

การพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นประสิทธิภาพสูงในโรงพยาบาลด้วยปั๊มความร้อน
กรณีศึกษา: ห้องเก็บยาโรงพยาบาลบำรุงราษฎร์

The Development of High Efficiency Temperature and Humidity Control System
in Hospital Area with Heat Pump, Case Study: Inventory Room, Bumrungrad
International Hospital

นัทธินันท์พงษ์พานิช¹*และกฤตมุข วงศ์ประเสริฐ²

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา 19 ม. 2 ตำบลแม่กา อำเภอเมือง จังหวัดพะเยา 56000

² บริษัท เอ็มแอนด์อีทีเอ็มเวิร์ค จำกัด 133/128 ถนนรัตนวิบูลย์ ตำบลบางกระสอบ อำเภอเมืองนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี 11000

*nuttanon.po@gmail.com, 086 3804689, fax 054 466730

บทคัดย่อ

การศึกษาเพื่อทำการออกแบบและพัฒนาระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศโดยใช้ปั๊มความร้อนเป็นอุปกรณ์หลัก สำหรับการปรับปรุงระบบปรับอากาศเดิมของห้องเก็บยาและเวชภัณฑ์โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์ซึ่งเดิมมีการใช้งานระบบปรับอากาศด้วยน้ำเย็นและติดตั้งเครื่องส่งลมเย็นซึ่งขนาดทำความเย็นที่ 300,000 BTU/ชั่วโมง

การออกแบบเพื่อควบคุมให้ระบบมีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะต้องใช้ค่าพลังงานความร้อนสำหรับอุ่นอากาศที่ 38.6 kW ซึ่งเป็นภาระทางความร้อนตั้งต้นเพื่อออกแบบอุปกรณ์ของระบบควบคุม ในการพัฒนาออกแบบอุปกรณ์ต่างๆในระบบปั๊มความร้อนที่ต้องติดตั้งเข้าไปในระบบเดิมได้แก่ออกแบบคอยล์สารทำความเย็นเพื่อควบคุมความชื้นของระบบทั้งหมด 4 ชุดขนาดของคอมเพรสเซอร์พร้อมชุดตรวจวัดสถานะอากาศและควบคุมพร้อมโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาเฉพาะจากนั้นดำเนินการติดตั้งและทดสอบสถานที่จริงจากการเก็บข้อมูลพบว่าระบบสามารถควบคุมสภาวะอากาศได้อย่างดีโดยมีค่าCOP_HของPart load หรือNPLV เท่ากับ 5.06เมื่อประเมินผลของการคืนทุนพบว่าระบบที่พัฒนาสามารถคืนทุนได้ไม่เกิน 1.5 ปีเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ขดลวดความร้อนไฟฟ้า

คำหลัก: ปั๊มความร้อน, อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศ, สัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อน

Abstract

Bumrungrad international hospital uses chilled water system (CHW) with the cooling output 300,000 BTU/hr for cooling and dehumidifying the air in the Inventory room. The objectives of this research is to develop the temperature and dehumidifying control system for air condition system in Bumrungrad international hospital by using heat pump as the main component.

In this work, the control system component which consists of four set of the refrigerant coil and a series of climate control measurement is designed under the condition that the heat pump must be capable of warming air at 38.6 kW. After the temperature and dehumidifying control system was installed, it was found that the COP_H of part load or NPLV of air conditioning system in the hospital has increased to 5.19. The financial analysis showed that the payback period from installation this system is 1.5 years comparing the old system which use electrical heater

Keywords: Heat pump, temperature and relative humidity of air, The Heating Coefficient of Performance (COP_H)

1. บทนำ

ในปัจจุบันในภาพรวมของธุรกิจการให้บริการของโรงพยาบาลมีการเติบโตอย่างต่อเนื่องและในช่วงปี 2557-2558 แม้ภาวะกำลังซื้อของคนในประเทศที่ลดลงซึ่งส่งผลกระทบต่อรายได้ธุรกิจโรงพยาบาลเอกชน โดยเฉพาะธุรกิจโรงพยาบาลเอกชนที่มีสัดส่วนคนไข้คนไทยสูงทำให้รายได้ของธุรกิจโรงพยาบาลเอกชนที่มีสัดส่วนคนไข้คนไทยสูงเติบโตเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 7.0 ต่อปี (ค่าเฉลี่ยปี 2557-2558) ต่ำกว่ารายได้ธุรกิจโรงพยาบาลเอกชนรวมที่เติบโตเฉลี่ยร้อยละ 11.0 ต่อปี (ค่าเฉลี่ยปี 2557-2558) ในทางกลับกันรายได้ของธุรกิจโรงพยาบาลเอกชนที่เน้นจับตลาดคนไข้ต่างชาติกลับเติบโตได้สูงกว่าค่าเฉลี่ยของรายได้ธุรกิจโรงพยาบาลเอกชนรวมที่ร้อยละ 11.7 (ค่าเฉลี่ยปี 2557-2558) โดยมีรายได้ที่มาจากกลุ่มคนไข้ต่างชาติที่ขยายตัวสูงถึงร้อยละ 15.1 (ค่าเฉลี่ยปี 2557-2558) [1] เมื่อพิจารณาต้นทุนหลักลำดับรองลงมาจากต้นทุนบุคลากรทางการแพทย์ได้แก่การใช้ระบบปรับอากาศและระบายอากาศสำหรับมาตรฐานของการทำงานในพื้นที่ต่าง ๆ ในโรงพยาบาล โดยเฉพาะการควบคุมปริมาณความชื้นสัมพัทธ์อากาศในโรงพยาบาล ถูกนำมาใช้กับห้องปฏิบัติการต่างๆ เช่น ห้องผ่าตัด ห้อง ICU ห้องเพาะเชื้อ หรือแม้กระทั่งห้องเก็บยา เพื่อให้สภาวะของห้องเป็นไปตามมาตรฐานสากล โดยหลักการของการควบคุมความชื้นนั้น มักจะใช้วิธี “การอุ่นอากาศจ่าย” (Supply air reheat) โดยใช้อุปกรณ์สร้างความร้อนให้กับอากาศส่งผลให้ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศลดต่ำลงก่อนที่จะจ่ายเข้าสู่บริเวณพื้นที่ปรับอากาศ โดยส่วนใหญ่จะนิยมใช้ชุดลดความร้อนไฟฟ้าในการอุ่นอากาศ ซึ่งมีข้อได้เปรียบคือควบคุมการทำงานง่ายแต่ข้อเสียที่สำคัญคือทำให้มีการสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในระยะยาว

จากมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (EIT Standard 3003-50) ซึ่งกำหนดมาตรฐานของการปรับอากาศและระบายอากาศสำหรับการออกแบบระบบปรับอากาศสำหรับสถานพยาบาล[2] ในส่วนของการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ก็จะถูกควบคุมตามคุณสมบัติของแต่ละพื้นที่ ดังนี้

- ระบบปรับอากาศและระบายอากาศสำหรับห้องผ่าตัด (Operating Room, OR) ที่ 17-27 °C ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้อยู่ในช่วง 45-55% RH

- ระบบปรับอากาศและระบายอากาศสำหรับห้องไอซียู (Intensive Care Unit, ICU) ที่ 21-27 °C ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้ต่ำกว่า 60% RH

สำหรับพื้นที่ศึกษาของงานวิจัยนี้จะออกแบบเพื่อพัฒนาปรับปรุงระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับห้องเก็บยาที่ **รพ.บำรุงราษฎร์** ซึ่งเดิมมีการใช้งานระบบปรับอากาศด้วยน้ำเย็นและติดตั้งเครื่องส่งลมเย็นซึ่งขนาดทำความเย็นที่ 300,000 BTU/ชั่วโมงโดยการปรับปรุงจะต้องควบคุมอากาศของพื้นที่ดังกล่าวให้มีสภาวะ 25 ± 5 °C และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศให้อยู่ในช่วง 40- 60% RH

จากการศึกษาเพื่อออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระของเขาวนพันธุ์เหล็กขาและตุลย์มีวัฒนา (2554)[4] ที่ใช้สำหรับพื้นที่ของอาคารโรงพยาบาล ภายในกรุงเทพมหานครอาคารประเภทโรงพยาบาลไม่สามารถใช้วงล้อดูดความชื้นแบบพาสซีฟกับอากาศที่ระบายได้เพราะอากาศที่ระบายออกจากอาคารไม่สะอาดดังนั้นเครื่องเติมอากาศจึงมีองค์ประกอบภายในเหลืออยู่เพียงฮีตปั๊ม/รีนอะราวด์คอยล์และคอยล์เย็นซึ่งสามารถลดพลังงานที่ใช้ทั้งหมดได้ประมาณ 10%

สำหรับการใช้ฮีตปั๊มแม้ว่าจะมีค่าใช้จ่ายในการใช้งานที่ต่ำกว่า[5] โดยไม่มีค่าใช้จ่ายขณะทำงานเนื่องจากอาศัยหลักการระเหยและควบแน่นของสารทำความเย็นที่อยู่ภายในคอยล์แต่มีข้อจำกัดในการควบคุมการทำงานในบางสภาวะของฤดูกาลในประเทศไทย เช่น ในกรณีฤดูหนาวอากาศจะมีอุณหภูมิที่ค่อนข้างต่ำส่งผลต่อการระเหยและควบแน่นของสารทำความเย็นทำให้ไม่สามารถควบคุมปริมาณความชื้นของห้องปรับอากาศได้ตามที่ออกแบบอีกทั้งจำนวนแฉกที่หนาของคอยล์ฮีตปั๊มส่งผลต่อการขนาดของมอเตอร์พัดลมที่ต้องปรับให้ใหญ่ขึ้นทำให้มีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบที่เพิ่มสูงขึ้น

ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเน้นศึกษาเพื่อนำป้อนความร้อนเป็นอุปกรณ์หลักมาใช้งานพร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นโดยเฉพาะทำให้สามารถควบคุมสภาวะอากาศของห้องได้และยังสามารถส่งข้อมูลของอุณหภูมิความชื้นปริมาณการใช้พลังงานการแจ้งเตือนของเครื่องไปเก็บไว้ในฐานข้อมูลภายในคอมพิวเตอร์สามารถเรียกดูย้อนหลังเพื่อการวิเคราะห์ปัญหาและคำนวณผลประหยัดของระบบได้และเมื่อ

เปรียบเทียบกับทางเลือกใช้ขดลวดความร้อนไฟฟ้าระบบดังกล่าวจะมีประสิทธิภาพมากกว่า 4-5 เท่า

การทำงานของระบบปั๊มความร้อนอาศัยการดึงพลังงานความร้อนจากแหล่งหนึ่งไปยังอีกแหล่ง(ในที่นี้คืออากาศ) ผ่านสารทำความเย็นที่อยู่ภายในระบบ เมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับระบบปรับอากาศที่มีเครื่องส่งลมเย็น(Air Handling Unit) แบบใช้น้ำเย็นแล้ว ยังสามารถช่วยลดภาระการใช้น้ำเย็นจากเครื่องทำน้ำเย็น(Chiller) ได้อีกด้วย ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะโดยรวม(COP) มีค่าสูงกว่าการใช้ขดลวดความร้อนไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวถึง 7 เท่า(COP_R และ COP_H)

2. การออกแบบชุดระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นประสิทธิภาพสูงโดยใช้ปั๊มความร้อน

2.1 ระบบเดิมก่อนปรับปรุง

ระบบปรับอากาศและระบายอากาศที่ใช้สำหรับห้องเก็บยาโรงพยาบาลบำรุงราษฎร์ ใช้สำหรับภาระการทำความเย็นขนาด ใช้สำหรับภาระการทำความเย็นขนาด 300,000 BTU/ชั่วโมง ที่สามารถส่งลมเย็นได้มากถึง 10,000 cfm โดยปัญหาการใช้งานจากระบบเดิมก่อนปรับปรุงพบว่า ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่สภาวะ $23 \pm 1^\circ\text{C}, 50 \pm 10\%$ RH ได้และเมื่อต้องการที่จะปรับปรุงระบบพบว่า มีงบประมาณในการติดตั้งเครื่องส่งลมเย็นชุดใหม่ค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมีแนวคิดที่จะปรับปรุงระบบโดยติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นประสิทธิภาพสูงโดยใช้ปั๊มความร้อนเป็นอุปกรณ์หลัก

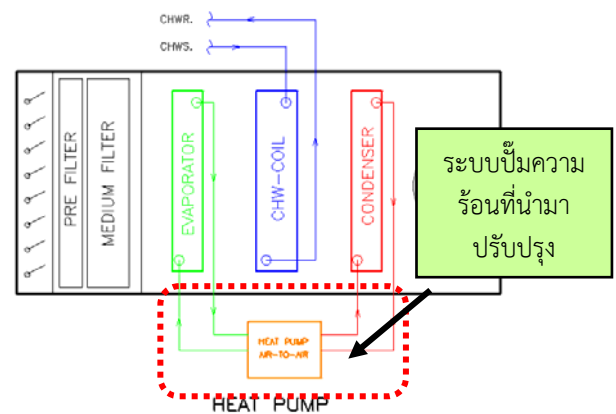


รูปที่1 เครื่องส่งลมเย็นขนาดใหญ่ที่ใช้งานก่อนปรับปรุง



รูปที่2 พื้นที่ห้องเก็บยา โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์

จากการตรวจสอบประเมินเบื้องต้นทางผู้วิจัยได้เลือกใช้ระบบปั๊มความร้อนเพื่อเป็นชุดระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นปรับปรุงร่วมกับเครื่องส่งลมเย็นเดิมของพื้นที่ห้องเก็บยา ซึ่งระบบเดิมมักจะเกิดปัญหาจากกรณีนี้ปริมาณโหลดความร้อนของพื้นที่ปรับอากาศมีปริมาณน้อยหรือที่เรียกว่า Part Load ทำให้อุณหภูมิของพื้นที่ต่ำลงทำให้ต้องปรับลดอัตราการไหลของน้ำเย็นโดยวาล์วควบคุม(Control Valve) ปริมาณน้ำเย็นซึ่งจะทำให้ความสามารถในการดึงความชื้นของคอยล์เย็นมีประสิทธิภาพที่ลดลงส่งผลให้ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ของพื้นที่เพิ่มสูงขึ้นดังนั้นเพื่อการควบคุมสภาวะของห้องไม่ให้มีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่สูงจนเกินไป



รูปที่3 แนวทางการออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้นโดยใช้ปั๊มความร้อน

ในรูปที่ 3 แสดงแนวทางในการปรับปรุงของเครื่องส่งลมเย็นสำหรับพื้นที่เก็บยาโรงพยาบาลบำรุงราษฎร์ แนวทางการปรับปรุงระบบควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ทำได้โดยการติดตั้งระบบปั๊มความร้อนเข้าไปในชุดเครื่องส่งลมเย็นเดิม ซึ่งจะต้องออกแบบขนาดของชุด Evaporator Coil และ Condenser Coil ให้มีขนาดพอดีสำหรับการ

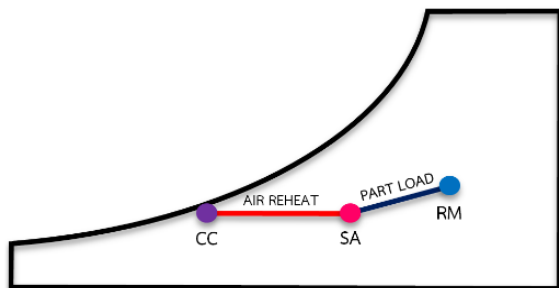
ติดตั้งรวมถึงขนาดของภาระความร้อนที่สามารถทำได้
และความหนาของ Coil ที่ติดตั้งเข้าไปต้องไม่หนาเกิน
ภาระของพัดลมเดิมของเครื่องส่งลมเย็น

ในกรณีนี้ปั๊มความร้อนที่เลือกใช้จะมีจุดเด่นของระบบได้แก่ ความสามารถในการปรับเปลี่ยนปริมาณความร้อนในการอุ่นอากาศได้จากการออกแบบระบบแผงคอยล์ถึง 4 แผง อีกทั้งคอยล์ระเหย (Evaporator Coil) ของระบบปั๊มความร้อนสามารถช่วยในการลดอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศให้ต่ำลงได้อีกส่งผลให้ประสิทธิภาพในการควบคุมความชื้นทำได้ดีขึ้น

2.2การออกแบบชุดอุปกรณ์สำหรับปั๊มความร้อน

สำหรับการออกแบบเครื่องปั๊มความร้อนเพื่อการอุ่น
อากาศสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือการคำนวณหา
ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอุ่นอากาศและการเลือกใช้
อุปกรณ์ภายในเครื่องโดยมีรายละเอียดดังนี้

(1) การคำนวณหาปริมาณความร้อนสำหรับการอุ่นอากาศโดยในขั้นตอนนี้เป็นจุดเริ่มต้นของการออกแบบชุดอุปกรณ์ การออกแบบจะเป็นการกำหนดขนาดและการทำงานของปั๊มความร้อน ที่ต้องสามารถทำงานได้ทั้งในสภาวะ Full load โดยเฉพาะในช่วง Part Load ซึ่งมีความจำเป็นต้องใช้ภาระของปั๊มความร้อน ในรูปที่ 4 แสดงถึงการอุ่นอากาศง่ายในช่วง Part Load ที่อธิบายด้วยแผนภาพไซโครเมตริกโดยเริ่มจากอากาศที่ไหลออกจากคอยล์เย็นที่จุด CC ได้รับความร้อนในการอุ่นอากาศเพื่อให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นตามเส้นสีแดงจนกลายเป็นจุด SA แล้วจ่ายไปยังห้องปรับอากาศเพื่อรับเอาเอนทัลปีความร้อนของห้องตามเส้นสีน้ำเงินโดยสภาวะควบคุมของห้องในที่นี้คือจุด RM



รูปที่4แผนภาพไฮโครเมตริกแสดงกระบวนการอุ่นอากาศ
จ่ายในช่วงPart Load

CC	คือสภาวะอากาศหลังผ่านคอยล์เย็น
SA	คือ สภาวะอากาศจ่าย
RM	คือ สภาวะของห้องปรับอากาศ

ในการอุ่นอากาศโดยทั่วไปนั้นมีหลากหลายวิธี โดยปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทให้กับอากาศนี้จัดอยู่ในประเภทความร้อนสัมผัส(Sensible HeatLoad) สามารถคำนวณได้จากสมการ(1)

$$\text{kW}_{\text{RH}} = 1.1\text{cfm}\Delta T / 3.41 \times 1000 \quad (1)$$

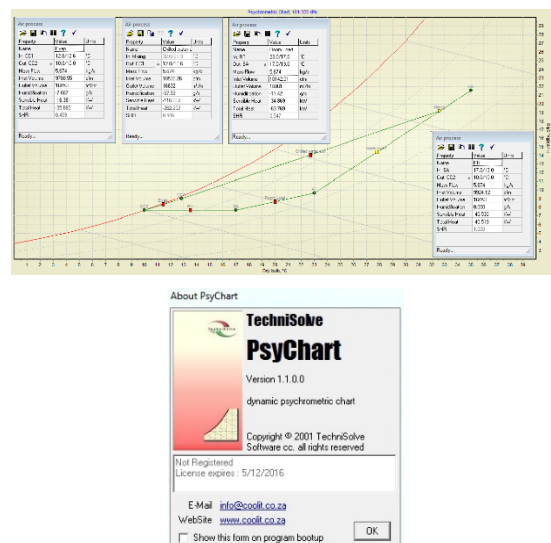
kW_{RH} คือ ปริมาณความร้อนสำหรับการอุ่น
อากาศ (kW)

cfm คือ อัตราการไหลอากาศ(cu.ft/min)

ΔT คือ ผลต่างระหว่างอุณหภูมิของอากาศ
ก่อนและหลังทำการอุ่น ($^{\circ}\text{F}$)

จากสมการ (1) ทำให้สามารถคำนวณหาค่าของ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการอุ่นอากาศสำหรับการ ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพื่อไปใช้ในการเลือก อุปกรณ์ของส่วนประกอบที่สำคัญของปั๊มความร้อน

เพื่อให้เกิดความแม่นยำและรวดเร็วสามารถคำนวณ
ผลของปริมาณความร้อนจากการใช้โปรแกรม PsyChart
v 1.1.0.0 [6]



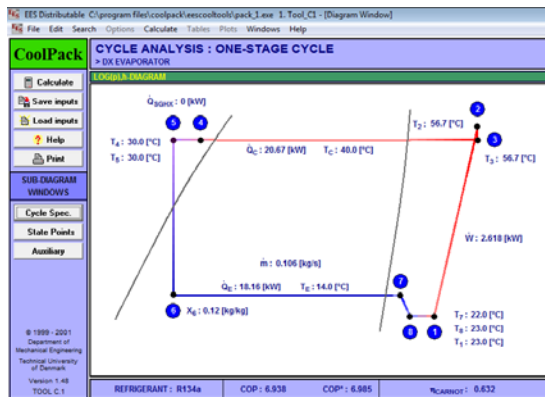
รูปที่6การใช้โปรแกรมวิเคราะห์ปริมาณความร้อน
ในการอุ่นอากาศจ่าย

จากการคำนวณเพื่อให้สอดคล้องกับอัตราการไหลของอากาศในเครื่องส่งลมเย็นเดิมที่ใช้ในพื้นที่ห้องเก็บยา จะได้ปริมาณความร้อนที่เข้าเท่ากับ 40.53 kW

(2) การออกแบบชุดอุปกรณ์ของปั๊มความร้อน

การเลือกขนาดอุปกรณ์ของระบบปั๊มความร้อนเริ่ม
จากความต้องการปริมาณความร้อนที่ต้องการเพื่อนำไป
พิจารณากำหนดอุณหภูมิและความดันของวัฏจักรบน

แผนภาพ P-h ไดอะแกรมของสารทำความเย็นชนิด R134A จากภาระความร้อนที่ได้นำมาคำนวณด้วยโปรแกรม CoolPack 1.49 [7] เพื่อหาขนาดของชุดอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยเบื้องต้นกำหนดให้สารทำความเย็นทำงานเป็น 2 circuit หรือใช้ Compressor เป็นอุปกรณ์หลัก 2 ชุดเพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการทำงานทั้งในช่วง Part Load และ Full Load



รูปที่ 6 การใช้งานของโปรแกรม CoolPack

จากผลการคำนวณเบื้องต้น สามารถนำมาเลือกใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ได้แก่

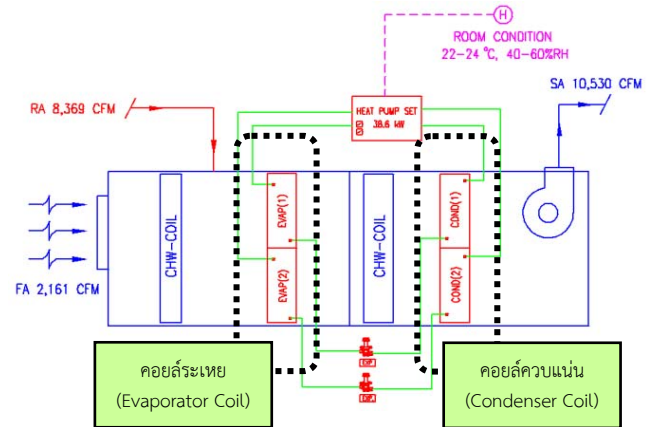
- ชุดอุปกรณ์ Compressor ซึ่งเลือกใช้มาจากโปรแกรม Select 7.1 [8] ได้ขนาดของ Compressor ที่ 2.6 kW จำนวน 2 ชุด
- จากการคำนวณโดยใช้โปรแกรม EVAP - COND [9] ทำให้ได้คอยล์ควบแน่นและคอยล์ระเหย (Evaporator Coil และ Condenser Coil) เป็นชนิด Finned-tube ทำด้วยท่อทองแดงขนาด 3/8 นิ้ว มีขนาดเท่ากับ 44"x1650mm, 1R, 12 FPI และ 44"x1650mm, 2R, 12 FPI ตามลำดับ ซึ่งเป็นขนาดที่สามารถติดตั้งในชุดเครื่องส่งลมเย็นเดิมได้โดยมีผลกระทบต่อการทำงานเล็กน้อย

จากขั้นตอนที่กล่าวมาทั้งหมดนั้นคือแนวทางการออกแบบปั๊มความร้อนเพื่อเป็นชุดควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในเครื่องส่งลมเย็น

3. การดำเนินการปรับปรุงและบันทึกผลการใช้งาน

3.1 การประกอบชุดปั๊มความร้อน

เมื่อได้ออกแบบส่วนประกอบหลักแล้วสามารถเขียนเป็นแผนภาพแสดงการทำงานประกอบเป็นภาพรวมของอุปกรณ์ทั้งหมดได้ดังรูปที่ 7



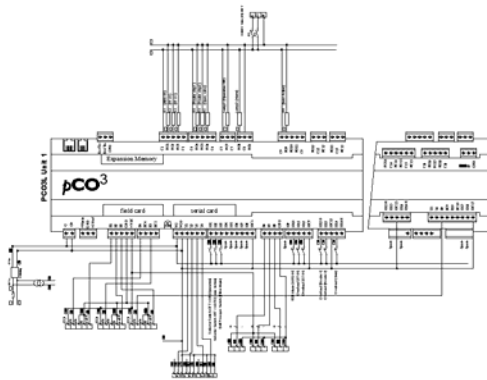
รูปที่ 7 แผนภาพแสดงการใช้งานชุดอุปกรณ์ปั๊มความร้อนที่ปรับปรุงดัดแปลงเข้ากับเครื่องส่งลมเย็นเดิม

โดยการใช้งานอุปกรณ์ที่ติดตั้งใหม่มี 2 ส่วนได้แก่ คอยล์ควบแน่น (Condenser Coil) มีจำนวน 2 ชุดในเครื่องส่งลมเย็นชุดเก่าซึ่งจะทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีหน้าที่อุ่นอากาศให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น โดยการควบแน่นสารทำความเย็นที่มีอุณหภูมิและแรงดันสูงอยู่ในสถานะก๊าซให้กลายเป็นของเหลวโดยจะให้สารทำความเย็นไหลอยู่ภายในท่อทองแดงที่ติดตั้งด้วยแผ่นครีบอลูมิเนียมเพื่อถ่ายเทพลังงานความร้อนให้กับอากาศที่ไหลผ่าน ในส่วนของคอยล์ระเหย (Evaporator Coil) 2 ชุด จะรับเอาความร้อนจากอากาศกลับซึ่งจะทำให้อากาศมีจุดน้ำค้างต่ำลง การติดตั้งแสดงได้รูปที่ 8 ซึ่งแสดงการทำงาน 2 ส่วนทั้งการประกอบชุดควบคุมและคอมเพรสเซอร์จากโรงงานและประกอบชุดแผงคอยล์ทั้ง 4 ชุด ณ สถานที่จริง



รูปที่ 8 การติดตั้งชุดคอมเพรสเซอร์และแผงคอยล์ที่เครื่องส่งลมเย็นชุดเก่า

สำหรับชุดควบคุมทางไฟฟ้าซึ่งเป็นการควบคุมเฉพาะจะใช้บอร์ดควบคุมที่ทางบริษัทผลิตขึ้นเองเพื่อเป็นการลดการนำเข้าสินค้าจากต่างประเทศและลดต้นทุนในการผลิตรูปแบบของชุดควบคุมดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 9



(ก)

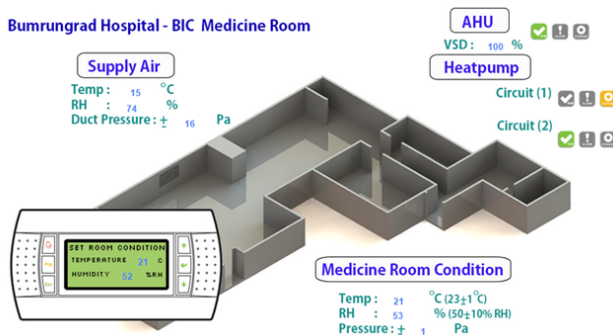


(ข)

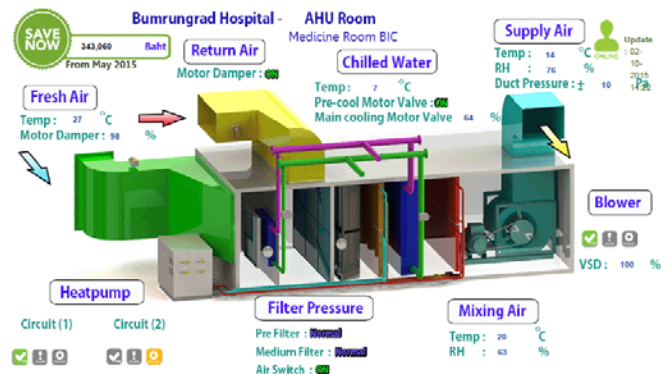
รูปที่9 (ก) แผนภาพวงจรควบคุมที่ออกแบบเฉพาะ
(ข) แผงควบคุมPLCของระบบปั๊มความร้อน

3.2 ผลการทดสอบ

หลังจากติดตั้งระบบปั๊มความร้อนในชุดเครื่องส่งลมเย็นชุดเก่าแล้วได้ดำเนินการทดสอบและเก็บข้อมูล โดยใช้เทคโนโลยีการตรวจวัดและควบคุมอุณหภูมิและความชื้นซึ่งใช้ชุดบอร์ดควบคุมที่พัฒนาเองโดยเฉพาะสั่งการทำงานของอุปกรณ์สำหรับชุดปั๊มความร้อนการควบคุมและตรวจสอบผ่านระบบออนไลน์รวมถึงเก็บข้อมูลไว้ในคอมพิวเตอร์ ทั้งนี้ในการทดสอบระบบจะตั้งค่าอุณหภูมิห้องเท่ากับ 22°C และ ความชื้นสัมพัทธ์ที่ 52 %RH พร้อมใช้งานห้องเก็บยาตามปกติ ตามแผนผังการเก็บข้อมูลดังต่อไปนี้

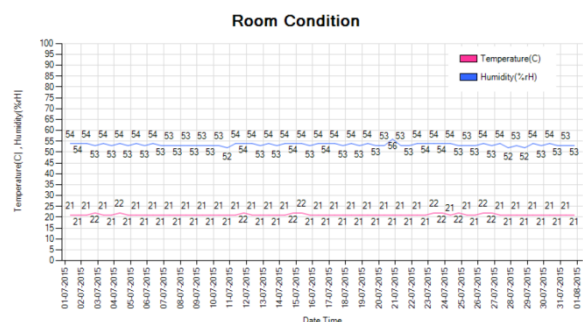


รูปที่10 รูปแบบการเก็บข้อมูลพื้นที่ห้องเก็บยา

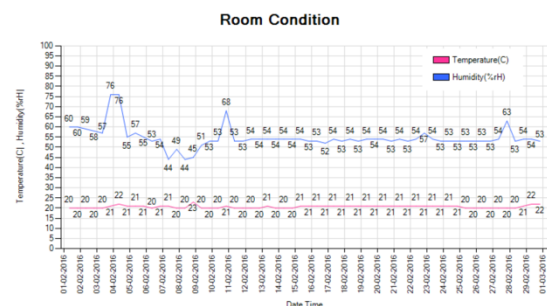


รูปที่11 รูปแบบการเก็บข้อมูลและการตรวจวัดต่างๆของชุดเครื่องส่งลมเย็นที่ปรับปรุงแล้ว

ผลจากการเก็บข้อมูลพบว่าอุณหภูมิของห้องเก็บยามีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากในระดับ $\pm 1^{\circ}\text{C}$ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องเก็บยาสามารถควบคุมได้ดีมากที่ 52 ± 2 %RH จากการเก็บข้อมูลการใช้งานในเดือนกรกฎาคม 2558 แสดงผลดังรูป 12 และข้อมูลขณะปิดซ่อมบำรุงระบบฮีทปั๊ม(แทนข้อมูลช่วงก่อนการติดตั้งระบบฮีทปั๊ม เนื่องจากก่อนหน้านี้ระบบปรับอากาศไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์สำหรับควบคุมความชื้นในเดือนกุมภาพันธ์ 2559 แสดงผลดังรูปที่13



รูปที่ 12 ผลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ที่ห้องเก็บยาหลังปรับปรุง



รูป 13 ผลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของห้องเก็บยาขณะปิดซ่อมบำรุงระบบฮีทปั๊ม(แทนข้อมูลก่อนปรับปรุง)

3.3 การหาค่าสมรรถนะของชุดปั๊มความร้อน

ในการหาสมรรถนะของชุดปั๊มความร้อนจะต้องวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

- ความสามารถในการอุ่นอากาศของอุปกรณ์
- ความสามารถในการลดอุณหภูมิจุดน้ำค้างของ

อากาศขาเข้า

- การใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์

และข้อมูลที่ได้จะนำไปใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปั๊มความร้อน (COP) ซึ่งหาได้จากสมการ (2)

$$COP_H = kW_{RH} / W \quad (2)$$

เมื่อ COP_H คือ ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปั๊มความร้อน (ในที่นี้คำนวณจากประสิทธิภาพในการอุ่นอากาศ)

kW_{RH} คือปริมาณความร้อนในการอุ่นอากาศ (kW)

W คือปริมาณไฟฟ้าคอมเพรสเซอร์ (kW)

โดยปกติการทำงานจริงของเครื่องส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงของ Part Load ดังนั้นหากต้องการทราบถึงค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องโดยการเฉลี่ยแล้ว จะใช้วิธีการพิจารณาจากค่า IPLV (Integrated Part Load Value) หรือ NPLV (Non-standard Part Load Value) ซึ่งเป็นการคำนวณโดยให้อัตราส่วนน้ำหนักรวมเป็น % ของการทำงานในช่วง Part Load โดยให้อัตราส่วนน้ำหนักรวมของโอกาสการเกิดโหลดความร้อนอ้างอิงตามมาตรฐานของ ANSI/AHRI Standard 550/590-2011 [3] ใช้สำหรับคำนวณประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นและน้ำร้อน (Water-Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages) ที่ทำงานโดยระบบอัดไอ สามารถคำนวณได้ตามสมการ (3)

$$NPLV = 0.01A + 0.42B + 0.45C + 0.12D \quad (3)$$

NPLV คือ ค่า COP_H ในช่วง Part Load

A คือ ค่า COP_H ที่สภาวะโหลด 100%

B คือค่า COP_H ที่สภาวะโหลด 75%

C คือค่า COP_H ที่สภาวะโหลด 50%

D คือค่า COP_H ที่สภาวะโหลด 25%

ผลจากการทดสอบการใช้งานเพื่อเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของชุดปั๊มความร้อนสำหรับการอุ่นอากาศ

ทั้งในช่วง Full Load และ Part Load เพื่อนำมาคำนวณคำนวณค่า NPLV ของชุดการทดสอบมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.19 แสดงได้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลของการตรวจวัดเพื่อประเมินค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของปั๊มความร้อน

Part - Load Value Provide					
Point		Load (%)	Heat Load (kW)	EE Work (kW)	COP_H
A	0.01	100%	24.48	5.82	4.21
B	0.42	75%			
C	0.45	50%	15.05	2.84	5.30
D	0.12	25%			
NPLV					5.19

หมายเหตุ : ในการออกแบบระบบเลือกใช้ชุด Compressor จำนวน 2 ชุด ดังนั้นในช่วง Part Load จึงมีเพียงค่าภาระที่ 100% และ 50% เท่านั้นที่นำมาใช้ประเมิน NPLV

4. สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบชุดปั๊มความร้อนสำหรับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์สำหรับห้องเก็บยา พบว่ามีส่วนที่เป็นประโยชน์หรือข้อได้เปรียบดังนี้

1) สามารถควบคุมอุณหภูมิของอากาศจ่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำสูง

2) สามารถช่วยลดอุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศจ่าย ให้ลดต่ำกว่าที่คอยล์น้ำเย็นหลักสามารถทำได้ ถือเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการอุ่นอากาศ

3) เมื่อพิจารณาค่า NPLV พบว่าปั๊มความร้อนสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้มากถึงร้อยละ 80.23 เมื่อเปรียบเทียบกับการอุ่นอากาศโดยใช้ชุดลดความร้อนไฟฟ้า

4) สามารถประยุกต์ใช้สำหรับเครื่องส่งลมเย็นเดิม ซึ่งจะทำให้ลดค่าใช้จ่ายสำหรับการซื้อเครื่องใหม่หรือการลดต้นทุนในการปรับปรุงเครื่องเดิมหรือต้นทุนค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจากการใช้ชุดลดความร้อนไฟฟ้า

ทั้งนี้แม้ว่าระบบที่ปรับปรุงจะมีส่วนที่ดี แต่ทั้งนี้ระบบยังมีส่วนที่ต้องปรับปรุงและเสนอแนะได้แก่

- 1) มีต้นทุนในการติดตั้งที่สูง เมื่อเปรียบเทียบกับ การติดตั้งขดลวดความร้อนไฟฟ้า
- 2) มีความยุ่งยากและซับซ้อนในการออกแบบและ สร้างเครื่อง เนื่องจากต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดของระบบ ควบคุมติดตั้งเดิม
- 3) มีการใช้พื้นที่ในการติดตั้งเครื่องมากกว่าการ ติดตั้งขดลวดความร้อนไฟฟ้า เนื่องจากต้องทำการติดตั้ง คอยล์ควบแน่นและคอยล์ระเหยภายในเครื่องส่งลมเย็น
- 4) การติดตั้งคอยล์ควบแน่นและคอยล์ระเหย อาจ ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณลมจ่ายได้ เนื่องจากเป็น การเพิ่มอุปกรณ์ที่กีดขวางการไหลของอากาศในเครื่องส่ง ลมเย็น แต่อาจแก้ปัญหาดังกล่าวได้โดยการเปลี่ยนขนาดพู่เล่ย์ (Pulley) ที่พัดลมหรือมอเตอร์
- 5) มีเสียงดังรบกวนขณะคอมเพรสเซอร์ทำงาน แต่ เมื่อทำงานพร้อมกันกับพัดลมของเครื่องส่งลมเย็นแล้ว ถือว่ามีความดังเสียงน้อยกว่ามาก

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทเอ็มแอนด์อีทีเอ็มเวิร์คจำกัดและคุณกฤต มุขวงศ์ประเสริฐสำหรับข้อมูล โปรแกรมช่วยในการ ออกแบบและอุปกรณ์สนับสนุนในงานวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ศูนย์วิจัยกลสิกรไทย K ECON - Analysis ฉบับส่ง สื่อมวลชน CURRENT ISSUE ปี ที่ 22 ฉบับที่ 2721 วันที่ 25 มีนาคม 2016, แหล่งที่มา <https://www.kasikornresearch.com/TH/K-EconAnalysis/>เมื่อวันที่ 10/04/2559
- [2] คณะกรรมการร่างมาตรฐานระบบปรับอากาศและ ระบายอากาศ (2557). มาตรฐานระบบปรับอากาศและ ระบายอากาศคณะกรรมการมาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศในคณะกรรมการสาขา วิศวกรรมเครื่องกลวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ใน พระบรมราชูปถัมภ์
- [3] ARI Standard 550/590. 2011 Standard for Performance Rating Of Water-Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages Using the

Vapor Compression Cycle.:Air-conditioning, Heating & Refrigeration Institute.

- [4] เซวานพันธ์ เหล็กขำและ ตูลย์ มณีวัฒนา (2554). การออกแบบเครื่องเติมอากาศภายนอกชนิดอิสระที่ เหมาะสมสำหรับกรุงเทพมหานคร, การประชุมวิชาการ เครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25, 19-21 ตุลาคม 2554 จังหวัดกระบี่

[5] เทคโนโลยี “การลดความชื้นด้วยฮีทปั๊ม”, โครงการ การสาธิตเทคโนโลยีเชิงลึกเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน, กรม พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน 3 พ.ย. 52

- [6] PsyChart Version 1.1.0.1, Visual psychrometric chart with active air state and HVAC processes. Copyright © 2001, TechniSolve Software cc.P.O Box 1813, Randburg 2125, South Africa

[7] CoolPack Version 1.49, CoolPack is a collection of simulation models for refrigeration systems. The models each have a specific purpose, 1998 – 2001 Department of Mechanical Engineering Technical. University of Denmark <http://coolpack.software.informer.com/>

- [8] Selection 7.1, Selection Software with the compressors and condensing units list of approved refrigerants. Contact: Petra Schreiber, press.ecteu@emerson.com, Emerson Climate Technologies GmbH, Pascalstr. 65, 52076 Aachen, Germany. <http://www.emersonclimate.eu>

[9] EVAP – COND, Simulation models for finned-tube heat exchangers, Version 3.0, National Institute of Standards and Technology [Internet]. Gaithersburg: Maryland; 2008 [cited 2008 Oct]. http://www.nist.gov/el/building_environment/evapcond_software.cfm