

ระบบแนะนำแบบอัจฉริยะสำหรับการจัดการพลังงานของโรงผลิตน้ำเย็น

Intelligent System Based Supervision for Energy Management of Water Chiller Plant

มนฤทัย ระศิรมย์

อาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต

ABSTRACT – For almost a decade, intelligent system have shown great potentials in solving non-linear control problems. This paper exhibits a possibility of using a neuro-fuzzy to advise a chiller plant. This plant, located at the Building No.11 of Rangsit University, is consisted of three water chillers. Nonlinear dynamic characteristics, resulting from outdoor conditions, equipment within the plant such as pumps, modulation valve, are discussed herein. The objective of this research is to minimize energy cost while maintaining high performance of the plant. In this paper, identification and prediction of non-linear discrete time system using neuro-fuzzy system are investigated. To develop an algorithm for achieving such an objective, first step is to learn relationship of outdoor temperature, humidity, and cooling load of building that are the plant dynamics from historical data. After being trained completely, the neuro-fuzzy system is used to predict the cooling load at the Building No. 11Rangsit University and operating optimal points of the water chiller plant. We use the visual studio to develop an advised chiller plant management program. This program learns the information from both historical and present data of the chiller plant. After that, we compare energy cost between before (May-July 2014) and after (August-October 2014) using advisory management of chiller plant program. The system can be reduce electrical cost within 5 %. Furthermore, it is continuously trained by plant operators

KEY WORDS – HVAC, Intelligent control, Management System, Neurofuzzy, System Identification,

บทคัดย่อ -- ในช่วงเกือบทศวรรษที่ผ่านมา ระบบอัจฉริยะต่างๆ ได้ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวางในด้านระบบควบคุมที่ไม่เป็นเชิงเส้น บทความนี้แสดงให้เห็นถึงการนำระบบนิวโรฟัซซี มาใช้ในการแนะนำผู้ควบคุมระบบปรับอากาศแบบน้ำเย็น (Water Chillers Plant) ของอาคาร 11 มหาวิทยาลัยรังสิต พฤติกรรมแบบไม่เป็นเชิงเส้นระบบ เกิดจากหลายสาเหตุได้แก่ เงื่อนไขของสภาพอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปแต่ละวัน, อุปกรณ์ต่างในระบบ อาทิเช่น ปั๊ม วาล์วแบบปรับได้ เป็นต้น เป้าหมายของการวิจัยคือ เพื่อลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าให้ต่ำสุดในขณะที่ยังรักษาประสิทธิภาพการทำงานไว้สูงสุด ในส่วนของการทำนายพฤติกรรมของระบบ เลือกใช้ระบบนิวโรฟัซซี โดยเริ่มจากการนำข้อมูลต่างๆ ในอดีตของระบบ มาทำการสอน ข่ายงานระบบ และประยุกต์ใช้ระบบนิวโรฟัซซี ในการทำนายสภาวะอากาศ และภาระความร้อนของตึก แล้วนำไปคำนวณหาจุดปฏิบัติงานที่ดีที่สุด ระบบผู้แนะนำนี้ถูกพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Visual studio โปรแกรมนี้ใช้ข้อมูลในอดีตและปัจจุบัน ในการสอนระบบนิวโรฟัซซี เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าก่อนการควบคุมตามคำแนะนำ ประจำเดือน พฤษภาคม 2557 ถึง เดือน กรกฎาคม 2557 และใช้ในเดือนสิงหาคม 2557 ถึง เดือน ตุลาคม 2557 สรุปได้ว่าค่ามีอัตราลดลงถึง 5% โดยที่สมรรถนะของระบบปรับอากาศยังมีประสิทธิภาพดีเช่นเดิม

คำ คำ คัญ – ระบบปรับอากาศระบบอัจฉริยะ การจัดการพลังงานของโรงผลิตน้ำเย็น ระบบนิวโรฟัซซี การหาคุณลักษณะระบบ

1. บทนำ

ในช่วง 2 ทศวรรษที่ผ่านมา ประเทศไทยมีการขยายตัวทางเศรษฐกิจและ อุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้การใช้พลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตจำเป็นต้องเพิ่มกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้า (Peak Load) โดยการสร้างโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มนำมาซึ่งผลกระทบที่ตามมาหลายด้าน เช่น ด้านสิ่งแวดล้อม ด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านสังคม เป็นต้น เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทย ส่วนของอาคารพาณิชย์ สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ โรงแรม โรงพยาบาล อาคารสำนักงาน สถานศึกษา และศูนย์การค้า ซึ่งมีลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้ารายชั่วโมง จากผลสำรวจของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตเมื่อปี 2551 พบช่วงเวลาที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของการใช้พลังงานไฟฟ้าตลอดวัน คือช่วงระหว่าง 8:30 น. ถึง 22:00 น. และสำหรับระบบปรับอากาศอาคารใช้พลังงานไฟฟ้าประมาณ 50 - 70% ของพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร[5]

ในปัจจุบันได้มีผู้มาประยุกต์ใช้กับงานด้านระบบปรับอากาศมากมาย ดังตัวอย่างต่อไปนี้ Thompson R, Dexter A, 2548 [15] ได้นำระบบฟัซซี่(Fuzzy System) มาใช้ในการควบคุมการทำงานของคอยล์เย็นเพื่อให้สามารถรักษาอุณหภูมิในพื้นที่ปรับอากาศให้เป็นไปตามต้องการ เมื่อภาวะอากาศที่ได้รับจากภายนอกมีการเปลี่ยนแปลง Chu CM, Jong TL, Huang YW, 2548 [16] ได้ทำการควบคุมระบบปรับอากาศที่ใช้คอยล์พัฒนาหลายตัว ในการปรับอากาศ โดยระบบควบคุมแบบฟัซซี่ ทำการควบคุมให้คอยล์พัฒนาแต่ละตัวทำงานได้อย่างเหมาะสม เพื่อให้มีความสบายในห้องปรับอากาศและประสิทธิภาพการปรับอากาศอยู่ในระดับสูง Singh J, Singh N, Sharma JK, 2549 [13] ได้นำระบบฟัซซี่เข้ามาใช้ในการหาแบบจำลองของระบบปรับอากาศ ที่ประกอบไปด้วยคอยล์ร้อน คอยล์เย็นและระบบการไหลเวียนของอากาศโดยมีจุดมุ่งหมายที่การประหยัดพลังงาน Aprea C, Mastrullo R, Renno C, 2549 [14] ได้ประยุกต์ใช้ระบบฟัซซี่มีใช้ในการควบคุมความเร็วรอบของคอมเพรสเซอร์แบบสกรูซึ่งใช้ใน ระบบประกาศแบบน้ำเย็น เพื่อให้สอดคล้องกับการทำความเย็น เพื่อให้ประหยัดค่าไฟฟ้า โดยสามารถประหยัดพลังงานได้ 20 % ของระบบเดิม Guo CY (Guo, Chengyi), Song Q (Song, Qing), Cai WJ (Cai, Wenjian), 2550 [11] ได้นำ ข่ายงานระบบประสาท(Neural Network System) มาใช้ในการ

ควบคุมระบบปรับอากาศแบบ cascade ทดแทนระบบควบคุมแบบ Proportional-Integral-Derivative(PID) เพื่อให้การปรับอากาศมีประสิทธิภาพสูงขึ้น Chang, Yung-Chung, 2550 [12] ได้นำข่ายงานระบบประสาทมาใช้ในการควบคุมระบบปรับอากาศขนาดใหญ่แบบน้ำเย็น โดยพิจารณาภาวะจากค่าภาระความร้อนของอาคารและควบคุมการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นแต่ละตัวให้ทำงานสอดคล้องกับการทำความเย็นที่เกิดขึ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นที่มวิจัยคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยรังสิต ได้เล็งเห็นความสำคัญของปัญหานี้ โดยนำระบบอัจฉริยะมาใช้ในการวิเคราะห์และออกแบบระบบที่ช่วยในการแนะนำผู้ปฏิบัติงานในการควบคุมระบบปรับอากาศของอาคาร เพื่อให้ประหยัดรายจ่ายค่าพลังงานไฟฟ้ามากที่สุด ในขณะที่ยังรักษาสสมรรถนะของระบบไว้สูงสุด จึงนำเสนอระบบแนะนำเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงผลิตน้ำเย็นของอาคารรัตนกร (อาคาร 11) ด้วยการประยุกต์ใช้กลวิธีนิวโรฟัซซี่ (Neuro-Fuzzy: NF) ที่สามารถเรียนรู้ด้วยตัวเอง และสามารถจดจำรูปแบบความไม่เป็นเชิงเส้นของระบบพลวัตทางกลต่างๆ ได้ [19,20] มาใช้ในการวิเคราะห์ และออกแบบ ระบบแนะนำแบบอัจฉริยะสำหรับการจัดการพลังงานของโรงผลิตน้ำเย็น ของอาคารรัตนคุณากร (ตึก 11) โดยเป็นอาคาร 14 ชั้น และมีระบบปรับอากาศแบบใช้น้ำเย็นขนาดใหญ่ ประกอบด้วยเครื่องทำน้ำเย็นขนาดใหญ่ 3 เครื่อง บั๊มน้ำเพื่อจ่ายน้ำเย็น 3 เครื่อง บั๊มน้ำเพื่อใช้ส่งน้ำระบายความร้อน 3 เครื่อง หอคอยน้ำเย็น 6 เครื่อง มีการใช้พลังงานระบบปรับอากาศทั้งหมดโดยประมาณ 100,000 kWh/เดือน

เนื้อหาของบทความนี้ประกอบไปด้วยหัวข้อที่ 1 กล่าวถึง บทนำของงานวิจัยนี้ หัวข้อที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานและแนวทางการออกแบบระบบ หัวข้อที่ 3 กล่าวถึงผลการทดลองของคำแนะนำการควบคุมระบบปรับอากาศที่ออกแบบ และหัวข้อที่ 4 เป็นการสรุปและข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยนี้

2. ทฤษฎีพื้นฐานและแนวทางการออกแบบระบบ

2.1 ระบบนิวโรฟัซซี่

กลวิธีนิวโรฟัซซี่ เป็นการผสมระหว่างข่ายงานระบบประสาท(Neural Network: NN) และตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic: FL)

ในงานวิจัยนี้ได้นำกลวิธีนิวโรฟัซซี่แบบ Takagi-Sugeno [19] ซึ่งสามารถสร้างระบบนี้จากข้อมูลทางตัวเลข (Numerical

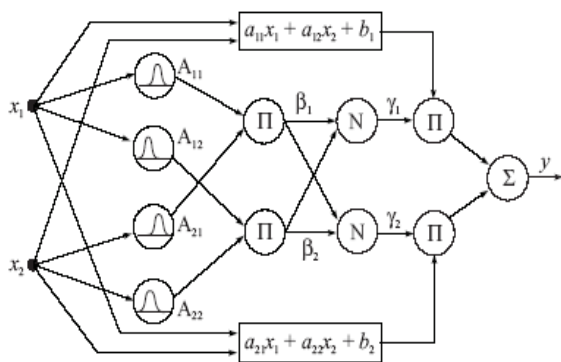
Data) หรือจากข้อมูลเชิงบรรยาย (Knowledge Base) ได้ โดยพื้นฐานจะมีจำนวนกฎน้อย ก็สามารถบรรยายความซับซ้อนของระบบพลวัตที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้ด้วยรูปแบบสมการสำหรับ K กฎ ดังต่อไปนี้

$$R_i : \text{If } x_1 \text{ is } A_{i1} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{i2} \text{ and } \dots \text{ and } A_{in} \\ \text{then } y_i = a_i^T x + b_i, \quad i = 1, 2, \dots, K \quad (1)$$

เมื่อ R_i คือ กฎข้อที่ I $x_1, x_2, \dots, x_n$ คือชุดข้อมูลขาเข้า (Input Variable) $A_{i1}, A_{i2}, \dots, A_{in}$ คือฟัซซีเซตที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลขาเข้า y_i คือข้อมูลขาออก ซึ่งได้จากสมการเชิงเส้นในแต่ละกฎ และ a_i, b_i คือค่าคงที่ของส่วน consequent ในกฎของฟัซซี ตัวอย่างเช่นระบบนิวโรฟัซซีที่มี ตัวแปร และ กฎ สมการที่ 1 จะเป็นดังนี้

$$R_1 : \text{If } x_1 \text{ is } A_{11} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{21} \\ \text{then } y_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + b_1 \quad (2) \\ R_2 : \text{If } x_1 \text{ is } A_{21} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{22} \\ \text{then } y_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + b_2$$

และมีโครงสร้างข่ายงานดังรูปที่ 1 ตัวอย่างระบบนิวโรฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno ที่มีตัวแปรขาเข้าสองตัวแปร และมีกฎ 2 กฎ R_1 และ R_2 โดยตัวแปรขาเข้า x_1 จะมีสองฟังก์ชันสมาชิก A_{11} และ R_{12} และตัวแปรขาเข้า x_2 จะมีสองฟังก์ชันสมาชิก A_{21} และ R_{22} เมื่อผ่านกฎข้อที่ R_1 จะได้ค่า $\beta_1(x)$ และ กฎข้อที่ R_2 จะได้ค่า $\beta_2(x)$



รูปที่ 1. แสดงตัวอย่างระบบนิวโรฟัซซีแบบ Takagi-Sugeno ลำดับที่ 1 สำหรับ 2 กฎ

และสมการขาออก ซึ่งหาโดยใช้การเฉลี่ยค่าน้ำหนักของแต่ละกฎ เป็นดังนี้

$$y = \frac{\sum_{i=1}^K \beta_i(x) y_i}{\sum_{i=1}^K \beta_i(x)} = \frac{\sum_{i=1}^K \beta_i(x) (a_i^T x + b_i)}{\sum_{i=1}^K \beta_i(x)} \quad (3) \\ = \sum_{i=1}^K \gamma_i(x) (a_i^T x + b_i)$$

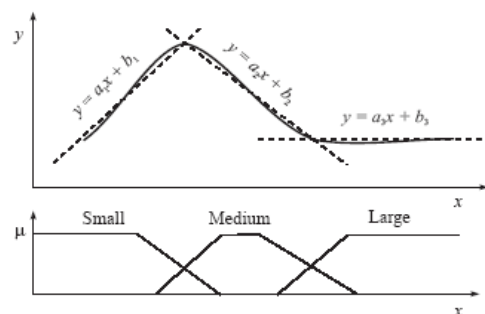
เมื่อ $\beta_i(x)$ คือ Degree of fulfillment ของกฎข้อที่ i และ $\gamma_i(x)$ เป็นการนำ normalize ของ $\beta_i(x)$:ซึ่งเรียกค่านี้ว่า basis function expansion และในการเลือกสมการสมาชิก (Membership function) ควรเลือกสมการที่มีความต่อเนื่อง (Continuous function) เพื่อสะดวกในการใช้กรรมวิธีทางคณิตศาสตร์เพื่อหาค่าที่เหมาะสม ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกสมการเกาส์เซียน (Gaussian) เนื่องจากเหมาะกับข้อมูลตามเวลาที่ไม่มีเป็นเชิงเส้น[20] ซึ่งมีลักษณะสมการ ดังต่อไปนี้

$$u_{A_{ij}}(x_j, c_{ij}, \sigma_{ij}) = \exp\left(-\frac{(x_j - c_{ij})^2}{2\sigma_{ij}^2}\right) \quad (4)$$

เมื่อ ค่า c_{ij}, σ_{ij} ซึ่งเป็นค่าคงที่สำหรับสมการเกาส์เซียนนั้น ต้องทำการหาค่าและเมื่อเขียนในรูปของค่า degree of fulfillment จะได้ค่า γ_i^j ดังนี้

$$\gamma_i(\bar{x}) = \frac{\prod_{j=1}^p \exp\left(-\frac{(x_j - c_{ij})^2}{2\sigma_{ij}^2}\right)}{\sum_{i=1}^K \prod_{j=1}^p \exp\left(-\frac{(x_j - c_{ij})^2}{2\sigma_{ij}^2}\right)} \quad (5)$$

จากสมการข้างต้นที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ทำให้สามารถออกแบบส่วน Antecedent หรือส่วนหน้าของกฎเงื่อนไขให้มีส่วนทับกัน (Overlap) ทำให้ระบบนิวโรฟัซซีแบบนี้เหมาะกับการประมาณค่าฟังก์ชันของระบบพลวัตได้ดี

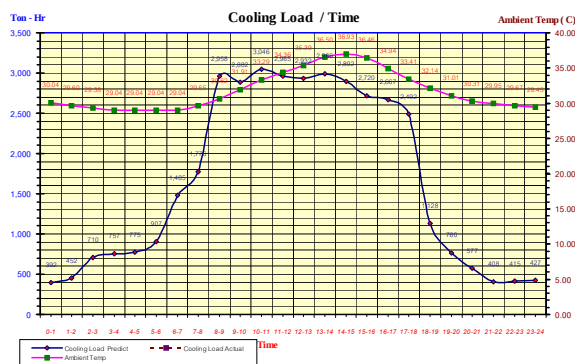


รูปที่ 2. แสดงการประมาณสมการไม่เป็นเชิงเส้น ของระบบนิวโรฟัซซี

ดังรูปที่ 2 เป็นตัวอย่างการแบ่งช่วงฟังก์ชันไม่เป็นเชิงเส้นเป็นสามช่วงข้อมูล สามารถเขียนส่วนฟังก์ชันสมาชิกของ

เย็นให้ห้องต่างๆในอาคาร น้ำเย็นที่ออกจาก AHU มีอุณหภูมิสูงขึ้น คือมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 10-13 °C ตามแต่ภาระความร้อนของอาคาร แล้วถูกส่งกลับมายัง Chiller Plant เพื่อให้มีอุณหภูมิลดลงจนวนเวียนกันเป็นวัฏจักรเช่นนี้เรื่อยไป สำหรับในส่วนระบายความร้อนของเครื่องทำน้ำเย็นที่คอนเดนเซอร์จะมีระบบระบายความร้อนโดยอาศัยหอระบายความร้อนเป็นตัวระบายความร้อน และในการไหลเวียนของน้ำเย็นและน้ำร้อนในระบบนี้ใช้ปั๊มน้ำเป็นตัวขับเคลื่อนการไหล[1-4] ซึ่งทั้งหมดใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำใหระบบทำงาน

และพิจารณาในส่วนของการใช้พลังงานไฟฟ้ารายชั่วโมง ดังรูปที่ 4 พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบปรับอากาศของอาคารนี้ ใช้ไฟฟ้ารายชั่วโมงสูงขึ้น ตั้งแต่ 9.00 น. และลดลงที่เวลา 18.00น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาเดียวกันกับช่วงที่มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ใน เป็นระบบ Chiller Water System โดยระบบนี้ทำน้ำเย็นโดยใช้เครื่องทำน้ำเย็นนี้พบว่าเครื่องทำน้ำเย็นของระบบนี้ มีความต้องการพลังงานไฟฟ้า ประมาณ 80% ของระบบปรับอากาศ กล่าวคือ เครื่องทำน้ำเย็นใช้พลังงานประมาณ 50-60% ของการใช้พลังงานทั้งอาคาร [5]



รูปที่ 4. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระความร้อนของอาคาร (Cooling load, Ton-Hr) กับ เวลาเป็นรายชั่วโมง

2.3 แหล่งภาระความร้อนของอาคาร

ภาระความร้อนของอาคาร เป็นผลรวมของความร้อนที่มาจากหลายแหล่ง ซึ่งในการคำนวณภาระความร้อน ค่าภาระความร้อนที่นิยมคิดคำนวณได้แก่ ความร้อนจากภายนอกที่ผ่านเข้ามาในบริเวณอาคารโดยการนำความร้อนผ่านผนังฉนวน (Wall Heat Gain Load) ความร้อนที่เข้าสู่บริเวณอาคารโดยตรงโดยการแผ่รังสี ผ่านกระจกหรือวัสดุอื่นที่โปร่งแสง (Solar Glass Heat Gain Load) ความร้อนที่มากับอากาศอุ่นภายนอก

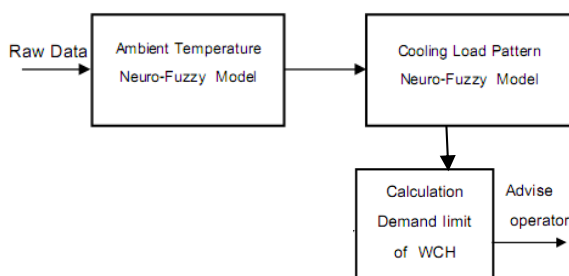
ในขณะเปิดประตู หรือผ่านรอยแตกของขอบหน้าต่าง หรือ ประตู (Air Infiltration Load) ความร้อนจากคนที่กำลังทำงานภายในบริเวณอาคาร (Human Load) ความร้อนจากอุปกรณ์ต่างๆที่เป็นตัวเกิดความร้อนที่อยู่ในบริเวณทำความเย็น เช่นมอเตอร์ไฟฟ้า ดวงไฟ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หม้อต้มกาแฟ แต่ไม่จำเป็นว่าการคำนวณ Cooling Load ทุกๆกรณี จะต้องเท่ากับผลรวมของความร้อนจากแหล่งเหล่านี้ เพราะในบางลักษณะงาน ความร้อนจากแบ่งแหล่งอาจจะมีผลกระทบน้อยมาก จนไม่ต้องนำมาคิด เมื่อพิจารณาถึงอาคารรัตนคุณากร (ตึก 11) นั้นมีความสูงของอาคาร 14 ชั้น ซึ่งเป็นอาคารกระจกพบว่าภาระความร้อนหลัก(50-70%) จึงมาจากความร้อนจากการแผ่รังสีและอากาศอุ่นจากภายนอก ซึ่งภาระความร้อนทั้งสองจะมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ภายนอกของอาคาร ถ้าสามารถจัดการควบคุม การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำน้ำเย็น(Water Chiller) ได้อย่างเหมาะสม สามารถที่จะลดการใช้พลังงานไฟฟ้ารายชั่วโมง ในช่วงที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดลงด้วย ทำให้ประหยัดค่าไฟฟ้าของตัวอาคารลง ซึ่งจะให้ผลดีกับอาคารและขยายผลสู่อาคารอื่นๆได้อีก และยังส่งผลถึงการใช้พลังงานของประเทศด้วย [5]

2.4 ออกแบบระบบที่ช่วยในการแนะนำผู้ปฏิบัติงาน

แนวทางในการวิเคราะห์ และออกแบบระบบที่ช่วยในการแนะนำผู้ปฏิบัติงานในการควบคุมระบบปรับอากาศของอาคาร เพื่อให้ประหยัดพลังงานมากที่สุดในขณะที่ยังรักษาสถียรณะของระบบไว้สูงสุด จึงเห็นได้ว่าสิ่งที่ต้องการก็คือ จุดปฏิบัติงานที่ต่ำที่สุดของตัวผลิตน้ำเย็น (Water Chiller) ซึ่งการหาค่าได้นั้นต้องทราบถึงภาระความร้อนของอาคารล่วงหน้า โดยการหาค่าภาระความร้อนของอาคารนั้น มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องด้วยกันหลายตัวด้วยกัน อันได้แก่ เวลา, อุณหภูมิภายนอก, ค่าความชื้นสัมพัทธ์, ปริมาณอากาศใหม่ที่นำเข้ามา, ปริมาณคนที่อยู่ในอาคาร รวมถึงพฤติกรรมของคนในอาคารด้วย ดังนั้นถ้านำข้อมูลเหล่านี้มาใช้ในการหาค่าภาระความร้อนโดยใช้ระบบนิวโรฟัซซี ความสัมพันธ์เหล่านี้กับค่าภาระความร้อนของอาคาร ก็ทำให้ค่าภาระความร้อนของอาคารมีความแม่นยำมากขึ้น แต่เนื่องจากเพื่อต้องการให้สามารถนำระบบผู้แนะนำนี้ไปใช้งานจริงกับอาคารรัตนคุณากร (ตึก 11) นั้น ทำให้เกิดข้อจำกัดของข้อมูลที่น่ามาใช้ในการสร้างระบบนิวโรฟัซซี ซึ่งในระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ(Building Automation System)ของ

อาคารหลังนี้นั้น มีอุปกรณ์วัดเพียงค่าอุณหภูมิภายนอกของอาคาร(Ambient Temperature) ค่าความชื้นสัมพัทธ์(Relative Humidity) เท่านั้น จึงทำให้จึงต้องสร้างระบบนิวโรฟัซซี ที่จำลองความสัมพันธ์ของอุณหภูมิของอากาศภายนอกอาคารกับค่าภาระความร้อนของอาคารเท่านั้น ซึ่งระบบนิวโรฟัซซี ที่นำมาใช้ในระบบผู้แนะนำนี้นั้น โดยแยกออกเป็นสองขั้นตอนคือ

- ก. การใช้ระบบนิวโรฟัซซี ในการทำนายอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารล่วงหน้า
- ข. การใช้ระบบนิวโรฟัซซี ในการออกแบบความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกอาคารกับภาระความร้อนของอาคาร
- ค. ออกแบบระบบผู้แนะนำผู้ปฏิบัติงาน ตามรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดง ขั้นตอนการทำงานของระบบผู้แนะนำ

3. ผลการทดลอง

3.1 การวัดอุณหภูมิและค่าความชื้นสัมพัทธ์และค่าภาระความร้อนของอาคาร (Temperature, Relative Humidity and Cooling Load)



รูปที่ 6 ตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิของท่อน้ำเย็นขึ้นอาคาร 11 (ทอสีฟ้า)

ในการวิจัยเพื่อให้ได้ค่าภาระความร้อนและพฤติกรรมของระบบจึงทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดค่าอุณหภูมิ น้ำ อุณหภูมิอากาศ และค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ อัตราการไหล ปริมาณไฟฟ้าของเครื่องทำน้ำเย็น ดังรูปที่ 6 มาเก็บด้วยระบบเก็บข้อมูล

(Data Acquisition System) โดยติดตั้งที่ห้องผลิตน้ำเย็น (Water Chiller plant) บริเวณชั้นที่ 1 ของอาคาร 11 ระบบทั้งหมดใส่ในกล่องในรูปที่ 7 แสดงจุดติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิที่ท่อน้ำเย็นเข้าอาคาร



รูปที่ 7 อุปกรณ์เก็บข้อมูลด้วยคอมพิวเตอร์

3.2 การใช้ระบบนิวโรฟัซซี จำลองการควบคุมอาคารอัตโนมัติ (Building Automation System) ในงานวิจัยนี้ ทดลองศึกษาถึงการทำนายอุณหภูมิล่วงหน้า 1 วัน โดยใช้ชุดข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ยของแต่ละวันของอุณหภูมิที่มหาวิทยาลัยรังสิต โดยเริ่มตั้งแต่ 5 พฤษภาคม 2557 ถึง 26 ตุลาคม 2557 รวมเป็นข้อมูลทั้งหมด 175 ข้อมูล โดยทำการออกแบบระบบอัจฉริยะเป็นสามแบบ

ในการออกแบบตัวแบบพยากรณ์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ล่วงหน้า ดังรูปที่ 8 ข้อมูลขาออก(Output) คือค่าอุณหภูมิล่วงหน้า ส่วน ข้อมูลนำเข้า (Input) เพื่อใช้ในการทำนายข้อมูลในอนาคต นิยมใช้วิธีการอนุกรมเวลาซึ่งเป็นการนำเอาข้อมูลในอดีตที่ห่างกันในช่วงเวลาที่เท่าๆกันมาใช้สร้างเป็นข้อมูลนำเข้า ตัวอย่างเช่น ข้อมูลอนุกรมเวลาในช่วงเวลาที่ย้อนหลังไป n คาบเวลา ได้ชุดข้อมูลดังนี้ ข้อมูลขาเข้าได้แก่ ข้อมูลอนุกรมเวลาในช่วงเวลาที่ย้อนหลังไป n คาบเวลา ได้ชุดข้อมูลดังนี้ ข้อมูลขาเข้าได้แก่

T-1 หมายถึงอุณหภูมิย้อนหลัง ณ เวลา 1 คาบเวลา

T-2 หมายถึงอุณหภูมิย้อนหลัง ณ เวลา 2 คาบเวลา

T-3 หมายถึงอุณหภูมิย้อนหลัง ณ เวลา 3 คาบเวลา

T-n หมายถึงอุณหภูมิย้อนหลัง ณ เวลา n คาบเวลา

และ

Tdp-1 คือ จุดน้ำค้างย้อนหลัง ณ เวลา 1 คาบเวลา

Tdp-2 คือ จุดน้ำค้างย้อนหลัง ณ เวลา 2 คาบเวลา

Tdp-3 คือ จุดน้ำค้างย้อนหลัง ณ เวลา 3 คาบเวลา

Tdp-n คือ จุดน้ำค้างย้อนหลัง ณ เวลา n คาบเวลา

และ

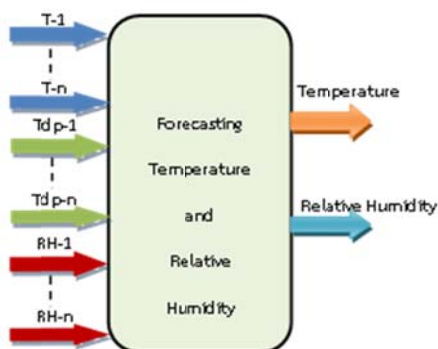
RH-1 คือ จุดน้ำค้างย้อนหลัง ณ เวลา 1 คาบเวลา

RH-2 คือ จุดน้ำค้างย้อนหลัง ณ เวลา 2 คาบเวลา

RH-3 คือ จุดน้ำค้างย้อนหลัง ณ เวลา 3 คาบเวลา

RH-n คือ จุดน้ำค้างย้อนหลัง ณ เวลา n คาบเวลา

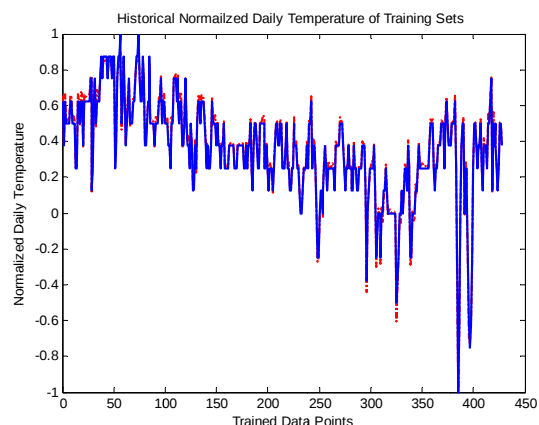
ดังนั้นระบบอัจฉริยะที่ใช้ในการทำนายค่าอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ล่วงหน้าจึงมีลักษณะดังนี้



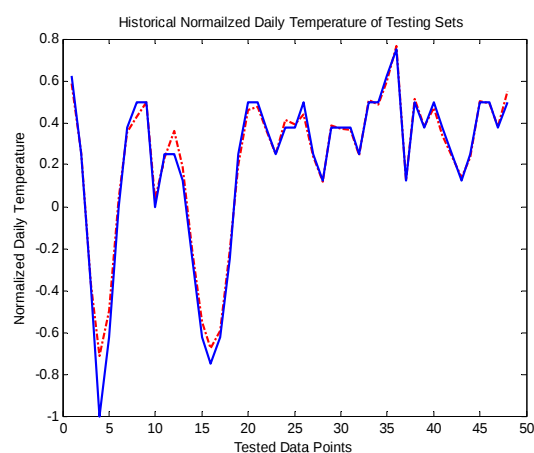
รูปที่ 8 ตัวอย่างพยากรณ์อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ล่วงหน้าด้วยระบบอัจฉริยะ

ในงานวิจัยนี้ศึกษาถึงการทำนายอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ล่วงหน้า 1 คาบเวลา ซึ่งในที่นี้ใช้ข้อมูลเป็นรายวัน ดังนั้นตัวอย่างพยากรณ์ที่ได้จึงเป็นล่วงหน้า 1 วัน โดยใช้ชุดข้อมูลอุณหภูมิเฉลี่ย (Mean Temperature) จุดน้ำค้างเฉลี่ย (Mean Dew Point) ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ย (Mean Relative Humidity) ของแต่ละวันของอุณหภูมิที่กรุงเทพมหานคร โดยทำการออกแบบระบบอัจฉริยะเป็นสามแบบคือ แบบที่ 1 ใช้ข้อมูลย้อนหลัง 5 วัน (ข้อมูลขาเข้า 5 ข้อมูล, T-5, Tdp-5, RH-5) แบบที่ 2 ใช้ข้อมูลย้อนหลัง 10 วัน (ข้อมูลขาเข้า 10 ข้อมูล, T-10, Tdp-10, RH-10) และแบบที่ 3 ใช้ข้อมูลย้อนหลัง 20 วัน (ข้อมูลขาเข้า 20 ข้อมูล, T-20, Tdp-20, RH-20) นอกจากนี้ยังแบ่งชุดข้อมูลเป็น 2 ชุดข้อมูล โดยเป็นชุดข้อมูลที่ใช้สอน และใช้ทดสอบ โดยชุดข้อมูลที่ใช้ทดสอบเป็นข้อมูล 10 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลทั้งหมด

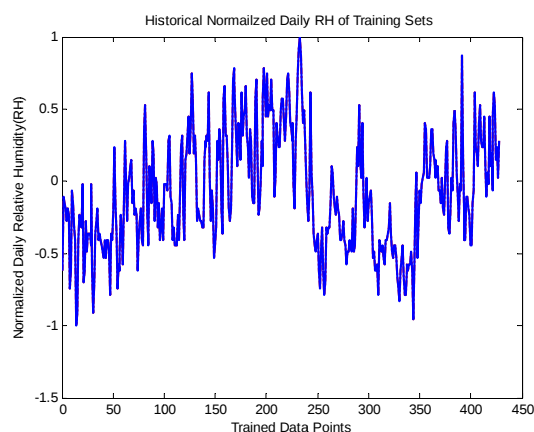
รูปที่ 9 เป็นผลที่ได้จากการสอนด้วยระบบนิเวศน์ โดยเส้นทึบคืออุณหภูมิที่ใช้สอน และเส้นปะคือค่าอุณหภูมิที่ได้จากระบบอัจฉริยะ ส่วนในรูปที่ 10 เป็นผลที่ได้จากการนำระบบอัจฉริยะ ไปใช้ในการทำนายอุณหภูมิของชุดทดสอบล่วงหน้าพบว่าผลที่ได้จากระบบอัจฉริยะ (เส้นปะ) ใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิจริง (เส้นทึบ)



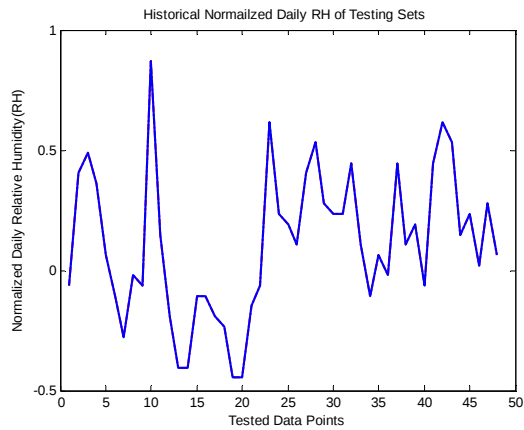
รูปที่ 9. แสดงตัวอย่างพยากรณ์อุณหภูมิล่วงหน้าด้วย NFs ของชุดสอน



รูปที่ 10. แสดงตัวอย่างพยากรณ์อุณหภูมิล่วงหน้าด้วย NFs ของชุดทดสอบ

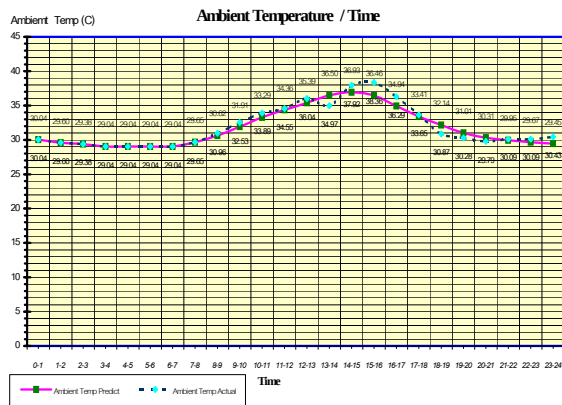


รูปที่ 11. แสดงตัวอย่างพยากรณ์ความชื้นสัมพัทธ์ล่วงหน้าด้วย NFs ของชุดสอน



รูปที่ 12. แสดงตัวแบบพยากรณ์ความชื้นสัมพัทธ์ล่วงหน้าด้วย NFs ของชุดทดสอบ

ตัวอย่างของผลการพยากรณ์ แสดงดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิภายนอกระหว่างค่าจากการพยากรณ์ (เส้นทึบ) กับค่าจริง (เส้นประ) โดยมีค่าความผิดพลาดเบี่ยงเบนโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.419°C และค่าความผิดพลาดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 0.780°C

จากผลการสอนระบบนิวโรฟัซซี่ และการพยากรณ์ค่าอุณหภูมิภายนอก เราพบว่าค่าความผิดพลาดระหว่าง อุณหภูมิภายนอกพยากรณ์ กับค่าจริง อยู่ในช่วง $0.5 - 1.6^{\circ}\text{C}$ สำหรับ กรณีปกติ แต่ถ้าเป็นในกรณีที่สภาพอากาศเปลี่ยนแปลงได้ง่าย เช่น ในฤดูฝน ก็ทำให้เกิดความผิดพลาดมากขึ้น คืออยู่ในช่วง $1.2 - 3.5^{\circ}\text{C}$ ดังนั้นถ้าแบ่งระบบนิวโรฟัซซี่ออกเป็น 2 ส่วน สำหรับ เหตุการณ์ปกติ กับ เหตุการณ์ไม่ปกติ สามารถเลือกใช้ข้อมูลในการสอนแยกแต่ละระบบนิวโรฟัซซี่ ก็น่าทำให้ค่าความผิดพลาดออกลดลงได้อีก ส่วนเกณฑ์ในการเลือกข่างานไหนก็อาจใช้ผู้ปฏิบัติงานเป็นคนตัดสินใจ หรือสร้างกฎเกณฑ์ในการเลือกก็เป็นสิ่งที่ควรได้รับการพัฒนาต่อไป

หลังจากที่ได้ค่าอุณหภูมิภายนอกอาคาร ขึ้นต่อไปก็คือ การออกแบบระบบอัจฉริยะ สำหรับการหาค่าภาระความร้อนของอาคาร นอกจากนี้ยังพิจารณาถึงกิจกรรมที่เกิดในอาคารซึ่งมีผลต่อค่าภาระความร้อนของอาคาร

อาคาร ได้ดังนี้คือ

ข้อมูลด้านอินพุต (Input Node) ได้แก่

T-1 หมายถึงอุณหภูมิย้อนหลัง ณ เวลา 1 คาบเวลา

T-2 หมายถึงอุณหภูมิย้อนหลัง ณ เวลา 2 คาบเวลา

T-3 หมายถึงอุณหภูมิย้อนหลัง ณ เวลา 3 คาบเวลา

⋮

T-n หมายถึงอุณหภูมิย้อนหลัง ณ เวลา n คาบเวลา

และ

RH-1 คือ จุดน้ำค้างย้อนหลัง ณ เวลา 1 คาบเวลา

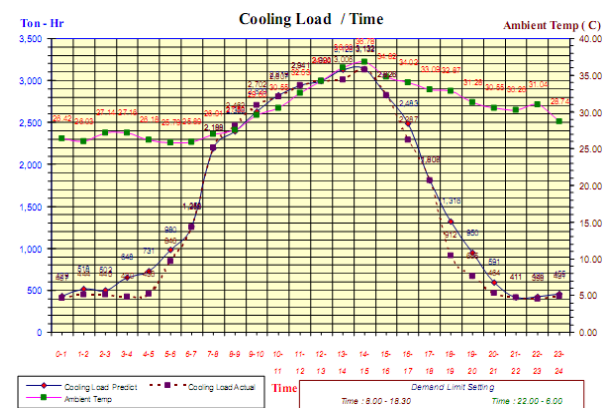
RH-2 คือ จุดน้ำค้างย้อนหลัง ณ เวลา 2 คาบเวลา

RH-3 คือ จุดน้ำค้างย้อนหลัง ณ เวลา 3 คาบเวลา

⋮

RH-n คือ จุดน้ำค้างย้อนหลัง ณ เวลา n คาบเวลา

ข้อมูลที่ต้องการพยากรณ์ (Output Node) คือ ภาระความร้อนของอาคาร ณ. เวลาปัจจุบัน



รูปที่ 14. แสดงตัวแบบพยากรณ์ภาระความร้อนล่วงหน้าด้วย NFs ของชุดทดสอบ

ผลของตัวแบบพยากรณ์ภาระความร้อนล่วงหน้าด้วย NFs ของชุดทดสอบดังรูปที่ 14 จากการพยากรณ์ค่าภาระความร้อนของอาคาร พบว่าค่าความผิดพลาดระหว่างค่าพยากรณ์ กับค่าจริง มีค่าอยู่ระหว่าง $20 - 250 \text{ Ton - Hr}$ และเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาดของปริมาณค่าความร้อนรวมในช่วง $8.00 - 18.00 \text{ น.}$ ของวันทำงาน (Type of day No. 1)

เพื่อนำไปใช้ในการหาค่าจุดปฏิบัติงานที่เหมาะสม อยู่ในช่วง 0.1 — 8 % แต่โดยเฉลี่ยอยู่ที่ค่า 2% แสดงให้เห็นว่าระบบอัจฉริยะสามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลด้านเข้า และ ด้านออก ได้ดี ส่วนในกรณีวันหยุด ยังมีค่าความผิดพลาดอยู่มาก อาจเป็นเพราะข้อมูลของวันหยุดที่นำมาใช้สอนระบบอัจฉริยะยังน้อยเกินไป

จากขั้นตอนที่ได้กล่าวมาตั้งแต่ต้น นำไปสู่การคำนวณหาค่าความต้องการพลังไฟฟ้า ค่าพลังงานไฟฟ้า และจุดปฏิบัติงานที่เหมาะสม และนำไปสู่การเขียนโปรแกรม โดยแยกโปรแกรมเป็นส่วนๆ ดังนี้

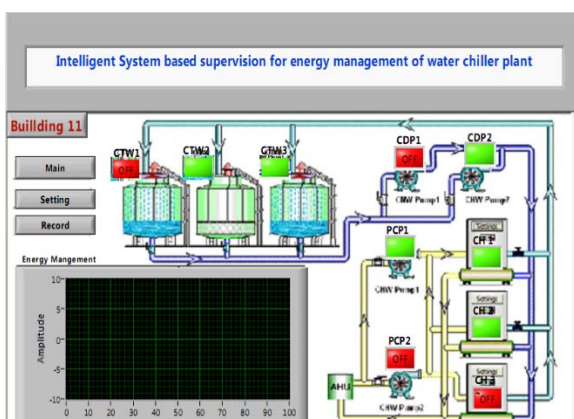
3.2.1. ส่วนเก็บข้อมูลของระบบ ได้แก่ ข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ใน Chiller Plant, ข้อมูลการเปิดปิดวาล์ว, ข้อมูลการใช้งาน Chiller และอื่นๆ ในแต่ละวัน ซึ่งถูกจัดบันทึกโดยฝ่ายปฏิบัติการของมหาวิทยาลัย

3.2.2. ส่วนที่ใช้ออกแบบระบบอัจฉริยะและสอนระบบอัจฉริยะให้รู้จักพฤติกรรมของระบบ และติดตามดูแลระบบ

3.2.3. ส่วนที่ใช้ในการแสดงผลข้อมูลจากการสอนระบบอัจฉริยะซึ่งอยู่ในรูป Graphic User Interface (GUI) แสดงในรูปของภาพจำลองระบบ Water Chiller Plant

3.2.4. ส่วนประมวลผล และ คำนวณหาค่าจุดปฏิบัติการที่เหมาะสม สำหรับอุปกรณ์ทำน้ำเย็น (Water Chiller)

โปรแกรมเริ่มจาก Main Program ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 15 และรูปที่ 16 แสดงส่วนกำหนดค่าเริ่มต้นเพื่อใช้ในการคำนวณต่างๆ



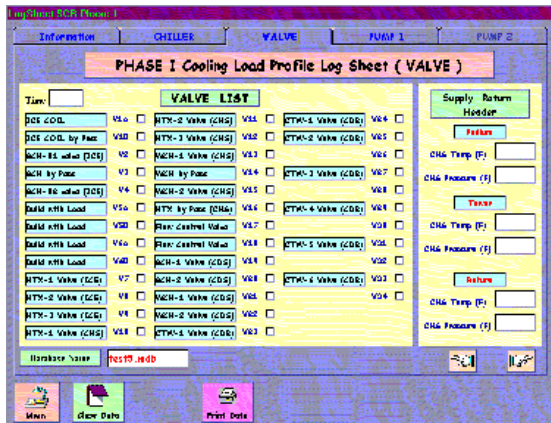
รูปที่ 15. แสดงรูปแบบ Main Program ของโปรแกรมการจัดการและแนะนำของโรงผลิตน้ำเย็น

การเก็บข้อมูลของระบบ ได้แก่ ข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ ใน Chiller Plant, ข้อมูลการเปิดปิดวาล์ว, ข้อมูลการใช้งาน Chiller และอื่นๆ ในแต่ละวัน ซึ่งถูกจัดบันทึกโดยฝ่ายปฏิบัติการของธนาคาร แต่ละหน้าของโปรแกรมส่วนนี้เกิดจาก Sheet ที่ใช้บันทึกจริง เพื่อให้ง่ายต่อผู้บันทึกข้อมูลเนื่องจากรู้สึกคุ้นเคยกับแผ่นบันทึกข้อมูลอยู่แล้ว รายละเอียดแต่ละหน้าของโปรแกรมดังรูปที่ 17, 18, 19, 20, 21 ตามลำดับ

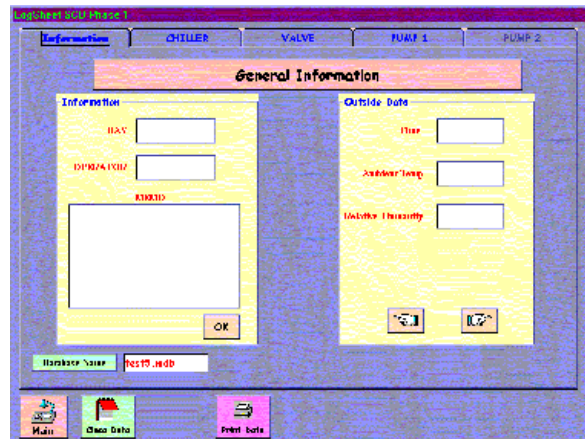
Equipment	Unit	Capacity	Power	Equipment	Unit	Capacity	Power
CTW - 01 :	Ton-Hr	967	17.16	SCP - 01 :	GPM	2000	41.45
CTW - 02 :	Ton-Hr	967	17.6	SCP - 02 :	GPM	2000	41.45
CTW - 03 :	Ton-Hr	967	17.79	SCP - 03 :	GPM	1000	19.89
CTW - 04 :	Ton-Hr	967	16.81	SCP - 04 :	GPM	1000	20.23
CTW - 05 :	Ton-Hr	967	17.16	SCP - 05 :	GPM	1000	16.68
CTW - 06 :	Ton-Hr	967	17.16	SCP - 06 :	GPM	1000	16.38
CDP - 01 :	GPM	5000	71.58	SCP - 07 :	GPM	1000	17.29
CDP - 02 :	GPM	5000	71.31	GCP - 01 :	GPM	1000	26.26
CDP - 03 :	GPM	5000	71.34	GCP - 02 :	GPM	3500	58.03
CDP - 04 :	GPM	5000	71.34	GCP - 03 :	GPM	3500	59.04
PCP - 01 :	GPM	3000	50.18	GCP - 04 :	GPM	3500	58.28
PCP - 02 :	GPM	3000	50.7	GCP - 05 :	GPM	1000	5.63
PCP - 03 :	GPM	3000	50.7	GCP - 06 :	GPM	1000	5.63
PCP - 04 :	GPM	1000	5.55				

รูปที่ 16. แสดงรูปหน้าต่างของส่วนกำหนดค่าเริ่มต้นเพื่อใช้ในการคำนวณของอุปกรณ์ต่างๆ

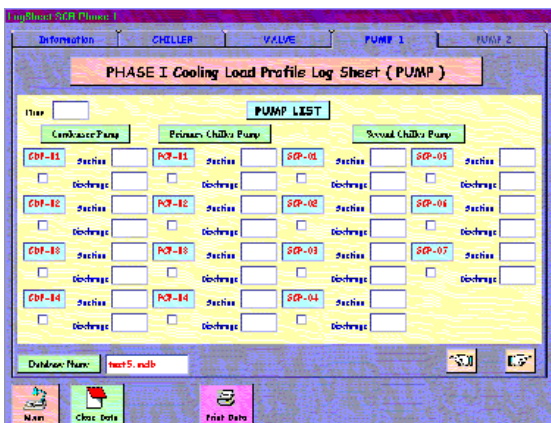
รูปที่ 17. แสดงรูปส่วนบันทึกข้อมูล เกี่ยวกับ Chiller, Cooling Tower, Heat Exchanger, Ice Storage Tank



รูปที่ 18. แสดงรูปส่วนบันทึกข้อมูล เกี่ยวกับการเปิด - ปิดวาล์ว, Supply & Return Header



รูปที่ 21. แสดงรูปส่วนบันทึกข้อมูล เกี่ยวกับข้อมูลทั่วไป และสถานะภายนอก



รูปที่ 19. แสดงรูปส่วนบันทึกข้อมูล เกี่ยวกับการเปิด - ปิดปั๊มหน้าห้อง



รูปที่ 20. แสดงรูปส่วนบันทึกข้อมูล เกี่ยวกับการเปิด - ปิดปั๊มหน้าห้อง

ในส่วน ค. ระบบผู้แนะนำผู้ปฏิบัติงาน ในเรื่องการประหยัดพลังงานโดยใช้วิธีการเปิดปิดอุปกรณ์และตั้งค่าการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นตามภาระความร้อนที่ทำนายล่วงหน้าทั้งวันเนื่องจากเครื่องทำน้ำเย็นจะประหยัดพลังงานเมื่อทำงานตามของค่าภาระความร้อน และทำการหาค่าการเปิดปิดอุปกรณ์และแสดงดังในรูปที่ 16 แสดงการแนะนำผู้ปฏิบัติงานโดยสีเขียวแสดงถึงการเปิดอุปกรณ์ และสีแดงแสดงถึงการปิดอุปกรณ์ สรุปลักษณะการเปิด-ปิดอุปกรณ์ดังรูปที่ 22 สีแดงปิด สีน้ำเงินเปิด

CHILLER PLANT SCHEDULE (for Working Day)

RSU Building 11 PHASE 1 (BAS CONTROL) - DESIGN

EQUIPMENT	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
WCH - 01																		
WCH - 02																		
WCH - 03																		
CTW - 01																		
CTW - 02																		
CTW - 03																		
CDP - 01																		
CDP - 02																		
CDP - 03																		

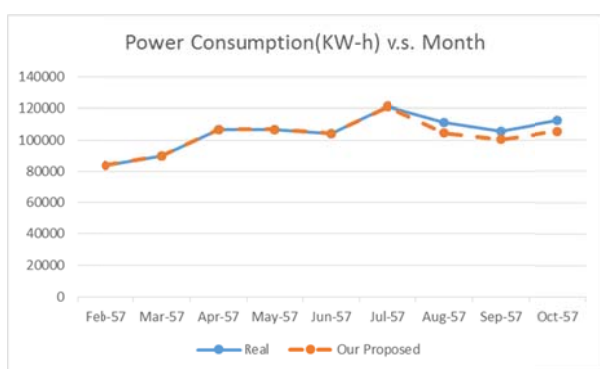
รูปที่ 22. แสดงการเปิดปิดอุปกรณ์ในรูปตาราง Excel

CHILLER PLANT SCHEDULE (for BANK Working Day)

RSU Building 11 PHASE 1 (BAS CONTROL)-DESIGN

EQUIPMENT	POWER (Kw)	POWER EACH HOUR OF DAY											
		6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	
MODE		C											
WCH - 01	836.0		1,089.9	1,012.9	1,012.9	1,012.9	1,012.9	1,012.9	1,012.9	1,012.9	1,012.9	1,012.9	
WCH - 02	456.0					1,012.9	1,012.9	1,012.9	1,012.9	1,012.9	1,012.9	1,012.9	
WCH - 3													
CTW - 01	83.6		17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	17.2	
CTW - 02	45.6					17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	
CTW - 03													
CDP - 01	104.5		71.6	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6	71.6	
CDP - 02	57.0					71.3	71.3	71.3	71.3	71.3	71.3	71.3	
CDP - 03													
PCP - 01	55.7		50.2	50.2	50.2	50.2	50.2	50.2	50.2	50.2	50.2	50.2	
PCP - 02	30.4					50.7	50.7	50.7	50.7	50.7	50.7	50.7	
PCP - 03													

รูปที่ 23. แสดงการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้า



รูปที่ 24. แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการปรับปรุง

จากรูปที่ 24 แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังการใช้ระบบแนะนำผู้ปฏิบัติงานสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจาก 111120 KW-h เป็น 104528 KW-h ซึ่งลดค่าพลังงานไฟฟ้า 6672 KW-h ในเดือนสิงหาคม 2557 คิดเป็นลดลงได้ 6% ถ้าพิจารณาในเรื่องของค่าพลังงานไฟฟ้า และ ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าเปรียบเทียบระหว่างค่าพยากรณ์ กับค่าจริง พบว่าค่าความผิดพลาดของค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า อันเป็นผลจากค่าภาระความร้อนค่าพยากรณ์ และค่าจริงนั้น มีค่าไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าก่อนการควบคุมตามคำแนะนำ ประจำเดือน พฤษภาคม 2557 ถึง เดือน กรกฎาคม 2557 และใช้ในเดือนสิงหาคม 2557 ถึง เดือน ตุลาคม 2557 โดยเดือนสิงหาคม 6% เดือนกันยายน 5% และ เดือนตุลาคม 6% สรุปได้ว่าค่ามีอัตราลดลงเฉลี่ยถึง 5% โดยที่สมรรถนะของระบบปรับอากาศยังมีประสิทธิภาพดี เช่นเดิม แสดงให้เห็นว่าระบบนิวโรฟuzzy สามารถนำมาใช้ในการทำนายค่าอุณหภูมิและภาระความร้อนของอาคารได้เป็น

อย่างดีซึ่งนำไปใช้ในการคำนวณการเปิดปิดอุปกรณ์ระบบน้ำเย็นได้เป็นอย่างดี

4. บทสรุป

จุดประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้ เป็นการศึกษาการประยุกต์ระบบนิวโรฟuzzy เพื่อคำนวณหาค่าภาระความร้อนล่วงหน้าเพื่อใช้ในการหาจุดปฏิบัติงานที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องทำน้ำเย็น(Water Chiller) เพื่อประหยัดค่าไฟฟ้ามากที่สุด แต่ยังคงรักษาประสิทธิภาพของระบบไว้สูงสุด โดยระบบนิวโรฟuzzy ซึ่งมีความสามารถในการพยากรณ์ ประมาณค่าฟังก์ชัน และจำแนกกลุ่มข้อมูล ผลจากการพยากรณ์ค่าอุณหภูมิภายนอกอาคาร และค่าภาระความร้อนของอาคาร เพื่อนำไปใช้ในการหาจุดปฏิบัติการที่เหมาะสม โดยทั่วไปมีความแม่นยำ เว้นเสียแต่กรณีที่ที่ไม่สามารถคาดเดาได้เช่น ฝนตก เป็นต้น อย่างไรก็ตามการปรับปรุงการพยากรณ์ค่าอุณหภูมิภายนอกอาคาร และ ค่าภาระความร้อนของอาคาร เมื่อเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าก่อนการควบคุมตามคำแนะนำ ประจำเดือน พฤษภาคม 2557 ถึง เดือน กรกฎาคม 2557 และใช้ในเดือนสิงหาคม 2557 ถึง เดือน ตุลาคม 2557 สรุปได้ว่าค่ามีอัตราลดลงถึง 5% โดยที่สมรรถนะของระบบปรับอากาศยังมีประสิทธิภาพดีเช่นเดิม แต่ยังสามารถปรับปรุงและวิจัยต่อไปได้ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ในด้านข้อมูล ความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่น่าสนใจในการสอนนิวโรฟuzzy อาจคิดเพิ่มไป ทำให้การเรียนรู้รับกพร่องไป อันเนื่องมาจากหลายสาเหตุ อาทิเช่นความผิดพลาดจากอุปกรณ์วัด และอุปกรณ์การสื่อสารข้อมูลจากบพร่อง หรือการรบกวนระบบ (Disturbance) เช่นการเริ่มต้นเดินเครื่อง หรือหยุดเดินเครื่องของเครื่องจักรกลขนาดใหญ่ในระบบ ที่มีผลต่อสัญญาณต่างๆในระบบ เป็นต้น การแก้ปัญหาเหล่านี้เป็นเรื่องไม่ง่ายนักนอกจากต้องทำการค้นคว้าเพิ่มเติมแล้วยังต้องแก้ไขค่าเหล่านั้นด้วยค่าที่เหมาะสม ซึ่งอาจทำได้โดยออกแบบระบบที่มีความสามารถในการกลั่นกรองข้อมูล ก่อนที่จะนำไปใช้สอน ส่วนด้านการพัฒนาทฤษฎีระบบอัจฉริยะ ทั้งในเรื่องของขั้นตอน (Algorithm)และการประยุกต์ใช้งานอยู่เสนอ รวมถึงการนำระบบอัจฉริยะหลายๆแบบมาใช้งานร่วมกันซึ่งเรื่องเหล่านี้ จะทำให้ได้การพยากรณ์ มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น เริ่มตั้งแต่การสุ่มข้อมูลเพื่อมาสอน หรือ ระบบรวมแบบใหม่ เช่นระบบนิวโรฟuzzyเจนนิกติก เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] ผศ. สุรพล พฤษพานิช, 2529, การปรับอากาศ : หลักการและระบบ, หจก. ฟิสิกส์เซนเตอร์.
- [2] สมศักดิ์ สุโมทยกุล, 2542. หลักการทำงานและเทคนิคการตรวจสอบเครื่องทำความเย็นและเครื่องปรับอากาศ. ซีเอ็ดยูเคชั่น. กรุงเทพฯ. 444 หน้า.
- [3] อัครเดช สินธุภัก, 2543. การปรับอากาศ. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ. 570หน้า.
- [4] เสน่ห์, โรเจอร์ ดับเบิลยู. 2540. ระบบควบคุมสำหรับการทำความร้อน การระบายอากาศ และการปรับอากาศ. กรุงเทพฯ. 336 หน้า.
- [5] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2552, รายงานไฟฟ้าของประเทศไทยปี 2551.
- [6] W. F. Stoecker and J. W. Jones, 1993, Refrigeration & Air Conditioning , McGraw-Hill International Edition, 2 nd Ed.
- [7] Technology Fact Sheet, 2002, Whole-House Ventilation System : Improved control of Air Quality, *Building Technology Program, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, U.S. Department of Energy, USA*.
- [8] Chua, K. J., Ho, J. C. and Chou, S. K., 2007, A comparative study of different control strategies for indoor air humidity, *ENERGY AND BUILDINGS*, 39 (5), pp. 537-545.
- [9] Hirunlabh, J., Charoenwat, R., Khedari, J. and Teekasap, Sombat, 2007, Feasibility study of desiccant air-conditioning system in Thailand, *BUILDING AND ENVIRONMENT*, 42 (2), pp. 572-577.
- [10] Nagengast, Bernard and Groff, Gerald, 2007, Keeping cool - Timeline of refrigeration & air conditioning, *ASHRAE JOURNAL*, 49 (3), pp. 64.
- [11] Guo CY, Song Q and Cai WJ, 2007, A neural network assisted cascade control system for air handling unit, *IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS* 54 (1), pp 620-628.
- [12] Chang YC, 2007, Sequencing of chillers by estimating chiller power consumption using artificial neural networks, *BUILDING AND ENVIRONMENT* 42 (1), pp. 180-188.
- [13] Singh J, Singh N and Sharma JK, 2006, Fuzzy modeling and control of HVAC systems - A review, *JOURNAL OF SCIENTIFIC & INDUSTRIAL RESEARCH* 65 (6), pp. 470-476.
- [14] Aprea C, Mastrullo R, and Renno C, 2006, Experimental analysis of the scroll compressor performances varying its speed, *APPLIED THERMAL ENGINEERING* 26 (10), pp. 983-992.
- [15] Thompson R and Dexter A, 2005, A fuzzy decision-making approach to temperature control in air-conditioning systems, *CONTROL ENGINEERING PRACTICE* 13 (6), pp. 689-698
- [16] Chu CM, Jong TL and Huang YW, 2005, Thermal comfort control on multi-room fan coil unit system using LEE-based fuzzy logic, *ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT* 46 (9-10), pp. 1579-1593.
- [17] Lee, W. Y. and M.; Kelly, G. E., Fault Diagnosis of an Air – Handling Unit Using Artificial Neural Networks, *ASHRAE Transactions.*, Vol. 102, Pt 1., PP. 540-549, 1996.
- [18] Teeter, J. and Chow, M. Y., Application of Function Link Neural Network to HVAC Thermal Dynamics System Identification, *Technical Report, Department of Electrical and Computer Engineering*, North Carolina State University.
- [19] Chung-Tai Wu and Brian A. Rock, Performance of Fixed, Air-Side Economizer, and Neural Network Demand-Controlled Ventilation in CAV Systems, *ASHRAE Transactions.* , 1998
- [19] Babuska, A. R. 2002. Neuro-fuzzy methods for modeling and identification. Recent Advances in intelligent Paradigms and Application, Springer-Verlag : 161–186..
- [20] Monruthai Radeerom, Chonawat Srisa-an, M. L. Kulthorn Kasemsan, Stock Price Prediction Based on Neurofuzzy System for Thai Stock Index. *IMECS 2007*, Hong Kong, pp. 833-838.