง

3.2 การเปรียบเทียบผลอุณหภูมิน้ำระหว่างการจัดวางคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อนแบบแนวตั้งและแบบแนวนอน



กราฟที่2 กราฟแสดงอุณหภูมิน้ำเย็นระหว่างคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อนแนวนอนและแนวตั้ง

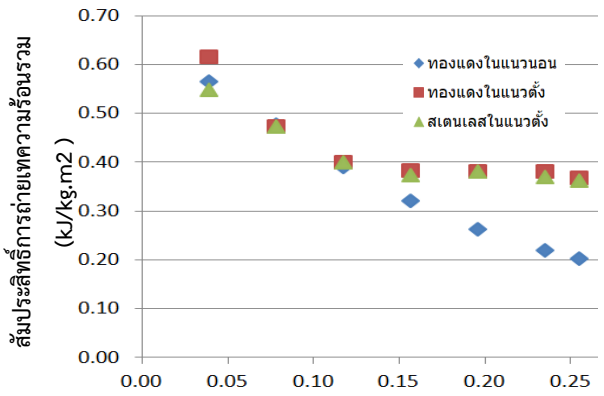
จากกราฟที่ 2 เมื่อเปรียบเทียบการจัดวางคอยแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างแนวนอนและแนวตั้งกำหนดให้เป็นวัสดุชนิดเดียวกันคือทองแดง จากกราฟแสดงให้เห็นผลของอุณหภูมิน้ำในท่อ ลดลงแตกต่างกันโดยพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนทางออกของท่อเท่ากับ 0.3 ตารางเมตร อุณหภูมิน้ำแตกต่างกันกัน 2.4 องศาเซลเซียส

เมื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำจากกราฟที่ 1 และกราฟที่ 2 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการลดลงของอุณหภูมิน้ำร้อนจากวัสดุที่แตกต่างกันแทบไม่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับรูปแบบการจัดวางคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อนมีผลต่ออุณหภูมิน้ำในท่อลดลงแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด

จากกราฟที่ 3 สัมประสิทธิการถ่ายเทความร้อนรวมในช่วงแรกมีค่าสูงและลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิน้ำร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนลดลงอย่างรวดเร็วดังแสดงในกราฟที่ 1, 2 และ 3 เมื่อพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมเริ่มจะคงที่

เมื่อนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนระหว่างการจัดวางแบบแนวตั้งที่ทำจากสแตนเลสมีค่าสูงกว่าการจัดวางแนวนอนของทองแดง ถึงแม้ว่าวัสดุที่ทำจากทองแดงจะมีค่าการนำความร้อนของวัสดุสูงกว่าสแตนเลสก็ตาม แสดงว่ารูปแบบการจัดวางคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อนมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนมากกว่าวัสดุที่ใช้ทำคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อน

3.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนรวม



กราฟที่ 3 แสดง สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวมในคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อนในแบบจัดวางแนวตั้ง/แนวนอนและชนิดของวัสดุทำจากทองแดงและสแตนเลส

4.สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้มีวัสดุประสงค์เพื่อทดสอบอิทธิพลของชนิดวัสดุที่มีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในท่อแลกเปลี่ยนความร้อนแบบน้ำสเปรย์ จากผลการทดสอบพบว่า วัสดุที่ใช้ทำท่อแลกเปลี่ยนมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนเฉพาะในช่วงพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนในช่วงแรกๆ คิดที่ 30 % ของพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนทั้งหมด และเมื่อพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อนเพิ่มขึ้น ชนิดวัสดุที่ทำท่อไม่มีผลประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อน

จากผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลที่มีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในหอทำน้ำเย็นระบบปิดขึ้นกับการจัดวางรูปแบบคอยล์แลกเปลี่ยนความร้อนโดยการจัดวางแบบแนวตั้งประสิทธิภาพสูงกว่าการจัดวางแบบแนวนอน

จากงานวิจัย[1]แบบจำลองสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนในพจน์การนำความร้อนของวัสดุถูกละทิ้ง ซึ่งผลการทดลองรองรับสมการดังกล่าวที่ถือว่าอิทธิพลของค่าการนำความร้อนของวัสดุมีผลต่อประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนร่วมน้อยมากจึงตัดทิ้งเพื่อให้แบบจำลองในการคำนวณง่ายขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สถาบันวิจัยและส่งเสริมศิลปวัฒนธรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี เป็นอย่างสูงสำหรับทุนอุดหนุนการเผยแพร่ผลการวิจัย

6. งายวิจัยที่เกี่ยวข้อง

[1] Armando Olivera and Jorge Facao, Heat and mass transfer correlation for the design of small indirect contact cooling tower s, Applied thermal engineering, Vol 24.issues 14-15,2004, p1969-1978.

[2] Pascal Stabat and Dominique Marchio, Simplified model for indirect-contact evaporative cooling-tower behavior, Applied Energy 78(2004)433-451

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

[4] ดวงฤดี ชูตระกูล, พิชัย อัษฎมงคล, อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง. การศึกษาหอทำความเย็นระบบปิดแบบไหลขวางกั้น วารสารมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ฉบับที่ suppl1, หน้าที่ 47-58, ปี 2553

.