

การออกแบบระบบฐานข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์การใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศ และระบบแสงสว่างภายในอาคาร

Database Designed for Energy Consumption Analysis of Air Conditioning and Lighting Systems in Building

เอกรินทร์ แสงธรรมรัตน์

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ศาลายา จ.นครปฐม 73170

โทร 0-8892138 E-mail: ekarins2002@hotmail.com

Ekarin Sangthammarat

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University,

Salaya, Nakorn Prathom 73170, Thailand

Tel: 0-8892138 E-mail: ekarins2002@hotmail.com

บทคัดย่อ

จากพระราชบัญญัติการพัฒนาและส่งเสริมพลังงานปี พ.ศ . 2535 ได้ประกาศไว้ว่าเจ้าของอาคารหรือโรงงานควบคุมต้องทำการประหยัดพลังงานและปรับปรุงการใช้พลังงานให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวง การตรวจวัดพลังงานจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำเพื่อประเมินการใช้พลังงานจริงในอาคาร หรือโรงงานอุตสาหกรรม การตรวจวัดพลังงานนั้นทำได้หลายวิธีด้วยกันเช่น การตรวจวัดแบบคร่าวๆ หรือการตรวจวัดเบื้องต้น การตรวจวัดแบบลงรายละเอียด

โดยทั่วไปการตรวจวัดแบบลงรายละเอียดนั้น จะทำการตรวจวัดกับอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงาน ที่มีสัดส่วนการใช้พลังงานมากที่สุด และ การตรวจวัดแบบละเอียดมีจุดประสงค์เพื่อหาทางประเมินศักยภาพและประสิทธิภาพของอุปกรณ์ที่ใช้พลังงาน ดังนั้นการเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์จึงมีความสำคัญ แต่เนื่องจากในความเป็นจริงแล้วข้อมูลที่เก็บมีจำนวนมากดังนั้นการวิเคราะห์ จึงทำได้ยุ่งยากและมีโอกาสผิดพลาดสูง

จุดประสงค์ของโครงการนี้จึงมีเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวข้างต้น โดยใช้หลักการของการออกแบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational database design) เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลให้เป็นระเบียบและง่ายต่อการวิเคราะห์ โดยขอบเขตของโครงการนี้คือการออกแบบฐานข้อมูลและพัฒนา Software การวิเคราะห์พลังงานในส่วนของระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง โครงการนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ การออกแบบฐานข้อมูล และการทดสอบใช้งานจริงรวมถึงการประเมินผลเปรียบเทียบ ระหว่างการใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับ การวิเคราะห์เอง

ด้วยมือ(Manual) อย่างไรก็ตามในบทความนี้จะกล่าวถึงหลักการและแนวทางในการออกแบบฐานข้อมูลเพื่อจัดเก็บข้อมูลการใช้พลังงาน

Abstract

According to the Energy Conservation Promotion Act ,B.E.2535 prescribed that the owner of designed building shall conserve energy , audit and analyze energy consumption in their building in accordance with Thailand energy standard, criterion and procedures as prescribed in the Ministerial Regulation . Therefore energy audit is a necessary thing to do in order to estimate the actual energy consumption in building or factory. Energy audit can be sorted in to 2 categories, Preliminary energy audit and Detail energy audit..

Normally, methodology of detail energy audit will firstly be categorized the top ten of most energy consumption equipments. After top most energy consumption equipment has been described, the detail energy audit will be focused on that equipment in order to determine the possibility to increase the efficiency of that equipment. Each energy audit, many data are recorded which perhaps have the mistake during data recording, error on value as well as complicated methodology. These make the energy consumption analysis in the building, report development did not facilitate the energy audit work through smoothly.

The objective of this study is to correct the defined problem by using relational database design concept and develop the computer software to analyze the data. Scope of this study is to concern on lighting and air conditioning equipment only. This project can be separated into 2 phases , Database & System Design, Program testing and comparison phase. However , in this paper we will focus only the concept of energy analysis database design part.

1. บทนำ

จากพระราชบัญญัติการพัฒนาและส่งเสริมพลังงานปี พ.ศ . 2535 ได้ประกาศได้ว่าเจ้าของอาคารหรือโรงงานควบคุมต้องทำการประหยัดพลังงานและปรับปรุงการใช้พลังงานให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ในกฎกระทรวง ดังนั้นการตรวจวัดพลังงานจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำเพื่อประเมินการใช้พลังงานจริงในอาคาร

โดยทั่วไปขั้นตอนในการตรวจวัดพลังงานมีอยู่ 4 ขั้นตอนหลักๆด้วยกันคือ

1. การวางแผนการตรวจวัดพลังงานซึ่งถือเป็นหัวใจที่สำคัญที่สุดของการทำการตรวจวัดพลังงาน
2. การเก็บข้อมูลที่สถานที่จริง
3. การวิเคราะห์ข้อมูลหมายถึงการนำข้อมูลทำการตรวจวัดมาวิเคราะห์เพื่อประเมินศักยภาพในการใช้พลังงานและผลจากการวิเคราะห์จะทำให้เราทราบภาพรวมของการใช้พลังงานในสถานที่แห่งนั้น
4. เตรียมการสำหรับมาตรการประหยัดพลังงานซึ่งประกอบไปด้วย การประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ หรือการประเมินความคุ้มค่าทางสิ่งแวดล้อม

โดยทั่วไปแล้วขั้นตอนที่มีความซับซ้อนและยุ่งยากของการตรวจวัดพลังงานอยู่ที่การวิเคราะห์ข้อมูลเนื่องจากปริมาณข้อมูลจำนวนมาก และการจัดเก็บข้อมูลมีความซ้ำซ้อนกัน และข้อมูลเดียวกันแสดงรายละเอียดไม่ตรงกัน(ข้อมูลผิดพลาด) นอกจากนี้ยังมีความยุ่งยากในการค้นหาข้อมูล ดังนั้นแนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าวคือการออกแบบระบบเก็บข้อมูลการตรวจวัดพลังงานให้มีความเป็นระเบียบและถูกต้อง ในบทความชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาออกแบบระบบการเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร 2 ประเภทใหญ่ๆด้วยกันคือระบบปรับอากาศ และ ระบบแสงสว่าง

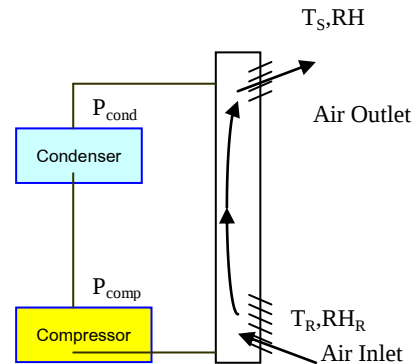
หลักการที่นำมาใช้ในการออกแบบการจัดเก็บข้อมูลนี้คือหลักการระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (Relational Database) โดยมีการออกแบบตารางการเก็บข้อมูลในจำนวนที่พอเหมาะและเป็นระเบียบ ในแต่ละตารางจะประกอบไปด้วย คีย์หลัก(Primary keys) และคีย์ภายนอก(Foreign Keys) เพื่อควบคุมความถูกต้องของข้อมูล และมีการจัด สารบัญ(Index)ของแต่ละตาราง เพื่อความรวดเร็วในการค้นหาข้อมูล

2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากขอบเขตของงานชิ้นนี้คือการเก็บข้อมูลการวัดพลังงานในส่วนของระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่าง ดังนั้น ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจะทำการพิจารณาแต่เฉพาะในส่วนของระบบปรับอากาศและแสงสว่างเท่านั้น

2.1 ระบบปรับอากาศ

2.1.1 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน



รูปที่ 1 แสดงภาพการทำงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

จากรูป,

T_s = Supply Temperature, C

RH_s = Supply Relative Humidity

T_R = Return Temperature ,C

RH_R = Return Relative Humidity

Q = Air Flow Rate (M^3/s)

$$= \text{Supply Air Speed } (V_s) * \text{Grill Area } (A) \quad (1)$$

จากสมการข้างต้นเราสามารถคำนวณหาค่าภาระความเย็นได้จาก

$$\text{Cooling Load} = \rho \cdot Q \cdot (h_{out} - h_{in}) \quad (2)$$

เมื่อ

h_{out} = Enthalpy at Outlet condition , kJ/kg

h_{in} = Enthalpy at Inlet condition , kJ/kg

$$EER = \frac{\text{Cooling Load}(BTU)}{\text{Electrical Power}(kW)} \quad (3)$$

$$\text{หรือ } EER = 3.42 \times COP \quad (4)$$

ประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนถูกวัดด้วยค่า EER แล้วจากนั้นจึงแปลงมาเป็นเบอร์ของเครื่องปรับอากาศโดยมีตารางการแปลงค่าดังนี้

ตารางที่1 แสดงชนิดเครื่องปรับอากาศแยกตามค่า EER

ค่า EER (Btu/W)	เครื่องปรับอากาศเบอร์
6.6-7.6	1
7.6-8.6	2
8.6-9.6	3
9.6-10.6	4
10.6-11.6	5

ในการหาค่าผลต่างของ Enthalpy สามารถหาได้จากสมการ

$$\ln(P_{vs}) = \frac{C_1}{T_{WB}} + C_2 + C_3 \cdot T_{WB} + C_4 \cdot T_{WB}^2 + C_5 \cdot T_{WB}^3 + C_6 \cdot \ln(T_{WB}) \quad (5)$$

เมื่อ

P_{vs} = ค่าความดันไออิ่มตัว

T_{WB} = อุณหภูมิกระเปาะเปียก

C_1 = -5,800.2206

C_2 = 1.3915

C_3 = -0.0486024

C_4 = 4.1764768×10^{-5}

C_5 = -1.4452093

C_6 = 6.5459673

หมายเหตุ สมการนี้สามารถใช้ได้สำหรับช่วงอุณหภูมิ 0°C ถึง 200°C โดยที่สามารถหาค่า Humidity Ratio สมการ

$$\omega = \left(\frac{0.622 \cdot P_{vs} (2501 - 2.316 \cdot T_{WB}) - (T_{db} - T_{wb})}{\frac{P - P_{vs}}{2501 + 1.87 \cdot T_{db} - 4.186 \cdot T_{wb}}} \right) \quad (6)$$

เมื่อ

ω = Humidity Ratio

P = ความดันบรรยากาศ

P_{vs} = ค่าความดันไออิ่มตัว

T_{db} = อุณหภูมิกระเปาะแห้ง

T_{wb} = อุณหภูมิกระเปาะเปียก

และสามารถหาค่าผลต่าง enthalpy ได้จากสมการ

$$\Delta h = (T_{db2} - T_{db1}) + 2501 \cdot (\omega_2 - \omega_1) - 4.186 \cdot T_{db2} \cdot (\omega_2 - \omega_1) + 1.87 \cdot (T_{db2} \cdot \omega_2 - T_{db1} \cdot \omega_1) \quad (7)$$

เมื่อ

Δh = ค่าผลต่าง enthalpy

T_{db1} = อุณหภูมิกระเปาะเปียกด้านจ่าย

T_{db2} = อุณหภูมิกระเปาะเปียกด้านกลับ

ω_{db1} = Humidity Ratio ด้านจ่าย

ω_{db2} = Humidity Ratio ด้านกลับ

2.1.2 ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์

ประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานดังนี้

- เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)
- ปั๊มน้ำ
- มอเตอร์พัดลม

และประสิทธิภาพระบบปรับอากาศสามารถคำนวณได้ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$Q = M_w C_p \Delta T \quad (8)$$

เมื่อ

Q = ความสามารถในการทำความเย็น (kW)

M_w = อัตราการไหลของน้ำในเครื่องทำน้ำเย็น

C_p = ความจุความร้อนจำเพาะของน้ำ

ΔT = ความแตกต่างของอุณหภูมิน้ำก่อนและหลังเข้าสู่

เครื่องทำน้ำเย็น

$$KW/Ton_R = \frac{kW}{M_w C_p (T_2 - T_1)} \cdot 3.52 kW / ton \quad (9)$$

เมื่อ

KW/Ton_R = ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็น

โดยที่พลังงานไฟฟ้าจะคิดจากพลังงานไฟฟ้าในส่วนที่เครื่องทำน้ำเย็นใช้งาน

นอกเหนือจากนั้นพลังงานไฟฟ้ารวมทั้งระบบใช้งานจะมีค่าเท่ากับผลรวมของพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องทำน้ำเย็น ปั๊มน้ำเย็น ปั๊มน้ำร้อน พัดลมระบายอากาศ และพัดลมเป่าอากาศสู่อาคาร

2.2 ระบบแสงสว่าง

ในการประเมินการใช้พลังงานของระบบแสงสว่างใช้วิธีการเทียบหาอัตราส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบแสงสว่างต่อพื้นที่ใช้สอย (W/m^2) และค่าความสว่างของพื้นที่ใช้สอย (Lux)

3. การออกแบบฐานข้อมูล

การออกแบบฐานข้อมูลได้ทำการแบ่งการจัดเก็บข้อมูลออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ ข้อมูลที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (ข้อมูลพื้นฐาน) และข้อมูลที่มีการเปลี่ยนแปลง โดยได้แบ่งการจัดเก็บข้อมูลเป็นตารางหลายๆ ตารางตามประเภทชนิดของข้อมูลและได้สร้างความสัมพันธ์ระหว่างตารางโดยอาศัยหลักการของการควบคุมความถูกต้องของข้อมูล (Referential Integrity)

การออกแบบฐานข้อมูลประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้

3.1 การเก็บ User Requirement เพื่อเขียน User Diagram

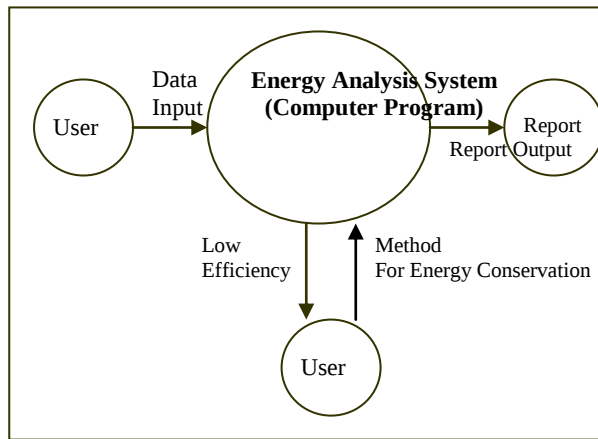
ในงานขั้นนี้ User Requirement มาได้จาก 2 ทาง คือ จากการสัมภาษณ์ผู้ที่ทำงานด้านการตรวจวัดพลังงาน และ จากการศึกษาเอกสาร รายงานการตรวจวัดพลังงานที่ผ่านมา รวมถึงศึกษากฎหมายและข้อกำหนดต่างๆ ที่เกี่ยวกับด้านการตรวจวัดพลังงาน

3.2 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ (System Analysis and Design)

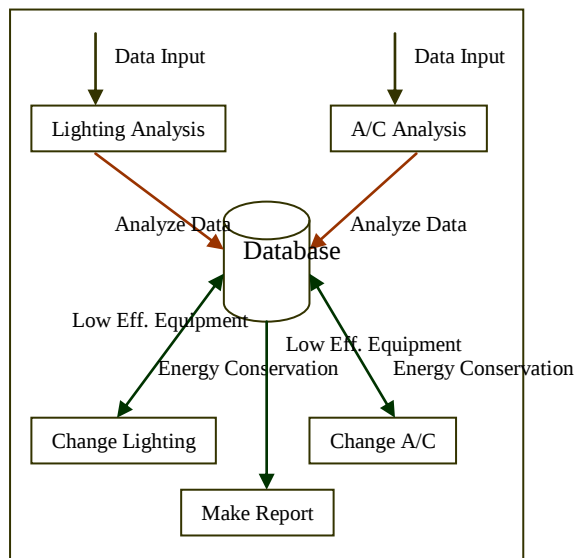
จุดประสงค์ของขั้นตอนนี้คือเพื่อวิเคราะห์ระบบและออกแบบการเก็บข้อมูลแยกออกมาเป็นตารางที่มีความสัมพันธ์กันได้ โดยผลลัพธ์ของขั้นตอนนี้คือ สามารถเขียน Data Flow Diagram ได้และสามารถเขียน Entity Relationship Diagram ได้

3.2.1 Data Flow Diagram

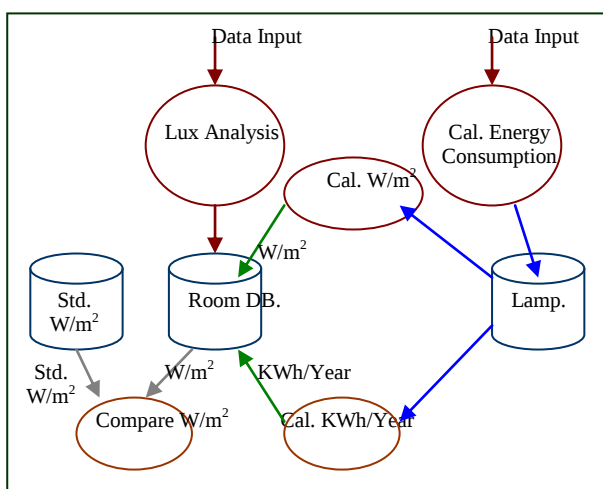
Data Flow Diagram แสดงถึงการเคลื่อนไหวของข้อมูลได้แบ่งออกเป็นระดับตั้งแต่ระดับบนสุด (ภาพรวม) จนถึงระดับลึกสุด (รายละเอียดการทำงานของโปรแกรม) ดังนั้นการทำ Data Flow Diagram จัดเป็นสิ่งแรกที่ต้องทำในการออกแบบฐานข้อมูล ด้านการตรวจวัดพลังงาน โดยแสดงไว้ในรูปที่ 2 ถึง 12



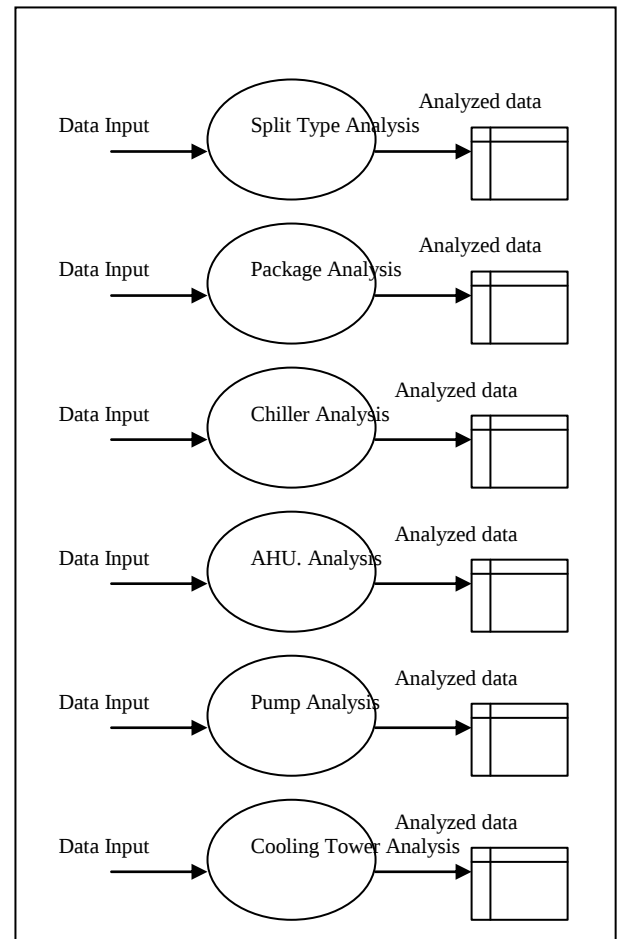
รูปที่ 2 แสดง Context Diagram ของโปรแกรมวิเคราะห์พลังงาน(DFD, Level 0)



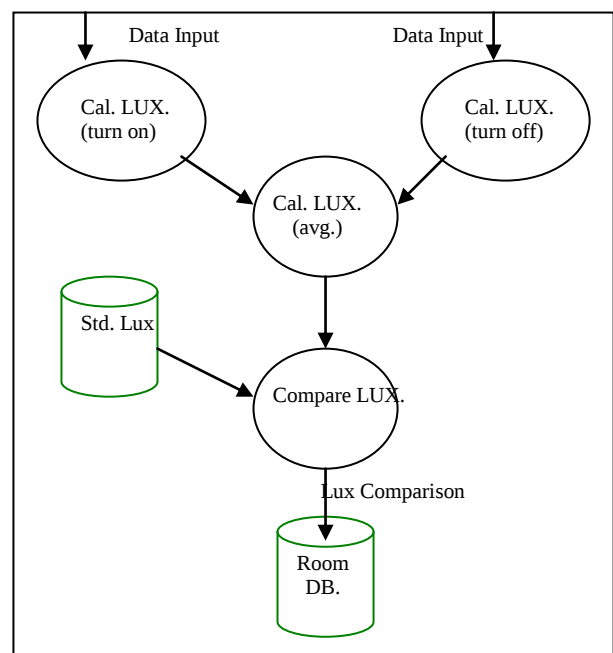
รูปที่ 3 แสดงภาพรวมของโปรแกรมฐานข้อมูลการตรวจวัดพลังงาน (DFD, Level 1)



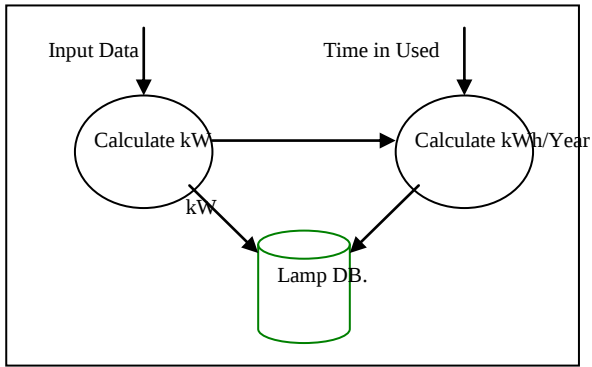
รูปที่ 4 แสดงแผนภาพการวิเคราะห์พลังงานจากระบบแสงสว่าง(DFD, Level 2)



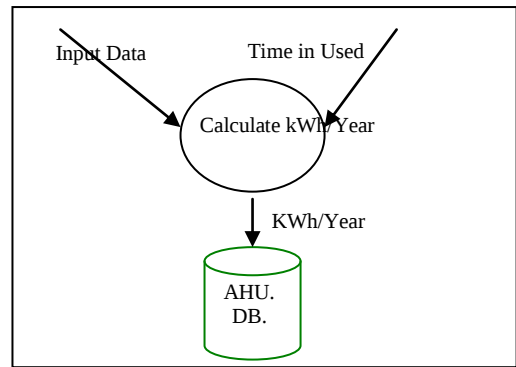
รูปที่ 5 แสดงภาพการวิเคราะห์พลังงานจากระบบปรับอากาศ(DFD, Level 2)



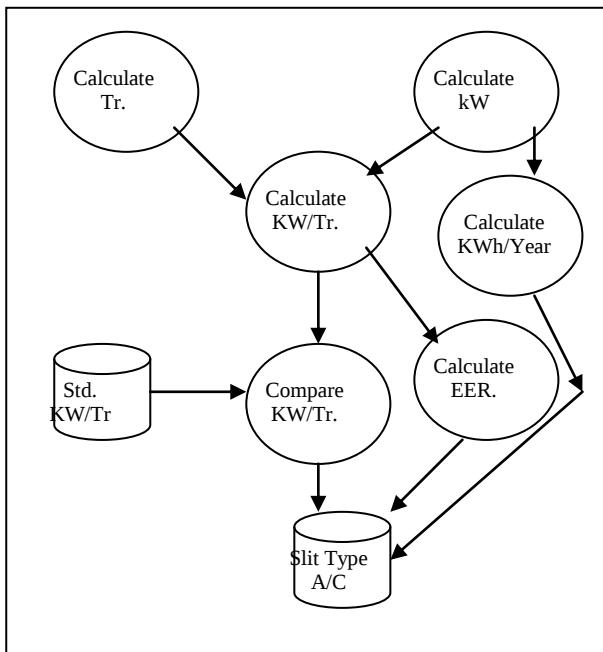
รูปที่ 6 แสดงภาพการวิเคราะห์พลังงานจากระบบแสงสว่างในส่วนปริมาณแสงสว่าง(DFD, Level 3)



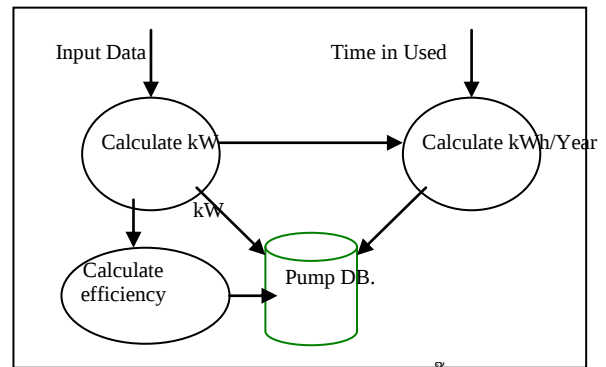
รูปที่ 7 แสดงภาพการวิเคราะห์พลังงานจากระบบแสงสว่างในส่วนพลังงานไฟฟ้า(DFD, Level 3)



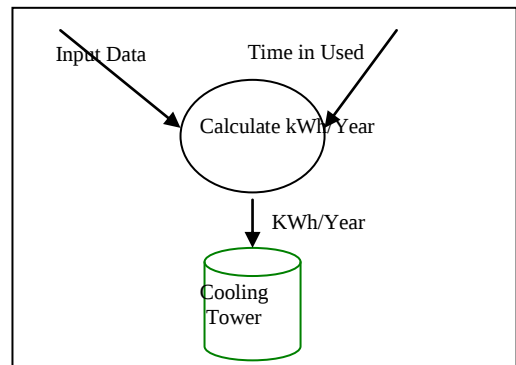
รูปที่10 แสดงภาพการวิเคราะห์พลังงานจากระบบเป่าลมเย็น, AHU (DFD, Level 3)



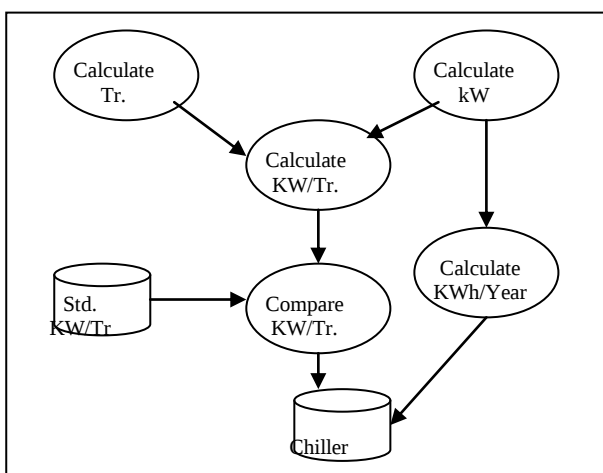
รูปที่ 8 แสดงภาพการวิเคราะห์พลังงานจากระบบปรับอากาศSplit Type Air conditionและ Package A/C (DFD, Level 3)



รูปที่11 แสดงภาพการวิเคราะห์พลังงานจากระบบปั๊ม, Pump (DFD, Level 3)



รูปที่12 แสดงภาพการวิเคราะห์พลังงานจากระบบหอผึ่งน้ำ Cooling tower (DFD, Level 3)



รูปที่ 9 แสดงภาพการวิเคราะห์พลังงานจากระบบปรับอากาศ Chiller (DFD, Level 3)

3.2.2 Entity Relationship Diagram

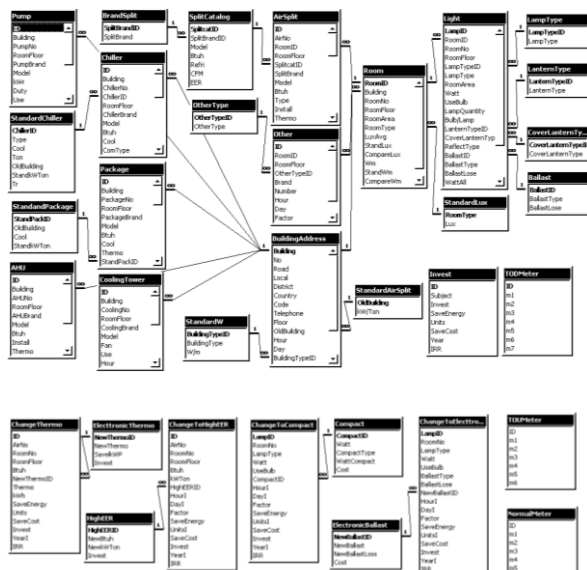
หลังจากทำการออกแบบ Data Flow Diagram เสร็จสิ้นแล้ว การออกแบบฐานข้อมูลขั้นถัดมาคือการทำ ER-Diagram หรือการสร้างตารางความสัมพันธ์ การออกแบบ ER-Diagram ที่ดีควรเรียบง่าย เก็บข้อมูลให้เป็นระเบียบที่สุดเพื่อง่ายต่อการบันทึกข้อมูลและการค้นหาข้อมูล นอกจากนั้นทุกตารางควรมีความสัมพันธ์กันแบบ One to One และ One to Many

ในงานศึกษาชิ้นนี้ได้ออกแบบฐานข้อมูลออกเป็น 2 ชนิดคือ

- ข้อมูลพื้นฐานที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เช่น ข้อมูลห้อง ข้อมูลชนิดเครื่องปรับอากาศ ข้อมูลชนิดหลอดไฟ ข้อมูลค่ามาตรฐาน ฯลฯ ข้อมูลจากการวัด(ที่มีการเปลี่ยนแปลง)

- ข้อมูลที่มีความเคลื่อนไหว(Transaction Data) เช่นอุณหภูมิอากาศก่อนและหลังออกจากคอยล์เย็น กำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง เวลาปฏิบัติงาน ฯลฯ

โดยข้อมูลทั้งสองสามารถเขียนในรูปแบบของ ER Diagram ได้ดังนี้



รูปที่ 13 แสดง Entity Relationship Diagram สำหรับฐานข้อมูลการวิเคราะห์พลังงาน

4. ผลการทดลอง

งานวิจัยที่ผ่านมาได้ทำการทดลอง โดยการเปรียบเทียบเวลาและความถูกต้อง ของข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลระหว่างใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และใช้วิธีเดิม(Manual) และได้ทำการตรวจวัดพลังงานในอาคารวิทยาลัยนานาชาติ มหาวิทยาลัยมหิดล ศาลายา เพื่อเป็นอาคารตัวอย่างที่ใช้ในการเปรียบเทียบ พบว่าหลังจากทำการเก็บข้อมูลการตรวจวัดแล้วนำมาวิเคราะห์ผลด้วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น ใช้เวลานับที่กและวิเคราะห์ข้อมูลเพียง 16 ชั่วโมง แต่ระยะเวลาที่ใช้บันทึกและวิเคราะห์ข้อมูลด้วยมือ (Manual) พบว่าใช้เวลาถึง 187 ชั่วโมงทั้งนี้เนื่องจากระยะเวลาที่เสียไปในการวิเคราะห์ข้อมูลเครื่องปรับอากาศที่ต้องเปิด Psychometric chart เพื่อหาค่า Enthalpy นั้นนานมาก และการค้นหาข้อมูลที่บันทึกเข้าไปแล้วมีความยุ่งยากมาก ในกรณีที่ข้อมูลจำนวนมาก ในการวัดความถูกต้องระหว่างผลการคำนวณด้วยมือกับการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์พบว่าค่าความถูกต้องเท่ากับ99.8 %

เอกสารอ้างอิง

[1] Tanade Chaisit. “Development of a computer program for energy consumption analysis of air conditioning systems and lighting systems in building”, Technology of information system management, Thesis, 2004,

[2] ต่อพงษ์ ตั้งตรงไพโรจน์ , สมเจตน์ เตชะอินทราวาส , อรรถณพ พุทธชาติ, อรุวิธ ฉัตรเกษ “การพัฒนาระบบฐานข้อมูลและโปรแกรมการวิเคราะห์การใช้พลังงานภายในอาคาร”, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล, ปรินญาณพนธ์, ปี พ.ศ. 2544

[3] กิตติ ภักดีพัฒนกุล, จำลอง ครูอุตสาห , “Visual Basic 6 ฉบับฐานข้อมูล” , กรุงเทพฯ: หจก ไทยเจริญการพิมพ์ , 2542

[4] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม . การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร : กองอนุรักษ์พลังงาน กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม , 2536.