

# การคำนวณช่วยในการตัดสินใจ เลือกระบบปรับอากาศที่เหมาะสม และประหยัดพลังงานในอาคาร

## Calculation for Decision Making of Energy Saving And Optimizing of The Air-Conditioning System in Building

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสร้างโปรแกรมสำหรับเลือกระบบปรับอากาศที่เหมาะสมกับการใช้งานเพื่อช่วยในการออกแบบติดตั้ง ระบบที่นำมาพิจารณาประกอบด้วย 1. ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air-Conditioning System) 2. ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) 3. ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller Air-Conditioning System)

ในการวิเคราะห์จะพิจารณาจากการประหยัดพลังงานไฟฟ้าควบคู่ไปกับความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ การประหยัดพลังงานไฟฟ้าจะพิจารณาจากปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดอ้างอิงตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย 2545 โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับระบบปรับอากาศประเภทต่างๆ แล้วคำนวณหา

ระบบที่ให้ภาระการทำงานที่เหมาะสมที่สุด ส่วนความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์พิจารณาระบบปรับอากาศที่ให้การประหยัดพลังงานไฟฟ้า (คุ้มค่าทางพลังงาน) ที่สุด นำมาคำนวณคิดอัตราค่าไฟฟ้า ซึ่งเลือกพิจารณาได้สามแบบได้แก่ 1. การคิดค่าไฟฟ้าอัตราปกติรายเดือน (Usual Rate) 2. การคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของวัน (TOD Rate: Time of Day Rate) 3. การคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU Rate : Time of Use Rate) ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาการทำงานของระบบปรับอากาศนั้นๆ จากนั้นนำค่าไฟฟ้ามารวมกับค่าใช้จ่ายต่างๆ ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งบำรุงรักษา และค่าดำเนินการ แล้วจึงนำมาวิเคราะห์ร่วมกับเงื่อนไขทางเศรษฐศาสตร์อีกสามประการคือ 1. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) 2. การหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) 3. อัตราผลตอบแทนในการลงทุน (Internal Rate of Return)

ระบบปรับอากาศแต่ละระบบมีความคุ้มค่าทางพลังงานและทางเศรษฐศาสตร์ไม่เท่ากัน เช่น ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีการใช้พลังงานมากที่สุด แต่การบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก ในขณะที่ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นส่วนกลางใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าแต่การบำรุงรักษายุ่งยากกว่า ในการเปรียบเทียบจึงแปลงความสิ้นเปลืองต่างๆ ให้อยู่ในรูปของมูลค่าเงินเพื่อสะดวกในการพิจารณา ซึ่งระบบปรับอากาศที่เหมาะสมที่สุดจะต้องคำนึงถึงอัตราผลตอบแทนสูงสุดในการลงทุน และระยะเวลาคุ้มทุน เป็นสำคัญ

## Abstract

In this research, software is developed as a tool for design and installation optimization in the air-conditioning system. Split type air-conditioning system, Water cooled water chilled air-conditioning system and Air cooled water chilled air-conditioning system are used for this study.

In order to analyze and optimize the air conditioning system, two significant factors, energy saving and economic worthiness are considered. Energy saving is calculated from electricity used base on the E.I.T. standard 2001-45. Economic worthiness is calculated from electricity charge of the air-conditioning system. Calculation of electricity charge are divided into three categories, usual rate, time of day rate (TOD) and time of use rate (TOU). Economic worthiness is considered by using three parameters, installation expense, maintenance expense and operating expense. Furthermore, three economic criteria, payback period, net present value and internal rate of return are also considered.

Each of the air-conditioning system has the variety of energy consumption and eco-

nomical worthiness. For example, split type air-conditioning system spends the most energy consumption but have low maintenance cost while water cooled water chilled air-conditioning system spends less energy consumption but have higher maintenance cost. For convenience in comparison, transferring of all parameter into currency value and optimum air-conditioning system should satisfy two most significant criteria, internal rate of return and payback period.

## 1. บทนำ

ปัจจุบันเครื่องปรับอากาศเป็นสิ่งจำเป็นและมีความสำคัญมากขึ้น ระบบปรับอากาศที่มีใช้งานกันอยู่ก็มีหลายระบบแล้วแต่ความเหมาะสมกับการใช้งานในรูปแบบต่างๆ การเลือกใช้ระบบปรับอากาศในครั้งแรกของการติดตั้งเพื่อใช้งานนั้น จะมีปัญหาในการตัดสินใจที่จะเลือกระบบโดยเมื่อเลือกไปแล้วไม่สามารถแก้ไขระบบได้ตั้งนั้นเพื่อประโยชน์สูงสุดในการติดตั้งจึงต้องเลือกระบบที่เหมาะสมที่สุด

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ วรชาติ จิรจิตติเจริญ ได้ศึกษาเรื่อง "การจำลองระบบทำความเย็นสำหรับระบบทำความเย็นส่วนกลางแบบมหภาค" ซึ่งเป็นการบริหารการจัดการการใช้พลังงานในการทำความเย็นให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อการปรับอากาศภายในอาคารหรือหมู่อาคารในบริเวณใกล้เคียงกันที่มีพื้นที่การปรับอากาศขนาดใหญ่มากๆ โดยทำการรวมระบบทำความเย็นทั้งหมดเข้าไว้ในโรงจ่ายพลังงานที่เดียวกัน เสนอแนวคิดจำลองระบบการทำความเย็นส่วนกลางแบบมหภาคโดยจำลองอุปกรณ์ในระบบการทำความเย็นในรูปแบบจำลองกล่องดำ ทั้งนี้ข้อมูลทางด้านสมรรถนะการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น เครื่องสูบน้ำและหอผึ่งน้ำโมเดลต่างๆ ณ สภาวะการทำงานที่หลากหลายได้รวมไว้ในแบบจำลองเพื่อการวิเคราะห์โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำการวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของอุปกรณ์และภาระการ

ทำความเข้าใจหลายรูปแบบ ทั้งนี้ภาระการทำความเข้าใจได้ถูกแยกแยะโดยอาศัยตัวประกอบภาระ (Load Factor) ผลจากการศึกษาสามารถแสดงให้เห็นรูปแบบอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศที่เหมาะสมที่สุดและศึกษางานวิจัยของ เทพฤทธิ์ ทองชุบ ได้ศึกษาเรื่อง “การคำนวณภาระการทำความเย็นและการเลือกขนาดเครื่องทำความเย็นที่เหมาะสม” เป็นการเขียนโปรแกรมหาภาระการทำความเย็นและเลือกขนาดให้เหมาะสมและประหยัดพลังงานไฟฟ้าวัตถุประสงค์หลักเพื่อคำนวณค่าของภาระการทำความเย็นที่แท้จริงโดยคำนวณในทุกชั่วโมงในรอบปีและนำมาเลือกขนาดของระบบปรับอากาศเพื่อที่จะสามารถรู้ลักษณะภาระการทำความเย็นของอาคารแต่ละอาคารซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของอาคาร การทราบเวลาที่ภาระการทำความเย็นของอาคารมีค่าสูงสุดและการลดภาระการทำความเย็นที่เวลาดังกล่าวได้จะทำให้สามารถลดขนาดเครื่องปรับอากาศลงได้ ในการควบคุมการทำงานและการเปลี่ยนแปลงขนาดของเครื่องปรับอากาศจะขึ้นอยู่กับภาระการทำความเย็นของแต่ละอาคารซึ่งจะมีความแตกต่างกัน การคิดค่าใช้จ่ายทั้งหมดของระบบปรับอากาศจะคิดเฉพาะค่าเครื่องปรับอากาศกับค่าไฟฟ้าเท่านั้นส่วนค่าใช้จ่ายอื่นไม่นำมาคิด เช่น ค่าบำรุงรักษาและซ่อมแซมเป็นค่าที่แปรผันได้ยากต่อการประมาณการ

ปัญหาที่นำมาสู่การวิจัยคือการติดตั้งระบบปรับอากาศแต่ระบบที่ได้กล่าวมาแล้วก็ไม่สามารถแก้ไขเปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นก่อนการติดตั้งควรทำการคำนวณหาระบบปรับอากาศที่เหมาะสมโดยใช้เงื่อนไขต่าง ๆ ในการใช้งานเช่นความถี่ในการใช้งาน การใช้ปริมาณไฟฟ้าของอุปกรณ์ประกอบของระบบปรับอากาศ

### 1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.1.1 ศึกษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ เพื่อประยุกต์หาค่าพลังงานที่เหมาะสมของระบบปรับอากาศในอาคาร

1.1.2 เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อ

คำนวณหาค่าที่เหมาะสมของพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศของอาคาร

1.1.3 ทำการวิเคราะห์ด้านการประหยัดพลังงาน ต้นทุน และการบำรุงรักษาของระบบปรับอากาศ

### 1.2 ขอบเขตของโครงการวิจัย

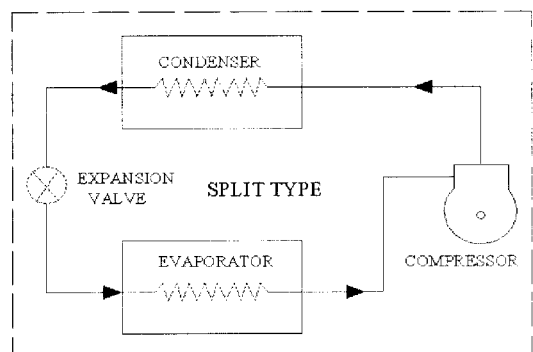
ทำการเขียนโปรแกรมโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากข้อมูล และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการตัดสินใจใช้การออกแบบระบบปรับอากาศที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในอาคารซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งานของอาคาร และอาศัยข้อมูลเหล่านี้

1.2.1 ขนาดของอาคารที่ใช้ทดสอบเป็นอาคารขนาดเล็กถึงอาคารขนาดใหญ่

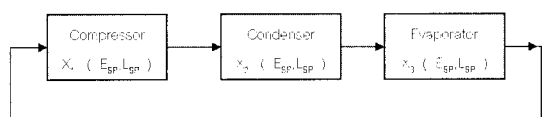
1.2.2 ชนิดของเครื่องปรับอากาศและการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแต่ละระบบระหว่าง เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนกับระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลาง

## 2. ทฤษฎีและการจำลองระบบ (Theory and System Simulation)

### 2.1 ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air - Conditioning System) [2] [4]



รูปที่ 1. แสดงระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน



รูปที่ 2. แสดงการจำลองระบบและแผนภาพสายงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

จากการจำลองระบบจะแสดงองค์ประกอบ และตัวแปรต่างๆของการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Y_1 = [(X_1 + X_2 + X_3) \times (E_{sp} \times L_{sp})] \times \text{Tons} \quad (1)$$

เมื่อ  $Y_1$  คือ การใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของระบบ (kW)

$X_1$  คือ การใช้ไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์

$X_2$  คือ การใช้ไฟฟ้าของคอนเดนเซอร์

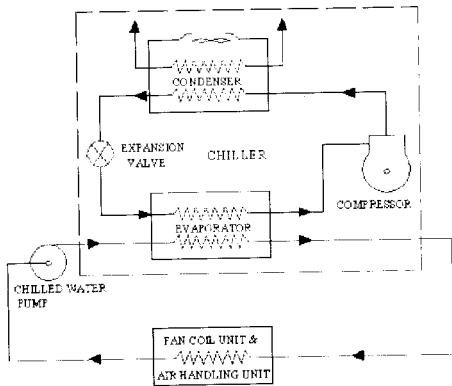
$X_3$  คือ การใช้ไฟฟ้าของอีวาโปเรเตอร์

$E_{sp}$  คือ การใช้ไฟฟ้าระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน kW/Ton

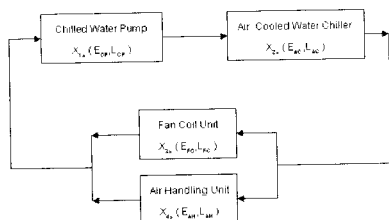
$L_{sp}$  คือ เปอร์เซนต์ของการเดินเครื่องของเครื่องปรับอากาศ

Tons คือ จำนวนตันความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

## 2.2 ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller Air-Conditioning System)



รูปที่ 3. แสดงระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ



รูปที่ 4. แสดงการจำลองระบบและแผนภาพสายงานของระบบปรับอากาศ

อากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ

จากการจำลองระบบจะแสดงองค์ประกอบและตัวแปรต่างๆของการใช้ไฟฟ้าระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Y_2 = [(X_{1a} + X_{2a}) \times \text{Tons1} + (X_{3a} + X_{4a}) \times \text{Tons2}] \quad (2)$$

โดยที่  $X_{1a} = [E_{CP} \times L_{CP}] \quad (3)$

$$X_{2a} = [E_{AC} \times L_{AC}] \quad (4)$$

$$X_{3a} = [E_{FC} \times L_{FC}] \quad (5)$$

$$X_{4a} = [E_{AH} \times L_{AH}] \quad (6)$$

เมื่อ  $Y_2$  คือ การใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของระบบ (kW)

$X_{1a}$  คือ ผลรวมการใช้ไฟฟ้าของ Chilled Water Pump

$X_{2a}$  คือ ผลรวมการใช้ไฟฟ้าของ Air Cooled Water

Chiller

$X_{3a}$  คือ ผลรวมการใช้ไฟฟ้าของ Fan Coil Unit

$X_{4a}$  คือ ผลรวมการใช้ไฟฟ้าของ Air Handling Unit

$E_{CP}$  คือ การใช้ไฟฟ้า Chilled Water Pump (kW/Ton)

$L_{CP}$  คือ เปอร์เซนต์ของการเดินเครื่องของ Chilled Water Pump

$E_{AC}$  คือ การใช้ไฟฟ้าระบบทำความเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ (kW/Ton)

$L_{AC}$  คือ เปอร์เซนต์ของการเดินเครื่องของเครื่องทำความเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ

$E_{FC}$  คือ การใช้ไฟฟ้า Fan Coil Unit (kW/Ton)

$L_{FC}$  คือ เปอร์เซนต์ของการเดินเครื่องของ Fan Coil Unit

$E_{AH}$  คือ การใช้ไฟฟ้า Air Handling Unit (kW/Ton)

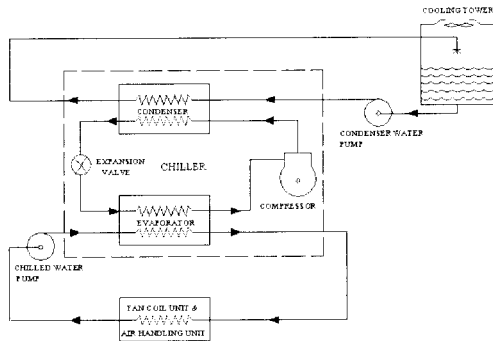
$L_{AH}$  คือ เปอร์เซนต์ของการเดินเครื่องของ Air Handling

Unit

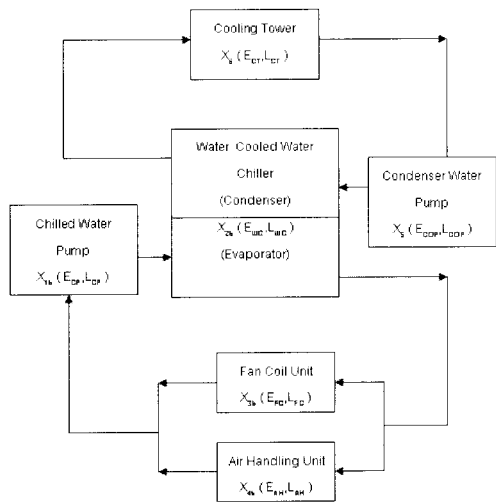
Tons1 คือ จำนวนตันความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น

Tons2 คือ จำนวนตันความเย็นของ Air Handling Unit & Fan Coil Unit

### 2.3 ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller Air-Conditioning System)



รูปที่ 5 แสดงระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ



รูปที่ 6 แสดงการจำลองระบบและแผนภาพสายงานของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ

จากการจำลองระบบจะแสดงองค์ประกอบและตัวแปรต่างๆของการใช้ไฟฟ้าระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Y_3 = [(X_{1b} + X_{2a} + X_3 + X_6) \times \text{Tons21} + (X_{3b} + X_{4b}) \times \text{Tons22}] \quad (7)$$

$$\text{โดยที่ } X_{1b} = [E_{CP} \times L_{CP}] \quad (8)$$

$$X_{2a} = [E_{WC} \times L_{WC}] \quad (9)$$

$$X_{3b} = [E_{FC} \times L_{FC}] \quad (10)$$

$$X_{4b} = [E_{AH} \times L_{AH}] \quad (11)$$

$$X_5 = [E_{COP} \times L_{COP}] \quad (12)$$

$$X_6 = [E_{CT} \times L_{CT}] \quad (13)$$

เมื่อ  $Y_3$  คือ การใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของระบบ (kW)

$X_{1b}$  คือ ผลรวมการใช้ไฟฟ้าของ Chilled Water Pump

$X_{2a}$  คือ ผลรวมการใช้ไฟฟ้าของ Water Cooled Water Chiller

$X_{3b}$  คือ ผลรวมการใช้ไฟฟ้าของ Fan Coil Unit

$X_{4b}$  คือ ผลรวมการใช้ไฟฟ้าของ Air Handling Unit

$X_5$  คือ ผลรวมการใช้ไฟฟ้าของ Condenser Water Pump

$X_6$  คือ ผลรวมการใช้ไฟฟ้าของ Cooling Tower

$E_{CP}$  คือ การใช้ไฟฟ้า Chilled Water Pump (kW/Ton)

$L_{CP}$  คือ เปอร์เซ็นต์ของการเดินเครื่องของ Chilled Water Pump

$E_{WC}$  คือ การใช้ไฟฟ้าระบบทำความเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ (kW/Ton)

$L_{WC}$  คือ เปอร์เซ็นต์ของการเดินเครื่องของเครื่องทำความเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ

$E_{FC}$  คือ การใช้ไฟฟ้า Fan Coil Unit (kW/Ton)

$L_{FC}$  คือ เปอร์เซ็นต์ของการเดินเครื่องของ Fan Coil Unit

$E_{AH}$  คือ การใช้ไฟฟ้า Air Handling Unit (kW/Ton)

$L_{AH}$  คือ เปอร์เซ็นต์ของการเดินเครื่องของ Air Handling Unit

$E_{COP}$  คือ การใช้ไฟฟ้า Condenser Water Pump (kW/Ton)

$L_{COP}$  คือ เปอร์เซ็นต์ของการเดินเครื่องของ

Condenser Water Pump

$E_{CT}$  คือ การใช้ไฟฟ้า Cooling Tower (kW / Ton)

$L_{CT}$  คือ เปอร์เซ็นต์ของการเดินเครื่องของ Cooling Tower

Tons21 คือ จำนวนตันความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น

Tons22 คือ จำนวนตันความเย็นของ AHU & Fan Coil Unit

## 2.4 การคำนวณการคิดอัตราค่าไฟฟ้า [1]

### 2.4.1 การคิดค่าไฟฟ้าอัตราปกติรายเดือน

(Usual Rate)

$$C1 = [ [DC_p \times P_p] + [E_c \times E] + [Ft \times E] + Acc \times N_m ] + VAT \quad (14)$$

โดยที่ C1 คือ ค่าไฟฟ้า (บาท)

$DC_p$  คือ อัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วง Peak (Baht/kW)

$P_p$  คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดของเดือน (kW) ปกติดูจากมิเตอร์ กรณีนี้สมมติจากการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ

$E_c$  คือ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)

$E$  คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ (kWh) ปกติดูจากมิเตอร์ กรณีนี้สมมติจากการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ

$Ft$  คือ สูตรปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติ (Baht/kWh)

$N_m$  คือ จำนวนเดือน (โดย 1 เดือนคิด 22 วัน 264 ชั่วโมง)

$A_{cc}$  คือ ค่าใช้จ่ายอื่น (บาท/เดือน)

VAT คือ ภาษีมูลค่าเพิ่ม (%)

### 2.4.2 การคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลา

ของวัน **TOD Rate (Time of Day Rate)**

$$C2 = [ [DC_p \times P_p] + [D_{pp} \times (PP - P_p)] + [E_c \times E] + [Ft \times E] + A_{cc} \times N_m ] + VAT \quad (15)$$

โดยที่ C2 คือ ค่าไฟฟ้า (บาท)

$DC_p$  คือ อัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วง On Peak (Baht/kW)

$P_p$  คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วง On Peak (kW) ปกติดูจากมิเตอร์ กรณีนี้สมมติจากการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ

$DC_{pp}$  คือ อัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วง Partial Peak (Baht/kW)

$PP$  คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วง Partial Peak (kW) ปกติดูจากมิเตอร์กรณีนี้สมมติจากการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ

$OP$  คือ อัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วง Off Peak (Baht/kW)

$E_c$  คือ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)

$E$  คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ (kWh) ปกติดูจากมิเตอร์กรณีนี้สมมติจากการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ

$Ft$  คือ สูตรปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติ (Baht/kW)

$N_m$  คือ จำนวนเดือน (โดย 1 เดือนคิด 22 วัน 264 ชั่วโมง)

$A_{cc}$  คือ ค่าใช้จ่ายอื่น (บาท/เดือน)

VAT คือ ภาษีมูลค่าเพิ่ม (%)

### 2.4.3 การคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลา

ของการใช้ **TOU Rate (Time of Use Rate)**

$$C3 = [ [DC \times P_{op}] + [EC \times E] + [EC \times E] + [Ft \times E] + A_{cc} \times N ] + VAT \quad (16)$$

โดยที่ C3 คือ ค่าไฟฟ้า (บาท)

DC คือ อัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Baht/kW)

$P_{OP}$  คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 15 นาทีที่สูงสุดในช่วง On Peak (kW) ปกติดูจากมิเตอร์ กรณีนี้สมมุติจากการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ

$EC_1$  คือ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วง On Peak (บาท/หน่วย)

$E_1$  คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในช่วง On Peak (kWh) ปกติดูจากมิเตอร์ กรณีนี้สมมุติจากการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ

$EC_2$  คือ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วง Off Peak (Baht/Unit)

$E_2$  คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ในช่วง Off Peak1 (kWh) ปกติดูจากมิเตอร์ กรณีนี้สมมุติจากการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ

$E$  คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ (kW) ปกติดูจากมิเตอร์ กรณีนี้สมมุติจากการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ

$Ft$  คือ สูตรปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติ (Baht/kW)

$N_{M_i}$  คือ จำนวนเดือน (โดย 1 เดือนคิด 22 วัน 264 ชั่วโมง)

$A_{cc}$  คือ ค่าใช้จ่ายอื่น (บาท/เดือน)

VAT คือ ภาษีมูลค่าเพิ่ม (%)

## 2.5 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ [3]

### 2.5.1. ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

$$n = TS / Y_i \quad (17)$$

โดยที่  $n$  คือ ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

TS คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บาท)

$Y_i$  คือ ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี (บาท/ปี)

### 2.5.2 การหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value; NPV)

โดยที่ NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)

$$IRR \text{ คือ ค่าอัตราส่วนลด}(r) \text{ ที่จะทำให้ } \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (19)$$

$k_0$  คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก (บาท)

$b_t$  คือ ผลตอบแทนในปีที่ 1,2,3...n (บาท)

$c_t$  คือ ค่าใช้จ่ายในปีที่ 1,2,3...n (บาท)

$i$  คือ อัตราดอกเบี้ย (%)

$t$  คือ ปีของโครงการ คือปีที่ 1,2,3...n (ปี)

$n$  คือ อายุโครงการ (ปี)

### 2.5.3 อัตราผลตอบแทนในการลงทุน (Internal Rate of Return; IRR)

โดยที่  $B_t$  คือ ผลตอบแทนในปีที่  $t$ , (บาท)

$$IRR \text{ คือ ค่าอัตราส่วนลด}(r) \text{ ที่จะทำให้ } \sum_{t=1}^{n} \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} = 0 \quad (19)$$

$C_t$  คือ ค่าใช้จ่ายในปีที่  $t$ , (บาท)

$t$  คือ ปีของโครงการมีค่า 1,2,...,n, (ปี)

$r$  คือ อัตราส่วนลด, (%)

## 3. การทดสอบ

ในการออกแบบโปรแกรมนี้จะต้องเป็นโปรแกรมที่ใช้กันทั่วไปในทางวิศวกรรมซึ่งจะเป็นการสะดวกต่อผู้ที่จะนำไปใช้งานและต้องแก้ไขได้ง่ายสะดวกต่อการที่จะพัฒนาโปรแกรมต่อไปเมื่อตัวแปรของค่าคงที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งโปรแกรมที่ใช้คือ MATLAB ส่วนที่นำมาใช้ประกอบด้วยสามส่วนด้วยกันคือ Symbolic, Fields Object, Graphic User Interface โดยการคำนวณหาค่าการวิเคราะห์ที่มีอยู่

สามขั้นตอนคือ 1. การวิเคราะห์หาปริมาณการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศโดยใช้การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาค่าที่เหมาะสมและนำค่าที่ได้นั้นไปใช้ในการวิเคราะห์ 2. การวิเคราะห์หาค่าไฟฟ้าซึ่งขึ้นอยู่กับทางเลือกการคิดค่าไฟฟ้า 3. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ซึ่งผู้ใช้ต้องหาข้อมูลต่างๆมาป้อนลงในตัวโปรแกรมหลังจากนั้นจะได้ทำการคำนวณหาค่าตัวพารามิเตอร์ต่างๆ และแสดงให้เห็นในตัวแสดงผลซึ่งจะนำไปเลือกระบบที่เหมาะสมที่สุด

### 3.1 เงื่อนไขในการทดสอบ

ในการทดสอบทำตามเงื่อนไขในการทดสอบระบบปรับอากาศทั้งสามระบบที่มีเงื่อนไขเหมือนกันดังนี้

3.1.1 การคิดค่าไฟฟ้า คิดตามเงื่อนไขปริมาณการใช้ไฟฟ้า ให้คิด 22 วันต่อ 1 เดือน ทำงานวันละ 12 ชั่วโมง ทำงานตั้งแต่เวลา 08.00 ถึง 20.00 น. เว้นวันเสาร์วันอาทิตย์ ระบบทำงานเฉลี่ย 70 เปอร์เซ็นต์

3.1.2 สูตรปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติใช้ค่า 0.2612 บาทต่อหน่วย

3.1.3 การคิดอัตราดอกเบี้ย คิดดังนี้ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ระยะยาวลบด้วยอัตราเงินเฟ้อของประเทศ คือ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ระยะยาวเท่ากับ 13.5 เปอร์เซ็นต์และอัตราเงินเฟ้อของประเทศเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ อัตราดอกเบี้ยที่แท้จริงเท่ากับ 8.5 เปอร์เซ็นต์

3.1.4 อัตราภาษีมูลค่าเพิ่มปัจจุบันคิดที่ 7 เปอร์เซ็นต์

### 4. สรุปผลการทดสอบ

ในงานวิจัยนี้การหาระบบปรับอากาศที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) เพื่อใช้ติดตั้งในอาคารระบบที่จะนำมาทำการวิเคราะห์คือ ระบบปรับอากาศแบบระบบทำความเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller Air-

Conditioning System)

ในการทดสอบโปรแกรมนี้เรื่องที่สำคัญที่สุดเพื่อหาระบบที่เหมาะสมที่สุดคือการหาอัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return) เพื่อเลือกระบบปรับอากาศที่เหมาะสมในการติดตั้ง จากผลการคำนวณด้วยโปรแกรมปรากฏว่าระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนให้ผลตอบแทนมากที่สุดคือ 119.35 เปอร์เซ็นต์แต่มีอายุการใช้งานของระบบเพียง 7 ปีและมีระยะเวลาคืนทุนที่ 8.56 ปีซึ่งเห็นได้ว่าไม่คุ้มทุน ส่วนอีกสองระบบที่นำมาพิจารณาคือ ระบบปรับอากาศแบบระบบทำความเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ และ ระบบปรับอากาศแบบระบบทำความเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ ซึ่งระบบแรกให้ผลตอบแทนสูงกว่าซึ่งสอดคล้องกับมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิสูงสุดด้วย

การเลือกระบบปรับอากาศแบบระบบทำความเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศในงานวิจัยนี้เป็นระบบที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งเนื่องจากให้ผลตอบแทนสูงสุด แต่ด้านอัตราผลตอบแทนระหว่างระบบปรับอากาศแบบระบบทำความเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ และระบบปรับอากาศแบบระบบทำความเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ คือ 78.28 เปอร์เซ็นต์ และ คือ 77.08 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างกันน้อย ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ ระบบแรกมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่า แต่มีค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษาน้อยกว่าซึ่งมาจากอุปกรณ์ในการติดตั้งมีจำนวนน้อยกว่าและไม่ยุ่งยาก

### 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ กรมโยธาธิการและผังเมือง ที่ให้ความรู้และประสบการณ์จากงานระบบปรับอากาศและระบบงานเครื่องกลอื่นๆ



## เอกสารอ้างอิง

1. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. “**หลักสูตร แนวทางการปฏิบัติงานด้านการอนุรักษ์พลังงาน ในโรงงานควบคุมสำหรับเจ้าหน้าที่ประจำ,**” กรุงเทพฯ, บริษัท แอสดีคอน คอร์ปอเรชั่น ,2544.
2. สมชาย วงศ์วิเศษ. “**การออกแบบและการหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดทางความร้อน**” กรุงเทพฯ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี,2541.
3. Leland,T.Blank., and Anthony. J.Tarquin, “**Engineering Economics**” Singapore,McGraw-Hill Companies, 1998.
4. W.F.Stoecker. “**Design of Thermal System**” Malaysia, McGraw - Hill Companies, 1989. [4]