

Received: March 11, 2025; Revised: September 22, 2025; Accepted: November 5, 2025

การวิเคราะห์มาตรฐานประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ Analysis of energy efficiency standards of central air conditioning systems

สุรศักดิ์ แก้วจันทรา¹ พงศกร คชาพงศ์กุล¹ และสิริชัย จิรวงศ์นุสรณ์^{2*}Surasak Kaewchantra¹, Pongsakorn Kachapongkun¹ and Sirichai Jirawongnuson^{2*}¹วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ จังหวัดนครปฐม¹Rattanakosin College for Sustainable Energy and Environment, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom Province²คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ จังหวัดนครปฐม²Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Nakhon Pathom Province

*Corresponding Author E-mail Address : sirichai.jir@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

การหาค่าประสิทธิภาพสมรรถนะในการทำความเย็น (กิโวลต์/ตันความเย็น) ที่เหมาะสมในการใช้งาน โดยการสำรวจการใช้ทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับปรับอากาศในอาคารในประเทศไทยนี้เป็นกรณีศึกษาโรงแรมแห่งหนึ่งในจังหวัดภูเก็ต มีระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ขนาด 700 ตันความเย็น ระบายความร้อนด้วยน้ำ ทำงาน 24 ชั่วโมง การเก็บข้อมูลใช้เวลา 7 วัน บันทึกค่าทุก 30 นาที เพื่อหาภาระทำความเย็นที่เหมาะสม ซึ่งคอมเพรสเซอร์เครื่องทำน้ำเย็นนี้เป็นแบบแปรผันตามแม่เหล็ก ทำการตรวจวัดอัตราการไหล อุณหภูมิของน้ำเย็นเข้าและออก รวมถึงกำลังไฟฟ้าของระบบทำน้ำเย็นพบว่า ภาระทำความเย็นของอาคารโรงแรมนี้มีความผันแปร โดยค่าภาระสูงสุดอยู่ที่ 81.14 เพอร์เซ็นต์ ต่ำสุดที่ 27.39 เพอร์เซ็นต์ และค่าเฉลี่ยที่ 57.93 เพอร์เซ็นต์ ซึ่งอัตราการทำความเย็นจะเป็นการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นที่สภาวะความเย็นต่าง ๆ ของการใช้งานจริง (NPLV) โดยเฉลี่ยความเหมาะสมที่สุดที่ภาระทำความเย็น 100 เพอร์เซ็นต์ แต่การใช้งานจริงมีเพียง 1.2 เพอร์เซ็นต์ ต่อปี ในขณะที่ภาระทำความเย็นที่ 75 เพอร์เซ็นต์ มีการใช้งานสูงสุดที่ 70.2 เพอร์เซ็นต์ ต่อปี และเครื่องปรับอากาศรวมศูนย์ที่นี้มีภาระทำความเย็นไม่คงที่ โดยที่ภาระทำความเย็นที่ 191.8 ตันความเย็น มีค่าประสิทธิภาพสมรรถนะ 0.456 กิโวลต์/ตันความเย็น ซึ่งการศึกษานี้พบว่า ภาระทำความเย็นของอาคารส่วนใหญ่มีความผันแปร ดังนั้นการเลือกใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสม เช่น เครื่องปรับอากาศรวมศูนย์แบบแปรผันตามแม่เหล็ก จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการบริหารจัดการระบบปรับอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ประสิทธิภาพพลังงาน ภาระทำความเย็น เครื่องปรับอากาศรวมศูนย์แบบแปรผันตามแม่เหล็ก

Abstract

This study investigated the cooling capacity (kW/TR) to find the optimum performance value by surveying the operation of chilled water for air conditioning in buildings in Thailand. This study was a case study of a hotel in Phuket Province that uses a centralized air conditioning system with a capacity of 700 refrigeration tons, cooled by water, operating 24 hours a day. The data collection took 7 days, recording values every 30 minutes. The results were used to analyze the efficiency of the chilled water system to find the optimum cooling load. This centralized chiller uses magnetic field bearing technology in the

compressor. The measurements were performed by analyzing the chilled water system by measuring the flow rate, the temperature of the inlet and outlet chilled water, and the electrical power of the chilled water system. The results showed that the cooling load of this hotel building varied, with a maximum load of 81.14%, a minimum of 27.39%, and an average of 57.93%. The cooling load rate is the evaluation of the efficiency of the chiller under different load conditions. The average NPLV is optimal at 100% cooling load, but the actual utilization is only 1.2% per year, while at 75% cooling load, the maximum utilization is 70.2% per year. And the central air conditioner using magnetic bearing technology has a variable cooling load, with a cooling load of 191.8 refrigeration tons; the efficiency value is 0.456 kW/TR. In conclusion, this study indicates that the cooling load of most buildings is variable. Therefore, choosing the appropriate technology, such as a magnetic bearing central air conditioner, can help increase energy efficiency and air conditioning system management effectively.

Keywords: Energy efficiency, Cooling load, Magnetic bearing centralized air conditioning system

บทนำ

ระบบทำน้ำเย็นอาคารธุรกิจหรือโรงงานอุตสาหกรรม นั้นมักประสบปัญหาในส่วนของการความเย็นที่ไม่คงที่ ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงไปตามภาระความร้อนที่เกิดจากปัจจัยภายนอกที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาโดยเฉพาะในส่วนของการอาคาร เช่น สถานพยาบาล ห้างสรรพสินค้า รวมถึงโรงแรม เป็นต้น (He et al., 2023) ในส่วนของภาคอุตสาหกรรมนั้นจะเกิดจากกระบวนการผลิตที่ไม่มีความแน่นอนขึ้นอยู่กับจำนวนยอดสั่งซื้อหรือแผนการผลิต รวมถึงชนิดของผลิตภัณฑ์ในการผลิต จากที่กล่าวมาส่วนใหญ่จะพบกับการใช้งานของเครื่องทำน้ำเย็นไม่สามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะค่าสมรรถนะของระบบทำความเย็น (kW/TR) ที่มีค่าที่สูงกว่ามาตรฐานของผู้ผลิต ดังนั้นผู้ประกอบการโดยเฉพาะประเภทอาคารควรให้ความสำคัญในการวิเคราะห์มาตรฐานประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ เพื่อบริหารจัดการระบบทำความเย็นให้เหมาะสมกับภาระความเย็นในแต่ละช่วงเวลาให้มีสมรรถนะสูงสุดในการใช้งานระบบทำความเย็น ซึ่งระบบทำน้ำเย็นแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก (Yua et al., 2014) คือ เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water cooled water chiller) ซึ่งเป็นระบบทำความเย็นที่มีขนาดใหญ่ที่สุด และมีอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด โดยการทำงานแบ่งเป็น 2 วงจร คือ วงจรน้ำเย็น และวงจรระบายความร้อน ส่วนเครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air cooled water chiller) เป็นระบบทำความเย็นที่เล็กกว่าระบบแรก มีความแตกต่างกันตรงที่การระบายความร้อน (Kumar et al., 2023) ซึ่งระบบนี้จะไม่มีการใช้น้ำระบายความร้อนเนื่องจากจะใช้อากาศในการระบายความร้อน การกำหนดค่าสมรรถนะขั้นต่ำของประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็น โดยค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบปรับอากาศที่ติดตั้งใช้งานนั้นจะช่วยให้ประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่ายของระบบปรับอากาศ (Wang et al., 2022) รวมถึงการใช้งานระบบปรับอากาศในอาคารและโรงงานอย่างมีประสิทธิภาพก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถลดการใช้พลังงานลงอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นเป็นส่วนที่มีต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายสูงสำหรับอาคารธุรกิจและโรงงานอุตสาหกรรม (Li et al., 2023) มากกว่าเมื่อเทียบกับเงินลงทุนหรือราคาเครื่องทำน้ำเย็น จึงจำเป็นต้องเลือกเครื่องทำน้ำเย็นที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการใช้งาน จึงเป็นสิ่งที่สำคัญในการพิจารณาซื้อเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งค่า kW/Ton จะเป็นค่าจำกัดความของประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นทุกประเภท

ในการวิเคราะห์แนวทางเกณฑ์มาตรฐานประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นเป็น 2 กรณี (ASHRAE 550/590., 2023) คือ 1 แนวทางค่ามาตรฐานประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ภาระเต็มพิกัด (Full load) ชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air-cooled chiller) และชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water-cooled chiller) 2 แนวทางค่ามาตรฐานประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นที่ Full Load/Part Load ตามมาตรฐานการทดสอบ Integrated Part Load Value (IPLV), Non-Standard Part-Load Value (NPLV) แบบระบายความร้อนด้วยอากาศ และแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าสมรรถนะ (kW/TR) และสำรวจการใช้เครื่องทำน้ำเย็นสำหรับปรับอากาศ และเพื่อมุ่งเน้นให้อาคารธุรกิจหรือโรงงานอุตสาหกรรมในประเทศไทย ใช้งานระบบปรับอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ

วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการ

1. ประเภทเครื่องทำน้ำเย็นในระบบปรับอากาศประสิทธิภาพสูง

ระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ ทำหน้าที่ผลิตน้ำเย็นหรือรับลดอุณหภูมิน้ำเพื่อจ่ายไปยังเครื่องปรับอากาศต่าง ๆ ซึ่งนับเป็นอุปกรณ์ที่มีนัยสำคัญการใช้พลังงานมาก และมีค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าสูงลำดับต้น ๆ ของค่าใช้จ่ายในอาคารธุรกิจหรือโรงงานอุตสาหกรรม โดยปัจจุบันเครื่องทำน้ำเย็นที่ได้รับความนิยมใช้งาน ในอาคารโรงแรม อาคารศูนย์การค้า อาคารโรงพยาบาล อาคารสถานศึกษา อาคารสำนักงาน และโรงงานอุตสาหกรรมมากที่สุด แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

- 1) เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ
- 2) เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ

เครื่องทำน้ำเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ (Yua et al., 2014) คือการทำงานแบ่งเป็น 2 วงจร คือ วงจรน้ำเย็น และ วงจรระบายความร้อน (1) วงจรน้ำเย็นเริ่มจากปั๊มน้ำเย็นส่งน้ำเข้าไปรับความเย็นจากสารทำความเย็นที่เครื่องระเหย (Evaporator) เพื่อให้อุณหภูมิน้ำเย็นได้ตามต้องการแล้วจึงส่งน้ำเย็นไปยังอุปกรณ์ส่งจ่ายลมเย็นโดยอุปกรณ์ ส่งจ่ายลมเย็นแต่ละชุดจะมีลิ้นควบคุมปริมาณน้ำอัตโนมัติซึ่งได้รับสัญญาณไฟฟ้าจากอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ โดยถ้าอุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศสูงกว่าอุณหภูมิที่ปรับตั้ง จะส่งสัญญาณให้ลิ้นเปิดน้ำเข้าชุดท่อแลกเปลี่ยนความร้อนมากขึ้น หลังจากน้ำรับความร้อนจากอากาศที่เปลี่ยนแปลงแล้วจะกลับมารับความเย็นจาก Evaporator อีกโดยการดูดของเครื่องสูบน้ำเย็น (2) วงจรน้ำระบายความร้อน เริ่มจากเครื่องสูบน้ำระบายความร้อนส่งน้ำเข้าไปรับความร้อนจากสารทำความเย็นที่เครื่องควบแน่น (Condenser) น้ำร้อนที่ได้จะถูกส่งไประบายความร้อนที่หอผึ่งน้ำ (Cooling tower) ซึ่งที่หอผึ่งน้ำนั้น น้ำจะถูกระบายความร้อนด้วยอากาศที่อยู่แวดล้อมหลังจากอุณหภูมิน้ำลดลงตามต้องการจะถูกส่งไปยัง Condenser อีกครั้งโดยการดูดของเครื่องสูบน้ำระบายความร้อน ดังนั้นการประหยัดพลังงานในระบบนี้จะต้องเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์แต่ละอุปกรณ์ให้สูงที่สุด ลดอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนให้ต่ำที่สุดและใช้งานให้สัมพันธ์กับภาระการทำความเย็น เครื่องทำความเย็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำ เหมาะสำหรับการทำความเย็นที่ต้องการขนาดการทำความเย็นปริมาณมากและมีประสิทธิภาพ ซึ่งประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำจะดีกว่าระบายความร้อนด้วยอากาศ โดยจะอยู่ระหว่าง 0.55-0.65 กิโลวัตต์/ตันความเย็น (ASHRAE., 2017) ซึ่งเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ต้องมีการลงทุนที่สูงกว่า เนื่องจากต้องมีการติดตั้งหอผึ่งเย็น และระบบบำบัดน้ำที่มีคุณภาพ การระบายความร้อนออกจากระบบ Water-cooled chiller จะใช้น้ำเป็นตัวกลางในการดึงความร้อนออกจากสารทำความเย็น ผ่านทางแผงระบายความร้อน (Condenser) จึงจำเป็นต้องมีหอหล่อเย็น เพื่อลดอุณหภูมิน้ำ เพื่อนำกลับไปใช้ใหม่ในระบบวนไปเป็นวัฏจักร

2. การทดสอบมาตรฐานสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นในมาตรฐาน AHRI Standard 550/590 (I-P)

มาตรฐานการทดสอบที่กำหนดโหลด และสภาวะต่าง ๆ ตามตาราง AHRI เช่น การกำหนดค่าที่ อุณหภูมิขาเข้าและขาออกของน้ำเย็น อุณหภูมิขาเข้าและขาออกของน้ำระบายความร้อน อัตราการไหลน้ำ จะเป็นอุณหภูมิที่ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมของประเทศสหรัฐอเมริกาหรือฝั่งยุโรป ซึ่งกำหนดเป็นค่ามาตรฐานการทดสอบของ IPLV ตามมาตรฐาน AHRI กำหนดค่า Part load (IPLV) เพื่ออธิบายค่าสมรรถนะ Part load ของเครื่องทำความเย็นตามเงื่อนไข Part load IPLV คำนวณโดยสมการ (Eq.1) ซึ่งค่าน้ำหนัก 0.01, 0.42, 0.45 และ 0.12 คำนวณจากค่าเฉลี่ยน้ำหนักของประเภทอาคารทั่วไป

$$IPLV = (0.01 \times A) + (0.42 \times B) + (0.45 \times C) + (0.12 \times D) \quad (Eq.1)$$

โดยที่ A = COP at 100% full capacity; B = COP at 75% full capacity; C = COP at 50% full capacity; D = COP at 25% full capacity ซึ่งสภาวะมาตรฐานในการกำหนดประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็น IPLV (Integrated Part-Load Value) แสดงดัง Table 1

Table 1 Integrated Part Load Value (IPLV)

		The cooling pattern of the condenser									
Categories of chiller	Condi tion	Evaporator condition			Water Cooled (From the cooling tower)			Cooled mixed water and air cooling (Evaporatively-Cooled) Inlet air temperature		Air-cooled Inlet air temperature	
		Inlet water temperatur e (°F)	Outlet water temperatur e (°F)	Flow rate GPM/ton	Inlet water temperatur e (°F)	Outlet water temperatur e (°F)	Flow rate GPM/ton			Dry Bulb (°F)	Wet bulb (°F)
All types	Stand ard values	54.00	44.00	2.4	85.00	94.30	3.0	95.00	75.00	95.00	-

3. การทดสอบมาตรฐานสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้ภายในประเทศ

ค่าสภาวะที่สอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศในแต่ละประเทศ เช่น อุณหภูมิอากาศเข้าและขาออกของน้ำเย็น อุณหภูมิอากาศเข้าและขาออกของน้ำระบายความร้อน ที่มีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงของลักษณะประเทศนั้น ๆ สำหรับประเทศไทยที่มีอุณหภูมิสูงกว่าที่มาตรฐาน AHRI กำหนด จำเป็นต้องใช้การคำนวณเป็นค่า NPLV ตามมาตรฐานวิศวกรผู้ออกแบบกำหนดหรือสอดคล้องกับสภาวะสถานที่นั้น ๆ เครื่องทำน้ำเย็นในประเทศไทยอาจกำหนดค่ามาตรฐานการอ้างอิงการคำนวณประสิทธิภาพ NPLV เหมือนกัน เนื่องจากลักษณะการใช้งานใหญ่ จะมีการปรับอุณหภูมิที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการทดสอบภายในประเทศ แต่ก็ยังไม่มีกำหนดเกณฑ์มาตรฐานในการอ้างอิงการคำนวณค่า NPLV ที่สอดคล้องกับสภาพภูมิอากาศในประเทศสภาวะมาตรฐานสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นในสภาวะมาตรฐานสำหรับประเทศไทยส่วนใหญ่ รายละเอียดดัง Table 2

Table 2 Chillers in standard conditions for most of Thailand

Categories of chiller	Condition	The cooling pattern of the condenser										
		Evaporator condition			Water Cooled (From the cooling tower)			Cooled mixed water and air cooling (Evaporatively-Cooled) Inlet air temperature		Air-cooled Inlet air temperature		
		Inlet water temperature (°F)	Outlet water temperature (°F)	Flow rate GPM/ton	Inlet water temperature (°F)	Outlet water temperature (°F)	Flow rate GPM/ton	Dry Bulb (°F)	Wet bulb (°F)	Dry Bulb (°F)	Wet bulb (°F)	
All types	Standard values	55.00	45.00	2.4	90.00	100.00	3.0	95.00	83.00	95.00	-	

4. การตรวจวัดประสิทธิภาพสมรรถนะระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

การดำเนินการตรวจวัดประสิทธิภาพสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ จะทำการบันทึกภาระการปรับอากาศของอาคารประเภทโรงแรม เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Lyu et al., 2021) ซึ่งจะพิจารณาค่าสมรรถนะของเครื่องในรูปของกำลังไฟฟ้าที่ใช้เทียบกับความเย็นที่ได้ (กิโลวัตต์/ตันความเย็น; kW/TR) โดยใช้สมการคำนวณดังนี้

ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น

$$(TR) = (500 \times GPM \times \Delta T) / 12,000 \quad (Eq.2)$$

สมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น

$$(ChP) = kW/TR \quad (Eq.3)$$

พลังงานไฟฟ้าที่ลดลง (ES) = (kW/TR ก่อนปรับเปลี่ยน - kW/TR หลังปรับเปลี่ยน) × ต้นความเย็นเดิม

$$\times \text{ชั่วโมงการใช้งานต่อปี} \times \text{ตัวประกอบการทำงาน} \quad (Eq.4)$$

เมื่อ

kW = กำลังไฟฟ้าที่เครื่องอัดสารทำความเย็นใช้ (kW)

GPM = อัตราการไหลของน้ำเย็นเข้าหรือออกจาก Cooler มีหน่วยเป็นแกลลอนต่อนาที (GPM)

ΔT = ผลต่างอุณหภูมิน้ำเย็นที่เข้าและออกจาก Cooler มีหน่วยเป็นองศาฟาเรนไฮต์ (°F)

ซึ่งการหาค่าสมรรถนะสูงสุดของเครื่องทำน้ำเย็นนั้น จะใช้ในช่วงที่เครื่องทำน้ำเย็นในจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด (Wang et al., 2022) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อรับภาระการทำความเย็น 80-95% ดังนั้น ควรปรับตั้ง Current limit ไม่เกิน 95% จะส่งผลให้ค่า kW/TR ลดต่ำลง

โดยเครื่องมือตรวจวัดและการตรวจวัดนั้นจะใช้เครื่องทำน้ำเย็นสำหรับปรับอากาศแบบรวมศูนย์ แบบ Magnetic bearing ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water cooled chiller) ขนาด 700 ต้นความเย็น จำนวน 1 ชุด ซึ่งเครื่องทำน้ำเย็นแบบ Magnetic bearing เป็นระบบทำความเย็นที่ใช้เทคโนโลยีแบริ่งแบบแม่เหล็กในคอมเพรสเซอร์ ทำให้เพลาลอยตัวได้โดยไม่สัมผัสกับชิ้นส่วนอื่น ส่งผลให้ลดแรงเสียดทานและประหยัดพลังงานสูง ทำงานเงียบ ลดการสึกหรอ และไม่ต้องใช้น้ำมันหล่อลื่น (Oil-free) ทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและอายุการใช้งานของเครื่องยาวนานขึ้น โดยมีรายละเอียดในการดำเนินงานในการตรวจวัดสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็นดัง Table 3

Table 3 Method of measuring for central air conditioning

Sequence No.	Measurement	Measuring instruments	Characteristics of measurement
1	Cool water flow measurement	Ultrasonic flow meter	To perform a temporary measurement with continuous recording every 30 minutes for 7 days
2	Measure the temperature of cool water inlet and outlet	Thermometer	
3	Electrical power measurement	Power meter	

การใช้เครื่องมือวัดเพื่อหาสมรรถนะเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับปรับอากาศแบบรวมศูนย์นี้ ต้องใช้เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำเย็นด้วยเครื่อง Ultrasonic flow meter (Micronics porta flow MF220B) ที่มีความแม่นยำ : +0.5% - +2% ของการอ่านอัตราการไหลที่มีค่ามากกว่า 0.2 m/s และ ID > 75 mm : +3% ของการอ่านอัตราการไหลที่มีค่ามากกว่า 0.2 m/s และ ID ที่มีค่า 13 - 75 mm : +6% ของการอ่านอัตราการไหลที่มีค่าน้อยกว่า 0.2 m/s ส่วนการวัดอุณหภูมิของน้ำเย็นเข้า-ออก ใช้ Thermometer ยี่ห้อ: LUTRON รุ่น: TM-1947SD Type: K สามารถวัดอุณหภูมิได้ตั้งแต่ -50.0°C- 999.9°C มีความแม่นยำ ±(0.4% +1°C) และการใช้เครื่องวัดกำลังไฟฟ้าแบบที่สามารถทำการบันทึกค่าได้แบบต่อเนื่อง (Power meter & Recorder) สามารถวัดแรงดันไฟฟ้าได้ตั้งแต่ 2 V-1,000 V , กระแสไฟฟ้า 0.1 A-10,000 A มีค่าความแม่นยำ +5% of nominal voltage, +5% +5 counts ซึ่งการดำเนินการตรวจวัดแสดงดัง Figure 1

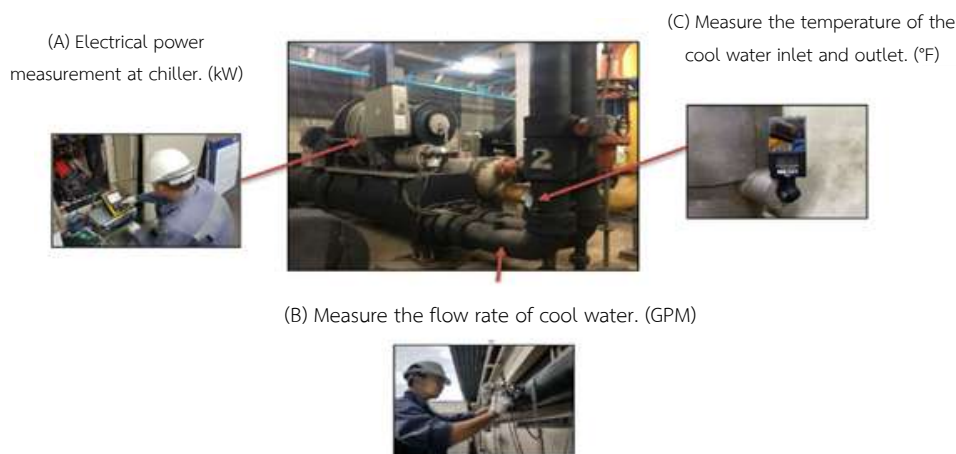


Figure 1 Measurement method for a central air-conditioning chiller

จาก Figure 1 เป็นวิธีการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจวัดอัตราการไหลของน้ำเย็นทำได้โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า Flow meter โดยใช้ Ultrasonic flow meter การติดตั้งด้วยวิธีนี้ไม่ต้องตัดท่อ แต่ต้องตัดฉนวนด้านข้างออกและทำความสะอาดผิวท่อให้สะอาดให้พอดีกับการติดตั้งหัววัดตามทิศทางการไหลของน้ำ ส่วนการวัดอุณหภูมิของน้ำเย็นเข้า-ออก นั้นใช้ Thermometer ยี่ห้อ: LUTRON รุ่น: TM-1947SD Type: K โดยการนำไปติดตั้งแทนที่เกจวัดอุณหภูมิเดิมของท่อส่งน้ำเย็นเข้าและออก และการวัดกำลังไฟฟ้าต้องติดตั้งกำลังไฟฟ้าที่เข้าเครื่องทำน้ำเย็น เพื่อวัดพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของระบบที่บริเวณตู้ควบคุมไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น

ผลการวิจัย และการอภิปรายผล

จากการตรวจวัดประสิทธิภาพสมรรถนะเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ แบบ Magnetic bearing (Lyu et al., 2021) ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาด 700 ตันความเย็น โดยการวัดค่ากำลังไฟฟ้า อุณหภูมิน้ำเย็นเข้าและออก และอัตราการไหลของน้ำเย็นเข้า-ออก แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการคำนวณเพื่อหาสมรรถนะของระบบทำน้ำเย็น รายละเอียดดัง Table 4

Table 4 Performance evaluation of a central air conditioning system

Element	Symbol	Information	Unit	Data source
Average cooling load	L_{ave}	410.40	TR	Calculate
Maximum power	P_{max}	333.26	kW	Measure
Minimum power	P_{min}	110.00	kW	Measure
Average power	P_{ave}	222.12	kW	Measure
Average inlet cool water temperature	T_{in}	50.60	$^{\circ}F$	Measure
Average outlet cool water temperature	T_{out}	45.90	$^{\circ}F$	Measure
Average cool water flow rate	Fl_{ave}	2,095.60	GPM	Measure
Maximum cooling load	L_{max}	568.00	TR	Calculate
Minimum cooling load	L_{min}	191.80	TR	Calculate
Average cool water consumption index	-	5.10	GPM/TR	Calculate
Maximum performance	Eff_{Max}	0.456	kW/TR	Calculate
Minimum performance	Eff_{Min}	0.609	kW/TR	Calculate
Average performance	Eff_{Ave}	0.541	kW/TR	Calculate

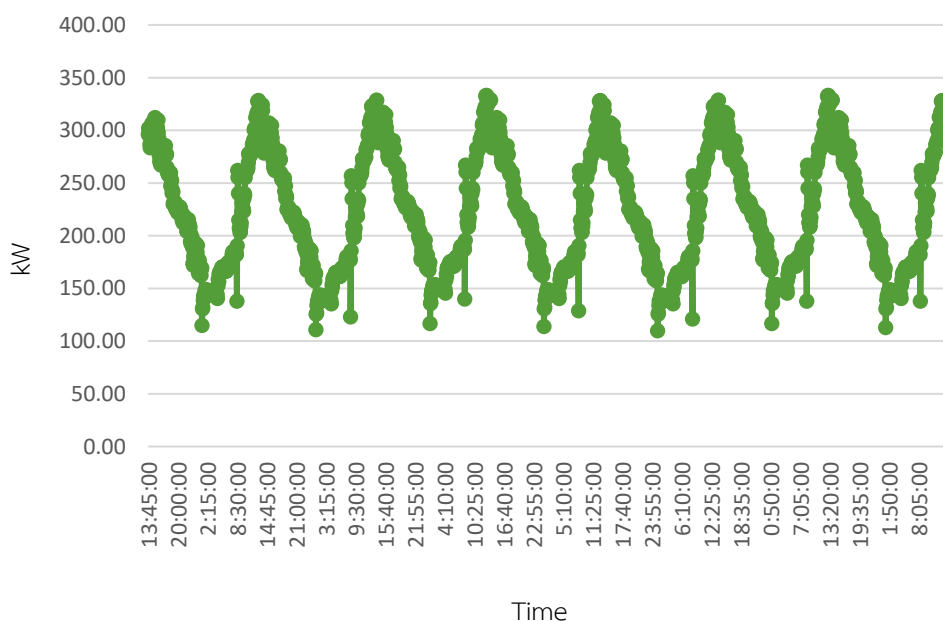


Figure 2 The power consumption measurement results for a 700-TR centralized air conditioning system

ความสามารถในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์แบบ Magnetic bearing ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาด 700 ตันความเย็น จากการคำนวณ ค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นเฉลี่ยอยู่ที่ 0.541 กิโลวัตต์/ตันความเย็น ค่าสมรรถนะสูงสุด 0.456 กิโลวัตต์/ตันความเย็น และค่าสมรรถนะต่ำสุด 0.609 กิโลวัตต์/ตันความเย็น จะเห็นได้ว่าค่าสมรรถนะของระบบจะมีความแตกต่างกันมากขึ้นอยู่กับภาระความเย็นในแต่ละช่วงเวลาของแต่ละวัน ดังนั้นควรมีการควบคุมระบบให้อยู่ในช่วงที่มีสมรรถนะสูงสุดให้ได้มากที่สุดเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน ผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ขนาด 700 ตันความเย็น ซึ่งเป็นการตรวจวัดแบบชั่วขณะ และแบบบันทึกค่าต่อเนื่องทุก 30 นาที เป็นเวลา 7 วัน รายละเอียดแสดงดัง Figure 2

จาก Figure 2 ผลการตรวจวัดกำลังไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ขนาด 700 ตันความเย็น พบว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด 333.26 กิโลวัตต์ กำลังไฟฟ้าต่ำสุด 110 กิโลวัตต์ และมีกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับปรับอากาศ 222.12 กิโลวัตต์ จากผลการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าระยะเวลา 7 วัน 24 ชั่วโมง เริ่มจากวันจันทร์ สิ้นสุดวันอาทิตย์

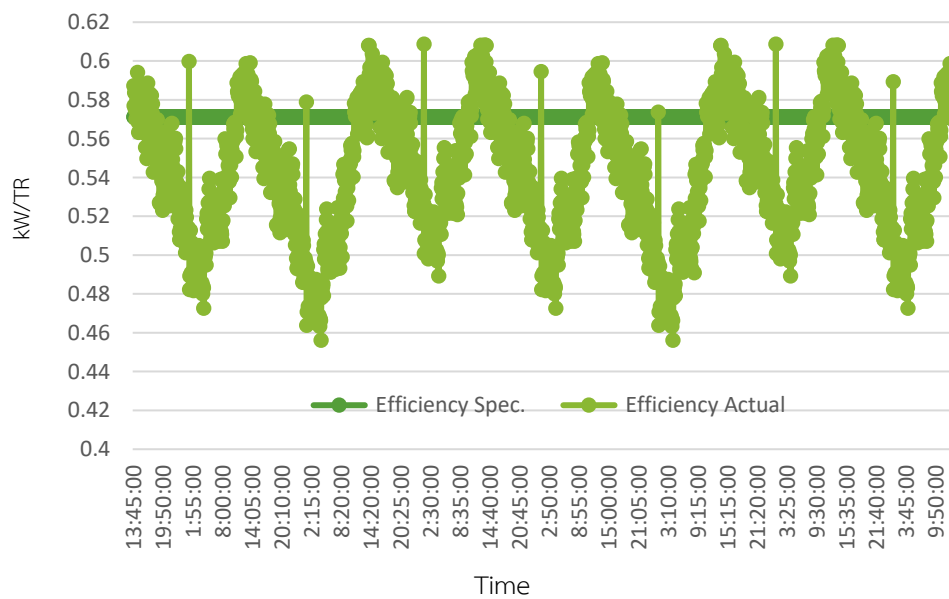


Figure 3 Performance measurement results for a 700-TR centralized air conditioning system

จาก Figure 3 ผลการตรวจวัดสมรรถนะของเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ขนาด 700 ตันความเย็น (Hua et al., 2020) พบว่าค่าประสิทธิภาพพลังงานไฟฟ้าเทียบกับตันความเย็น สมรรถนะสูงสุด 0.456 กิโลวัตต์/ตันความเย็น ที่สภาวะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ 191.8 ตันความเย็น ประสิทธิภาพพลังงานไฟฟ้าเทียบกับตันความเย็นสมรรถนะต่ำสุด 0.609 กิโลวัตต์/ตันความเย็น ที่สภาวะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ 568 ตันความเย็น และมีประสิทธิภาพพลังงานไฟฟ้าเทียบกับตันความเย็นสมรรถนะเฉลี่ย 0.541 กิโลวัตต์/ตันความเย็น ที่สภาวะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ 410.4 ตันความเย็น ซึ่งค่าประสิทธิภาพพลังงานไฟฟ้าเทียบกับตันความเย็น สมรรถนะของสเปกอุปกรณ์ที่ 0.57 กิโลวัตต์/ตันความเย็น ที่สภาวะการทำงานของเครื่องปรับอากาศ 700 ตันความเย็น

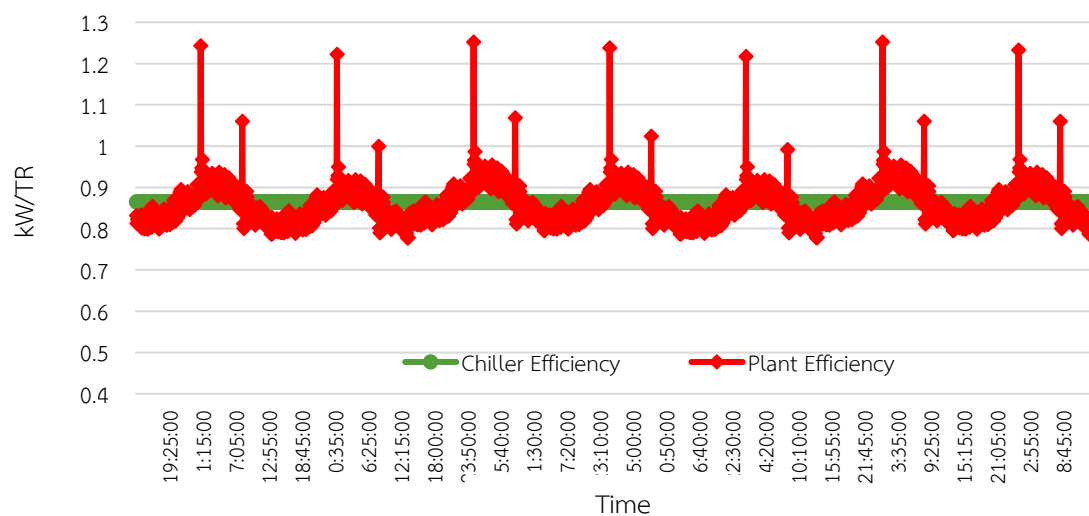


Figure 4 Performance test results for centralized air conditioning systems

จาก Figure 4 ผลการตรวจวัดสมรรถนะระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ พบว่า ประสิทธิภาพสมรรถนะที่ได้จากการตรวจวัด มีดังนี้ กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการตรวจวัด เท่ากับ 345.45 กิโลวัตต์ (กำลังไฟฟ้าเครื่องทำน้ำเย็นเฉลี่ย 222.12 กิโลวัตต์ กำลังไฟฟ้าเครื่องสูบน้ำเย็นรวมเฉลี่ย 56.86 กิโลวัตต์ กำลังไฟฟ้าเครื่องสูบน้ำระบายความร้อนเฉลี่ย 50.57 กิโลวัตต์ และกำลังไฟฟ้าหอผึ่งน้ำเฉลี่ย 15.90 กิโลวัตต์ โดยมีภาระการทำงานเฉลี่ยเท่ากับ 410.39 ตันความเย็น เปอร์เซ็นต์การทำงานเฉลี่ย เท่ากับ 58.06 เปอร์เซ็นต์ และมีค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นของระบบเฉลี่ย เท่ากับ 0.842 กิโลวัตต์/ตันความเย็น ซึ่งโดยระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ถูกออกแบบมาให้มีค่าประสิทธิภาพสมรรถนะการออกแบบระบบ เท่ากับ 0.865 กิโลวัตต์/ตันความเย็น

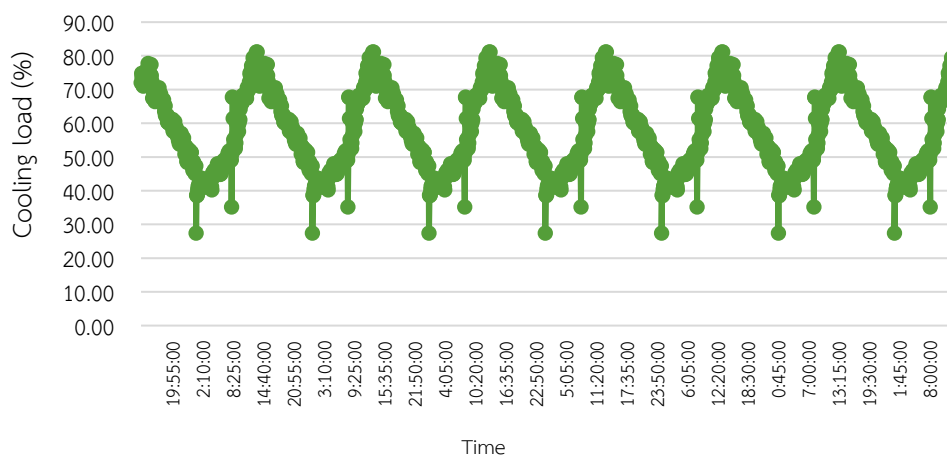


Figure 5 Working Conditions of a 700-TR Centralized Air Conditioning System

จาก Figure 5 สภาวะการทำงานของเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ขนาด 700 ตันความเย็น พบว่า ภาระทำความเย็น 81.14 เปอร์เซ็นต์ ความเย็นสูงสุด 568 ตันความเย็น เกิดขึ้นเวลา 13.30 น. ภาระทำความเย็นต่ำสุด 27.39 เปอร์เซ็นต์ ความเย็นต่ำสุด 191.8 ตันความเย็น จะเกิดขึ้นเวลา 01.00 น. และภาระทำความเย็นเฉลี่ย 57.93 เปอร์เซ็นต์ ความเย็นเฉลี่ย 410.4 ตันความเย็น

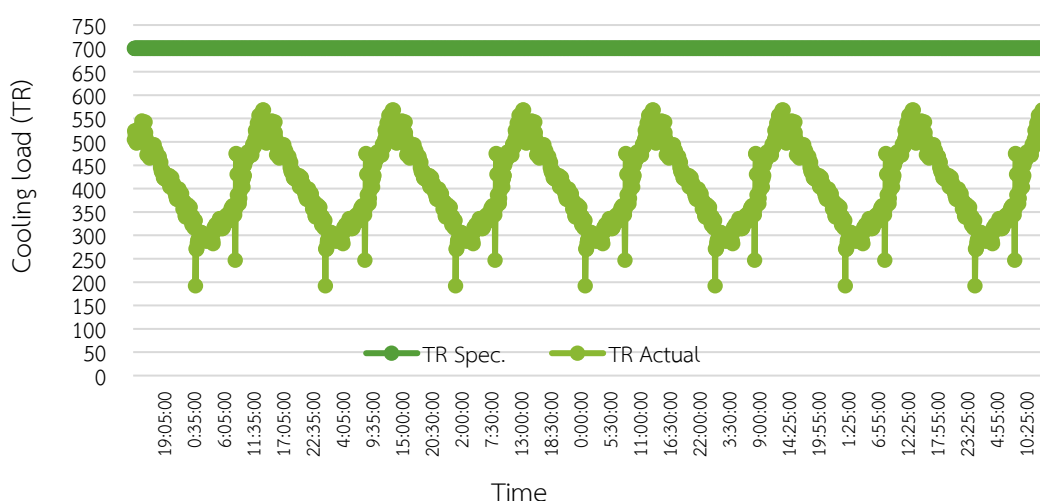


Figure 6 Results of the cooling capacity measurement of a centralized air conditioning system with a refrigeration capacity of 700-TR

จาก Figure 6 ผลการตรวจวัดความสามารถในการทำความเย็นเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ขนาด 700 ตันความเย็น แล้วนำผลที่ได้มาคำนวณหาความสามารถในการทำความเย็น (ตันความเย็น) ของระบบ พบว่า การใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ของอาคาร มีภาระโหลดที่ใช้งานจริงอยู่ที่ประมาณ 410.4 ตันความเย็น หรือประมาณ 57.93 เพอร์เซ็นต์ จากการออกแบบเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ แบบ Magnetic bearing ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ขนาดพิกัด 700 ตันความเย็น

บทสรุป

การศึกษานี้เป็นการหาค่าประสิทธิภาพสมรรถนะในการทำความเย็น (กิโวลต์/ตันความเย็น) ของเครื่องทำน้ำเย็น เพื่อหาค่าสมรรถนะที่เหมาะสมในการใช้งาน โดยการเข้าสำรวจการปฏิบัติงานของเครื่องทำน้ำเย็นสำหรับปรับอากาศในอาคารของประเทศไทย ซึ่งเป็นกรณีศึกษาโรงแรมแห่งหนึ่งในจังหวัดภูเก็ต ที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ ขนาด 700 ตันความเย็น ระบายความร้อนด้วยน้ำ ทำงาน 24 ชั่วโมง การเก็บรวบรวมเป็นใช้เวลา 7 วัน บันทึกค่าทุก 30 นาที เพื่อนำผลไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพสมรรถนะการทำความเย็นระบบทำน้ำเย็น เพื่อหาภาระทำความเย็นที่เหมาะสมของการใช้งาน ผลการวิจัยพบว่าภาระทำความเย็นของอาคารนี้ไม่คงที่ ส่งผลให้ระบบทำน้ำความเย็นเกิดการสูญเสียพลังงานเกินความจำเป็น ซึ่งสภาวะภาระทำความเย็นสูงสุด 81.14 เพอร์เซ็นต์ ในช่วงระหว่าง 09.00 น.-20.00 น. และทำภาระทำความเย็นต่ำสุด 27.39 เพอร์เซ็นต์ ในช่วงระหว่าง 20.00 น.-09.00 น. ภาระทำความเย็นเฉลี่ย 57.93 เพอร์เซ็นต์ โดยที่การคิดอัตราการเกิดภาระความเย็นเฉลี่ย (NPLV) ที่เหมาะสมการใช้งานในอาคารมากที่สุดที่ภาระทำความเย็น 100 เพอร์เซ็นต์ มีการใช้งานจริงเฉลี่ย 1.2 เพอร์เซ็นต์ต่อปี สภาวะภาระทำความเย็น 75 เพอร์เซ็นต์ มีการใช้งานจริงเฉลี่ย 70.2 เพอร์เซ็นต์ต่อปี ภาระทำความเย็น 50 เพอร์เซ็นต์ มีการใช้งานจริงเฉลี่ย 26.4 เพอร์เซ็นต์ต่อปี ภาระทำความเย็น 25 เพอร์เซ็นต์ มีการใช้งานจริงเฉลี่ย 2.2 เพอร์เซ็นต์ต่อปี และค่าประสิทธิภาพสมรรถนะ ของเครื่องปรับอากาศรวมศูนย์เทคโนโลยี Magnetic bearing มีความเหมาะสมกับภาระทำความเย็นที่ต่ำ หรือภาระทำความเย็นไม่คงที่ ซึ่งสภาวะโหลดความเย็นที่ 191.8 ตันความเย็น มีค่าประสิทธิภาพสมรรถนะ 0.456 กิโวลต์/ตันความเย็น โดยที่ค่าออกแบบมาตรฐานของผู้ผลิตโดยทั่วไปที่ภาระทำความเย็นขนาด 700 ตันความเย็น มีค่าประสิทธิภาพสมรรถนะ 0.57 กิโวลต์/ตันความเย็น

ซึ่งเครื่องปรับอากาศแบบรวมศูนย์ของอาคารทุกประเภทในประเทศไทย จะพบว่า ภาระทำความเย็นมีลักษณะคล้ายกัน คือ ภาระทำความเย็นไม่คงที่ เนื่องจากภาระความเย็นส่วนใหญ่เกิดจากการเข้าออกของบุคคล และสภาวะแวดล้อมของฤดูกาล ส่งผลให้ภาระทำความเย็นไม่คงที่ ดังนั้นควรมีการตรวจวัดวิเคราะห์ประสิทธิภาพสมรรถนะของระบบทำน้ำเย็น เพื่อหาจุดที่เหมาะสมกับภาระทำความเย็น อันก่อให้เกิดการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพของระบบ ด้วยปัจจัยต่าง ๆ ที่กล่าวมา การเลือกใช้เทคโนโลยีเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสมกับภาระทำความเย็นที่ไม่คงที่เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่ช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ เช่น เลือกใช้เครื่องปรับอากาศรวมศูนย์แบบแปรผันตามแม่เหล็ก ที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และการบริหารจัดการระบบปรับอากาศได้อย่างมีประสิทธิภาพ หรือมีระบบ Internet of Things (IoT) มาช่วยการบริหารจัดการระบบทำน้ำเย็นที่เหมาะสมก็มีส่วนช่วยให้เสถียรภาพของระบบดีขึ้น และเกิดการประหยัดพลังงานได้อีกทางหนึ่ง

เอกสารอ้างอิง

- ASHRAE Application Handbook. (2017). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., <https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/standards-addenda/ansi-ashrae-ashe-standard-170-2017-ventilation-of-health-care-facilities>
- ASHRAE 550/590. (2023). ASHRAE Handbook-Fundamentals (I-P), American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Performance Rating of Water-Chilling and Heat Pump Water-Heating Packages Using the Vapor Compression Cycle, 1-72, <https://www.ashrae.org/technical-resources/ashrae-handbook/2023-ashrae-handbook-hvac-applications>

- He, K., Fu, Q., Lu, Y., Wang, Y., Luo, J., Wu, H. & Chen, J. (2023). Predictive control optimization of chiller plants based on deep reinforcement learning. *Journal of Building Engineering*, 76, 1-20. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.107158>
- Hua, T., Yitai, M., Minxia, L., Chuntao, L. & Li, Z. (2020). The status and development trend of the water chiller energy efficiency standard in China. *Energy Policy*, 38, 7497-7503. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.06.020>
- Kumar, D., Catrini, P., Piacentino, A. & Cirrincione, M. (2023). Advanced modeling and energy-saving-oriented assessment of control strategies for air-cooled chillers in space cooling applications. *Energy Conversion and Management*, 291, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117258>
- Lyu, W., Wang, Z., Li, X., Xin, X., Chen, S., Yang, Y., Xu, Z., Yang, O. & Li, H. (2021). Energy efficiency and economic analysis of utilizing magnetic bearing chillers for the cooling of data centers. *Journal of Building Engineering*, 48, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103920>
- Li, Z., Guo, J., Gao, X., Yang, X. & He, Y. L. (2023). A multi-strategy improved sparrow search algorithm of large-scale refrigeration system: Optimal loading distribution of chillers. *Applied Energy*, 349, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121623>
- Wang, C., Wu, X., Sun, S., Zhang, Z. & Xing, Z. (2022). Potential evaluation of water-cooled multiple screw chillers with serial water loops and development of ultra-efficient dual screw chillers. *Applied Thermal Engineering*, 210, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.118340>
- Yua, F. W., Chan, K. T., Sitc, R. K. Y. & Yang, J. (2014). Review of standards for energy performance of chiller systems serving commercial buildings. *Energy Procedia*, 61, 2778-2782. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.12.308>