

การประเมินสมรรถนะของระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนที่ใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเป็นแหล่งความร้อนสำหรับร้าน 7-Eleven ในประเทศไทย

Performance assessment of an absorption air-conditioning system driven by an electrical heater for 7-Eleven stores in Thailand

อุทธีรงค์ สมสนุก*, ชีรพรธัญ ศรีอ่อนและ อาทิตย์ คุณศรีสุข

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง นครราชสีมา 30000

E-mail: somsnuk_@hotmail.co.th*, เบอร์โทรศัพท์:0-4422-4410,เบอร์โทรสาร:0-4422-4411

บทคัดย่อ

ร้านสะดวกซื้อ 7-Eleven มีหลายพันสาขาในประเทศไทยและเพื่อความสบายของผู้อาศัยการปรับอากาศจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยทั่วไปจะใช้ระบบปรับอากาศแบบอัดไอในการทำความเย็นถึงแม้ว่าจะไม่ใช่ทางเลือกที่ประหยัดและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งในทางตรงกันข้ามระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนใช้พลังงานน้อยกว่าระบบปรับอากาศแบบอัดตั้งนั้น เทคโนโลยีนี้จึงมีความน่าสนใจ เพื่อให้ระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการทำความเย็นของร้าน 7-Eleven ระบบนี้จึงต้องการแหล่งความร้อนที่มีความสะดวกและราคาถูก ในการศึกษาที่ใช้โปรแกรม TRNSYS ในการจำลองการทำงานของระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนที่ใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเป็นแหล่งความร้อนสำหรับร้าน 7-Eleven ทั่วไปในประเทศไทยขนาด 100 m² ระยะเวลาในการจำลองคือ 1 ปี และใช้ time-step 2 นาที พบว่า ขนาดถังเก็บน้ำเย็นที่เหมาะสมคือ 400 ลิตร และกำลังฮีตเตอร์ไฟฟ้าที่เหมาะสมคือ 180 kW นอกจากนี้ผลการจำลองการทำงานแสดงให้เห็นว่า ค่า COP เฉลี่ยของระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนและระบบปรับอากาศแบบอัดไอคือ 0.7 และ 3.65 ตามลำดับ และยังพบว่า การใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนในหนึ่งปีคือ 196,596 kW-hr ซึ่งมากกว่าระบบปรับอากาศแบบอัดไอ

คำหลัก:ระบบปรับอากาศแบบดูดกลืน, 7-Eleven, TRNSYS,การใช้พลังงานไฟฟ้า, COP.

Abstract

7-Eleven is a convenience store chain with several thousand stores in Thailand. Space cooling is essential for maintaining thermal comfort in the stores. The conventional vapor-compression air-conditioning system is commonly used in the stores, although it is not the energy-saving and eco-friendly option. On the other hand, the absorption cooling technology needs less electrical power and is eco-friendly relatively. However, this technology is thermally activated. To make the absorption cooling be a viable cooling option for 7-Eleven stores, it is needed to find a convenient-and-economic heat source. In this study, TRNSYS program is used to model the

operation of an absorption air-conditioning system driven by an electrical heater for a typical 100- m^2 7-Eleven store in Thailand. The simulation period is one whole year with time-step of 2 minutes. It was observed that the optimal size of the cold-water tank is 400 Litres and the optimal power of the heater is 180 kW. Additionally, the simulations show that the annual average COP of the absorption cooling and vapor-compression cooling are 0.7 and 3.65, respectively. It was also found that the yearly energy consumption of the absorption cooling is 196,596 kWh higher than that of the vapor-compression cooling.

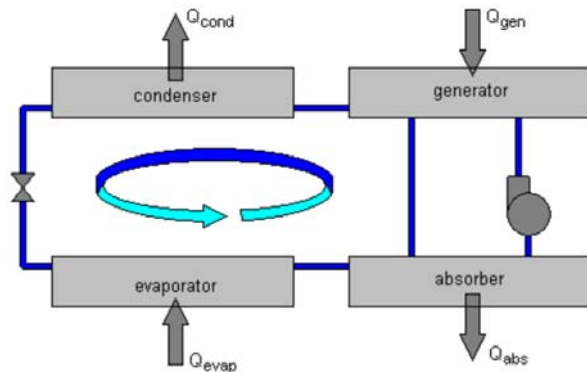
Keywords: absorption air-conditioning system; 7-Eleven, TRNSYS; electrical power consumption; COP.

1. บทนำ

เนื่องจากร้าน 7-Eleven ได้มีการเจริญเติบโต และได้ขยายสาขาในหลายพื้นที่ ภายใน 7-Eleven จะต้องมีการทำความเย็นภายในอาคารเพราะว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่มีภูมิอากาศร้อนและชื้น เช่นเดียวกับอาคารหลายๆแห่งจะต้องมีระบบปรับอากาศเพื่อให้ผู้อาศัยมีความสุขสบายโดยทั่วไปแล้ว 7-Eleven จะใช้ระบบปรับอากาศแบบอัดไอ (Vapor compression cycle) วัฏจักรนี้ประกอบด้วยเครื่องควบแน่น (Condenser) เครื่องทำระเหย (evaporator) วาล์วลดความดัน (expansion valve) และเครื่องอัดไอ (compressor) ซึ่งอุปกรณ์ที่เปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ไฟฟ้าค่อนข้างมากในการทำงานต่อมาจึงเกิดแนวคิดเรื่องวัฏจักรการทำความเย็นแบบดูดกลืนที่ใช้ความร้อนในการทำงาน

ระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนประกอบด้วย 4 ส่วนหลักๆ คือ เครื่องควบแน่น (condenser) เครื่องทำระเหย (evaporator) เครื่องดูดซึมความร้อน (absorber) และอุปกรณ์ให้ความร้อน (generator) ดังแสดงในรูปที่ 1 ภายในระบบประกอบด้วย สารทำความเย็น (น้ำ) และ สารละลาย (เช่น ลิเทียมโบรมไนด์) ที่ทำหน้าที่ดูดซึมไอระเหยของสารทำความเย็น หลักการทำงานของวัฏจักรการทำความเย็นแบบดูดกลืนคือ สารละลายที่มีความเข้มข้น

สูงจาก generator จะถูกส่งไปยัง absorber เพื่อผสมกับไอระเหยของสารทำความเย็น (น้ำ) ที่มาจาก evaporator เมื่อผสมกันแล้วสารละลายจะมีความเข้มข้นลดลง จากนั้นสารละลายจะถูกส่งไปที่ generator เพื่อแยกสารทำความเย็นออกจากสารละลายโดยการให้ความร้อน เมื่อได้รับความร้อนสารทำความเย็นจะระเหยและแยกไปที่ condenser เพื่อทำการควบแน่นต่อไป ส่วนสารละลายใน generator จะมีความเข้มข้นมากขึ้นและถูกส่งไปที่ absorber อีกครั้งเพื่อดูดซึมไอระเหยของสารทำความเย็น ส่วนสารทำความเย็นที่อยู่ใน condenser จะเกิดการควบแน่นจากไอระเหยกลายเป็นของเหลว เนื่องจากได้ทิ้งความร้อนให้กับน้ำหล่อเย็นที่มาจากหอระบายความร้อน (cooling tower) จากนั้นสารทำความเย็นที่เป็นของเหลวจะถูกลดความดันลงเพื่อให้เป็นไออิ่มตัว (saturated vapor) พร้อมทั้งจะระเหยสำหรับ evaporator ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเย็นที่ไหลกลับมาจากคอยล์เย็น (chilled water return) ที่ทิ้งความร้อนให้กับสารทำความเย็นทำให้สารทำความเย็นระเหยและแยกไปยัง absorber เพื่อผสมกับสารดูดซึมอีกครั้งเป็นวัฏจักร น้ำที่ออกจาก evaporator เมื่อผ่านกระบวนการนี้จะได้น้ำเย็นเพื่อส่งไปยังคอยล์เย็นในการทำงานต่อไป [1].



รูปที่ 1 วัฏจักรทำความเย็นแบบดูดกลืน

A. Korkmaz and N. Egrican [2] ใช้โปรแกรม TRNSYS ในการจำลองระบบ Radiant space heating and cooling เพื่อลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และปรับปรุงความสบายของผู้อาศัยในอาคาร. Safwan Kanan et al. [3] ศึกษาประสิทธิภาพของบ่อความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์สำหรับระบบปรับอากาศโดยใช้โปรแกรม TRNSYS และ MATLAB ในการจำลองระบบ. Ali ShiraZi et al. [4] ศึกษาความเป็นไปได้ของระบบ Solar heating and cooling (SHC) absorption systems โดยใช้ LiBr-H₂O absorption chillers สามแบบ (single-, double-, and triple-effect). Jung-in Yoon et al. [5] ศึกษา double-effect LiBr-water absorption cycle ที่ใช้ความร้อนที่จากหัวเผาก๊าซของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ความร้อนกับสาร absorbent solution. M. Edera และ H. Kojima. [6] นำเสนอผลการปรับปรุงระบบ gas absorption chiller heater โดยการจำลองระบบด้วยวิธีการเชิงตัวเลขและทำการทดลองของการทำความร้อนและการทำความเย็นภายในอาคาร. Jung-In Yoon et al. [7] ได้ศึกษาวิธีการเชิงตัวเลขสำหรับกระบวนการ heat and mass transfer process ใน LiBr-water absorption chiller แบบ vertical plate absorber โดยศึกษาในเรื่อง total heat and mass transfer rates และ the heat and mass transfer coefficients. P.J. Martinez et al. [8] ใช้

โปรแกรม TRNSYS จำลองระบบ double-effect water-lithium bromide absorption chiller เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบขณะทำงานและเปรียบเทียบข้อมูลการทำความเป็นและพลังงานที่ใช้จากผลการจำลอง. A. Al-Alili et al. [9] นำเสนอระบบ solar powered NH₃/H₂O absorption cycle โดยการใช้โปรแกรม TRNSYS ในการจำลองระบบเพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องและได้วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์. Pedro J. Martinez et al. [10] ใช้โปรแกรม TRNSYS จำลองการทำงานระบบ absorption chiller ขนาด 17.6 kW ที่ใช้ flat-plate collector ขนาด 38.4 m² เป็นแหล่งความร้อน. Yin Hang et al. [11] ศึกษาประสิทธิภาพของระบบ solar absorption cooling and heating (SACH) system และทำ multi-objective optimization ของระบบ SACH ใน 4 ที่ตั้งที่แตกต่างกัน (Phoenix, Los Angeles, Atlanta, และ Chicago). Andres Macia et al. [12] ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องของระบบ solar-assisted absorption ground coupled heat pump (GCHP) โดยใช้โปรแกรม TRNSYS ในการจำลองระบบและนำผลที่ได้จากการจำลองมาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง. Pando Martinez et al. [13] นำเสนอผลการเปรียบเทียบระหว่าง absorption chiller แบบ direct fire activated และ hybrid solar-gas absorption chiller ที่มีขนาด 17.6 kW สำหรับติดตั้งในหอพักในประเทศเม็กซิโก. A. Al-Alili et al. [14] ใช้โปรแกรม TRNSYS และ โปรแกรม MATLAB ในการจำลองระบบ ammonia-water absorption chiller ขนาด 10 kW ที่ใช้ evacuated tube collectors เป็นแหล่งความร้อน. Jean Philippe Praene et al. [15] นำเสนอผลจากการทดลองของระบบ solar-driven 30 kW LiBr/H₂O single-effect absorption cooling system ซึ่งถูกติดตั้งไว้ที่ University of Reunion Island และนำผลการ

ทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองด้วย
โปรแกรม TRNSYS.

ตารางที่ 1 อุปกรณ์ที่ใช้ในโปรแกรม TRNSYS 17

รายการ	ประเภท	หน้าที่
1.Absorption chiller	Type107	ผลิตน้ำเย็นให้กลับคอยล์เย็นเพื่อทำความเย็น
2.Cooling tower	Type51a	ส่งน้ำหล่อเย็นให้กลับ Absorption chiller เพื่อใช้ในการ ควบแน่นสารทำความเย็นใน Condenser
3. Fan coil unit (FCU)	Type928	แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศในห้องกับน้ำเย็น
4.Thermal storage tank (CHW_Tank, HW_Tank)	Type4a	ใช้ในการเก็บน้ำร้อนและน้ำเย็นจาก Absorption chiller
5.Pump, (CHW_Pump, CHW_Pump-2, HW_Pump)	Type114	ใช้ในการส่งน้ำไปยังจุดต่างๆในระบบ

ในบทความนี้เป็นการศึกษาระบบปรับอากาศ
ทางเลือกโดยเลือกศึกษาระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนที่
ใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเป็นแหล่งความร้อนโดยใช้โปรแกรม
TRNSYS 17 ในการจำลอง สำหรับการใช้งานกับ 7-
Eleven ในประเทศไทย

2. โปรแกรมและการจำลองระบบ

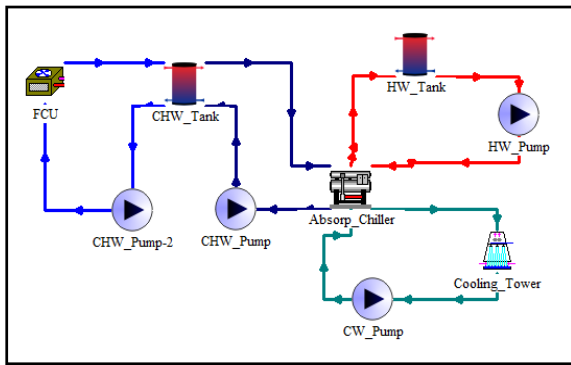
ในบทความนี้เป็นการจำลองระบบปรับอากาศโดยใช้
โปรแกรม TRNSYS 17 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลอง
ปัญหาทางด้านความร้อนด้านพลังงานไฟฟ้าและยัง
สามารถจำลองปัญหาทางด้านพลศาสตร์ได้เช่นกัน ในการ
จำลองระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนด้วยโปรแกรม
TRNSYS จะใช้อุปกรณ์ดังตารางที่ 1

การจำลองระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนสำหรับร้าน
7-Eleven ในเขตกรุงเทพมหานครโดยมีเงื่อนไขการ
ทำงานของ Absorption chiller ดังนี้

ตารางที่ 2 เงื่อนไขการทำงาน

รายการ	ค่า
1.อุณหภูมิน้ำเย็น (°C)	9-12
2.อุณหภูมิน้ำร้อน (°C)	86-88
3.อุณหภูมิอากาศภายในห้อง (°C)	23-27
4.อัตราการไหลอากาศที่คอยล์เย็น(CFM)	4,000
5.อัตราการไหลน้ำเย็นใน Chiller (kg/hr)	5467
6.อัตราการไหลน้ำเย็นในคอยล์เย็น (kg/hr)	3960
7.อัตราการไหลน้ำร้อนใน Chiller (kg/hr)	8640

หลังจากที่กำหนดค่าตัวแปรต่างๆดังตารางที่ 2 แล้ว
ซึ่งเป็นข้อมูลจากผู้จำหน่ายอุปกรณ์ในส่วนถัดมาจะเป็น
การออกแบบระบบโดยใช้โปรแกรม TRNSYS 17 จะได้
วงจรรของระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนดังรูปที่2



รูปที่ 2 วงจรระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนโดย TRNSYS

รูปที่แสดงเป็นเพียงบางส่วนของระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนที่ยังไม่รวมระบบควบคุมของวงจรเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ดังที่แสดงในตารางที่ 1 จากรูป absorption chiller จะทำหน้าที่ผลิตน้ำเย็นและถูกส่งไปเก็บไว้ในถังเก็บน้ำเย็นโดยปั๊มน้ำเย็นตัวที่ 1 จากนั้นปั๊มน้ำเย็นตัวที่ 2 จะจ่ายน้ำเย็นไปที่คอยล์เย็นเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศภายในห้อง น้ำเย็นที่ผ่านคอยล์เย็นแล้วจะถูกส่งไปผสมกับน้ำเย็นในถังเก็บน้ำเย็นเมื่อน้ำเย็นมีอุณหภูมิสูงขึ้นเกินค่าที่กำหนด absorption chiller จะทำงานอีกครั้งและจะหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในถังน้ำเย็นต่ำลงจนถึงค่าที่กำหนดไว้ ส่วนถังเก็บน้ำร้อนจะมีฮีตเตอร์อยู่ภายในถังทำหน้าที่ผลิตน้ำร้อนแล้วส่งให้กับ generator ของ absorption chiller เพื่อแยกสารทำความเย็นออกจากสารละลาย ส่วนหอระบายความร้อนทำหน้าที่ส่งน้ำหล่อเย็นให้กับ condenser ของ absorption chiller เพื่อควบแน่นสารทำความเย็นและส่งไปที่เครื่องทำระเหยเพื่อใช้ในการผลิตน้ำเย็นต่อไป

3. แบบจำลองคณิตศาสตร์

ในการคำนวณครั้งนี้เป็นหาประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนแบบ single effect hot water fired absorption chiller อันดับแรกจะเป็นการคำนวณพลังงานที่นำออกจากน้ำเย็นที่กลับเข้า absorption chiller [1].

$$\dot{Q}_{remove} = \dot{m}_{chw} C_{pchw} (T_{chw,in} - T_{chw,set}) \quad (1)$$

พลังงานจากน้ำร้อนที่ส่งถ่ายให้กับ chiller สามารถคำนวณจากสมการที่ (2)

$$\dot{Q}_{hw} = \frac{Capacity_{Rated}}{COP_{Rated}} f_{DesignEnergyInput} \quad (2)$$

อุณหภูมิน้ำร้อนทางออกสามารถหาได้ดังนี้

$$T_{hw,out} = T_{hw,in} - \frac{\dot{Q}_{hw}}{\dot{m}_{hw} C_{p_{hw}}} \quad (3)$$

อุณหภูมิของน้ำเย็นทางออกซึ่งควรจะเท่ากับค่าที่กำหนดไว้แต่บางครั้งอาจจะสูงกว่า ถ้าความสามารถของเครื่องถูกจำกัด ดังนั้นสามารถคำนวณจาก

$$T_{chw,out} = T_{chw,in} - \frac{MIN(\dot{Q}_{Remove}, Capacity)}{\dot{m}_{chw} C_{p_{chw}}} \quad (4)$$

การถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำหล่อเย็นเป็นไปตามกฎอนุรักษ์พลังงาน สามารถคำนวณจากสมการที่ (5)

$$\dot{Q}_{cw} = \dot{Q}_{chw} + \dot{Q}_{hw} + \dot{Q}_{aux} \quad (5)$$

อุณหภูมิทางออกของน้ำหล่อเย็นสามารถคำนวณโดย

$$T_{cw,out} = T_{cw,in} + \frac{\dot{Q}_{cw}}{\dot{m}_{cw} C_{p_{cw}}} \quad (6)$$

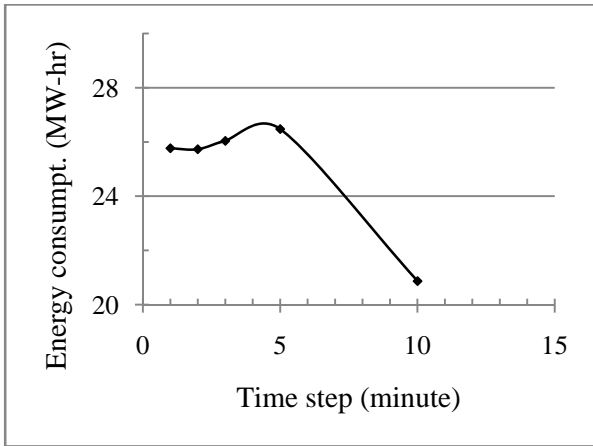
กำหนดให้ค่า COP สามารถหาได้ดังนี้

$$COP = \frac{\dot{Q}_{chw}}{\dot{Q}_{aux} + \dot{Q}_{hw}} \quad (7)$$

เนื่องจาก COP เป็นค่าในการชี้วัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ดังนั้นค่า COP จะเป็นค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบระหว่างระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนและระบบปรับอากาศแบบอัดไอของบทความนี้

4. การหา time-step ที่เหมาะสม

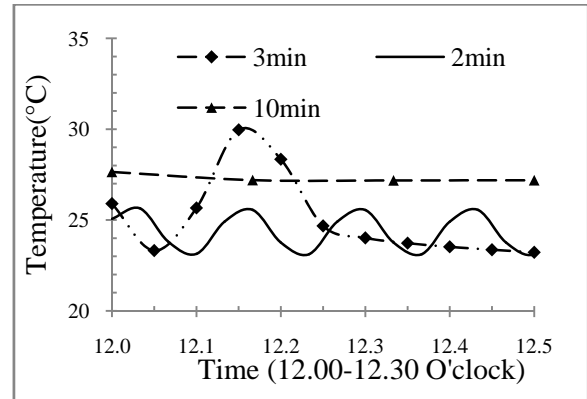
ในการศึกษานี้เป็นการจำลองระบบปรับอากาศที่เก็บของผลการทำงานของระบบเป็นช่วงๆของการจำลอง เวลาในการเก็บข้อมูลแต่ละครั้งเรียกว่า “time-step” การเก็บข้อมูลการจำลองโดยใช้ time-step ของโปรแกรม TRNSYS ระหว่าง 1 นาที ถึง 10 นาที แล้วเปรียบเทียบคำตอบจากแต่ละ time-step ได้ผลดังรูปที่ 3



รูปที่3 กราฟความสัมพันธ์ของพลังงานที่ใช้เทียบกับ Time-step

ค่าenergy consumptionคือค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของอุปกรณ์ภายในระบบใช้ไปได้แก่ fan coil unit ป้อนดูดน้ำ absorption chiller cooling tower และ ฮีตเตอร์ของถังก่อนน้ำร้อน เป็นต้น โดยการกำหนดกำลังของอุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านี้ให้กับโปรแกรม TRNSYS จากนั้นโปรแกรมสามารถคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในหนึ่งปีออกมา จากรูปจะเห็นว่าtime-stepในช่วง 1 -2 นาที มีค่าไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อ time-step ใหญ่กว่า 2 นาที ค่า energy consumption มีค่าแตกต่างจากค่า energy consumption ในช่วง 1 - 2 นาที มากกว่า 5% ในการศึกษาจึงเลือกใช้ time-step เท่ากับ 2 นาที และเรียกคำตอบที่ได้ว่า time-step independent solution

นอกจากนี้ยังพบอีกว่าเมื่อใช้ time-stepใหญ่กว่า 2 นาที คำตอบที่ได้บางครั้งขาดความสมจริง เช่น อุณหภูมิในห้องปรับอากาศมีค่ามากกว่าหรือน้อยกว่าค่าควบคุมในบางเวลาดังแสดงในรูปที่4



รูปที่4 กราฟความสัมพันธ์ของอุณหภูมิในห้องปรับอากาศและเวลา

รูปที่ 4แสดงอุณหภูมิในห้องปรับอากาศเมื่อใช้ time-stepเท่ากับ 2นาที3นาที และ 10นาทีโดยตั้งค่าทุกอย่างเหมือนกันทุกประการและควบคุมอุณหภูมิห้องให้มีค่าระหว่าง 23 – 27°C จะเห็นว่าเมื่อ time-stepเท่ากับ 2 นาที ระบบสามารถควบคุมอุณหภูมิห้องให้เป็นไปตามต้องการได้ แต่เมื่อใช้time-stepมากกว่า 2 นาที อุณหภูมิห้องมีค่ามากกว่า 27°C ในบางช่วงเวลา และน้อยกว่า 23°C ในบางช่วงเวลา ทั้งนี้ น่าจะเกิดจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในห้องมีความไวมากจนกระทั่งการใช้ time-stepมากกว่า 2นาที ไม่สามารถจับการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ทัน จึงต้องมีการทำ interpolation ระหว่าง time-stepทำให้เกิด numerical errors ขึ้น

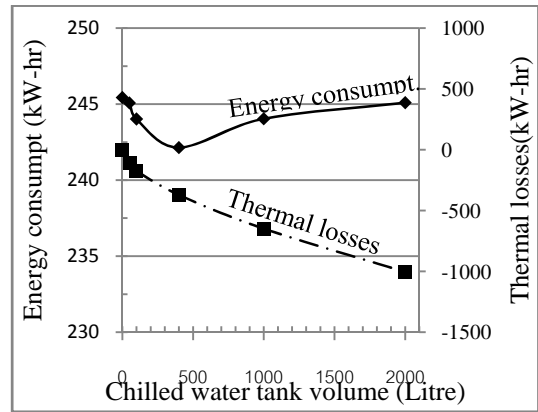
5. ผล และการอภิปรายผล

เมื่อนำผลที่ได้จากการจำลองระบบปรับอากาศแบบดูดซึมโดยใช้โปรแกรม TRNSYS 17 สามารถแบ่งออกเป็น 5 หัวข้อดังนี้

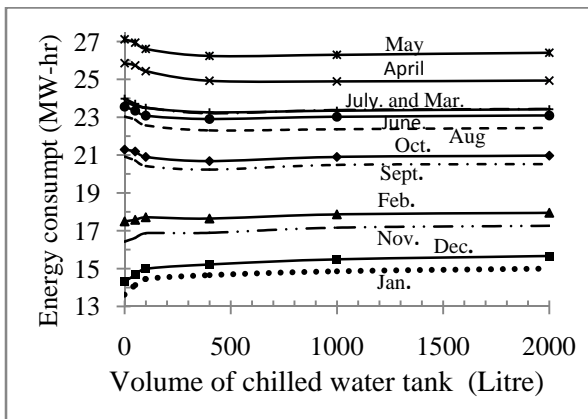
5.1 อิทธิพลของขนาดถังเก็บน้ำเย็น

ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของขนาดถังเก็บน้ำเย็นที่ต่างกันแล้วเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของระบบและหาระบบที่ประหยัดไฟฟ้าระหว่างการทำน้ำเย็นไปเก็บไว้ในถังก่อนที่จะส่งน้ำเย็นไปที่คอยล์เย็นกับระบบ

ที่ส่งน้ำเย็นไปที่คอยล์เย็นโดยตรงโดยไม่มีถังเก็บน้ำเย็น การเปรียบเทียบจะจำลองการทำงานตลอดทั้งปีของระบบปรับอากาศแบบดูดซึมโดยกำหนดให้ขนาดถังน้ำร้อนมีขนาดคงที่เท่ากับ 600 ลิตร และกำหนดให้กำลังของฮีตเตอร์มีขนาดคงที่เท่ากับ 180 kW พิจารณาระบบที่มีถังเก็บน้ำเย็นประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากกว่า จากนั้นจึงลองเปลี่ยนขนาดถังน้ำเย็นเป็น เพื่อหาขนาดถังน้ำเย็นที่เหมาะสม เมื่อนำผลจากการจำลองด้วยโปรแกรม TRNSYS 17 มาพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ใช้ในแต่ละเดือนและขนาดถังเก็บน้ำเย็น จะได้ดังนี้



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของพลังงานที่ใช้ พลังงานความร้อนสูญเสียและขนาดถังเก็บน้ำเย็น



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของพลังงานที่ใช้และขนาดถังเก็บน้ำเย็น

รูปที่ 5 แสดงพลังงานรวมของระบบที่ใช้ในแต่ละเดือนเมื่อถังน้ำเย็นมีขนาดต่างกันตั้งแต่ 0 50 100 400 1,000 และ 2,000 ลิตร โดยกำหนดให้อุณหภูมิในห้องปรับอากาศของแต่ละเดือนเท่ากับ 25 °C พบว่า ถึงแม้ขนาดถังน้ำเย็นจะเพิ่มขึ้นพลังไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือนค่อนข้างคงที่ และในฤดูร้อนเช่นเดือนพฤษภาคมเป็นเดือนที่มีอุณหภูมิสูงทำให้ระบบปรับอากาศต้องทำงานมากกว่าเดือนมกราคมซึ่งเป็นฤดูหนาวจึงทำให้พลังงานที่ใช้ในเดือนพฤษภาคมมากกว่าเดือนมกราคม

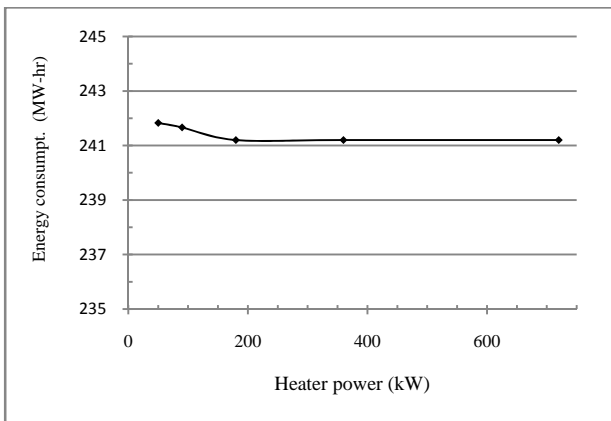
จากนั้นเมื่อนำพลังงานไฟฟ้าที่ระบบใช้งานตลอดทั้งปี พลังงานที่เกิดการสูญเสีย และ ขนาดถังน้ำเย็นมาเขียนกราฟความสัมพันธ์จะได้ดังนี้

จากกราฟจะเห็นว่าพลังงานความร้อนสูญเสีย (Thermal losses) มีค่าติดลบเนื่องจากโปรแกรม TRNSYS กำหนดให้ความร้อนที่ถ่ายเทออกจากระบบเป็นค่าบวก ส่วนความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในระบบเป็นค่าลบ เนื่องจากพลังงานความร้อนที่เกิดการถ่ายเทระหว่างอากาศรอบๆ ถังน้ำเย็นเข้าสู่ถังน้ำเย็น จึงทำให้อุณหภูมิของน้ำเย็นในถังสูงขึ้นและมีค่าติดลบ ทำให้ chiller ที่ทำหน้าที่ผลิตน้ำเย็นทำงานมากขึ้น จากรูปที่ 6 พบว่า เมื่อถังน้ำเย็นมีขนาดใหญ่ขึ้น จะทำให้ค่าพลังงานความร้อนสูญเสียมีค่าติดลบมากขึ้น หมายความว่า มีการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ถังเก็บน้ำเย็นมากขึ้น เนื่องจาก เมื่อ ถังมีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้ถังมีพื้นที่ผิวในการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น จึงทำให้การถ่ายเทความร้อนมากขึ้นเมื่อขนาดถังใหญ่ขึ้น เมื่อพิจารณาพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในหนึ่งปีกับขนาดถัง พบว่า ระบบที่มีถังน้ำเย็นจะใช้พลังงานน้อยกว่าระบบที่ไม่มีถังน้ำเย็น (ปริมาตรถังเท่ากับ 0) จากนั้นเมื่อขนาดถังน้ำเย็นมีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้ระบบใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลง เนื่องจากน้ำเย็นที่กลับมาจากคอยล์เย็นไหลกลับมาผสมกับน้ำเย็นภายในถังหากถังเก็บน้ำเย็นมีขนาดใหญ่กว่าจะทำให้อุณหภูมิน้ำเย็นภายในถังเพิ่มสูงขึ้นช้ากว่าถังเก็บน้ำเย็นที่มีขนาดเล็กกว่า จะทำให้ absorption chiller ไม่ทำงานบ่อยครั้งในการรักษาอุณหภูมิภายในถังน้ำเย็น แต่ก็ใช้เวลามากขึ้นในการ

ผลิตน้ำเย็น เมื่อเพิ่มขนาดถังน้ำเย็นจนมีปริมาตรมากกว่า 400 ลิตร พบว่า ระบบใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น เพราะว่าเมื่อถังน้ำเย็นใหญ่ขึ้นทำให้พลังงานความร้อนสูญเสีย (Thermal losses) ถ่ายเทเข้าสู่ถังน้ำเย็นมากขึ้น จากกราฟในรูปที่ 6 ดังนั้นขนาดถังน้ำเย็นที่เหมาะสม มีขนาดเท่ากับ 400 ลิตร ซึ่งจะทำให้ลดการใช้พลังงานของระบบได้ ประมาณ 1.34% ต่อปี เมื่อเทียบกับระบบที่ไม่มีถังน้ำเย็น

5.2 อิทธิพลของกำลังฮีตเตอร์ไฟฟ้า

ในหัวข้อนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลขนาดกำลังของฮีตเตอร์ หลังจากที่ได้ขนาดถังน้ำเย็นที่เหมาะสมแล้วโดยกำหนดให้ขนาดถังน้ำร้อน และ ถังน้ำเย็นมีขนาดคงที่เท่ากับ 400 ลิตรจากนั้นทำการเปลี่ยนกำลังของฮีตเตอร์ จาก 50 90 180 360 และ 720kW เพื่อหาค่ากำลังที่ทำให้ระบบใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดจากการจำลองระบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ TRNSYS 17 จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง พลังงานที่ระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนใช้ในหนึ่งปีและขนาดของกำลังฮีตเตอร์ไฟฟ้า ดังนี้



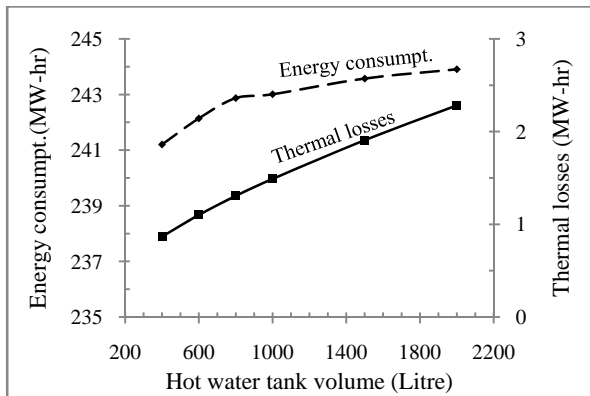
รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ของพลังงานที่ใช้และกำลังของฮีตเตอร์

รูปที่แสดง พบว่า พลังงานที่ใช้ไม่มีความแตกต่างกันมากเมื่อเพิ่มขนาดกำลังของฮีตเตอร์มากขึ้นและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เป็นค่าคงที่เมื่อฮีตเตอร์ใหญ่กว่า 180 kW เนื่องจาก ระบบนี้ต้องการให้น้ำในถังน้ำร้อนมีอุณหภูมิ 88 °C หากน้ำร้อนมีอุณหภูมิลดลงจะทำให้ COP ของ

absorption chiller ต่ำลงด้วยจึงทำให้ระบบใช้ไฟฟ้ามากขึ้นเมื่อกำลังฮีตเตอร์ต่ำกว่า 180 kW แต่เมื่อเพิ่มกำลังของฮีตเตอร์มากกว่า 180 kW ซึ่งเป็นกำลังฮีตเตอร์ที่สามารถรักษาอุณหภูมิน้ำร้อนในถังไว้ได้ที่ 88 °C อย่างรวดเร็ว ดังนั้น พลังงานไฟฟ้าของระบบจึงเป็นค่าคงที่เมื่อกำลังของฮีตเตอร์มากกว่า 180 kW แต่ถ้าใช้ฮีตเตอร์ที่มีกำลังต่ำกว่า 50 kW พบว่า chiller ไม่สามารถทำความเย็นได้ตามต้องการ ทำให้อุณหภูมิในห้องปรับอากาศไม่เป็นไปตามค่าที่กำหนด จากรูปที่ 7 ระบบที่ใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้า 50 kW จะใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าระบบที่ใช้กำลังของฮีตเตอร์ 180 kW คิดเป็น 0.26% ถือว่าเป็นค่าที่น้อยมาก ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า กำลังของฮีตเตอร์มีอิทธิพลน้อยมากต่อพลังงานที่ใช้ของระบบ

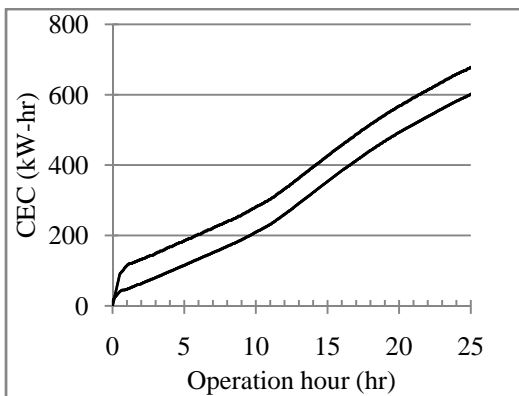
5.3 อิทธิพลขนาดถังเก็บน้ำร้อน

ในหัวข้อนี้จะเป็นการศึกษาอิทธิพลของขนาดถังน้ำร้อนของระบบปรับอากาศแบบดูดกลืน โดยที่ระบบปรับอากาศนี้จะใช้ absorption chiller ในการผลิตน้ำเย็น เนื่องจาก absorption chiller จะต้องใช้น้ำร้อนในการทำงาน ดังนั้นต้องมีถังในการเก็บน้ำร้อนและขนาดถังน้ำร้อนที่เหมาะสมจึงเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการทราบโดยกำหนดให้ขนาดถังน้ำร้อนเท่ากับ 400 600 800 1,000 1,500 และ 2,000 ลิตร ดังนั้นในหัวข้อนี้จะเป็นการปรับเปลี่ยนขนาดถังน้ำร้อนและเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ระบบใช้เพื่อหาขนาดถังที่เหมาะสมที่ทำให้ระบบใช้พลังงานน้อยลง โดยกำหนดให้ถังน้ำเย็นและกำลังฮีตเตอร์ไฟฟ้าเป็นค่าคงที่เท่ากับ 400 ลิตร และ 180 kW ตามลำดับ ผลจากการจำลองระบบด้วยโปรแกรม TRNSYS 17 จะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ พลังงานความร้อนสูญเสีย (Thermal losses) และขนาดของถังน้ำร้อน ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ของพลังงานที่ใช้ พลังงานความร้อนสูญเสีย และขนาดถังน้ำร้อน

จากรูปที่แสดง พบว่า เมื่อถังน้ำร้อนมีขนาดใหญ่ขึ้นระบบจะใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นและมีพลังงานความร้อนสูญเสียเพิ่มขึ้นเมื่อถังใหญ่ขึ้น เนื่องจากถังมีขนาดใหญ่ขึ้นจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสในการถ่ายเทความร้อนมากขึ้น จึงทำให้เกิดพลังงานความร้อนสูญเสียมากกว่าถังที่มีขนาดเล็ก เมื่อนำถังน้ำร้อนขนาด 400 ลิตรและ 2,000 ลิตรมาเปรียบเทียบกันจะได้ดังรูปที่ 9



รูปที่ 9 Cumulative Energy Consumption(CEC) และเวลาในการทำงานหนึ่งวัน

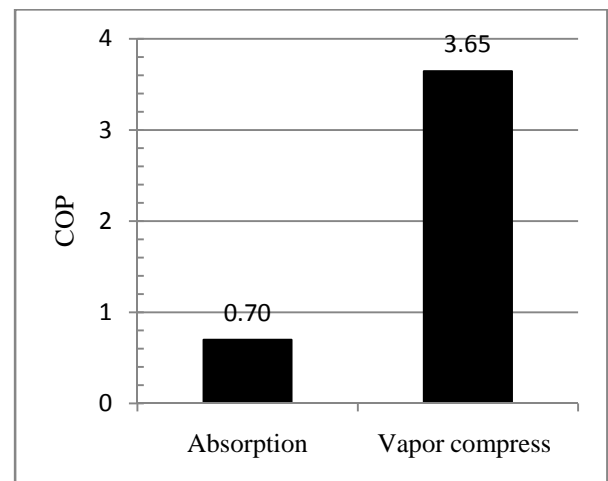
จากรูปจะเห็นว่า ถังที่มีขนาดใหญ่กว่าจะใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าในการทำน้ำร้อนอุณหภูมิ 88 °C ในช่วงเริ่มต้น หลังจากผ่านช่วงเริ่มต้นไปแล้วทั้งสองระบบจะมีลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมือนกัน ดังนั้นเมื่อจำลองการทำงานของระบบเป็นเวลาหนึ่งปีจึงทำให้ระบบที่มีถังน้ำร้อนขนาดใหญ่กว่าใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าระบบที่มีถังขนาดเล็กเท่ากับ 1.12% (2,700.45 kW-hr)

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างถังขนาด 400 ลิตรกับ 2,000 ลิตรจากการจำลองนี้จึงสามารถสรุปได้ว่าขนาดถังน้ำร้อนมีอิทธิพลกับพลังงานไฟฟ้าค่อนข้างมาก โดยมี 2 ปัจจัยที่ทำให้ระบบใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นคือ 1.เมื่อถังน้ำร้อนมีขนาดใหญ่ขึ้นทำให้พลังงานความร้อนสูญเสียมากขึ้น 2. ถังน้ำร้อนขนาดใหญ่จะต้องใช้พลังงานไฟฟ้าในตอนเริ่มต้นทำงานมากกว่าถังที่มีขนาดเล็กกว่าเพื่อทำให้น้ำในถังมีอุณหภูมิสูงขึ้น

5.4 การเปรียบเทียบระหว่าง ระบบปรับอากาศแบบ

ดูดกลืนและระบบปรับอากาศแบบอัดไอ

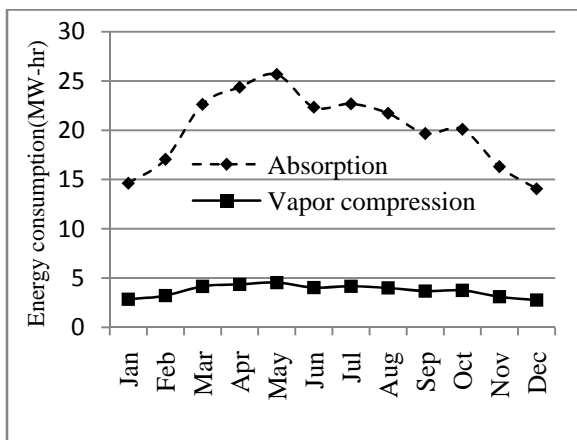
ในหัวข้อนี้จะเป็นการเปรียบเทียบในด้านพลังงานของระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนและระบบปรับอากาศแบบอัดไอโดยทั้งสองระบบใช้โปรแกรม TRNSYS ในการจำลองจากผลการจำลองที่ได้จากโปรแกรม TRNSYS เมื่อนำค่า COP เฉลี่ยตลอดทั้งปีของระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนและระบบปรับอากาศแบบอัดไามาเปรียบเทียบกัน จะได้ดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 การเปรียบเทียบค่า COP ของระบบปรับอากาศ

จากรูปที่แสดงจะเห็นได้ว่า ระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนมีค่า COP ต่ำกว่าระบบปรับอากาศแบบอัดไอประมาณ 5.12 เท่า เพราะวาระบบปรับอากาศแบบอัดไอใช้พลังงานกลจากเครื่องอัดไอ(Compressor) ในการขับเคลื่อนสารทำ

ความจำเป็นให้ทำงานตามวัฏจักรทำความเย็นแบบอัดไอ ซึ่ง Compressor เป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าค่อนข้างมากในการทำงานส่วนแนวคิดระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนจะใช้พลังงานความร้อนในการทำงาน เช่น ความร้อนทิ้งจากการผลิตไฟฟ้า ความร้อนทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม หรือ Solar collector เป็นต้น ซึ่งจะเป็นการนำความร้อนทิ้งกลับมาใช้ใหม่จึงเป็นระบบที่ประหยัดพลังงาน แต่ในบทความที่กำลังศึกษานี้เป็นการใช้ความร้อนจากฮีตเตอร์ไฟฟ้าซึ่งเป็นการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน เนื่องจากพลังงานไฟฟ้ามีราคาสูงกว่าพลังงานความร้อน (ในปริมาณเท่ากัน) ดังนั้นจึงทำให้ระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนมีค่า COP ที่ต่ำกว่าระบบปรับอากาศแบบอัดไอ จากนั้นเมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งสองระบบโดยใช้โปรแกรมจำลองในระยะเวลาหนึ่งปีจะได้ดังนี้



รูปที่ 11 การเปรียบเทียบการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศ

จากรูปจะเห็นได้ว่า เมื่อระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนมีค่า COP น้อยกว่าระบบปรับอากาศแบบอัดไอหมายความว่า ระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนใช้พลังงานได้ไม่คุ้มค่า เมื่อเปรียบเทียบกับระบบปรับอากาศแบบอัดไอ จึงทำให้ระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าระบบแบบอัดไอดังแสดงในรูปที่ 11 จากกราฟจุดสูงสุดคือเดือนพฤษภาคม เนื่องจากเดือน

พฤษภาคมเป็นช่วงที่มีอากาศร้อนที่สุดของประเทศไทยจึงทำให้เดือนนี้ระบบปรับอากาศทำงานมากขึ้น จึงทำให้เดือนพฤษภาคมใช้พลังงานมากที่สุด

6. สรุปผล

บทความนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนที่ใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเป็นแหล่งความร้อน สำหรับ 7-Eleven ในประเทศไทยโดยใช้โปรแกรม TRNSYS 17 ในการจำลองจากผลการทดลองข้างต้นจะสามารถสรุปได้ดังนี้

ระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนที่มีถังเก็บน้ำเย็นจะใช้พลังงานฟ้าน้อยกว่าระบบที่ไม่มีถังเก็บน้ำเย็นในการศึกษานี้จึงใช้ถังเก็บน้ำเย็นขนาด 400 ลิตร ทำให้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ประมาณ 1.34% (3,297.22 kW-hr) ต่อปีเมื่อเทียบกับระบบที่ไม่มีถังเก็บน้ำเย็น

กำลังของฮีตเตอร์ไฟฟ้าในถังน้ำร้อนมีอิทธิพลเพียงเล็กน้อยต่อการใช้พลังงานโดยรวมของระบบ โดยที่การเปลี่ยนแปลงของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้มีค่ามากที่สุดเพียง 0.26% (625.67 kW-hr)

ถังเก็บน้ำร้อนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นจะใช้ไฟฟ้ามากขึ้นเนื่องจากตอนเริ่มต้นทำงานฮีตเตอร์ไฟฟ้าจะต้องทำงานมากกว่าถังเก็บน้ำขนาดเล็กเพื่อให้ภายในถังมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามที่กำหนด (86-88°C) ดังนั้นเมื่อใช้ถังขนาด 400 ลิตร จะทำให้ประหยัดไฟฟ้าได้ประมาณ 1.12% (2,700.45 kW-hr) ต่อปี เมื่อเปรียบเทียบกับถังเก็บน้ำร้อนขนาด 2,000 ลิตร

ระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนมีค่า COP ประมาณ 0.70 และใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่าระบบปรับอากาศแบบอัดไอประมาณ 5.41 เท่า ดังนั้นถ้าเปรียบเทียบในด้านการใช้พลังงานจึงควรเลือกระบบปรับอากาศแบบอัดไอสำหรับ 7-Eleven ในประเทศไทย แต่ระบบปรับอากาศแบบดูดกลืนจะมีความน่าสนใจมากขึ้นในกรณีที่มีแหล่ง

ความร้อนที่ให้กับ absorption chiller ซึ่งจะทำให้การใช้ไฟฟ้าของระบบลดลง

รายการสัญลักษณ์	
Capacity	อัตราการไหลของอากาศทางเข้า อุปกรณ์ (kJ/hr)
Capacity _{Rated}	อัตราการทำความเย็นของอุปกรณ์ (kJ/hr)
$f_{DesignEnergyInput}$	ตัวประกอบของพลังงานที่จ่าย ให้กับ อุปกรณ์ในขณะนั้น(0..1)
\dot{Q}_{remove}	พลังงานที่ต้องนำออกจากน้ำ เย็นเพื่อให้ น้ำเย็นมีอุณหภูมิตามที่ กำหนด(kJ/hr)
\dot{Q}_{hw}	พลังงานที่เอาออกจากน้ำร้อน (kJ/hr)
\dot{Q}_{chw}	พลังงานที่เอาออกจากน้ำเย็น (kJ/hr)
\dot{Q}_{cw}	พลังงานที่เพิ่มให้น้ำหล่อเย็น (kJ/hr)
\dot{Q}_{aux}	พลังงานที่เกิดจากอุปกรณ์ เช่น ปั๊ม (kJ/hr)
chw	Chilled water
hw	Hot water
cw	Cooling water

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Shan K. Wang. (2000). Handbook of air conditioning and refrigeration, 2nd edition, ISBN:0-07-068167-8, McGraw-Hill, New York.
- [2] A. Korkmaz และ N. Egrican. (2015). Simulation of Solar Air-Conditioning System with Salinity Gradient Solar Pond. International Journal of Thermodynamics (IJOT),18(4), 235-244.
- [3] Safwann Kanan, Jonathan Dewsbury, และ Gregory F. Lane-Serff. (2015). Simulation of Solar Air-Conditioning System with Salinity Gradient Solar Pond. Energy Procedia, 79(2015), 746-751.
- [4] Ali Shirazi, Robert A. Taylor, Stephen D. White, และ Graham L. Morrison. (2016). A systematic parametric study and feasibility assessment of solar-assisted single-effect, double-effect, and triple-effect absorption chillers for heating and cooling applications. Energy Conversion and Management, 144(2016), 258-277.
- [5] Jung-in Yoon, Kwang-Hwan Choi, Young Jin Kim, และ Oh-Kyung Kwon. (2002). A study on the advanced performance of an absorption heater/chiller with a solution preheater using waste gas. Applied Thermal Engineering, 23(2003), 757-767.
- [6] M. Edera และ H. Kojima. (2002). Development of a new gas absorption chiller heater-advanced utilization of waste heat from gas-driver co-generation systems for air-conditioning. Energy Conversion and Management, 43(2002), 1493-1501.
- [7] Jung-In Yoon, Thanh-Tong Phan, Choon-Geun, และ Pradeep Bansal. (2005). Numerical study on heat and mass transfer characteristic of plate absorber. Applied Thermal Engineering, 25(2005), 2219-2235.
- [8] P.J. Martinez, A. Garcia, และ J.M. Pinazo. (2002). Performance analysis of an air conditioning system driven by natural gas. Energy and Buildings, 35(2003), 669-674.

- [9] A. Al-Alili, M.D. Islam, I. Kubo, Y. Hwang, และ R. Radermacher. (2010). Modeling of a solar powered absorption cycle for Abu Dhabi. *Applied Energy*, 93(2012), 160-167.
- [10] Pedro J. Martinez, Jose C. Martinez, และ Manuel Lucas. (2012). Design and test results of a low-capacity solar cooling system in Alicante(Spain). *Solar Energy*, 86(2012), 2950-2960.
- [11] Yin Hang, Lili Du, Ming Qu, และ Peeta. (2012). Multi-objective optimization of integrated solar absorption cooling and heating systems for medium-sized office buildings. *Renewable Energy*, 52(2013), 67-78.
- [12] Andres Macia, Luis A. Bujedo, Teresa Magraner, และ Cesar R. Chamorro. (2013). Influence parameters on the performance of an experimental solar-assisted ground-coupled absorption heat pump in cooling operation. *Energy and Buildings*, 66(2013), 282-288.
- [13] Pando Martinez GE, Saucedo Carvajal D, Velazquez Limon N, Luna Leon A, และ Moreno Hernandez C. (2014). Simulation and Comparative Study of a Hybrid Cooling Solar-Gas with Heat Storage. *Energy Procedia*, 57(2014), 2646-2655.
- [14] A. Al-Alili, Y. Hwang R. Radermacher, และ I. Kubo. (2010). Optimiaztion of a solar powered absorption cycle under Abu Dhabi's weather conditions. *Solar Energy*, 84(2010), 2034-2040.
- [15] Jean Philippe Praene, Olivier Marc, Franck Lucus, และ Frederic Miranville. (2010). Simulation and experimental investigation of solar absorption cooling system in Reunion Island. *Applied Energy*, 88(2011), 831-839.