

การวิเคราะห์ระบบทำน้ำเย็นแบบหอยโข่งชนิดอัดไอหลายชั้นสำหรับปรับอากาศเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ในอาคารศูนย์การค้าขนาดใหญ่

Analysis of Multi-Stage Centrifugal Chiller System for Air Conditioning for Energy Conservation in Large Shopping Centers

พงศกร คชาพงศ์กุล^{1*} และ สุรศักดิ์ แก้วจันทร์²

¹วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

¹E-mail: pkerdchang@rmutr.ac.th

²บริษัท ทรีโซน เอ็นเนอร์ยี แอนด์ เซอร์วิส จำกัด

²E-mail: ss.treezone@hotmail.com

บทคัดย่อ

การนำเสนอนี้เป็นแนวทางการวิเคราะห์ระบบทำน้ำเย็นแบบหอยโข่งชนิดอัดไอหลายชั้นสำหรับปรับอากาศเพื่ออนุรักษ์พลังงานของอาคารศูนย์การค้าขนาดใหญ่แห่งหนึ่ง เพื่อเป็นแนวทางและถ่ายทอดความรู้ให้อาคารควบคุมมีการปรับปรุงและมีการใช้งานในระบบไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดผลประหยัดพลังงานตามแผนอนุรักษ์พลังงาน จากการทดสอบพบว่าเครื่องทำน้ำเย็นแบบหอยโข่งชนิดอัดไอหลายชั้นสำหรับปรับอากาศขนาด 1,000 ตันความเย็น ที่ภาระโหลด 100, 75, และ 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเป็เป้าหมายการทำความเย็นสุทธิ โดยเป็นการแสดงค่าของอุณหภูมิน้ำออกและกลับบริเวณอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทางด้านร้อนและเย็น และเป็นการแสดงค่าสมรรถนะการทำความเย็น (กิโลวัตต์/ตันความเย็น) มีค่าเฉลี่ยที่ภาระโหลด 100, 75 และ 25 เปอร์เซ็นต์ที่ 0.531, 0.527 และ 0.783 ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น 6.626, 6.670 และ 4.493 ตามลำดับ ดังนั้นจากการตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 1,000 ตันความเย็น ก่อนการปรับปรุงนั้นพบว่าการใช้พลังงานต่อตันความเย็นที่ได้รับจะมีค่าสูงกว่าเครื่องแบบหอยโข่งชนิดอัดไอหลายชั้นที่ภาระโหลด 100 เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย 28 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ: เครื่องทำความเย็นแบบหอยโข่งชนิดอัดไอหลายชั้น สมรรถนะการทำความเย็น ประสิทธิภาพการทำความเย็น.

Abstract

This presentation is an analysis of multi-stage compressed water cooling systems for air conditioning to conserve energy in a large shopping center building. In order to a guideline and transfer knowledge to the control building improvement, efficiently using in the electrical system and resulted in energy saving to the energy conservation plan. From the results, it found that the multi-stage compressed water chiller size of 1,000 TON and the loading at 100, 75, and 25 %, which was the net cooling target. It shown the value of the water temperature and returning to the condenser and evaporative cooling system. This system showed the cooling performance (kW/ton) with loading of 100, 75 and 25 percent at 0.5308, 0.5273 and 0.7827, respectively. The coefficient of performance (COP) is

* Corresponding author, e-mail: pkerdchang@rmutr.ac.th

6.626, 6.670 and 4.493, respectively. Therefore, the measurement of energy consumption of a 1,000 TON before the improvement had the use of electricity per ton of cooling capacity higher than the multi-stage compressed as the 28 % at the loading of 100 %.

Keywords: Multi-stage centrifugal chiller, cooling performance, cooling efficiency.

1. ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันพบว่าอาคารธุรกิจส่วนใหญ่มีการใช้พลังงานสูงและมีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้นอีกในอนาคต ทำให้ภาคธุรกิจหันมาให้ความสนใจในเรื่องการอนุรักษ์พลังงานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพตามนโยบายอนุรักษ์พลังงาน สำหรับบางอาคารที่ได้รับการออกแบบโดยไม่ได้คำนึงถึงเรื่องการอนุรักษ์พลังงานย่อมมีสมรรถนะการประหยัดพลังงานต่ำ แต่ในขณะเดียวกันแม้ว่าบางอาคาร จะมีการนำแนวคิดเรื่องของการอนุรักษ์พลังงานมาใช้ในกระบวนการออกแบบแล้วก็ตามแต่ยังลดการบริโภคพลังงานได้ไม่มากนัก สิ่งเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงปัญหาบางประการที่เกิดขึ้นเช่นการใช้งานของอาคารซึ่งทำให้ไม่ประสบผลสำเร็จในการอนุรักษ์พลังงานตามที่คาดหวังไว้

ซึ่งทางกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน จะมีการสนับสนุนด้านการอนุรักษ์พลังงานต่างมากมาย เช่นโครงการให้คำปรึกษาเชิงปฏิบัติการเพื่ออนุรักษ์พลังงานไฟฟ้า (Electric Facilitator) ตามแผนอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2558 – 2579 เป็นโครงการที่มุ่งพัฒนาบุคลากร ที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้าของสถานประกอบการที่อยู่ในกลุ่มอาคารควบคุมหรือโรงงานควบคุมตาม พ.ร.บ.ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ.2550) และลดต้นทุนการผลิตและบริการด้านพลังงานไฟฟ้าในส่วนของระบบไฟฟ้าและเครื่องจักรและอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยการบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ การปรับตั้งระบบให้ได้มาตรฐานการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และการเปลี่ยนแปลงไปใช้เทคโนโลยีที่สูงขึ้นโดยถือเป็นการที่ทุกภาคส่วนทุกหน่วยงานต้องร่วมดำเนินงานอย่างเคร่งครัดและทันทีสำหรับอาคารศูนย์การค้าขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นรากฐานของอาคารที่ให้บริการในสังคม จึงควรให้ความสำคัญกับปัญหาที่เกิดขึ้นและดำเนินการปรับปรุงแก้ไขทันทีเพื่อลดค่าใช้จ่ายของพลังงานไฟฟ้ารักษาสิ่งแวดล้อมและเป็นแบบอย่างที่ดีในสังคม

ดังนั้นการศึกษานี้จะเป็นการดำเนินการตรวจวัดและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์การค้าแห่งหนึ่ง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้ อาคารศูนย์การค้านี้มีปริมาณจำนวนพื้นที่ใช้สอย 162,794 ตารางเมตร จำนวนพนักงาน 271 คน จำนวนชั่วโมงทำงาน 16 ชั่วโมง/วันจำนวนวันทำงาน 365 วัน/ปี คิดเป็นชั่วโมงทำงาน 5,840 ชั่วโมง/ปี ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ 18,077,400 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 71,647,826 บาท/ปี ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด 4,440 kW ราคาพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 4.20 บาท/kWh (อัตราค่าไฟฟ้าประเภท 4.2.2 อัตรา (TOU) กิจกรรมขนาดใหญ่) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าของศูนย์การค้าแห่งนี้มีปริมาณการใช้พลังงานที่สูงมากแห่งหนึ่ง จึงเป็นสาเหตุที่จะต้องมีการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อเป็นส่วนหนึ่งในการลดต้นทุนให้กับองค์กรได้อีกทางหนึ่ง

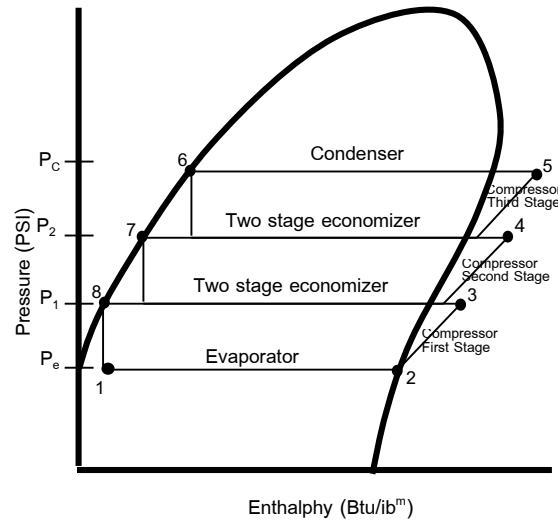
2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อเป็นแนวทางให้อาคารควบคุมมีการปรับปรุงและมีการใช้งานในระบบไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดผลประหยัดพลังงานอย่างเป็นรูปธรรมตามแผนอนุรักษ์พลังงาน

2.2 เพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้และผลสำเร็จของวิธีการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าผ่านการปฏิบัติจริงด้วยการตรวจวัดและพิสูจน์ผลประหยัดให้กับบุคลากรของอาคารควบคุม ให้สามารถดำเนินการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าได้ด้วยตนเองอย่างต่อเนื่องเป็นระบบและยั่งยืน รวมทั้งสามารถกระจายองค์ความรู้เพื่อขยายผลไปยังหน่วยงานอื่นต่อไป

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบหอยโข่งชนิดอัดไอหลายชั้นแสดงในแผนภูมิ P-h ของสารทำความเย็นในรูปที่ 1 จะแสดงหลักการทำงานของเครื่องอัดไอหลายชั้น ซึ่งมีกระบวนการต่างดังต่อไปนี้



รูปที่ 1 แผนภูมิ P-h แสดงวัฏจักรสารทำความเย็นในเครื่องอัดไอหลายชั้น

การตรวจสอบน้ำเย็น และระบบเครื่องทำน้ำเย็น

วิธีการทดสอบตามหลัก AHRI (AHRI 550/590-2015) ซึ่งค่าปริมาณของค่าคลาดเคลื่อนของประสิทธิภาพ สามารถหาได้จาก

$$To_{L1} = 0.15 - (0.07 \times \% \text{ load}) + (0.15 / (\Delta T_{FL} \times \% \text{ load})) \quad (1)$$

เมื่อ

ΔT_{FL} = ค่าผลต่างระหว่างอุณหภูมิน้ำส่งและน้ำกลับขณะไหลตสูงสุด (°F) ในที่นี้จะใช้

$$\Delta T_{FL} = 10.00^\circ \text{F} \text{ และค่า } To_{L1} \pm 5.00 \% \quad (2)$$

การสมดุลพลังงานสามารถหาได้จาก

$$\text{Energy Balance} = 0.074 - (0.049 \times \% \text{Load}) + (0.15 / (\Delta T_{FL} \times \% \text{ load})) \quad (3)$$

การสมดุลแรงดันไฟฟ้าสามารถหาได้จาก

$$\text{Voltage Balance} = \max ((V_1 - V_{avg}) \times (V_2 - V_{avg}) \times (V_3 - V_{avg})) / V_{avg} \quad (4)$$

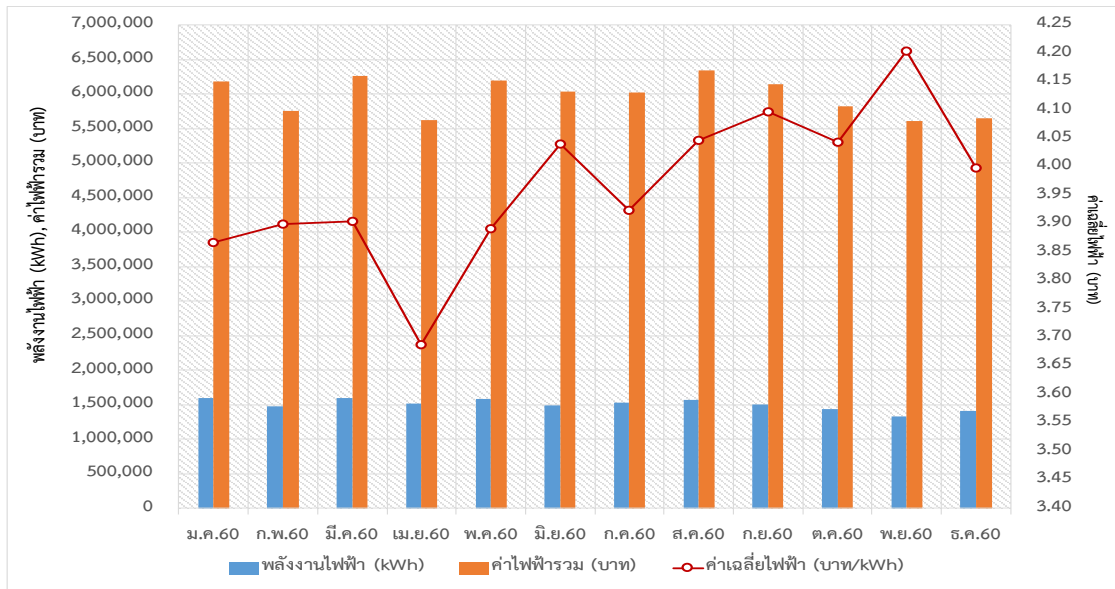
เมื่อ

$$V_{avg} = (V_1 + V_2 + V_3) / 3 \quad (5)$$

และค่าคลาดเคลื่อนของการสูญเสียควาตันของน้ำจะใช้ค่าสูงสุดอยู่ที่ $1.15 \times \Delta P_{\text{rated}}$ หรือเท่ากับ $\Delta P_{\text{rated}} + 6 \text{ kPa}$

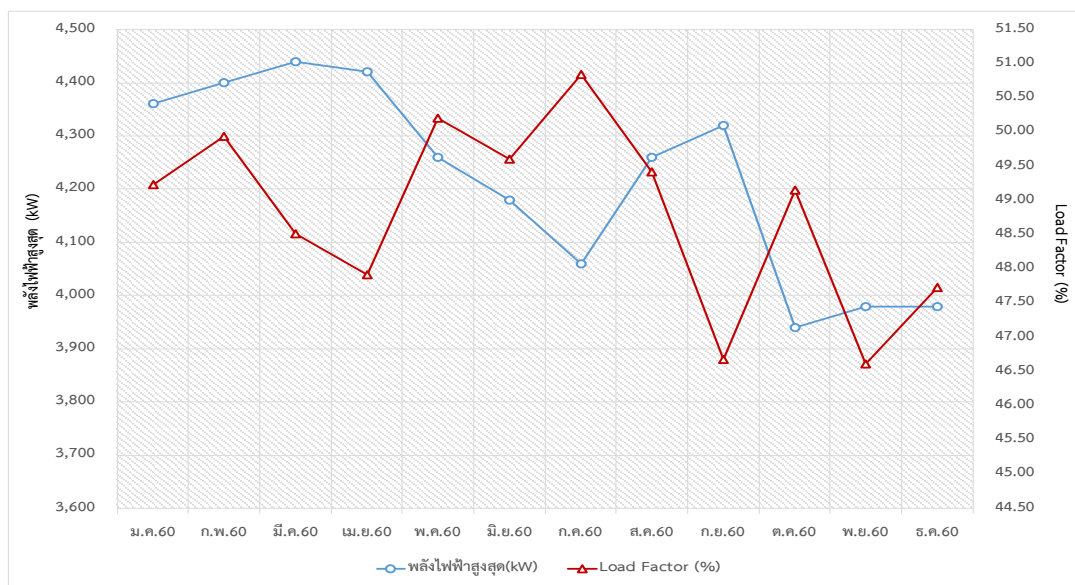
4. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินงานได้ดำเนินการรวบรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าขององค์กรเพื่อวิเคราะห์ปริมาณและอุปกรณ์ที่มีนัยสำคัญ ในการจัดทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานพลังงาน พบว่าอาคาร มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 1,602,400 kWh ในเดือน มีนาคม พ.ศ.2560 ต่ำสุด 1,335,800 kWh ในเดือน พฤศจิกายน พ.ศ.2560 และเฉลี่ย 1,506,450 kWh โดยมีค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 4.20 บาท/หน่วย ดังนั้นควรทำการตรวจสอบแก้ไข



รูปที่ 2 กราฟแสดงค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้ารวมของอาคาร

อาคารควบคุมมีดัชนีการใช้ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดประมาณ 4,400 kW ในเดือน มีนาคม พ.ศ.2560 ต่ำสุด 3,980 kW ในเดือน พฤศจิกายน พ.ศ.2560 และเฉลี่ย 4,216.67 kW โดยดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ใช้มากที่สุดสูงกว่าค่าเฉลี่ยร้อยละ



รูปที่ 3 กราฟแสดงค่าพลังไฟฟ้าสูงสุดและค่าโหลดแฟกเตอร์

จากข้อมูลที่ได้รับค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดจะอยู่ในช่วงเดือนมกราคมถึงเดือน เมษายน ในปี 60 ส่วนค่าเฉลี่ยไฟฟ้า บาท/หน่วย จะสูงในช่วงเดือนสิงหาคมถึงเดือนธันวาคม อันเนื่องมาจากการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสมกับค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด ดังนั้นจึงต้องมีการสำรวจเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานในองค์กร ที่จะทำให้ทราบถึงสาเหตุและแนวทางการแก้ไขให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าให้เกิดประโยชน์สูงสุด ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สำรวจข้อมูลการใช้พลังงานอุปกรณ์ที่มีนัยสำคัญ

ระบบที่ใช้พลังงาน	ชื่อเครื่องจักร/อุปกรณ์หลัก	พิกัด		จำนวน	อายุการใช้งาน (ปี)	ชั่วโมงใช้งานเฉลี่ย/ปี	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี)	สัดส่วนการใช้พลังงานในระบบ	ค่าประสิทธิภาพหรือสมรรถนะ				หมายเหตุ
		ขนาด	หน่วย						ค่าพิกัด	หน่วย	ใช้งานจริง	หน่วย	
ปรับอากาศ	เครื่องทำน้ำเย็น	1000	TONS	3	20	3,600	7,754,400.00	40.92	0.64	kW/ton	0.718	kW/ton	
ปรับอากาศ	มอเตอร์ CHP	45	KW	3	20	3,960	427,680.00	2.26	53.33	GPM/KW	42.67	GPM/KW	
ปรับอากาศ	มอเตอร์ CHP	93	KW	6	20	3,960	1,767,744.00	9.33	25.81	GPM/KW	20.65	GPM/KW	
ปรับอากาศ	มอเตอร์ CDP	75	KW	3	20	3,960	712,800.00	3.76	40.00	GPM/KW	32.00	GPM/KW	
ปรับอากาศ	มอเตอร์ CT	22	KW	4	20	3,960	278,784.00	1.47	22.00	KW	15.10	KW	
แสงสว่าง	หลอด FL-T5	28	W	8,000	1-3	3,960	785,664.00	4.15	65	lumen/watt	52	lumen/watt	
แสงสว่าง	หลอด FL-T8	36	W	2,800	1-3	3,960	408,038.40	2.15	75	lumen/watt	60	lumen/watt	
แสงสว่าง	หลอด Down light	15	W	500	1-3	3,960	23,760.00	0.13	13	lumen/watt	11	lumen/watt	

หมายเหตุ : อุปกรณ์ที่มีนัยสำคัญ

- ระบบทำความเย็นและระบบแสงสว่างมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดของหน่วยงาน ดังนี้
- ระบบทำความเย็นมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 64.35%
- ระบบแสงสว่างมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 14.90%
- อุปกรณ์ Chiller และ หลอด LED เปิดใช้งานมากกว่า 16 ชั่วโมง/วัน 365 วัน/ปี

ตารางที่ 2 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในสถานประกอบการ

ระบบ/อุปกรณ์	พลังงานไฟฟ้า (kWh/y)	ร้อยละการใช้พลังงานไฟฟ้า (%)
1. ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์	11,632,806.90	64.35%
2. ระบบปรับอากาศ	958,102.20	5.30%
3. ระบบแสงสว่าง	2,693,532.60	14.90%
4. ระบบอื่นๆ	2,792,958.30	14.45%

ความเชื่อมโยงของรายละเอียดการเข้าปฏิบัติงาน ของทีมได้เข้าถึงรายละเอียดมาตรการอนุรักษ์พลังงานภายในหน่วยงาน ซึ่งหน่วยงานมีแผนที่จะดำเนินการปรับปรุงระบบทำน้ำเย็น (Chiller) พิกัด 1000 ตัน และปรับปรุงระบบแสงสว่างภายในหน่วยงาน ซึ่งมีอายุการใช้งานนาน สูญเสียการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสำรวจหลอดฟลูออเรสเซนต์และเครื่องทำน้ำเย็นขนาดพิกัด 1000 ตัน จำนวน 3 เครื่อง พร้อมอุปกรณ์ประกอบที่หน่วยงานจะดำเนินการปรับปรุง เพื่อกำหนดเป็นมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ดำเนินการตรวจวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานก่อนปรับปรุงของหลอดฟลูออเรสเซนต์และเครื่องทำน้ำเย็นขนาดพิกัด 1000 ตัน จำนวน 3 เครื่อง พร้อมอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อหาศักยภาพการใช้พลังงาน ดำเนินการปรับเปลี่ยนหลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดแอลอีดีและเครื่องทำน้ำเย็นขนาดพิกัด 1000 ตัน จำนวน 3 เครื่อง พร้อมติดตั้งอุปกรณ์ Energy

Valve และติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ปั้มน้ำเย็น VSD ระบบทำความเย็นตามแผนที่กำหนดไว้ ดำเนินการตรวจวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานหลังปรับปรุงของหลอดแอลอีดีและเครื่องทำน้ำเย็นแบบ Inverter ระบายความร้อนด้วยน้ำ ที่ปรับปรุงเครื่องทำน้ำเย็น ระบายความร้อนด้วยน้ำ จำนวน 7 เครื่อง ซึ่งนำไปใช้ในระบบปรับอากาศของศูนย์การค้า โดยมีอายุการใช้งานสูง ส่งผลให้ประสิทธิภาพในระบบการทำความเย็นลดลง ทำให้ต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าสำหรับการทำความเย็น และค่าบำรุงรักษาสูงขึ้นมาก ซึ่งมีอายุการใช้งาน 24 ปี เปิดใช้งานเฉลี่ย 16 ชั่วโมง 365 วัน ดังนั้นจึงมีความประสงค์ที่จะเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็น ระบายความร้อนด้วยน้ำ หมายเลข 1-3 ขนาดพิกัดทำความเย็น 1,000 TR จำนวน 3 เครื่อง จะส่งผลให้ระบบปรับอากาศมีประสิทธิภาพในการทำความเย็นสูงขึ้น และยังสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศลงได้มาก



รูปที่ 2 การตรวจวัดประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 1,000 ตัน

ตารางที่ 3 ผลการตรวจวัดและวิเคราะห์ (ก่อนปรับปรุง)

เครื่องทำน้ำเย็น	กำลังไฟฟ้า		อัตราการไหล		อุณหภูมิน้ำเย็น		ความสามารถทำความเย็น		KW/TR	
	พิกัด (kW)	ตรวจวัด (kW)	น้ำเย็น (GPM)	น้ำระบายความร้อน (GPM)	เข้า (°F)	ออก (°F)	พิกัด (TR)	ตรวจวัด (TR)	พิกัด	ตรวจวัด
No. 1	653	489.89	1,687.70	2,830	53.34	45.91	1,000	522.65	0.653	0.94
No. 2	653	524.53	1,791.10	2,850	54.91	47.70	1,000	551.13	0.653	0.95
No. 3	653	505.39	1,746.25	2,870	55.28	48.12	1,000	537.32	0.653	0.94

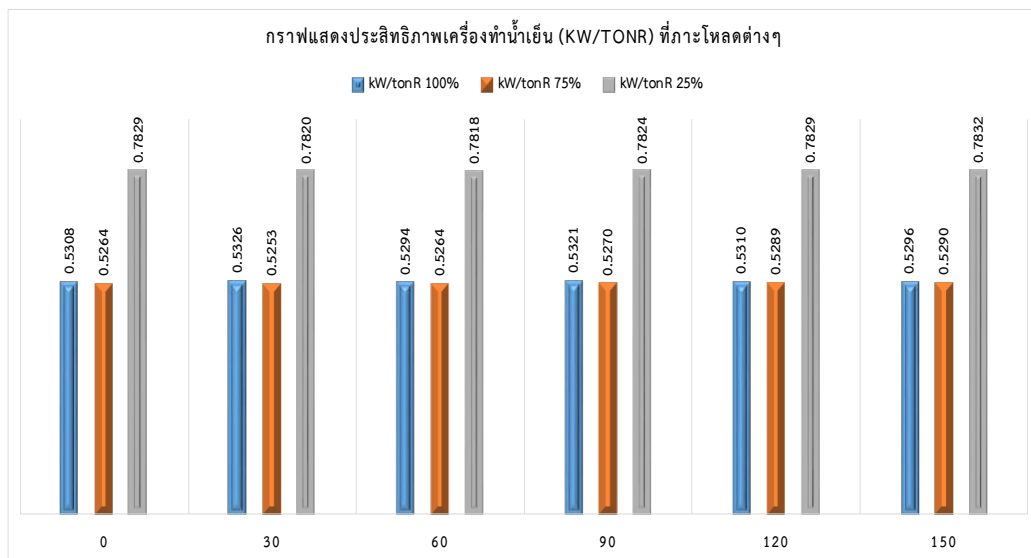
จากผลการตรวจวัดส่งผลให้ทราบค่าสมรรถนะการใช้พลังงานต่อปริมาณความเย็นที่ได้รับ เป็นค่าที่สูงกว่ามาตรฐานมากคืออยู่ที่ 0.94-0.95 kW/TR ดังนั้นคณะทำงานได้ดำเนินการแนะนำให้ทางผู้บริหารของศูนย์การค้าดังกล่าวจัดทำมาตรการปรับเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 3 เครื่อง โดยใช้เครื่องทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูงมาใช้แทน โดยมีระบบทำน้ำเย็นแบบโซ่ชนิดอัดไอหลายชั้นสำหรับปรับอากาศเพื่ออนุรักษ์พลังงาน

จากแนวทางดังกล่าวทีมงานให้ความสำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับปรับอากาศ โดยการทดสอบประสิทธิภาพเพื่อให้ตรงกับข้อกำหนดนั้นได้รับการอนุเคราะห์ จากศูนย์การค้าแห่งนี้ ซึ่งผลทดสอบจริงตามภาระการใช้งานต่างๆ และใช้คอมพิวเตอร์ทำนายประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นตามการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ในการทดสอบประสิทธิภาพของโรงงานจะเป็นการยืนยันว่าเครื่องทำความเย็นที่เกิดขึ้นจริงนั้นตรงกับประสิทธิภาพที่คาดการณ์ไว้ และผลลัพธ์จะเป็นเกณฑ์มาตรฐานในระหว่างกระบวนการทดสอบ เพื่อให้การออกแบบและความแม่นยำในการผลิตเพื่อให้แน่ใจว่าเครื่องทำความเย็นทำงานได้ตามที่คาดไว้ โดยใช้มาตรฐานอ้างอิงสำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะทำความเย็นตามมาตรฐาน AHRI Standard 550/590 ต้องใช้เครื่องมือชนิดพิเศษและขั้นตอนการทดสอบเครื่องทำความเย็นและข้อกำหนดที่เฉพาะเจาะจงโดยใช้โพลีเฟสมอเตอร์วัตต์และแอมป์ต่อเฟสและกิโลวัตต์ เครื่องตรวจจับอุณหภูมิด้านทวนของค่าขาของเครื่อง (RTD) วัดอุณหภูมิที่แต่ละตำแหน่ง (การเข้าและออกจากร้านระเหย, การเข้าและออกจากร้านคอนเดนเซอร์สำหรับระบายความร้อนด้วยน้ำ, อากาศโดยรอบสำหรับระบายความร้อนด้วยอากาศ) Magnetic meters ow meters ใช้สำหรับวัด evaporator โดยจะอ่านค่าเฉลี่ยจำนวนมากจากเซ็นเซอร์ตลอดทั้งสภาพแวดล้อมการทดสอบที่ควบคุม เครื่องส่งสัญญาณความดันแตกต่างวัดแรงดันน้ำลดลง

การทดสอบจะเป็นไปตามมาตรฐาน AHRI 550/590-2015 โดยการเลือกเครื่องทำความเย็นขนาด 1,000 ตันความเย็น ซึ่งใช้สารทำความเย็น R 514 A โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ทำนายประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นโดยการตรวจสอบเครื่องทำความเย็นจากการใช้งานที่ภาระโหลด 100 % 75 % และ 25 % เพื่อหาประสิทธิภาพตามที่ AHRI กำหนดไว้ โดยค่าความคลาดเคลื่อนสำหรับการทดสอบทั้งหมดเป็นไปตามมาตรฐานของ AHRI โดยที่อัตราการใช้ไฟ $\pm 5\%$ แรงดันน้ำลดลง $<115\%$ การระบายความร้อนและเข้าสู่อุณหภูมิของน้ำในคอนเดนเซอร์ $\pm 0.5^\circ F$ ของเป้าหมาย และแรงดัน $\pm 10\%$ ของแผ่นป้ายพิกัดของเครื่อง ซึ่งการทดสอบประสิทธิภาพนี้จะช่วยให้มั่นใจได้ว่าเครื่องทำความเย็นจะสามารถทำงานได้อย่างไม่มีปัญหาเมื่อมาถึงพื้นที่ติดตั้งใช้งาน และสามารถยืนยันประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นได้ตามเงื่อนไขการออกแบบไว้

4. ผลและวิจารณ์

การทดสอบเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 1,000 ตัน ที่ภาระโหลด 100 % 75 % และ 25 % ที่ระยะเวลาเริ่มต้นถึง 150 นาที โดยที่ช่วงเวลาห่างกัน 30 นาที

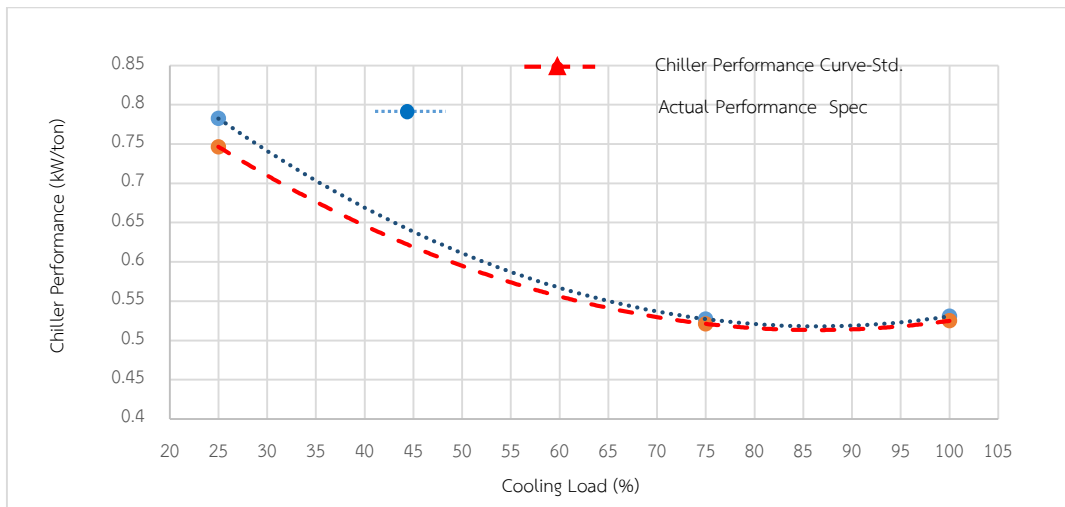


รูปที่ 4 พลังงานไฟฟ้าที่ระบบที่ใช้ในการทำความเย็น 1 ตันต่อ 1 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4 พบว่าที่ภาระโหลด 100 % พลังงานไฟฟ้าที่ทั้งระบบที่ใช้ในการทำความเย็น 1 ตันต่อ 1 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยที่ 0.5308 และที่ภาระโหลด 75 % พลังงานไฟฟ้าที่ทั้งระบบที่ใช้ในการทำความเย็น 1 ตันต่อ 1 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยที่ 0.5273 และที่ภาระโหลด 25 % พลังงานไฟฟ้าที่ทั้งระบบที่ใช้ในการทำความเย็น 1 ตันต่อ 1 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยที่ 0.7827

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการเปิดเครื่องทำน้ำเย็นที่มีภาระโหลด 100 % จะใช้พลังงานมากกว่าภาระโหลดที่ 75 % อยู่ที่ 0.70 % ส่วนการเปิดใช้งานที่ภาระโหลด 25 % จะมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ทั้งระบบที่ใช้ในการทำความเย็น 1 ตันต่อ 1 ชั่วโมงสูงสุด เมื่อเทียบกับการใช้งานที่ภาระโหลด 100 % และ 75 % อยู่ที่ 32.2 % และ 32.6 % ตามลำดับ

กรณีสภาวะมาตรฐาน (Standard Condition) นำมาเทียบกับข้อมูลของผู้ผลิตที่สภาวะมาตรฐาน หรือที่อุณหภูมิ LCDWT ที่ 90 ° F และ LCHWT ที่ 45 ° F รายละเอียดดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 มาตรฐานอ้างอิงสำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะการทำความเย็น

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าค่าสมรรถนะในการทำความเย็นที่ได้จากการทดสอบมีอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อความสามารถในการทำความเย็นที่สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ในแต่ละช่วงของภาระโหลด เช่นที่ภาระโหลดที่ 25 % ค่าที่กำหนดจะอยู่ที่ 0.746 kW/ton แต่ค่าที่ได้จากการทดสอบจะได้ 0.783 kW/ton

ผลการทดสอบเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 1,000 ตันความเย็น ที่ภาระโหลด 100, 75, และ 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเป็นเป้าหมายการทำความเย็นสุทธิ โดยเป็นการแสดงค่าของอุณหภูมิน้ำออกและกลับบริเวณอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทางด้านร้อนและเย็น และเป็นการแสดงค่าสมรรถนะการทำความเย็น (kW/ton) มีค่าเฉลี่ยที่ภาระโหลด 100, 75 และ 25 เปอร์เซ็นต์ที่ 0.531, 0.527 และ 0.783 ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น (COP) 6.626, 6.670 และ 4.493 ตามลำดับ จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าการใช้งานเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสมกับภาระโหลดเทียบกับอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานควรใช้งานที่มีภาระโหลดที่ 75 % จะประหยัดพลังงานมากกว่าภาระโหลดที่ 100% ส่วนกรณีที่ภาระโหลดที่ 25% เมื่อเปิดเครื่องใช้งานจะส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานสูงเมื่อเทียบกับปริมาณความเย็นที่ได้รับ กล่าวคือค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น (COP) มีภาระโหลดที่ 75 % จะมีค่าสูงสุดที่ 6.670 กรณีการเปรียบเทียบค่า Tolerance ในแต่ละภาระโหลดของค่าค่าสมรรถนะการทำความเย็น (kW/ton) มีค่าเฉลี่ยที่ภาระโหลด 100, 75 และ 25 เปอร์เซ็นต์ที่ 5, 7.25 และ 14.75 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของ AHRI

จากผลการทดสอบเครื่องทำน้ำเย็นดังกล่าวสามารถนำข้อมูลมาเปรียบเทียบผลการประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นได้ โดยการนำผลตามภาระโหลดเฉลี่ยที่ 85 เปอร์เซ็นต์ก่อนการปรับปรุง

ตารางที่ 4 การคำนวณผลประหยัดพลังงานของระบบเครื่องทำความเย็นขนาด 1,000 ตันความเย็น

รายการ/สัญลักษณ์/สูตร	หน่วย	ปริมาณ	แหล่งที่มา
ข้อมูลเบื้องต้น			
จำนวนชั่วโมงการใช้งานต่อวัน	hr/d	16	ข้อมูลจริง
จำนวนวันทำงาน	d/yr	365	ข้อมูลจริง
ชั่วโมงการเปิดใช้งานต่อปี (h_o)	hr/yr	5,840	การใช้งานจริง
ขนาดพิกัดเครื่อง	kW	1,959	คุณสมบัติของอุปกรณ์ Chiller รวม 3 ชุด
แฟคเตอร์การใช้งาน ก่อนการปรับปรุง (LF_o)	%	85	ข้อมูลจากหน่วยงาน
ราคาพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย (C_E)	บาท/kWh	4.23	ใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อปี
เงินลงทุนรวม (I_{total})	บาท	8,420,887.16	ราคาจัดซื้อรวมอุปกรณ์ อื่นๆและค่าติดตั้งจนแล้ว เสร็จ
จำนวน (N)	ระบบ	1	จำนวนที่ปรับปรุงจริง
ข้อมูลการตรวจวัด (ก่อนปรับปรุง)			
แฟคเตอร์การทำงาน ก่อนการปรับปรุง (LF_o)	%	78	ค่าเฉลี่ย การตรวจวัดก่อน ปรับปรุง
กำลังไฟฟ้ารวมก่อนปรับปรุง (P_{1T})	kW	1,519.81	ค่าเฉลี่ย การตรวจวัดก่อน ปรับปรุง รวม 3 เครื่อง
พลังงานไฟฟ้าก่อนปรับปรุง (E_o) $E_o = P_{1T} \times h_o$	kWh/yr	8,875,690.40	การตรวจวัดและการ คำนวณ
ข้อมูลการตรวจวัด (หลังปรับปรุง)			
แฟคเตอร์การทำงาน หลังการปรับปรุง (LF_N)	%	71	ค่าเฉลี่ย การตรวจวัดหลัง ปรับปรุง
กำลังไฟฟ้ารวมหลังปรับปรุง (P_{2T})	kW	1,391.94	ค่าเฉลี่ย การตรวจวัดหลัง ปรับปรุง รวม 3 เครื่อง
พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง (E_N) $E_N = P_{2T} \times h_o$	kWh/yr	8,128,929.60	การตรวจวัดและการ คำนวณ

รายการ/สัญลักษณ์/สูตร	หน่วย	ปริมาณ	แหล่งที่มา
ผลการประหยัดพลังงาน			
กำลังไฟฟ้ารวมลดลง (P_{ST}) $P_{ST} = P_{1T} - P_{2T}$	kW	127.87	การคำนวณ
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (E_S) $E_S = E_O - E_N$	kWh/yr	746,760.80	การคำนวณ
พลังงานไฟฟ้าลดลงเทียบเท่าใช้น้ำมันดิบ (E_{toe}) $E_{toe} = (E_S \times 85.21) / 1000000$	toe/yr	63.631	การคำนวณ
จำนวนเงินที่ประหยัดได้ (C_S) $C_S = E_S \times C_E$	baht/year	3,158,798.18	การคำนวณ
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ผลประหยัด (%Save) $\%Save = E_S / E_O$	%	8.41	การคำนวณ
ระยะเวลาคืนทุน (PB) $PB = I_{total} / C_S$	year	2.66	การคำนวณ

5. สรุปผล

จากการทดสอบพบว่าเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 1,000 ตันความเย็น ที่ภาระโหลด 100, 75, และ 25 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะ เป็นเป้าหมายการทำความเย็นสุทธิ โดยเป็นการแสดงค่าของอุณหภูมิน้ำออกและกลับบริเวณคอยล์ร้อนและคอยล์เย็น และ เป็นการแสดงค่าสมรรถนะการทำความเย็น (kW/ton) มีค่าเฉลี่ยที่ภาระโหลด 100, 75 และ 25 เปอร์เซ็นต์ที่ 0.531, 0.527 และ 0.783 ตามลำดับ ค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น(COP) 6.626, 6.670 และ 4.493 ตามลำดับ ซึ่งในการเลือกใช้งาน เครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสมกับภาระโหลดเทียบกับอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานควรใช้งานที่มีภาระโหลดที่ 75 % จะประหยัด พลังงานมากกว่าภาระโหลดที่ 100% ส่วนกรณีที่มีภาระโหลดที่ 25% เมื่อเปิดเครื่องใช้งานจะส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงานสูงเมื่อ เทียบกับปริมาณความเย็นที่ได้รับ กล่าวคือค่าประสิทธิภาพการทำความเย็น (COP) มีภาระโหลดที่ 75 % จะมีค่าสูงสุดที่ 6.670 และที่ 25 % มีค่า 4.493 ซึ่งมีค่า COP ที่แตกต่างถึง 20 % และเมื่อเทียบกับค่าสมรรถนะการทำความเย็น (kW/ton) ที่พิกัดโหลด 75 % จะมีค่าต่ำสุดที่ 0.527 และที่ 25 % มีค่า 0.783 ซึ่งมีค่า kW/ton ที่แตกต่างถึง 19 %

ดังนั้นจากการตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นขนาด 1,000 ตันความเย็นก่อนการปรับปรุงนั้นพบว่ามี การ ใช้พลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นจะมีค่าสูงกว่าเครื่องทำความเย็นแบบหอยโข่งชนิดอัดไอหลายชั้นที่ภาระโหลด100 เปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย 28 เปอร์เซ็นต์

6. บรรณานุกรม

- [1] आयुส ยูวี และทศพล สติตสุวรรณกุล, (2015) **หลักการดำเนินงานของเครื่องทำน้ำเย็นแบบหอยโข่งชนิดอัดไอหลายชั้น.**
Trane Thailand e-Magazine. July 2015:ISSUE 30
 - [2] ตุลย์ มณีวัฒนา, (2015). **การคำนวณปริมาณการระบายอากาศตามมาตรฐาน ASHRAE 62.1.** สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย, หน้า 43-63.
 - [3] ชลทศ ประเทืองสุขพงษ์ และ อภิชาติ เทอดโยธิน (2017). **ศักยภาพการประหยัดพลังงานในเครื่องทำน้ำเย็นรูปแบบต่าง ๆ ในอาคารปรับอากาศที่มีอยู่เดิม,** วารสารวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, หน้า 150-160.
 - [4] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กระทรวงพลังงาน, **การตรวจสอบและวิเคราะห์การทำงานของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์,** <http://dede-peeceb.bright-ce.com>
 - [5] 2015 Standard for Performance Rating of Water-chilling and Heat Pump Water-heating Packages Using the Vapor Compression Cycle. <http://www.ahrinet.org>
-