การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22
15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

การประหยัดพลังงานโดยใช้คูลลิ่งแพดที่คอยล์ร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น

Saving Energy by Cooling Pad at Condenser of Water Chiller

อภิชาติ อาจนาเสียว* ชาญวิทย์ ศรีเพ็ญชัย
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เลขที่ 123 อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
โทร. 0-4336-2240 โทรสาร 0-4336-2240 อีเมล์ artnaseaw@yahoo.com

บทคัดย่อ

คูลลิ่งแพดได้ถูกออกแบบและติดตั้งเพื่อลดอุณหภูมิของอากาศก่อนผ่านคอยล์ร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องทำน้ำเย็น งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ระยะห่างระหว่างคอยล์ร้อนกับคูลลิ่งแพดและอัตราการไหลของน้ำผ่านคูลลิ่งแพดที่มีผลต่อค่า COP กระแสไฟฟ้าที่ใช้และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ผ่านคอยล์ร้อน พบว่า เมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงขึ้น ค่า COP ลดลงและกระแสไฟฟ้าที่ใช้จะเพิ่มขึ้น เมื่อทำการปรับอัตราการไหลของน้ำผ่านคูลลิ่งแพดให้สูงขึ้น ค่า COP เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับกระแสไฟฟ้าที่ใช้ลดลง ส่วนการเพิ่มระยะห่างระหว่างคอยล์ร้อนกับคูลลิ่งแพดจะทำให้ค่า COP ลดลงเล็กน้อย สัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเช่นกัน สำหรับอิทธิพลจากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ระยะห่างระหว่างคอยล์ร้อนกับคูลลิ่งแพด และอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านคูลลิ่งแพดมีผลเล็กน้อยต่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ผ่านคอยล์ร้อน และเมื่อเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นที่ติดตั้งและไม่ติดตั้งคูลลิ่งแพด พบว่าเครื่องทำน้ำเย็นที่ติดตั้งคูลลิ่งแพดใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่าถึง 10% ที่อุณหภูมิ 40 ^{o}C

Abstract

Cooling pad was designed, built and tested in order to cool down the air before it passing over the condenser of water chiller, consequently reduce electrical energy consumption of water chiller. The operating condition such as environment temperature ranging from, space between condenser and cooling pad, include flow rate of water that pass through cooling pad, that effects on COP value, electric current and relative humidity of air at condenser were investigated. Experiment results show that COP increase when the temperature of environment decrease or flow rate of water that pass through cooling pad was increased. The electric current increase when the environment temperature increase or flow rate of water that pass through cooling pad was decreased. The relative humidity of air before passing condenser were independent from environment temperature, space between Condenser and cooling pad as well as water flow rate that pass through cooling pad. It was also discovered energy consumption decreases by about 10% at 40^{o}C.

1. คำนำ

เครื่องทำน้ำเย็นสำหรับระบบปรับอากาศที่นิยมใช้กันโดยมากจะอาศัยกระบวนการระบายความร้อนด้วยอากาศ ซึ่งเหมาะกับงานที่ไม่ต้องการความเย็นมากนัก (โดยจะไม่เกิน 500 ตันความเย็น) เช่น อุตสาหกรรมขนาดกลางและเล็ก แต่ในประเทศที่มีภูมิอากาศร้อนชื้นอย่างประเทศไทย กระบวนการระบายความร้อนด้วยอากาศเป็นไปได้ลำบาก จึงจำเป็นต้องใช้กระแสไฟฟ้าในปริมาณสูงเพื่อเดินเครื่องทำน้ำเย็นให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ ดังนั้นการลดอุณหภูมิของอากาศก่อนไหลผ่านคอยล์ร้อนของเครื่องทำน้ำเย็นโดยใช้หลักการระเหยของน้ำเป็นวิธีการประหยัดพลังงานได้อย่างหนึ่ง จากกระบวนการระเหยของน้ำเพื่อเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอ จะต้องใช้พลังงานความร้อนในการเปลี่ยนสถานะ เรียกว่า ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ส่งผลให้อุณหภูมิของอากาศโดยรอบลดลงประมาณ 2 – 6 ^{o}C เนื่องจากสูญเสียพลังงานความร้อน ซึ่งจากปัจจัยนี้สามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องทำน้ำเย็น เนื่องจากช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนของเครื่องควบแน่น และทำให้อุณหภูมิของสารทำความเย็นที่ออกจากเครื่องควบแน่นลดลง ความดันของสารทำความเย็นจึงลดลงด้วย มีผลให้คอมเพรสเซอร์ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลง ในขณะที่ได้ความเย็นเพิ่มขึ้น อัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อภาระการทำความเย็นจึงลดลงจากเดิมเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องทำน้ำเย็นที่ไม่ได้ใช้คูลลิ่งแพด และพบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 10 – 20 % [5] พร้อมทั้งสามารถยืดอายุการใช้งานของคอมเพรสเซอร์ได้อีกด้วย สำหรับกระบวนการทำให้น้ำระเหยสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การพ่นเป็นละอองน้ำ หรือ การใช้แผงระบายความร้อน และเมื่ออากาศไหลผ่านจะทำให้อากาศนั้นมีความชื้นเพิ่มขึ้นและอุณหภูมิลดลง

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการศึกษาและออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น (COP) ที่มีระบบระบายความร้อนด้วยอากาศภายหลังการติดตั้งคูลลิ่งแพดเข้ากับระบบ

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

คูลลิ่งแพดซึ่งทำจากเซลลูโลสได้ถูกออกแบบให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศมากที่สุด และซึมซับน้ำได้ดีเยี่ยม สามารถใช้เป็นอุปกรณ์ช่วยลดอุณหภูมิอากาศ โดยคูลลิ่งแพดจะถูกหล่อเลี้ยงด้วยน้ำเพื่อให้มีความชื้นอยู่ตลอดเวลา และเมื่ออากาศร้อนไหลผ่านพื้นที่ผิวของคูลลิ่งแพดแล้วจะมีอุณหภูมิต่ำลง จากนั้นจึงนำไปผ่านเครื่องควบแน่นเพื่อระบายความร้อนต่อไป ความสามารถในการลดอุณหภูมิของคูลลิ่งแพดขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ และประสิทธิภาพของคูลลิ่งแพด ตามสมการที่ 1

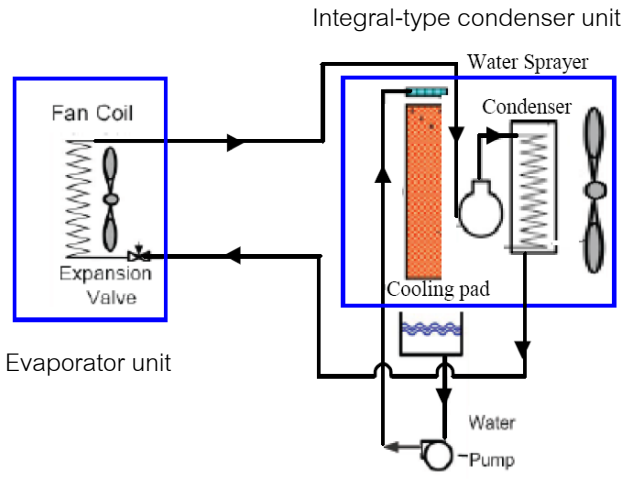
$$T_{Supply} = T_{db} - (T_{db} - T_{wb}) \times n \ \% \qquad (1)$$

เมื่อ T_{Supply} คือ อุณหภูมิของอากาศหลังผ่านคูลลิ่งแพด

T_{db} และ T_{wb} คือ อุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศ ก่อนผ่านคูลลิ่งแพด

n % คือ Saturation Efficiency ของคูลลิ่งแพดโดยปกติจะอยู่ที่ 70%-90% ขึ้นอยู่กับความหนา และความเร็วลมที่ผ่านคูลลิ่งแพด

จากสมการจะสังเกตได้ว่า เมื่อประสิทธิภาพของคูลลิ่งแพด (n %) มีค่าคงที่ อากาศที่ผ่านคูลลิ่งแพดออกมานั้นจะมีอุณหภูมิลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับอากาศปกติ

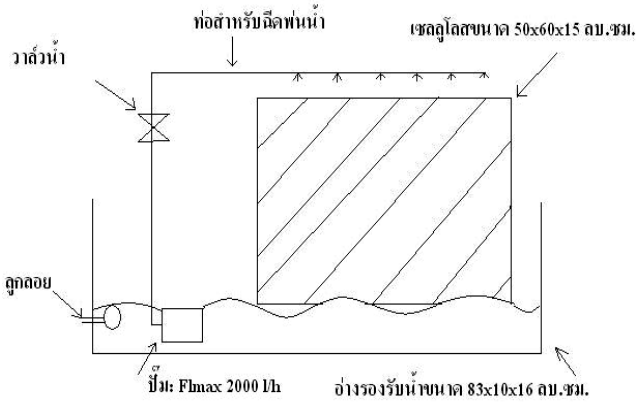


รูปที่ 1 แสดงการติดตั้งคูลลิ่งแพดเข้ากับคอนเดนเซอร์ของเครื่องทำความเย็นทั่วไป

3. การทดลอง

3.1 การออกแบบ

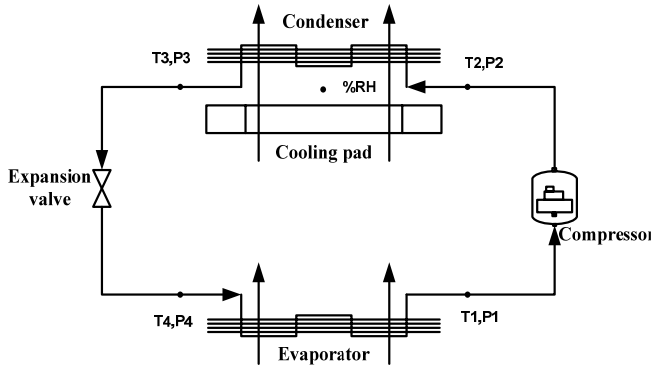
ทำการออกแบบคูลลิ่งแพดโดยเลือกใช้แผ่นเซลลูโลสเป็นตัวระบายความร้อน เนื่องจากเซลลูโลสมีความสามารถในการดูดซับน้ำได้ดี มีราคาไม่แพงมากนัก และสามารถช่วยเพิ่มพื้นที่ในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับน้ำ ทาเคลือบผิวด้วยสีน้ำมันที่ด้านหน้าและด้านหลังของคูลลิ่งแพดเพื่อให้สามารถทำความสะอาดได้ง่ายและคงทน โดยแผ่นเซลลูโลสที่ใช้มีขนาดประมาณ 50x60x15 ลบ.ซม. และใช้ปั๊มขนาดเล็กที่ใช้กับตู้ปลา ซึ่งเป็นปั๊มที่มีราคาถูกและใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ โดยมีอัตราการไหลสูงสุด 550 ml/s ในการปั๊มน้ำขึ้นไปฉีดบนคูลลิ่งแพด และออกแบบถาดรองน้ำขนาด 83x10x16 ลบ.ซม. พร้อมทั้งติดตั้งลูกลอยเพื่อทำการรักษาระดับน้ำให้คงที่ ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะของ คูลลิ่งแพด

3.2 วิธีการทดลอง

3.2.1 ทำการติดตั้งคูลลิ่งแพด เข้ากับคอยล์ร้อนของระบบเครื่องทำน้ำเย็น และติดตั้งอุปกรณ์วัดความดัน bourdon gauge รวมทั้งตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิ thermo couple type-k ความแม่นยำ ±2% (full scale) ที่จุดต่าง ๆ ในระบบเครื่องทำน้ำเย็น ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าความดัน อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศของเครื่องทำน้ำเย็น

3.2.2 ทำการทดลองเพื่อหาอิทธิพลจากอุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมที่ต่างกัน โดยกำหนดอัตราการไหลของน้ำผ่านคูลลิ่งแพด คงที่ 30 ml/s ระยะห่างระหว่างคูลลิ่งแพดกับคอยล์ร้อน 2 เซนติเมตร บันทึกค่าความดัน (P) และอุณหภูมิ (T) ของสารทำความเย็น เพื่อคำนวณค่า COP จากนั้นทำการบันทึกกระแสไฟฟ้า (I) ที่ใช้ทั้งหมดของเครื่องทำน้ำเย็น รวมทั้ง คูลลิ่งแพดและวัดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (%RH) ก่อนผ่านคอยล์ร้อนของเครื่องทำน้ำเย็นโดยอุปกรณ์วัดความชื้นอากาศ (Galltec and Mela) ความแม่นยำ ±5%

3.2.3 ทดสอบอิทธิพลที่เกิดจากอัตราการไหลของน้ำผ่านคูลลิ่งแพด โดยทำเหมือนกับข้อที่ 3.2.2 แต่ทำการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านคูลลิ่งแพด โดยใช้วาล์วปรับอัตราการไหลของน้ำที่ทางออกของปั๊ม แล้ววัดอัตราการไหลด้วยการวัดปริมาตร ในช่วง 10-80 ml/s

3.2.4 ทดสอบอิทธิพลที่เกิดจากระยะห่างระหว่างคูลลิ่งแพด กับคอยล์ร้อนของคอมเพรสเซอร์ โดยทำเหมือนกับข้อที่ 3.2.2 แต่กำหนดอัตราการไหลของน้ำผ่านคูลลิ่งแพด เท่ากับ 60 ml/s และทำการเปลี่ยนระยะห่างระหว่างคอยล์ร้อนกับคูลลิ่งแพด ในช่วง 2-15 เซนติเมตร

ทุกสภาวะทำการทดลอง 3 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ยผลการทดลองและหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) บนสมมุติฐานวัฏจักรทำความเย็นแบบอุดมคติ (ideal vapor-compression refrigeration cycle) ดังแสดงในสมการที่ 2

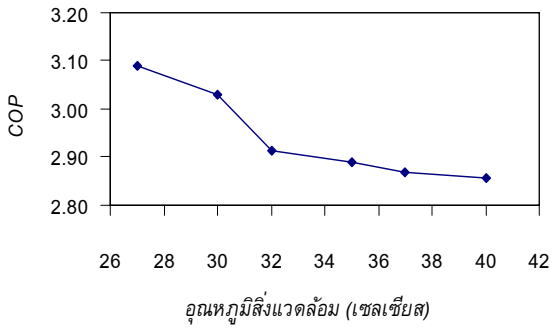
$$COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \qquad (2)$$

เมื่อ เมื่อ h_1, h_2 และ h_4 เป็นค่าเอนทาลปีของสารทำความเย็น R-22 ที่ตำแหน่ง 1, 2 และ 4 ตามลำดับในรูปที่ 2 โดยหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างความดันและอุณหภูมิโดยกราฟ เทอร์โมไดนามิกของ R-22

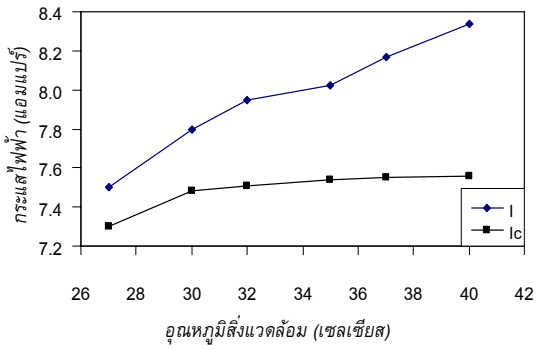
4. ผลการทดลอง

จากการทดลองเพื่อเก็บข้อมูล ความดัน และอุณหภูมิ ที่ตำแหน่งต่างๆ ทั้ง 4 จุดและนำไปคำนวณหาค่า COP ของเครื่องทำน้ำเย็น เพื่อนำค่าที่ได้ไปสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง COP กับอุณหภูมิและกระแสไฟฟ้าที่ใช้กับอุณหภูมิ

พบว่าเมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงขึ้น ค่า COP มีแนวโน้มลดลง เป็นผลเนื่องจาก เมื่ออุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสูงขึ้นจะทำให้ความสามารถในการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างสารทำความเย็นกับอากาศที่ไหลผ่านคอยล์ร้อนของเครื่องทำน้ำเย็นมีค่าน้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 4

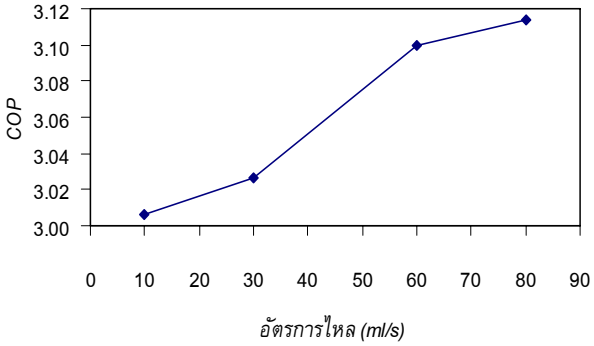


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมกับ COP

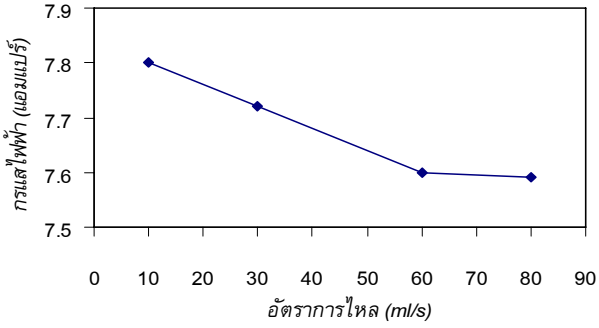


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมกับกระแสไฟฟ้า (เมื่อ I คือไม่มีการติดตั้งคูลลิ่งแพด และ Ic คือ ติดตั้งคูลลิ่งแพด)

จากรูปที่ 5 เมื่อสิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิสูงขึ้น มีผลให้ความต้องการกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องทำน้ำเย็นจะเพิ่มขึ้น ทั้งในกรณีที่มีการติดตั้งและไม่ติดตั้งคูลลิ่งแพด แต่สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นที่มีการติดตั้งคูลลิ่งแพดจะมีความต้องการกระแสไฟฟ้าที่ต่ำกว่ากรณีที่ไม่มีการติดตั้งคูลลิ่งแพดและความแตกต่างของกระแสไฟฟ้าที่อุณหภูมิต่ำจะมีน้อยกว่าที่อุณหภูมิสูง เพราะในกรณีที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมต่ำ อุณหภูมิของน้ำและอากาศจะใกล้เคียงกัน จึงเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนน้อย ทำให้อุณหภูมิของอากาศก่อนผ่านคอยล์ร้อนของเครื่องทำน้ำเย็นที่มีการติด ตั้งคูลลิ่งแพด มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิของอากาศปกติ แต่ในกรณีที่สิ่งแวดล้อมมีอุณหภูมิสูง ซึ่งอุณหภูมิของน้ำและอุณหภูมิอากาศต่างกันมาก จะทำให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศและน้ำเกิดขึ้นมาก มีผลให้อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าคอยล์ร้อนของเครื่องทำน้ำเย็นที่มีการติดตั้งคูลลิ่งแพด มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศปกติมากเป็นผลให้ความต้องการกระแสไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นมีความแตก ต่างกันมากตามไปด้วย

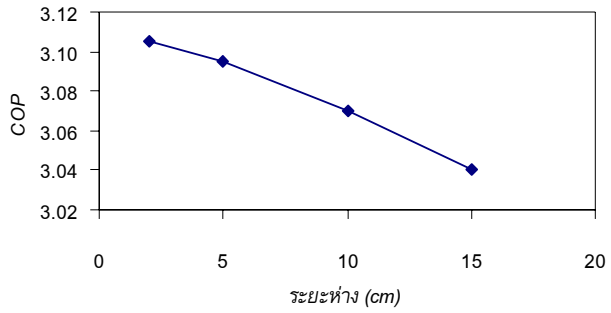


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านคูลลิ่งแพดกับ COP

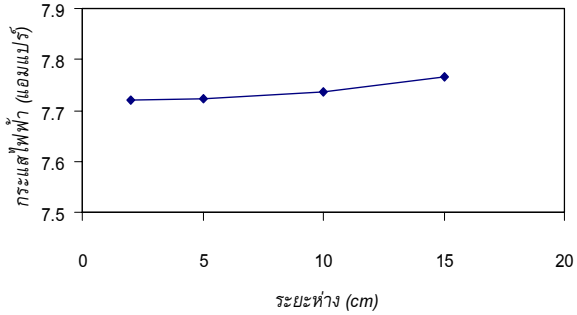


รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านคูลลิ่งแพดกับกระแสไฟฟ้าที่ใช้

เมื่อทำการเปลี่ยนอัตราการไหลของน้ำที่ผ่านคูลลิ่งแพดให้เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า COP ของเครื่องทำน้ำเย็นเพิ่มตามไปด้วย เนื่องจากอัตราการไหลผ่านของน้ำที่เพิ่มขึ้นนี้จะทำให้มีการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับน้ำเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งส่งผลให้สามารถลดอุณหภูมิอากาศก่อนผ่านคอยล์ร้อนได้มากดังแสดงในรูปที่ 6 และยังส่งผลให้ความต้องการกระแสไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นลดลงอีกด้วย ดังรูปที่ 7

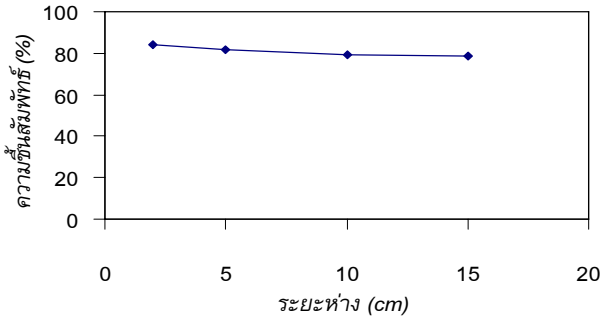


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างกับ COP



รูปที่ 9 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างกับกระแสไฟฟ้าที่ใช้

ในรูปที่ 8 และ 9 พบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างคอยล์ร้อนกับคูลลิ่งแพดเพิ่มขึ้น COP และความต้องการกระแสไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยค่า COP มีแนวโน้มลดลงซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณความต้องการกระแสไฟฟ้าที่มีค่าเพิ่มขึ้น และเพื่อศึกษาผลกระทบดังกล่าวที่มีต่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ พบว่าระยะห่างที่เพิ่มขึ้นนี้มีผลต่อค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนผ่านคอยล์ร้อนของเครื่องทำน้ำเย็นเพียงเล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 10 แต่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศก่อนผ่านคอยล์ร้อนของเครื่องทำน้ำเย็นภายหลังติดตั้งคูลลิ่งแพดนี้ ยังอยู่ในระดับสูงซึ่งจะมีผลต่อการกัดกร่อนที่ผิวคอยล์ร้อนของเครื่องทำน้ำเย็นในอนาคต



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ผ่านคอยล์ร้อนของเครื่องทำน้ำเย็น

5. สรุป

เมื่ออุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมสูงขึ้นค่า COP จะลดลง สอดคล้องกับความต้องการกระแสไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มขึ้น เมื่อทำการปรับอัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านคูลลิ่งแพดให้มากขึ้น ส่งผลให้ COP จะมีค่าเพิ่มขึ้นและกระแสไฟฟ้าที่ใช้ลดลง พบว่าเครื่องทำน้ำเย็นที่ติดตั้งคูลลิ่งแพดใช้กระแสไฟฟ้าน้อยกว่าถึง 10% ที่อุณหภูมิ 40 ^{0}C สำหรับผลกระทบที่เกิดจากระยะห่างระหว่างคอยล์ร้อนกับคูลลิ่งแพดที่มากขึ้นนั้น จะทำให้ค่า COP ลดลงเล็กน้อย ซึ่งสัมพันธ์กับกระแสไฟฟ้าที่ใช้เพิ่มขึ้นและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่มีค่าลดลงเล็กน้อยเช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการโครงงานอุตสาหกรรมสำหรับปริญญาตรี ประจำปี 2550

เอกสารอ้างอิง

1. A.C.Cleland., 1986. Computer subroutines for rapid evaluation of refrigerant thermodynamic properties. International Journal of Refrigeration, Vol. 9, pp. 346-351.
2. ASHRAE Handbook Fundamental, CD-Rom, 1997.
3. Beecher, D.T. and Fagan, T.J., 1987. Effects of Fin pattern on the air-side heat transfer coefficient in plate finned-tube heat exchangers. ASHRAE Transactions, Vol. 93, Part 2, pp. 1961-1984.
4. Charters, W.W.S. and S. Threerakulpisut., 1989. Efficiency Equations for Constant Thickness Annular Fins. Int.Com. Heat Mass Transfer, Vol. 16, No. 4, 1989.
5. E. Hajidavalloo., 2007. Application of evaporative cooling on the condenser of window-air-conditioner. Applied Thermal Engineering, Vol. 27, pp. 1937–1943.
6. Shan K.Wang, 2001. Handbook of air conditioning and refrigeration. McGraw-Hill, USA.
7. S. Theerakulpisut, S. Priprem and R. Lammayot., 2001. Improving energy efficiency of split-type air conditioners by cooling the cooling air. KKU Engineering Journal, Vol. 28, No.2-3, pp. 127-136.
8. พูนพงศ์ สวาสดิพันธ์, อำไพศักดิ์ ทีบุญมา และ ชวลิต ถิ่นวงศ์พิทักษ์, การเพิ่มสมรรถนะเครื่องปรับอากาศโดยใช้น้ำควบแน่นจากอีวาปอเรเตอร์, ในการประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1, ชลบุรี, 11-13 พฤษภาคม 2548, หน้า ECB06-1- ECB06-5

.