

การจัดการพลังงานอาคารเพื่อลดความต้องการใช้ไฟฟ้าในระบบปรับอากาศของอาคารต้นแบบมหาวิทยาลัยพะเยา

Building energy management for reducing the electricity demand of air conditioning systems in prototype building at the University of Phayao

นัทธินันท์ พงษ์พานิช^{1*}, บุญวัฒน์ วิچارณ์พล¹
Nuttanon Pongpanit^{1*}, Bunyawat Vichanpol¹

Received: 14 August 2019 ; Revised: 25 December 2019 ; Accepted: 28 January 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เพื่อลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศในฤดูร้อน โดยใช้แนวทางของระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร (Building Energy Management System, BEMS) ที่ทำงานร่วมกับการสำรองพลังงานในรูปแบบน้ำเย็น โดยการศึกษาวิจัยนี้เริ่มจากการประเมินศักยภาพและรูปแบบการใช้พลังงานในพื้นที่ต้นแบบซึ่งเป็นอาคารในมหาวิทยาลัยพะเยา ข้อมูลที่ได้จะถูกจัดทำเป็นข้อกำหนดในการออกแบบระบบสำรองน้ำเย็น (Chilled Water Thermal Storage, CWTS) และระบบควบคุมที่สามารถจัดการภาระทำความเย็นของพื้นที่ จากนั้นจึงทำการทดสอบร่วมกันระหว่างระบบที่ออกแบบกับระบบปรับอากาศติดตั้งเดิมของอาคารซึ่งเป็นเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ผลของการศึกษาพบว่าช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเกิดขึ้นในช่วงเวลา 13.30-16.30 น. ระบบที่ออกแบบสามารถลดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าได้ในช่วงเวลาดังกล่าวที่ 26.09 W/m² หรือคิดเป็น 35.10% ของค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งสูงกว่าค่ากำหนดการออกแบบที่สามารถลดได้เพียง 20% นอกจากนี้ผลของการศึกษายังพบว่าสามารถลดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ 15.20 Wh/m² หรือคิดเป็น 13.16% ของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศจากการมีระบบควบคุมการตอบสนองภาระความร้อนที่เกิดขึ้นของพื้นที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการศึกษาสรุปได้ว่า การออกแบบการจัดการพลังงานที่เหมาะสมร่วมกับการใช้ระบบ CWTS สามารถนำมาใช้งานร่วมกับเครื่องปรับอากาศเดิมของอาคาร ทั้งนี้ประสิทธิภาพของการจัดการพลังงานจะเพิ่มขึ้นได้จากการเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบที่มีค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ (COP) ที่สูงขึ้นและการออกแบบระบบควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าที่รองรับการเปลี่ยนแปลงความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า (Demand Response, DR) จากสภาพอากาศภายนอก ร่วมกับการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแนวทางของการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

คำสำคัญ: การสำรองพลังงานในรูปแบบน้ำเย็น ระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด

Abstract

This research aims to reduce electricity demand of air conditioning systems in the summer period using a Building Energy Management System (BEMS) cooperating with Chilled Water Thermal Storage (CWTS). Initially, the potential and energy consumption pattern of the building in the University of Phayao were evaluated. The CWTS and the control system, which used the actual cooling load in the area as a feedback, were designed based on the initial results and implemented with the existing split type air conditioning system. The results show that the peak demand (PD) occurs during 1.30-2.30 p.m. and the design system can reduce the electricity demand of that period by 26.09 W/m² (35.10%) of the peak demand, which is higher than expectation in design criteria of 20%. In addition, the system with the actual cooling load feedback control system can effectively be reduced to 15.20 Wh/m² or 13.16% of the electricity consumption in the area.

¹ คณะพลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยพะเยา ต.แม่กา อ.เมือง จ.พะเยา 56000 โทรศัพท์: 0 5446 6666

¹ School of Energy and Environment, University of Phayao, Tambon Maeka, Amphur Muang, Phayao, 56000 Thailand. Tel: +66 5446 6666

* Corresponding author, nuttanon.po@gmail.com

The study can be included in appropriate energy management design with CTWTS and can be implemented with the existing split type air conditioning system. In further study, the efficiency of the energy management will be improved by use of high Coefficient Of Performance (COP) equipment and a controller design based on Demand Response (DR) combined with the photovoltaic (PV) system.

Keywords: Chilled Water Thermal Storage (CWTS), Building Energy Management System (BEMS), Peak Demand (PD)

บทนำ

แนวโน้มความต้องการพลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย ในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ โดยเพิ่มขึ้นจากระดับสูงสุดในรอบปี 2558 ที่ 27,346 MW โดยมีกำลังการผลิตไฟฟ้ารวม 38,815 MW เพิ่มเป็นความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ 30,853 MW จากกำลังการผลิตไฟฟ้ารวมเพิ่มที่ 44,443 MW¹ ข้อมูลดังกล่าวแสดงถึงปัญหาของเสถียรภาพพลังงานจากการเพิ่มขึ้นของความต้องการพลังงานไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง โดยระดับความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของปีจะเกิดในช่วงฤดูร้อน ระหว่างเดือน มี.ค.-มิ.ย. จากการศึกษาเพื่อวิเคราะห์รูปแบบของค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand, PD)² ของระบบประกอบอาคาร พบว่าพลังงานไฟฟ้าจะถูกใช้ไปสำหรับการควบคุมสภาวะอากาศสำหรับพื้นที่ต่างๆ ภายในอาคาร หรือระบบ Heating Ventilation and Air-Condition (HVAC) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยที่ 50% ของผลรวมของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดของอาคาร Motegi N และคณะวิจัย³ พบว่าการที่จะจัดการระบบ HVAC ให้มีประสิทธิภาพจะต้องใช้การจัดการที่มีรูปแบบการที่สัมพันธ์กับการตอบสนองความต้องการปริมาณไฟฟ้าที่หลากหลาย (Demand Response Resource) การจัดการพลังงานอาคารจะถูกใช้เพื่อควบคุมภาวะชั่วคราวของอากาศในพื้นที่ต่างๆ ของอาคารเพื่อตอบสนองต่อความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบจากการเปลี่ยนแปลงของลักษณะอากาศภายนอกอาคาร ในประเทศไทยระบบปรับอากาศเป็นระบบที่ใช้พลังงานมากที่สุดของอาคารทั่วไป⁴ ดังนั้นการจัดการพลังงานจึงควรให้ความสำคัญในระบบดังกล่าวเป็นอันดับแรก เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการใช้พลังงานการใช้ระบบบริหารจัดการพลังงานในอาคาร หรือ Building Energy Management System (BEMS) มีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนการดำเนินการตอบสนองด้านโหลด (Demand Response: DR) ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว⁵ ในเบื้องต้นถูกใช้ในการจัดการ ควบคุม และติดตามระบบพลังงานต่างๆ ภายในอาคารทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้ามีความเข้าใจพฤติกรรมกรการใช้พลังงานของตนเอง ซึ่งจะทำให้สามารถระบุแนวทางหรือศักยภาพที่เป็นไปได้ในการออกแบบเพื่อปรับเปลี่ยนการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

หนึ่งในแนวทางการออกแบบเพื่อควบคุมค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าในอาคาร นิยมใช้แนวทาง Thermal Energy Storage (TES) ซึ่งสามารถลดต้นทุนพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ต้นทุนพลังงานสูงหรือที่เรียกว่าช่วง Peak จากการสำรองพลังงานอยู่ในรูปแบบน้ำเย็น (Chilled Water Thermal Storage, CWTS) สำหรับระบบปรับอากาศอาคาร โดยในประเทศจีนการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพในรูปแบบดังกล่าวมีผลให้ต้นทุนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารลดได้ถึง 40%^{6,7} จากส่วนต่างของต้นทุนค่าไฟฟ้าในช่วงสูงสุดและต่ำสุดที่มากกว่า 3 เท่า และพื้นที่ที่อุณหภูมิในช่วงกลางวันสูงมากอย่างคูเวต การใช้รูปแบบ CTWS มาแก้ปัญหาการเพิ่มขึ้นของความต้องการพลังงานไฟฟ้าทำให้ค่า Peak ลดลงได้มากกว่า 36%⁸ การศึกษาเพิ่มเติมการสำรองรูปแบบความเย็นในรูปแบบของน้ำแข็ง (Ice Thermal Storage, ITS)⁹ หรือการใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์จากอุปกรณ์ Solar Collector มาใช้ทำน้ำเย็นด้วย Absorption Chiller¹⁰ เป็นแนวทางการจัดการพลังงานที่ถูกเลือกใช้สำหรับการออกแบบอาคารสร้างใหม่ แต่ในประเทศไทยที่ต้องคำนึงถึงต้นทุนที่เพิ่มขึ้นจากการก่อสร้างอาคารหรือในการปรับปรุงระบบปรับอากาศอาคารที่มีอยู่แล้วอาจจะมีข้อจำกัดทั้งในด้านงบประมาณและพื้นที่การศึกษา

การศึกษาในงานวิจัยนี้ จึงเป็นการศึกษาเพื่อหารูปแบบที่เหมาะสมของการจัดการพลังงาน ทำให้ได้ฐานข้อมูลเพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาปรับปรุงให้สอดคล้องกับบริบทเดิมของอาคารสำหรับการลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าระบบปรับอากาศในพื้นที่ต้นแบบอาคารในมหาวิทยาลัยพะเยา โดยใช้รูปแบบของ CWTS ที่มีการควบคุมการตอบสนองโหลดตามหลักการของ BEMS ทำงานร่วมกับระบบปรับอากาศเดิมซึ่งเป็นการใช้งานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน

วัตถุประสงค์การวิจัย

ศึกษาแนวทางการจัดการพลังงานอาคารหรือ BEMS ในรูปแบบ CWTS ที่สามารถใช้งานร่วมกับระบบปรับอากาศเดิมเพื่อลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าระบบปรับอากาศในอาคารต้นแบบ จังหวัดพะเยา

ขอบเขตการวิจัย

ออกแบบและทดสอบ แนวทางการจัดการพลังงานในอาคาร ในรูปแบบ CWTS ของการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศในอาคารต้นแบบ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา ในช่วงเดือนมีนาคม-เดือนพฤษภาคม 2560

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินงานเพื่อศึกษาการจัดการพลังงานอาคารเพื่อลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าระบบปรับอากาศกรณีศึกษา: อาคารต้นแบบมหาวิทยาลัยพะเยา แบ่งเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การประเมินศักยภาพของพลังงานของระบบปรับอากาศในอาคารต้นแบบและการทดสอบการใช้รูปแบบ CWTS สำหรับการจัดการพลังงานในอาคาร ของระบบปรับอากาศ โดยในแต่ละส่วนมีขั้นตอนในการวิจัยดังนี้

ส่วนที่ 1 การประเมินศักยภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศของพื้นที่ต้นแบบ สำหรับการศึกษาครั้งนี้คือ อาคารทันตแพทยศาสตร์ ของมหาวิทยาลัยพะเยา ได้แก่ ชุดอาคาร EN3-4 มีพื้นที่ปรับอากาศทั้งหมด 1,417.5 ตารางเมตร Figure 1 เป็นรูปแสดงอาคารต้นแบบในการศึกษา



Figure 1 Prototype Building in Research

ในส่วนที่ 1 มีการศึกษา 3 หัวข้อ เพื่อประเมินเป็นรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศก่อนปรับปรุงได้แก่

(1) การประเมินภาระโหลดความร้อนที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศของอาคาร (Cooling Load of Building) โดยใช้การคำนวณจากมาตรฐานการออกแบบของ ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers) ในวิธี Residential Load Factor (RLF) Method¹¹ เพื่อหาภาระความร้อนสูงสุด ที่เกิดในช่วงเวลา 14.00-16.00 ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มียุณหภูมิภายนอกสูงสุดเกิดขึ้นในพื้นที่ต้นแบบ

(2) ขนาดติดตั้งของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนที่ติดตั้งแล้วในอาคารต้นแบบ ซึ่งเป็นความสามารถของระบบในการจัดการกับภาระโหลดความร้อนอาคาร

ข้อมูลทั้ง 2 ส่วนนี้นำมาใช้ประเมินความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดจากระบบปรับอากาศที่เกิดจากภาระความร้อนภายนอกและความต้องการพลังงานไฟฟ้าจากการติดตั้งอุปกรณ์ โดยใช้ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องปรับอากาศหรือ COP ซึ่งแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{Estimate Power} = \frac{\text{Cooling Load of Building}}{\text{COP of Air Conditioning}}$$

Cooling Load of building เป็นผลการคำนวณได้จาก (1) ส่วนค่า COP ได้จากค่าตามมาตรฐานของเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งในอาคาร

(3) การทดสอบเพื่อประเมินรูปแบบและศักยภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศของอาคารในช่วงฤดูร้อน เพื่อประเมินเป็นรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศที่สัมพันธ์กับอุณหภูมิภายนอกใน โดยพื้นที่ทดสอบในอาคารต้นแบบคือ ห้องเขียนแบบ(Drawing room) มีพื้นที่ปรับอากาศ 189 ตารางเมตรจากการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ 26,110 Btu/Hr. จำนวน 1 เครื่องและเครื่องปรับอากาศขนาด 62,600 Btu/Hr. จำนวน 3 เครื่อง แสดงพื้นที่ดังกล่าวได้ใน Figure 2

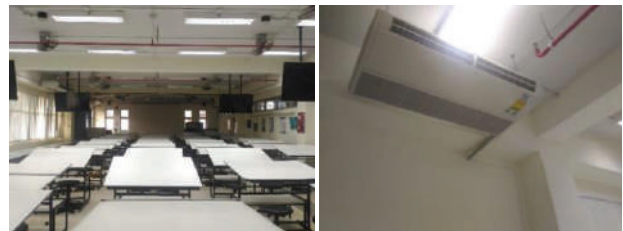


Figure 2 Drawing Room in The Prototype Building

ส่วนที่ 2 การออกแบบและทดสอบรูปแบบ CWTS สำหรับการจัดการพลังงานของระบบปรับอากาศ รูปแบบของการทดสอบแสดงได้ดังแผนภาพใน Figure 3 มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

ออกแบบรูปแบบ CWTS โดยใช้ผลการทดสอบจากการศึกษาในส่วนที่ 1 โดยพิจารณาเฉพาะรูปแบบความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศจากภาวะความร้อนของอากาศภายนอกเป็นหลัก

ติดตั้งระบบ CWTS จากการออกแบบ 1) โดยสำรองน้ำเย็นเฉพาะใช้งานในพื้นที่ทดสอบ

ทดสอบระบบที่ติดตั้งและการใช้งานร่วมกับระบบปรับอากาศเดิมของพื้นที่ศึกษา โดยแนวทางการทดสอบได้ดังนี้

3.1) ทดสอบและเก็บข้อมูลจากระบบปรับอากาศที่ติดตั้งเดิมในพื้นที่ทดสอบเพื่อใช้เปรียบเทียบผลการศึกษาที่สนใจ

3.2) ทำน้ำเย็นสำรองและเก็บไว้ในถังเก็บน้ำเย็นช่วงเวลาเริ่มต้นทดสอบในส่วนนี้ตั้งแต่ 06.00 น.

3.3) เลือกใช้ระบบ CWTS ทำงานร่วมกับระบบปรับอากาศเดิมของพื้นที่ในช่วงเวลา 13.00-17.00 น.

3.4) ขนาดการปรับอากาศของระบบถูกออกแบบที่ขนาด 96,000 Btu/Hr. สำหรับใช้แทนเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนขนาด 62,600 Btu/Hr. จำนวน 2 ชุดของพื้นที่ทดสอบ

3.5) ทดสอบระบบโดยควบคุมอุณหภูมิของพื้นที่ทดสอบที่ 25 °C ภายได้ช่วงเวลาเป้าหมาย

ในการทดสอบจะใช้อุปกรณ์บันทึกข้อมูล ได้แก่ค่ากำลังไฟฟ้า ปริมาณพลังงานไฟฟ้า อุณหภูมิและความชื้นอากาศของพื้นที่ทดสอบโดยกำหนดให้ใช้เครื่องมือและระบบในการตรวจวัดดังนี้

4.1) ชุด Power Meter สำหรับเก็บข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าพร้อมชุด Data Logger

4.2) อุปกรณ์ตรวจวัดและเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้นภายใน ภายนอกอาคารและชุดเครื่องส่งสัญญาณที่ใช้ในการทดสอบ

ประเมินและวิเคราะห์ผลการศึกษา ซึ่งเป็นการประเมินผลทดสอบสำหรับการแก้ปัญหาการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดในระบบปรับอากาศในฤดูร้อนและการใช้งานอุปกรณ์อย่างมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา

ผลการวิจัย

ส่วนที่ 1. การประเมินศักยภาพและรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศของพื้นที่ต้นแบบ

(1.1) การประเมินร่วมกันของ (1) และ (2) จากส่วนที่ 1 ของวิธีดำเนินการวิจัย ผลการประเมินของภาวะความร้อนสูงสุดที่เข้าสู่พื้นที่ปรับอากาศของอาคารจากการคำนวณด้วยวิธี RLF ที่ 1,012,293.45 Btu/Hr. หรือคิดเป็น 714.14 Btu/Hr.·m² โดยการติดตั้งระบบปรับอากาศของอาคารมีขนาดรวมที่ 1,500,265 Btu/Hr หรือคิดเป็น 1,058.39 Btu/hr. m² ซึ่งมากกว่าการคำนวณถึง 48.02% โดยผลของภาวะความร้อนดังกล่าวเมื่อประเมินเป็นความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand, PD) จากเครื่องปรับอากาศที่ติดตั้งพบว่าทำให้เกิด PD ที่ 139.15 kW ทั้งที่ควรจะมีค่าสูงสุดไม่เกิน 97.27 kW ถ้ามีการติดตั้งขนาดการปรับอากาศที่เหมาะสมกับพื้นที่

(1.2) ในการทดสอบเพื่อประเมินรูปแบบและศักยภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศในพื้นที่ศึกษาก่อนปรับปรุง พบว่ามีภาวะความร้อนสูงสุดในรอบวันจากการทดสอบใช้งานเครื่องปรับอากาศในช่วงฤดูร้อนเท่ากับ 260.94 W/m² หรือเท่ากับ 890.85 Btu/Hr.·m² ที่ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ 85.55 W/m² และเมื่อมีการทดสอบและเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในพื้นที่ทดสอบเพื่อหารูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศในช่วงเวลา 8.00-18.00 น. ติดต่อกัน 3 วัน ผลการทดสอบแสดงเป็นรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ดัง Figure 4 และสรุปเป็นความต้องการไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยได้จาก Table 1

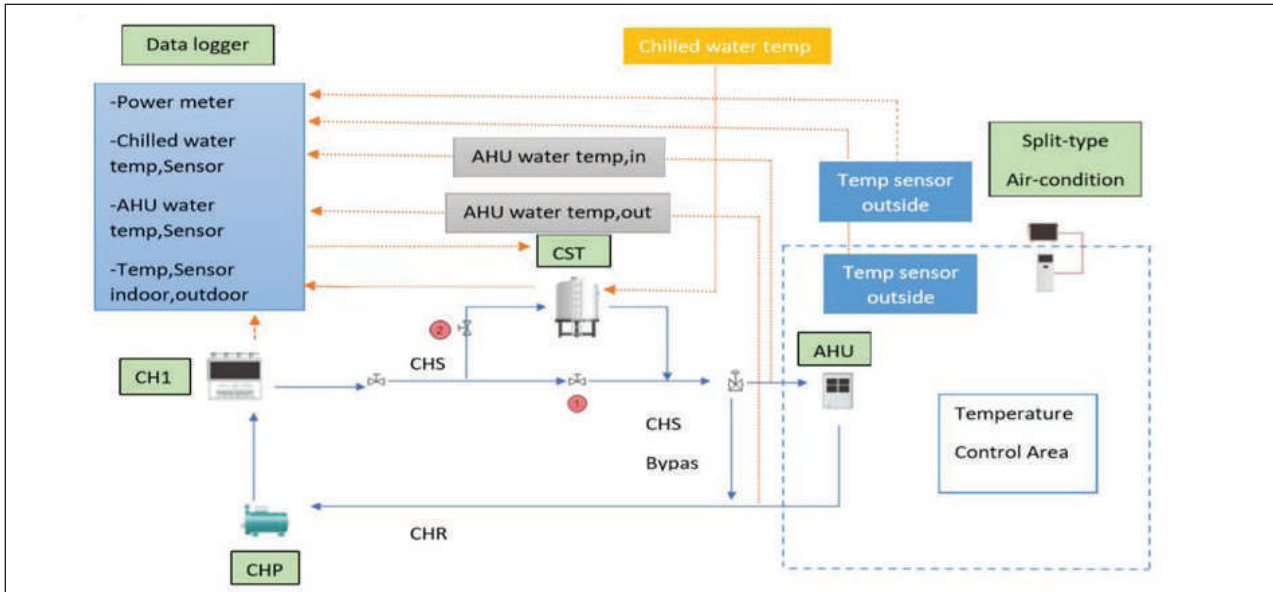


Figure 3 Diagram of The CWTS Test System for Power Management in Air Conditioning Systems

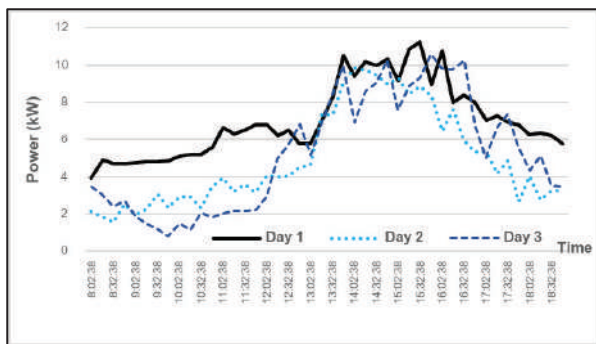


Figure 4 The demand for electricity in the day

ผลการทดสอบพบว่าระดับความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลา 8.00-12.00 น.เฉลี่ยที่ 4.57 kW หลังจากนั้นระดับดังกล่าวสูงขึ้นอย่างรวดเร็วและขึ้นไปที่ระดับสูงสุดของวันและอยู่ในระดับใกล้เคียงกันช่วงเวลา 13.30 -16.30 น. หรือประมาณ 3 ชั่วโมงและมีค่าเฉลี่ยที่ 9.10 kW ซึ่งรูปแบบความต้องการพลังงานไฟฟ้าเกิดจากโหลดความร้อนภายนอกอาคารที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันในแต่ละวันและคุณสมบัติของวัสดุในการดูดกลืนและสะท้อนความร้อนหรือที่เรียกว่า มวลอุณหภาพ (Thermal Mass) คุณสมบัตินี้เป็นความสามารถในการกักเก็บความร้อนของกรอบอาคาร ในการศึกษาที่สามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลเพื่อออกแบบและทดสอบในจัดการพลังงานเพื่อลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในระบบปรับอากาศ

ส่วนที่ 2 เป็นการศึกษา CWTS ในการจัดการพลังงานของระบบปรับอากาศในพื้นที่ต้นแบบ

(2.1) ภาวะความร้อนของพื้นที่ต้นแบบในช่วงเวลา 13.30 -16.30 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เกิดภาวะสูงสุดของวัน

มีปริมาณความร้อนที่ต้องกำจัดเพื่อควบคุมอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเท่ากับ 519.97 kJ/m² สูงกว่าค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาอื่นเกือบ 2 เท่า ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในฤดูร้อน โดยค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าและภาวะความร้อนของระบบปรับอากาศจำเพาะต่อพื้นที่ในพื้นที่ทดสอบแสดงได้ตาม Table 1

Table 1 The Specific Electricity Demand and Heat Load of The Air Conditioning System in The Prototype Area.

Description	Electricity Demand	Specific Heat Load
1) Maximum Value from The Calculation (W/m ²)	68.621	209.293
2) Maximum Value from The test (W/m ²)	59.627	181.863
3) Average During The Period 13.30-16.30. (W/m ²)	48.146	146.844

เมื่อพิจารณาจาก Table 1 ใน 1) และ 2) ซึ่งเป็นค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดจากการคำนวณภาวะสูงสุดของการปรับอากาศและค่าเฉลี่ยที่ได้จากการทดสอบต่อเนื่อง 3 วัน พบว่าค่า 2) จะต่ำกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณ 15.08% แต่จะสูงกว่าค่าพลังงานเฉลี่ยของช่วงเวลาศึกษา หรือ 3) ที่ 19.25% ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้ามีการบริหารจัดการไฟฟ้าที่ดีตามศักยภาพของการใช้พลังงานในการระบายความร้อนของพื้นที่ต้นแบบ ก็จะทำให้สามารถลดค่าการใช้พลังงานไฟฟ้า

ได้ไม่ต่ำกว่าตัวเลขดังกล่าว ผลของข้อมูลถูกกำหนดเพื่อใช้สำหรับการออกแบบ CWTS ในการจัดการพลังงานเพื่อลดความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบโดยมีเป้าหมายให้เกิดการลดลงที่ประมาณ 20% ของค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละวัน สามารถสรุปเป็นข้อกำหนดในการออกแบบ (Design Criteria) ดังนี้

ความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศมีค่าเฉลี่ยที่ 9.55 kW ดังนั้นระดับความต้องการพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศจะต้องควบคุมให้ไม่เกิน 7.64 kW ระบบที่ออกแบบจะต้องสามารถชดเชยการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศได้ในช่วง 3.63 -10.91 kW และสามารถสำรองพลังงานในรูปน้ำเย็นไม่ต่ำกว่า 34.94 MJ โดยเลือกใช้ชุดอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

- ชุดเครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Chiller, CH1) มีคุณสมบัติอุปกรณ์คือ COP=3.1 ที่ 7.753 kW ใช้สารทำความเย็น R-22 ชุดอุปกรณ์ดังกล่าวแสดงได้ใน Figure 5



Figure 5 Air-cooled chiller

- ชุดถังเก็บน้ำเย็น (Chilled Water Storage Tank, CST) ขนาด 1,000 ลิตรพร้อมหุ้มฉนวน Close Cell Foam หนา 25 มิลลิเมตร

- เครื่องสูบน้ำเย็น (Chilled Water Pump, CHP) มีขนาด 0.87 HP โดยมีระบบชุดควบคุมสำหรับปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ จากการทดสอบการใช้งานพบว่าสามารถควบคุมอัตราการไหลของน้ำเย็นในการทดสอบได้ในช่วงที่ใช้งานระหว่าง 30-55 ลิตรต่อวินาที



Figure 6 Chilled Water Storage Tank and Chilled Water Pump

- ระบบท่อน้ำเย็นเลือกใช้ท่อ PPR ขนาด 1.5 นิ้ว หุ้มฉนวน Close Cell Foam หนา 2.5 มิลลิเมตร สำหรับท่อน้ำเย็นจ่าย (Chilled Water Supply, CHS) และท่อน้ำเย็นกลับ (Chilled Water Return, CHR)

- ชุดเครื่องส่งลมเย็นต้นแบบ (Air Handling Unit, AHU) เป็นเครื่องส่งลมเย็นที่ออกแบบสำหรับการทดสอบขนาดเหมาะสมกับ CH1 สามารถส่งลมเย็นที่อัตราการไหลสูงสุด 3,200 ft³/min สามารถปรับอัตราการไหลของอากาศเย็นได้โดยอุปกรณ์ปรับรอบ (Variable Speed Drive, VSD)



Figure 7 AHU and VSD set

(2.2) ในการทดสอบระบบ CWTS ที่ออกแบบร่วมกับระบบปรับอากาศเดิมในพื้นที่ศึกษา เพื่อชดเชยและลดระดับความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดของระบบปรับอากาศโดยควบคุมอุณหภูมิของพื้นที่ที่ 25 °C ดำเนินการทำน้ำเย็นช่วงเวลา 6.00-8.00 น. ที่อุณหภูมิน้ำเย็นใช้งานเริ่มต้น 6.5 °C ผลการทดสอบของระบบร่วมดังกล่าวแสดงดัง Figure 8 ซึ่งเป็นการทดสอบต่อเนื่อง 3 วันช่วงเวลา 13.00-17.00 น. โดย Day 1, 2 และ 3 มีอุณหภูมิอากาศภายนอกห้องเฉลี่ยที่ 32.89 33.03 และ 33.24 °C ตามลำดับ

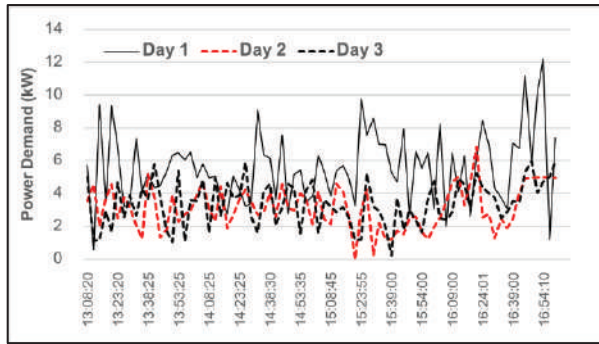


Figure 8 Compare the use of electricity demand before (Day 1) and after the CWTS test

ผลการทดสอบพบว่าค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของ Day 2 และ Day 3 เฉลี่ยต่ำกว่า Day 1 ที่ 5.39 kW หรือคิดเป็นระดับพลังไฟฟ้าที่ลดลง 44.11% ของความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของ Day 1 เมื่อพิจารณาค่าความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ทดสอบจะมีระดับที่ลดลงที่ 2.36 kW หรือเป็นระดับที่ลดลงที่ 45.34% ของวันที่ไม่มีการใช้ระบบ CWTS ส่วนในการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้สำหรับระบบปรับอากาศพบว่ามีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าที่น้อยลง 9.10 kWh เมื่อเปรียบเทียบกับ Day 1 โดยการประเมินนี้ยังไม่ได้หักลบกับพลังงานไฟฟ้าสำหรับการทำงานของระบบทำน้ำเย็นซึ่งเท่ากับ 7.54 kWh เมื่อประเมินเป็นการลดลงของพลังงานไฟฟ้าจากอุปกรณ์ทั้งหมดพบว่ามีการใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลง 7.13% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศเดิม

สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

จากการศึกษาสรุปเป็นผลลัพธ์ได้ตาม Table 2 ซึ่งเป็นตารางสรุปผลการศึกษาของการจัดการพลังงานอาคารเพื่อลดความต้องการพลังไฟฟ้าระบบปรับอากาศในพื้นที่ต้นแบบ โดยมีการเก็บข้อมูลต่อเนื่อง 7 วัน

Table 2 Summary of test results

Description	Quantity	%	Specific
(1) The average peak power demand decreases.	4.93 kW	35.10	26.09 W/m ²
(2) The average electrical energy reduction in air conditioning systems	2.87 kWh	13.16	15.20 Wh/m ²
(3) The overall COP of CWTS	1.83		

จาก Table 2 ส่วน (1) แสดงระดับการลดลงของความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด หรือ PD เฉลี่ยเท่ากับ 4.93 kW หรือ

ลดลงคิดเป็นสัดส่วนที่ 35.10% ของค่า PD เดิมก่อนปรับปรุง เมื่อประเมินเป็นพลังไฟฟ้าจำเพาะต่อพื้นที่ใช้งานคิดเป็น 26.09 W/m² ขณะเดียวกันใน (3) เป็นการประเมินสมรรถนะของการทำน้ำเย็นจากค่า COP พบว่ามีค่าสมรรถนะโดยรวมถึงแม้จะต่ำกว่าระบบปรับอากาศเดิม แต่จากการออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิที่มีการตอบสนองต่อภาระความร้อนของพื้นที่อย่างมีประสิทธิภาพด้วยหลักการของระบบบริหารจัดการในอาคารหรือ BEMS ทำให้มีปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยต่ำกว่าระบบเดิมที่ 13.16% หรือคิดเป็นการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะลดลงที่ 15.20 Wh/m²

ผลการศึกษานี้เป็นการทดสอบในช่วงวันที่มีระดับอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุด แนวทางการทดสอบที่ได้จะถูกใช้เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบระบบการจัดการพลังงานอาคารเพื่อลดความต้องการพลังไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศ ระบบที่ถูกออกแบบนี้สามารถลดระดับความต้องการพลังไฟฟ้าเป้าหมายที่ประเมินไว้ที่ 20% เนื่องจาก

1) ระบบปรับอากาศเดิมเป็นแบบแยกส่วน ควบคุมการทำงานโดยเทอร์โมสแตตเฉพาะตัว ทำให้ไม่สามารถจัดการการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดได้ ขณะเดียวกันการออกแบบระบบตามแนวคิด BEMS ด้วยการใช้รูปแบบ CWTS มีการควบคุมอัตราการใช้น้ำเย็นแบบ PID ทดแทนการควบคุมแบบ On-Off จากเครื่องปรับอากาศเดิมโดยการใช้การตรวจวัดอุณหภูมิพื้นที่ต่างๆ ที่แม่นยำ ซึ่งเป็นรูปแบบหนึ่งของการจัดการด้านการใช้ไฟฟ้า (Demand Side Management: DSM) ร่วมกับการปรับปริมาณลมเย็นที่เหมาะสมจากการใช้งาน ทำให้เกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าและช่วยลดระดับความต้องการพลังไฟฟ้าได้อย่างชัดเจน

2) ประสิทธิภาพของการใช้งานเครื่องปรับอากาศขึ้นอยู่กับค่าอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิอากาศภายนอกเพื่อระบายความร้อนของส่วน Condensing ซึ่งช่วงเวลาที่ศึกษาเป็นช่วงเวลาที่อุณหภูมิภายนอกค่อนข้างสูงทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานเครื่องปรับอากาศต่ำ ขณะเดียวกันช่วงเวลาในการใช้งานของเครื่องทำน้ำเย็นเป็นช่วงเช้า ระดับอุณหภูมิอากาศภายนอกต่ำทำให้สมรรถนะของระบบจึงสูงกว่าการใช้ประโยชน์ช่วงกลางวัน ทำให้ประสิทธิภาพของการใช้น้ำเย็นเฉพาะช่วงเวลาจึงทำให้เกิดผลที่ดีกว่าที่ประเมิน

3) เมื่อทดสอบใช้งานระบบอย่างต่อเนื่องพบว่าการใช้พลังงานของระบบทำน้ำเย็นมีแนวโน้มลดลงเนื่องจากอุณหภูมิน้ำเย็นเริ่มต้นของการทำงานมีค่าลดลงจากผลการสูญเสียความร้อนต่ำของ CST รวมถึงความต้องการพลังงานในระบบปรับอากาศจากการกักเก็บความร้อนของกรอบอาคารน้อยลงเมื่อมีการใช้พื้นที่ปรับอากาศต่อเนื่อง ดังนั้นรูปแบบของการจัดการการใช้ประโยชน์พื้นที่อาคารที่ดี มีการใช้อย่างต่อเนื่อง จะทำให้ความต้องการพลังไฟฟ้าของระบบปรับอากาศลดลงได้

ข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการวิจัยไปใช้

ผลจากการศึกษาการจัดการด้านพลังงานนี้ สามารถนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้แก่

1) ในการใช้งานระบบปรับอากาศในฤดูร้อน ประสิทธิภาพของการจัดการพลังงานที่ออกแบบขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบทำน้ำเย็นหรือ COP จาก Table 2 ผลการทดสอบของระบบ CWTS มีค่าเพียง 1.83 ซึ่งถือว่าเป็นค่าค่อนข้างต่ำ ยิ่งอุปกรณ์มี COP ของระบบสูง ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าลดลง ความสามารถในการผลิตน้ำเย็นจะมีปริมาณมากขึ้น ส่งผลให้เกิดการลดของความต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็นสัดส่วนที่สูงขึ้นด้วย

2) ผลประโยชน์ของการติดตั้งระบบเกิดสูงสุดในฤดูร้อน การทดสอบเพิ่มเติมในช่วงอื่นที่แตกต่างกันตลอดทั้งปี จะทำให้สามารถประเมินผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์และความน่าสนใจในการลงทุนปรับปรุง

3) เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการจัดการพลังงานที่มากขึ้น สามารถศึกษาเพิ่มเติมตามแนวทางต่อไปนี้

- การทำงานร่วมกับเครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์ ซึ่งมีประสิทธิภาพของการใช้พลังงานสูงกว่าเครื่องปรับอากาศต้นแบบในการศึกษานี้

- การจัดการการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ ตามการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานไฟฟ้า (Demand Response:DR) ร่วมกันในระบบปรับอากาศ

- การจัดการเพื่อให้เกิดผลตอบแทนสูงสุดจากการกำหนด อัตราค่าไฟฟ้าตามมาตรการส่งเสริมการลดการใช้ไฟฟ้า (Demand Response Rate) 2561¹²

เอกสารอ้างอิง

1. Information from the Electricity Generating Authority of Thailand. (2562). Power demand of the system. retrieved at Jan. 9, 2020 https://www.egat.co.th/index.php?option=com_content&view=article&id=348&Itemid=116
2. Xiao F, Wang SW. (2009). Progress and methodologies of lifecycle commissioning of HVAC systems to enhance building sustainability. *Renew Sustain Energy*, 13(5), 1144-9
3. Motegi N, Piette MA, Watson DS, Kiliccote S, Xu P. (2007). *Introduction to commercial building control strategies and techniques for demand response*. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL-59975, A1-9
4. Yimprayoon C. (2016). Review Article: Zero Energy Building. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies*, 13(2), 1-30 (In Thai)
5. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2562). คู่มือโครงข่ายอัจฉริยะ (Smartgrid), กระทรวงพลังงาน, 19-27
6. Lin H, Li X, Cheng P, Xu B. (2014). Thermo-economic evaluation of air conditioning system with chilled water storage. *Energy Conversion and Management*, 85(2014), 328-332.
7. Lin H, Li X, Cheng P, Xu B. (2014). Study on chilled energy storage of air-conditioning system with energy saving. *Energy and Building*, 79(2014), 41-46
8. M.J. Sebzali, B. Ameer, H.J. Hussain. (2014). Comparison of energy performance and economics of chilled water thermal storage and conventional air-conditioning systems. *Energy and Building*, 69(2014), 237-250
9. Song X, Liu L, Zhu T, Chen S, Cao Z. (2018). Study of economic feasibility of a compound cool thermal storage system combining chilled water storage and ice storage. *Applied Thermal Engineering*, 133 (2018), 613-621
10. Rosiek S, Garrido FJB. (2012). Performance evaluation of solar-assisted air-conditioning system with chilled water storage (CIESOL building). *Energy Conversion and Management*, 55 (2012), 81-92
11. ASHRAE Handbook—Fundamentals (SI Edition) (2017). chapter 17 residential cooling and heating load calculations. pp. 17.1-17.6
12. สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (2558). แผนแม่บทการพัฒนาระบบโครงข่ายสมาร์ทกริดของประเทศไทย พ.ศ. 2558-2579. retrieved at Feb. 9, 2018, <http://www.Eppo.go.th/index.php/th/electricity/smartgrid/mainplan>.