การประยุกต์ใช้ Evaporative Condenser ในเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน เพื่อลดปริมาณการใช้พลังงาน

An Implementation of a Self-Contained Evaporative Condenser in Spit-Type Air Conditioner for Energy Conservations

เกรียงไกร อัศวมาศบันลือ*, รพีภัทร เจริญมหรรชัย, รัชต นาคสมบัติ
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพฯ 10900
โทร 0-662-942-8555 โทรสาร 0-662-579-4576 *อีเมล์ fengkka@ku.ac.th

Kriengkrai Assawamartbunlue*, Rapeepat C., Ratchata N.
Mechanical Engineering Department, Kasetsart University,
Bangkok, 10900, Thailand, Tel: 0-662-942-8555, Fax: 0--662-579-4576, *E-mail: fengkka@ku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงระบบระบายความร้อนของเครื่องอากาศซึ่งเดิมเป็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศให้กลายเป็นระบบระบายความร้อนด้วยน้ำโดยการประยุกต์ใช้หลักการของ Evaporative Condenser ในการระบายความร้อนจากน้ำหล่อเย็นให้กับสิ่งแวดล้อมภายนอกอีกครั้งหนึ่งเพื่อลดปริมาณการใช้น้ำ นอกจากนี้แล้วเพื่อเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงและดัดแปลงเครื่องเดิม อุปกรณ์ที่ใช้จะเป็นอุปกรณ์เดิมที่มีอยู่ในเครื่องยกเว้นปั๊มน้ำ ระบบท่อและโครงซึ่งจะต้องทำการดัดแปลงให้สามารถรองรับน้ำได้ ปั๊มน้ำจะเป็นแบบธรรมดาที่ความดันสูงไม่สูงมากเพื่อลดค่าใช้จ่าย ในการออกแบบได้คำนึงถึงความสะดวกในการติดตั้งและการใช้งานจริง อุปกรณ์จะถูกบรรจุอยู่ในโครงเดียวกันกับชุด Evaporative Condenser ในการตรวจวัดปริมาณการใช้พลังงานก่อนและหลังปรับปรุงอาศัยหลักการตามข้อตกลงนานาชาติในการตรวจวัดและพิสูจน์ทราบผลประหยัดพลังงาน (IPMVP) จากการทดสอบในสภาพการใช้งานจริงพบว่าเมื่อปรับปรุงแล้วเครื่องปรับอากาศมีแนวโน้มว่าจะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานลงได้ แต่เนื่องจากคอยล์ร้อนเดิมที่ใช้มีระยะห่างของครีบระบายความร้อนค่อนข้างถี่มาก ทำให้น้ำที่รดลงบนผิวครีบปิดกั้นการไหลของอากาศ ส่งผลให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและอากาศลดลง อุณหภูมิของน้ำไม่สามารถลดลงได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ จึงทำให้บางช่วงเวลาเครื่องปรับอากาศที่ปรับปรุงใหม่มีการใช้พลังงานมากกว่าของเดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงที่อากาศภายนอกมีอุณหภูมิต่ำ ขนาดของชุด Evaporative Condenser จะใหญ่ขึ้นประมาณ 1.5-2 เท่าของขนาดเดิม ทำให้ต้องการ พื้นที่ในการติดตั้งมากขึ้น

Abstract

In this paper, the air-cooled condenser of a split-type air-conditioner is modified to evaporative condenser. The condensing coil, compressor, and cooling tower is combined into one unit. Most of the equipment contained in the modified condensing unit is taken from the old condensing unit, i.e., fan coil, heating coil, and compressor. Additional equipment includes water pump, cooling tower fills, and container. Based on International Performance Measurement and Verification Protocol, the modified condensing unit tends to reduce energy consumption of the system. Due to small fin spacing, the water flowing down to the base obstructs the air current by which the heat transfer between air and water reduces. The water temperature does not reduce to the wet-bulb temperature of the air. So that, the energy consumed by the air-conditioner is occasionally higher than the original system, especially when the ambient temperature is low. The size of the modified unit is 1.5-2 times greater than the original one.

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีอากาศร้อน การใช้เครื่องปรับอากาศเพื่อลดอุณหภูมิภายในบ้านพักอยู่อาศัยสามารถพบเห็นได้โดยทั่วไป เครื่องปรับอากาศเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีอัตราการใช้พลังงานสูงมากเมื่อเทียบกับอุปกรณ์ไฟฟ้าอื่นๆภายในครัวเรือน อีกทั้งชั่วโมงการทำงานก็ยาวนานกว่า การพัฒนาให้เครื่องปรับอากาศมีอัตราการใช้พลังงาน

ไฟฟ้าลดลงโดยที่ยังคงมีความสามารถการทำความเย็นที่เท่าเดิมหรือเพิ่มขึ้นจะเป็นประโยชน์ต่อทั้งผู้ใช้และผู้ผลิตโดยตรง โครงงานนี้มีแนวความคิดที่จะปรับปรุงระบบระบายความร้อนของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ซึ่งเดิมเป็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ ให้เป็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำโดยออกแบบเป็น Evaporative Condenser ซึ่งความคาดหวังว่าโครงงานจะเป็นประโยชน์ทั้งต่อผู้ที่สนใจ ผู้ซื้อและผู้ผลิต อีกทั้งยังเป็นแนวทางที่จะใช้พลังงานอย่างคุ้มค่าในยุคที่พลังงานมีมูลค่าสูงขึ้นอีกด้วย

2. การปรับปรุงของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

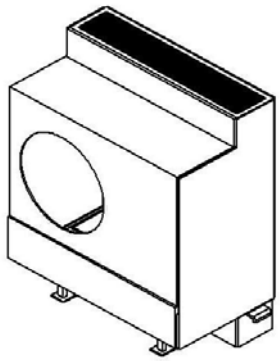
เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนโดยทั่วไปจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์หลัก 4 อุปกรณ์ด้วยกัน คือ คอมเพรสเซอร์ คอยล์ร้อน คอยล์เย็น และอุปกรณ์ลดความดัน ในการประกอบเครื่อง ชุดคอยล์ร้อนจะประกอบด้วยคอยล์ร้อนและคอมเพรสเซอร์จะวางอยู่คู่กันภายนอกห้องโดยมีพัดลมระบายความร้อนสำหรับเป่าระบายความร้อนให้แก่คอยล์ร้อน คอยล์เย็นและอุปกรณ์ลดความดันจะวางอยู่ใกล้กันในชุดคอยล์เย็น ในการวิจัยนี้จะทำการปรับปรุงชุดคอยล์ร้อนซึ่งเดิมเป็นการระบายความร้อนด้วยอากาศให้กลายเป็นการระบายความร้อนแบบ Evaporative Condenser น้ำจะถูกราดลงบนคอยล์ร้อนในขณะเดียวกันก็จะมีพัดลมดูดอากาศภายนอกเข้ามาในทิศทางที่สวนกันกับทิศทางของน้ำที่กำลังตกลงไป

ขณะที่น้ำไหลผ่านคอยล์ร้อน น้ำจะรับความร้อนจากสารทำความเย็นทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่น้ำไหลผ่านลงมานั้น ลมที่เป่าสวนขึ้นไปจะทำการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำซึ่งกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีทั้งการถ่ายเทความร้อนแบบสัมผัสและความร้อนแฝง ทำให้น้ำที่ตกลงไปบนถาดรองรับน้ำด้านล่างมีอุณหภูมิลดต่ำลง ซึ่งจะถูกวนกลับไปใช้อีกครั้งหนึ่ง

การใช้ Evaporative Condenser มาระบายความร้อนให้แก่น้ำ จะสามารถลดอุณหภูมิของน้ำได้ต่ำกว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศ ซึ่งโดยทางทฤษฎีจะสามารถลดอุณหภูมิได้ถึงอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ เมื่อนำน้ำที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศมาระบายความร้อน จะทำให้ความดันด้านสูงหรืออุณหภูมิอิ่มตัวของสารทำความเย็นภายในคอยล์ร้อนมีอุณหภูมิหรือความดันลดต่ำลง ส่งผลให้คอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานลดลงด้วย

2.1 การออกแบบ Evaporative Condenser

ชุด Evaporative Condenser และคอมเพรสเซอร์จะรวมกันอยู่ตู้ใบเดียวกันเพื่อลดขนาดของชุดคอยล์ร้อนให้เล็กที่สุดและลดพื้นที่ในการติดตั้ง ชุด Evaporative Condenser ที่ออกแบบจะเป็นชนิดลมดูดแบบไหลสวนทาง คอยล์ร้อนจะวางอยู่ในแนวตั้งเพื่อให้สามารถราดน้ำลงมาได้อยู่ตลอดเวลา ภายในจะกั้นเป็นพื้นที่ส่วนหนึ่งสำหรับวางคอมเพรสเซอร์ รูปที่ 1-3 แสดงชุด Evaporative Condenser ที่ได้จัดทำขึ้น



รูปที่ 1 แสดงชุดปรับปรุงคอล์ยร้อนและหอทำน้ำเย็น

รูปที่ 2 การเลือกขนาดของแผงกระจายน้ำในหอทำน้ำเย็น

รูปที่ 3 การวางอุปกรณ์ภายใน Evaporative Condenser

การหาขนาดที่เหมาะสมจะอาศัยหลักทางวิศวกรรม [4] โดยสภาวะการออกแบบกำหนดไว้ที่อุณหภูมิน้ำเข้าและออกที่ 37 และ 32 องศาเซลเซียสตามลำดับ อุณหภูมิกระเปาะแห้งของอากาศที่ 28.5 องศาเซลเซียส ในการออกแบบจะยึดเอาอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วในเครื่องปรับอากาศสำหรับการทดลองเป็นหลัก กล่าวคือ ใช้พัดลม คอมเพรสเซอร์และคอยล์เย็นของเดิมที่มากับเครื่องทดสอบ อุปกรณ์ที่จะจัดหาเพิ่มเติมได้แก่ปั๊มน้ำ ท่อน้ำและโครงสร้างที่จะต้องทำให้สามารถบรรจุน้ำได้ ผลจากการการออกแบบได้ความเร็วของลมอยู่ที่ 0.2 กิโลกรัมต่อวินาที อัตราการไหลของน้ำที่ 0.33 ลิตรต่อวินาที

2.2 เครื่องปรับอากาศสำหรับการทดลอง

เครื่องปรับอากาศที่ใช้ในการวิจัยเป็นเครื่องปรับอากาศขนาด 9,000 บีทียูต่อชั่วโมง มีอายุการใช้งานประมาณ 10 ปี ติดตั้งอยู่ในห้องทำงานของอาจารย์ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ซึ่งมีการใช้งานอยู่เป็นประจำทุกวัน ห้องมีขนาดพื้นที่ประมาณ 12 ตารางเมตร มีกระจกอยู่

ทางด้านทิศตะวันออกและทิศใต้ อัตราส่วนพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังประมาณ 50% ภาระความร้อนภายในห้องประกอบด้วยหลอดฟลูออเรสเซนต์ 6 หลอด เครื่องคอมพิวเตอร์ 1 ชุด คนในห้อง 1 คน ในห้องไม่มีพัดลมระบายอากาศ มีประตูทางเข้า 1 บาน และมีลักษณะการใช้เหมือนห้องทำงานของอาจารย์ทั่วไป

3. การทดสอบระบบ

ก่อนที่จะทำการปรับปรุงระบบได้มีการเก็บข้อมูลของเครื่องปรับอากาศเดิมไว้ก่อน โดยข้อมูลที่จะเก็บประกอบไปด้วยกำลังไฟฟ้า อุณหภูมิภายในและภายนอกห้อง ความชื้นอากาศภายในและภายนอกห้องและอุณหภูมิของน้ำระบายความร้อน ทำการจัดเก็บเป็นระยะเวลาไม่น้อยกว่า 7 วันโดยช่วงที่ทำการทดสอบอยู่ในเดือนกุมภาพันธ์ หลังจากที่เก็บข้อมูลมาพร้อมแล้วก็จะทำการถอดประกอบชุดคอยล์ร้อนใหม่ให้ได้ดังแสดงในรูปที่ 2 และทำการทดสอบอีกครั้งหนึ่งโดยเก็บข้อมูลเหมือนก่อนการปรับปรุง

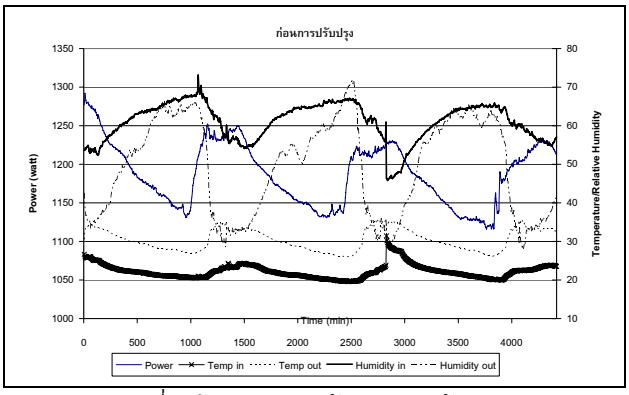
4. การประเมินผลประหยัด

การประเมินผลประหยัดจะยึดตามหลักวิธีของ International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) ปี 2002 [5] ซึ่งเป็นแนวทางในการประเมินผลประหยัดในโครงการอนุรักษ์พลังงานที่เป็นที่นิยมใช้ในระดับสากล เนื่องจากสภาวะการทำงานของเครื่องปรับอากาศก่อนและหลังการปรับปรุงจะมีความแตกต่างกันทั้งสภาพอากาศและภาระความร้อนที่เกิดขึ้น การเปรียบเทียบพลังงานที่ใช้จะไม่สามารถเปรียบเทียบได้โดยตรง ตามหลักของ IPMVP ขอบเขตของการพิจารณาจะครอบคลุมเฉพาะตัวเครื่องปรับอากาศและพิจารณาว่าตัวแปรใดมีผลกระทบต่อการใช้พลังงงานของเครื่องปรับอากาศนี้ หลังจากนั้นจะหาความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้และตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานนั้นๆ ซึ่งในที่นี้กำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้เป็นตัวแปรด้านพลังงานที่สนใจและตัวแปรที่มีผลกระทบกับกำลังไฟฟ้าได้แก่อุณหภูมิและความชื้นภายในและภายนอกห้อง

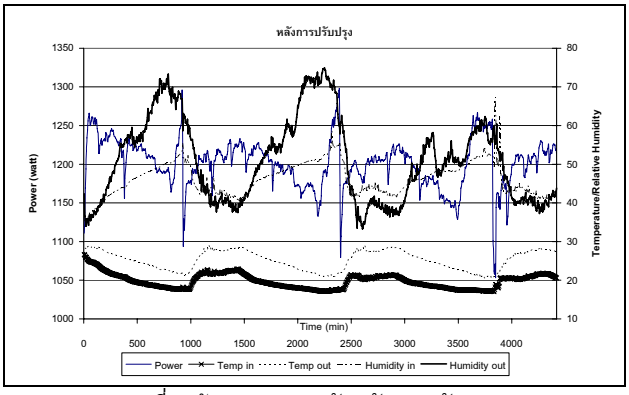
สมการความสัมพันธ์นี้จะถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศถ้าไม่มีการปรับปรุง โดยอาศัยข้อมูลที่เก็บมาได้ก่อนการปรับปรุงและเทคนิคการสร้างสมการแนวโน้ม (Regression) ตามหลักของ IPMVP จะไม่เน้นการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรจากสมการพื้นฐานทางวิศวกรรมเนื่องจากมีความยุ่งยากและไม่สามารถยืนยันผลสำริดได้ ถ้าหากสมการแนวโน้มสามารถที่จะจัดทำขึ้นได้โดยมีค่า Root Mean Square Error (RMSE) มากกว่า 75% ก็เป็นที่ใช้ได้ในการคำนวณค่าพลังงานของเครื่อง สมการนี้จะเป็นตัวแทนบ่งบอกสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศก่อนการปรับปรุง หลังจากมีการปรับปรุงแล้วตัวแปรที่ใช้ในสมการแนวโน้มจะถูกเก็บไว้ด้วย เมื่อเอาข้อมูลเหล่านี้ไปแทนค่าในสมการจะรู้ว่าภายใต้สภาวะที่เกิดขึ้น ถ้าไม่มีการปรับปรุงเครื่องปรับอากาศแล้วจะมีการใช้กำลังไฟฟ้าเท่าใด แล้วนำกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ไปเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่วัดได้จริงซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้หลังการปรับปรุง ความแตกต่างของค่ากำลังไฟฟ้าสองคือผลประหยัดที่เกิดขึ้นจากการปรับปรุงนั้นเอง

5. ผลการทดลอง

รูปที่ 4 และรูปที่ 5 แสดงผลการตรวจวัดการใช้กำลังไฟฟ้าและตัวแปรที่มีผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อนและหลังการปรับปรุงตามลำดับ จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้จะขึ้นลงตามอุณหภูมิของอากาศ กำลังไฟฟ้าของเครื่องปรับอากาศจะไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอากาศมากทั้งอุณหภูมิภายนอกและภายใน ความชื้นจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงเท่ากับอุณหภูมิของอากาศ อุณหภูมิภายในและภายนอกจะมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันเช่นเดียวกันกับความชื้น กำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้จะเปลี่ยนแปลงระหว่าง 1,140 วัตต์ ถึง 1,280 วัตต์



รูปที่ 4 ข้อมูลการตรวจวัดก่อนการปรับปรุง



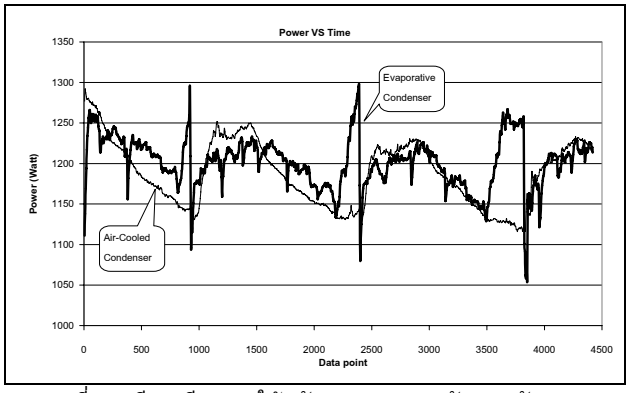
รูปที่ 5 ข้อมูลการตรวจวัดหลังการปรับปรุง

เมื่อนำข้อมูลก่อนการปรับปรุงมาสร้างเป็นสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและสภาพอากาศจะได้สมการแนวโน้มดังต่อไปนี้

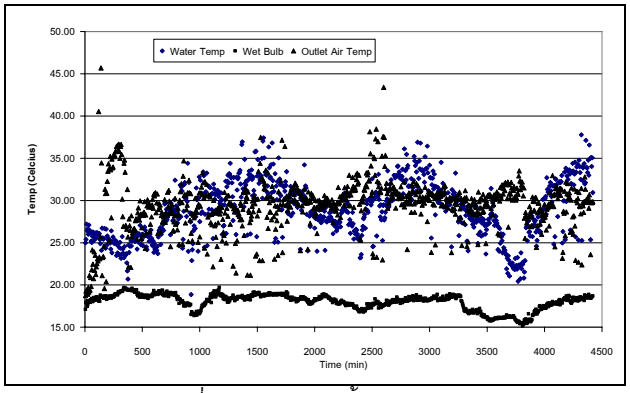
$$Power = 546.921+14.655T_{in}+1.299Rh_{in}+10.133T_{out} +0.708Rh_{out} \quad (1)$$

โดย T_{in} และ Rh_{in} คืออุณหภูมิและความชื้นของอากาศภายในห้อง T_{out} และ Rh_{out} คืออุณหภูมิและความชื้นของอากาศนอกห้อง และมีค่า RMSE = 0.935 ซึ่งตาม IPMVP จะต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 0.75 จึงจะเป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ สมการแนวโน้มที่ได้นี้จะถูกใช้ในการคำนวณ

ค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศใช้ถ้าไม่มีการปรับปรุงชุดระบายความร้อน

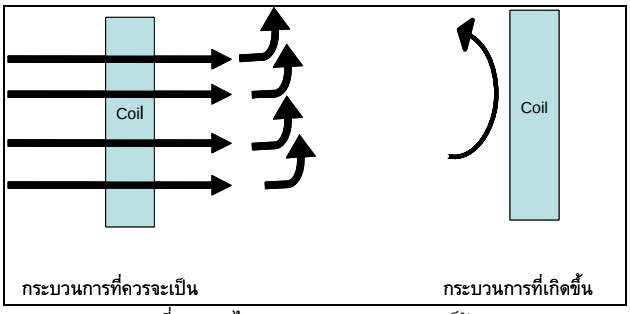


รูปที่ 6 เปรียบเทียบการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุง



รูปที่ 7 อุณหภูมิของน้ำและอากาศ

รูปที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่ใช้ระหว่างเครื่องปรับอากาศที่ไม่มีการปรับปรุงกับหลังการปรับปรุงแล้ว จะเห็นได้ว่าบางช่วงเวลากำลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อนการปรับปรุงสูงกว่าหลังการปรับปรุง บางช่วงเวลาหลังการปรับปรุงสูงกว่าก่อนการปรับปรุง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงเวลาที่อากาศมีอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากบางช่วงเวลาอุณหภูมิของอากาศต่ำกว่าอุณหภูมิของน้ำดังรูปที่ 7 ซึ่งมีสาเหตุมาจากการออกแบบ Evaporative Condenser ที่ไม่สามารถลดอุณหภูมิของน้ำได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ อาจจะเกิดจากการใช้คอยล์ตัวเดิมที่ระยะห่างของครีบน้อย เมื่อฉีดน้ำลงบนคอยล์ น้ำจะลงไปเต็มช่องว่างระหว่างครีบทำให้อากาศไม่สามารถไหลผ่านได้ดังแสดงในรูปที่ 8 ส่งผลให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและอากาศไม่ดีพอ อุณหภูมิของน้ำจึงไม่สามารถลดลงได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ



รูปที่ 8 การไหลของอากาศผ่านคอยล์ร้อน

6. สรุป

จากการทดสอบพบว่าเมื่อปรับปรุงแล้วเครื่องปรับอากาศมีแนวโน้มว่าจะสามารถลดปริมาณการใช้พลังงานลงได้ แต่เนื่องจากคอยล์ร้อนเดิมที่ใช้มีระยะห่างของครีบระบายความร้อนค่อนข้างถี่มาก ทำให้น้ำที่รดลงบนผิวครีบปิดกั้นการไหลของอากาศ ส่งผลให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำและอากาศลดลง อุณหภูมิของน้ำไม่สามารถลดลงได้ใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ จึงทำให้บางช่วงเวลาเครื่องปรับอากาศที่ปรับปรุงใหม่มีการใช้พลังงานมากกว่าของเดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงที่อากาศภายนอกมีอุณหภูมิต่ำ ซึ่งจะต้องมีการปรับปรุงวิธีการรดน้ำลงบนคอยล์โดยการรดน้ำเป็นจังหวะเพื่อไม่ให้น้ำปิดทางเดินของอากาศ นอกจากนี้ขนาดของชุด Evaporative Condenser จะใหญ่ขึ้นประมาณ 1.5-2 เท่าของขนาดเดิม ทำให้ต้องการพื้นที่ในการติดตั้งมากขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันวิศวกรรมพลังงาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในการให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและอุปกรณ์เพื่อสนับสนุนการทดสอบครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] มนตรี พิรุณเกษตร, 2546. คูลลิ่งทาวเวอร์. ระบบปรับอากาศ, ชุดที่ 2, 66-100.

[2] Hill,G.B. et. al. 1990. Cooling Tower: Principle and Practice, 3rd, Butterworth-Heinemann.

[3] IPMVP: International Performance Measurement and Verification, Volume 1, U.S. Department of Energy, 2002.

[4] Yunus,A.C. 2003. Heat Transfer: A Practical Approach, 2nd edition, McGraw-Hill, New York.