

ศักยภาพการประหยัดพลังงานในเครื่องทำน้ำเย็นรูปแบบต่าง ๆ ในอาคารปรับอากาศที่มีอยู่เดิม

Energy Saving Potential of Various Water Chillers in Existing Air-Conditioner Building

ชลตต ประเทืองสุขพงษ์^{1,*} และ อภิชาติ เทอดโยธิน²

Chonlatos Pratuengsukpong and Apichit Therdyothin

^{1,2}สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงาน สิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

Division of Energy Management Technology, School of Energy, Environment and Materials

King Mongkut's University of Technology Thonburi

126 Pracha Uthit Rd., Bang mod, Thung Khru, Bangkok, 10140

*E-mail : Chonlatos.pra@gmail.com, Tel : 0-2470-8633, Fax : 0-2470-8635

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีอาคารเก่าจำนวนมากที่ต้องการลดการใช้พลังงานลงโดยไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานของคนในอาคาร อาคารที่ทำการศึกษามีอายุกว่า 17 ปี ก็มีความต้องการที่จะอนุรักษ์พลังงานโดยมาตรการที่ทางอาคารสนใจคือการเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็น อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเครื่องทำน้ำเย็นมี 3 ประเภท ได้แก่ Fixed Speed Chiller, Variable Speed Drive Chiller และ Magnetic Bearing Oil Free Chiller ซึ่งทั้ง 3 ประเภท มีค่าประสิทธิภาพพลังงานและมีราคาที่แตกต่างกัน ทำให้การตัดสินใจในการลงทุนจะต้องพิจารณาอย่างถี่ถ้วนจึงจะได้ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด เนื่องจากอาคารที่ทำการศึกษาคืออาคารที่ใช้งานมานาน มีลักษณะการใช้งานที่ผิดไปจากเดิมเมื่อครั้งออกแบบไว้ค่อนข้างมาก สภาพการใช้งานจึงไม่เหมาะสมกับอุปกรณ์ของอาคาร การจะประเมินผลการประหยัดพลังงานได้อย่างแม่นยำนั้น จึงต้องรู้สภาพการใช้พลังงานในปัจจุบันเสียก่อน ในการศึกษาครั้งนี้จะทำการตรวจวัดการใช้พลังงาน 7 วัน เพื่อหาสัดส่วนการใช้พลังงาน จากนั้นจึงนำมาคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นในอดีตโดยอ้างอิงจากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของพื้นที่ทั้งหมดปีของ 2558 ส่วนปริมาณอากาศระบายที่เข้าอาคารจะใช้วิธีการวัดความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในอาคาร เพื่อนำมาคำนวณหาปริมาณอากาศระบายในแต่ละโซน จากนั้นจะใช้โปรแกรม Energy Plus มาจำลองหาภาระการทำความเย็นในอาคารรายชั่วโมงตลอดปี 2558 โดยเปรียบเทียบค่าภาระการทำความเย็นและค่าพลังงานไฟฟ้ารายเดือนที่ได้จากแบบจำลองกับค่าที่ได้จากข้อมูลจริงซึ่งความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ 10% จึงถือได้ว่าแบบจำลองดังกล่าวเป็นแบบจำลองกรณีฐาน เมื่อวิเคราะห์หาผลการประหยัดพลังงานและความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นเป็นชนิดและขนาดที่เหมาะสม ตามสมมติฐานการปรับปรุงทั้ง 4 กรณี ผลการศึกษาพบว่า เครื่องทำน้ำเย็นที่ให้ผลการประหยัดพลังงานดีที่สุดในทุกกรณีคือ Magnetic Bearing Chiller, VSD Chiller และ Fixed Speed Chiller ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเครื่องทำน้ำเย็นที่ให้ระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายในดีที่สุด คือ Magnetic Bearing Chiller (สำหรับกรณีที่ 1, 3 และ 4) และ VSD Chiller (สำหรับกรณีที่ 2)

ABSTRACT

Recently, implementing energy saving measure without affecting usability of building has been an issue for old building. The existing building, in this study, built over 17 years, also desires to save its energy consumption by changing chiller. In recent year, there are 3 types of chiller: Fixed Speed Chiller, Variable Speed Drive Chiller and Magnetic Bearing Oil Free Chiller. In order to maximize its investment to be economically worthwhile, it has to consider all perspectives in consequence of different price and efficiency of chiller, also the age of existing building causing its usability has been diverged from building's norm which may not be proper for energy saving evaluation. To be accurate, we need to be aware of recent energy consumption condition. In this study, we determine 7-days energy consumption of the building to measure ratio of energy consumption. Then, we calculate chiller's energy consumption in the past subjected to overall area's energy consumption in 2015. Ventilation flow rate is going to be measured by carbon dioxide intensity in the building for estimating ventilation flow in each building's zones. Therefore, Energy Plus will be applied for modeling hourly cooling load throughout 2015. By comparing cooling load and monthly energy consumption from model with their actual data and error is less than 10 percent, the model, thus, will be set as base case. According to energy saving evaluation along with economic value for changing proper chiller in each types, we found that, among 4 cases, then chiller which has the highest energy saving efficiency in all cases is Magnetic Bearing Chiller, VSD Chiller and Fixed Speed Chiller respectively. Furthermore, in the investment perspective: The best chiller for cost recovery and return of investment are Magnetic Bearing Chiller (case 1,3 and 4) and VSD Chiller (case 2).

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีอาคารเก่าจำนวนมากที่ต้องการลดการใช้พลังงานลงโดยไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งานของคนในอาคาร อาคารที่ทำการศึกษามีอายุกว่า 17 ปี ก็มีความต้องการที่จะอนุรักษ์พลังงานเช่นกัน มาตรการที่ทางอาคารสนใจคือ การเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็น เนื่องจากเป็นอุปกรณ์เครื่องกลที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดในอาคารสำนักงาน อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเครื่องทำน้ำเย็นมี 3 ประเภท ได้แก่ Fixed Speed Chiller, Variable Speed Drive Chiller และ Magnetic Bearing Oil Free Chiller ซึ่งทั้ง 3 ประเภท มีค่าประสิทธิภาพพลังงานและมีราคาที่แตกต่างกัน ทำให้การตัดสินใจในการลงทุนจะต้องพิจารณาอย่างถี่ถ้วนจึงจะได้ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์มากที่สุด ในการศึกษารุ่นนี้จะใช้โปรแกรม Energy Plus ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ถูกผลิตขึ้นโดยกระทรวงพลังงานของสหรัฐอเมริกา [1] มาจำลองหาภาระการทำความเย็นในอาคารรายชั่วโมง จากนั้นจึงวิเคราะห์หาผลการประหยัดพลังงานจากการเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นเป็นชนิดและขนาดที่เหมาะสม

โปรแกรม Energy Plus ถูกนำมาใช้ในการวิจัยอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีความน่าเชื่อถือ เช่น Kemal

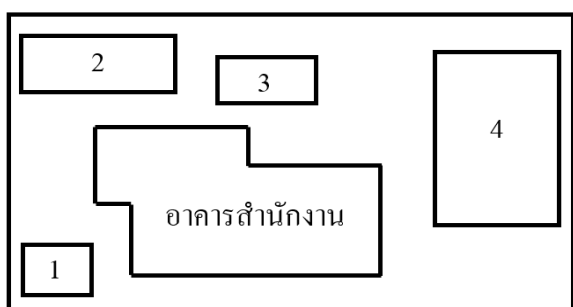
Özgen Bİrol [2] ใช้โปรแกรม Energy Plus วิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงานจากการเปลี่ยนกรอบอาคารมาใช้วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม Xin Zhou, Tianzhen Hong, Da Yan [3] ทำการศึกษาเปรียบเทียบการใช้โปรแกรมจำลองการใช้พลังงานของระบบ HVAC ภายในอาคารหลายโปรแกรม ผลการศึกษาพบว่าโปรแกรม Energy Plus มีความสามารถในการประมวลผลระบบ HVAC ที่ซับซ้อนได้ดี Mangesh Basarkar, Xiufeng Pang, Liping Wang, Philip Haves, Tianzhen Hong [4] ทำการศึกษาความผิดพลาดที่เกิดจากการสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานของระบบ HVAC ด้วยโปรแกรม Energy Plus เมื่อเทียบกับค่าที่วัดได้ ผลการศึกษาพบว่า ความผิดพลาดเกิดจากชุดควบคุมอุณหภูมิไม่แม่นยำ ช่องลมอากาศบริสุทธิ์รั่ว ท่อน้ำเย็นอุดตัน แผงคอยล์อุดตัน ตามลำดับ Mitchell Ryan Bible [5] ทำการศึกษาการใช้พลังงานของอาคารแห่งหนึ่งโดยใช้โปรแกรม Energy Plus เพื่อหาแนวทางการลดการใช้พลังงานในระบบ HVAC ผลการศึกษาพบว่า สำหรับประเทศภูมิอากาศร้อนชื้น การลดปริมาณอากาศระบายให้เหลือขั้นต่ำตามมาตรฐาน ASHRAE สามารถประหยัดพลังงานได้มากที่สุด

2. ขั้นตอนการศึกษา

การปรับปรุงการใช้พลังงานของอาคารที่มีอยู่แล้วนั้น ต้องรู้สภาพการใช้พลังงานในปัจจุบันเสียก่อน เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างเป็นแบบจำลองกรณีฐานในการพิจารณาผลการประหยัดพลังงานเมื่อมีการปรับปรุงต่อไป ขั้นตอนการดำเนินการจึงเป็นดังนี้

2.1 กำหนดกรอบพื้นที่ศึกษา

ภายในพื้นที่ทั้งหมด ประกอบไปด้วย 5 อาคารดังรูปที่ 1 แต่การศึกษาจะพิจารณาเฉพาะอาคารสำนักงาน เนื่องจากมีระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ อาคารสำนักงานนี้ยังแบ่งการใช้ระบบปรับอากาศออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ที่ใช้เครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งทำความเย็นให้แก่พื้นที่สำนักงานจำนวน 6,400 ตารางเมตร และเครื่องปรับอากาศชนิดควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งใช้ในพื้นที่ Data Center จำนวน 1,920 ตารางเมตร แต่เนื่องจากการศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นการปรับปรุงการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น ดังนั้นเพื่อความแม่นยำในการศึกษาจึงตัดพื้นที่ Data Center ออก และเรียกพื้นที่ที่เหลืออยู่ในอาคารที่ทำการศึกษาว่า “พื้นที่ศึกษา”



รูปที่ 1 อาคารต่างๆ ภายในพื้นที่ทั้งหมด

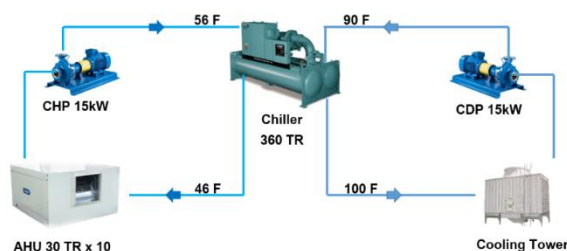
2.2 ดำรวจข้อมูลเบื้องต้นของอาคารที่ทำการศึกษา

การสำรวจข้อมูลอาคารประกอบด้วย สำรวจข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (ปี 2558) ข้อมูลระบบไฟฟ้า ข้อมูลระบบปรับอากาศ ตารางการใช้งาน กรอบอาคาร และจำนวนผู้ใช้อาคาร มีรายละเอียดเบื้องต้นดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดเบื้องต้นของอาคารกรณีศึกษา

รายการสำรวจ	ข้อมูลการสำรวจ
ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า	ประเภทที่ 2.1 กิจการขนาดเล็ก แรงดัน 24 kV อัตราค่าไฟฟ้าแบบปกติ
พื้นที่ใช้สอยทั้งหมด	16,576 ตารางเมตร
พื้นที่ปรับอากาศ	6,400 ตารางเมตร
พื้นที่ไม่ปรับอากาศ (ที่จอดรถ)	8,256 ตารางเมตร
จำนวนชั้น	6 ชั้น
ความสูงอาคาร	23 เมตร
ชนิดผนัง	อิฐบล็อก ฉาบปูน 2 หน้า หนา 15 ซม. [U = 2.25 W/m ² C]
ชนิดกระจก	กระจกใส หนา 6 มม. [U = 5.68 W/m ² C]
ชนิดหลังคา	คอนกรีต หนา 25 ซม. มีฝ้ายิปซัม [U = 2.65 W/m ² C]
จำนวนผู้ใช้อาคาร	239 คน
ไฟฟ้าแสงสว่าง	63,222 วัตต์

ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์จะทำน้ำเย็นจาก Chiller Plant เพื่อจ่ายน้ำเย็นไปยัง AHU แต่ละชั้น ชั้นละ 2 ตัว โดยจ่ายน้ำเย็นที่อุณหภูมิ 46°F กลับที่ 56°F ด้วยเครื่องสูบน้ำเย็น AHU จะทำความเย็นในโซนพื้นที่สำนักงาน ชั้น 1-5 (Zone 1A-5A) ทำงานวันจันทร์ถึงศุกร์ เวลา 7.30-15.30 น. ปิดพักเที่ยงเวลา 12.00-13.00 น. โดยมีแผนผังวงจรดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังวงจรระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

2.3 การตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มข้นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

การตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ภายในพื้นที่ศึกษา มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานคุณภาพอากาศภายใน (อุณหภูมิ 23-25 °C, ความชื้น 50-60 %RH, 600 ppm < CO₂ < 1030 ppm) [6,7] ซึ่งผลการตรวจวัดพบว่า อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน จากนั้นนำผลการตรวจวัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มาคำนวณหาปริมาณอากาศระบายที่เกิดขึ้นจริงในปัจจุบัน โดยใช้สมการที่ (1) ในการคำนวณ

- $$CFM_{mix}C_{mix} = CFM_pC_p + CFM_{oa}C_{oa} \quad (1)$$
- C_{oa} คือ ความเข้มข้นของ CO₂ อากาศภายนอก (400 ppm)
 - C_{mix} คือ ความเข้มข้นของ CO₂ ภายในโซน (ได้จากการตรวจวัด)
 - C_p คือ ความเข้มข้นของ CO₂ จากการหายใจออกของคน (42,000 ppm)
 - CFM_p คือ ปริมาณอากาศที่คนหายใจออก (0.318 CFM/คน)

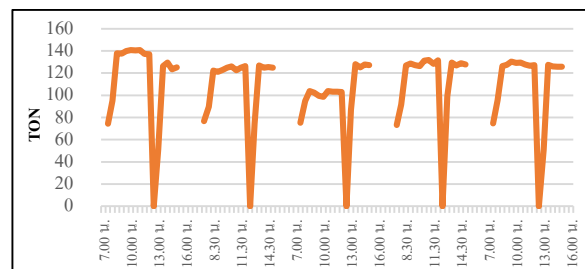
จะสามารถคำนวณหา ปริมาณอากาศภายนอกที่เข้ามาในโซนได้ (CFM_{oa}) ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

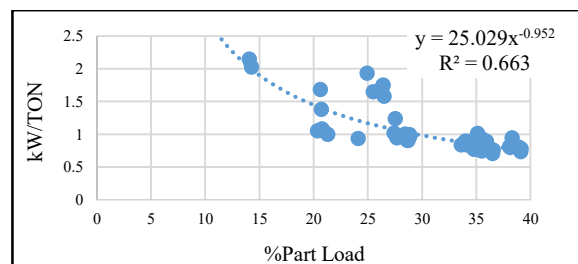
โซน	ค่าที่ได้จากการวัด			จำนวนคน	ปริมาณอากาศระบาย (CFM)
	อุณหภูมิ	ความชื้น	CO ₂		
	°C	% RH	ppm		
1A	23.9	55	566	47	3,731
2A	23.6	53.4	531	43	4,329
3A	24.6	57.4	578	56	4,144
4A	24.7	59.2	728	38	1,521
5A	25.6	50.4	540	55	5,180
				รวม	18,905

2.4 การตรวจวัดภาระการทำงานจริงของเครื่องทำน้ำเย็นปัจจุบัน

วัตถุประสงค์ของการตรวจวัดภาระการทำงานจริงของเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้ในปัจจุบัน 5 วันทำการ (Fixed Speed 360 Ton, อายุ 19 ปี ผลิตปี พ.ศ.2540) เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพของเครื่องจากการใช้งานจริง และเพื่อตรวจสอบว่าภาระการทำงานจริงของเครื่องมีความเหมาะสมกับขนาดเครื่องที่เป็นอยู่หรือไม่ นอกจากนี้ภาระการทำงานจริงของช่วงเวลาที่ทำการตรวจวัดจะนำไปเปรียบเทียบกับภาระการทำงานที่ได้จากแบบจำลอง ผลการตรวจวัดพบว่า เครื่องทำน้ำเย็นในปัจจุบันมีขนาดใหญ่เกินจริงไปมาก เนื่องจากในระหว่างการตรวจวัดภาระการทำงานจริงส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 120-140 ตัน (ดังรูปที่ 3) ส่วนประสิทธิภาพพลังงานตลอดการใช้งาน 5 วันส่วนใหญ่มากกว่า 0.7 kW/Ton เป็นเพราะเครื่องทำน้ำเย็น ทำงานที่สภาวะ Part Load ตลอดเวลา ประกอบกับมีอายุการใช้งานยาวนาน (ดังรูปที่ 4)



รูปที่ 3 ผลการตรวจวัดภาระการทำงานจริงของพื้นที่ศึกษา 5 วันทำการ

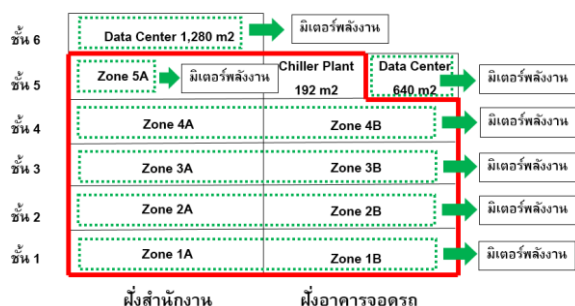


รูปที่ 4 ผลการตรวจวัดประสิทธิภาพทางพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น

2.5 การคำนวณหาค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้ารายเดือนของพื้นที่ศึกษา และเครื่องทำน้ำเย็น

วัตถุประสงค์ของขั้นตอนนี้คือต้องการหาปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นรายเดือน-รายปี 2558 เนื่องจากมิเตอร์ที่เก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าตลอดปี 2558 มีเพียงมิเตอร์ของพื้นที่ทั้งหมดเท่านั้น ไม่มีมิเตอร์เก็บข้อมูลการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นโดยตรง ดังนั้นจึงต้องประมาณจากสัดส่วนการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นต่อพื้นที่ทั้งหมด

ในขั้นตอนนี้จะตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของพื้นที่ศึกษา อาคารสำนักงาน และพื้นที่ทั้งหมด 7 วันทำการ เพื่อหาสัดส่วนค่าพลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงานต่อค่าพลังงานไฟฟ้าของพื้นที่ทั้งหมด และสัดส่วนค่าพลังงานไฟฟ้าของพื้นที่ศึกษาต่อค่าพลังงานไฟฟ้าของอาคารสำนักงาน การเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้ามาจาก 3 ส่วน ได้แก่ มิเตอร์พื้นที่รวม มิเตอร์พลังงาน (ดังรูปที่ 5) และการใช้ Power Meter



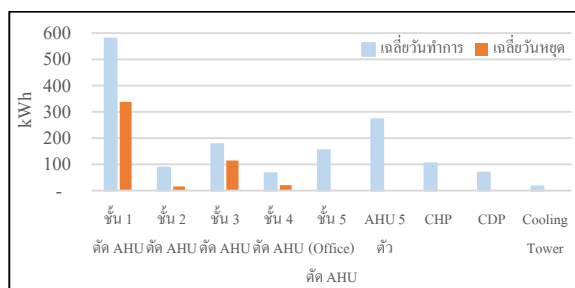
รูปที่ 5 มิเตอร์พลังงานที่ติดตั้งภายในอาคารสำนักงาน

Power Meter ใช้ตรวจวัดการใช้พลังงานของ CDP, CHP, Cooling Tower และ AHU ซึ่งจะตรวจวัดเพียง 1 วัน เนื่องจากอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านี้ไม่ได้ติดตั้ง VSD เพื่อลดรอบการทำงานในช่วง Part Load ดังนั้นการใช้พลังงานในแต่ละวันจึงคงที่ (68, 103, 16 และ 272 kWh ตามลำดับ) ดังรูปที่ 6 ส่วนการตรวจวัดการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น จะตรวจวัด 5 วัน เนื่องจากการใช้พลังงานจะแปรเปลี่ยนไปตามภาระการทำความเย็นในแต่ละวัน จากนั้นนำค่าที่วัดได้มาคำนวณหา

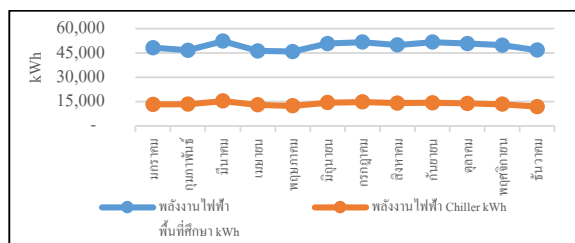
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของพื้นที่ทั้งหมด อาคารสำนักงาน และพื้นที่ศึกษา ซึ่งได้สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าดังนี้

อาคารสำนักงาน พื้นที่ทั้งหมด	วันทำการ = 49.1%
อาคารสำนักงาน พื้นที่ทั้งหมด	วันหยุด = 50.0%
พื้นที่ศึกษา อาคารสำนักงาน	วันทำการ = 53.0%
พื้นที่ศึกษา อาคารสำนักงาน	วันหยุด = 52.0%

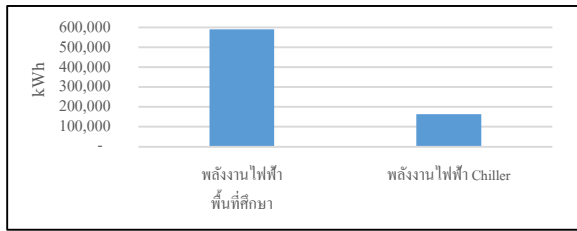
นำสัดส่วนค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้ มาคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้ารายเดือน-รายปี 2558 ของอาคารสำนักงาน และพื้นที่ศึกษา โดยอ้างอิงจากพลังงานไฟฟ้าของพื้นที่ทั้งหมดปี 2558 จากนั้นนำค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าคงที่ (รูปที่ 6) มาหักออกจากพลังงานไฟฟ้าของพื้นที่ศึกษา จะได้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นรายเดือน-รายปี 2558 ดังรูปที่ 7 และ 8



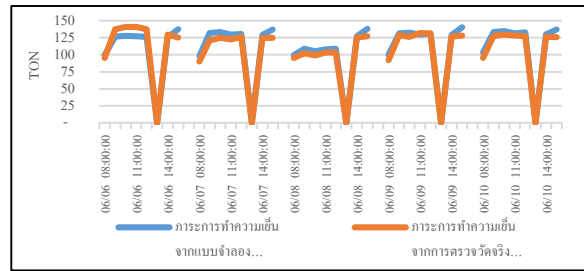
รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยพลังงานไฟฟ้าคงที่ภายในพื้นที่ศึกษา



รูปที่ 7 ปริมาณพลังงานไฟฟ้ารายเดือนของพื้นที่ศึกษา และเครื่องทำน้ำเย็น



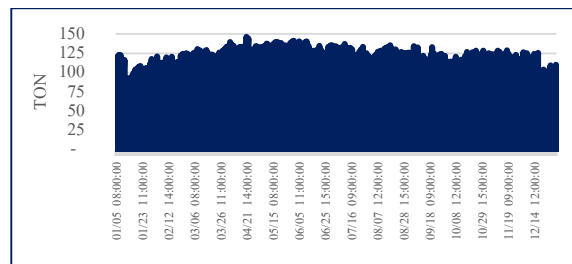
รูปที่ 8 ปริมาณพลังงานไฟฟ้ารายปีของพื้นที่ศึกษา และเครื่องทำน้ำเย็น



รูปที่ 9 เปรียบเทียบภาระการทำความเย็นของพื้นที่ศึกษาที่ได้จากแบบจำลอง กับการตรวจวัด 5 วัน

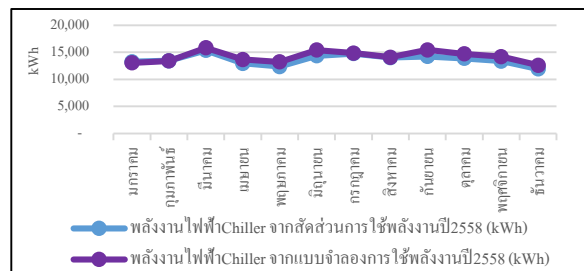
2.6 สร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อหากรณีฐาน

ขั้นตอนนี้ทำการสร้างแบบจำลองอาคารด้วยโปรแกรม Energy Plus ข้อมูลที่ต้องใส่ประกอบด้วยสถานที่ตั้งอาคาร กรอบอาคาร แสงสว่าง ปริมาณอากาศระบาย ตารางการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ จำนวนผู้ใช้งาน และข้อมูลสภาพอากาศรายชั่วโมงปี 2558 จากนั้นนำมาคำนวณหาภาระการทำความเย็นของพื้นที่ศึกษารายชั่วโมงตลอดปี 2558 อย่างไรก็ตามเพื่อความแม่นยำได้ทำการเปรียบเทียบภาระการทำความเย็นที่ได้จากแบบจำลองกับภาระการทำความเย็นที่ได้จากการวัดจริงในข้อ 2.4 (ดังรูปที่ 9) พบว่า ค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนของภาระการทำความเย็นที่ได้จากแบบจำลองแตกต่างจากค่าวัดจริง 5.8% ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ตั้งไว้ (10%) ดังนั้นจึงสามารถนำแบบจำลองดังกล่าวไปหาค่าภาระการทำความเย็นตลอดปี 2558 ได้ (ดังรูปที่ 10)

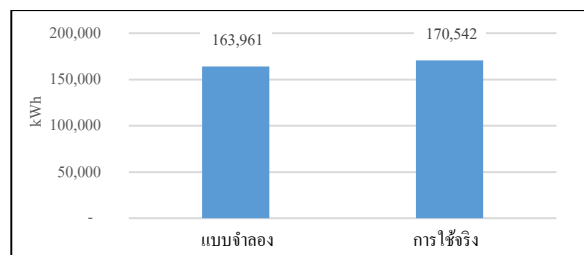


รูปที่ 10 ภาระการทำความเย็นของพื้นที่ศึกษารายชั่วโมงตลอดปี 2558

นำภาระการทำความเย็นที่ได้จากแบบจำลองและประสิทธิภาพทางพลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นจากการตรวจวัดจริง มาคำนวณหาปริมาณการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น โดยค่าพลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นที่ได้ในขั้นตอนนี้จะนำไปเปรียบเทียบกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่คำนวณได้จากการประเมินในข้อ 2.5 (ดังรูปที่ 11 และ 12) ผลการเปรียบเทียบพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนรายเดือนและรายปีมีค่าน้อยกว่าเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ตั้งไว้ (10%) ดังนั้นแบบจำลองชุดนี้จึงถือว่าเป็นแบบจำลองกรณีฐานเพื่อใช้ในการจำลองการปรับปรุงต่อไปได้



รูปที่ 11 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้ารายเดือนของเครื่องทำน้ำเย็นที่ได้จากแบบจำลองกับการใช้จริง ปี 2558



รูปที่ 12 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้ารายปีของเครื่องทำน้ำเย็นที่ได้จากแบบจำลองกับการใช้จริง ปี 2558

3. ผลการศึกษาและวิเคราะห์

3.1 สมมุติฐานในการปรับปรุง

นำแบบจำลองกรณีฐานที่ได้จากข้อ 2.6 มาวิเคราะห์หาขนาดเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสม จากนั้นคำนวณผลประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นเครื่องเดิมเป็นเครื่องทำน้ำเย็นขนาดใหม่ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ Fixed Speed Chiller, VSD Chiller และ Magnetic Bearing Chiller จากสมมุติฐานการปรับปรุงทั้ง 4 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 : ปริมาณอากาศระบายต่อโซนเท่าเดิมและจำนวนคนเท่าเดิม เป็นการสมมุติว่าพื้นที่ศึกษานี้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆเลย

กรณีที่ 2 : ปริมาณอากาศระบายต่อโซนใหม่และจำนวนคนเท่าเดิม เป็นการสมมุติว่าพื้นที่ศึกษานี้ดำเนินการลดปริมาณอากาศระบายโดยคำนวณตามมาตรฐานขั้นต่ำตามที่ ASHRAE แนะนำ [8] โดยยังคงมีจำนวนคนเท่าเดิม

กรณีที่ 3 : ปริมาณอากาศระบายต่อโซนใหม่และจำนวนคนใหม่ เป็นการสมมุติว่าพื้นที่ศึกษานี้ดำเนินการปรับปรุงปริมาณอากาศระบายโดยคำนวณตามมาตรฐานขั้นต่ำตามที่ ASHRAE แนะนำ [8] เมื่อความหนาแน่นคนเพิ่มขึ้นเป็น 1 คน/10 ตร.ม.

กรณีที่ 4 : ปริมาณอากาศระบายต่อโซนเท่าเดิมและจำนวนคนใหม่ เป็นการสมมุติว่าพื้นที่ศึกษานี้ไม่ปรับปรุงปริมาณอากาศระบาย และยังมีการเพิ่มจำนวนคน โดยความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเป็น 1 คน/10 ตร.ม.

3.2 ผลการประหยัดพลังงานจากการปรับปรุง

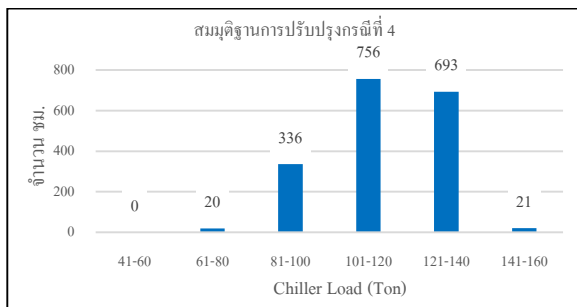
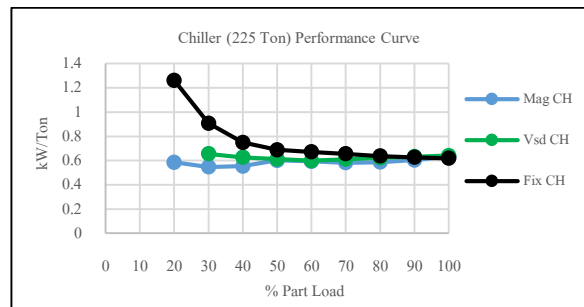
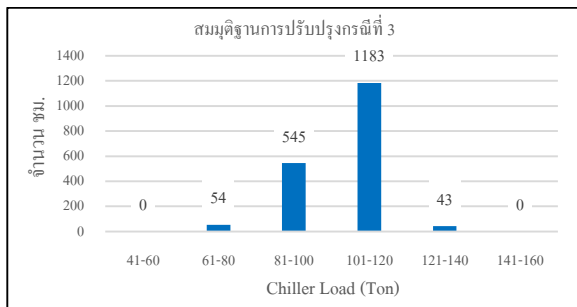
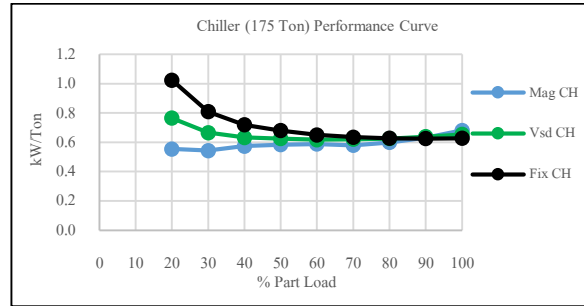
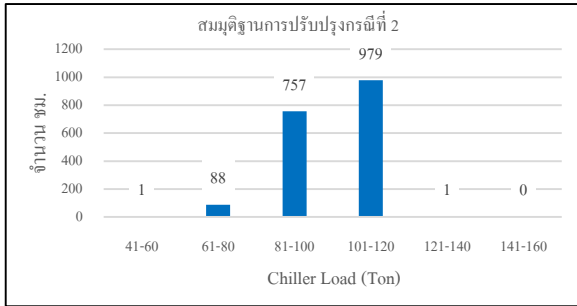
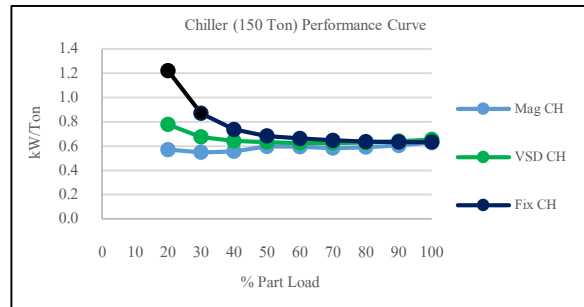
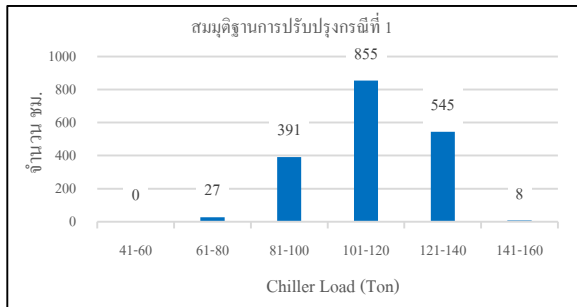
จากการศึกษาพบว่า ปริมาณอากาศระบายที่ลดลงสามารถลดภาระการทำความเย็นลงได้มาก ส่วนการเพิ่มจำนวนคนส่งผลให้ภาระการทำความเย็นเพิ่มขึ้น ในกรณีที่ 2 ได้คำนวณปริมาณอากาศระบายตามมาตรฐาน ASHRAE ทำให้ทราบว่าในปัจจุบัน อาคารมีปริมาณอากาศระบายมากเกินไป ซึ่งหากลดปริมาณอากาศระบายได้ จะส่งผลให้ Load Profile ตลอดทั้งปีต่ำลง (ดังรูปที่

13) ภาระการทำความเย็นสูงสุดลดลง การเลือกขนาดเครื่องทำน้ำเย็นจึงลดลง (ดังตารางที่ 3)

การเลือกเครื่องทำน้ำเย็นจะเลือกตามภาระการทำความเย็นสูงสุดที่เกิดขึ้นในปี 2558 โดยจะเผื่อขนาดไว้ประมาณ 10% อย่างไรก็ตามการเลือกเครื่องทำน้ำเย็นต้องเลือกขนาดตามที่มีขายในท้องตลาด ซึ่งเครื่องทำน้ำเย็นแต่ละขนาด และแต่ละชนิด ก็ให้ประสิทธิภาพทางพลังงานแตกต่างกันออกไป ดังรูปที่ 14

โดยปกติอาคารสร้างใหม่จะเลือกขนาดเครื่องทำน้ำเย็น โดยอาศัยการประเมินภาระการทำความเย็นสูงสุดที่อุณหภูมิอากาศภายนอก $35.7^{\circ}\text{C}_{\text{db}} / 26.4^{\circ}\text{C}_{\text{wb}}$ (ตามมาตรฐาน วสท.) [6] ซึ่งทำให้ได้เครื่องทำน้ำเย็นที่มีขนาดใหญ่กว่าการใช้งานจริงไปมาก ดังตารางที่ 4

เมื่อพิจารณาผลการประหยัดพลังงานจากการปรับปรุงในแต่ละกรณี (ดังตารางที่ 5) จะพบว่า ทุกๆกรณี Magnetic Bearing Chiller ให้ผลประหยัดมากที่สุด รองลงมาเป็น VSD Chiller และ Fixed Speed Chiller ตามลำดับ สาเหตุที่ Magnetic Bearing Chiller ให้ผลการประหยัดพลังงานสูงสุดเป็นเพราะ การใช้งานจริงเครื่องทำน้ำเย็นจะทำงานที่ Part Load เป็นส่วนใหญ่ (ดัง Load Profile รูปที่ 14) ซึ่งในช่วง Part Load นี้ Magnetic Bearing Chiller มีประสิทธิภาพทางพลังงานดีกว่าเครื่องทำน้ำเย็นชนิดอื่นๆ ดังนั้นจึงให้ผลการประหยัดพลังงานดีที่สุดในทุกๆกรณี



รูปที่ 14 ประสิทธิภาพทางพลังงานทุก 10% Load ของเครื่องทำน้ำเย็นแต่ละขนาดที่มีขายตามท้องตลาด

รูปที่ 13 Load Profile ของเครื่องทำน้ำเย็นกรณีที่ 1-4

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบขนาดเครื่องทำน้ำเย็นที่เลือกระหว่างการเลือกโดยอ้างอิงการใช้งานจริง กับตามมาตรฐาน วสท.

ตารางที่ 3 ขนาดเครื่องทำน้ำเย็นที่เลือกในแต่ละกรณี

กรณี	จำนวนคน	ปริมาณอากาศระบาย (CFM)	Peak Load ปี 2558 (TON)	เลือกเครื่องทำน้ำเย็น (TON)
1	239	18,905	146	175
2	239	5,500	120	150
3	450	6,500	125	150
4	450	18,905	149	175

กรณี	เลือกตามการใช้งานจริง		เลือกตามมาตรฐานวสท.	
	Peak Load (TON)	เลือกขนาด (TON)	Peak Load (TON)	เลือกขนาด (TON)
1	146	175	216.6	225
2	120	150	157.4	150
3	125	150	170.5	175
4	149	175	224.4	225

ตารางที่ 5 ผลการประหยัดพลังงานในแต่ละกรณี

กรณี	% ผลการประหยัดพลังงาน			
	Chiller ชุดเดิม	Fixed Speed Chiller	VSD Chiller	Magnetic Bearing Chiller
1	0.0%	-28.7%	-34.4%	-38.8%
2	-1.8%	-39.2%	-41.6%	-45.2%
3	-1.1%	-35.7%	-39.4%	-42.7%
4	0.3%	-30.9%	-33.1%	-37.0%

3.3 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

ในขั้นตอนนี้จะวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลงทุนเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นทั้ง 3 ประเภท แต่ละกรณี โดยพิจารณาตัวแปรทางการเงิน ได้แก่ ระยะเวลาคืนทุน (Simple Payback Period) และอัตราผลตอบแทนภายใน (IRR) เพื่อเลือกชนิดเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสมต่อการลงทุนมากที่สุด

ต้นทุนทางการเงินประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ค่าใช้จ่ายแรกเริ่มและค่าใช้จ่ายบำรุงรักษา ซึ่งค่าใช้จ่ายแรกเริ่มประกอบด้วย ต้นทุนเครื่องทำน้ำเย็น และต้นทุนในการติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็น ส่วนค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาหมายถึง ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องน้ำเย็นตลอดอายุโครงการ ซึ่งข้อมูลค่าใช้จ่ายแรกเริ่มได้มาจากผู้ผลิตเครื่องทำน้ำเย็น และผู้บริการติดตั้ง ข้อมูลค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาได้มาจากแผนบำรุงรักษาประจำปี ส่วนข้อมูลอัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำ อัตราเงินเฟ้อ และราคาพลังงานไฟฟ้า ได้มาจากเว็บไซต์ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 7 พบว่า ในกรณีที่ 1-4 เครื่องทำน้ำเย็นที่ให้อัตราเร่งของการคืนทุนและทำกำไรได้เร็วที่สุด คือ Magnetic Bearing Chiller (สำหรับกรณีที่ 1, 3 และ 4) และ VSD Chiller (สำหรับกรณีที่ 2) เนื่องจากมีระยะเวลาคืนทุนต่ำสุด และมีค่า IRR สูงกว่าเครื่องทำน้ำเย็นชนิดอื่นๆ สาเหตุที่ Magnetic Bearing Chiller ไม่สามารถให้ค่า IRR ที่สูงกว่าเครื่องทำน้ำเย็นชนิดอื่นได้กรณีที่ 2 แม้ว่าจะมีผลการประหยัดพลังงานสูงกว่าเครื่องทำน้ำเย็นชนิดอื่น เป็นเพราะต้นทุนราคาเครื่องที่สูงกว่ามาก

ตารางที่ 6 ข้อมูลทางการเงิน

ค่าใช้จ่ายแรกเริ่ม	ต้นทุน (บาท)	หมายเหตุ
Fixed Speed Chiller 150 Ton	1,950,000	
Fixed Speed Chiller 175 Ton	2,200,000	
VSD Chiller 150 Ton	2,200,000	
VSD Chiller 175 Ton	2,500,000	
Magnetic Bearing Chiller 150 Ton	4,251,000	PM ฟรี 5 ปี
Magnetic Bearing Chiller 175 Ton	4,625,000	PM ฟรี 5 ปี
งานติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็น	452,400	
เปลี่ยนน้ำมันคอมเพลสเซอร์ ขนาด 150 Ton	25,000	บาท/ปี
เปลี่ยนน้ำมันคอมเพลสเซอร์ ขนาด 175 Ton	32,500	บาท/ปี
Oil & Refrigerant Filter	40,000	บาท/ปี
ค่าล้าง Tube	60,000	บาท/ปี
ค่าตรวจเช็คประจำปี	35,000	บาท/ปี
ค่า Sensor & Capacitor ของ Magnetic Bearing Chiller 150 Ton	425,100	บาท/10ปี
ค่า Sensor & Capacitor ของ Magnetic Bearing Chiller 175 Ton	462,500	บาท/10ปี
อัตราเงินเฟ้อ [9]	4.00%	
ค่าของเงินปีละ	4.00%	
ค่าแรงขึ้นปีละ	5.00%	
ดอกเบี้ยเงินฝากประจำ [10]	2.00%	
อัตราเพิ่มขึ้นของราคาไฟฟ้า	5.00%	
ค่าไฟฟ้าที่ 0 [11]	3.91	บาท
อัตราดอกเบี้ยโครงการ*	4.26%	
อายุโครงการ	20	ปี

ตารางที่ 7 ผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์เมื่อมีการปรับปรุงตามกรณีที่ 1-4

กรณี	Chiller Type	Simple Payback Period	IRR
1	Fixed Speed Chiller 175 Ton	ไม่คืนทุน	-6.7%
	VSD Chiller 175 Ton	ไม่คืนทุน	-2.0%
	Magnetic Bearing Chiller 175 Ton	19.5	0.4%
2	Fixed Speed Chiller 150 Ton	15.5	3.4%
	VSD Chiller 150 Ton	15.0	3.8%

กรณี	Chiller Type	Simple Payback Period	IRR
	Magnetic Bearing Chiller 150 Ton	15.3	3.6%
3	Fix Speed Chiller 150 Ton	18.2	1.3%
	VSD Chiller 150 Ton	16.4	2.6%
	Magnetic Bearing Chiller 150 Ton	16.3	2.8%
4	Fixed Speed Chiller 175 Ton	ไม่คืนทุน	-4.2%
	VSD Chiller 175 Ton	ไม่คืนทุน	-2.9%
	Magnetic Bearing Chiller 175 Ton	20.0	0.0%

*เนื่องจากการคาดการณ์เงินชุดหนึ่งที่ต้องเปลี่ยนแปลงในเวลาใดๆในอนาคต จะต้องกำหนดอัตราดอกเบี้ยและอัตราผลตอบแทนให้อยู่ในช่วงเวลาเดียวกับอัตราเงินเฟ้อ และจะต้องนำอัตราเงินเฟ้อมาปรับค่าอัตราดอกเบี้ยด้วย (ดังสมการที่ 2) ซึ่งในที่นี้แทนอัตราดอกเบี้ยด้วยอัตราดอกเบี้ยเงินฝาก เนื่องจากหากมีการลงทุนเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็น ทางอาคารจะลงทุนด้วยเงินตัวเอง

$$\text{ดอกเบี้ยโครงการ} = (1+i)(1+f) - 1 \quad (2)$$

โดยที่ i = อัตราเงินเฟ้อ

f = อัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำ

$$\begin{aligned} \text{ดอกเบี้ยโครงการ} &= (1+0.04)(1+0.02) - 1 \\ &= 0.0608 \text{ (6.08\%)} \end{aligned}$$

4. สรุป

จุดเด่นของการวิเคราะห์ผลการประหยัดพลังงานของอาคารเก่าคือผู้สภาพการใช้งาพลังงานจริง จึงสามารถออกแบบระบบได้เหมาะสมกับการใช้งาน ต่างจากอาคารสร้างใหม่ที่ใ้ใช้การประเมินเพียงอย่างเดียว ทำให้การออกแบบระบบต้องเผื่อขนาดไว้มาก อย่างไรก็ตามข้อเสียของอาคารเก่าคือ ไม่สามารถทำการปรับปรุงได้หลากหลายมากนัก เนื่องด้วย

ข้อจำกัดด้านพื้นที่ จากการศึกษาอาคารเก่าแห่งนี้พบว่า เครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้ในปัจจุบันมีขนาดใหญ่เกินไปมาก และมีปริมาณอากาศระบายเข้ามาเกินกว่าที่มาตรฐาน ASHRAE แนะนำ ในการปรับปรุงตามสมมุติฐานทั้ง 4 กรณี จะมุ่งเน้นไปยังการปรับปริมาณอากาศระบาย และจำนวนคน จากนั้นจึงหาขนาดเครื่องทำน้ำเย็นที่เหมาะสมในแต่ละกรณี ผลการศึกษาพบว่า เครื่องทำน้ำเย็นที่ให้ผลการประหยัดพลังงานดีที่สุดในทุกกรณีคือ Magnetic Bearing Chiller เนื่องจากการใช้งานจริงเครื่องทำน้ำเย็นจะทำงานที่ Part Load เป็นหลัก ซึ่ง Magnetic Bearing Chiller มีประสิทธิภาพทางพลังงานในช่วง Part Load ดีกว่าเครื่องทำน้ำเย็นชนิดอื่น อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พบว่า เครื่องทำน้ำเย็นที่มีระยะเวลาคืนทุนและอัตราผลตอบแทนภายในดีที่สุดคือ Magnetic Bearing Chiller (สำหรับกรณีที่ 1, 3 และ 4) และ VSD Chiller (สำหรับกรณีที่ 2) สาเหตุที่ Magnetic Bearing Chiller ไม่สามารถให้ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ดีที่สุดในทุกกรณีที่ 2 เป็นเพราะ Magnetic Bearing Chiller มีราคาสูงมาก แต่หากในอนาคตทางอาคารมีการจัดซื้อจริงซึ่งมีการแข่งขันทางด้านราคา ทำให้ราคาของ Magnetic Bearing Chiller ต่ำลงได้ ก็เป็นไปได้ ใ้ได้ว่า Magnetic Bearing Chiller อาจให้ อัตราผลตอบแทนภายในสูงที่สุดในทุกกรณี

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณการไฟฟ้านครหลวงที่อนุเคราะห์พื้นที่ในการศึกษา

เอกสารอ้างอิง

- [1] U. S. D. O. E (2003) . An Overview of Simulation and Energyplus. Available [online]: <https://energyplus.net/documentation>
- [2] Břrol, K. Ö. Design and Analysis of Energy Saving Buildings Using the Software Energyplus. Mechanical Engineering, Middle East Technical University, 2012; 182.
- [3] Zhou, T.H.X., Yan, D. Comparison of Hvac System Modeling in Energyplus, Dest and Doe-2. 1e. *Building Simulation*, 2013; 7: 21-32.

- [4] Basarkar, X. P.M. , Wang, L., Haves, P., Hong, T. Modeling and Simulation of Hvac Faults in Energyplus. Conference of International Building Performance Simulation Association, Sydney, 2011; 12: 2897-2903.
- [5] Bible, M.R. Modeling Building Energy Use and Hvac Efficiency Improvements in Extreme Hot and Humid Regions. Mechanical Engineering, Texas A&M University, 2011; 145.
- [6] สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย. มาตรฐานระบบปรับอากาศและระบายอากาศ. บริษัท โกลด์ กราฟฟิค จำกัด, 2556.
- [7] *Measuring Carbon Dioxide inside Buildings – Why Is It Important?*. Available [online]: <http://www.energy.wsu.esu>.
- [8] คุณชัย มณีวัฒนา. การคำนวณปริมาณการระบายอากาศตามมาตรฐาน ASHRAE 62.1. *สมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย*, 2558; 20: 43-63.
- [9] Available [online]: <https://www.bot.or.th>
- [10] Available [online]: <https://www.scb.co.th>
- [11] Available [online]: <http://www.mea.or.th>