การลดการใช้พลังงานของอุปกรณ์เครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ: กรณีศึกษาอาคารบริษัท บริหารสินทรัพย์ กรุงเทพพาณิชย์ จำกัด (มหาชน)

ENERGY SAVING FOR WATER COOLED CHILLERS: A CASE STUDY OF BUILDINGS IN BANGKOK COMMERICAL ASSET MANAGEMENT CO., LTD

ภูริพนธ์ ปลอดภัย[1]

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อำนาจ ผดุงศิลป์[2]

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ดำเนินการ เพื่อการลดการใช้พลังงานของอาคาร บริษัท บริหารสินทรัพย์ กรุงเทพพาณิชย์ จำกัด (มหาชน) โดยมีวัตถุประสงค์ในการวิจัย 1.) เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร 2.) เพื่อศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานกับเครื่องทำน้ำเย็น ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Chiller) 3.) วิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนเบื้องต้นเพื่อการประหยัดพลังงาน ผลการศึกษาพบว่า แนวทางวิเคราะห์การประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคาร กรณีศึกษา พร้อมสร้างมาตรการด้านการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคารควบคุม เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่สามารถแสดงผลการประหยัดได้จริง ทั้งนี้ผู้ศึกษาได้มีการติดตามผลการดำเนินการ จากการวิเคราะห์มาตรการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า ทำให้ได้มาตรการที่สามารถนำไปใช้ได้จำนวน 3 มาตรการ สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ ได้ร้อยละ 7.33 การศึกษานี้ใช้เป็นแนวทางของผู้ประกอบการ ที่สนใจแนวคิดการประหยัดพลังงาน ไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้า รวมถึงสามารถเป็นแนวทางที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรอื่น ๆ และสามารถใช้อ้างอิงเพื่อประโยชน์ในการศึกษาในด้านประหยัดพลังงานไฟฟ้า

---

[1] หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาการจัดการทางวิศวกรรม มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

[2] ที่ปรึกษาการศึกษารายบุคคลหลัก

ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

พลังงานเป็นปัจจัยหลักในการดำเนินธุรกิจทุกประเภทและราคาพลังงานในปัจจุบันก็มีความไม่แน่นอนประกอบกับสภาวะเศรษฐกิจที่กำลังถดถอยทำให้ผู้ประกอบการต้องปรับตัวกันอย่างหนัก ยิ่งยอดผลกำไรของบริษัทลดลงเท่าไรก็เป็นเหตุให้ บริษัทต้องแบกรับต้นทุนทางพลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จึงเป็นปัญหาที่ทำให้ต้นทุนของสินค้าที่เพิ่มขึ้น เป็นผลให้ราคาสินค้าขยับตัวสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้รัฐบาลจึงมีนโยบายส่งเสริมการอนุรักษ์การใช้พลังงาน โดยจัดให้มีพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 อาคารควบคุมตามกฎหมายจึงต้องมีการดำเนินมาตรการการอนุรักษ์พลังงาน ปัญหาการใช้พลังงานเกินความจำเป็นดังกล่าว เป็นปัญหาใหญ่ซึ่งมีหลายหน่วยงานได้หาวิธีการและแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่าง ๆ กันไป เช่นทำเป็นรูปแบบของการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมกับองค์กรต่าง ๆ ทั้งภาครัฐและเอกชน ซึ่งผู้ศึกษาเห็นว่าแนวทางการดำเนินการที่หลากหลายเช่นนี้น่าจะมีแนวทางที่ชัดเจนในการดำเนินการการประหยัดพลังงาน จึงเป็นที่มาของการวิจัยนี้ ที่มุ่งเน้นแสวงหาแนวทางหรือมาตรการเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบยั่งยืน

จากสถานการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงระยะ5ปีที่ผ่านมา พบว่า อาคาร บริษัท บริหารสินทรัพย์ กรุงเทพพาณิชย์ จำกัด (มหาชน) ได้ดำเนินการกำหนดมาตรการต่างๆ เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามาตลอด แต่แนวโน้มค่าพลังงานไฟฟ้ายังเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ผู้ศึกษาจึงมีความสนใจที่จะศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้า กำหนดมาตรการในการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าของอาคาร บริษัท บริหารสินทรัพย์ กรุงเทพพาณิชย์ จำกัด (มหาชน) และนำเสนอแนวทางในการวิเคราะห์และจัดการให้เกิดการประหยัดค่าพลังงาน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การศึกษานี้ผู้ศึกษาได้เข้าไปศึกษาการดำเนินกิจกรรมต่างๆ เพื่อการลดการใช้พลังงานของอาคาร บริษัท บริหารสินทรัพย์ กรุงเทพพาณิชย์ จำกัด (มหาชน) ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการวิจัย ดังนี้

1. เพื่อวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าและศึกษาแนวทางการประหยัดพลังงานกับเครื่องทำน้ำเย็น ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Chiller) เพื่อการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคาร บริษัท บริหารสินทรัพย์ กรุงเทพพาณิชย์ จำกัด (มหาชน)
2. วิเคราะห์ผลตอบแทนการลงทุนเบื้องต้นเพื่อการประหยัดพลังงาน

ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษานี้ได้วางขอบเขตการศึกษาไว้คือ การศึกษาเฉพาะตัวอุปกรณ์ทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Chiller) และดำเนินการวิเคราะห์ตัวแปรเชิงกายภาพของอุปกรณ์ การวิเคราะห์ตัวแปรเชิงกายภาพของอุปกรณ์จะดำเนินการศึกษาระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ระบายความร้อนด้วยน้ำ ซึ่งเป็นตัวอุปกรณ์หลักของระบบทำความเย็นในที่นี้ และใช้พลังงานมากที่สุดของอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศ โดยการวัดผลการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็นและเปรียบเทียบผลก่อนหลังกำหนดมาตรการการประหยัดพลังงาน ตัวอุปกรณ์ที่จะทำการวิเคราะห์เชิงปริมาณของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ที่ผู้วิจัยให้ความสนใจที่จะทำการวิจัย โดยจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

- เครื่องทำน้ำเย็น แต่ละเครื่องจะทำหน้าที่ผลิตน้ำเย็น
- ปั๊มส่งน้ำเย็นขั้นต้น แต่ละชุดทำหน้าที่ส่งผ่านน้ำเย็นเข้าสู่เครื่องทำน้ำเย็น
- ปั๊มส่งน้ำเย็นขั้นสอง แต่ละชุดทำหน้าที่ส่งผ่านน้ำเย็นสู่เครื่องส่งสมเย็น
- เครื่องส่งลมเย็น เป็นเครื่องส่งลมเย็นซึ่งจะกระจายอยู่ส่วนต่าง ๆ ตามอาคารที่ต้องการความเย็น
- หอผึ่งน้ำ เป็นหอระบายความร้อนออกจากน้ำโดยน้ำที่ได้จากหอระบายความร้อนจะไประบายความร้อนให้กับเครื่องทำน้ำเย็น
- ปั๊มส่งน้ำระบายความร้อน ใช้ในการส่งผ่านน้ำที่ระบายความร้อนแล้วให้กับเครื่องทำน้ำเย็น

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การศึกษานี้สามารถใช้เป็นแนวทางของผู้ประกอบการ ที่สนใจแนวคิดการประหยัดพลังงาน ไปประยุกต์ใช้เพื่อเป็นแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้า รวมถึงสามารถเป็นแนวทางที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับเครื่องจักรอื่น ๆ และสามารถใช้อ้างอิงเพื่อประโยชน์ในการศึกษาในด้านประหยัดพลังงานไฟฟ้า หรือการเพิ่มผลประสิทธิภาพการผลิต และเพื่อการพัฒนาระบบการบำรุงรักษาให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (กฤษณะ ธรรมมิกานนท์ และ มนต์ศักดิ์ พิมสาร, 2556) โดยทำการทดลอง 2 กรณี คือ การติดตั้งท่อสารทำความเย็นที่ความยาวต่างๆ และอุณหภูมิภายนอกที่ต่างกันออกไป ในการทดลองต้องควบคุมอุณหภูมิให้เป็นไปตาม

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศสำหรับห้องแบบแยกส่วนระบายความร้อนด้วยอากาศ (มอก.1155) หลังจากนั้นนำผลการทดลองมาวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (EER) จากผลการทดลองพบว่า ในกรณีการติดตั้งท่อสารทำความเย็นที่ความยาวต่างๆ ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพ พลังงานลดลง 6.69, 14.01 และ 17.65 % (เปรียบเทียบกับค่าความยาวท่อ 7.5 เมตร) เมื่อท่อสารทำความเย็นยาว 10, 17 และ 19 เมตร ตามลำดับ และในกรณีเมื่ออุณหภูมิภายนอกมีค่าต่างกัน ค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานเพิ่มขึ้น3.26 % (เปรียบเทียบกับค่าที่อุณหภูมิ 35 °C) ที่อุณหภูมิภายนอก 30 °C และมีค่าลดลง 15.66 และ 24.28 % (เปรียบเทียบกับค่าที่อุณหภูมิ 35 °C) ที่อุณหภูมิภายนอกเป็น 40และ 45 °C ตามลำดับ

ธนิต คล้ายอุทัย (2556) ทำการวิจัยเรื่อง การประหยัดพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ กรณีศึกษาอาคารโรงพยาบาลพระรามเก้า จากการศึกษาพบว่า มาตรการที่ไม่มีการลงทุน ได้แก่ มาตรการปรับอุณหภูมิน้ำเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น เพิ่มขึ้น 1°F สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ปีละ 96,15 kWh คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลดลง 384,701 บาท/ปี หรือลดลง 4.6% และมาตรการกำหนดเวลา เปิด-ปิด เครื่องส่งลมเย็น บริเวณโถง OPD สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ปีละ 40,565 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลดลง 162,259 บาท/ปี หรือลดล 22.05% และมาตรการที่ต้องมีการลงทุน ได้แก่ การติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นประสิทธิภาพสูงทดแทนเครื่องเดิม สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ปีละ 194,544 kWh คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลดลง 778,176 บาท/ปี หรือลดลง 25.23% ด้านมูลค่าปัจจุบันสุทธิ พบว่าการปรับเปลี่ยนติดตั้งเครื่องทำน้ำเย็นใหม่ จะมีต้นทุนต่ำกว่าแบบที่ไม่มีการปรับเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็น โดยเมื่อครบอายุโครงการปีที่ 10 จะมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิต่ำกว่า 4,787,660 บาท คิดเป็น 16.84% โดยที่การปรับเปลี่ยนเครื่องทำน้ำเย็นใหม่ จะมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 4.7 ปี ซึ่งต่ำกว่าอายุโครงการคือ 10 ปี

อาจรี ศุภสุธีกูล (2557) ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาระยะเวลาการปิดเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลกระทบในการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศเมื่อเครื่องปรับอากาศมีการทำงานและหยุดทำงานในระยะสั้น และเพื่อศึกษาหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการหยุดการทำงานของเครื่องปรับอากาศ โดยศึกษาการทำงานของเครื่องปรับอากาศจากสภาวะการทำงานจริงโดยทำการปิดเครื่องปรับอากาศในช่วงสั้นเป็นระยะเวลาต่างๆ กัน ผลการทดลองพบว่าการหยุดทำงานเครื่องปรับอากาศในระยะสั้นส่งผลให้เมื่อเปิดเครื่องทำงานอีกครั้งจะมีการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยที่สูงขึ้นพลังงานที่ใช้เพิ่มขึ้นจาก 527.07Wh เป็น 527.2Wh เมื่อมีการปิดเป็นเวลา 10 นาที เมื่อปิดเครื่องเป็นเวลา 20-35 นาที พลังงานที่ใช้มีค่าเฉลี่ยที่ 529Wh เนื่องจากในช่วงหยุดการทำงานนั้นเกิดความร้อนสะสมภายในบริเวณห้องทำให้อุณหภูมิห้องเพิ่มมากขึ้น แต่การเพิ่มของพลังงานนั้นมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับผลประหยัดจากการ

ปิดเครื่องปรับอากาศ อีกทั้งพบว่าจำนวนนาทีที่ปิดเครื่องแปรผันโดยตรงกับผลประหยัดที่ได้ สรุปได้ว่าการปิดเครื่องปรับอากาศเป็นระยะเวลาสั้นส่งผลกระทบน้อยมากต่อการเพิ่มขึ้นของพลังงานจากภาวะปกติ การอนุรักษ์พลังงานที่เหมาะสมที่สุดคือ เมื่อผู้ใช้ออกจากห้องทุกครั้งควรปิดเครื่องปรับอากาศ

วรรษา อุไรรัตน์ (2558) ทำการวิจัยเรื่อง การอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทยซึ่งมีพื้นที่ใช้สอย 26,130 ตารางเมตร คนทำงาน 2,000 คน และเวลาทำการของอาคารตั้งแต่วันจันทร์ - วันศุกร์ เวลา 08.30 - 16.30 น. การศึกษามุ่งเน้นที่ระบบปรับอากาศ และระบบไฟฟ้าแสงสว่าง โดยการรวบรวมข้อมูลรายละเอียดการใช้งานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ไฟฟ้า เพื่อหาแนวทางในการบริหารจัดการพลังงานในอาคาร เมื่อได้มาตรการอนุรักษ์พลังงานจะตรวจวัดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ก่อนการปรับปรุง เพื่อประเมินผลประหยัดพลังงาน และความคุ้มค่าในการลงทุน จากการศึกษาพบว่าอาคารใช้ระบบการจัดการพลังงาน 8 ขั้นตอนของกระทรวงพลังงาน ในปี 2558 อาคารมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 3,573,100 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นจำนวนเงินทั้งสิ้น 13,649,715 บาทต่อปี และมีดัชนีการใช้พลังงาน 136.74 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตร โดยมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าหลักอยู่ที่ระบบปรับอากาศ ร้อยละ 52 ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ร้อยละ 18 และระบบอื่นๆ ร้อยละ 30 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร ได้มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีศักยภาพรวม 6 มาตรการ ได้แก่ 1) มาตรการติดตั้ง VSD ในเครื่องสูบน้ำเย็นของเครื่องทำความเย็น 2) มาตรการติดตั้งอุปกรณ์ล้างท่อคอนเดนเซอร์อัตโนมัติโดยใช้ลูกบอล 3) มาตรการติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเพิ่มเติมในบริเวณที่มีการทำงานนอกเวลา 4) มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าจากหลอด Fluorescent เป็นหลอด LED 5) มาตรการติดฉนวนกันความร้อนใต้หลังคาอาคาร และ 6) มาตรการติดฉนวนกันความร้อนบริเวณผนังอาคาร รวมผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากทุกมาตรการเท่ากับ 644,775 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี คิดเป็นเงิน 2,463,041 บาทต่อปี มีระยะเวลาคืนทุนระหว่าง 0.34 – 15.12 ปี

กฤษเมธี โชติกรณ์ (2562) ทำการศึกษาเรื่อง การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศและประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร กรณีศึกษา กรมส่งเสริมการเกษตร (อาคาร1) การศึกษานี้มีวัตุประสงค์เพื่อทำการนำเสนอและวิเคราะห์มาตรการในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับเครื่องปรับอากาศ โดยมีมาตรการทั้งหมด 4 มาตรการคือ 1).มาตรการปิดเครื่องปรับอากาศในเวลาพักเที่ยง 12.00 – 13.00 น. 2).มาตรการปิดเครื่องปรับอากาศก่อนเลิกงาน 30 นาที 3). มาตรการตั้งอุณหภูมิที่เทอร์โมสตรัท 25 องศาเซลเซียส 4).มาตรการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศอย่างสม่ำเสมอ และทำการวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อนของกรอบอาคาร ผลการศึกษาพบว่า

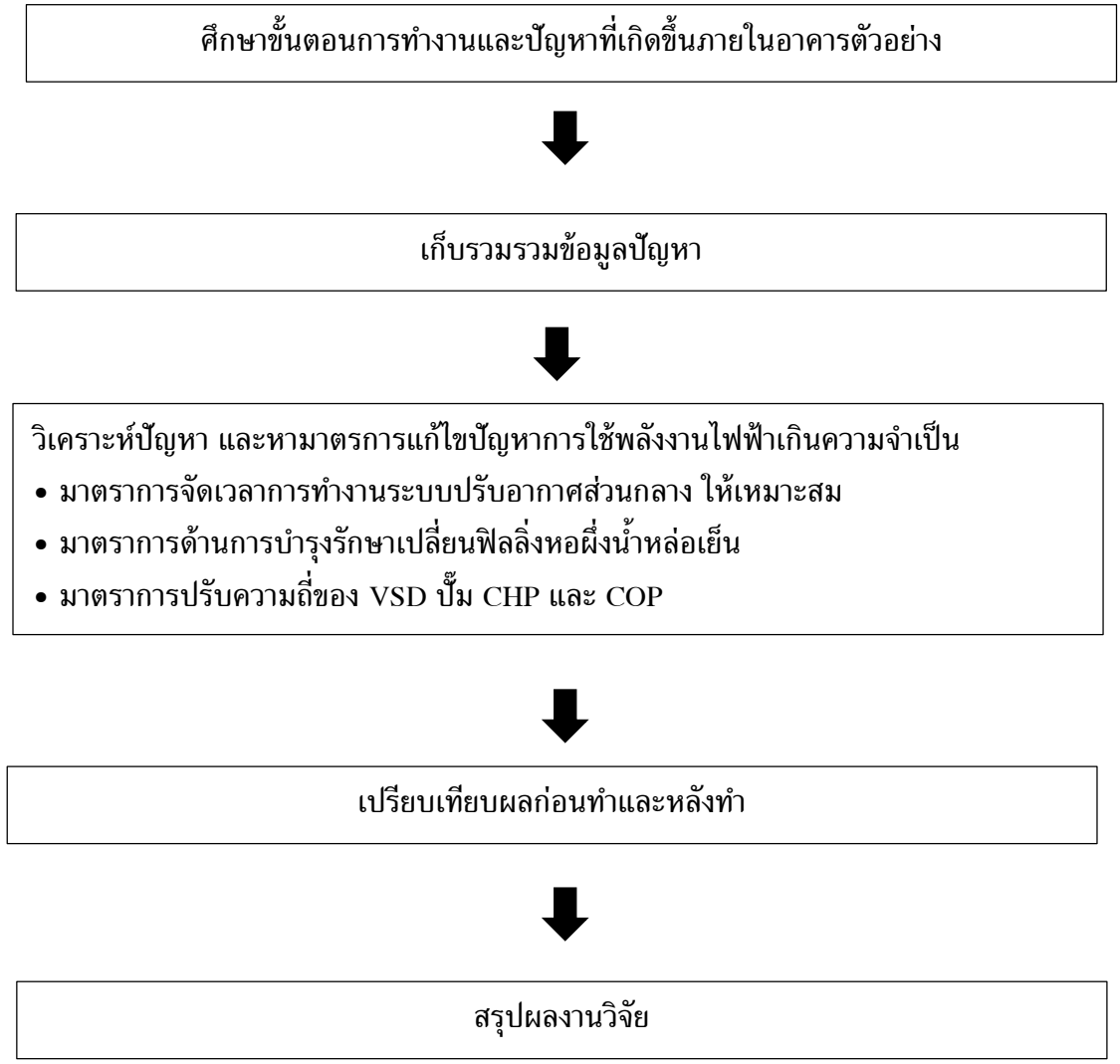
มาตรการที่ 1 สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 33,198.66 กิโลวัตชั่วโมง/ปี มาตรการที่ 2 สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 16,599.33 กิโลวัตชั่วโมง/ปี มาตรการที่ 3 สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 21,070.44 กิโลวัตชั่วโมง/ปี และมาตรการที่ 4 สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ 34,874.95 กิโลวัตชั่วโมง/ปี โดยมีระยะคืนทุนของมาตรการที่ 4 อยู่ที่ 3.74 ปี

พลสัณห์ นำหน้ากองทัพ(2557) ทำการวิจัยเรื่อง แนวทางการประหยัดพลังงานของศูนย์การค้า : ผลการศึกษา 6 กรณีศึกษาในกรุงเทพมหานคร จากการศึกษาพบว่ามาตรการประหยัดพลังงานที่ศูนย์การค้ากรณีศึกษาใช้มีลักษณะการดำเนินการ จำนวน 6 กลุ่มมาตรการ ได้แก่ การลดจำนวนการใช้งาน การลดเวลาการใช้งาน การปรับแต่งการทำงาน การปรับปรุงอุปกรณ์และเครื่องจักร การติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม และการเปลี่ยนทดแทน ซึ่งมาตรการประหยัดพลังงานที่ใช้มีความสัมพันธ์กับระบบประกอบอาคาร 5 ระบบ ได้แก่ ระบบปรับอากาศ ระบบระบายอากาศ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบบำบัดน้ำเสีย และลิฟท์ โดยมีมาตรการที่สัมพันธ์กับระบบปรับอากาศมากที่สุด จากการศึกษาสรุปได้ว่าแนวทางการประหยัดพลังงานของศูนย์การค้าที่ใช้จะมีการดำเนินการ 2 แนวทาง ได้แก่ แนวทางการจัดการช่วงเวลาการใช้งานระบบประกอบอาคาร โดยการจัดการใช้งานเครื่องจักรอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้สอดคล้องกับกิจกรรมในการใช้งานของอาคาร ซึ่งเป็นแนวทางที่ไม่ต้องมีการลงทุนใด ๆ สามารถดำเนินการได้ทันที โดยผลประหยัดจะขึ้นอยู่กับความสามารถในการจัดการเวลาการใช้งาน และแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพระบบประกอบอาคาร โดยการปรับปรุง ติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมและปรับเปลี่ยนอุปกรณ์และเครื่องจักร เพื่อทำให้อุปกรณ์และเครื่องจักรมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งเป็นแนวทางที่มีการใช้เงินลงทุน ต้องมีการวางแผน ใช้เวลาในการดำเนินการ ใช้เทคนิคทางวิศวกรรม และเน้นการปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ ทั้งนี้การพิจารณาใช้แนวทางใดจะขึ้นอยู่กับความพร้อมทั้งทางด้านบุคลากร เงินทุน สภาพการใช้งานพลังงานเดิมของอาคาร และความคุ้มค่าในการดำเนินมาตรกา

วิธีดำเนินการศึกษา

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานกับเครื่องทำน้ำเย็น ชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cool Chiller) ในอาคารบริษัท บริหารสินทรัพย์ กรุงเทพพาณิชย์ จำกัด (มหาชน) ซึ่งผู้ศึกษาได้ทำการสำรวจจัดเก็บข้อมูล โดยการตรวจวัดด้วยเครื่องมือวัดค่าการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในอาคาร เวลาการเปิดใช้งานการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า การตรวจสอบสภาพชิ้นส่วนต่างๆของอุปกรณ์ โดยมีวิธีดำเนินการศึกษาของงานศึกษา มีขั้นตอนตามลำดับดังนี้

ไดอะแกรมขั้นตอนการดำเนินการ



ข้อมูลอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

1. เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)

ในระบบมีเครื่องทำน้ำเย็นจำนวน 3 เครื่อง แบ่งเป็นใช้งานหลัก 2 เครื่อง และสำรอง 1 เครื่อง เครื่องทำน้ำเย็น มีขนาด 390 TR มีอายุการใช้งาน มากกว่า 15 ปี

ภาพที่ 1 เครื่องทำน้ำเย็น ขนาด 390 TR

2. Chilled Water Pump และ Condenser Water Pump

ในระบบ มี Chilled Water Pump และ Condenser Water Pump จำนวน 3 ชุด มีอายุการใช้งาน 26 ปี

ภาพที่ 2 Chilled Water Pump

ภาพที่ 3 Condenser Water Pump

3. หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower)

ในระบบมีหอผึ่งน้ำ จำนวน 3 ชุด มีอายุการใช้งาน 26 ปี

ภาพที่ 4 หอผึ่งน้ำ

4.อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ (VSD)

อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ (VSD) จำนวน 4 ชุด เพื่อควบคุมการทำงานของปั๊ม CHP และ COP จำนวน 6 ชุด โดยมีการควบคุมดังนี้

Chilled Water Pump (CHP)

- VSD 1 ควบคุม CHP 1 ควบคุมความถี่ที่ 45 Hz.
- VSD 2 ควบคุม CHP 2,3 ควบคุมความถี่ที่ 45 Hz.

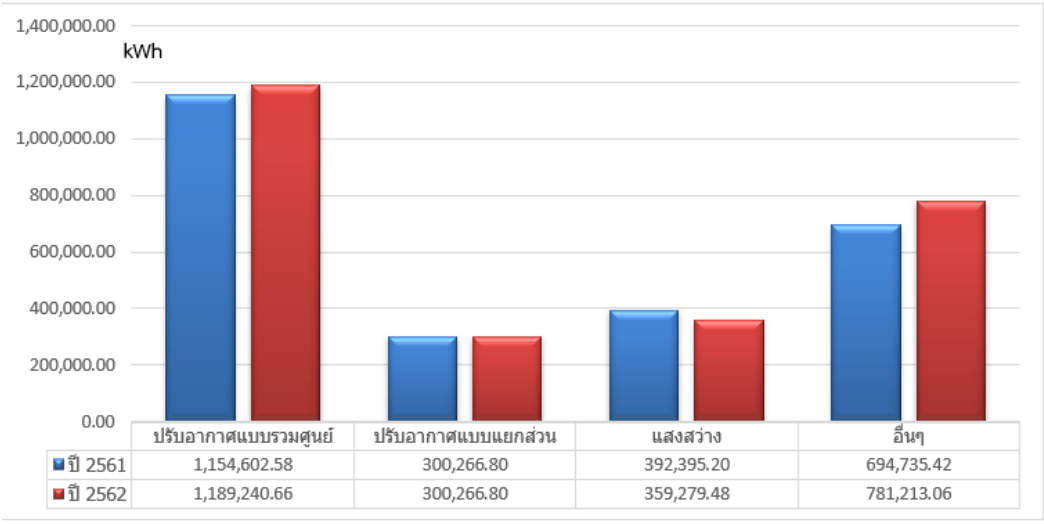
Condenser Water Pump (COP)

- VSD 1 ควบคุม COP 1 ควบคุมความถี่ที่ 41 Hz.
- VSD 2 ควบคุม COP 2,3 ควบคุมความถี่ที่ 41 Hz.

ภาพที่ 5 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ

การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้ศึกษาได้เก็บรวบรวมข้อมูล และศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารที่ ผู้ศึกษาได้ทำการค้นคว้าศึกษาข้อมูลจากแหล่งข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้



ภาพที่ 6 กราฟแสดงข้อมูลเปรียบเทียบสัดส่วนการใช้พลังงาน ปี 2561 และ 2562

ตารางที่ 1 แบบบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีนัยสำคัญของเครื่องจักร/อุปกรณ์หลัก

ระบบที่ใช้พลังงาน	ชื่อเครื่องจักร/อุปกรณ์หลัก	พิกัด		จำนวน	อายุการใช้งาน (ปี)
		ขนาด	หน่วย		
ปรับอากาศแบบรวมศูนย์	Chiller No.1	390	Tr	1	>15
	Chiller No.2	390	Tr	1	>15
	Chiller No.3	390	Tr	1	>15
	Chilled Water Pump No.1	45	kW	1	26
	Chilled Water Pump No.2	45	kW	1	26
	Chilled Water Pump No.3	45	kW	1	26
	Condenser Water Pump No.1	37	kW	1	26
	Condenser Water Pump No.2	37	kW	1	26
	Condenser Water Pump No.3	37	kW	1	26
	Cooling Tower No.1	7.50	kW	1	26
	Cooling Tower No.2	7.50	kW	1	26
	Cooling Tower No.3	7.50	kW	1	26
	AHU	25	Tr.	31	26
	AHU	35	Tr.	3	26

ผู้ศึกษาได้เก็บรวบรวมข้อมูล และศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าของอุปกรณ์เครื่องทำน้ำเย็นทั้งก่อนและหลังดำเนินการ เป็นข้อมูลที่ผู้ศึกษาเก็บรวบรวมขึ้นโดยตรงจากแหล่งข้อมูล โดยใช้วิธีการศึกษาและตรวจสอบบันทึกรายงานการปฏิบัติงานรายวัน (Daily Operation Log Sheet) ข้อมูลการจดบันทึกการจ่ายค่าพลังงานไฟฟ้า โดยจดค่าบันทึกของเครื่องดังนี้

1. ค่ากำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์

2. อุณหภูมิ Chilled Water Pump
3. อุณหภูมิ Condenser Water Pump
4. จำนวนรอบการทำงานของ Chilled Water Pump และ Condenser Water Pump
5. จำนวนชั่วโมงการใช้งาน

การวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้ศึกษาได้เก็บรวบรวมข้อมูลและทำการวิเคราะห์ข้อมูล ศึกษาถึงแนวทางการดำเนินกิจกรรมการวิเคราะห์และสร้างมาตรการด้านการประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยสร้างมาตรการ 3 ข้อ และทำการวิเคราะห์ดังนี้

1.) มาตราการจัดเวลาการทำงานระบบปรับอากาศส่วนกลาง โดยการเปลี่ยนเวลาการทำงานของเครื่องทำความเย็น พบว่าโดยปกติมีการใช้งานเครื่องทำความเย็นหลักขนาด 390 Tr จำนวน 2 ชุด และเปิดเครื่องปรับอากาศส่วนกลาง พร้อมกันทั้งหมดเวลา 07:30 - 17:00 น. ซึ่งช่วงเช้าโหลดความเย็นน้อย เนื่องจากเป็นช่วงที่พนักงานเริ่มเข้าปฏิบัติงาน จึงสามารถปรับเวลาการเปิดใช้งานให้เหมาะสมได้ โดยไม่ส่งผลกระทบกับพนักงานและผู้มาใช้บริการ

2.) มาตราการทางด้านการบำรุงรักษาโดยเปลี่ยนฟิลลิ่งหอผึ่งน้ำหล่อเย็นทุก 3 ปี พบว่าฟิลลิ่งหอผึ่งน้ำหล่อเย็นมีสภาพสกปรกมาก ส่งผลต่อการระบายความร้อนของน้ำหล่อเย็น ทำให้เครื่องทำน้ำเย็นใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น

3.) มาตราการปรับความถี่ของ VSD ปั๊ม CHP และ COP ให้เหมาะสมกับสภาวะโหลดของ Chiller ให้ได้ตามพิกัด พบว่ามีพิกัดอัตราการไหลของน้ำมากกว่าสภาวะโหลดที่ใช้งานจริง จึงจัดแผนการใช้งานอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบของปั๊ม CHP และ COP ให้เหมาะสมกับสภาวะโหลดของเครื่องทำน้ำเย็น

หลังจากที่ได้ดำเนินการตามมาตรการแก้ไขปัญหาการใช้พลังงานเกินความจำเป็นเปรียบเทียบผลก่อนและหลังการดำเนินงานวิจัย และนำเสนอเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษาแก้ไขปัญหาต่าง ๆ ในส่วนของการลดการสูญเสียในกระบวนการทำงานหรือการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักร

ผลการศึกษา

มาตราการจัดเวลาการทำงานระบบปรับอากาศส่วนกลาง ให้เหมาะสม

จากการเก็บข้อมูลการใช้โหลดความเย็นของอาคารบริษัท บริหารสินทรัพย์ กรุงเทพพาณิชย์ จำกัด พบว่าโดยปกติมีการใช้งานเครื่องทำความเย็นหลักขนาด 390 Tr จำนวน 2 ชุด และเปิดเครื่องปรับอากาศส่วนกลาง พร้อมกันทั้งหมดเวลา 07:30 - 17:00 น. ซึ่งช่วงเช้าโหลดความเย็นน้อย เนื่องจากเป็นช่วงที่พนักงานเริ่มเข้าปฏิบัติงาน จึงสามารถปรับเวลาการเปิดใช้งานให้เหมาะสมได้

โดยไม่ส่งผลกระทบกับพนักงานและผู้มาใช้บริการ ทีมงานอนุรักษ์พลังงาน และทีมวิศวกรรมอาคาร เห็นควรทำการปรับเวลาการเปิด-ปิด ระบบปรับอากาศส่วนกลางให้เหมาะสมตามการใช้งาน โดยไม่ส่งผลกระทบต่อพนักงาน และผู้มาใช้บริการ ช่วยทำให้ลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าของอาคาร

อาคารบริษัท บริหารสินทรัพย์ กรุงเทพพาณิชย์ จำกัด มีเวลาเปิด-ปิดระบบปรับอากาศดังนี้

- ชั้น 1-16 ยกเว้นชั้น 7 เวลาเปิด-ปิด 7.30 น. – 17.00 น.
- ชั้น 7 ศูนย์อาหาร เวลาเปิด-ปิด 7.30 น.-8.30 น. และ 11.00 น. – 13.00 น.

หยุดเสาร์ - อาทิตย์ และนักขัตฤกษ์

หลักการในการกำหนดมาตรการ จากการสำรวจพฤติกรรมการใช้อาคารของพนักงาน พบว่า การเปิด-ปิดอุปกรณ์ สามารถเปลี่ยนรูปแบบเวลาการทำงานได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งานอาคาร โดย Chiller จะเปิด-ปิดเวลาการทำงาน อยู่ที่ 7.30-16.30 ซึ่งยังคงเปิดเครื่องในเวลาเดิม แต่จะปิดเครื่องเร็วขึ้น ก่อนเวลาปิดใช้งานอาคาร 30 นาที ซึ่งยังคงมีโหลดความเย็นที่เพียงพอจนกว่าอาคารปิดการใช้งาน และ AHU ในชั้น 1-7 ยังคงเปิดในเวลาเดิม เนื่องจากเป็นชั้นที่มีพนักงานจำนวนมาก และมีบุคคลภายนอกเข้าติดต่อที่สำนักงาน แต่ในชั้น 8-16 จะมีการเปิด-ปิด AHU บางตัวที่เปลี่ยนเวลา เป็น 8.00-12.00 และ 13.00-16.30 โดยที่ AHU ในชั้นนั้นๆ จะคงเวลาการเปิดใช้งานเวลาเดิมไว้ 1 ตัว และเปลี่ยนเวลาเปิด-ปิด 1 ตัว ในช่วงพักเที่ยงและก่อนเลิกงาน

ก่อนปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าก่อนปรับปรุง = 1,292,592 kWh/ปี

หลังปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง = 1,213,127 kWh/ปี

คิดเป็นพลังงานที่ประหยัดได้ = ก่อนปรับปรุง - หลังปรับปรุง

= 1,292,592- 1,213,127

= 79,465 kWh/ปี

ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย = 3.93 บาท/ kWh

คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้ = 79,465 x 3.93

= 312,297.45 บาท/ปี

เงินลงทุน = 0 บาท

ระยะเวลาคืนทุน = 0 ปี

จากการดำเนินการจัดการเวลาการทำงานระบบปรับอากาศส่วนกลางพบว่า การปรับเวลาการทำงานสามารถประหยัดพลังงานได้ 79,465 kWh/ปี และยังช่วยให้ระบบปรับอากาศมีชั่วโมงการทำงานที่น้อยลง ลดการสูญเสียพลังงาน เครื่องจักรไม่ทำงานหนักมาก การเปลี่ยนเวลาเปิด-ปิด

อุปกรณ์ ในช่วงพักเที่ยงและก่อนปิดทำการอาคาร ไม่ส่งผลกระทบกับผู้ใช้งานมาก เนื่องจากยังมีโหลดความเย็นเพียงพอ แต่ในช่วงเวลาเปิดทำการของอาคารหลังวันหยุดยาว อาจจะทำให้ระบบปรับอากาศในอาคารทำความเย็นได้น้อย ผู้ใช้งานอาคารอาจไม่ได้รับความสบายในช่วงเวลาเปิดทำการของอาคาร

2. มาตรการด้านการบำรุงรักษาเปลี่ยนฟิลลิ่งหอผึ่งน้ำหล่อเย็น

จากการสำรวจ พบว่า ฟิลลิ่งหอผึ่งน้ำหล่อเย็นมีสภาพสกปรกมาก ส่งผลต่อการระบายความร้อนของน้ำหล่อเย็น ทำให้เครื่องทำน้ำเย็นใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น การเปลี่ยนฟิลลิ่งหอผึ่งน้ำหล่อเย็นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการระบายความร้อนน้ำหล่อเย็น ส่งผลให้การใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็นลดลง หลักการในการกำหนดมาตรการ เนื่องจาก หอผึ่งน้ำเย็นไม่ได้มีการบำรุงรักษาตามกำหนดเวลา อุปกรณ์หลายชิ้นมีการเสื่อมสภาพตามเวลาและการใช้งาน จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนฟิลลิ่งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการระบายความร้อน

ก่อนปรับปรุง พลังงาน

ไฟฟ้าก่อนปรับปรุง = 671,136 kWh/ปี

หลังปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง = 628,715 kWh/ปี

คิดเป็นพลังงานที่ประหยัดได้ = ก่อนปรับปรุง - หลังปรับปรุง

= 671,136 - 628,715

= 42,421 kWh/ปี

ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยปี 2563 = 3.93 บาท/ kWhคิดเป็นเงินที่ประหยัดได้

= 42,421 x 3.93

= 166,714.53 บาท/ปี

เงินลงทุน PVC

ฟิลลิ่ง รวมค่าติดตั้ง = 62,060 บาท/ชุด

เงินลงทุน = 62,060 x 3

= 186,180 บาท

ระยะเวลาคืนทุน

เงินลงทุน / ผลประหยัด = 186,180/166,714.53

= 1.11 ปี

จากการดำเนินการเปลี่ยนฟิลลิ่งหอผึ่งน้ำหล่อเย็น ทำให้การระบายความร้อนของน้ำหล่อเย็นดีขึ้น ลดการใช้พลังงานของเครื่องทำน้ำเย็น สามารถประหยัดพลังงานได้ 42,421 kWh/ปี โดยในมาตรการนี้ มี

ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนฟิลลิ่ง ซึ่งจะคืนทุนในระยะเวลา 1.11 ปี แต่ฟิลลิ่งดังกล่าวมีอายุการใช้งานที่จำกัด และขึ้นอยู่กับสภาพการทำงานของเครื่องจักรว่ามีการทำงานมากน้อยเพียงใด เมื่อเวลาผ่านไป ประสิทธิภาพการใช้งานก็จะลดลง แต่เครื่องทำน้ำเย็นก็จะมีการใช้พลังงานมากขึ้น ซึ่งมาตรการนี้ เห็นควรว่าเป็นการบำรุงรักษาอุปกรณ์มากกว่าเป็นการประหยัดพลังงานของอุปกรณ์ จึงไม่นำมาเป็นมาตรการในการประหยัดพลังงาน

3. มาตราการปรับความถี่ของ VSD ปั๊ม CHP และ COP

โดยทำการปรับความถี่ของ VSD ให้เหมาะสมกับสภาวะโหลดการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นใหม่ดังนี้

Chilled Water Pump (CHP)

(1) VSD 2 ควบคุม CHP 2,3 ควบคุมความถี่ที่ 33 Hz. (เดิม 45 Hz.)

Condenser Water Pump (COP)

(2) VSD 2 ควบคุม COP 2,3 ควบคุมความถี่ที่ 39 Hz. (เดิม 41 Hz.)

หลักการในการกำหนดมาตรการ การลดความถี่ VSD โดยพิจารณาความเร็วที่เหมาะสมเพื่อไม่ให้กระทบกับความเย็นปลายทางและการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น พบว่า การปรับความถี่ ชุดควบคุม CHP ที่ 45 Hz และ ชุดควบคุม COP ที่ 41 Hz อุณหภูมิของอากาศที่ทำงานอยู่ค่อนข้างเย็น จึงทำการปรับลดความถี่เพื่อรักษาอุณหภูมิเดิมไว้ โดยจากการตรวจวัด ชุดควบคุม CHP กำลังไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 28 kWและความถี่ที่ 33 Hz ชุดควบคุม COP กำลังไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 19 kWและความถี่ที่ 39 Hz เป็นความถี่ที่เหมาะสมกับสภาพโหลดของ Chiller และไม่กระทบกับอากาศที่ถ่ายออกไป พื้นที่ทำงานยังคงมีอุณหภูมิที่ทำงานได้ตามปกติ ซึ่งหากความถี่ต่ำกว่า อาจทำให้ลดการใช้พลังงานได้มากกว่า แต่ส่งผลทำให้ อัตราการไหลของน้ำลดลง และทำให้ความเย็นที่ถูกส่งออกไปไม่เพียงพอ และผู้ใช้งานไม่ได้รับความสบายจากระบบปรับอากาศ อีกทั้งยังช่วยลดการทำการของเครื่องจักร

ก่อนปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าก่อนปรับปรุง = 220,285.80 kWh/ปี

หลังปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง = 134,549 kWh/ปี

ผลประหยัด

พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ = ก่อนปรับปรุง–หลังปรับปรุง

= 220,285.80- 134,549

= 85,736.80 kWh/ปี

ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยปี 2563 =	3.93 บาท/kWh	
ค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	86,506.8 x 3.93
	=	336,945.6 บาท/ปี
เงินลงทุน	=	0 บาท
ระยะเวลาคืนทุน	=	0 ปี

จากการดำเนินการปรับความถี่ของ VSD ปั๊ม CHP และ COP ให้เหมาะสมกับสภาวะโหลดของ Chiller พบว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ 85,736.80 kWh/ปี โดยการปรับความถี่การทำงานสามารถลดการสึกหรอของเครื่องจักร และป้องกันการสูญเสียของมอเตอร์ ประหยัดพลังงานโดยใช้พลังงานตามความจำเป็น แต่ถ้าหากปรับสมดุลน้ำเย็นไม่ดีการปรับลดปริมาณน้ำอาจส่งผลต่อความเย็นที่ส่งไปยังผู้ใช้งานอาคาร ทำให้รู้สึกเย็นน้อยลงได้

สรุปผลการศึกษา

ในภาพรวมของการดำเนินการการปรับปรุงการลดการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ เมื่อดำเนินการมาตรการทั้ง 3 มาตรการ สามารถสรุปภาพรวมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าของอาคารบริษัท บริหารสินทรัพย์ กรุงเทพพาณิชย์ จำกัด (มหาชน) โดยพิจารณาเป็นรายมาตรการทั้งด้านจำนวนเงินค่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ เงินลงทุน และระยะเวลาคืนทุน หากพิจารณาในทุกด้านแล้ว จะเห็นว่ามาตรการที่ 3 คือ มาตราการปรับความถี่ของ VSD ปั๊ม CHP และ COP ให้เหมาะสมกับสภาวะโหลดของ Chiller ให้ได้ตามพิกัด เป็นมาตรการที่สามารถประหยัดพลังงานได้มากที่สุด สามารถประหยัดพลังงานได้ 85,736.80 kWh/ปี จำนวนเงินที่ประหยัดได้ 336,945.6 บาท/ปี และไม่มีระยะเวลาคืนทุนเนื่องจากไม่ต้องใช้เงินลงทุน ประหยัดไฟฟ้าได้ทันทีหลังการดำเนินการ อีกทั้งยังสามารถลดการทำงานของอุปกรณ์ เพื่อลดการสูญเสียและป้องกันความเสียหายแก่อุปกรณ์ได้อีกด้วย และจากการพิจารณาแล้ว มาตรการที่ 2 คือ มาตรการเปลี่ยนฟิลลิ่งหอผึ่งน้ำหล่อเย็น เห็นควรเป็นมาตรการการบำรุงรักษามากกว่ามาตรการการประหยัดพลังงาน เนื่องจากเป็นการเปลี่ยนอุปกรณ์ตามสภาพการใช้งาน ซึ่งต้องทำการเปลี่ยนเป็นประจำ จึงไม่นับรวมเป็นการประหยัดพลังงาน

การสรุปผลการศึกษา ผู้ศึกษาขอนำเสนอเป็นภาพรวมและข้อสรุปผลการศึกษาที่เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาที่ตั้งไว้ดังนี้ ผลการศึกษาปรากฏว่า แนวทางวิเคราะห์การประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคาร บริษัท บริหารสินทรัพย์ กรุงเทพพาณิชย์ จำกัด (มหาชน) พร้อมสร้างมาตรการด้านการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคารควบคุม เพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่สามารถแสดงผลการประหยัดได้จริง ทั้งนี้ผู้ศึกษาได้มีการติดตามผลการดำเนินการ จากการ

วิเคราะห์มาตรการประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า ทำาให้ได้มาตรการที่สามารถนำไปใช้ได้จำนวน 3 มาตรการ สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าลงได้ ได้ร้อยละ 7.33

ข้อเสนอแนะในการศึกษาต่อไป

ในการศึกษาครั้งนี้ ในการพิจารณาใช้มาตรการต่างๆ อยู่ที่การลงทุนในแต่ละมาตรการ ซึ่งใช้เวลาในการพิจารณาพอสมควรเนื่องจากบริษัท ยังขาดงบประมาณในการดำเนินการและมีเวลาน้อย บางมาตรการที่ไม่มีการลงทุนอาจสามารถที่จะดำเนินการได้เลยทันที บางมาตรการอาจเกิดความไม่สะดวกกับผู้ใช้อาคารบางส่วนซึ่งมีความเคยชินในการปฏิบัติตน สำหรับการถ่ายทอดความรู้มาตรการประหยัดพลังงานไฟฟ้าให้กับผู้ปฏิบัติ ผู้เข้ารับการถ่ายทอดมีความรู้และมีระดับการศึกษาที่แตกต่างกันทำให้การถ่ายทอดจะต้องเริ่มตั้งแต่พื้นฐาน ควรกำหนดคุณสมบัติให้ชัดเจน เพื่อให้ได้กลุ่มผู้ปฏิบัติที่มีความรู้พื้นฐานตามที่กำหนดและทำให้การถ่ายทอดความรู้ได้ถูกต้องและเหมาะสมยิ่งขึ้น และอาจสร้างมาตรการขยายเพิ่มเติมไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าอย่างอื่นที่ใช้กระแสไฟฟ้ามาก เช่น ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ระบบไฟส่องสว่าง ลิฟต์ ตู้เย็น เครื่องคอมพิวเตอร์ เครื่องถ่ายเอกสาร เป็นต้น

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

กฤษณะ ธรรมมิกานนท์ และ มนต์ศักดิ์ พิมสาร.(2556). *การวิเคราะห์อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน*. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตร์ศาสตร์

กฤษเมธี โชติกรณ์. (2562). *การอนุรักษ์พลังงานในระบบปรับอากาศและประเมินค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของกรอบอาคาร กรณีศึกษา กรมส่งเสริมการเกษตร(อาคาร1)*. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ธนิต คล้ายอุทัย. (2556). *การประหยัดพลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ กรณีศึกษาอาคารโรงพยาบาลพระรามเก้า*. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พลสัณห์ นำหน้ากองทัพ. (2557*). แนวทางการประหยัดพลังงานของศูนย์การค้า : ผลการศึกษา 6 กรณีศึกษาในกรุงเทพมหานคร*. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วรรษา อุไรรัตน์. (2558). *การอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำนักงานใหญ่การท่าเรือแห่งประเทศไทย.* กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อาจรี ศุภสุธีกูล. (2557*). การศึกษาระยะเวลาการปิดเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน*. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ