การวางแผนจัดการพลังงานในระบบทำความเย็นและปรับอากาศด้วยวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอในหอระบายความร้อนเพื่ออนุรักษ์พลังงานโดยใช้การตัดสินใจแบบฟัซซี่

The Planning of Energy Management System in Refrigeration and Air Conditioning System with the Vapor Compression Cooling Cycle in the Cooling Tower for Energy Conservation Using a Fuzzy Decision

สัญชัยยะ ผสมกุศลศีล

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต
1761 ถนนพัฒนาการ เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250 Tel. 02-3216930-9, Fax: 0-2321-4444

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอเกี่ยวกับการวางแผนออกแบบระบบจัดการพลังงานในระบบทำความเย็นและปรับอากาศด้วยวัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอในหอระบายความร้อนเพื่ออนุรักษ์พลังงานโดยใช้การตัดสินใจแบบฟัซซี่ ในการควบคุมอุณหภูมิน้ำระบายความร้อนที่ออกจากหอระบายความร้อนที่เปลี่ยนไปตามภาระปรับอากาศ โดยทั่วไปจะใช้คนในการเลือกเปิด/ปิดจำนวนพัดลมระบายความร้อนที่ตามอุณหภูมิของน้ำระบายความร้อนออกจากหอระบายความร้อนหรือก่อนเข้าเครื่องควบแน่น ซึ่งการใช้คนนั้นมักจะผิดพลาดเสมอส่งผลให้สิ้นเปลืองพลังงาน เมื่อไม่มีผู้ใดอยู่ในห้องพักระบบจะทำงานโดยใช้คำสั่งตัดระบบไฟฟ้าแสงสว่างและระบบไฟฟ้าภายในอาคารของเครื่องปรับอากาศจะหยุดทำงาน ณ บริเวณห้องที่ไม่มีการใช้งานทำให้เกิดการประหยัดพลังงานที่ไม่ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและทำให้ลดค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ไฟฟ้าได้มากขึ้น ในระบบการตัดสินใจนี้นำหลักการประยุกต์ใช้กฎฟัซซีที่มีการเลือกจุดทำงานที่เหมาะสมของระบบวิธีการนี้ได้พัฒนาการสร้างกฎทางฟัซซี่จากฐานข้อมูลเชิงตัวเลขที่ได้จากการทำงาน Off-line Optimal Power Flows โดยรวมกฎที่ถูกสร้างขึ้นมาเป็นระบบฐานข้อมูลของกฎทางฟัซซี่และทำการอนุมานจุดทำงานที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้ากำลังจากฐานข้อมูล ระบบการตัดสินใจนี้จะควบคุมปริมาณความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ดังนั้นจึงสามารถประหยัดพลังงานในระบบทำความเย็นได้ประมาณ 35 %

คำหลัก: การตัดสินใจแบบฟัซซี่, การจัดการพลังงาน, การอนุรักษ์พลังงาน, ระบบทำความเย็น, หอระบายความร้อน

Abstract

This paper presents the planning of energy management in refrigeration and air conditioning system with vapor compression cooling cycle in the cooling tower for energy conservation using fuzzy decision, in controlling of the cooling water temperature from the cooling tower to the air conditioning load. Generally people use to select on/off the number of cooling fans based on the temperature of the cooling water from the cooling tower or before entering the condenser. The use of that will always cause mistakes, resulting in waste of energy. When no one is in the room, the system will operate using the cut off command of the electrical system, the lighting and the electrical system inside the air conditioner will stop working in the unused space, resulting in unused power savings, and reduce the electricity consumption of electricity users. In this decision system with fuzzy rule based application has been applied to select the appropriate operating point of the systems. This method has developed a fuzzy rule base on the numerical database generated by the off-line optimal power flows. The rules were created as a database of fuzzy rules, and make appropriate assumptions

of the power system from the database, and in this decision-making system controls the maximum demand in buildings more efficiently. Therefore, it can save energy of refrigeration system about 35 %.

Keywords: Fuzzy decision, energy management, energy conservation, refrigeration system and cooling tower

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้ระบบปรับอากาศมีความสำคัญมากต่อชีวิตประจำวันของคน โดยเฉพาะประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตซึ่งมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น ภายในอาคารจำเป็นจะต้องมีระบบทำความเย็นหรือเครื่องปรับอากาศเพื่อให้บุคลากรของบริษัทสามารถทำงานภายในห้องได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งระบบปรับอากาศมีการใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานค่อนข้างสูงในแต่ละวัน การใช้งานระบบปรับอากาศอย่างมีประสิทธิภาพก็เป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถลดการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิผล ในปัจจุบันนี้พบว่าอาคารธุรกิจส่วนใหญ่มีการใช้พลังงานสูงและมีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้นอีกในอนาคต ทำให้ภาคธุรกิจได้ให้ความสนใจในเรื่องการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพตามนโยบายอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน ดังนั้นจึงต้องมีการประหยัดพลังงานในอาคารสำนกงาน เพื่อสามารถมีพลังงานไฟฟ้าใช้ได้เป็นเวลานานๆ อีกทั้งยังช่วยประหยัดค่าใช้ไฟฟ้าได้ในอนาคต

ดังนั้นการเรียนรู้และทำความเข้าใจในระบบปรับอากาศจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง เพื่อนำความรู้ความเข้าใจไปใช้งานได้อย่างถูกต้องและเกิดประโยชน์สูงสุด การพัฒนาระบบจัดการพลังงานโดยใช้อุปกรณ์ชุดเซนเซอร์ (Sensors) ติดตั้งภายในห้องของอาคารเพื่อตรวจจับความร้อนของคนได้ ถ้าคนอยู่ภายในห้องของอาคารสำนักงานระบบปรับอากาศก็ไม่ทำงานแต่เมื่อคนออกจากห้องไปแล้วตัวเซนเซอร์ก็จะทำงานทันที ซึ่งมีความสะดวกแก่ผู้ใช้มาก เพราะว่าในอนาคตคนต้องใช้พลังงานไฟฟ้ามากขึ้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าโดยการควบคุมปริมาณความต้องการไฟฟ้าให้สอดคล้องกับอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU ในปัจจุบัน โดยใช้ระบบจัดการพลังงาน และนำหลักการการตัดสินใจแบบฟัซซี่เป็นฐานในการพิจารณา ซึ่งจะเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้การประมาณจุดคำตอบที่เหมาะสมจากข้อมูล ปัญหาอย่างหนึ่งของการใช้ตรรกแบบฟัซซี่คือกำหนดความสัมพันธ์ของฟังก์ชันสมาชิก[1] แล้วนำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็นฐานข้อมูลสำหรับให้ผู้ปฏิบัติงาน เพื่อนำมาสร้างเป็นกฎทางฟัซซี่ลอจิกสำหรับนำมาใช้ในการแก้ปัญหาต่อไป

2. หลักการ

2.1 การวางแผนจัดการและอนุรักษ์พลังงาน (Energy Conservation and Management Planning)

การจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า คือ การจัดการและควบคุมการทำงานของเครื่องจักร อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆในอาคารสำนักงาน อาคารที่พักอาศัย โรงแรมขนาดใหญ่และโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อสามารถทำงานโดยอัตโนมัติตามค่าที่กำหนดโดยผ่านการสั่งงาน และประมวลผลหลักจากคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบไว้สำหรับการจัดการกับการใช้พลังงาน ระบบจัดการพลังงานสามารถใช้ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ จะประกอบด้วยการเก็บบันทึกและการประมวลผล เพื่อลดปริมาณพลังงานไฟฟ้า ลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดและลดความต้องการกำลังรีแอคทีฟ (Reactive Power) ให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

2.1.1 การลดปริมาณพลังงานไฟฟ้า

การลดปริมาณพลังงานไฟฟ้า สามารถทำได้โดยลดการสูญเสียและลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบ เช่น ปิดเครื่องจักรในขณะไม่ใช้งาน เลือกขนาดอุปกรณ์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับงาน ติดตั้งระบบอัตโนมัติควบคุมการเปิด-ปิดไฟฟ้าอย่างเหมาะสม [2]

2.1.2 การลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

ตัวประกอบโหลด(Load Factor: LF)เป็นตัวประกอบสำคัญในการคิดหาต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้า เมื่อตัวประกอบโหลดมีค่าสูงแสดงว่าค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม หากมีการปรับปรุงค่าตัวประกอบโหลดให้สูงขึ้น ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยก็จะลดลง ตัวประกอบโหลดนี้เป็นค่าที่ได้จากการวัดความสม่ำเสมอของการใช้พลังงานไฟฟ้าในรอบเดือน หาจากสมการดังนี้

$$\text{โหลดแฟกเตอร์ (L.F.)} = \frac{P_{mean}}{P_{max}} 100 \qquad (1)$$

เมื่อ

P_{mean} (โหลดเฉลี่ย) คือ ความต้องการกำลังเฉลี่ย (demand) ใน1เดือน (kW)

P_{max} (โหลดสูงสุด) คือ ความต้องการกำลังสูงสุด (max. demand) ใน 1 เดือน (kW)

2.1.3 การลดค่าความต้องการกำลังรีแอคทีฟสูงสุด

การลดค่านี้สามารถทำได้โดยการปรับแก้ไขค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า(Power Factor Correction) ระบบไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ที่มีค่าตัวประกอบกำลังต่ำ(Power Factor: PF) แสดงว่ามีการสูญเสียพลังงานในระบบมาก จะส่งผลให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายพลังงานมาก การแก้ไขตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้สูงขึ้นจึงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

2.2 ระบบทำความเย็นและปรับอากาศ [3]

อาคารสำนักงานโดยทั่วไปจะมีลักษณะแบบปิด จำเป็นต้องมีการปรับอากาศภายในตัวอาคารสำนักงาน ซึ่งระบบการปรับอากาศนี้เป็นระบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก เนื่องจากจะต้องทำงานตลอดเวลาในขณะที่พนักงานยังคงทำงาน ดังนั้นการวางแผนจัดการที่ดีจะช่วยลดค่าใช้จ่ายทางด้านไฟฟ้าลงได้ การใช้งานและการบำรุงรักษาระบบทำความเย็นและปรับอากาศที่ถูกต้องจะช่วยให้เกิดการประหยัดพลังงานได้อีกด้วย

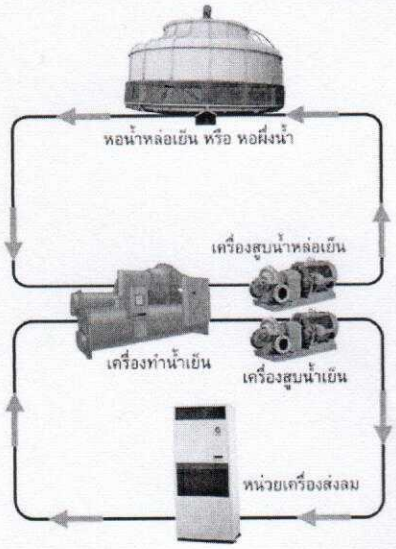
2.2.1 วิธีการประหยัดพลังงานในระบบปรับอากาศ

- ทำการปรับปรุงระบบปรับอากาศให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นพิจารณาจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน
- ออกแบบอาคารที่ติดตั้งระบบปรับอากาศและวัสดุต่างๆ เพื่อใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด
- บำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศสม่ำเสมอ

2.2.2 เทคนิคการอนุรักษ์พลังงานในระบบทำความเย็นและปรับอากาศ

โดยเลือกประเภทของเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน รูปที่ 2 แสดงไดอะแกรมระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็นจะมีส่วนประกอบหลักของระบบปรับอากาศ ได้แก่ การควบคุมระบบทำความเย็นที่เครื่องทำน้ำเย็น การควบคุมความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำเย็น การควบคุมระบบส่งจ่ายลมเย็น การควบคุมหอระบายความร้อน ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะการจ่ายลมเย็นออกเป็น 2 ระบบหลัก ได้แก่

- ระบบการจ่ายลมเย็นแบบ Constant Volume with Variable Temperature System
- ระบบการจ่ายลมเย็นแบบ Variable Volume with Constant Temperature System



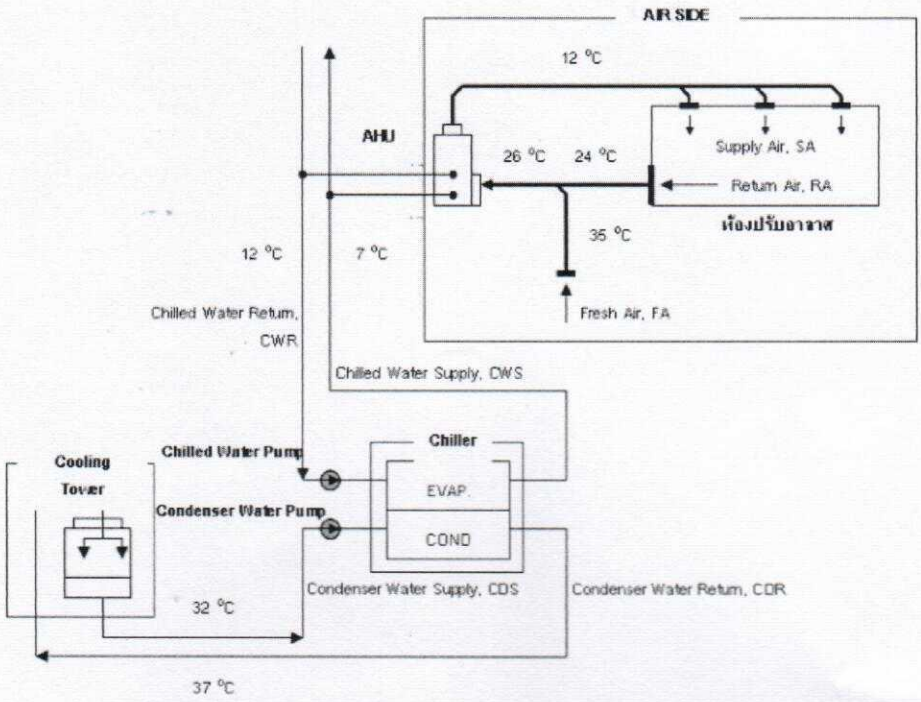
รูปที่ 1 ระบบปรับอากาศประเภท WATER COOLED WATER CHILLER

2.2.3 วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ

ระบบทำความเย็นส่วนใหญ่ได้รับการขับเคลื่อนโดยเครื่องจักรกลซึ่งจะทำการดูดและอัดไอสารทำความเย็นไปตามวัฏจักร ซึ่งความร้อนจะถูกส่งถ่ายเทและปล่อยทิ้งโดยอาศัยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ในระบบนี้มีหลักการทำงานด้วยวัฏจักรที่เรียกว่า วัฏจักรแบบอัดไอ (vapor-compression cycle)และมีระบบทำความเย็นที่สามารถใช้ในการทำให้เกิดการทำความเย็นได้ เช่น ระบบดูดซึม (absorption system) ซึ่งระบบนี้จะเหมาะสมกับอุตสาหกรรมที่มีความร้อนเหลือใช้หรือมีน้ำร้อนเหลือจากกระบวนการผลิตเป็นระบบที่ช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาต่ำ

หลักการของระบบแบบนี้คือ ความร้อนจะต้องถ่ายเทจากที่อุณหภูมิสูงไปสู่ที่อุณหภูมิต่ำ ในระบบทำความเย็นนั้นจะต้องทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนโดยใช้ตัวกลางที่เรียกว่าสารทำความเย็น จะทำการดูดกลืนความร้อนแล้วเกิดการเดือดหรือระเหยที่ความดันต่ำ ทำให้มีการเปลี่ยนสถานะจากของเหลวกลายเป็นไอน้ำขึ้น ต่อจากนั้นไอน้ำจะถูกอัดให้มีความดันสูงขึ้นซึ่งจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นด้วย และจะถ่ายเทความร้อนที่ได้รับให้อากาศรอบข้างพร้อม

กับการควบแน่นกลับคืนไปเป็นของเหลวจะเป็นผลให้เกิดการดูดกลืนหรือดึงความร้อนจากแหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิต่ำและถ่ายเทความร้อนไปสู่แหล่งความร้อนที่มีอุณหภูมิสูงกว่า จะต้องทำการเพิ่มประสิทธิภาพการแลกเปลี่ยนความร้อนของ Condenser และตรวจเช็คระบบจ่ายลมเย็นทุกเดือนและทุกๆ 6 เดือนโดยการติดตั้งระบบ Variable Air Volume System: VAV ในระบบปรับอากาศ



รูปที่ 2 ไดอะแกรมระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็น [3]

วัฏจักรการทำความเย็นแบบอัดไอ เมื่อไม่คิดพลังงานสูญเสียจะประกอบด้วยกระบวนการหลัก 4 ขั้นตอน แสดงดังรูปที่ 3 สามารถอธิบายดังนี้ [4]

1. กระบวนการ 2-3 เป็นกระบวนการอัดตัวแบบ Isentropic Compression โดยคอมเพรสเซอร์จะทำการอัดสารทำความเย็นในสภาวะไออิ่มตัว ให้มีความดันเท่ากับความดันที่คอยล์ร้อน (Condenser)

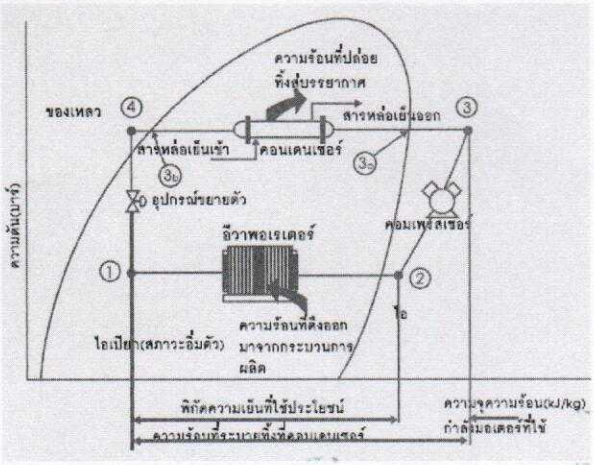
2. กระบวนการ 3-4 เป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนที่ความดันคงที่แบบย้อนกลับได้ โดยสารทำความเย็นที่อยู่ในสภาวะไอดง (Superheated Vapor) จะถูกทำให้เย็นลงจนเกิดการกลั่นตัวของสารทำความเย็น

3. กระบวนการ 4-1 เป็นกระบวนการขยายตัว หรือกระบวนการลดความดัน โดยสารทำความเย็นที่อยู่ในสภาวะของเหลวจะถูกลดความดันลงมากลายเป็นของผสมที่ความดันที่คอยล์เย็น (Evaporator)

4. กระบวนการ 1-2 เป็นกระบวนการรับความร้อนที่ความดันคงที่ ซึ่งทำให้สารทำความเย็นเดือดจนกลายเป็นไออิ่มตัว

2.2.4 หลักการทำงานหอระบายความร้อน

หอระบายความร้อนหรือเรียกว่าหอผึ่งเย็น (Cooling Tower) เป็นอุปกรณ์ติดตั้งปลายทางของวงจรน้ำเย็นหอทำความเย็นเป็นอุปกรณ์ใช้กับระบบทำความเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำ ทำหน้าที่ระบายความร้อนออกจากน้ำที่ผ่านการใช้งานจากคอนเดนเซอร์ [5] โดยน้ำที่อุณหภูมิสูงจากคอนเดนเซอร์จะถูกปั๊มขึ้นไปยังด้านบนของหอทำความเย็น และปล่อยฝนตกลงด้านล่าง สัมผัสกับอากาศ ทำให้น้ำมีอุณหภูมิต่ำลงก่อนนำกลับมาใช้งานใหม่ โดยปกติหอทำความเย็นจะติดตั้งอยู่ในระดับที่สูงกว่าคอนเดนเซอร์ ดังนั้นระบบจึงต้องมีการเติมน้ำจากแหล่งภายนอกเข้าสู่หอผึ่งเย็นอยู่เสมอเพื่อรักษาปริมาณน้ำในระบบให้คงที่



รูปที่ 3 แผนภูมิวัฏจักรอัดไอความดัน-เอนทาลปี [1]

ตารางที่ 1 หลักพื้นฐานการอนุรักษ์พลังงานระบบปรับอากาศในอาคารสำนักงานขนาดใหญ่

วิธีการ	แนวทางปฏิบัติ
1. ลดความร้อนผ่านอาคาร	- การบังแสงอาทิตย์ - การใช้กระจกกันความร้อน - การป้องกันลมรั่วที่ประตู
2. ลดความร้อนจากการเติมอากาศจากภายนอก	- ปรับอัตราการเติมอากาศให้เหมาะสมกับจำนวนคน - หยุดการเติมอากาศ เมื่อไม่มีคนใช้งานในพื้นที่ปรับอากาศ -ติดตั้งอุปกรณ์ความร้อน
3. ลดความร้อนที่เกิดภายในอาคาร	- ลดไฟฟ้าแสงสว่าง - ลดอุปกรณ์ไฟฟ้า - ลดจำนวนคน
4. เพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์	- ติดตั้งเครื่องจักรการทำงานที่มีประสิทธิภาพสูง - บำรุงรักษาเครื่องจักร

การที่ระบบปรับอากาศจะทำงานได้เต็มประสิทธิภาพต้องอาศัยการระบายความร้อนที่ดี ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้ระบายความร้อนออกจากระบบปรับอากาศคือหอระบายความร้อน(Cooling Tower) ดังนั้นจึงควรดูแลรักษาหอระบายความร้อนให้สามารถระบายความร้อนได้ดี

2.3 การวิเคราะห์ค่าไฟฟ้า

- คำนวณค่าไฟฟ้าปกติประเภทอาคารสำนักงานหาได้จากสมการดังนี้ [6]

$$C = DC(P + EC)\,E = 256.07(P + 1.7034)E \quad (2)$$

โดย

C คือ ค่าไฟฟ้าที่คิดเฉพาะค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้ (บาท)

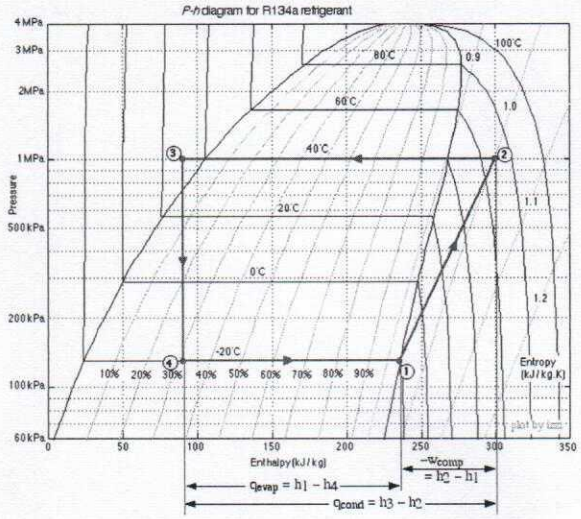
DC คือ อัตราค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด (บาทต่อกิโลวัตต์)

P คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (กิโลวัตต์)

EC คือ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า (บาทต่อหน่วย)

E คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (หน่วย)

$$C/E = DC(P/E) + EC \quad (3)$$



รูปที่ 4 แผนภูมิความดัน-เอนทาลปีของวัฏจักรอัดไอแบบขั้นตอนเดียว

ผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ประเภทธุรกิจ โรงแรม อุตสาหกรรม อาคารสำนักงานและกิจการให้เช่าห้องพัก จะมีอัตราการใช้ TOU คือผู้ใช้ไฟฟ้าเสียค่าไฟฟ้าตามอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ไฟฟ้า ดังนั้นหาค่าไฟฟ้าต่อหน่วยของอัตรา TOU จากสมการที่ (4) ดังนี้

$$C = DC\,(P+EC_1)E_1+EC_2xE_2 \quad (4)$$

โดย

EC_1 คือ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในช่วง On Peak (บาทต่อหน่วย)

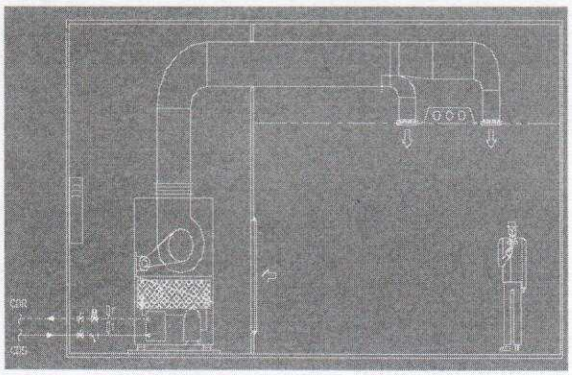
E_1 คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปช่วง On Peak (หน่วย)

EC_2 คือ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าคิดที่ในช่วง Off Peak (บาทต่อหน่วย)

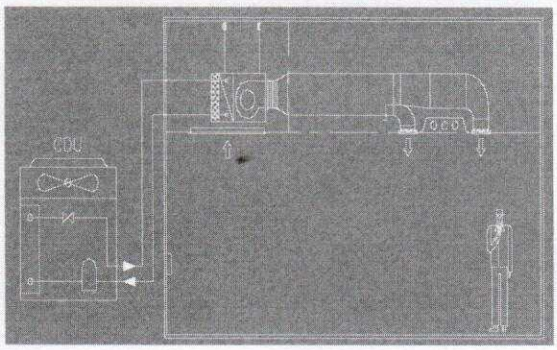
E_2 คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปช่วง Off Peak (หน่วย)

อาคารสำนักงาน โรงแรมขนาดใหญ่ส่วนมากจะนิยมเลือกใช้ระบบปรับอากาศประเภท WATER COOLED WATER CHILLER WCWC) ซึ่งจะประกอบด้วยรายการอุปกรณ์พื้นฐานดังแสดงรูปที่ 1 ได้แก่ [7]

- CH: เครื่องทำน้ำเย็น (Water cooled water chiller)
- CT: หอผึ่งน้ำ (Cooling tower)
- CHP: เครื่องสูบน้ำเย็น (Chilled water pump)
- CDP: เครื่องสูบน้ำหล่อเย็น (Condenser water pump)
- AHU: เครื่องส่งลมเย็น (Air handling unit)
- FCU: เครื่องจ่ายลมเย็น (Fan coil unit)
- CDS: ท่อจ่ายน้ำหล่อเย็น (Condenser water supply piping)



รูปที่ 5 ลักษณะการหมุนเวียนของอากาศและการควบคุมอุณหภูมิโดยอัตโนมัติของระบบทำความเย็นและปรับอากาศภายในห้อง



รูปที่ 6 การควบคุมการทำงานระบบส่งความเย็นของระบบทำความเย็นและปรับอากาศภายในห้อง

2.4 ฐานความรู้การตัดสินใจแบบฟัซซี่

ส่วนของฐานความรู้ที่ใช้ในการตัดสินใจแบบฟัซซี่จะประกอบด้วยกฎที่ใช้ในการวิเคราะห์ [8] ซึ่งกฎต่างๆนี้จะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงของค่าอินพุทที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบฟัซซี่จะประกอบด้วยกฎที่สำคัญมีทั้งหมด 7 กฎ โดยมีข้อมูลตามเงื่อนไขดังนี้

IF U(I) = PB THEN U(L) = NS
IF U(I) = PM THEN U(L) = NS
IF U(I) = PS THEN U(L) = ZE
IF U(I) = ZE THEN U(L) = ZE
IF U(I) = NM THEN U(L) = PS
IF U(I) = NS THEN U(L) = PB
IF U(I) = NB THEN U(L) = NM

ตารางที่2 เมตริกซ์กฎทางฟัซซี่ลอจิกของอุณหภูมิภายในห้องทำงานควบคุม

T/ ΔT	PB	PM	PS	ZE	NS	NM	NB
PS	PS	PS	PS	ZE	NS	NS	NM
PM	PM	PS	PS	ZE	ZE	NS	NS
PS	NS	NS	ZE	ZE	ZE	PS	PM
ZE	NS	NS	ZE	ZE	ZE	PS	PS
NS	NS	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	PS
NM	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE
NB	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE

2.4.1 การสร้างกฎทางฟัซซี่จากข้อมูลเชิงตัวเลข (Generating fuzzy rules of numerical data)

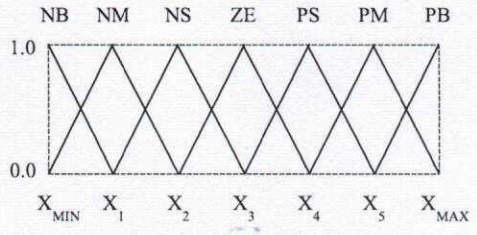
กระบวนการสร้างฐานข้อมูลนี้จะใช้การทำ Off-line OPF ซึ่งจะให้ข้อมูลจำนวนหนึ่งโดยการใช้ตรรกแบบฟัซซี่ตัดสินใจหาค่าเอาท์พุทที่เหมาะสมนั้น จะต้องทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทกับเอาท์พุท การสร้างกฎทางฟัซซี่จากชุดข้อมูลที่มีอยู่ เพื่อนำมาใช้อนุมานคำตอบที่มีชุดข้อมูล n ชุด ดังนี้

$\{(X_1^{(1)}, X_2^{(1)}, Y^{(1)}), (X_1^{(2)}, X_2^{(2)}, Y^{(2)}), \ldots\ldots, (X_1^{(n)}, X_2^{(n)}, Y^{(n)})\}$

โดยที่ X_1 และ X_2 เป็นอินพุทและ Y คือเอาท์พุท การสร้างกฎทางฟัซซี่จากชุดข้อมูลที่มีอยู่นี้ สามารถทำได้ดังนี้

1. แบ่งจำแนกค่าตัวแปรอินพุทและเอาท์พุทเป็นช่วงข้อมูล (Fuzzy variables) โดยจะพิจารณาของช่วงข้อมูลทั้งหมด ในการแบ่งช่วงข้อมูลของแต่ละตัวแปรให้แบ่งเป็น

2M+1 ในช่วงตัวแปร M = 0,1,2,...n โดยตัวแปรแต่ละตัวไม่จำเป็นต้องแบ่งให้มีจำนวนช่วงที่เท่ากัน หลังจากนั้นทำการเลือกฟังก์ชันสมาชิกให้เท่ากับตัวแปรทั้งหมด ฟังก์ชันสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยมดังแสดงรูปที่ 7



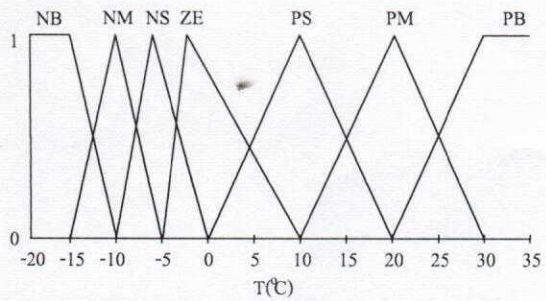
รูปที่ 7 ฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรอินพุทและเอาท์พุท

2. สร้างกฎทางฟัซซี่จากชุดข้อมูล 1 กฎ ต่อ 1 ชุด ด้วยตัวอย่างเช่น ถ้าชุดข้อมูลเป็น ($X_1^{(k)}$,$X_2^{(k)}$, $Y^{(k)}$) โดยที่ค่า $X_1^{(k)}$ อยู่ในช่วง PS และPB ในทำนองเดียวกันถ้า $X_2^{(k)}$ อยู่ในช่วง ZE มีค่าเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 $Y^{(k)}$ อยู่ในช่วง NS และ ZE

3. ถ้ามีชุดข้อมูลเป็นจำนวนมากและข้อมูลแต่ละชุดสร้างเป็นกฎได้ 1 กฎแล้วโอกาสที่จะสร้างกฎที่มีส่วนของ IF ซ้ำกันจึงมีความน่าจะเป็นสูงและถ้า THEN มีความแตกต่างกันจะทำให้เกิดปัญหาในการอนุมานคำตอบ

4. การอนุมานคำตอบจากกฎที่สร้างขึ้นในขั้นตอนที่ 3 นี้ใช้การทำ Defuzzification โดยใช้วิธี Centroid ถ้าอินพุทที่ต้องการอนุมานมีค่าเป็น ($X_1^{(p)}$,$X_2^{(p)}$) และกำหนดให้ O^i เป็นช่วงของตัวแปรเอาท์พุทของกฎที่ i และ I_u^i เป็นช่วงของตัวแปรอินพุทตัวที่ u ของกฎที่ i ผลของกฎที่ iต่ออินพุทชุดนี้สามารถคำนวณความเป็นสมาชิก (m_O^i) หาจากสมการดังนี้ [8]

$$m_{o^i}^{i} = m_{I_1^i}\left(X_1^{(P)}\right) m_{I_2^i}\left(X_2^{(P)}\right) \quad (5)$$



รูปที่ 8 ฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรอุณหภูมิห้องในอาคารสำนักงาน

3. ผลการควบคุมระบบ

ผลการทดสอบควบคุมระบบจะแสดงดังรูปที่ 10 -13 จะเห็นได้ว่าจากการทำดีฟัซซิฟิเคชัน(Defuzzification) และการอนุมานกฎฟัซซี่ กระบวนการอนุมานคำตอบจะแสดงไว้ดังรูปที่ 7 และรูปที่ 8 โดยเป็นการใช้เทคนิควิธี Centroid ซึ่งอาคารที่ใช้ในการทดสอบเป็นพื้นที่ห้องสำนักงานแห่งหนึ่งที่มีความสูงจากระดับพื้น 14 เมตร มีความกว้าง 16 เมตรและมีความยาว 28 เมตรที่ทำการติดตั้งเครื่องปรับอากาศให้สูงจากพื้นพอสมควร เพื่อให้ลมเย็นกระจายไปทั่วถึงบริเวณต่างๆ ภายในห้อง และติดตั้งกระจก 2 ชั้นเพื่อลดความร้อนจากภายนอกในระบบทำความเย็น จะมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าตามอาคารของเครื่องปรับอากาศมีประมาณ 65-80 % จะพบว่าการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในระบบทำความเย็นและปรับอากาศภายในอาคารสำนักงานขนาดใหญ่ด้วยการใช้วิเคราะห์การตัดสินใจแบบฟัซซี่ลอจิกนั้นระบบปรับอากาศจะทำงานได้เต็มประสิทธิภาพต้องอาศัยการระบายความร้อนที่ดี ซึ่งจะช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าสามารถป้องกันความร้อนให้กับอาคารโดยให้เกิดความร้อนน้อยที่สุด เพื่อช่วยควบคุมอุณหภูมิภายในห้องให้เหมาะสมและสามารถยังช่วยลดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นของระบบทำความเย็นและปรับอากาศภายในอาคารต่างๆได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

จากการตรวจวัดและวิเคราะห์หาประสิทธิภาพเฉลี่ยของระบบทำความเย็นแบบอัดไอในอาคารพบว่าเฉลี่ยจะอยู่ในช่วง 0.84 kW/ton จะถือว่าค่ากำลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นสูงมาก เมื่อเทียบกับเครื่องทำน้ำเย็นจะมีประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Chiller) คือประมาณ 0.62 kW/ton ดังนั้นผลการวิเคราะห์ระบบทำความเย็นปรับอากาศสามารถมีการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ดังนี้

<u>ก่อนปรับปรุง</u>

พลังงานที่ใช้รวม = 1,808,082 kWh/ปี
ค่าใช้จ่ายพลังงานที่ใช้ = 5,695,457.73 บาท/ปี

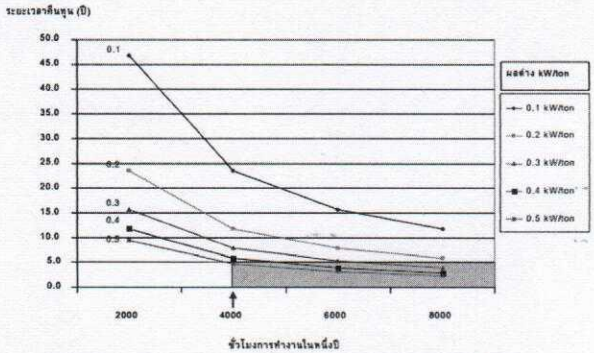
<u>หลังปรับปรุง</u>

พลังงานที่ใช้รวม = 1,588,369 kWh/ปี
ค่าใช้จ่ายพลังงานที่ใช้ = 5,003,363.36 บาท/ปี
คิดเป็นพลังงานที่ประหยัดได้รวม = 692,094 kWh/ปี
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย(ไม่รวม vat 7 %) = 3.15 บาท/kWh
คิดเป็นค่าใช้จ่ายพลังงานที่ใช้ = 2,180,097.28 บาท/ปี

การลงทุน

ราคาเครื่องทำความเย็นมีขนาด 750 ตัน = 11,250,000 บาท/เครื่อง (ค่าอุปกรณ์รวมค่าแรงติดตั้ง)

ระยะเวลาคืนทุน = 5.18 ปี

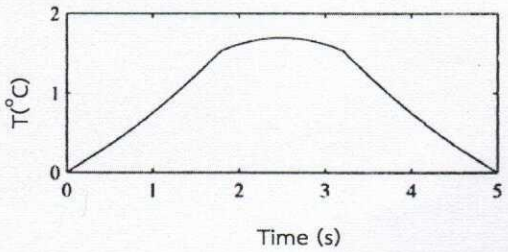


รูปที่ 9 กราฟระยะเวลาคืนทุนของการติดตั้งเครื่องทำความเย็นด้วยการเปรียบเทียบผลต่าง kW/ton

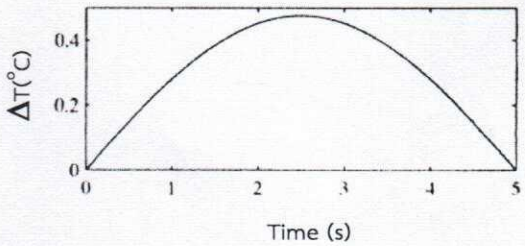
4. บทสรุป

การวางแผนระบบจัดการพลังงานของระบบทำความเย็นและปรับอากาศ ในระบบควบคุมที่ดีและถูกต้องจะทำให้ประหยัดพลังงานและมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงขึ้น ผลทดสอบพบว่าระบบดังกล่าวนี้สามารถควบคุมการใช้พลังงานได้ ลดค่าไฟฟ้าและลดปริมาณความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Demand) ประมาณ 10 % และโดยทั่วไปยังสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศภายในอาคารได้เฉลี่ยประมาณ 5 % จากผลการทดสอบภายในห้องที่ได้วิเคราะห์ค่าหาการใช้พลังงานไฟฟ้าพบว่าสามารถประหยัดพลังงานในระบบทำความเย็นได้ประมาณ 35 % โดยเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในอาคาร และจากผลการนำระบบจัดการพลังงานมาใช้ร่วมกับระบบปรับอากาศของอาคารสำนักงานนั้น ในการควบคุมการทำงานของระบบส่งความเย็นของระบบปรับอากาศ ทำให้อุณหภูมิน้ำเย็นในระบบส่งความเย็นเปลี่ยนแปลงน้อยลงเป็นผลให้โหลดของเครื่องทำความเย็นมีค่าลดลง

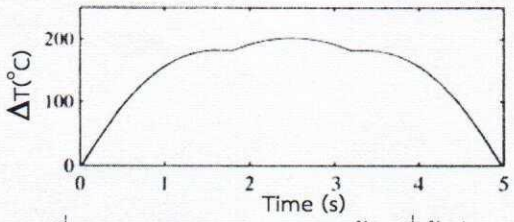
ระบบทำความเย็นจะคงมีสมรรถนะที่ดีเสมอ ถ้ามีการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอควรจะมีอุปกรณ์ตรวจวัดอย่างพอเพียงเพื่อช่วยให้สามารถติดตามการทำงานโดยสะดวก การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์จะทำให้เห็นจุดที่ควรจะทำการตรวจสอบก่อนที่จะเกิดปัญหาขึ้น ระบบทำความเย็นส่วนใหญ่ที่ใช้งานในประเทศไทยแบ่งออกตามลักษณะการใช้งานได้แก่ การทำความเย็นในกระบวนการผลิต การเก็บรักษาอาหาร และระบบปรับอากาศ ในการควบคุมงานที่มีความจุความร้อนสูง เช่น ห้องเย็นสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้โดยการทำความเย็นแก่ผลิตภัณฑ์ให้ต่ำกว่าปกติในช่วงที่ค่าไฟฟ้ามีอัตราถูก และหยุดการทำงานของระบบทำความเย็นในช่วงที่ค่าไฟฟ้าแพง



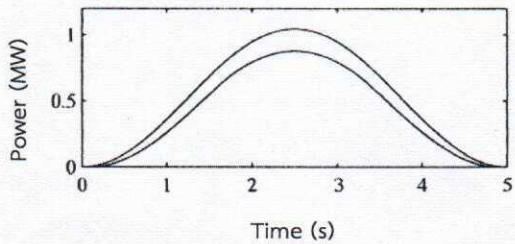
รูปที่ 10 ผลจากการควบคุมอุณหภูมิของห้องด้วยการระบายความร้อนโดยใช้การตัดสินใจแบบฟัซซี่



รูปที่ 11 ผลการควบคุมอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นของระบบทำความเย็นปรับอากาศโดยใช้การตัดสินใจฟัซซี่



รูปที่ 12 ผลการควบคุมลดความร้อนที่เข้าสู่อาคาร



รูปที่ 13 ผลจากการใช้พลังงานของห้องภายในอาคารค่อยๆ ลดลงโดยใช้การตัดสินใจแบบฟัซซี่

5. เอกสารอ้างอิง

[1] เอกสารชุดเผยแพร่, "การประหยัดพลังงานในระบบทำความเย็นปรับอากาศ ชุดที่ 10", กองฝึกอบรม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, พิมพ์ครั้งที่1. หน้า1-24.

[2] ธนัดชัย กุลวรวานิชพงษ์ และบัณฑิต เอื้ออาภรณ์, "การทำงานที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้การตัดสินใจแบบฟัซซี่",การประชุมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 22 (EECON-22),มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2-3 ธันวาคม 2542 ,หน้าที่ 621-624.

[3] คู่มือชุดความรู้, "การอนุรักษ์พลังงานสำหรับอาคารสำนักงาน", กองฝึกอบรม กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, พิมพ์ครั้งที่1.

[4] M.A. Mueller, "Electrical generators a direct with drive wave energy saving using converters," in Proc. Inst. Elect. Eng. Generation, Transmission and Distribution, vol. 149, 2002, pp. 446-456.

[5] T.W. Thorpe, "The wave energy programme in the UK the European wave energy network," in Proc. 4th Wave Energy for Conf., Aalborg. The Netherlands, 2000, pp. 19-27.

[6] N.L.Meyer." wave energy programme second year status," in Proc. 4th Wave Energy Conf., Aalborg, 2000, pp. 10-18.

[7] A.J.N. Sarmento, "Frequencydomain analysis of the AWS device," in Proc. European Wave Energy Conf., Patras, Greece, 1998.

[8] H.Polinder, M. E. C. Damen, and F. Gardner, "Modeling and test results of the AWS linear PM generator system," in Proc. 9th Int. Conf. Electri., Machines, Brugge, Belgium, 2002.