เด่นไชย สุวรรณพฤกษ์
พิชัย อัษฎมงคล
ณรงค์ อาจฤทธิ์

โครงการความร่วมมือทางวิชาการระหว่างภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
และกองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ส่วนการศึกษา
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

การพัฒนาโปรแกรมการจัดทำบัญชีพลังงานและช่วยวิเคราะห์การประหยัดพลังงานของสถานประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม

The Integrated Program for Energy Accounting and the Analysis of Energy Saving for SMEs

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีความมุ่งหมายเพื่อพัฒนาโปรแกรมการจัดทำบัญชีพลังงาน และช่วยวิเคราะห์การประหยัดพลังงาน โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟวิชวลเบสิก ในการพัฒนาโปรแกรม และใช้โปรแกรมไมโครซอฟแอคเซสในการออกแบบจัดเก็บฐานข้อมูลสำหรับการจัดทำบัญชีพลังงาน โดยจะจัดเก็บรวบรวมการใช้พลังงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ทั้งที่ใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง โดยโปรแกรมบัญชีพลังงานจะแยกประเภทเป็นการใช้งานของอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิง โปรแกรมนี้เป็นเครื่องมือที่จะจัดเก็บข้อมูลการใช้กำลังงาน ขนาด จำนวน เวลาที่อุปกรณ์ใช้งาน ตลอดจนนำข้อมูลที่จัดเก็บมาประมวลผล และสามารถแสดงสัดส่วนการใช้พลังงานของอุปกรณ์แต่ละชนิดได้ ซึ่งหมายถึงบัญชีพลังงาน จากบัญชีพลังงานที่ได้ทำให้ทราบว่าควรจะปรับปรุงหรือหาแนวทางในการประหยัดพลังงานในส่วนของอุปกรณ์ใดก่อน โดยในเบื้องต้นโปรแกรมสามารถช่วยวิเคราะห์หาแนวทางการประหยัดพลังงานจากข้อมูลที่จัดเก็บไว้ในบัญชีการใช้พลังงาน และข้อมูลเพิ่มเติมจากการตรวจวัด ซึ่งแนวทางการวิเคราะห์ได้อิงหลักข้อกำหนด และมาตรการ การประหยัดพลังงานของกรมอนุรักษ์พลังงาน และพลังงานทดแทน กระทรวงพลังงาน ทั้งนี้โปรแกรมยังคำนึงถึงจุดคุ้มทุนของการประหยัดพลังงานเพื่อให้เหมาะสมกับการลงทุน และทำให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด สำหรับสถานประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม

Abstract

The objective of this thesis was developed to create an energy account and to analyze the energy saving. It was developed by Microsoft Visual Basic and it used Microsoft Access to design and to collect database for energy accounting. This energy accounting program will collect energy consumption of machines and equipments, which consumed electricity and thermal energy from fuel. The program will separate the amount of energy for each equipment consumed. The program works as the tools to collect power consumption, size, quantities, and time of usage. And computing it could show the energy consumed by each equipment that is energy accounting. The energy accounting could be used to inform which equipments could be improved. The program, in general can analyze energy saving solution from database and additional data from measurement. The analytical are based on the standard from department of alternative energy development and efficiency Ministry of energy. It will also calculate the break even point so it will be suitable for investments and it will be used to maximize energy efficiency for SMEs.

1. บทนำ

ในปัจจุบันยังเป็นการยากที่จะนำเอาพลังงานทดแทนมาใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นจึงมีแนวทางการจัดการพลังงานให้เกิดประโยชน์สูงสุด และการหาแนวทางในการใช้พลังงานให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้เนื่องจากในกระบวนการผลิตจะต้องมีปัจจัยที่สำคัญคือ พลังงาน ซึ่งในปัจจุบันนี้แทบจะเป็นไปไม่ได้เลยที่จะซื้อของสิ่งหนึ่งที่ผ่านกระบวนการผลิตแบบแรงงานคนล้วนๆ ดังนั้นจึงเห็นได้ว่าพลังงานในส่วนการผลิตเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะทำให้ต้นทุนของสินค้าสูงขึ้น หรือต่ำลง จึงมีการหาเทคโนโลยี และการบริหารจัดการพลังงานให้มีราคาถูก และคุณภาพเหมาะสมเพื่อลดต้นทุนการผลิต ดังนั้นทางหน่วยงานภาครัฐจึงเล็งเห็นความสำคัญดังกล่าวเพื่อส่งเสริม และหาแนวทางช่วยผู้ประกอบการให้สามารถแข่งขันได้กับนานาประเทศ จึงได้ออกพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 สำหรับควบคุมโรงงาน และอาคารที่ใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ 1,175 kVA ถึง 11,750 kVA ขึ้น แต่เนื่องจากพระราชบัญญัติดังกล่าวยังไม่ได้รวมถึงสถานประกอบการขนาดกลาง และขนาดย่อม ซึ่งเรียกว่า SMEs หมายถึงกิจการการผลิต และบริการที่มีคนไม่เกิน 50 คนหรือสินทรัพย์ถาวรไม่เกิน 50 ล้านบาท ซึ่งเป็นสถานประกอบการขนาดย่อม ส่วนกิจการการผลิต และบริการที่มีคน 51-200 คนหรือสินทรัพย์ถาวรเกินกว่า 50-200 ล้านบาท จัดเป็นสถานประกอบการขนาดกลาง ซึ่งถ้าเราสามารถดำเนินการจัดเก็บฐานข้อมูลการใช้พลังงาน และหาแนวทางเบื้องต้นในการดำเนินการประหยัดพลังงานในสถานประกอบการได้ จะทำให้การใช้พลังงานโดยรวมของประเทศมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และสถานประกอบการจะมีต้นทุนการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์นั้นด้วย

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบ และพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการจัดเก็บข้อมูลเพื่อจัดทำบัญชีการใช้พลังงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ รวมถึงมาตรการประหยัดพลังงานเบื้องต้นในอุปกรณ์ที่มีการใช้ในสถานประกอบการขนาดกลาง และขนาดย่อม

1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1) จัดเก็บข้อมูลอุปกรณ์ และจำแนกสัดส่วนการใช้พลังงานในอุปกรณ์แต่ละชนิดซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวประกอบด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า เครื่องอัดลม เครื่องปรับอากาศ หม้อไอน้ำหรืออุปกรณ์ที่ใช้เชื้อเพลิง

2) ทดสอบโปรแกรมกับโรงงานควบคุมปีที่ 4 ที่มีผลการตรวจวัดการใช้พลังงานเบื้องต้นแล้วจำนวน 10 โรงงาน

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทำให้มีการจัดเก็บฐานข้อมูลด้านพลังงานอย่างเป็นระบบ

2) ทำให้ง่าย สะดวก รวดเร็วในการจัดเก็บข้อมูล และแนวทางที่จะประหยัดพลังงานเบื้องต้น

3) ลดจำนวนบุคลากร และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่เกี่ยวข้องลง

4) เพิ่มศักยภาพในการทำระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดการพลังงาน และการลงทุนซื้อเครื่องจักรใหม่

2. ทฤษฎี

2.1 การออกแบบโปรแกรมการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม

ระบบการคิดค่าไฟฟ้า การไฟฟ้าคิดค่าไฟฟ้าในสถานประกอบการจากปัจจัย 3 ประการ คือ

1. ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้มีหน่วยเป็น "กิโลวัตต์ชั่วโมง" หรือเรียกกันว่า "หน่วย" หน่วยละประมาณบาทหกสตางค์

2. ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด ใช้คำว่า "พลังไฟฟ้า" ไม่ใช่ "พลังงานไฟฟ้า" พลังไฟฟ้าสูงสุด มีหน่วยเป็น "กิโลวัตต์" ซึ่งจะบอกว่า สถานประกอบการใช้ไฟฟ้าเร็วขนาดไหน เพราะแม้จะใช้พลังงานเท่า ๆ กัน แต่ต้องมีหม้อแปลงใหญ่พอ สายไฟขนาดใหญ่ และสร้างโรงไฟฟ้าไว้ใหญ่พอ จึงต้องคิดเงินจากพลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยราคาแตกต่างกันไปตามระบบการคิดค่าไฟฟ้า

3. ค่าปรับปรุงต้นทุนการผลิต Ft เป็นค่าชดเชยต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง ค่านี้การไฟฟ้าจะเป็นผู้กำหนด

การออกแบบโมดูลการคิดค่าไฟฟ้ารวม

สำหรับสถานประกอบการอุตสาหกรรม การคิดค่าไฟฟ้าจะแตกต่างกันไปตามขนาดการใช้ไฟฟ้า แบ่งเป็น 3 ระบบดังนี้

1. อัตราปกติ (TWO PART TARIFF) สามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$C = DC \times P + EC \times E \qquad (1)$$

C = ค่าไฟฟ้าเฉพาะส่วนของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด และค่าพลังงานไฟฟ้าเท่านั้น ยังไม่รวมค่า Ft และภาษีมูลค่าเพิ่ม (บาทต่อเดือน)

DC = อัตราค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (บาทต่อกิโลวัตต์)

P = ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบเดือนที่เรียกเก็บเงิน (กิโลวัตต์)

EC = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)

E = ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในรอบเดือนที่เรียกเก็บเงิน (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง)

2. อัตรา TOD (Time of Day) แบบอัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Tariff: TOD Tariff) ยังสามารถแบ่งการคิดเงินเป็น 2 กรณีซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

กรณี $P \geq PP$

$$C = DC_p \times P + EC \times E \quad (2)$$

กรณี $P < PP$

$$C = DC_p \times P + DC_{pp}(PP - P) + EC \times E \quad (3)$$

C = ค่าไฟฟ้า (บาทต่อเดือน)

DC_P = อัตราค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง On Peak (บาทต่อกิโลวัตต์)

DC_{PP} = อัตราค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง Partial Peak (บาทต่อกิโลวัตต์)

PP = ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง Partial Peak (กิโลวัตต์)

P = ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง On Peak (กิโลวัตต์)

EC = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)

E = ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (หน่วย)

3. อัตรา TOU (Time of Use) แบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Tariff: TOU Tariff) สามารถเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

$$C = DC \times P + (EC_1 - EC_2) \times E_1 + EC_2 \times E \quad (4)$$

อัตราช่วงเวลาของวัน

$$C = DC \times P + EC_1 \times E_1 + EC_2 \times E_2 \quad (5)$$

C = ค่าไฟฟ้า (บาทต่อเดือน)

DC = อัตราค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง On Peak (บาทต่อกิโลวัตต์)

P = ความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วง On Peak (กิโลวัตต์)

EC_1 = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วง On Peak (บาทต่อกิโลวัตต์)

EC_2 = อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วง Off Peak (บาทต่อกิโลวัตต์)

E_1 = ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในช่วง On Peak (หน่วย)

E = ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งเดือน (หน่วย)

การออกแบบโมดูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบแสงสว่าง

$$E = \sum_{i=1}^{n} C_{di} C_{mi} f_i \sum_{i=1}^{m} (N_i kW_{li} + n_i kW_{bi}) \quad (6)$$

E = การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี)

N_i = จำนวนโคม

n_i = จำนวนบัลลาสต์

C_{di} = การใช้พลังงานต่อชั่วโมงต่อวัน

C_{mi} = การใช้พลังงานต่อวันต่อเดือน

f_i = เปอร์เซ็นต์การใช้งานเฉลี่ยต่อปี

kW_{li} = กำลังไฟของหลอด (กิโลวัตต์)

kW_{bi} = กำลังไฟของบัลลาสต์ (กิโลวัตต์)

การออกแบบโมดูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

$$E = \sum_{i=1}^{n} C_{di} C_{mi} f_i kW_{mi} \quad (7)$$

E = การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี)

C_{di} = การใช้พลังงานต่อชั่วโมงต่อวัน

C_{mi} = การใช้พลังงานต่อวันต่อเดือน

f_i = เปอร์เซ็นต์การใช้งานเฉลี่ยต่อปี

kW_{mi} = กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)

การออกแบบโมดูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

$$E = \sum_{i=1}^{n} C_{di} C_{mi} f_i kW_{mi} \quad (8)$$

E = การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี)

C_{di} = การใช้พลังงานต่อชั่วโมงต่อวัน

C_{mi} = การใช้พลังงานต่อวันต่อเดือน

f_i = เปอร์เซ็นต์การใช้งานเฉลี่ยต่อปี

kW_{mi} = กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)

การออกแบบโมดูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบอัดอากาศ

$$E = \sum_{i=1}^{n} (C_{di} C_{mi} f_i kW_{mi})_{on} + \sum_{i=1}^{n} (C_{di} C_{mi} f_i kW_{mi})_{off} \quad (9)$$

E = การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี)

C_{di} = การใช้พลังงานต่อชั่วโมงต่อวัน

C_{mi} = การใช้พลังงานต่อวันต่อเดือน

f_i = เปอร์เซ็นต์การใช้งานเฉลี่ยต่อปี

kW_{mi} = กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)

การออกแบบโมดูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีขนาดตั้งแต่ 1 กิโลวัตต์ขึ้นไป

$$E = \sum_{i=1}^{n} N_i C_{di} C_{mi} f_i kW_{mi} \quad (10)$$

E = การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อปี (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี)

n_i = จำนวนอุปกรณ์

C_{di} = การใช้พลังงานต่อชั่วโมงต่อวัน

C_{mi} = การใช้พลังงานต่อวันต่อเดือน

f_i = เปอร์เซ็นต์การใช้งานเฉลี่ยต่อปี

kW_{mi} = กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์)

การออกแบบโมดูลของดัชนีการใช้พลังงานในรอบปี

$$SEC_{Hi} = \frac{F_i}{P_i} \quad (11)$$

SEC_{Hi} = ดัชนีการใช้พลังงานของเชื้อเพลิงรายเดือน (เมกกะจูลต่อตัน)

F_i = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง (หน่วย)

P_i = ปริมาณการผลิต (หน่วย)

ส่วนที่ 2 สมการทางคณิตศาสตร์แสดงผลของดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าในรอบปี

$$SEC_{Ei} = \frac{kWh_i}{P_i} \quad (12)$$

SEC_{Ei} = ดัชนีการใช้พลังงานของเชื้อเพลิงรายเดือน (เมกกะจูลต่อตัน)

kW_{hi} = ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง)

P_i = ปริมาณการผลิต (หน่วย)

การออกแบบโมดูลโปรแกรมแสดงผล

การแสดงผลด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าไฟฟ้ารวม เทียบกับ

เวลาการใช้งานในช่วงเวลาเดียวกัน การเขียนโมดูลโปรแกรมย่อยนี้เป็นการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการป้อนข้อมูลค่าไฟฟ้าในรอบปีมาแสดงผล เพื่อหาแนวโน้มการใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าไฟฟ้ารวมเพื่อจะได้จัดการการใช้พลังงานให้เหมาะสมกับรอบเวลา

การออกแบบโมดูลของกราฟแสดงผลของสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้า

เป็นการเขียนโปรแกรมแสดงผลการใช้พลังงานโดยแบ่งตามประเภทของพลังงานที่ใช้ซึ่งมีอยู่ 2 ส่วน คือส่วนพลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนโดยการใช้เชื้อเพลิง อีกทั้งยังแบ่งแยกประเภทของอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานทั้งไฟฟ้าและเชื้อเพลิงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของแต่ละอุปกรณ์ เพื่อจะได้ทราบว่าอุปกรณ์ประเภทไหนมีการใช้พลังงานมากน้อยเท่าไร และจะได้ดำเนินการหามาตรการประหยัดสำหรับแต่ละอุปกรณ์ต่อไป

2.2 การออกแบบโปรแกรมประเมินผลจากการประหยัดพลังงานในเครื่องจักร และอุปกรณ์ตามมาตรการการประหยัดพลังงาน

การออกแบบโมดูลมาตรการปรับปรุงมอเตอร์ไฟฟ้า

มอเตอร์ไฟฟ้านับเป็นอุปกรณ์หลักในอุตสาหกรรม การลดการสูญเสียที่มอเตอร์ จึงเป็นมาตรการที่มีศักยภาพในการประหยัดพลังงานและลดความต้องการไฟฟ้า สำหรับมอเตอร์แบบเหนี่ยวนำโดยเฉพาะการสูญเสียในมอเตอร์ ได้แก่ การสูญเสียในแกนเหล็ก และการสูญเสียในตัวนำทั้งด้าน สเตเตอร์ และโรเตอร์ดังแสดงในสมการดังนี้

กำลังสูญเสียรวม $= K_1V^2 + K_2/V^2$ (13)

K_1V^2 = กำลังสูญเสียในแกนเหล็ก

K_2/V^2 = กำลังสูญเสียในตัวนำ

การปรับปรุงมอเตอร์ในโปรแกรมนี้แนะนำให้เปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงโดยโปรแกรมจะเปรียบเทียบให้เห็นว่าจะสามารถประหยัดพลังงานได้เท่าไร การปรับปรุงมอเตอร์ทั่วไปโดยเปลี่ยนมาใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง มีหลักการคำนวณดังสมการต่อไปนี้

$$\eta = \frac{0.746 \times HP}{E} \times 100 \quad (14)$$

$$E_S = 0.746 \times HP \times \left(\frac{100}{\eta_1} - \frac{100}{\eta_2} \right) \quad (15)$$

η = ประสิทธิภาพของมอเตอร์ (%)

HP = กำลังงานกล (แรงม้า)

E = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์)

E_S = พลังงานที่ประหยัดได้ (กิโลวัตต์)

η_1 = ประสิทธิภาพของมอเตอร์ธรรมดา (%)

η_2 = ประสิทธิภาพของมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (%)

การออกแบบโมดูลมาตรการปรับปรุงในเครื่องอัดอากาศ

การประหยัดพลังงานในการใช้เครื่องอัดอากาศพบว่าการลดการรั่วไหลของอากาศที่ใช้ในระบบซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้การใช้พลังงานเพิ่มขึ้นและพบบ่อยที่สุดในกระบวนการ ดังนั้นผู้ดำเนินการวิจัยจึงคำนวณหาอัตราการรั่วไหลของอากาศโดยสามารถดำเนินการได้ 2 วิธีคือ

1. การตรวจสอบการรั่วไหลสำหรับเครื่องอัดอากาศที่ใช้ระบบควบคุมแบบเปิด/ปิด โดยจับเวลาที่เครื่องเดินแบบมีภาระ และไม่มีภาระ โดย

ใช้สูตร

$$\text{อัตราการรั่วไหล} = \frac{T_{onload} \times Q_{FAD}}{T_{onload} + T_{offload}} \text{ ลิตร/วินาที} \quad (16)$$

Q_{FAD} = อัตราการผลิตอากาศของเครื่องอัดอากาศ (ลิตร/วินาที)

T_{onload} = เวลาทดสอบเครื่องอัดอากาศจากความดันบรรยากาศถึงความดันที่ตัดโหลด เวลาคิดเป็นวินาที

$T_{offload}$ = เวลาช่วงความดันที่ตกลงจากความดันที่ตัดโหลดจนถึงความดันที่ต่อโหลดใหม่ เวลาคิดเป็นวินาที

2. การทดสอบการรั่วไหลสำหรับเครื่องอัดอากาศที่ใช้ระบบแบบมอดูเลติ้ง

$$\text{อัตราการรั่วไหล} = \frac{V_{total} \times (P_1 - P_2)}{T_{P_1 - P_2}} \text{ (ลิตร/วินาที)} \quad (17)$$

V_{total} = ปริมาตรรวมทั้งหมดทั้งท่อส่ง จ่าย และถังเก็บอากาศ (ลิตร)

P_1 = ความดันอากาศที่ตัดโหลด (บาร์)

P_2 = ความดันอากาศที่ต่อโหลด (บาร์)

T_{P1-P2} = เวลาที่ความดันตกลงจาก P_1 มาสู่ P_2 (วินาที)

หากพบว่าค่าอัตราการรั่วไหลมากควรปรับปรุงให้ค่าดังกล่าวมีค่าลดลงซึ่งจะทำให้การใช้พลังงานลดลงด้วย

การออกแบบโมดูลมาตรการปรับปรุงในระบบปรับอากาศ

การประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศคำนึงถึงสมรรถนะการทำความเย็นโดยเปรียบเทียบค่า Chp ของเครื่องปรับอากาศนั้นกับค่า Chp มาตรฐาน โดยโปรแกรมจะแนะนำให้เปลี่ยนเครื่องปรับอากาศถ้าค่า Chp สูงกว่ามาตรฐาน การหาค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็นสำหรับเครื่องทำความเย็น

$$\text{ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็น Chp (kW/TR)} = \frac{50.4 \times kW}{\left(F \times (T_R - T_S)\right)} \quad (18)$$

kW = กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องทำน้ำเย็น มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์

F = ปริมาณน้ำเย็นที่ไหลผ่านส่วนที่ทำความเย็น มีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที

T_R = อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลเข้าส่วนที่ทำความเย็น มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

T_S = อุณหภูมิของน้ำเย็นที่ไหลออกส่วนที่ทำความเย็น มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

การหาค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็นสำหรับเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน ติดหน้าต่าง และเครื่องทำความเย็นแบบเป็นชุด

ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็น Chp (kW/TR) =

$$\frac{kW}{5.707 \times 10^{-3} \times CMM \times (H_R - H_S)} \quad (19)$$

kW = กำลังไฟฟ้าที่ใช้ของเครื่องทำน้ำเย็น มีหน่วยเป็นกิโลวัตต์

CMM = ปริมาณลมเย็นที่ไหลผ่านชุดจ่ายลมเย็น มีหน่วยเป็นลูกบาศก์เมตรต่อนาที

H_R = เอ็นทาลปีของอากาศที่ไหลเข้าชุดจ่ายลมเย็น มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัม

H_S = เอ็นทาลปีของอากาศที่ไหลออกจากชุดจ่ายลมเย็น มีหน่วยเป็นกิโลจูลต่อกิโลกรัม

การออกแบบโมดูลมาตรการปรับปรุงจากการเผาไหม้

การปรับปรุงประสิทธิภาพการเผาไหม้โดยอาศัยข้อมูลจากการตรวจวัดค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจน เปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ ค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์ และอุณหภูมิของไอเสียที่ทางออกว่าสอดคล้องกับค่าตามมาตรฐานของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงพลังงาน ซึ่งกำหนดค่ามาตรฐานที่วัดได้จากอุปกรณ์ควรมีค่าไม่เกินค่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ออกซิเจน เปอร์เซ็นต์คาร์บอนไดออกไซด์ ค่าความเข้มข้นของคาร์บอนมอนนอกไซด์

ชนิดเชื้อเพลิง	O_2(%)	CO_2(%)	อากาศส่วนเกิน(%)
น้ำมันเตา	3-4	13-14	10-20
น้ำมันดีเซล	3-4	12-13	10-20
ก๊าซ	2-3	9-10	10-20
เชื้อเพลิงแข็ง	7-10	12-13	50-70

ถ้าหากค่าที่วัดได้เกินกว่าค่าในตารางสมควรปรับปรุงเพื่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน ในการคำนวณหาปริมาณอากาศเชิงทฤษฎี และปริมาณก๊าซสันดาปเชิงทฤษฎี

การออกแบบโมดูลมาตรการปรับปรุงโคมไฟฟ้า

ปรับปรุงโคมไฟฟ้าที่ใช้อยู่ปัจจุบันมาใช้โคมประสิทธิภาพสูง ซึ่งจะทำให้สามารถลดการใช้พลังงานลงซึ่งปัจจุบันโคมไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงที่มีแผ่นสะท้อนแสงสูง ดังนั้นจึงสามารถลดจำนวนหลอดลงได้ 1 หลอดต่อโคมโดยสามารถหาพลังงานที่ประหยัดได้จากสมการดังนี้

$$E_s = \sum_{i=1}^{m} N_i(n_{1i} - n_{2i})C_{yi}(kW_{li} - kW_{bi}) \qquad (20)$$

E_S = พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี)
N_i = จำนวนโคมไฟ
n_{1i} = จำนวนหลอดต่อโคมก่อนปรับปรุง
n_{2i} = จำนวนหลอดต่อโคมหลังปรับปรุง
C_{yi} = จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อปี
kW_{li} = กำลังไฟของหลอด (กิโลวัตต์)
kW_{bi} = กำลังไฟของบัลลาสต์ (กิโลวัตต์)

การออกแบบโมดูลมาตรการปรับปรุงบัลลาสต์

การปรับปรุงบัลลาสต์ซึ่งมีอยู่สองชนิดคือ บัลลาสต์แบบ Low Watt Loss กับ แบบ Electronic แต่พบว่าการลดค่าความสูญเสียกำลังไฟฟ้าของบัลลาสต์แบบ Low Watt คิดเป็น 5.5 วัตต์ต่อตัว และแบบ Electronic คิดเป็น 7 วัตต์ต่อตัวตามลำดับ ดังนั้นเมื่อคิดถึงจุดคุ้มทุนทำให้การวิจัยนี้เลือกการปรับปรุงเฉพาะบัลลาสต์แบบ Low Watt Loss สำหรับผู้ประกอบการขนาดกลางและขนาดย่อม ซึ่งสามารถหาพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ดังสมการ

$$E_s = \sum_{i=1}^{m} N_i C_{yi}(kW_{bi} - 5.5\times10^{-3}) \qquad (21)$$

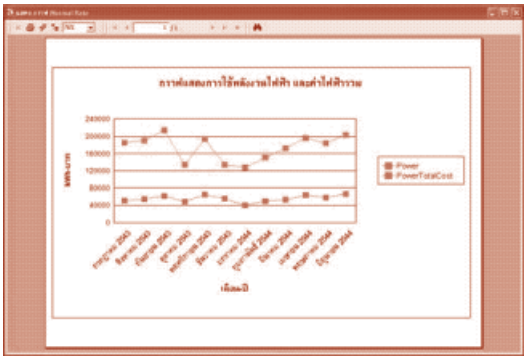
E_S = พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ (กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี)
N_i = จำนวนหลอด
C_{yi} = จำนวนชั่วโมงการทำงานต่อปี
kW_{bi} = กำลังไฟของบัลลาสต์ก่อนปรับปรุง (กิโลวัตต์)

3. ผลการทดสอบ

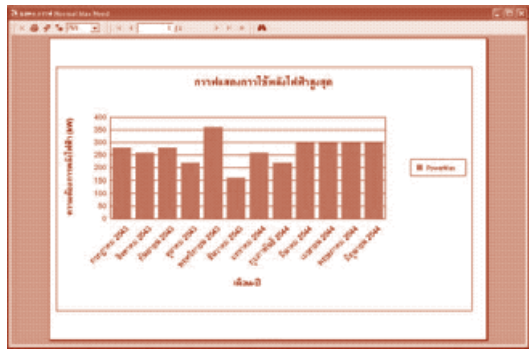
ในการทดสอบโปรแกรมเครื่องคอมพิวเตอร์ต้องการองค์ประกอบต่าง ๆ ดังนี้

1. โปรเซสเซอร์เพนเทียมขนาด 200 MHz ขึ้นไป
2. Ram อย่างน้อย 64 MB
3. Hard Disk มีที่ว่างพร้อมกับพื้นที่ดิสก์ที่ใช้รัน Microsoft Windows 98 ขึ้น
4. Microsoft Windows 98 หรือสูงกว่า
5. เมาส์หรืออุปกรณ์ที่ใช้ชี้จุดได้
6. จอภาพ VGA หรือสูงกว่า
7. ดิสก์ไดรฟ์ 3.5 นิ้ว

ผลจากการรันโปรแกรมจะปรากฏโมดูลหลักและโมดูลย่อยเพื่อให้สามารถเข้าไปป้อนข้อมูล และแสดงผลเป็นกราฟดังต่อไปนี้

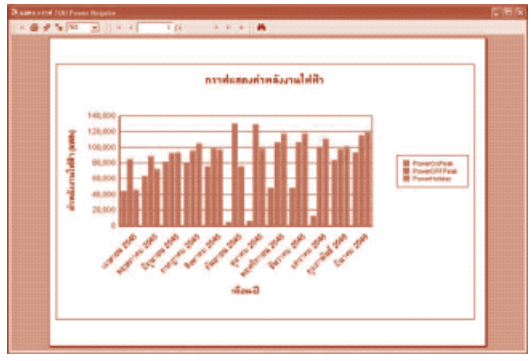


รูปที่ 1 แสดงผลกราฟซึ่งได้จากการประมวลผลการใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าไฟฟ้ารวมแบบอัตราปกติ

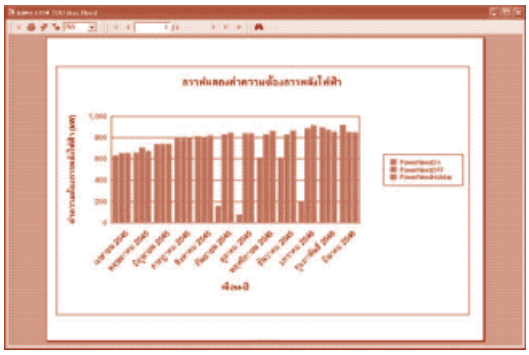


รูปที่ 2 แสดงผลกราฟซึ่งได้จากการประมวลผลการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดแบบอัตราปกติ

รูปที่ 3 แสดงผลกราฟซึ่งได้จากการประมวลผลการใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าไฟฟ้ารวมแบบอัตรา TOU

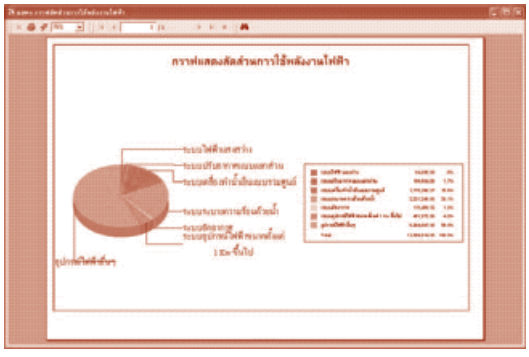


รูปที่ 4 แสดงผลกราฟซึ่งได้จากการประมวลผลค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาแบบอัตรา TOU

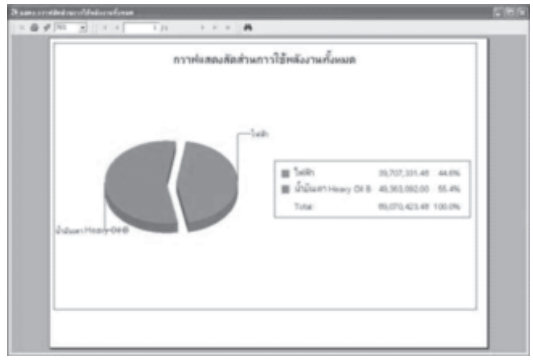


รูปที่ 5 แสดงผลกราฟซึ่งได้จากการประมวลผลค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าแบบอัตรา TOU

รูปที่ 6 แสดงผลกราฟซึ่งได้จากการประมวลผลค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตของสถานประกอบการ



รูปที่ 7 แสดงผลกราฟแสดงสัดส่วนอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 8 แสดงผลกราฟแสดงสัดส่วนที่มีการใช้พลังงานทั้งหมด

4. บทสรุป

จากการศึกษาผลการทดสอบโปรแกรม พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วยโปรแกรมการจัดทำบัญชีพลังงาน และช่วยวิเคราะห์การประหยัดพลังงานมีค่าใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ได้จากรายงานการตรวจสอบ และวิเคราะห์การใช้พลังงานเบื้องต้นของโรงงานควบคุมปีที่ 4 ที่นำเสนอต่อกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวได้พัฒนาโดยอาศัยกรอบของโรงงานควบคุมปีที่ 4 ซึ่งมีเครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ารวมตั้งแต่ขนาด 1,175 kVA แต่ไม่เกิน 2,350 kVA จึงสรุปได้ว่าโปรแกรมบัญชีพลังงาน และช่วยวิเคราะห์การประหยัดพลังงาน จะใช้ได้ผลดีกับสถานประกอบการขนาดกลาง และขนาดย่อมด้วย เนื่องจากขนาดของเครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้จะมีขนาด และการใช้พลังงานรวมไม่เกินขนาดกรอบของโปรแกรม กรณีของสถานประกอบการที่มีขนาดการใช้พลังงานรวมที่เกินกว่ากรอบของโปรแกรมในการจัดทำบัญชีพลังงาน ก็ไม่มีปัญหาใด ๆ เนื่องจากการพัฒนาโปรแกรมการจัดทำบัญชีพลังงานมิได้กำหนดขอบเขตของฐานข้อมูลไว้จึงสามารถที่จะใช้ได้กับสถานประกอบ

การที่มีขนาดใหญ่กว่า SMEs แต่โปรแกรมที่ช่วยวิเคราะห์การประหยัดพลังงานนี้ไม่เหมาะที่จะใช้กับสถานประกอบการที่มีขนาดใหญ่เนื่องจากความซับซ้อนของเครื่องจักร อุปกรณ์ ตลอดจนกระบวนการผลิต ทำให้ต้องใช้การวิเคราะห์ที่ซับซ้อนขึ้นอีกทั้งเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลก็ต้องมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ดังนั้นการพัฒนาโปรแกรมการจัดทำบัญชีพลังงาน และช่วยวิเคราะห์การประหยัดพลังงานของสถานประกอบการขนาดกลาง และขนาดย่อมจึงมีบทบาทในการช่วยทำให้ผู้ใช้งานที่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการใช้พลังงานน้อยหรือไม่มีพื้นฐานทางด้านวิศวกรรมมากนักสามารถประเมินผลการใช้พลังงาน และแยกเป็นสัดส่วนการใช้พลังงานในแต่ละส่วนอุปกรณ์ได้ง่ายและรวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถหาแนวทางการประหยัดพลังงานเบื้องต้นได้อย่างสะดวก ทำให้การจัดการการใช้พลังงานมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

เอกสารอ้างอิง

(1) กรมพัฒนาพลังงานทดแทน และอนุรักษ์พลังงาน. (2544). เอกสารประกอบการฝึกอบรมโครงการฝึกอบรมเชิงปฏิบัติการเพื่อมาตรฐานการทำงานของบริษัทที่ปรึกษา รายละเอียดการตรวจสอบ และวิเคราะห์การใช้พลังงานเบื้องต้น และโดยละเอียด. กรุงเทพฯ: บริษัท เอ็นเนอร์ คอนซัลแตนท์ จำกัด.

(2) กรมพัฒนา และส่งเสริมพลังงาน. (2535). พระราชกฤษฎีกากำหนดสถานประกอบการควบคุม และกฎกระทรวงออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535. กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม พิมพ์ครั้งที่ 2.

(3) ทาคามูระ โยชิฮิโกะ. (2543). เทคนิคการประหยัดความร้อนในอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

(4) ธนกร เอกเผ่าพันธุ์. (2545). การบัญชีต้นทุนเพื่อการตัดสินใจ. กรุงเทพฯ: ฟิสิกส์เซ็นเตอร์.

(5) มัสตุโอะ โมโตกิ. (2543). เทคนิคการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

(6) วัชระ มั่งวิทิตกุล. (2544). กระบวนการ และเทคนิคการลดค่าใช้จ่ายพลังงานสำหรับอาคาร และสถานประกอบการอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: อินเตอร์ พริ้นติ้ง แอนด์ พับลิชชิ่ง.

(7) วันชัย ริมวิทยากร. (2533). เศรษฐศาสตร์พลังงาน. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

(8) Bill Younger and Lack Brautigam. (2547). Energy Accounting. (ออนไลน์). แหล่งที่มา http://cru.cahe.WSU.edu/ceppppublication/ed1849e/eb1849e.html สืบค้นวันที่ 15 มกราคม 2547.

(9) Fleming W.S. and Associate Inc. (1987). A Simplified Energy Analysis Method. New York.

(10) Lawrence Berkeley Laboratory. (1983) DOE-2. California United States of America. 1983.

(11) Moncef Krarti. (2547). Energy Audit for Building. Page 4-200. The CRC Handbook of Thermal Engineering. Editor in Chief Frank Kreith.

(12) Reiter Sydney. (1985). The financial evaluation of energy costs and projects. Van Nostrand Reinhold Company.