การจัดการพลังงานสำหรับงานระบบสาธารณูปโภคในโรงงานอุตสาหกรรม
Energy management for Utility Systems in Industrial Factory

มาโนช วงศ์ธนกุญชร
สาขาวิชาการตรวจสอบและกฎหมายวิศวกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240 โทร 0-2310-5777-8 โทรสาร 0-2310-8579
E-mail: manoch1280@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้เสนอหลักการและแนวคิดสำหรับการจัดการพลังงานของโรงงานอุตสาหกรรม โดยเป็นแบบจำลองการจัดการพลังงานปรากฏในเชิงวิศวกรรม, การออกแบบ, การก่อสร้างดำเนินงานและการบำรุงรักษาของระบบความร้อน การระบายอากาศและปรับอากาศ (Heating, Ventilation and Air conditioning; HVAC) และระบบไฟฟ้า ทำให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสมที่สุด ซึ่งหัวใจหลักของกระบวนการด้านพลังงานคือชี้บ่งและวิเคราะห์ การใช้พลังงานของอุปกรณ์ ที่ติดตั้งในโรงงาน เพื่อเพิ่มโอกาสสำหรับการอนุรักษ์พลังงาน ระบบที่ศึกษาในรายงานนี้สามารถใช้เป็นแบบจำลองการจัดการพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อความยั่งยืน. การศึกษานี้ยังเป็นการเปิดโอกาสสำหรับการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพ นอกเหนือจากนั้นเป็นการลดคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ แบบจำลองในการศึกษานี้คือการออกแบบและการเลือกของอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงในระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรม ใช้ของอุปกรณ์ประหยัดพลังงานในการติดตั้ง จากผลการตรวจวัดพบว่าทำให้สามารถลดพลังงานไฟฟ้าได้ 12,889 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปี และลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศได้ 4,975.15 กิโลกรัมต่อปี

คำสำคัญ: *การจัดการพลังงาน, ระบบความร้อน การระบายอากาศและปรับอากาศ, โอกาสสำหรับการอนุรักษ์พลังงาน*

Abstract

This paper presents a "proof of concept" system methodology for the model of energy management of industrial factory. Energy management embodies engineering, design, construction, operation and maintenance of heating, ventilation and air conditioning (HVAC) Systems and electrical power systems to provide optimal use of electrical energy. The key elements of the energy process are to identify and analyze the energy conservation opportunities. The framework can be emerged as energy management of sustainability model in industrial factory. Meanwhile, this is paper presents an opportunity for improving energy efficiency and reducing carbon dioxide emissions of factory. The study includes selection of high-efficient equipment and machine and use of modern materials in the design process of factory. The result shown that, the electricity savings potential is 12,889kWh / year, and the carbondioxide reduction is 4,975.15kg-CO_2 / year.

Key words: *Energy management, HVAC: Heating, Ventilation and Air conditioning, energy conservation opportunities*

1. บทนำ

จากวิกฤตการพลังงาน และปัญหาราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ผู้ประกอบการ โดยเฉพาะภาคอุตสาหกรรม มีต้นทุนและค่าใช้จ่ายด้านการผลิตและการขนส่งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นทำให้ภาครัฐฯ ได้แก่สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ (สพช.) และกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน(พพ.) จัดทำแผนอนุรักษ์พลังงานเพื่อกำหนดแนวทางการดำเนินงานอนุรักษ์พลังงานให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นให้ผู้ประกอบการนำแนวทางการอนุรักษ์พลังงานไปปฏิบัติอย่างจริงจังและต่อเนื่อง [1]

โรงงานอุตสาหกรรม โดยเฉพาะกลุ่มโรงงานที่เป็นการลงทุนจากญี่ปุ่นมีส่วนแบ่งในตลาดมากเป็นอันดับต้นๆ โรงงานต่างๆ มักจะตั้งอยู่ในนิคมอุตสาหกรรมเช่น โรงงานผลิตชิ้นส่วนและแผงวงจรไฟฟ้า มีการใช้พลังงาน ประมาณ 1,747.615 กิโลวัตต์-ชั่วโมงหรือ 15,309,114 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปีเป็นผลทำให้ต้นทุนการผลิตสูง กอร์ปทางกลุ่มบริษัทผู้ผลิตต้องการขยายกำลังการผลิตและลดต้นทุนพลังงาน ได้มอบหมายให้บริษัทที่ดำเนินธุรกิจด้านวิศวกรรมออกแบบและก่อสร้างงานระบบสาธารณูปโภค (Facility Systems) ต่างๆ ในโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารขนาดใหญ่ รวมทั้งงานระบบบำบัดและจัดหาวัสดุอุปกรณ์ในงานระบบ ผู้เขียนเองมีประสบการออกแบบและควบคุมการก่อสร้างงานระบบสาธารณูปโภคในโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารขนาดใหญ่ที่สำคัญของประเทศ โครงการก่อสร้างโรงงานผลิตชิ้นส่วนและแผงวงจรไฟฟ้า ได้เริ่มต้นออกแบบก่อสร้างโรงงานมีการพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานในโรงงาน ตลอดจนการเลือกใช้

อุปกรณ์ต่างๆที่มีประสิทธิภาพสูง จากที่ผ่านการออกแบบก่อสร้างโรงงานอุตสาหกรรมจะไม่ได้นำแนวทางการอนุรักษ์พลังงานไปปฏิบัติอย่างจริงจังและต่อเนื่อง ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้นส่งผลกระทบต้นทุนการผลิตและและการขนส่งเพิ่มขึ้น จากสภาพปัญหาดังกล่าวข้างต้นเป็นสาเหตุที่ทำให้ เกิดการศึกษาออกแบบและก่อสร้างงานระบบสาธารณูปโภคในโรงงานอุตสาหกรรมโดยใช้หลักการจัดการพลังงานให้เหมาะสมกับระบบปรับอากาศ (Heating Ventilation and Air Condition ; HVAC) และระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม จึงได้ศึกษาวิจัยแบบจำลองการจัดการพลังงานสำหรับระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้าในโรงงานโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อพัฒนาการออกแบบระบบระบบสาธารณูปโภคในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการประหยัดพลังงาน ศึกษาจุดคุ้มทุน เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการตัดสินใจลงทุนก่อสร้างโรงงานที่มีลักษณะเดียวกัน และป้องกันปัญหาที่จะเกิดในอนาคต

2. ทฤษฎีและเอกสารที่เกี่ยวข้อง

2.1 การจัดการพลังงาน

การจัดการพลังงานหมายถึงการบริหารจัดการพลังงานทั้งระบบมีการจัดการและการบริหารองค์กรอย่างมีประสิทธิภาพ ปรับปรุงและเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับพลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงสุดโดยอาศัยการมีส่วนร่วมของทุกคนในองค์กรดังนั้นการประหยัดพลังงานในโรงงานจึงเป็นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดเพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุดโดยไม่กระทบต่อกระบวนการผลิตลดการสูญเสียพลังงานซึ่งจะเกิดผลดีด้านการลดต้นทุนการผลิตลดการเกิดอุบัติเหตุและการหยุดเครื่องจักรในขณะทำงานซึ่งเป็นผลดีทางอ้อมในการช่วยกันประหยัดการใช้พลังงานของประเทศด้วยหลักการพิจารณาแนวทางการประหยัดพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 4 ประการคือ

2.1.1 การเลือกใช้พลังงานและเชื้อเพลิงอย่างเหมาะสมพิจารณาถึงความเป็นไปได้ในการจัดหาและการเลือกใช้พลังงานที่เหมาะสม โดยพิจารณาในแง่ของประสิทธิภาพรวมที่ได้

2.1.2 การเลือกใช้วิธีการแปลงพลังงานและกระบวนการผลิตอย่างเหมาะสมในกรณีที่กระบวนการผลิตเป็นตัวกำหนดรูปแบบของพลังงานที่จะใช้ หากกระบวนการใดสามารถใช้พลังงานได้มากกว่าหนึ่งรูปแบบควรเลือกใช้พลังงานที่มีรูปแบบที่เหมาะสมทั้งทางด้านเทคนิคและทางด้านเศรษฐศาสตร์

2.1.3 การลดการสูญเสียและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพโดยการลดการใช้พลังงานในโรงงานทั้งพลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน และเชื้อเพลิง ควรศึกษาสภาพการใช้งานอย่างละเอียดของอุปกรณ์ในโรงงาน ศึกษาวิเคราะห์หาแนวทางการลดการสูญเสีย เนื่องจากสาเหตุต่างๆ เช่นเปิดแสงสว่างโดยไม่จำเป็น มอเตอร์ทำงานโดยไม่มีภาระการรั่วไหลของระบบอัดอากาศและท่อไอน้ำฉนวนความร้อนไม่ดีเป็นต้นเพื่อให้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

2.1.4 การนำพลังงานที่ปล่อยทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุดเป็นการศึกษาวิเคราะห์การนำพลังงานที่เหลือทิ้งจากสาเหตุต่างๆกลับมาใช้ให้เป็นประโยชน์เพื่อให้ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นโดยคำนึงถึงความเหมาะสมด้านเศรษฐศาสตร์

2.2 การจัดการพลังงานสำหรับระบบปรับอากาศ

ภาคอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิคส์ มีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดในระบบปรับอากาศโดยอาจสูงกว่าครึ่งหนึ่งของการใช้พลังงานทั้งหมดในโรงงาน ดังนั้น การออกแบบอาคารที่ดีไม่ว่าจะเป็นการปรับภูมิทัศน์หรือเลือกวัสดุป้องกันความร้อนประเภทต่างๆ เข้ามาภายในอาคารรวมทั้งการออกแบบระบบปรับอากาศ มีระบบควบคุมที่ดีและถูกต้องจะทำให้ประหยัดพลังงานและประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงขึ้นในส่วนของกระบวนการผลิตต่างๆ นอกจากนี้การปรับอากาศเพื่อควบคุมอุณหภูมิความชื้นการไหลเวียนคุณภาพและความสะอาดของอากาศรวมถึงการควบคุมเสียงรบกวนยังมีความสำคัญในการเกิดความสบายและเป็นผลดีต่อสุขภาพของผู้ที่ต้องทำงานในพื้นที่นั้นๆ การคำนวณภาระการทำความเย็น (Cooling load) คือการคำนวณค่าความร้อน (heat gain) ที่ต้องการขจัดออกไปเพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้น ดังนั้น การวิเคราะห์ภาระการทำความเย็น มุ่งเน้นไปที่ค่าสูงสุดแต่ละพื้นที่ ตลอดจนหลักการทำงานของระบบปรับอากาศแต่ละประเภทจะแตกต่างกันตามลักษณะการออกแบบการติดตั้งและใช้งาน แต่ทุกระบบส่วนใหญ่จะใช้วัฏจักร การทำความเย็นแบบวงจรอัดไอโดยมีสารทำความเย็นเช่น R22 หรือ R134a และอื่นๆเป็นสารที่ทำหน้าที่ดูดและคายความร้อนจากสารตัวกลางอันได้แก่อากาศหรือน้ำให้ได้อุณหภูมิตามต้องการเมื่อสารตัวกลางได้รับความเย็นจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (ในกรณีที่สารตัวกลางเป็นน้ำ) หรืออากาศเย็นไปยังพื้นที่ปรับอากาศโดยตรง (ในกรณีที่สารตัวกลางเป็นอากาศ) ส่วนความร้อนที่เกิดขึ้นจะถูกส่งไประบายออกที่ชุดระบายความร้อนซึ่งอาจจะเป็นการระบายความร้อนด้วยอากาศหรือระบายความร้อนด้วยน้ำขึ้นอยู่กับระบบที่เลือกใช้งานโดยสามารถหาภาระโหลดความร้อน (Qc) จากสมการ [2]

$$\kappa = 1/\left[(1/\alpha)+(d/\lambda)+(1/\beta)\right] \quad (1)$$

$$Qc = K \times A \times (T_0 - T_1) \quad (2)$$

เมื่อกำหนดให้

K คือ Overall heat transfer coefficient (kcal/m^2.h.deg)

α คือ Surface heat transfer coefficient of outside (kcal/m^2.h.deg) = 20 kcal/m^2.h.deg

d คือ Thickness of material (m)

λ คือ Thermal conduction (kcal/m^2.h.deg)

β คือ Surface heat transfer coefficient of outside (kcal/m^2.h.deg) = 8 kcal/m^2.h.deg

Qc คือ Thermal load or cooling load (kcal/h)

A คือ area (m^2)

T_1 คือ indoor temperature (deg)

T_O คือ outdoor temperature (deg)

ดังนั้น การหาประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศสามารถคำนวณและระบุได้ 2 รูปแบบ คือการหาอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficient Ratio, EER) เช่นเดียวกับสัมประสิทธิ์ในการทำงานเพียงแต่พลังงานความเย็นใช้มีหน่วยเป็นบีทียู / ชม. แต่พลังงานไฟฟ้าที่ใช้มีหน่วยเป็นวัตต์สำหรับค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานจะใช้บอกประสิทธิภาพของระบบปรับอากาศขนาดเล็กเช่นระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและระบบ

ปรับอากาศแบบแพ็คเกจขนาดเล็กจะสามารถได้จากสมการ [1]

$$EER = \frac{\text{อัตราการทำความเย็น (BTU/h)}}{\text{กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า (W)}} \quad (3)$$

$$Qt = (F \times T)/50.4 \quad (4)$$

เมื่อกำหนดให้

Qt คือ อัตราการทำความเย็น (USRT)

F คือ ปริมาณน้ำเย็นที่ไหลผ่านส่วนทำน้ำเย็น (ลิตรต่อนาที)

T คือ อุณหภูมิแตกต่างของน้ำเย็นที่ไหลเข้าและไหลออกจากส่วนทำน้ำเย็น

แต่ถ้าอัตราการทำความเย็น (Qt) ซึ่งมีหน่วยเป็นตันความเย็นได้จากสมการที่ 4 [1] สิ่งสำคัญในระบบปรับอากาศก็คือประสิทธิภาพของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller Performance ; ChP) เป็นค่าที่แสดงประสิทธิภาพการทำความเย็นคืออัตราส่วนระหว่างพลังงานที่เครื่องสามารถทำความเย็นได้ต่อพลังงานไฟฟ้าตลอดจนค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะของเครื่องทำความเย็น (Coefficient of Performance; COP) สามารถหาได้จากสมการที่ 5 และ 6 ตามลำดับ [1]

$$ChP = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า (kW)}}{\text{อัตราการทำความเย็น (ton)}} \quad (5)$$

$$COP = \frac{\text{ความร้อนที่ต้องการนำออก}}{\text{กำลังไฟฟ้าป้อนเข้า (kW)}} \quad (6)$$

2.3 การจัดการพลังงานสำหรับระบบไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ผลิตจากเชื้อเพลิงต่างๆ และประสิทธิภาพของการแปลงพลังงานรูปอื่นๆ มาเป็นพลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำเนื่องจากพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่มีคุณภาพและสะดวกในการใช้ควรใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพในการจัดการการใช้ไฟฟ้าในโรงงานควรจะพิจารณาถึงองค์ประกอบ 4 ประการดังนี้ [3]

2.3.1 พลังงานไฟฟ้า (Electrical Energy) โดยทั่วไปพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขึ้นอยู่กับปริมาณและชนิดของผลผลิตดังนั้นการพิจารณาถึงดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานจึงพิจารณาในรูปปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิต (Energy-Consumption Index) ในช่วงระยะเวลาที่กำหนด (หนึ่งปีหนึ่งวันเป็นต้น) สามารถหาค่าพลังงานไฟฟ้าได้จากสมการ [4]

$$\text{พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิต} = \frac{\text{ปริมาณพลังงานไฟฟ้า(kWh)}}{\text{ปริมาณผลผลิต(ton)}} \quad (7)$$

การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าทำได้โดยการลดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ต่อผลผลิตดังกล่าวหรือการเพิ่มผลผลิตในขณะที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเท่าเดิม

2.3.2 กำลังไฟฟ้า (Electrical Power, Electrical Demand) การควบคุมกำลังไฟฟ้าในโรงงานเพื่อลดค่าไฟฟ้าจะพิจารณากำลังไฟฟ้าสูงสุดหรือค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) และสามารถปรับปรุงได้โดยการเพิ่มตัวประกอบโหลด (Load Factor; LF) โดยตัวประกอบโหลดหาได้จากสมการต่อไปนี้ [4]

Load Factor (8)

$$= \frac{\text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยช่วงเวลาที่กำหนด X 100}}{\text{กำลังไฟฟ้าสูงสุดช่วงเวลาเดียวกัน}}$$

2.3.3 ตัวประกอบกำลังไฟฟ้า (Power Factor) คืออัตราส่วนกำลังงานที่ทำให้เกิดงานต่อกำลังงานที่ปรากฏในวงจรไฟฟ้าใดๆมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 แต่โดยปกติมักจะพูดกันเป็นเปอร์เซ็นต์โดยตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอาจเป็นแบบตามหลังหรือแบบนำหน้าก็ได้ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางที่ทำให้เกิดงานและกำลังงานรีแอกตีฟ ถ้ากำลังงานทั้งสองส่วนนี้ไหลไปในทิศทางเดียวกันค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่จุดนั้นจะเป็นแบบตามหลัง (Lagging) และถ้าไหลไปคนละทิศทางแล้วค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าที่จุดนั้นจะเป็นแบบนำหน้า (Leading) เนื่องจากตัวเก็บประจุ (Capacitor) เป็นแหล่งกำเนิดงานรีแอกตีฟเพียงอย่างเดียวมันจึงมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเป็นแบบนำหน้าเสมอ สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำจะมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเป็นแบบตามหลังเพราะมันต้องการทั้งกำลังงานที่ทำให้เกิดงานและกำลังงานรีแอกตีฟ (ไหลเข้ามอเตอร์ทั้งสองส่วน) สำหรับซิงโครนัสมอเตอร์ที่ถูกกระตุ้นเกินขนาดนั้นสามารถจ่ายกำลังงานรีแอกตีฟเข้าสู่ระบบไฟฟ้าได้แต่กำลังงานที่ทำให้เกิดงานต้องไหลเข้ามอเตอร์เสมอดังนั้นจึงมีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเป็นแบบนำหน้าเสมอการควบคุมการใช้ไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพทำได้โดยการพยายามเพิ่มค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าของโรงงานต่างๆ ที่มีลักษณะเป็นชนิดตามการปรับปรุงสามารถทำได้โดยการติดตั้งตัวเก็บประจุขนานเข้ากับโหลดในตำแหน่งที่เหมาะสมซึ่งจะมีผลช่วยลดพลังงานสูญเสียในสายไฟพลังงานสูญเสียในหม้อแปลงขณะใช้งานทำให้แรงดันไฟฟ้ามีค่าคงที่มากขึ้นและลดอัตราค่าไฟฟ้าคือไม่ต้องเสียค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าในกรณีค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าสูงกว่า 85 เปอร์เซ็นต์ ตำแหน่งที่ติดตั้งตัวเก็บประจุโดยปกติทั่วไปแล้วจะติดตั้งตัวตัวเก็บประจุทางด้านแรงต่ำเพราะมีราคาถูกควบคุมได้ง่ายและอยู่ใกล้โหลดหรืออุปกรณ์ที่ต้องการกำลังงานรีแอกตีฟมากกว่าด้วย

2.3.4 เพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้านอกจากการจัดการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าดังกล่าวข้างต้นยังสามารถจัดการปรับปรุงควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าส่วนมากในโรงงานให้มีประสิทธิภาพได้อุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วยหม้อแปลงไฟฟ้ามอเตอร์และระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

1. หม้อแปลงไฟฟ้าการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในส่วนของหม้อแปลงไฟฟ้าใช้หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดประหยัดพลังงานส่วนที่เป็นแกนเหล็ก (Core) โดยใช้แกนเหล็กแผ่นชนิดผสมซิลิกอนเป็นแบบที่มีทิศทางในการตอบสนอง (ได้จากการรีดเย็น) และใช้เป็นแกนเหล็กม้วน ทำให้ค่าการสูญเสียขณะไม่มีโหลดลดลงประมาณครึ่งหนึ่งของแบบธรรมดาโดยทั่วไปหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อภาระของหม้อแปลงมีค่าประมาณร้อยละ 60 ของพิกัดหม้อแปลงปลดหม้อแปลงออกเมื่อไม่มีภาระเพื่อลดการสูญเสียในหม้อแปลงโดยใช้หม้อแปลงที่มีตัวประกอบกำลังสูง รวมทั้ง เลือกใช้งานหม้อแปลงเมื่อมีมากกว่า 2 ตัว ปรับระดับแรงดันให้เหมาะสมกับอุปกรณ์โดยการปรับแท็ปของหม้อแปลงและใช้หม้อแปลงชนิดประหยัดพลังงาน

2. ไฟฟ้าแสงสว่างแนวทางและวิธีการประหยัดพลังงาน โดยใช้หลอดไฟที่มีประสิทธิภาพ

สูงและแผ่นสะท้อนแสงคือให้มีปริมาณแสงสว่างมากแต่ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ เช่น หลอด LED หลอดฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับบัลลาสต์อิเลคทรอนิคส์ความถี่สูงสามารถประหยัดพลังงานได้ติดตั้งวงจรควบคุมแสงสว่างเพิ่มขึ้นคือจะสามารถทำให้ปิด-เปิดวงจรแสงสว่างในพื้นที่ที่ไม่ต้องการใช้งานได้โดยสะดวก เช่น การติดตั้งสวิตซ์ตั้งเวลา (Timer) หรือ Time Delay Switch ทำงานเปิด-ปิดไฟฟ้าณบริเวณที่ใช้ไฟบางเวลา หรือ ติดตั้งสวิตซ์แสงแดด (Photo Cell Switch) หรือ Timer สำหรับควบคุมการเปิด-ปิดโคมไฟที่ตั้งอยู่นอกอาคารเพื่อป้องกันการลืมปิดไฟที่ถูกเปิดทิ้งไว้จนถึงเวลากลางวันทำให้มีการสูญเสียพลังงานไปโดยเปล่าประโยชน์

***รูปที่ 1** โรงงานผลิตชิ้นส่วนและแผงวงจรไฟฟ้า*

3. วิธีการศึกษา

3.1 ศึกษาเอกสารและรวบรวมข้อมูลจากความต้องการของเจ้าของโครงการ เอกสารวารสารต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง นอกจากนี้มีการตรวจวัดและวิเคราะห์ข้อมูลจากกระบวนการผลิต โดยข้อมูลจะแบ่งเป็น 2 ส่วนหลัก คือ ข้อมูลทั่วไปสำหรับการออกแบบระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม อีกส่วนคือข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าและจากการตรวจวัดกระบวนการผลิต

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบคุณลักษณะและประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่างๆในระบบ

Equipment	No.	Economical equipment/ machine/ materials	Comparison in specifications used in Factory	
			Conventional specification	New specification
Building system	1	Roofing & Ceiling	Heat transmission coefficient, k = 0.608	Heat transmission coefficient, k = 0.560
			Heat transmission load = 26.16 W / h	Heat transmission load = 8.49 W / h
			Material: Metal sheet with glass wool (d = 36 kg/m^3, t = 25 mm)	Material: Metal sheet with glass wool (d = 36 kg/m^3, t = 25 mm) and gypsum board and thermal reflective coated ceramic
		External wall	Heat transmission coefficient, k = 2.491	Heat transmission coefficient, k = 2.491
			Heat transmission load = 43.49 W / h	Heat transmission load = 26.05 W / h
			Material: Concrete block walls (t = 90 mm) with plaster mortar	Material: Concrete block walls (t = 90 mm) with plaster mortar and thermal reflective coated ceramic
Electrical system	2	Fluorescent lamp	Magnetic (or coil) ballast Watts = 46	Electronic ballast Watts = 36
	3	Outdoor lighting	HID light bulb Watts = 400	LED light bulb Watts = 90
	4	Down light	Incandescent bulb Watts = 20	LED light bulb Watts = 7
	5	Transformer	Conventional (or standard) Watts = 83.8 k	Low-loss distribution Watts = 67.3 k
HVAC system	6	Water Chiller	Air-cooled screw COP = 2.8 Refrigerant: R-407C	Water-cooled centrifugalCOP = 5.8 Refrigerant: HCFC123
	7	Temperature difference in chilled water	Supply temperature = 7.0 °C	Supply temperature = 7.0 °C
			Return temperature = 12.0 °C	Return temperature = 15.0 °C
			Annual power consumption for pumps = 1,254 MW	Annual power consumption for pumps = 916 MW
	8	Ventilation Fan	Type: Sirocco fan Fan efficiency: 0.5 – 0.6 Motor efficiency: 0.8	Type: Plug fan Fan efficiency: 0.7 Motor efficiency: 0.9
	9	Air handling unit	Only AHU No OAHU	AHU and OAHU
	10	Exhausted air system & CO_2 sensor	Non-recycling	Recycling by 75.3% (Using oil mist collectors or carbon filters)

3.2 ดำเนินการก่อสร้างตามแบบแปลนที่ออกแบบโดยเลือกเครื่องจักรและอุปกรณ์ตามที่ออกแบบ ทดสอบการทำงานและตรวจวัดการใช้

พลังงานของระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้า ได้แก่การทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) เครื่องสูบน้ำเย็น (Chilled Water Pump) หอระบายความร้อน (Cooling Tower) เครื่องสูบน้ำระบายความร้อน (Condenser Water Pump) ระบบส่งจ่ายลมเย็น (Air Handling Unit) ระบบระบายอากาศ (Ventilation Fan) ระบบแสงสว่าง ระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าและหม้อแปลง

3.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา แบบแปลนของโรงงาน เอกสารสำหรับตรวจวัดระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้า ตลอดจนเครื่องมือสำหรับการตรวจวัดได้แก่ เครื่องวัดความเร็วลม เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้น เครื่องมือบันทึกการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องมือวัดการใช้กำลังไฟฟ้า เครื่องมือวัดและบันทึกค่าความเข้มแสง เป็นต้น

4. ผลการศึกษา

การศึกษาวิจัยเริ่มต้นจากการรวบรวมเอกสารออกแบบ และดำเนินการก่อสร้างโรงงานเสร็จในเดือนมิถุนายน 2556 ดังรูปที่ 1 แสดงภาพโรงงาน ได้ทดลองเดินเครื่องจักรและดำเนินการผลิต จากนั้นทำการตรวจวัดพลังงานของระบบต่างๆ ได้แก่ ตัวอาคารโรงงาน ระบบปรับอากาศ และแสงสว่าง และหม้อแปลงผลของข้อมูลที่เก็บได้และวิเคราะห์ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า จากการออกแบบก่อสร้างและเลือกใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ที่มีประสิทธิภาพสูง แบบจำลองก่อนการก่อสร้างและคำนวณประมาณการว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ 567.21 กิโลวัตต์-ชั่วโมง และลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศได้218.94กิโลกรัมจากการคำนวณที่ได้ออกแบบ แต่เมื่อดำเนินการผลิตและทำการตรวจวัดพลังงานทั้งหมดปรากฏว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ 629.78 กิโลวัตต์-ชั่วโมงลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศได้ 243.09 กิโลกรัมดังนั้นโดยดำเนินตามมาตรการต่างๆ ในการประหยัดพลังงานจำแนกได้ดังนี้

ตารางที่ 2

แสดงผลการวิเคราะห์การประหยัดพลังงาน

Indicators	*Estimated performance figures as compared to the conventional specification*	
	Design	*Actual result**
Electricity savings potential (kWh)	*567.21*	*629.78*
CO_2 emissions reduction potential (kg-CO_2)(@ 0.386 kg-CO_2 / kWh)	*218.94*	*243.09*

มาตรการที่ 1 ระบบจ่ายไฟฟ้าโดยการออกแบบและเลือกใช้หม้อแปลงประสิทธิภาพสูง สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 25-40%

มาตรการที่ 2 ระบบแสงสว่างออกแบบและเลือกใช้ บัลลาสต์อิเลคทรอนิคส์ความถี่สูงสำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ แผ่นสะท้อนแสงและโคมไฟฟ้าประสิทธิภาพสูง การใช้แผ่นสะท้อนแสงร่วมกับโคมไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงจะสามารถช่วยลดจำนวนหลอดไฟลงได้ครึ่งหนึ่ง ซึ่งจะสามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 33-50%

มาตรการที่ 3 ระบบทำความเย็นที่มีสมรรถนะการทำความเย็น (The coefficient of performance : COP) ที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 35-60%

มาตรการที่ 4 เพิ่มอุปกรณ์ปรับความเร็วรอบมอเตอร์ใช้กับเครื่องอัดอากาศและเครื่องสูบน้ำ เป็นการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์โดยใช้อินเวอร์เตอร์ปรับความเร็วรอบให้เหมาะสมกับความต้องการและการใช้งาน ซึ่งจะสามารถประหยัดพลังงานได้ประมาณ 10-20%

มาตรการที่ 5 การเปลี่ยนชนิดพัดลมในเครื่องปรับอากาศ จากพัดลมธรรมดาเป็นแบบขับตรง (plug fan) เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ โดยการใช้ อินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับความต้องการปริมาณลม มาตรการนี้ประหยัดพลังงานได้ 10-25%

มาตรการที่ 6 การแลกเปลี่ยนความร้อนจากอากาศสู่อากาศก่อนที่จะเข้าสู่ระบบปรับอากาศ จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบปรับอากาศ มาตรการนี้จะช่วยประหยัดพลังงานได้ 5-10%

มาตรการที่ 7 มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง โดยการเปลี่ยนมอเตอร์เหนี่ยวนำธรรมดาเป็นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูงจะช่วยประหยัดพลังงานได้ 3-10%

มาตรการที่ 8 ควบคุมสภาพอากาศ โดยการติดตั้ง CO_2 Sensor เพื่อวัดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ บริเวณพื้นที่ทำงาน สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วรอบของ มอเตอร์แดมเปอร์หรือความเร็วของมอเตอร์พัดลมในคอล์ยเย็นจะควบคุมความร้อนจากอากาศภายนอก มาตรการนี้ช่วยประหยัดพลังงานได้ 1-2.5%

เมื่อตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานตั้งแต่เดือนมกราคม ถึงธันวาคม 2552 เป็นเวลา 1 ปี โดยการสำรวจระบบต่างๆที่ใช้พลังงานทุกระบบในโรงงาน ทั้งในช่วงทำ การผลิต และช่วงหยุดการผลิต รวมทั้งการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวัดต่างๆ ข้อมูลที่ได้ทำให้ทราบสภาพการใช้พลังงานของโรงงานดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงผลการใช้พลังงานอุปกรณ์ต่างๆในระบบจากการออกแบบและการตรวจวัด

เดือน	พลังงานไฟฟ้าจากคำนวณ (เมกกะวัตต์-ชั่วโมง)	พลังงานไฟฟ้าจากวัดจริง (เมกกะวัตต์-ชั่วโมง)	ค่าแตกต่างระหว่างการคำนวณและการวัด
มกราคม	486.78	476.57	10.21
กุมภาพันธ์	464.87	450.48	14.40
มีนาคม	526.21	514.59	11.62
เมษายน	520.47	514.04	6.49
พฤษภาคม	534.40	527.61	6.79
มิถุนายน	511.04	502.52	8.51
กรกฎาคม	525.39	515.26	10.14
สิงหาคม	523.24	512.65	10.58
กันยายน	503.62	493.81	9.81
ตุลาคม	519.14	507.74	11.40
พฤศจิกายน	493.69	476.60	17.08
ธันวาคม	480.60	468.68	11.92
รวม	6,089.45	5,960.56	128.89

5. สรุป

การศึกษาวิจัยเป็นการเปิดโอกาสสำหรับการใช้พลังงานให้เกิดประสิทธิภาพพบว่าสามารถลดคาร์บอนไดออกไซด์สู่ปล่อยบรรยากาศได้แบบจำลองที่ศึกษาวิจัยนี้คือการออกแบบและการเลือกของอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงในระบบปรับอากาศและระบบไฟฟ้าของ

ตารางที่ 4

แสดงผลการเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานอุปกรณ์ต่างๆในระบบจากการออกแบบและการตรวจวัด

Economical equipment/ machine/ materials	Parameter(s)	Comparison of energy consumptions		Remark(s)
		Design	Actual	
Roofing	Transmission of heat from roof (W/m^2)	8.49	12.1	(1) Outdoor temp (design) = 35°C (2) Outdoor temp (actual) = 35°C
External wall	Transmission of heat from wall (W/m^2)	26.05	29.63	
Fluorescent lamp	Input power per unit (W-h/ unit)	36.0	33.3	(1) OTTV (design) = 12.79 W/m^2 (2) OTTV (actual) = 13.98 W/m^2
Outdoor lighting	Input power per unit (W-h/unit)	90.0	110.9	
Downlight	Input power per unit (W-h/unit)	7.0	7.9	
Transformer	Loss of transformer (kW-h)	67.28	8.06	(1) Design load: 100% (2) Actual load: 12% of the capacity of transformer
Chiller	COP (kW / kW-h)	6.06	5.58	(1) Design capacity = 530.0 USRT (2) Actual capacity = 242.5 USRT
Temperature difference in chilled water	Total input power of chilled water pump (kW-h)	74.0	74.0	*Efficiency of pump* (1) For design: 63.0% (2) For actual : 64.0%
Ventilation Fan	Total input power of fan (kW-h)	220.1	217.0	*Efficiency of fan* (1) design: 63.0% (2) Per actual: 66.0%
Air Handling Unit	Total cooling load (kW)	1,863.0	870.0	Actual operating production machine : 70% (another 30% is to be operated in future)
Exhaust air system & CO_2 sensor	Outdoor air volume (m^3/h)	8,000.0	8,000.0	Operate Oahu and Exhaust Fan 60 %
Total of Energy (kW-h)		837.95	775.37	

โรงงานผลิตอุปกรณ์และแผงวงจรไฟฟ้าใช้อุปกรณ์ประหยัดพลังงานในการติดตั้ง จากผลการตรวจวัดพบว่ามีการใช้พลังงานจริง 5,960,560 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปีทำให้สามารถลดพลังงานไฟฟ้าได้12,889กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปีและลดการปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศได้ 4,975.15 กิโลกรัมต่อปีจากสภาพการใช้พลังงานของโรงงานที่ได้ออกแบบและก่อสร้าง นอกจากนี้สามารถนำข้อมูลมาใช้สำหรับออกแบบโรงงานและเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบต่างๆ วางแผนการจัดการพลังงานให้กับโรงงานอื่นๆ ได้

เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน., “มาตรการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมโรงงานอุตสาหกรรมอาคารธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก” กรุงเทพฯ,2551.

2. ไพบูลย์ หังสพฤกษ์ และเฮอิโซ ไซโต.,“การปรับอากาศ,” (พิมพ์ครั้งที่ 3). ศูนย์การพิมพ์ดวงกมล.กรุงเทพฯ, 2533.

3. ธนบูรณ์ ศศิภานุเดช.,“การออกแบบระบบไฟฟ้า,”เอช-เอน การพิมพ์.กรุงเทพฯ, 2532.

4. โชคชัยอนามธวัช., “การจัดการการใช้พลังงานในโรงงานเฟอร์นิเจอร์,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิตสาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน, คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.

5. ASHRAE., “2001 ASHARAE Handbooks Fundamental (SI)”. Atlanta: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineering.Inc., 2001

6. Bivens, D. B, “Alternative Refrigerants for Building Air Conditioning”. Energy Systems Laboratory, pp 289. 1996.