ว๙๗.๙๖
ว๓๒๑
๒ ๕

การคำนวณช่วยในการตัดสินใจเลือกระบบปรับอากาศที่เหมาะสมและประหยัดพลังงาน ในอาคาร

25 พ.ค. 2548

บทคัดย่อ

ของ

วิโรจน์ จินดารัตน์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
กุมภาพันธ์ 2548

วิโรจน์ จินดารัตน์ (2547). *การคำนวณช่วยในการตัดสินใจ เลือกระบบปรับอากาศ ที่เหมาะสมและประหยัดพลังงานในอาคาร.*
ปริญญานิพนธ์ วศ.ม.(วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. คณะกรรมการควบคุม: พันโท ผศ. ดร. อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง, ดร. พิชัย อัษฎมงคล

งานวิจัยนี้เป็นการเลือกระบบปรับอากาศที่เหมาะสมกับการใช้งานเพื่อช่วยในการออกแบบติดตั้ง ระบบที่นำมาพิจารณาประกอบด้วย 1. ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน(Split Type Air-Conditioning System) 2. ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ(Water Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) 3.ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller Air-Conditioning System)

ในการวิเคราะห์จะพิจารณาจากความประหยัดพลังงานไฟฟ้าควบคู่ไปกับความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ ความประหยัดพลังงานไฟฟ้าจะพิจารณาจากปริมาณการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดอ้างอิงตามมาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย 2545 โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับระบบปรับอากาศประเภทต่างๆ แล้วคำนวณหาระบบที่ให้ภาระการทำงานที่เหมาะสมที่สุด 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 ในขณะที่ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยกว่าแต่การบำรุงรักษายุ่งยากกว่า ในการเปรียบเทียบจึงแปลงความสิ้นเปลืองต่างๆ ให้อยู่ในรูปของมูลค่าเงิน

เพื่อสะดวกในการพิจารณา ซึ่งระบบปรับอากาศที่เหมาะสมที่สุดจะต้องคำนึงถึงอัตราผลตอบแทนสูงสุดในการลงทุน และระยะเวลาคุ้มทุน เป็นสำคัญ

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

AN ABSTRACT

BY

WIROJ JINDARAT

Presented in partial fulfillment of the requirements

for the Master of Engineering degree in Mechanical Engineering

at Srinakharinwirot University

February 2005

Wiroj Jindarat. (2004). *Calculation for Decision Making of Energy Saving and Optimizing of the Air-Conditioning System in Building* .Master thesis,M.Eng. (Mechanical Engineering).Bangkok: Graduate School, Srinakharinwirot University. Advisor Committee : Lt.Col.Asst.Prof. Dr.Anotai Suksangpanomrung, Dr. Pichai Asadamongkon

In this research, a software is developed for the optimizing the air-conditioning system designing and installation. Three systems are used for this study: which are Split type air-conditioning system , Water cooled water chilled air-conditioning system and Air cooled water chilled air-conditioning system.

Analyzing the optimum air conditioning system , are considered two significant factors, energy saving and economic worthiness. Energy saving is calculated from Electricity used consumption base on the E.I.T. Standard 2001-45. By creating the mathematical model of the system, optimum cooling load. Economic worthiness is calculated from electricity charge of the air-conditioning system. Calculation of electricity charge are divided into three category Usual rate , TOD: Time of day rate and TOU: Time of use rate. The difficult of the three category are depended on period of air-conditioning system running time. Economic worthiness calculation used three parameter which are installation expense, maintenance expense and operating expense furthermore three economic criteria are joined to consider , Payback period , Net present value and Internal rate of return.

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

การคำนวณช่วยในการตัดสินใจ เลือกระบบปรับอากาศ ที่เหมาะสมและประหยัดพลังงานในอาคาร

ปริญญานิพนธ์

ของ

วิโรจน์ จินดารัตน์

เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
กุมภาพันธ์ 2548

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การคำนวณช่วยในการตัดสินใจเลือกระบบปรับอากาศ
ที่เหมาะสมและประหยัดพลังงาน ในอาคาร

ของ

นาย วิโรจน์ จินดารัตน์

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญสิริ จีระเดชากุล)

วันที่ ...7.... เดือน กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2548

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

..... ประธาน

(พันโท ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. พิชัย อัษฎมงคล)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(พันเอก อาจารย์ สุภโชค สัมปัตตะวนิช.)

.....กรรมการที่แต่งตั้งเพิ่มเติม

(อาจารย์ ดร. ศิริพรรณ ธงชัย)

ประกาศคุณูปการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความกรุณาของ พันโท ผศ. ดร. อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง ประธานกรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ และ ดร. พิชัย อัษฎมงคล กรรมการควบคุมการทำปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ ให้แนวคิดในการวิเคราะห์ และช่วยแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น ตลอดจนช่วยกรุณาตรวจแก้ปริญญานิพนธ์จนสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วิชิต บัวแก้ว คุณสมมาส แก้วล้วน ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะขั้นตอนวิธีการทำปริญญานิพนธ์ และให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท เทรน ประเทศไทย จำกัด ที่ให้ข้อมูลสำคัญของระบบปรับอากาศที่ใช้เป็นข้อมูลในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณเพื่อนร่วมชั้น โครงการความร่วมมือหลักสูตรปริญญาโท มศว. และ รร. จปร.สาขาวิศวกรรมเครื่องกล รุ่น 1 ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ

วิโรจน์ จินดารัตน์

สารบัญ

บทที่ หน้า

1 บทนำ....1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา....1

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย....1

ขอบเขตของโครงการวิจัย....2

วิธีดำเนินการวิจัย....2

แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย....3

งบประมาณของโครงการวิจัย....3

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ....4

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทปริทัศน์วรรณกรรม....5

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง....8

การจำแนกประเภทและอุปกรณ์หลักของระบบปรับอากาศ....14

การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศและอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ....17

การบำรุงรักษาเพื่อป้องกัน (Preventive Maintenance)และการเสื่อมสภาพการใช้งา19

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาตำแหน่งการทำงานที่เหมาะสม

(Mathematical Representation of Optimization Problems) 23

3 วิธีดำเนินการวิจัย

การจำลองระบบ (System Simulation).... 25

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบปรับอากาศ 26

การคำนวณการคิดอัตราค่าไฟฟ้า 33

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์.... 38

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

4 การออกแบบและวิธีใช้โปรแกรม

การออกแบบโปรแกรม..... 42

โครงสร้างของโปรแกรม..... 44

วิธีใช้โปรแกรม..... 44

ตัวอย่างการใช้โปรแกรม..... 55

5. การทดสอบโปรแกรมและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ประเภทของระบบที่จะนำมาทดสอบ..... 66

รายละเอียดที่ใช้ในการทดสอบหาการใช้ปริมาณไฟฟ้าของระบบ.....67

ประเภทของปัญหาที่จะนำมาทำการทดสอบ.....71

สรุปผลการทดสอบ 90

6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ

สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ.....92

ข้อแนะนำสำหรับงานวิจัยต่อไป.....93

บรรณานุกรม.....94

ภาคผนวก..... 97

ประวัติย่อผู้วิจัย.....124

บัญชีตาราง

ตาราง หน้า

1.5 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย....3

1.6 งบประมาณของโครงการวิจัย....3

2.1 แสดงขนาดตันความเย็น (12,000 Btu/hr) ของเครื่องทำน้ำเย็นที่ขึ้นอยู่กับชนิดของคอมเพรสเซอร์แบบต่างๆ....16

2.2 แสดงภาระของเครื่องปรับอากาศและอุปกรณ์เครื่องปรับอากาศแต่ละชนิด....18

2.3 แสดงภาระของอุปกรณ์เครื่องปรับอากาศ....19

3.1 แสดงอัตราค่าไฟฟ้าอัตราปกติรายเดือนสำหรับกิจการขนาดกลาง....34

3.2 แสดงอัตราค่าไฟฟ้าอัตราปกติรายเดือนสำหรับกิจการเฉพาะอย่าง....34

3.3 แสดงอัตราค่าไฟฟ้า TOD Rate....35

3.4 แสดงอัตราค่าไฟฟ้า TOU Rate....37

4.1 แสดงค่าตัวแปรต่างๆของการหาระยะเวลาคืนทุน....62

4.2 แสดงค่าตัวแปรต่างๆของการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนการลงทุน....64

5.1 แสดง Split Type Air-Conditioning System Performance & Specification....67

5.2 แสดง Chiller Performance & Specification....68

5.3 แสดง Chilled Water Pump Performance & Specification....69

5.4 แสดง Fan Coil Unit & Air Handling Unit Performance & Specification....69

5.5 แสดง Chiller Performance & Specification....70

5.6 แสดง Cooling Tower Performance & Specification....70

5.7 แสดง Condenser Water Pump Performance & Specification....71

5.8 แสดง Fan Coil Unit & Air Handling Unit Performance & Specification....71

5.9 แสดงค่าตัวแปรต่างๆของการหาระยะเวลาคืนทุน....75

5.10 แสดงค่าตัวแปรต่างๆของการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนการลงทุน....76

5.11 แสดงค่าตัวแปรต่างๆของการหาระยะเวลาคืนทุน....80

5.12 แสดงค่าตัวแปรต่างๆของการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนการลงทุน....82

5.13 แสดงค่าตัวแปรต่างๆของการหาระยะเวลาคืนทุน....87

5.14 แสดงค่าตัวแปรต่างๆของการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนการลงทุน....89

บัญชีตาราง(ต่อ)

ตาราง หน้า

7.1 แสดงค่าตัวแปรต่างๆของการหาระยะเวลาคืนทุน 105

7.2 แสดงค่าตัวแปรต่างๆของการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนการลงทุน.....106

7.3 แสดงค่าตัวแปรต่างๆของการหาระยะเวลาคืนทุน 108

7.4 แสดงค่าตัวแปรต่างๆของการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนการลงทุน.....110

7.5 แสดงค่าตัวแปรต่างๆของการหาระยะเวลาคืนทุน 112

7.6 แสดงค่าตัวแปรต่างๆของการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนการลงทุน.....114

7.7 แสดงค่าจำนวนเงินในการบำรุงรักษา Condenser ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane.....116

7.8 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น CV.....116

7.9 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น CVG.....117

7.10 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น CVGE 117

7.11 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น CVGF 117

7.12 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น RTHB.....118

7.13 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น RTHB.....118

7.14 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น RTHB.....119

7.15 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น RTHAA.....119

7.16 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น RTHAA.....120

7.17 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น RTHAA.....120

7.18 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น RTWAA.....121

7.19 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น RTHC 121

7.20 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น RTHC 122

7.21 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น RTHC 122

7.22 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น RTHC 123

บัญชีภาพประกอบ

ภาพประกอบ หน้า

2.1 วัฏจักรทำความเย็นโดยระบบกดดันไอ.....10

2.2 แผนภูมิมอลเลียร์..... 11

3.1 แสดงระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน 27

3.2 แสดงการจำลองระบบและแผนภาพสายงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน 27

3.3 แสดงระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ 28

3.4 แสดงการจำลองระบบและแผนภาพสายงานของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็น ส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ 29

3.5 แสดงระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ 30

3.6 แสดงการจำลองระบบและแผนภาพสายงานของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็น ส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ 31

4.1 แสดงโฟลชาร์ท (Flowchart) ของโปรแกรม 43

4.2 แสดงหน้าต่างที่ 1 ของ Selection Air-Conditioning System Software.....45

4.3 แสดงหน้าต่างที่ 2 ของ Split Type Air-Conditioning System.....46

4.4 แสดงหน้าต่างที่ 3 ของ Air Cooled Water Chiller Air-Conditioning System.....47

4.5 แสดงหน้าต่างที่ 4 ของ Water Cooled Water Chiller Air-Conditioning System.....48

4.6 แสดงหน้าต่างที่ 5 ของ Usual Rate.....49

4.7 แสดงหน้าต่างที่ 6 ของ Time of Day Rate 50

4.8 แสดงหน้าต่างที่ 7 ของ Time of Use Rate 51

4.9 แสดงหน้าต่างที่ 8 ของ Payback Period 52

4.10 แสดงหน้าต่างที่ 9 ของ Net Present Value 53

4.11 แสดงหน้าต่างที่ 10 ของ Internal Rate of Return 54

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันเครื่องปรับอากาศเป็นสิ่งจำเป็นและมีความสำคัญมากขึ้น ระบบปรับอากาศที่มีใช้งานกันอยู่ก็มีหลายระบบแล้วแต่ความเหมาะสมกับการใช้งานในรูปแบบต่างๆ การเลือกใช้ระบบปรับอากาศในครั้งแรกของการติดตั้งเพื่อใช้งานนั้น จะมีปัญหาในการตัดสินใจที่จะเลือกระบบเมื่อเลือกไปแล้วไม่สามารถแก้ไขระบบได้ดังนั้นเพื่อประโยชน์สูงสุดในการติดตั้งจึงต้องเลือกระบบที่เหมาะสมที่สุด

ในการเลือกระบบปรับอากาศที่จะนำไปใช้งานในอาคารซึ่งเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาระบบที่เหมาะสมที่สุดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่นการใช้งานของอาคาร หรือ การใช้งานของห้อง การกระจายตัวของอากาศ เพราะระบบปรับอากาศแต่ละระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีค่าไม่เท่ากัน เช่นระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air-Conditioning System) จะใช้กำลังไฟฟ้าโดยประมาณ 1-1.5 kW/tons ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) ใช้กำลังไฟฟ้า 0.48-0.75 kW/tons ซึ่งการเลือกใช้ระบบที่มีประสิทธิภาพการใช้งานที่เหมาะสมจะทำให้ประหยัดพลังงาน จากปัญหาดังกล่าวการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแต่ละระบบนี้ จึงต้องทำการเลือกรูปแบบที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายมากที่สุดสามระบบคือ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air-Conditioning System)ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) และระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ(Water Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) ได้ทำการออกแบบและจำลองระบบขึ้นมาเพื่อทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆที่เหมาะสม เช่น ปริมาณการใช้ไฟฟ้า ค่าบำรุงรักษา ค่าดำเนินการ ในรูปของการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ คือ ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) มูลค่าปัจจุบันสุทธิ(Net Present Value) อัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return) และค่าที่ได้ทั้งสามค่าต้องสอดคล้องกันดังนี้คือ ให้อัตราผลตอบแทนสูงสุด ได้ระยะเวลาคืนทุนเร็วขณะเดียวกันต้องมีมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวก จึงจะเป็นระบบปรับอากาศที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในการติดตั้งและใช้งานต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 ศึกษาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ เพื่อประยุกต์หาค่าพลังงานที่เหมาะสมของระบบปรับอากาศในอาคาร

1.2.2 เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณหาค่าที่เหมาะสม ของพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศของอาคาร

1.2.3 ทำการวิเคราะห์ด้านการประหยัด พลังงาน ต้นทุน และการบำรุงรักษาของระบบปรับอากาศ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ทำการเขียนโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม MATLAB จากข้อมูล และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกระบบปรับอากาศที่เหมาะสมที่สุดที่จะใช้ในอาคารซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้งานของอาคารและอาศัยข้อมูลเหล่านี้

1.3.1 ขนาดของอาคารที่ใช้ทดสอบเป็นอาคารขนาดเล็กถึงอาคารขนาดใหญ่

1.3.2 ชนิดของเครื่องปรับอากาศและการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศแต่ละระบบ ระหว่าง เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนกับระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลาง

1.3.3 เขียนโปรแกรมด้วย MATLABและนำค่าตัวแปรต่างๆ ที่จะนำมาคำนวณโดยสร้างส่วนรอรับข้อมูล(Graphic user interface) ไว้เพื่อสะดวกและง่ายต่อผู้ใช้งาน

1.4 วิธีดำเนินการวิจัยโดยย่อ

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีด้านเครื่องปรับอากาศ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1.4.2 ทำการศึกษาโดยละเอียดในการเขียนโปรแกรม

1.4.3 ทำการเขียนโปรแกรม

1.4.4 ทำการทดลองโปรแกรม และเก็บข้อมูล

1.4.5 ทำการแก้ไขข้อบกพร่องของโปรแกรม และทำการทดลองซ้ำ

1.4.6 ทำการประเมินผลการวิจัยจากโปรแกรม

1.4.7 สรุปผลการวิจัย และทำรายงานการวิจัย

1.5 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย (ให้ระบุขั้นตอนโดยละเอียด)

ลำดับ	รายการ	เดือน (พ.ศ. 2546-2547)											
		พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.
1.	ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	●	●	●	●								
2.	ทำศึกษาการเขียนโปรแกรม			●	●	●	●						
3.	ทำการเขียนโปรแกรม					●	●	●	●				
4.	ทำการทดลองโปรแกรม และเก็บข้อมูล									●	●		
5.	ทำการแก้ไขข้อบกพร่องโปรแกรม									●	●		
6.	ทำการประเมินผล											●	●
7.	สรุปผลการวิจัย และทำรายงานการวิจัย											●	●

1.6 งบประมาณของโครงการวิจัย

ลำดับ	รายการ	จำนวนเงิน (บาท)
1.	ค่าเอกสาร	3,000.00
2.	ค่าวัสดุและอุปกรณ์	3,000.00
3.	ค่าเครื่องคอมพิวเตอร์	35,000.00
4.	ค่าเดินทาง	2,000.00
5.	ค่าทำรายงาน	4,000.00
	รวมค่าใช้จ่าย	47,000.00

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ได้โปรแกรมที่ช่วยในการตัดสินใจเบื้องต้นในการออกแบบระบบปรับอากาศที่เหมาะสมสำหรับอาคารขนาดเล็กถึงอาคารขนาดใหญ่

1.7.2 เป็นองค์ความรู้ใหม่ที่ใช้ในการคัดเลือกการออกแบบระบบปรับอากาศที่ใช้ในอาคาร

1.7.3 ได้ระบบปรับอากาศที่เหมาะสมและประหยัดพลังงานที่จะใช้ในการติดตั้งในอาคาร

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทปริทัศน์วรรณกรรม (Literature Review)

บุญยฤทธิ์ เผือกผ่องสุริยะ[10] ได้ศึกษาเรื่อง "การพัฒนาหาค่า Cooling Load Temperature Difference (CLTD) และค่า Solar Cooling Load (SCL) สำหรับคำนวณภาระการทำความเย็นของอาคารสำนักงานในกรุงเทพมหานคร" และมีกรอบอาคารที่สร้างจากวัสดุที่นิยมใช้ในประเทศไทย พร้อมทั้งจัดทำข้อมูลภูมิอากาศสำหรับการออกแบบของกรุงเทพมหานครโดยได้จัดทำไว้สองแบบคือ ข้อมูลภูมิอากาศออกแบบที่คัดเลือกโดยวิธีการพิจารณาจากค่าอุณหภูมิออกแบบกระเปาะแห้งที่มีค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ 0.4% และข้อมูลภูมิอากาศออกแบบที่คัดเลือกไว้โดยวิธีการพิจารณาจากค่ารังสีรวมแสงอาทิตย์ที่มีค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ 0.4% จากนั้นจึงได้ทำการคัดเลือกชุดข้อมูลภูมิอากาศที่ได้ป้อนข้อมูลเข้าในโปรแกรมเพื่อคำนวณภาระการทำความเย็นของบริเวณที่สนใจ แล้วนำผลมาเปรียบเทียบกัน ผลการคัดเลือกจะใช้ชุดข้อมูลภูมิอากาศแบบที่ใช้คัดเลือกโดยใช้วิธีการหาค่าอุณหภูมิออกแบบกระเปาะแห้งที่มีค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ 0.4% และค่าเฉลี่ยของข้อมูลภูมิอากาศอื่นๆที่สอดคล้องเป็นชุดข้อมูลที่ใช้ จากนั้นจึงได้กำหนดอาคารจำเพาะที่จะศึกษาขึ้นมา โดยลักษณะของห้องแต่ละห้องภายในอาคารนั้นจะเกิดขึ้นในการรวมกันของตัวแปรที่แตกต่างกันไปเจ็ดตัว คือตำแหน่งที่ตั้งของห้อง วัสดุปูพื้น โครงสร้างผนังภายใน ปริมาณอุปกรณ์บังแดดภายใน โครงสร้างพื้นห้อง เฟอร์นิเจอร์ และลักษณะฝ้าเพดาน ทำให้มีห้องที่มีลักษณะแตกต่างกันออกไปตามตัวแปรเหล่านี้จำนวน 192 ห้องและทำการหาค่า Solar Weighting Factors และค่า Conduction Weighting Factors ของห้องแต่ละห้องด้วยโปรแกรม จากนั้นนำค่าที่ได้ไปหาค่าแอมพลิจูดและค่าการหน่วงเวลาโดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาซึ่งค่าแอมพลิจูดและค่าการหน่วงเวลานี้เป็นค่าที่บอกถึงการตอบสนองเชิงพลังงานความร้อน

วรชาติ จิรัฐติเจริญ [18] ได้ศึกษาเรื่อง "การจำลองระบบทำความเย็นสำหรับระบบทำความเย็นส่วนกลางแบบมหภาค" ซึ่งเป็นการบริหารการจัดการการใช้พลังงานในการทำความเย็นให้มีประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อการปรับอากาศภายในอาคารหรือหมู่อาคารในบริเวณใกล้เคียงกันที่มีพื้นที่การปรับอากาศขนาดใหญ่มากๆ โดยทำการรวมระบบทำความเย็นทั้งหมดเข้าไว้ในโรงจ่ายพลังงานที่เดียวกันเสนอแนวคิดจำลองระบบการทำความเย็นส่วนกลางแบบมหภาคโดยจำลองอุปกรณ์ในระบบการทำความเย็นในรูปแบบจำลองกล่องดำทั้งนี้ข้อมูลทางด้านสมรรถนะการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นเครื่องสูบน้ำและหอผึ่งน้ำโมเดลต่างๆ ณ สภาวะการทำงานที่หลากหลายได้รวมไว้ในแบบจำลอง

เพื่อการวิเคราะห์ โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำการวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของอุปกรณ์และภาระการทำความเย็นหลายรูปแบบ ทั้งนี้ภาระการทำความเย็นได้ถูกแยกแยะโดยอาศัยตัวประกอบภาระ (Load Factor) ผลจากการศึกษาสามารถแสดงให้เห็นรูปแบบอุปกรณ์ในระบบปรับอากาศที่เหมาะสมที่สุด

บรรพต ประภาศิริ [12] ได้ศึกษาเรื่อง "การประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศโดยการใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิและการบำรุงรักษาเบื้องต้น" ใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิที่มีความละเอียดสูงมีวัตถุประสงค์หลักคือเปรียบเทียบการประหยัดพลังงานของเครื่องปรับอากาศที่มีการบำรุงรักษาและไม่มีการบำรุงรักษา เปรียบเทียบการประหยัดพลังงานโดยการใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิที่มีความละเอียดสูงกับตัวควบคุมอุณหภูมิแบบ Bimetal ทำการตรวจวัดจัดเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 6 เดือน ใช้เครื่องปรับอากาศสภาพใหม่เหมือนกันขนาดเครื่อง 12,500 Btu/hr อายุการใช้งาน 3 ปี 4 ปี 5 ปี 10 ปี จำนวน 10 เครื่อง ขนาดการทำความเย็น 38,100 Btu/hr 10,860 Btu/hr และ 33,400 Btu/hr เป็นเครื่องทดสอบในส่วนของตัวควบคุมอุณหภูมิที่มีความละเอียดสูงตรวจวัดก่อนและหลังการติดตั้งและนำข้อมูลตรวจวัดมาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบการประหยัดพลังงาน พบว่าการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศสามารถประหยัดพลังงานปีละเท่ากับ 13.6 kWh.หรือ 14.59% คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดปีละ 336 บาท สำหรับเครื่องปรับอากาศที่มีอายุการใช้งาน 3 ปี 4 ปี 5 ปีหลังจากการบำรุงรักษาสามารถประหยัดพลังงานปีละเท่ากับ 462.4 kWh. 182.4 kWh. และ 529.6 kWh. หรือ 13.25% 16.05% และ16.11% ในส่วนของการติดตั้งตัวควบคุมอุณหภูมิที่มีความละเอียดสูงสามารถประหยัดพลังงานได้ปีละ 750 kWh.หรือ 26% คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้ปีละ 1,770 บาท และการบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศทำให้อายุการใช้งานยืนยาว

เทพฤทธิ์ ทองชุบ [7] ได้ศึกษาเรื่อง "การคำนวณภาระการทำความเย็นและการเลือกขนาดเครื่องทำความเย็นที่เหมาะสม" เป็นการเขียนโปรแกรมหาภาระการทำความเย็นและเลือกขนาดให้เหมาะสมและประหยัดพลังงานไฟฟ้า วัตถุประสงค์หลักเพื่อคำนวณค่าของภาระการทำความเย็นที่แท้จริงโดยคำนวณในทุกชั่วโมงในรอบปี และนำมาเลือกขนาดของระบบปรับอากาศเพื่อที่จะสามารถรู้ลักษณะภาระการทำความเย็นของอาคารแต่ละอาคารซึ่งขึ้นอยู่กับส่วนประกอบของอาคารการทราบเวลาที่ภาระการทำความเย็นของอาคารมีค่าสูงสุดและการลดภาระการทำความเย็นที่เวลาดังกล่าวได้จะทำให้สามารถลดขนาดเครื่องปรับอากาศลงได้ ในการควบคุมการทำงานและการเปลี่ยนแปลงขนาดของเครื่องปรับอากาศจะขึ้นอยู่กับภาระการทำความเย็นของแต่ละอาคารซึ่งจะมีความแตกต่างกัน การคิดค่าใช้จ่ายทั้งหมดของระบบปรับอากาศจะคิดเฉพาะค่าเครื่องปรับอากาศกับค่าไฟฟ้าเท่านั้น ส่วนค่าใช้จ่ายอื่นไม่นำมาคิด เช่น ค่าบำรุงรักษาและซ่อมแซมเป็นค่าที่แปรผันได้ยากต่อการประมาณการ

กูสกานา กูบาฮา [4] ได้ศึกษาเรื่อง "การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบเก็บความเย็นสำหรับการปรับอากาศในโรงแรม" ใช้กับใช้กับโรงแรมขนาด 380 ห้องเป็นการศึกษาเฉพาะการกักเก็บความเย็นในรูปน้ำเย็นและน้ำแข็ง แบบ Full Storage และ Demand Limited Storage ถึงการใช้พลังงานไฟฟ้า พบว่าสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบปรับอากาศเท่ากับ 49.4% ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของอาคาร สมรรถนะของเครื่องทำความเย็นเฉลี่ยเท่ากับ 3.37 การใช้พลังงานไฟฟ้าต่อตันการทำงานของระบบทำความเย็นเท่ากับ 1.57 kW/tons ภายหลังการใช้ระบบเก็บความเย็นแล้วจะสามารถลดความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดของอาคาร 4% แนวทางการประหยัดพลังงานรูปแบบนี้มีการทำงานที่ไม่ยุ่งยากคือมีการผลิตน้ำแข็งหรือน้ำเย็นและเก็บไว้ในเวลากลางคืนหรือในช่วงเวลาที่ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำ เพื่อนำมาใช้สำหรับการทำความเย็นหรือการปรับอากาศให้แก่อาคารในเวลากลางวันหรือช่วงที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูง เป็นระบบที่ปรับภาระการทำงานของระบบปรับอากาศให้คงที่และสม่ำเสมอ โดยน้ำแข็งหรือน้ำเย็นเปรียบเสมือนแบตเตอรี่เก็บพลังงานในการทำความเย็นเอาไว้ในขณะที่ภาระการทำความเย็นของอาคารต่ำและจ่ายพลังงานนั้นกลับคืนสำหรับการทำความเย็นในขณะที่ภาระการทำความเย็นของอาคารมีค่าสูงเป็นวิธีการจัดการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ

ชุติมา กิจสุวรรณวงศ์ [6] ได้ศึกษาเรื่อง "การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ระบบเก็บความเย็นในรูปน้ำแข็งสำหรับการปรับอากาศในอาคารสำนักงาน" ซึ่งจะได้ทราบถึงการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศแบบดังกล่าวซึ่งพบว่าจากการใช้พลังงานในส่วนของข้อมูลที่จะได้นำมาออกแบบระบบเก็บความเย็นในรูปของน้ำแข็ง จะสามารถลดความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดของอาคาร 36% แต่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมเพิ่มขึ้น เนื่องจากระบบเก็บความเย็นในรูปของน้ำแข็งสัมประสิทธิ์สมรรถนะเครื่องทำความเย็นจะลดลง ซึ่งวิธีนี้เป็นการจัดการ การใช้พลังงานในอาคาร โดยการผลิตน้ำแข็งและน้ำเย็นในเวลากลางคืนการต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำเพื่อนำมาใช้สำหรับการทำความเย็นหรือปรับอากาศให้แก่อาคารในเวลากลางวันซึ่งเป็นช่วงที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูง เป็นระบบที่มีการทำงานของระบบปรับอากาศที่คงที่และสม่ำเสมอโดยที่น้ำแข็งเปรียบเสมือนแบตเตอรี่เก็บพลังงานในการทำความเย็นในขณะที่ภาระการทำความเย็นต่ำและจ่ายพลังงานนั้นกลับคืนสำหรับการทำความเย็นของอาคารในขณะที่ภาระการทำความเย็นของอาคารมีค่าสูง วิธีนี้เป็นการจัดการ การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและก่อให้เกิดการประหยัดค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบ

นิตยา ศรีสัตยวงศา [9] ได้ศึกษาเรื่อง "การวิเคราะห์การใช้พลังงานและการจำลองแบบของระบบปรับอากาศในโรงแรมขนาดใหญ่" เป็นการศึกษาการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศของการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยติดตั้งเครื่องมือเพิ่มเติมในบางจุดและนำข้อมูลมาวิเคราะห์การใช้พลังงานต่อปี นอกจากนั้นยังได้ทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ คือ คอมเพรสเซอร์เป็น

ตัวแปรที่มีผลต่อค่าสมรรถนะการทำงานมากที่สุดคืออัตราการไหลของสารทำความเย็นที่เข้าคอมเพรสเซอร์ส่วนในคอนเดนเซอร์และอีวาโปเรเตอร์อัตราการไหลของน้ำ เป็นตัวแปรที่ทำให้ค่าประสิทธิผลเปลี่ยนแปลงไปมากที่สุด สำหรับแบบจำลองระบบ แสดงให้เห็นว่ากำลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับระบบในการเดินเครื่องทำความเย็นมีค่ามากกว่าที่ได้ออกแบบไว้และสมรรถนะการทำงานต่ำกว่าที่ออกแบบไว้ ในส่วนนี้สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ถ้าหากมีการเลือกติดตั้งขนาดเครื่องทำความเย็นให้เหมาะสมกับภาระที่ต้องการ

พูลลาภ มณีนิล [15] ได้ศึกษาเรื่อง "โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อการวิเคราะห์ภาระความเย็นสำหรับอาคารในประเทศไทย" เป็นการวิเคราะห์ภาระความเย็นสูงสุดและคำนวณภาระความเย็นที่แปรเปลี่ยนไปในช่วงเวลาต่างๆของแต่ละวัน และผลที่ได้จากการการคำนวณที่ใช้ข้อมูลของภูมิอากาศในกรุงเทพและเชียงใหม่ที่นำมาวิเคราะห์ภาระการทำความเย็นซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของ ASHRAE ซึ่งสามารถคำนวณได้ทั้งหน่วยอังกฤษและหน่วยเมตริกคำนวณภาระการทำความเย็น 24 ชั่วโมง ข้อมูลบางส่วนของวัสดุไม่มีใน ASHRAE ทางโปรแกรมได้จัดเมนูไว้ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใส่ข้อมูลได้เอง ในส่วนของการคำนวณภาคการวิเคราะห์ภาระการทำความเย็นสามารถแสดงให้เห็นในรูป Bar Graph ซึ่งสามารถจะนำไปวิเคราะห์เพื่อเลือกใช้เครื่องปรับอากาศและปรับภาระของเครื่องได้ตามภาระการทำความเย็นเพื่อประหยัดพลังงาน

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในระบบการทำความเย็นและระบบปรับอากาศเป็นระบบพื้นฐานอย่างเดียวกันโดยใช้วัฏจักรที่อยู่ในรูปของแผนภูมิมอลเลียร์หรือแผนภูมิ P-h ซึ่งแต่ละช่วงของแผนภูมิแทนอุปกรณ์ต่างๆและทำการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของสารทำความเย็น

2.2.1 วัฏจักรการทำความเย็นโดยระบบกดอัดไอ (Vapour Compression Refrigeration System)

2.2.1.1 การระเหย (Evaporation)

เมื่อเครื่องปรับอากาศทำงานสารทำความเย็นเหลวจากคอนเดนเซอร์จะลดความดันลงเมื่อไหลผ่านวาล์วขยายตัวและเข้าไปในท่ออีวาโปเรเตอร์ สารทำความเย็นเหลวจะระเหยเมื่อไหลไปตามท่อและดูดความร้อนจากอากาศที่อยู่รอบๆท่อ (อากาศที่หมุนเวียนภายในห้อง) เมื่ออากาศเย็นลงจนถึงหรือต่ำกว่าจุดน้ำค้าง (Dew Point) ไอน้ำในอากาศก็จะควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะบนผิวท่อของอีวาโปเรเตอร์หยดน้ำเหล่านี้จะหยดลงในถาดน้ำทิ้งและถูกระบายออกไปนอกห้อง สารทำความเย็นเหลวจะค่อยๆ ระเหยเพิ่มความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอใน ขณะที่ไหลผ่านตามขดท่อขณะที่สาร

ทำความเย็นเหลวระเหย จะมีสารทำความเย็นทั้งที่เป็นของเหลวและที่เป็นไอ ในสภาวะเช่นนี้ความดันระเหยและอุณหภูมิระเหยจะมีค่าคงที่ ดังนั้นอุณหภูมิระเหยจึงหาได้จากการวัดความดันในท่อของอีวาโปเรเตอร์ ไอสารทำความเย็นในขดท่อปลายสุดของอีวาโปเรเตอร์จะถูกดูดเข้าไปในเครื่องอัด

2.2.1.2 การอัด (Compression)

เครื่องอัดจะดูดเอาสารทำความเย็นในอีวาโปเรเตอร์เข้าไปในกระบอกสูบเพื่อให้ความดันในอีวาโปเรเตอร์ต่ำอยู่เสมอและให้อุณหภูมิระเหยของสารทำความเย็นต่ำ ขณะเดียวกันเครื่องอัดจะอัดไอสารทำความเย็นให้อยู่ในสภาวะที่จะทำให้เป็นของเหลวได้ง่ายโดยอัดให้มีความดันสูงทั้งนี้เพื่อจะแปลงไอสารทำความเย็นให้กลายเป็นสารทำความเย็นเหลวอีกครั้งหนึ่ง พลังงานที่ต้องใช้ในการอัดมาจากมอเตอร์ที่ใช้ขับเครื่องอัดและพลังงานดังกล่าวได้ให้กับสารทำความเย็นที่ถูกอัด ปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลวนในวัฏจักรการทำความเย็นขึ้นอยู่กับปริมาณของสารทำความเย็นที่ถูกอัดเข้าไปในเครื่องอัด

2.2.1.3 การควบแน่น (Condensation)

ไอสารทำความเย็นที่มีความดันสูงและอุณหภูมิสูงในเครื่องอัดจะเปลี่ยนเป็นสารทำความเย็นเหลวได้โดยการทำให้เย็นลง โดยใช้อากาศที่อุณหภูมิปกติหรืออีกนัยหนึ่งก็คือไอสารทำความเย็นระบายความร้อนแฝงของการควบแน่นให้กับอากาศในคอนเดนเซอร์อากาศที่ผ่านคอนเดนเซอร์จะได้รับความร้อนของการควบแน่นและจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ในขณะที่สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะจากไอเป็นของเหลวสารทำความเย็นจะอยู่ในสภาวะไอและของเหลวความดันควบแน่นและอุณหภูมิควบแน่นจะคงที่ ดังนั้นอุณหภูมิควบแน่นอาจหาจากการวัดความดันควบแน่น ความร้อนที่ระบายออกจากคอนเดนเซอร์จะเท่ากับผลบวกของความร้อนที่อีวาโปเรเตอร์ดูดจากอากาศ (ความสามารถในการทำความเย็น) และความร้อนจากงานที่ทำ (เปลี่ยนเป็นความร้อน) โดยมอเตอร์ในการขับเครื่องอัดโดยทั่วไปในอากาศมีค่าประมาณ 1.2 เท่าของความสามารถในการทำความเย็น

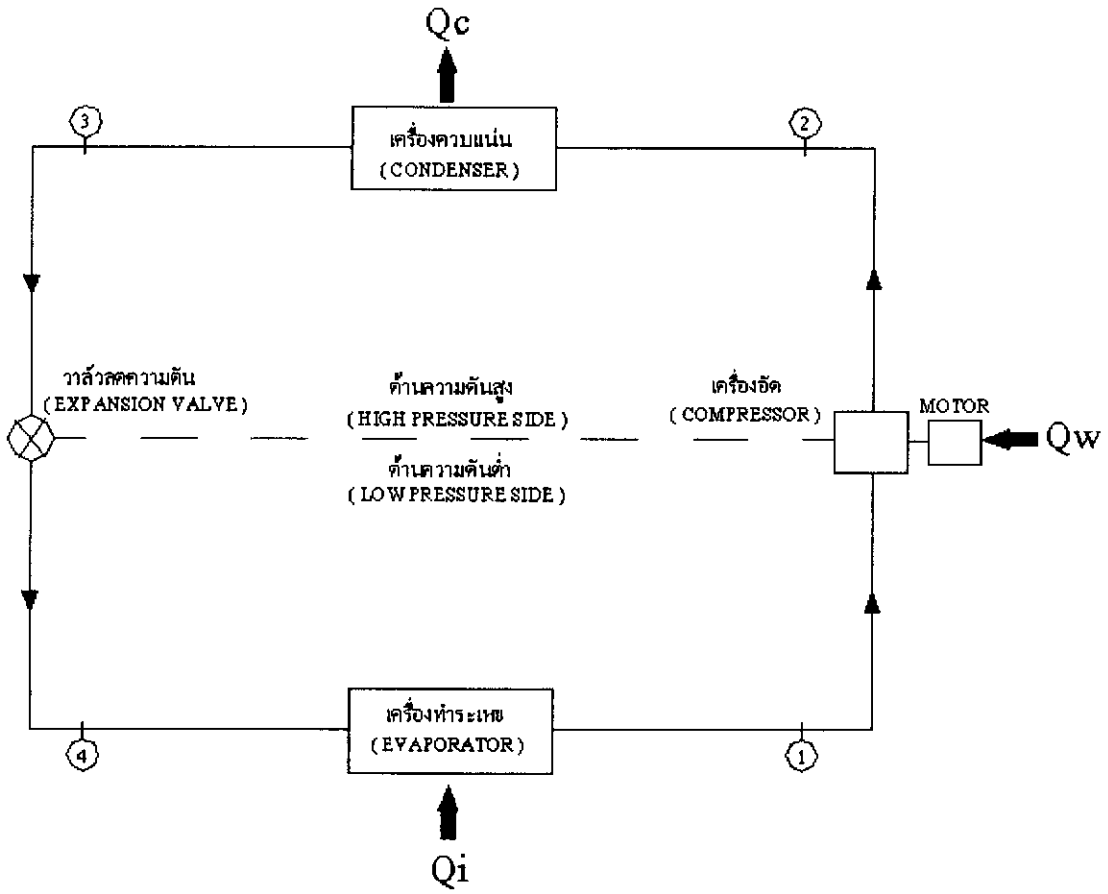
เมื่อไอสารทำความเย็นกลายเป็นของเหลวในคอนเดนเซอร์แล้วจะไหลผ่านวาล์วขยายตัว สภาวะเช่นนี้ สารทำความเย็นเหลวมักจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิของสารทำความเย็นอิ่มตัวซึ่งเรียกว่า อุณหภูมิเย็นเยือก (Degree of Sub-Cooling) ในทางปฏิบัติ นิยมทำให้สารทำความเย็นที่เข้าทางวาล์วขยายตัวที่มีอุณหภูมิ 1-2 องศาเซลเซียส

2.2.1.4 การขยายตัว (Expansion)

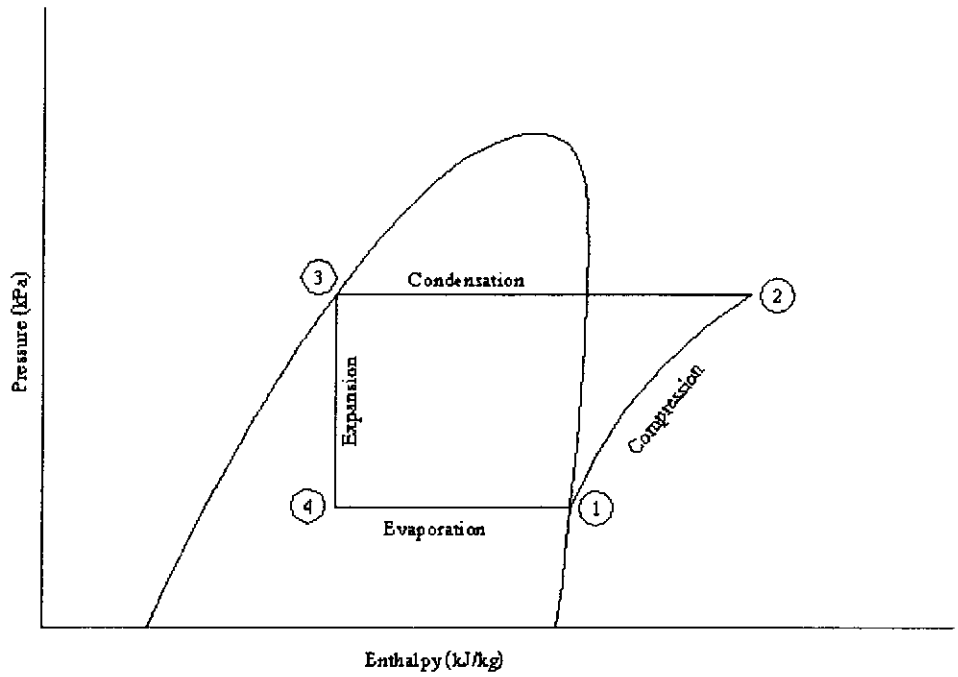
อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับลดความดันของสารทำความเย็นเหลวที่มีความดันสูงในคอนเดนเซอร์ให้มีความดันต่ำตามต้องการในเครื่องปรับอากาศขนาดเล็กคือวาล์วขยายตัวซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในและความยาวที่จะทำให้ความแตกต่างของความดันระหว่างความดันควบแน่นและความดันระเหยได้ตามที่ต้องการ และให้ปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลตามที่ต้องการ

เมื่อสารทำความเย็นเหลวจากคอนเดนเซอร์ไหลผ่านวาล์วขยายตัว ความดันจะลดลงและสารทำความเย็นจะขยายตัวแบบกระบวนการ Throttling สารทำความเย็นเหลวที่มีความดันต่ำดังกล่าว จะไหลเข้าไปในอีวาโปเรเตอร์ดูดเอาความร้อนจากอากาศรอบๆแล้วระเหยกลายเป็นไอจนมีอุณหภูมิสูงกว่าจุดอิ่มตัวหรืออุณหภูมิร้อนยิ่งยวด วัฏจักรดังกล่าวข้างต้นจะดำเนินเช่นนี้ซ้ำๆกัน

วัฏจักรทำความเย็นโดยระบบกดดันไอนี้สามารถแสดงในภาพประกอบ 2.1 โดยที่หมายเลขแสดงสภาวะต่างๆส่วนแผนภูมิมอลเลียร์หรือแผนภูมิ P-h ถูกแสดงในภาพประกอบ 2.2



ภาพประกอบ 2.1 วัฏจักรทำความเย็นโดยระบบกดดันไอ



ภาพประกอบ 2.2 แผนภูมิมอลเลียร์หรือแผนภูมิ P-h

จากภาพประกอบ 2.2 เป็น วัฏจักรกดดันไอแบบมาตรฐานซึ่งแสดงคุณสมบัติต่างๆของสารทำความเย็นสำหรับการเปลี่ยนแปลงเบื้องต้นทั้งสี่ของวัฏจักรการทำความเย็นเป็นดังนี้

1 – 2 การอัด (Compression) ซึ่งเป็น ไอเซนโทรปิก

2 – 3 การควบแน่น(Condensation) โดยความดันคงที่

3 - 4 การขยายตัว(Expansion)โดยเอนทัลปีคงที่

4 - 1 การระเหย(Evaporation)โดยความดันคงที่

2.2.2 การคำนวณของวัฏจักรการทำความเย็น

จากแผนภูมิมอลเลียร์การหาค่าสภาวะของสารทำความเย็นแต่ละจุดกระทำได้ดังนี้

1.อุณหภูมิระเหยจากความดันระเหยหรือความดันระเหยจากอุณหภูมิระเหย

2.อุณหภูมิควบแน่นจากความดันควบแน่น หรือ ความดันควบแน่นจากอุณหภูมิควบแน่น

3. เอนทัลปีและปริมาตรจำเพาะของไอสารทำความเย็นที่ถูกดูดเข้าไปในเครื่องอัด

4.เอนทัลปีและอุณหภูมิของไอสารทำความเย็นที่จ่ายออกมาจากเครื่องอัดโดยการอัดเป็นแบบไอเซนโทรปิก

5.เอนทัลปีและความแห้ง (Dryness Fraction ; X) ของสารทำความเย็นที่ออกจากวาล์วขยายตัวโดยหาจาก อุณหภูมิของสารทำความเย็นเหลวที่ไหลเข้า ไปในวาล์ว

ขยายตัว

2.2.2.1ปริมาณของสารทำความเย็นที่ไหลวน

ปริมาณของสารทำความเย็นที่ไหลวนคือ ปริมาณของสารทำความเย็นที่จ่ายเข้าไปและระเหยในอีวาโปเรเตอร์ เพื่อให้ได้ความสามารถในการทำความเย็นที่ต้องการหาได้จากสมการ

$$Q_e = \dot{m} \times q_e \qquad (2.1)$$

โดยที่ $Q_e = \dot{m} \times (h_1 - h_4)$

โดยที่ Q_e = ความสามารถในการทำความเย็น (kJ/s)

โดยที่ q_e = ความเย็นของสารทำความเย็นต่อหน่วยกิโลกรัมที่ไหลวนและหาได้จากแผนภูมิมอลเลียร์ (kJ/ kg)

และ $\dot{m}$ = อัตราการไหลวนของสารทำความเย็น (kg/ s)

2.2.2.2 ปริมาณความร้อนที่ถูกดูดซับที่สารทำความเย็นในอีวาโปเรเตอร์ (q_i)

$$q_i = h_1 - h_4 \quad (kJ/ kg) \qquad (2.2)$$

โดยที่ q_i = ความเย็น ของสารทำความเย็นต่อหน่วยกิโลกรัม

2.2.2.3 ปริมาณความร้อนที่ถูกระบายออกที่เครื่องควบแน่น (q_c)

ความร้อนในการควบแน่นที่สารทำความเย็นระบายออกที่เครื่องควบแน่นเท่ากับความแตกต่างระหว่างเอนทัลปีของไอร้อนยิ่งยวด (Superheated Vapor) ที่สภาวะ 2 และของเหลวอิ่มตัวที่สภาวะ 3

$$q_c = h_2 - h_3 \quad (kJ/kg) \qquad (2.3)$$

โดยที่ q_cเป็นความร้อนที่ควบแน่นต่อหน่วยกิโลกรัมของสารทำความเย็น(kJ/kg)หรือคือผลบวกของความร้อนที่รับมาจากบริเวณทำความเย็น (q_l) กับความร้อนที่เทียบเท่ากับงานที่ต้องการใช้ในการอัด (q_w)

$$q_c = q_l - q_w \quad (kJ/kg) \qquad (2.4)$$

2.2.2.4 งานที่ใช้ในการอัด (q_w)

งานที่ใช้ในการอัดคือ ความแตกต่างของเอลทัลปีของสารทำความเย็นระหว่างสภาวะ 1 และสภาวะ 2

$$q_w = h_2 - h_1 \quad (kJ/kg) \qquad (2.5)$$

2.2.2.5 อัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารทำความเย็นที่ไหลเข้าเครื่องอัด ($\overset{o}{V}$)

เป็นปริมาณสารทำความเย็นที่ไหลวนในหน่วยปริมาตรของไอที่จะต้องถูกดูดเข้าไปในเครื่องอัดซึ่งจะหาได้จากสมการ

$$\overset{o}{V} = \overset{o}{m}v \qquad (2.6)$$

โดยที่ $\overset{o}{m}$ = คือ อัตราการไหลวนของสารทำความเย็น (kg/s)

โดยที่ v = คือ ปริมาตรจำเพาะของไอสารทำความเย็นที่สภาวะ1 (m^3/ kg)

2.2.2.6 ประสิทธิภาพการทำความเย็น

สำหรับวัฏจักรการทำความเย็น ประสิทธิภาพการทำความเย็นสามารถคำนวณได้ 2 แบบคือ

1. **สัมประสิทธิ์สมรรถนะ** (Coefficient of Performance ; COP)

$$COP = \frac{Q_i}{Q_W} \quad (2.7)$$

$$= \frac{q_i}{q_W} \quad (2.8)$$

$$= \frac{h_1-h_4}{h_2-h_1} = \frac{\text{Btu/hr Capacity}}{\text{Watts input x 3.412}} \quad (2.9)$$

โดยที่ Watts input มีหน่วย คือ Watt/hr และ 1 Watt เท่ากับ 3.412 Btu/hr

2. อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency Ratio ; EER)

$$EER = \frac{\text{Btu/hr Capacity}}{\text{Watts input}} \quad (2.10)$$

$$= 3.412\ COP. \quad (2.11)$$

2.3 การจำแนกประเภทและอุปกรณ์หลักของระบบปรับอากาศ

การจำแนกประเภทระบบปรับอากาศ อาจแบ่งออกได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

2.3.1. **ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน** (Split Type Air-Conditioning System)

ระบบปรับอากาศแบบนี้สามารถแยกออกได้เป็น 2 ส่วน ส่วนแรกอยู่ในห้องเรียกว่าแฟนคอล์ยยูนิต (Fan Coil Unit) ประกอบด้วย ตัวตู้ พัดลม อีวาโปเรเตอร์ ลิ้นลดความดันและ

แผงกรองอากาศ ส่วนที่สองคือส่วนที่อยู่ภายนอกห้องเรียกว่าคอนเดนซิ่งยูนิต (Condensing Unit) ซึ่งประกอบไปด้วย คอมเพรสเซอร์ พัดลม คอนเดนเซอร์ แผงสวิตช์และอุปกรณ์ควบคุมการทำงาน

2.3.2 ระบบปรับอากาศแบบระบบทำความเย็นส่วนกลาง (Central Cooling Plant Air-Conditioning System)

ระบบทำความเย็นส่วนกลางหมายถึงกลุ่มของเครื่องทำความเย็นหนึ่งเครื่องหรือมากกว่าที่จ่ายน้ำเย็นให้กับเครื่องส่งลมเย็นขนาดเล็กและเครื่องส่งลมเย็นขนาดใหญ่ที่ติดตั้ง ณ.จุดต่างๆของอาคารหรือกลุ่มของอาคารโดยเครื่องทำน้ำเย็นไม่จำเป็นต้องวางอยู่ ณ.ตำแหน่งศูนย์กลางเมื่อเทียบกับอาคารทั้งหลายและจำนวนเครื่องทำความเย็นอาจมีหนึ่งหรือสองเครื่องหรือมากกว่านั้นก็ได้ บางอาคารที่มีขนาดใหญ่ซึ่งดำเนินการต่อเติมมาหลายปีตามการพัฒนาของอาคารอาจมีการกระจายที่ตั้งของเครื่องทำความเย็นออกไปถึงสองสามแห่ง เนื่องจากพื้นที่ที่ได้ทำการติดตั้งในช่วงแรกมีขนาดเล็กเกินไปสำหรับการติดตั้งอุปกรณ์หลักและอุปกรณ์ประกอบของระบบ ระบบนี้สามารถแบ่งย่อยออกเป็นสองระบบด้วยกันคือ ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller Air-Conditioning System)

2.3.3 อุปกรณ์ในระบบทำความเย็นส่วนกลาง

จากการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็นพบว่าอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดจาก เครื่องทำน้ำเย็น เครื่องสูบน้ำ เครื่องส่งลมเย็นขนาดเล็กและเครื่องส่งลมเย็นขนาดใหญ่นอกจากนี้ยังรวมถึงหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower)

2.3.3.1 เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)

จากการศึกษาเครื่องทำน้ำเย็นประเภทใช้คอมเพรสเซอร์ในการขับเคลื่อนสารทำความเย็นโดยพลังงานที่ใช้ในคอมเพรสเซอร์จะเป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นเครื่องทำน้ำเย็นที่นิยมใช้ในประเทศไทย จากข้อมูลของกรมพัฒนาส่งเสริมพลังงานและพลังงานทดแทน พบว่าสามารถแบ่งขนาดของเครื่องทำน้ำเย็นตามลักษณะคอมเพรสเซอร์ได้ดังตาราง 2.1

ตาราง 2.1 แสดงขนาดตันความเย็น (12,000 Btu/hr) ของเครื่องทำน้ำเย็นที่ขึ้นอยู่กับชนิดของคอมเพรสเซอร์แบบต่างๆ

ชนิดของคอมเพรสเซอร์	ขนาดความเย็นโดยประมาณ
1.แบบลูกสูบ (Reciprocating)	3 – 200 ตันความเย็น
2.แบบสโครล (Scrool)	15 – 60 ตันความเย็น
3.แบบโรตารี่ (Hilical Rotary)	50 – 1300 ตันความเย็น
4.แบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (Centrifugal)	150 – 2000 ตันความเย็น

สำหรับการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็นสามารถแยกออกได้เป็นสองส่วนได้แก่

1. ส่วนระบบทำความเย็น มีส่วนประกอบสำคัญได้แก่ คูลเลอร์ (Cooler) ของเครื่องทำน้ำเย็น ในการทำงานของเครื่องสูบน้ำ (Water Pump) จะทำหน้าที่ดูดน้ำเย็นที่ถูกส่งผ่านเข้าไปในระบบซึ่งมีอุณหภูมิน้ำเย็นมีค่า โดยประมาณ 54 - 55 ^{0}F ที่สภาวะการทำงานเต็มที่ของเครื่องทำน้ำเย็นส่งเข้าคูลเลอร์ซึ่งจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับสารทำความเย็นภายในเครื่องทำให้น้ำเย็นที่ออกจากคูลเลอร์จะมีอุณหภูมิต่ำลงโดยจะมีค่าลดลงเหลือประมาณ 44 - 45 ^{0}F น้ำเย็นนี้จะถูกส่งเข้าระบบเพื่อตอบสนองกับภาระการทำความเย็นของระบบต่อไป

2. ส่วนระบบระบายความร้อนมีส่วนประกอบสำคัญได้แก่ คอนเดนเซอร์ (Condenser) ของเครื่องทำน้ำเย็นซึ่งทำหน้าที่ระบายความร้อนของสารทำความเย็นในเครื่องทำน้ำเย็น โดยการระบายความร้อนสามารถทำได้สองวิธี คือ การระบายความร้อนด้วยน้ำ และการระบายความร้อนด้วยอากาศ

2.1 การระบายความร้อนด้วยน้ำในการระบายความร้อนด้วยน้ำจำเป็นต้องมีอุปกรณ์เพิ่มขึ้นในระบบได้แก่ เครื่องสูบน้ำ (Water Pump) และหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) สำหรับการทำงานของเครื่องสูบน้ำจะทำหน้าที่ส่งน้ำเข้าเครื่องทำน้ำเย็นเพื่อช่วยในการระบายความร้อน โดยน้ำที่ถูกส่งเข้ามาโดยทั่วไปจะมีอุณหภูมิประมาณ 85 - 90 ^{0}F และรับความร้อนจากสารทำความเย็นจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นประมาณ 95 -100 ^{0}F และจะถูกส่งไประบายความร้อนที่หอผึ่งน้ำ จนอุณหภูมิน้ำลดลงประมาณ 85-90 ^{0}F จึงถูกส่งกลับมายังที่คอนเดนเซอร์เพื่อหมุนเวียนระบายความร้อนต่อไป

2.2. การระบายความร้อนด้วยอากาศในการระบายความร้อนด้วยอากาศนี้จะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการระบายความร้อนออกจากคอนเดนเซอร์โดยใช้พัดลมระบายความร้อนดูดอากาศภายนอกที่มีอุณหภูมิประมาณ 95-100 ^{0}F มารับความร้อนจากสารทำความเย็น เนื่องจากอากาศมีค่าความจุความร้อนที่ต่ำกว่าน้ำ จึงจำเป็นต้องใช้อากาศที่มีปริมาณมากทำให้มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากในส่วนพัดลมระบายอากาศ

2.3.3.2 เครื่องสูบน้ำ (Water Pump)

ทำหน้าที่เปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าจากมอเตอร์ไปเป็นพลังงานกล หลักการทำงานของเครื่องสูบน้ำ คือ เครื่องสูบน้ำจะลดความดันด้านดูดของตัวมันให้ต่ำลงเพื่อให้ของเหลวสามารถไหลเข้ามาได้ และจะเพิ่มแรงดันไปยังของเหลวทำให้ของเหลวดังกล่าวเคลื่อนที่ผ่านระบบต่างๆที่ต่อออกจากเครื่องสูบน้ำได้ สำหรับงานระบบทำความเย็นมักนิยมใช้เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง (Centrifugal Pump) โดยสามารถแบ่งออกเป็นสองประเภท ได้แก่ เครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่ง แบบ Horizontal และเครื่องสูบน้ำแบบหอยโข่งแบบ Vertical เนื่องจากเครื่องสูบน้ำถูกใช้งานในหลายๆส่วนของระบบทำความเย็น เพื่อความสะดวกในการพิจารณา เครื่องสูบน้ำที่ใช้ในส่วนระบบทำความเย็นมักถูกเรียกว่า เครื่องสูบน้ำเย็นและเครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการระบายความร้อนด้วยน้ำ มักถูกเรียกว่าเครื่องสูบน้ำระบายความร้อน

2.3.3.3 หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower)

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำกับอากาศโดยจะช่วยในการระบายความร้อน ทำให้น้ำที่มีอุณหภูมิสูงให้อุณหภูมิลดต่ำลง นอกจากนี้การใช้งานหอผึ่งน้ำในระบบทำความเย็นปัจจุบันนิยมใช้อยู่สองประเภทคือ

1.หอผึ่งน้ำประเภทพัดลมดูดอากาศไหลสวนทางกับน้ำ (Counter Flow) เป็นหอผึ่งน้ำที่ มีราคาถูกแต่ต้องการพื้นที่ในการติดตั้งมาก

2.หอผึ่งน้ำประเภทพัดลมดูดอากาศไหลตัดผ่านกันกับน้ำ (Cross Flow) เป็นหอผึ่งน้ำที่มีราคาสูงเนื่องจากต้องการพื้นที่ติดตั้งน้อย รวมทั้งสามารถทำการบำรุงรักษาได้ง่าย

อย่างไรก็ตามพบว่าประสิทธิภาพในการถ่ายเทความร้อนของหอผึ่งน้ำทั้งสองประเภทมีค่าใกล้เคียงกันดังนั้นการทำงานในระบบระบายความร้อนด้วยน้ำ การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบและข้อจำกัดในการติดตั้ง

2.4 การใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบปรับอากาศและอุปกรณ์ของระบบปรับอากาศ

เนื่องจากระบบปรับอากาศและอุปกรณ์ต่างๆมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่างกันซึ่งเป็นเงื่อนไขตัวหนึ่งในการเขียนโปรแกรมที่จะทำการเลือกระบบปรับอากาศซึ่งแสดงในตาราง 2.2 และตาราง 2.3

ตาราง 2.2 แสดงภาระของเครื่องปรับอากาศและอุปกรณ์เครื่องปรับอากาศแต่ละชนิด

ประเภทของเครื่องปรับอากาศ	ภาระของเครื่องปรับอากาศและอุปกรณ์ (kW/Ton)
1.เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type)	1.5
2.เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Chiller)	
2.1 ลูกสูบ (Reciprocating Type)	
ไม่เกิน 50 ตัน	1.00
มากกว่า 50 ตัน	0.95
2.2 สกรู (Screw Type)	0.75
2.3 หอยโข่ง (Centrifugal Type)	
ไม่เกิน 250 ตัน	0.75
มากกว่า 250 ตันไม่เกิน 500 ตัน	0.70
มากกว่า 500 ตัน	0.67
3.เครื่องทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Chiller)	
3.1 ลูกสูบ (Reciprocating Type)	
ไม่เกิน 50 ตัน	1.40
มากกว่า 50 ตัน	1.30
3.2 สกรู (Screw Type)	
ไม่เกิน 250 ตัน	1.40
มากกว่า 250 ตัน	1.20
3.3 หอยโข่ง (Centrifugal Type)	
ไม่เกิน 250 ตัน	1.40
มากกว่า 250 ตัน	1.20

ตาราง 2.3 แสดงภาระของอุปกรณ์เครื่องปรับอากาศ

อุปกรณ์เครื่องปรับอากาศ	ภาระของอุปกรณ์เครื่องปรับอากาศ (kW/Ton)
1. เครื่องสูบน้ำเย็น (Chiller Water Pump)	
1.1 Pump Head ไม่เกิน 50 ฟุตน้ำ	0.04
1.2 Pump Head ระหว่าง 60-100 ฟุตน้ำ	0.08
1.3 Pump Head ระหว่าง110-150 ฟุตน้ำ	0.11
2.เครื่องสูบน้ำระบายความร้อน (Condenser Water Pump)	
2.1 Pump Head ไม่เกิน 50 ฟุตน้ำ	0.05
2.2 Pump Head ระหว่าง 60-100 ฟุตน้ำ	0.10
2.3 Pump Head ระหว่าง 110-150 ฟุตน้ำ	0.14
3. เครื่องเป่าลมเย็น (Fan Coil Unit)	0.03
4. เครื่องส่งลมเย็น (Air Handling Unit)	0.15
5. หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower)	0.03

2.5 การบำรุงรักษาเพื่อการป้องกัน และการเสื่อมสภาพการใช้งาน(Preventive Maintenance and Functional Depreciation)

2.5.1 การบำรุงรักษาที่ทำเป็นประจำ (Routine Maintenance)

1. ประจำวัน เช่นทุกๆวันก่อนที่จะทำการเดินเครื่องหรือขณะเดินเครื่องใช้งาน
2. ประจำสัปดาห์
3. ประจำเดือน

การบำรุงรักษาประจำสัปดาห์หรือประจำเดือนนี้บางงานเป็นหน้าที่ของผู้ควบคุม (Operator) และบางงานเป็นหน้าที่ของผู้ที่อยู่ในหน่วยงานบำรุงรักษาของ Routine Maintenance หรือ Routine Servicing ได้แก่งานดังต่อไปนี้

1.การตรวจหา (Checking) เป็นการตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรว่าทำงานถูกต้องตามที่กำหนดไว้หรือไม่

2.การตรวจสอบสภาพ (Inspection) เป็นการตรวจสภาพทั่วไปซึ่งมีลักษณะค่อนข้างจะกว้างกว่าการตรวจหาแต่โดยทั่วไปมีการกล่าวรวมเป็น Inspection & Checking ทั้งหมดนี้เป็นลักษณะของการบำรุงรักษาเพื่อป้องกันที่ต้องทำอยู่เป็นประจำ

2.5.2 การซ่อมตามวาระหรือตามแผนที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า มีลักษณะอยู่ 3 ประการ

2.5.2.1 Minor (Current) Repair คือการซ่อมเล็กๆน้อยๆหรือการซ่อมในขณะนั้น

2.5.2.2 Medium Repair งานที่จัดอยู่ในประเภทนี้ได้แก่งาน Minor Repair ต่างๆ ที่ทำโดยเจ้าหน้าที่จากหน่วยซ่อม

2.5.3.3 Major Overhaul คือการซ่อมที่มีการกำหนดแผนงานไว้ล่วงหน้าและต้องเป็นงานขนาดใหญ่

2.5.3 การเสื่อมสภาพใช้งาน

การเสื่อมสภาพใช้งานของอุปกรณ์ซึ่งมีการเสื่อมสภาพอยู่ 2 แบบด้วยกันดังนี้

2.5.3.1 แบบค่อยๆเสื่อมสภาพ (Deteriorating Type) หมายถึงอุปกรณ์ที่ใช้อยู่เมื่อเริ่มใช้คุณภาพจะสูง แต่เมื่อใช้ไปนานๆคุณภาพจะเสื่อมลงเป็นไปอย่างปกติและการใช้อุปกรณ์ในระยะแรกค่าใช้จ่ายจะไม่สูงเท่าใดเมื่อใช้ไปนานๆ ค่าใช้จ่ายจะสูงขึ้นไปเรื่อยๆซึ่งค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นมาจากค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและซ่อมแซม

2.5.3.2 แบบเสื่อมสภาพทันทีทันใด (Catastrophic Type) หมายถึงอุปกรณ์บางประเภทขณะที่ใช้งานอยู่นั้นคุณภาพได้ตกต่ำหรือเสื่อมคุณภาพในทันทีทันใดจนทำให้ไม่สามารถใช้อุปกรณ์นั้นได้อีก

2.5.4 ภารกิจของการบำรุงรักษา (Maintenance Function)

งานซ่อมเป็นเพียงส่วนหนึ่งของการบำรุงรักษาเช่น การบำรุงรักษาขั้นป้องกันกระทำได้อย่างสม่ำเสมอและถูกต้องตามวิธีการแล้วจะสามารถหลีกเลี่ยงงานซ่อมฉุกเฉินได้มากหรืออย่างน้อยที่สุดก็หลีกเลี่ยงมิให้เกิดการชำรุดขัดข้องใหญ่ที่ต้องใช้เวลาซ่อมนานๆได้ซึ่งประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากไม่ว่าจะเป็นค่าใช้จ่ายในการซ่อมโดยตรงหรือค่าสูญเสียอื่นๆ

การจัดระบบงาน แนวทางปฏิบัติเกี่ยวกับระบบการจัดการทั่วไปควรจะมีขั้นตอนหรือหลักการปฏิบัติดังต่อไปนี้

2.5.4.1เลือกและกำหนดเครื่องจักรอุปกรณ์ที่มีความสำคัญและจำเป็นต้องเอาใจใส่พร้อมกับการกำหนดสถานที่

2.5.4.2 กำหนดหลักเกณฑ์ในการบำรุงรักษาได้แก่ การตรวจสอบ การบำรุงรักษาและการซ่อม

2.5.4.3 วางแผนงานบำรุงรักษาโดยมีการจัดสรรกำลังคนและวัสดุ

2.5.4.4 จัดการด้านงบประมาณค่าใช้จ่ายโดยการตั้งงบประมาณให้สอดคล้องกับงาน และควบคุมการใช้จ่ายงบประมาณให้เป็นไปตามแผนบันทึกค่า ใช้จ่ายจริงและเปรียบเทียบ

2.5.4.5 ประเมินผลและหาทางปรับปรุงแก้ไขให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

2.5.5 **การวิเคราะห์** (Analysis)

จะต้องมีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการทำงานของอุปกรณ์หรือแม้แต่กำลังคนจะต้องมีการประมวลผลด้วยการวิเคราะห์สาเหตุในกรณีต่างๆ นั้นที่เป็นปัจจัยสำคัญคือข้อมูลและจะต้องเป็นข้อมูลที่ดีและถูกต้อง ซึ่งจะต้องได้รับความร่วมมือด้วยดีในการรายงานแจ้งผลการซ่อมตามความเป็นจริงเช่น รายการซ่อมหรือปรับแต่งแก้ไข กำลังคน วัสดุ อันจะเป็นประโยชน์ต่องานวิเคราะห์เป็นอย่างมาก ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานบำรุงรักษา ข้อมูลของงานบำรุงรักษาเกี่ยวข้องกับคน เครื่องจักร อุปกรณ์และวัสดุซึ่งใช้ในการวางระบบของข้อมูลของงานบำรุงรักษาต้องคำนึงถึงคือ

1.ใคร (Who) ใครจะเป็นผู้ปฏิบัติและใครจะเป็นผู้ให้ข้อมูล

2.อะไร (What) เรื่องเกี่ยวกับอะไร

3.อย่างไร (How) ด้วยวิธีการอย่างไร

4.ข้อมูลอะไร (What Information) ข้อมูลที่ควรรวบรวมนั้นเป็นอะไรบ้าง

5. เมื่อไร (When) จะลงมือทำเมื่อไรและจะนำไปใช้งานได้เมื่อไร

2.5.6 **การวิเคราะห์ประเมินผล** (Analysis Evaluation)

สำหรับการวิเคราะห์และประเมินผลจะต้องกระทำทั้ง 2 ภาค คือ ภาคเทคนิค และภาคเศรษฐกิจ

2.5.6.1 หัวข้อภาคเทคนิค ที่ควรวิเคราะห์เช่น

1.อัตราการเสื่อมสภาพและการหมดอายุการใช้งานของอุปกรณ์

2.ตรวจสอบและเปรียบเทียบอุปกรณ์ปัจจุบันกับอุปกรณ์ใหม่

3.การเปรียบเทียบอุปกรณ์ควบคุม อุปกรณ์เพิ่มเติมอุปกรณ์ป้องกันเพื่อความปลอดภัยระหว่างของเก่ากับของใหม่

2.5.6.2 หัวข้อภาคเศรษฐกิจ ที่ควรนำมาวิเคราะห์มีดังนี้

1.ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ที่ใช้งานอยู่

2. ค่าใช้จ่ายในการปรับปรุงแก้ไขอุปกรณ์ที่ใช้งานอยู่เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ใหม่

2.5.7 **มาตรฐานของงาน** (Standard of Work)

งานที่ทำหรือปฏิบัติอยู่ทุกวันนี้จะเป็นวิธีการที่เหมาะสมหรือได้มาตรฐานหรือไม่นั้นต้องมีการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์มาประกอบการพิจารณาทบทวนดูว่ายังมีอะไรอีกบ้างที่จะต้อง

ปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้ทุกคนยึดถือปฏิบัติเหมือนกันและเป็นแนวทางเดียวกันจะต้องจัดทำเป็นคู่มือ มาตรฐานของงานบำรุงรักษาทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

2.5.7.1มาตรฐานทางเทคนิค หมายถึง การจัดทำและยึดถือที่สำคัญได้แก่มาตรฐานคู่มือปฏิบัติ

1.มาตรฐานการตรวจสอบ เช่นการตรวจสภาพ การตรวจสอบเพื่อติดตามผล

2. มาตรฐานการบำรุงรักษาประจำและตามวาระ เช่น การให้น้ำมันหล่อลื่น

3. มาตรฐานการซ่อม เช่น การกำหนดสภาพการทำงาน การกำหนดวิธีการ การกำหนดเวลา

2.5.8.2 มาตรฐานทางด้านการจัดการ ได้แก่

1.การวางแนวทางปฏิบัติแนวทางการปฏิบัตินี้จะต้องเหมาะสมกับความสามารถ ความชำนาญงาน และการใช้เครื่องมือเครื่องใช้ของผู้มีหน้าที่รับผิดชอบขณะนั้น

2. การกำหนดมาตรฐานเวลาสามารถกำหนดได้จากประสบการณ์

3. การค้นคว้าและการแก้ไขอุปกรณ์ เครื่องมือที่เขามีอยู่ให้มีประสิทธิภาพ ในการทำงานสะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้นเป็นสิ่งจำเป็น นอกจากนี้ในการแก้ไขการปรับปรุงงานจะต้องมีการร่างงบประมาณสำหรับที่จะปรับปรุงและต้องคำนึงถึงสิ่งต่างๆ นอกจากนี้ยังต้องเอาค่าใช้จ่ายต่างๆ มาคิดไว้ในส่วนของการบำรุงรักษาว่า ค่าใช้จ่ายทั้งหมดเป็นเท่าใด

4.การป้องกันการสึกหรอและการกัดกร่อนของอุปกรณ์ กรณีเครื่องจักรส่วนใหญ่มักอยู่ภายใต้สภาวะแวดล้อมที่อันตรายต่ออุปกรณ์และเครื่องจักรเช่นสารเคมีคุณสมบัติความเป็นกรดด่างต้องมีการพิจารณาป้องกันตามความเหมาะสม

5.การจัดเก็บเอกสาร เอกสารที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษาได้แก่คู่มือมาตรฐานอุปกรณ์ คู่มือปฏิบัติต่างๆ แบบคู่มือการใช้และการรักษาอุปกรณ์ แบบฟอร์มกรอกข้อมูลการซ่อม แบบฟอร์มประวัติอุปกรณ์และประวัติการซ่อม

6.การกำหนดแผนงาน ในการบำรุงรักษาก็เหมือนกันกับงานประเภทอื่นๆซึ่งต้องมีการกำหนดแผนงานล่วงหน้าว่าในปีหนึ่งๆจะต้องดูแลรักษาและซ่อมอุปกรณ์อะไรบ้าง

2.6 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาตำแหน่งการทำงานที่เหมาะสม (Mathematical Representation of Optimization Problems)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะประกอบด้วยฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (Objective Function) และขอบเขตหรือข้อกำหนดต่างๆ (Constraints) ที่เกี่ยวข้อง สมมุติฟังก์ชั่นจุดประสงค์ Y เป็นฟังก์ชั่นขึ้นกับตัวแปรอิสระ (Independent Variables) $X_1 , X_2 , X_3 \ldots\ldots\ldots\ldots, X_n$

$$Y = Y (X_1 , X_2 , X_3 \ldots\ldots\ldots\ldots, X_n) \qquad (2.12)$$

โดยมีเงื่อนไขกำหนด (Constraints) ซึ่งอาจจะมีเงื่อนไขแบบเท่ากัน (Equality Constraints)

$$g_1 = g_1 (X_1 , X_2 , \ldots\ldots\ldots\ldots, X_n) = 0 \qquad (2.13)$$

$$g_m = g_m (X_1 , X_2 , \ldots\ldots\ldots\ldots, X_n) = 0 \qquad (2.14)$$

หรือเงื่อนไขแบบไม่เท่ากัน (Inequality Constraints) เช่น

$$h_1 = h_1 (X_1 , X_2 , \ldots\ldots\ldots\ldots, X_n) \geq 0 \qquad (2.15)$$

$$h_j = h_j (X_1 , X_2 , \ldots\ldots\ldots\ldots, X_n) \geq 0 \qquad (2.16)$$

มีคุณสมบัติบางประการของฟังก์ชั่นจุดประสงค์ที่น่าสนใจ เช่นเมื่อมีค่าคงที่อยู่ในฟังก์ชั่นจุดประสงค์โดย

$$Y = a + Y (X_1 , X_2 , \ldots\ldots\ldots\ldots, X_n) \qquad (2.17)$$

โดยที่ a เป็นค่าคงที่ ค่าที่น้อยที่สุดของ Y จะเขียนได้ในรูป

$$\min [a + Y (X_1 , X_2 ,...., X_n)] = a + \min [Y (X_1 , X_2 ,...., X_n)] \qquad (2.18)$$

และค่าสูงสุดของฟังก์ชั่น จะมีค่าเท่ากับค่าที่น้อยที่สุดของค่าลบ (Negative) ของฟังก์ชั่นโดย

$$\max [Y (X_1 , X_2 ,....., X_n)] = \min [-Y (X_1 , X_2 ,....., X_n)] \qquad (2.19)$$

ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จะต้องอาศัยความเข้าใจทางด้านวิศวกรรมและคณิตศาสตร์ของระบบหรืออุปกรณ์ที่ต้องการศึกษาเป็นอย่างดี นอกจากนี้ประสบการณ์ต่างๆ ก็เป็นส่วนสำคัญ ในการกำหนดเงื่อนไขการทำงานต่างๆ ของระบบ เพื่อให้สามารถหาตำแหน่งการทำงานหรือการใช้พลังงานของอุปกรณ์ที่เหมาะสมและประหยัดพลังงานได้ถูกต้องที่สุด

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การจำลองระบบ (System Simulation)

จุดประสงค์ในการจำลองระบบ คือต้องการจำลองอุปกรณ์ต่างๆในระบบเพื่อหาค่าการใช้พลังงานของระบบที่จะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์แต่ละระบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์การใช้งานของอุปกรณ์ แล้วนำมาเปรียบเทียบกันซึ่งทำได้โดยการนำค่าตัวแปรต่างๆที่กำหนดขึ้นมาในแบบจำลองมาใช้แทนค่าในโปรแกรมที่ทำการเขียนขึ้นมา

การจำลองระบบในที่นี้หมายถึง การคำนวณหาค่าตัวแปรต่างๆ ในระบบสำหรับการจำลองนั้นต้องมีความรู้เกี่ยวกับคุณลักษณะของอุปกรณ์ต่างๆในระบบนั้นๆและคุณสมบัติทางเทอร์โมไดนามิกส์ว่าด้วย การสมดุลมวลและพลังงาน ในที่นี้ใช้การใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งจะสามารถประกอบกันเป็นกลุ่มสมการซึ่งจะแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่เกี่ยวข้องของ กลุ่มสมการเป็นสมการเชิงเส้น (Linear) ในการจำลองระบบนี้ อาจใช้ในขั้นตอนการออกแบบเพื่อหาหนทางการปรับปรุงการออกแบบนั้นๆหรืออาจประยุกต์เข้ากับระบบที่มีอยู่แล้วเพื่อหาทางดัดแปลงให้ดียิ่งขึ้น การจำลองระบบไม่จำเป็นต้องทำที่สภาวะออกแบบ (Design Condition) เนื่องจากกระบวนการออกแบบ วิศวกรสามารถเลือกขนาดของตัวแปรและเลือกอุปกรณ์ที่จะนำไปใช้ให้สอดคล้องกับตัวแปรเหล่านั้น นอกจากนั้นการจำลองระบบยังใช้กับสภาวะที่ไม่ได้ออกแบบไว้ (Nondesign Condition) เช่นภาระมากเกินไป (Over Load) ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นในช่วงเวลาที่ผ่านมาทำให้การจำลองระบบได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น ในความเป็นจริงระบบทางความร้อน เช่น กระบวนการทางความร้อน (Thermal Processing) การให้ความร้อน (Heating) และการทำความเย็น (Refrigeration) จะทำงานในสภาวะที่นอกเหนือจากสภาวะที่ออกแบบ (Off Design Condition) อยู่เกือบตลอดเวลาดังนั้นในขั้นตอนการออกแบบจึงต้องมีการจำลองระบบในสภาวะต่างๆ ที่ระบบต้องเผชิญซึ่งระบบที่จำลองขึ้นจะช่วยศึกษาผลที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ ก่อนนำไปปฏิบัติจริงเพื่อหาทางปรับปรุงโดยให้มีค่าต่ำสุด

3.1.1 ประเภทของการจำลองระบบ (Classification of Simulation)

การจำลองระบบสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสิ่งที่เราพิจารณาถ้าพิจารณาความต่อเนื่องเป็นหลักเราอาจแบ่งได้เป็น แบบต่อเนื่อง และแบบไม่ต่อเนื่อง (Continuous & Discrete) แบบต่อเนื่องเช่น การไหลของของไหลที่ไหลต่อเนื่องกันไป สำหรับระบบแยกกันหรือแยกจากกัน ได้จากการไหลของจำนวนที่สามารถนับได้ เช่นการวิเคราะห์การไหลของคนที่เข้ามาในห้างสรรพสินค้า ในเชิงการวิเคราะห์เราสามารถแบ่งเป็นแบบเชิงกำหนด (Deterministic) และแบบ

เฟ้นสุ่ม (Stochastic) ในระบบนี้ตัวแปรที่ใส่เข้า (Input Variable) ไปในระบบ จะถูกกำหนดอย่างละเอียดส่วนในระบบเฟ้นสุ่มเงื่อนไขที่ใส่เข้าไป (Input Condition) ไม่แน่นอนอาจได้จากการสุ่ม (Random)

นอกจากนี้การจำลองระบบยังขึ้นอยู่กับเวลา โดยเราสามารถแบ่งได้เป็นแบบสม่ำเสมอ (Steady State) และแบบไม่สม่ำเสมอ (Unsteady State) ในการจำลองแบบไม่สม่ำเสมอ นั้นตัวแปรจะเปลี่ยนแปลงเมื่อเทียบกับเวลาทำให้การจำลองซับซ้อนและยาก สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการจำลองแบบต่อเนื่อง แบบเชิงกำหนด และแบบสภาวะสม่ำเสมอ

3.1.2 **แผนภาพสายงานและแสดงข้อมูล** (Information Flow Diagram)

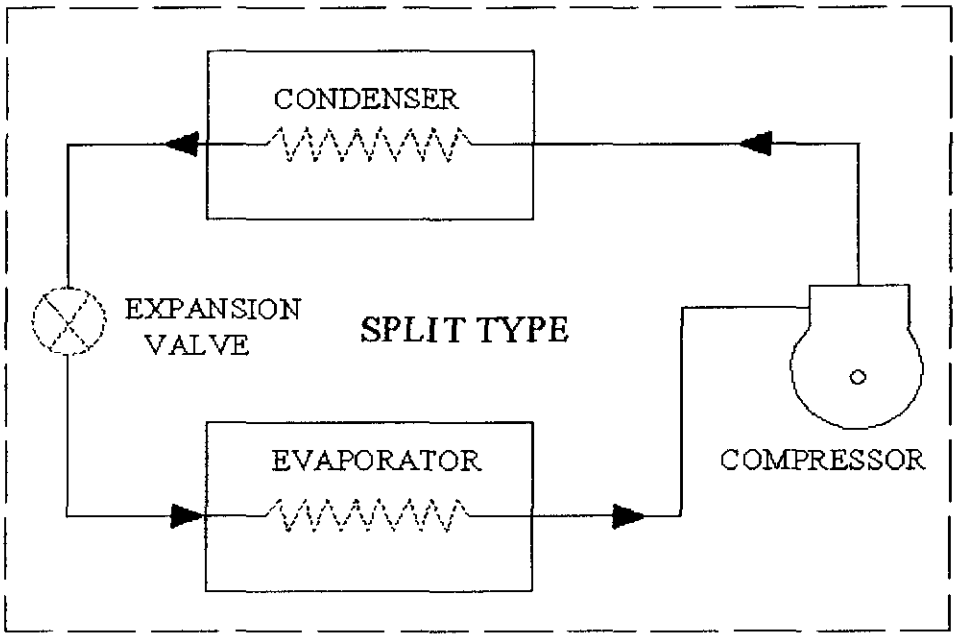
รูปแบบโดยทั่วไปของการจำลองระบบในทางวิศวกรรมแสดงได้ด้วยแผนภาพแบบบล็อก (Block Diagram) ซึ่งแต่ละกล่องข้อมูลจะแสดงถึง ข้อมูลที่ใส่ (Input) และผลลัพธ์ที่ได้ (Output) การจำลองสามารถทำได้หลายระดับตั้งแต่การจำลองแบบหยาบๆจนถึงอย่างละเอียด กรณีที่มีความซับซ้อนการจำลองสามารถทำได้โดยแบ่งเป็นระบบ เป็นส่วนย่อย ๆ แล้วจึงทำการจำลองส่วนย่อยๆเหล่านั้น จากนั้นนำมาเชื่อมโยงกันเป็นระบบ

3.2 การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบปรับอากาศ

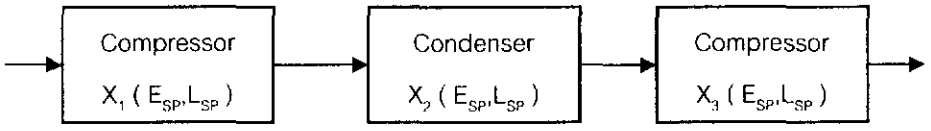
จุดประสงค์ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คือต้องการหาการทำงานของเครื่องปรับอากาศในการใช้พลังงานแต่ละระบบที่จะนำมาทำการหาจุดที่เหมาะสมที่สุดในที่นี้ระบบที่เหมาะสมต้องได้ค่าการใช้พลังงานน้อยที่สุดซึ่งมีระบบปรับอากาศดังนี้

3.2.1 **ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน** (Split Type Air-Conditioning System)

ระบบนี้เป็นระบบปรับอากาศที่มีอุปกรณ์ที่สำคัญอยู่ 2 ส่วนคือแฟนคอล์ยยูนิต (Fan Coil Unit)ประกอบด้วย ตัวตู้ พัดลม อีวาโปเรเตอร์ ลิ้นลดความดันและแผงกรองอากาศ ส่วนที่อยู่ภายนอกห้องเรียกว่าคอนเดนซิ่งยูนิต (Condensing Unit) ซึ่งประกอบไปด้วย คอมเพรสเซอร์ พัดลม คอนเดนเซอร์ แผงสวิตช์และอุปกรณ์ควบคุมการทำงานซึ่งแสดงในภาพประกอบ 3.1 ส่วนแผนภาพสายงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนแสดงในภาพประกอบ 3.2



ภาพประกอบ 3.1 แสดงระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน



ภาพประกอบ 3.2 แสดงการจำลองระบบและแผนภาพสายงานของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน

จากการจำลองระบบจะแสดงองค์ประกอบและตัวแปรต่างๆของการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Y_1 = [(X_1 + X_2 + X_3) \times (E_{SP} \times L_{SP})] \times \text{Tons} \qquad (3.1)$$

เมื่อ Y_1 คือ การใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของระบบ

X_1 คือ การใช้ไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์

X_2 คือ การใช้ไฟฟ้าของคอนเดนเซอร์

X_3 คือ การใช้ไฟฟ้าของอีวาโปเรเตอร์

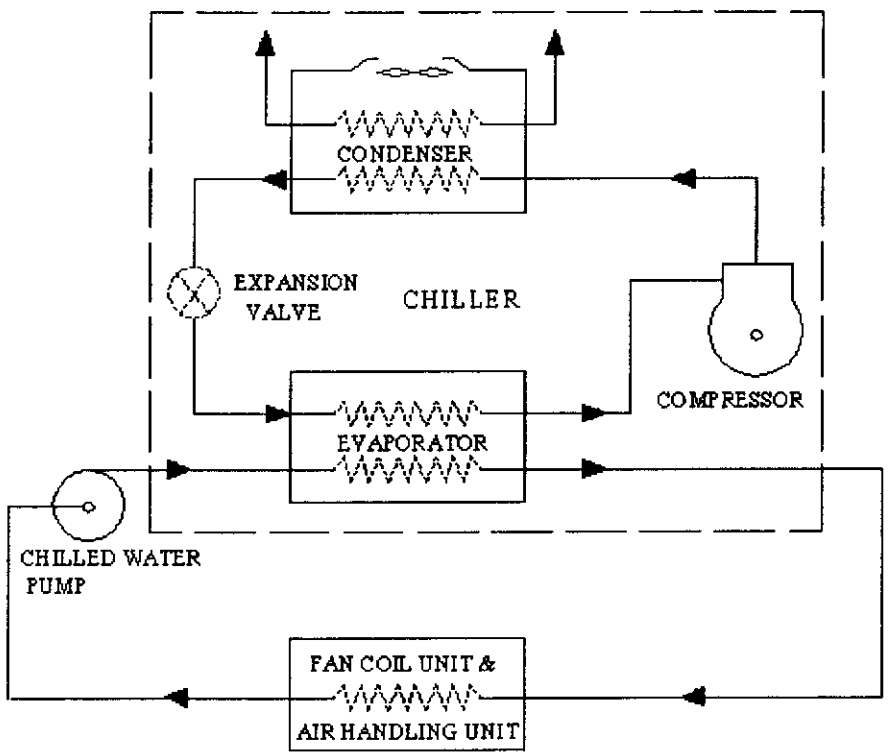
E_{SP} คือ การใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน kW/Ton

L_{SP} คือ เปอร์เซ็นต์ของการเดินเครื่องของเครื่องปรับอากาศ

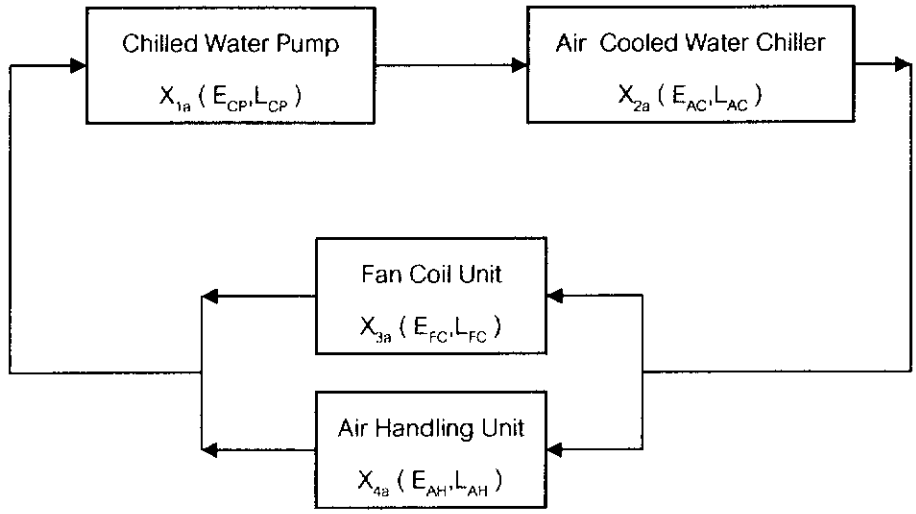
Tons คือ จำนวนตันความเย็นของเครื่องปรับอากาศ

3.2.2 ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller Air-Conditioning System)

ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ แสดงในภาพประกอบ 3.3 ส่วนแผนภาพสายงานของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ แสดงในภาพประกอบ 3.4



ภาพประกอบ 3.3 แสดงระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ



ภาพประกอบ 3.4 แสดงการจำลองระบบและแผนภาพสายงานของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ

จากการจำลองระบบจะแสดงองค์ประกอบและตัวแปรต่างๆของการใช้ไฟฟ้าระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Y_2 = [(X_{1a} + X_{2a}) \times Tons1 + (X_{3a} + X_{4a}) \times Tons2] \quad (3.2)$$

โดยที่

$$X_{1a} = [E_{CP} \times L_{CP}] \quad (3.3)$$

$$X_{2a} = [E_{AC} \times L_{AC}] \quad (3.4)$$

$$X_{3a} = [E_{FC} \times L_{FC}] \quad (3.5)$$

$$X_{4a} = [E_{AH} \times L_{AH}] \quad (3.6)$$

โดยที่ Y_2 คือ การใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของระบบ

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 การใช้ไฟฟ้าของ Chilled Water Pump (kW/Ton)

L_{CP} คือ เปอร์เซ็นต์ของการเดินเครื่องของ Chilled Water Pump

E_{AC} คือ การใช้ไฟฟ้าระบบทำความเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ (kW/Ton)

L_{AC} คือ เปอร์เซ็นต์ของการเดินเครื่องของเครื่องทำความเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ

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

L_{FC} คือ เปอร์เซ็นต์ของการเดินเครื่องของ Fan Coil Unit

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

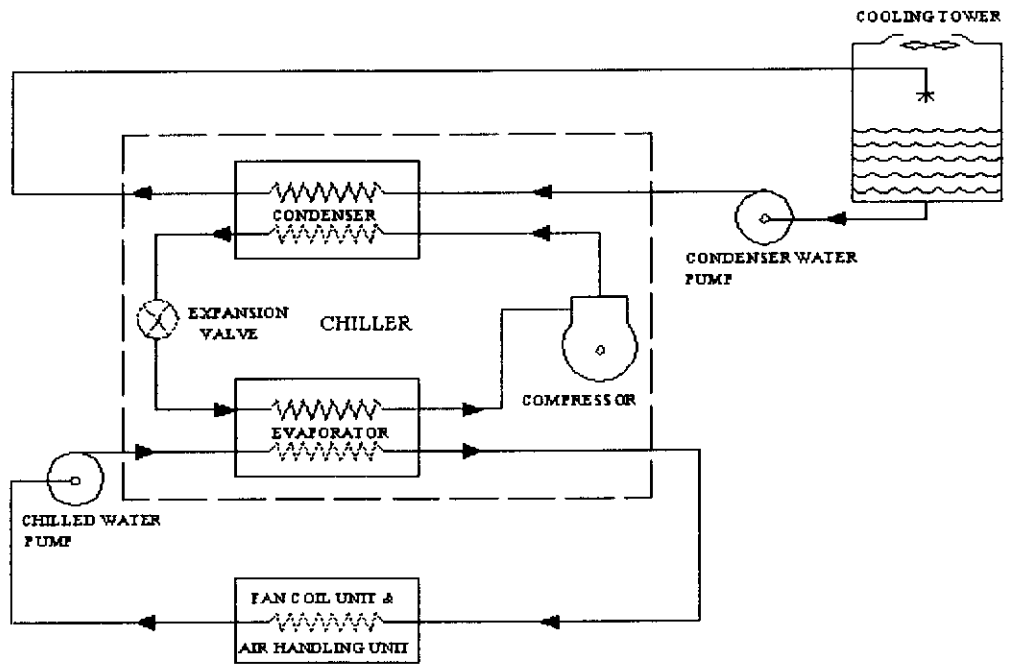
L_{AH} คือ เปอร์เซ็นต์ของการเดินเครื่องของ Air Handling Unit

Tons1 คือ จำนวนตันความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น

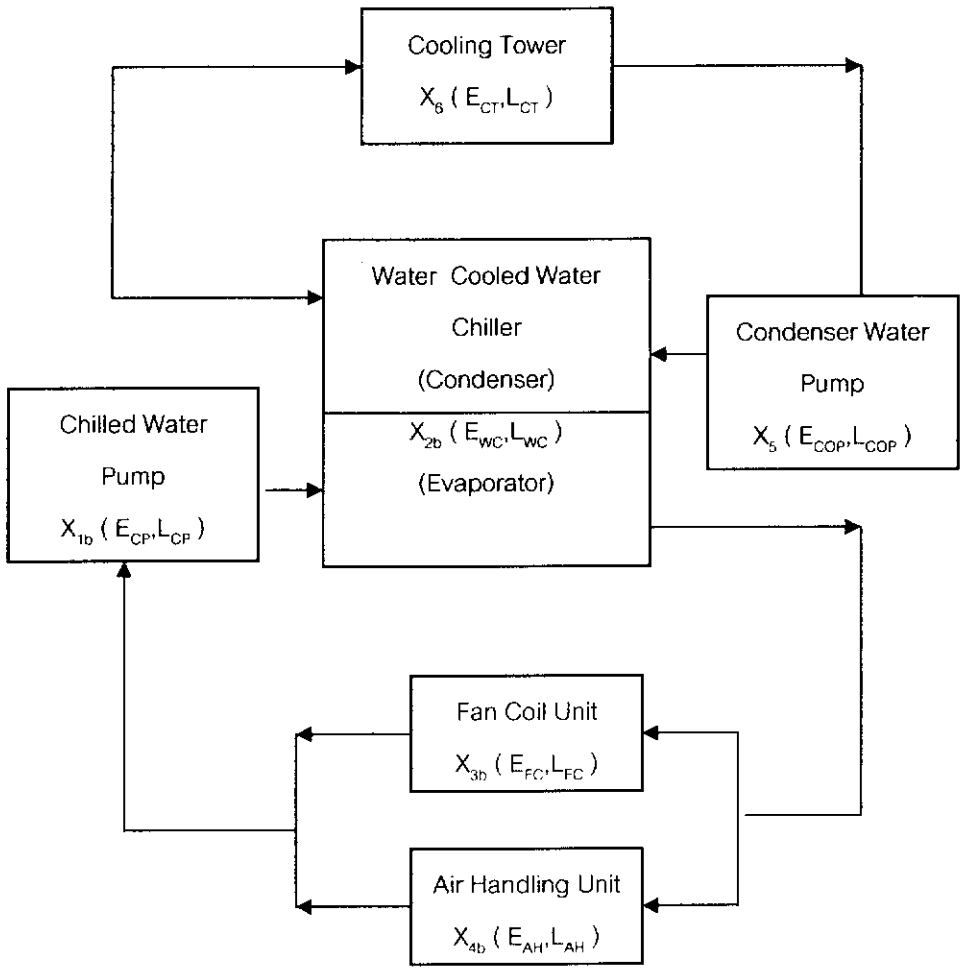
Tons2 คือ จำนวนตันความเย็นของ Air Handling Unit & Fan Coil Unit

3.2.3 ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller Air-Conditioning System)

ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ แสดงในภาพประกอบ 3.5 ส่วนแผนภาพสายงานของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำแสดงในภาพประกอบ 3.6



ภาพประกอบ 3.5 แสดงระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ



ภาพประกอบ 3.6 แสดงการจำลองระบบและแผนภาพสายงานของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ

จากการจำลองระบบจะแสดงองค์ประกอบและตัวแปรต่างๆของการใช้ไฟฟ้าระบบปรับอากาศแบบระบบทำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Y_3 = [(X_{1b} + X_{2b} + X_5 + X_6) \times \text{Tons21} + (X_{3b} + X_{4b}) \times \text{Tons22}] \quad (3.7)$$

โดยที่

$$X_{1b} = [\ E_{CP} \times L_{CP}\ ] \quad (3.8)$$

$$X_{2b} = [\ E_{WC} \times L_{WC}\ ] \quad (3.9)$$

$$X_{3b} = [\ E_{FC} \times L_{FC}\ ] \quad (3.10)$$

$$X_{4b} = [\ E_{AH} \times L_{AH}\ ] \quad (3.11)$$

$$X_5 = [\ E_{COP} \times L_{COP}\ ] \quad (3.12)$$

$$X_6 = [\ E_{CT} \times L_{CT}\ ] \quad (3.13)$$

โดยที่ Y_3 คือ การใช้ไฟฟ้าทั้งหมดของระบบ

X_{1b} คือ ผลรวมการใช้ไฟฟ้าของ Chilled Water Pump

X_{2b} 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 การใช้ไฟฟ้าของ Chilled Water Pump (kW/Ton)

L_{CP} คือ เปอร์เซ็นต์ของการเดินเครื่องของ Chilled Water Pump

E_{WC} คือ การใช้ไฟฟ้าระบบทำความเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ (kW/Ton)

L_{WC} คือ เปอร์เซ็นต์ของการเดินเครื่องของเครื่องทำความเย็น ระบายความร้อนด้วยน้ำ

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

L_{FC} คือ เปอร์เซ็นต์ของการเดินเครื่องของ Fan Coil Unit

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

L_{AH} คือ เปอร์เซ็นต์ของการเดินเครื่องของ Air Handling Unit

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

L_{COP} คือ เปอร์เซ็นต์ของการเดินเครื่องของ Condenser Water Pump

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

L_{CT} คือ เปอร์เซ็นต์ของการเดินเครื่องของ Cooling Tower

Tons21 คือ จำนวนตันความเย็นของเครื่องทำน้ำเย็น

Tons22 คือ จำนวนตันความเย็นของ AHU & Fan Coil Unit

จากสมการและตัวแปรดังกล่าวที่ได้จากการจำลองระบบจะได้นำไปทำการเขียนโปรแกรมในบทที่ 4 ในการออกแบบและการเขียนโปรแกรมต่อไป

3.3 การคำนวณการคิดอัตราค่าไฟฟ้า

3.3.1.การคิดค่าไฟฟ้าอัตราปกติรายเดือน (Usual Rate)

คือความต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดในรอบเดือน เศษของกิโลวัตต์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ให้ตัดทิ้งตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไปคิดเป็น 1 กิโลวัตต์อัตรานี้ใช้สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรมและหน่วยงานรัฐวิสาหกิจตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้องมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย15 นาทีสูงสุดตั้งแต่ 30 -999 กิโลวัตต์ มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือนรวมถึงหน่วยงานราชการที่มีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 250,000 ถึง 355,000 หน่วยต่อเดือน และการคิดค่าไฟฟ้าอัตราปกติรายเดือนสำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบกิจการโรงแรมและกิจการให้เช่าพักอาศัยตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้องมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย15นาที สูงสุดตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียวและสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$C1 = [\,[\,[DC_P \times P_P] + [E_C \times E] + [Ft \times E] + Acc\,] \times N_M\,] + V\,AT \qquad (3.14)$$

โดยที่

- $C1$ คือ ค่าไฟฟ้า (Baht/Month)
- DC_P คือ อัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วง Peak (Baht/kW)
- P_P คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดของเดือน (kW) ปกติดูจากมิเตอร์กรณีนี้สมมุติจากการใช้ไฟฟ้าของ ระบบปรับอากาศ
- E_C คือ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า (Baht/Unit)
- E คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ (kWh) ปกติดูจากมิเตอร์กรณีนี้สมมุติ จากการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ
- Ft คือ สูตรปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติ (Baht/kWh)
- N_M คือ จำนวนเดือน (โดย 1 เดือนคิด 22 วัน 264 ชั่วโมง)
- A_{CC} คือ ค่าใช้จ่ายอื่น (Baht/Month)
- VAT คือ ภาษีมูลค่าเพิ่ม (%)

จากค่าตัวแปรต่างๆที่ปรากฏในสูตรจะต้องเลือกค่าในตารางอัตราค่าไฟฟ้าอัตราปกติรายเดือนได้ดังตาราง 3.1 และตาราง 3.2

ตาราง 3.1 แสดงอัตราค่าไฟฟ้าอัตราปกติรายเดือนสำหรับกิจการขนาดกลาง

แรงดันไฟฟ้า	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Baht/kW)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (Baht/Unit)
แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	175.70	1.6660
แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	196.26	1.7034
แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	221.50	1.7314

ตาราง 3.2 แสดงอัตราค่าไฟฟ้าอัตราปกติรายเดือนสำหรับกิจการเฉพาะอย่าง

แรงดันไฟฟ้า	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Baht/kW)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (Baht/Unit)
แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	220.56	1.6660
แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	256.07	1.7034
แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	276.64	1.7314

3.3.2.การคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของวัน TOD Rate (Time of Day Rate)

คือค่าไฟฟ้าที่คิดค่าความต้องการไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาของวันโดยแบ่งออกเป็นสามช่วงคือ ช่วง On Peak ระหว่างเวลา 18.30-21.30 น. ช่วง Partial Peak ระหว่างเวลา 08.00-18.30น.และช่วง Off Peak ระหว่างเวลา 21.30-08.00 น. ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสมการ

$$C2 = [[[DC_P x P_P]+[D_{CPP} x (PP-P_P)]+[E_C x E]+[FtxE]+A_{CC}]xN_M]+VAT \quad (3.15)$$

โดยที่ C2 คือ ค่าไฟฟ้า (Baht/Month)

DC_P คือ อัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วง On Peak(Baht/kW)

P_P คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ในช่วง On Peak (kW) ปกติดูจากมิเตอร์กรณีนี้สมมุติจากการใช้ไฟฟ้าของ ระบบปรับอากาศ

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

PP คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด ในช่วง Partial Peak (kW) ปกติดูจากมิเตอร์กรณีนี้สมมุติจากการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ

OP คือ อัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดในช่วง Off Peak(Baht/kW)

E_C คือ อัตราค่าพลังงานไฟฟ้า (Baht/Unit)

E คือ ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ (kWh) ปกติดูจากมิเตอร์กรณีนี้สมมุติจากการใช้ไฟฟ้า ของระบบปรับอากาศ

Ft คือ สูตรปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติ (Baht/kW)

N_M คือ จำนวนเดือน (โดย 1 เดือนคิด 22 วัน 264 ชั่วโมง)

A_{CC} คือ ค่าใช้จ่ายอื่น (Baht/Month)

VAT คือ ภาษีมูลค่าเพิ่ม (%)

จากค่าตัวแปรต่างๆที่ปรากฏในสูตรจะต้องเลือกค่าในตารางอัตราค่าไฟฟ้าอัตราปกติรายเดือนดังตาราง 3.3

ตาราง 3.3 แสดงอัตราค่าไฟฟ้า TOD Rate

แรงดันไฟฟ้า	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Baht/kW)			ค่าพลังงานไฟฟ้า (Baht/Unit)
	1*	2*	3*	
แรงดัน 69 กิโลโวลต์ขึ้นไป	224.30	29.91	0	1.6660
แรงดัน 12-24 กิโลโวลต์	285.05	58.88	0	1.7034
แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	332.71	68.22	0	1.7314

หมายเหตุ 1* เวลา 18.30 – 21.30 น.ของทุกวัน (On Peak)

2* เวลา 08.30 – 18.30 น.ของทุกวัน (Partial Peak) คิดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉพาะส่วนที่เกินจากช่วง On Peak

3* เวลา 21.30 – 08.00 น.ของทุกวัน (Off Peak) ไม่คิดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า

ความต้องการพลังงานไฟฟ้า แต่ละเดือนคือความต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็นกิโลวัตต์เฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดของแต่ละช่วงเวลาในรอบเดือน เศษของกิโลวัตต์ถ้าไม่ถึง 0.5 กิโลวัตต์ตัดทิ้งตั้งแต่ 0.5 กิโลวัตต์ขึ้นไป คิดเป็น 1 กิโลวัตต์

3.3.3.การคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ TOU Rate (Time of Use Rate)

คือค่าไฟฟ้าที่คิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาของการใช้ซึ่งสามารถ คำนวณหาได้จากสมการ

$$C3 = [[[DC \times P_{OP}] + [EC_1 \times E_1] + [EC_2 \times E_2] + [Ft \times E] + A_{CC}] \times N] + VAT \quad (3.16)$$

โดยที่

C3	คือ	ค่าไฟฟ้า (Baht/Month)
DC	คือ	อัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Baht/kW)
P_{OP}	คือ	ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 15 นาทีที่สูงสุดใน ช่วง On Peak (kW)ปกติดูจากมิเตอร์กรณีนี้สมมุติจาก การใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ
EC_1	คือ	อัตราค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วง On Peak (Baht/Unit)
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 กรณีนี้สมมุติจากการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอาอากาศ
E	คือ	ปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ (kW) ปกติดูจากมิเตอร์กรณีนี้สมมุติจากการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ
Ft	คือ	สูตรปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติ (Baht/kW)

N_M คือ จำนวนเดือน (โดย 1 เดือนคิด 22 วัน 264 ชั่วโมง)

A_{CC} คือ ค่าใช้จ่ายอื่น (Baht/Month)

VAT คือ ภาษีมูลค่าเพิ่ม (%)

จากค่าตัวแปรต่างๆที่ปรากฏในสูตรจะต้องเลือกค่าในตารางอัตราค่าไฟฟ้าอัตราปกติรายเดือนดังตาราง 3.4

ตาราง 3.4 แสดงอัตราค่าไฟฟ้า TOU Rate

แรงดันไฟฟ้า	ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า (Baht/kW)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (Baht/Unit)	
	1**	1*	2*
แรงดัน 69 กิโลโวลต์	74.14	2.6136	1.1726
แรงดัน12-24 กิโลโวลต์	132.93	2.6950	1.1914
แรงดันต่ำกว่า 12 กิโลโวลต์	210.0	2.8408	1.2246

หมายเหตุ 1** จันทร์ - ศุกร์ เวลา 09.00 – 22.00 น. (On Peak)

1* จันทร์ - ศุกร์ เวลา 22.00 – 09.00 น. (Off Peak)

2* เสาร์ - อาทิตย์ เวลา 00.00 – 24.00 น. (Off Peak)วันหยุดราชการตามปกติ

สำหรับสูตรปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติ (Ft) พิจารณาจากค่าไฟฟ้าอัตโนมัติคงที่โดยนำค่าย้อนหลัง12 เดือน

ช่วง กุมภาพันธ์ 2546-พฤษภาคม 2546 สูตรปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติเท่ากับ 0.2612 บาทต่อหน่วย

ช่วง มิถุนายน 2546-กันยายน 2546 สูตรปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติเท่ากับ 0.2612 บาทต่อหน่วย

ช่วง ตุลาคม 2546-มกราคม 2547 สูตรปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติเท่ากับ 0.2612 บาทต่อหน่วย

ช่วง กุมภาพันธ์ 2547-กันยายน 2547 สูตรปรับอัตราค่าไฟฟ้าอัตโนมัติเท่ากับ 0.3828 บาทต่อหน่วย ดังนั้นสูตรปรับค่าไฟฟ้าอัตโนมัติคงที่ เท่ากับ 0.3828 บาทต่อหน่วย

หมายเหตุ Ft เดิม หมายถึง Fuel Adjustment Charge หรือการปรับค่าไฟฟ้าตามราคาเชื้อเพลิง ที่มีผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตไฟฟ้า ปัจจุบันกำหนดให้มีความหมายกว้างขึ้น คือ Energy Adjustment Charge เพื่อให้ครอบคลุมถึงปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลกระทบต่อต่อต้นทุนการผลิต การจัดส่งและการจำหน่ายไฟฟ้า ตัว t (subscript) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลา

3.4 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ผลจากการหาระบบปรับอากาศที่ใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดในการทำงานของระบบ จะใช้วิธีวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เพื่อประเมินศักยภาพของระบบว่ามีความเป็นไปได้มากน้อยเพียงใด ซึ่งการวิเคราะห์ประกอบด้วย ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) การหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) และอัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return) โดยจะทำการคำนวณเทียบกับการเช่าระบบปรับอากาศ ถ้าเจ้าของอาคารทำการติดตั้งระบบปรับอากาศเองค่าใช้จ่ายส่วนนี้ก็จะเป็นงบลงทุน แต่ถ้าเป็นการเช่าระบบงบส่วนนี้ก็ให้คิดเป็นผลตอบแทน

3.4.1.ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period : PP)

ระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิจากการดำเนินงานมีค่าเท่ากับค่าเงินลงทุนของระบบคือระยะเวลาคืนทุนวิธีนี้จะพิจารณาถึงจำนวนปีที่จะได้รับผลตอบแทนคุ้มกับเงินลงทุน การคำนวณหาระยะเวลาคืนทุนคำนวณได้จากสมการ

$$n = TS / Yi \qquad (3.17)$$

โดยที่ n คือ ระยะเวลาคืนทุน (ปี)

TS คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุน (บาท)

Yi คือ ผลตอบแทนสุทธิเฉลี่ยต่อปี (บาท/ปี)

ค่าใช้จ่ายในการลงทุน = ค่าลงทุนเริ่มแรก + ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ+ค่าไฟฟ้า+ค่าบำรุงรักษา

3.4.2.การหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value ; NPV)

ได้จากผลรวมของผลตอบแทนสุทธิระยะเวลาที่ผลตอบแทนสุทธิที่ปรับค่าของเวลาของโครงการแล้ว เพื่อวัดว่าโครงการที่กำลังพิจารณาจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่า กล่าวคือถ้าค่า NPV ที่ได้มีค่ามากกว่าศูนย์ หรือเป็นบวก จึงจะเป็นการลงทุนที่คุ้มค่าสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$NPV = -k_0 + \left[\frac{b_1-c_1}{(i+1)}\right] + \left[\frac{b_2-c_2}{(i+1)^2}\right] + \left[\frac{b_t-c_t}{(i+1)^n}\right] \qquad (3.18)$$

โดยที่ NPV คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (บาท)

k_0 คือ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนเริ่มแรก (บาท)

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

c_t คือ ค่าใช้จ่ายในในปีที่ 1,2,3..,n (บาท)

i คือ อัตราดอกเบี้ย (%)

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

n คือ อายุโครงการ (ปี)

ในการคำนวณหามูลค่าปัจจุบันอีกทางหนึ่งสามารถหาได้โดยนำค่าใช้จ่ายทั้งสิ้นของโครงการไปหักออกจากผลตอบแทนที่คิดเป็นรายปี เพื่อให้ได้ผลตอบแทนสุทธิหรือกระแสเงินสดในแต่ละปี หลังจากนั้นก็ทำการปรับค่าของเวลา ของกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในแต่ละปีคูณด้วยตัวประกอบมูลค่าเงินปัจจุบัน PWF (Single Payment Present Worth Factor) หรือ $1/(1+i)^n$ ซึ่งค่าของตัวประกอบสามารถหาค่าได้เมื่อทำการปรับค่าของเวลาแล้วจะได้มูลค่าปัจจุบันของผลตอบแทนสุทธิหรือกระแสเงินสดเป็นรายปีและเมื่อรวมทุกปีเข้าด้วยกันจะเป็นมูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ ซึ่งวิธีนี้เรียกว่า วิธีการปรับลดกระแสเงินสด (Discounted Cash Flow Method)

3.4.3.อัตราผลตอบแทนในการลงทุน (Internal Rate of Return ; IRR)

อัตราที่จะให้ผลตอบแทนและค่าใช้จ่ายที่ได้คิดลดเป็นค่าในปัจจุบันเท่านั้นก็คืออัตราผลตอบแทนการลงทุน อัตราที่กล่าวถึงจึงเป็นอัตราความสามารถของเงินลงทุนที่จะก่อให้เกิดรายได้คุ้มกับเงินลงทุนพอดี หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ พิจารณาดูว่าอัตราส่วนลดค่าใดที่จะทำให้มูลค่า

ปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นศูนย์วิธีการหาค่าอัตราผลตอบแทนการลงทุนในที่นี้นำมาพิจารณามี 2 แบบคือ แบบสุ่มค่า (Trial and Error) และแบบหาค่ากลางดังสมการ

$$\text{IRR คือค่าอัตราส่วนลด(r) ที่จะทำให้} \sum_{t=1}^{n} \frac{Bt-Ct}{(i+r)^t} = 0 \qquad (3.19)$$

โดยที่ B_t คือ ผลตอบแทนในปีที่ t, (บาท)

C_t คือ ค่าใช้จ่ายในปีที่ t, (บาท)

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

r คือ อัตราส่วนลด, (%)

สมการคำนวณหาค่า IRR แบบหาค่ากลาง (Interpolation) สามารถหาได้ดังนี้

$$\text{IRR} = \text{อัตราส่วนลดค่าต่ำสุด} + \text{ผลต่างระหว่างอัตราส่วนลดทั้งสอง x (NPVที่ใช้อัตราส่วนลดค่าต่ำสุด} \div \text{ผลต่างNPVที่ใช้อัตราส่วนลดทั้งสอง)} \qquad (3.20)$$

3.4.4.การคำนวณดอกเบี้ย

ในการคำนวณหาอัตราดอกเบี้ยในบทนี้ซึ่งใช้ระบบจ่ายครั้งเดียว (Single Payment System) ระบบนี้จะจ่ายสุดท้ายของปีเป็นเงินต้นบวกดอกเบี้ยโดยมีสมการดังนี้

$$F = P(1+i)^n \qquad (3.21)$$

โดยที่ F คือ จำนวนเงินที่จะได้ (บาท)

P คือ จำนวนเงินต้น (บาท)

i คือ อัตราดอกเบี้ย (บาท)

n คือ จำนวนปี (ปี)

และเนื่องจาก $(1+i)^n$ ถูกเรียกว่า Single – Payment Compound – Amount Factor ค่าของแฟกเตอร์ใช้สัญลักษณ์ (F/P, i% ,n) จะเห็นได้ว่าถ้าทราบเงินต้น อัตราดอกเบี้ย และจำนวนช่วงเวลาสามารถคำนวณหาเงินคืนในปีสุดท้ายได้และในทางกลับกันจากสมการที่ 3.21 ถ้าต้องการหาเงินต้นได้โดยสมการดังนี้

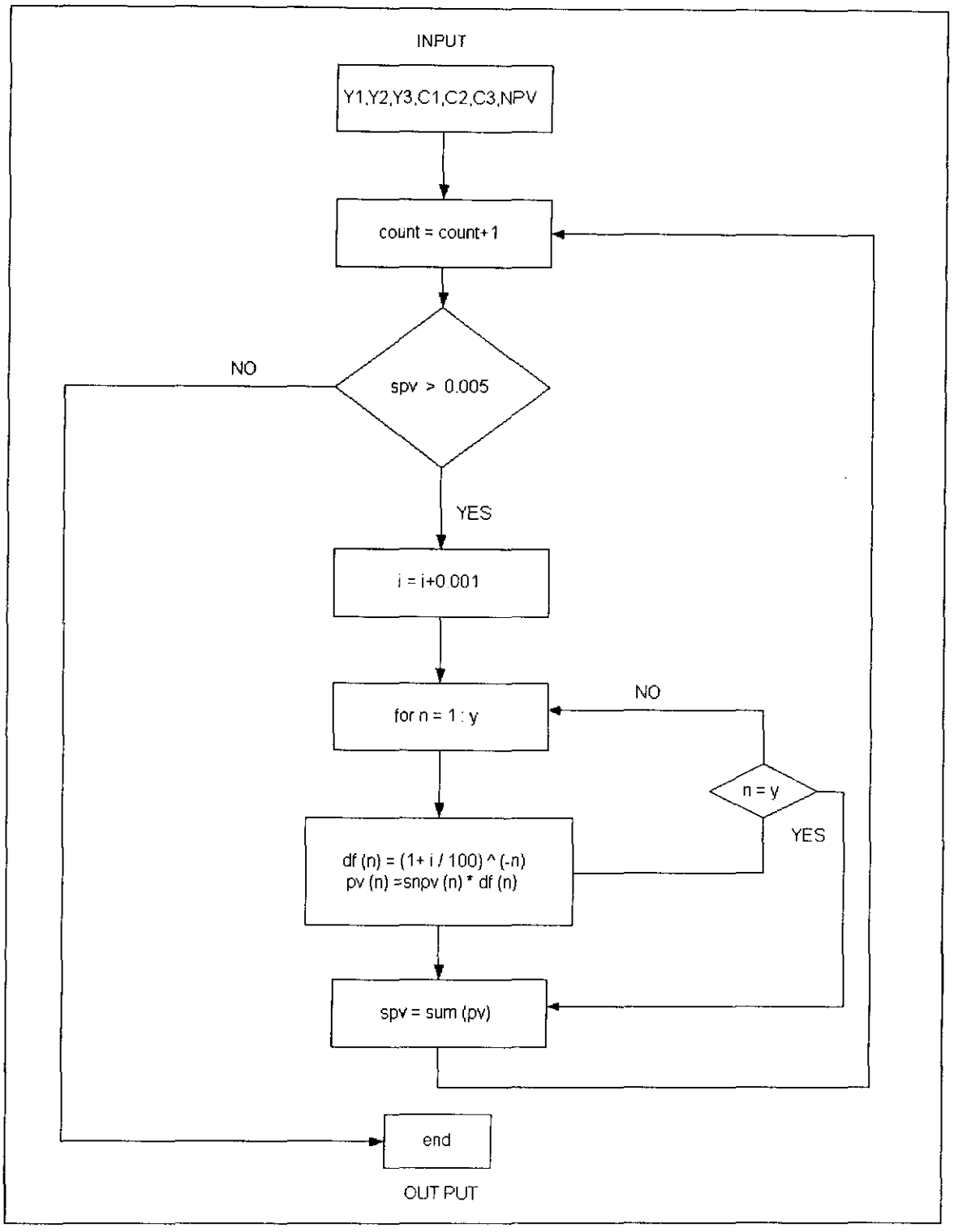
$$P = F \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] \qquad (3.22)$$

โดยที่ $1/(1+i)^n$ ถูกเรียกว่าแฟกเตอร์ Single Payment Present Worth Factor ค่าแฟกเตอร์ใช้สัญลักษณ์แทนว่า (P/F ,i %,n)

บทที่ 4
การออกแบบและวิธีใช้โปรแกรม

4.1 การออกแบบโปรแกรม

ในการออกแบบโปรแกรมนี้จะต้องเป็นโปรแกรมที่ใช้กันทั่วไปในทางวิศวกรรมซึ่งจะเป็นการสะดวกต่อผู้ที่จะนำไปใช้งานและต้องการแก้ไขได้ง่ายต่อการที่จะพัฒนาโปรแกรมต่อไปเมื่อตัวแปรของค่าคงที่เปลี่ยนแปลงไปซึ่งโปรแกรมที่ใช้คือ MATLAB ส่วนที่นำมาใช้ประกอบด้วยสามส่วนด้วยกันคือ 1.Symbolic 2.Fields Object 3.Graphic User Interface โดยการคำนวณหาค่าการวิเคราะห์ที่มีอยู่สามขั้นตอน 1.การวิเคราะห์หาการใช้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศโดยใช้การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการหาตำแหน่งการทำงานที่เหมาะสมโดยค่าที่ได้จะนำไปใช้ในการวิเคราะห์ 2. การวิเคราะห์หาอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีเลือกการคิดค่าไฟฟ้า 3. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้ฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์ ซึ่งผู้ใช้ต้องหาข้อมูลต่างๆมาป้อนลงในตัวโปรแกรมหลังจากนั้นจะได้ทำการคำนวณหาค่าตัวพารามิเตอร์ต่างๆและแสดงให้เห็นในตัวแสดงผลซึ่งจะนำไปเลือกระบบที่เหมาะสมที่สุด



ภาพประกอบ 4.1 แสดงโฟลชาร์ท (Flowchart) ของโปรแกรม

4.2 โครงสร้างของโปรแกรม

4.2.1 อินพุท (Input) สำหรับโปรแกรม

โปรแกรมจะรับค่าต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปัญหาตามที่ได้กล่าวไว้แล้วใน บทที่ 3 ซึ่งค่าอินพุททั้งหมดโปรแกรมจะรับจากการป้อนของผู้ใช้ผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface)

4.2.2 ขอบข่ายการทำงานของโปรแกรม

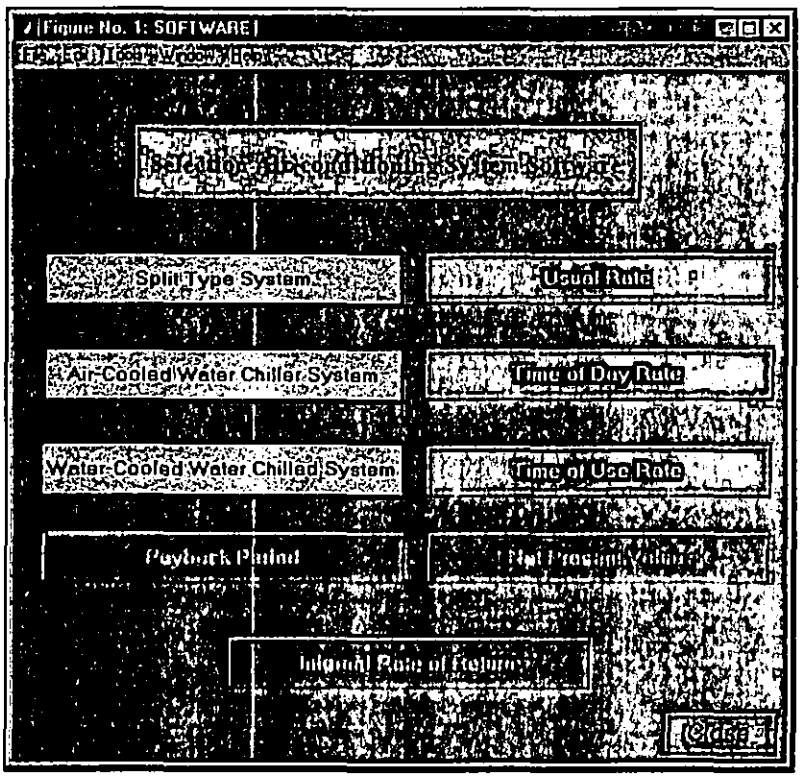
เมื่อโปรแกรมจะรับค่าต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปัญหาตามที่ได้กล่าวไว้แล้วใน บทที่ 3 ซึ่งค่าอินพุททั้งหมดโปรแกรมจะรับจากการป้อนของผู้ใช้ผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) เพื่อนำมาประมวลผล มีอยู่ 10 ส่วนหลักๆ คือ 1.หน้าหลัก (Software) 2.การคำนวณหาการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air-Conditioning System) 3. การคำนวณหาการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) 4. การคำนวณหาการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) 5. การคิดค่าไฟฟ้าอัตราปกติรายเดือน (Usual Rate) 6. การคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของวัน TOD. Rate (Time of Day Rate) 7. การคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ TOU. Rate (Time of Use Rate) 8. การหาระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period) 9.การหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) 10.การหาอัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return)

4.3 วิธีใช้โปรแกรม

ในการใช้โปรแกรมนั้นผู้ใช้ต้องเข้าใจว่า MATLAB นั้นไม่สามารถ Run File ในระบบปฏิบัติการอื่นๆได้เช่น ระบบ DOS (Disk Operating System) หรือระบบ Window ต้องทำการเปิดโปรแกรมหลักของ MATLAB แล้วทำการ Set Path ใน Folder ที่จะทำการ Run File

4.3.1 หน้าต่างที่ 1 ของโปรแกรม

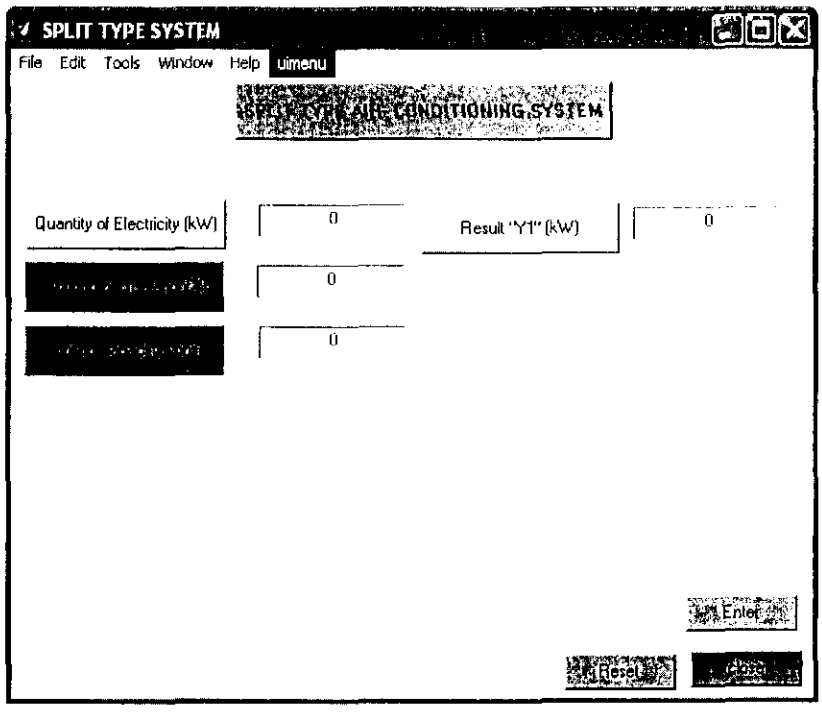
แสดงตัวเลือกสำหรับเลือกชนิดของปัญหาที่จะนำมาวิเคราะห์ซึ่งแบ่งเป็น 9 กรณี คือ 1.Split Type Air-Conditioning System 2. Air Cooled Water Chiller Air-Conditioning System 3. Water Cooled Water Chiller System 4. Usual Rate 5. Time of Day Rate 6. Time of Use Rate 7.Payback Period 8.Net Present Value 9.Internal Rate of Return ดังแสดงในภาพประกอบ 4.2



ภาพประกอบ 4.2 แสดงหน้าต่างที่ 1 ของโปรแกรม

4.3.2 หน้าต่างที่ 2 ของโปรแกรม

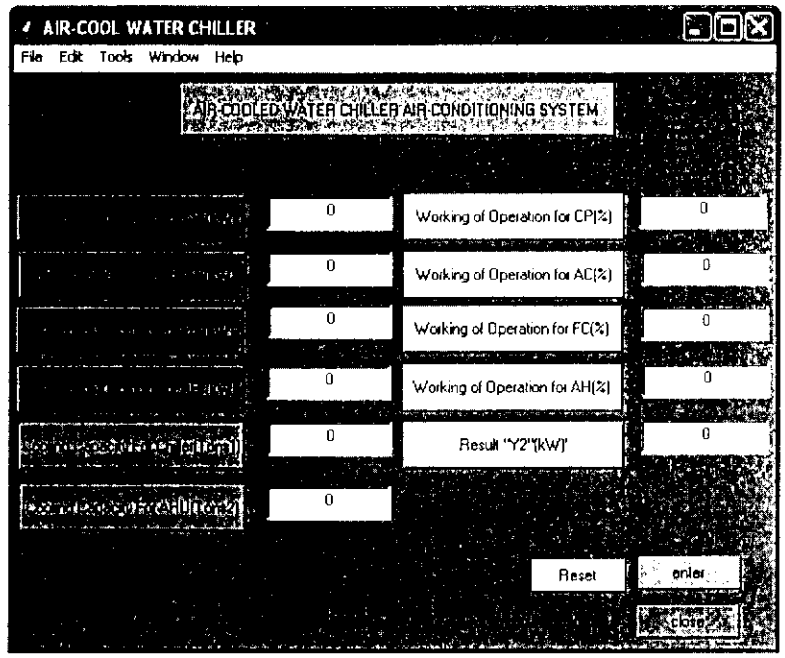
ปัญหากรณีที่ 1 คือ Split Type Air-Conditioning System ดังแสดงในภาพประกอบ 4.3



ภาพประกอบ 4.3 แสดงหน้าต่างที่ 2 ของโปรแกรม

4.3.3 หน้าต่างที่ 3 ของโปรแกรม

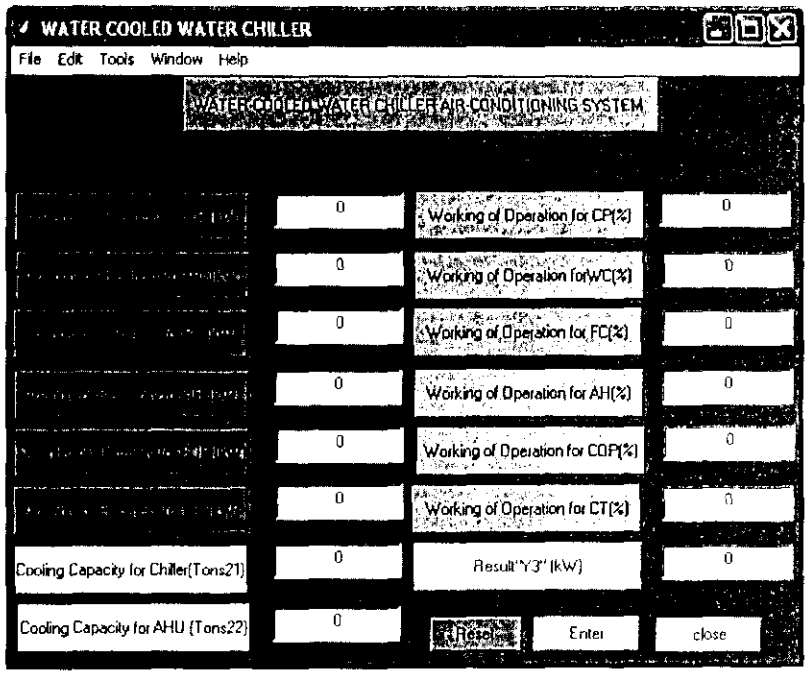
ปัญหากรณีที่ 2 คือ Air Cooled Water Chiller Air-Conditioning System ดังแสดงใน ภาพประกอบ 4.4



ภาพประกอบ 4.4 แสดงหน้าต่างที่ 3 ของโปรแกรม

4.3.4 หน้าต่างที่ 4 ของโปรแกรม

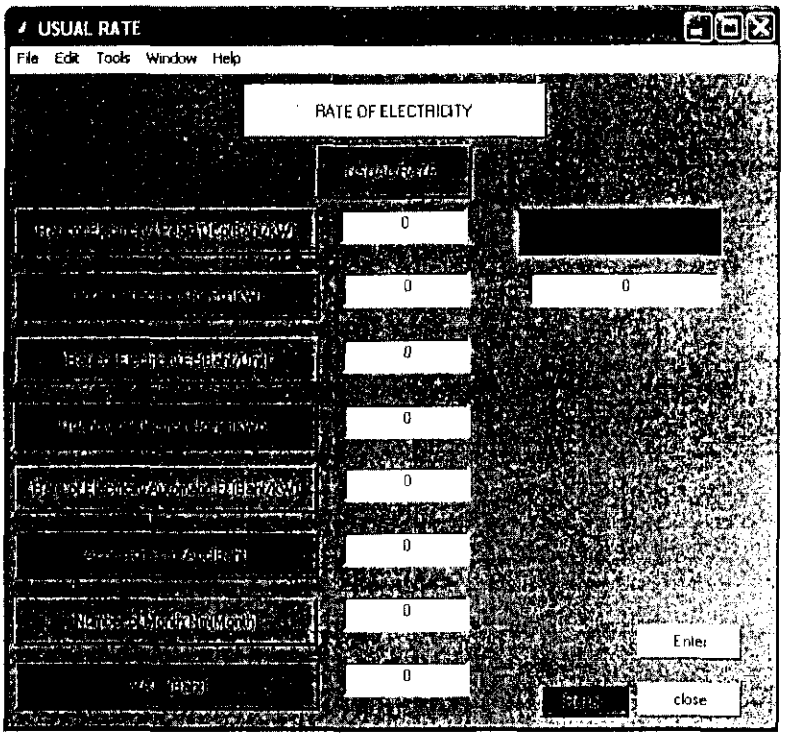
ปัญหากรณีที่ 3.คือ Water Cooled Water Chiller Air-Conditioning System ดังแสดงในภาพประกอบ 4.5



ภาพประกอบ 4.5 แสดงหน้าต่างที่ 4 ของโปรแกรม

4.3.5 หน้าต่างที่ 5 ของโปรแกรม

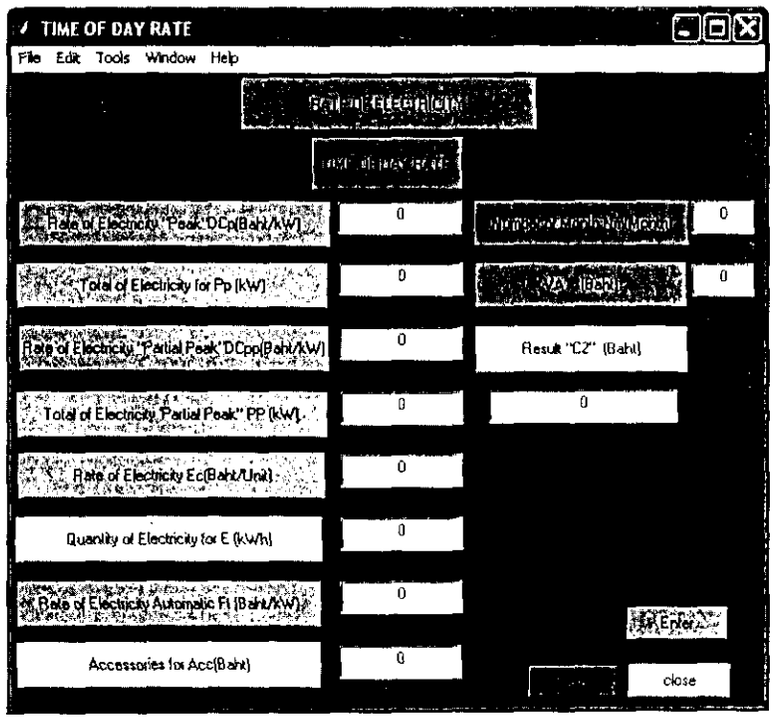
ปัญหากรณีที่ 4 คือ Usual Rate ดังแสดงในภาพประกอบ 4.5



ภาพประกอบ 4.6 แสดงหน้าต่างที่ 5 ของโปรแกรม

4.3.6 หน้าต่างที่ 6 ของโปรแกรม

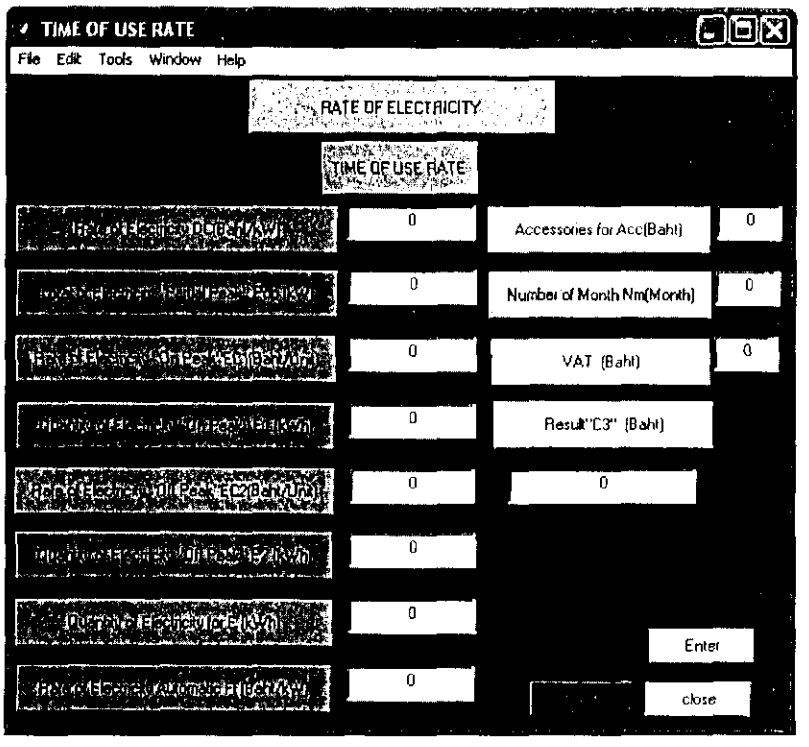
ปัญหากรณีที่ 5 คือ Time of Day Rate ดังแสดงในภาพประกอบ 4.6



ภาพประกอบ 4.7 แสดงหน้าต่างที่ 6 ของโปรแกรม

4.3.7 หน้าต่างที่ 7 ของโปรแกรม

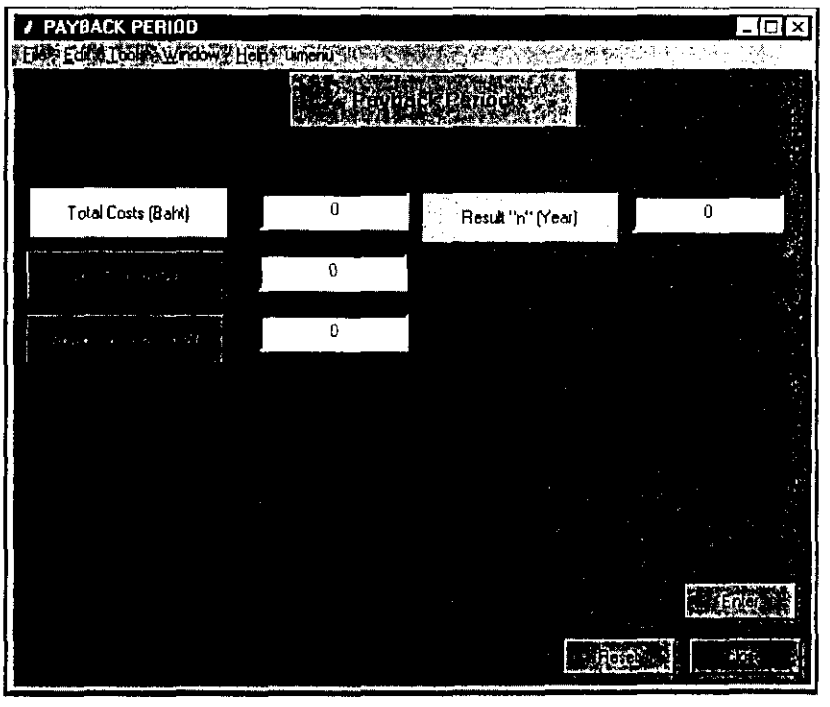
ปัญหากรณีที่ 6 คือ Time of Use Rate ดังแสดงในภาพประกอบ 4.7



ภาพประกอบ 4.8 แสดงหน้าต่างที่ 7 ของโปรแกรม

4.3.7 หน้าต่างที่ 8 ของโปรแกรม

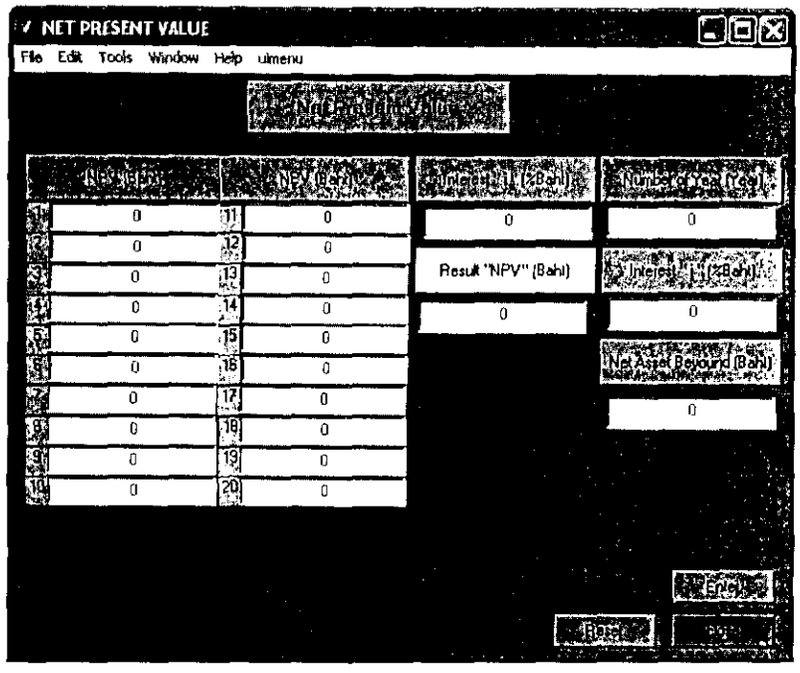
ปัญหากรณีที่ 7 คือ Payback Period ดังแสดงในภาพประกอบ 4.8



ภาพประกอบ 4.9 แสดงหน้าต่างที่ 8 ของโปรแกรม

4.3.8 หน้าต่างที่ 9 ของโปรแกรม

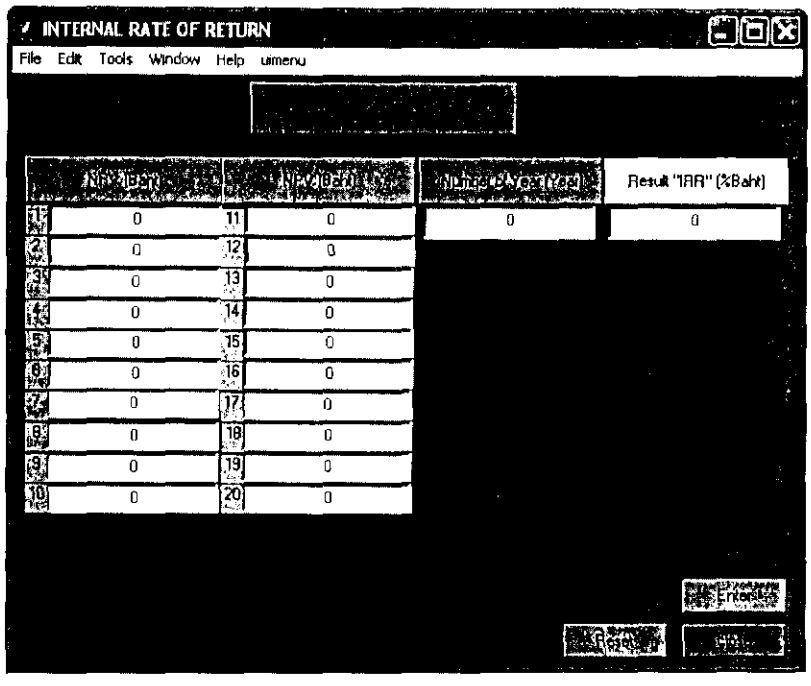
ปัญหากรณีที่ 8 คือ Net Present Value ดังแสดงในภาพประกอบ 4.9



ภาพประกอบ 4.10 แสดงหน้าต่างที่ 9 ของโปรแกรม

4.3.9 หน้าต่างที่ 10 ของโปรแกรม

ปัญหากรณีที่ 9 คือ Internal Rate of Return ดังแสดงในภาพประกอบ 4.10



ภาพประกอบ 4.11 แสดงหน้าต่างที่ 9 ของโปรแกรม

4.4 ตัวอย่างการใช้โปรแกรม

4.4.1 ปัญหากรณีที่ 1

การทดสอบเริ่มจากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air-Conditioning System) ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller Air-conditioning System) ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) ซึ่งเริ่มเดินเครื่องเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด

การทดสอบระบบปรับอากาศทำงานเต็มที่ 100 เปอร์เซ็นต์กรณีติดตั้ง เริ่มด้วยการทดสอบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air-Conditioning System) ตามตัวอย่างการทดสอบดังนี้

ตัวอย่างที่1

ปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบกับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนใช้สมการ

$$Y_1 = [(X_1 + X_2 + X_3) \times (E_{SP} \times L_{SP})] \times \text{Tons} \quad (4.1)$$

สำหรับเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบสมการคือ

$$X_1 + X_2 + X_3 = 1 \quad (4.2)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรดังนี้

$$E_{SP} = 1.5 \quad (4.3)$$

$$L_{SP} = 100\% \quad (4.4)$$

$$\text{Tons} = 1370.75 \quad (4.5)$$

จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 1 ได้ผลลัพธ์การใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 2056.125 กิโลวัตต์

ตัวอย่างที่ 2

ปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบกับระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ ใช้สมการ

$$Y_2 = [(X_{1a} + X_{2a}) \times Tons1 + (X_{3a} + X_{4a}) \times Tons2] \quad (4.6)$$

สำหรับเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบสมการคือ

$$X_{1a} = [E_{CP} \times L_{CP}] \quad (4.7)$$

$$X_{2a} = [E_{AC} \times L_{AC}] \quad (4.8)$$

$$X_{3a} = [E_{FC} \times L_{FC}] \quad (4.9)$$

$$X_{4a} = [E_{AH} \times L_{AH}] \quad (4.10)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรดังนี้

$$E_{CP} = 0.11 \quad (4.11)$$

$$L_{CP} = 83.756\% \quad (4.12)$$

$$E_{AC} = 1.2 \quad (4.13)$$

$$L_{AC} = 83.756\% \quad (4.14)$$

$$E_{FC} = 0.03 \quad (4.15)$$

$$L_{FC} = 100\ \% \quad (4.16)$$

$$E_{AH} = 0.15 \quad (4.17)$$

$$L_{AH} = 100\ \% \quad (4.18)$$

$$Tons1 = 1500 \quad (4.19)$$

$$Tons2 = 1256.34 \quad (4.20)$$

จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 2 ได้ผลลัพธ์การใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 1871.64 กิโลวัตต์

ตัวอย่างที่ 3

ปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบกับระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้สมการ

$$Y_3 = [(X_{1b} + X_{2b} + X_5 + X_6) \times Tons21 + (X_{3b} + X_{4b}) \times Tons22] \quad (4.21)$$

สำหรับเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบสมการคือ

$$X_{1b} = [E_{CP} \times L_{CP}] \quad (4.22)$$

$$X_{2b} = [E_{WC} \times L_{WC}] \quad (4.23)$$

$$X_{3b} = [E_{FC} \times L_{FC}] \quad (4.24)$$

$$X_{4b} = [E_{AH} \times L_{AH}] \quad (4.25)$$

$$X_5 = [E_{COP} \times L_{COP}] \quad (4.26)$$

$$X_6 = [E_{CT} \times L_{CT}] \quad (4.27)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของชองข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรดังนี้

$$E_{CP} = 0.11 \quad (4.28)$$

$$L_{CP} = 83.756\% \quad (4.29)$$

E_{WC} = 0.7 (4.30)

L_{WC} = 83.756% (4.31)

E_{FC} = 0.03 (4.32)

L_{FC} = 100% (4.33)

E_{AH} = 0.15 (4.34)

L_{AH} = 100% (4.35)

E_{COP} = 0.1 (4.36)

L_{COP} = 83.756% (5.37)

E_{CT} = 0.03 (4.38)

L_{CT} = 83.756% (4.39)

Tons21 = 1500 (4.40)

Tons22 = 1256.34 (4.41)

จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 1 ได้ผลลัพธ์การใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 1407.1 กิโลวัตต์

4.4.1 **ปัญหากรณีที่** 2

การทดสอบการคิดค่าไฟฟ้าอัตราปกติรายเดือน (Usual Rate) การคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของวัน TOD. Rate (Time of Day Rate) การคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ TOU. Rate (Time of Use Rate) ตามตัวอย่างการทดสอบดังนี้

ตัวอย่างที่ 4

ปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบกับการคิดค่าไฟฟ้าอัตราปกติรายเดือนของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้สมการ

$$C1 = [[[DC_P \times P_P] + [E_C \times E] + [Ft \times E] + Acc] \times N_M] + VAT \quad (4.42)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรดังนี้

DC_P = 220.56 (4.43)

P_P = 1407.1 (4.44)

E_C = 1.666 (4.45)

E = 260032.08 (4.46)

Ft = 0.2612 (4.47)

VAT = 7% (4.48)

N_M = 12 (4.49)

A_{CC} = 0 (4.50)

อัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยใน 15 นาทีแรกของเดือนให้ใช้ค่าสูงสุดจากการคำนวณ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าให้คิด 22 วันต่อ 1 เดือนทำงานวันละ 12 ชั่วโมงทำงานตั้งแต่เวลา 08.00 ถึง 20.00 น.เว้นวันเสาร์วันอาทิตย์ ระบบทำงานเฉลี่ย 70 เปอร์เซ็นต์

จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 4 ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 10,419,452 บาท

ตัวอย่างที่ 5

ปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบกับการคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของวันของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้สมการ

$$C2 = [[[DC_P x P_P]+[D_{CPP} x (PP-P_P)]+[E_C x E]+[Ft \times E]+A_{CC}] x N_M]+VAT \quad (4.51)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรดังนี้

DC_P = 224.30 (4.52)

DC_{PP} = 29.91 (4.53)

P_P = 1407.1 (4.54)

PP = 1407.1 (4.55)

E_C = 1.666 (4.56)

E = 260032.08 (4.57)

Ft = 0.2612 (4.58)

VAT = 7% (4.59)

N_M = 12 (4.60)

A_{CC} = 0 (4.61)

อัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยใน 15 นาทีแรกของเดือนให้ใช้ค่าสูงสุดจากการคำนวณ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าให้คิด 22 วันต่อ 1 เดือนทำงานวันละ 12 ชั่วโมงทำงานตั้งแต่เวลา 08.00 ถึง 20.00 น.เว้นวันเสาร์วันอาทิตย์ ระบบทำงานเฉลี่ย 70 เปอร์เซ็นต์
จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 5 ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 10,487,023.2 บาท

ตัวอย่างที่ 6

ปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบกับการคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้สมการ

$$C3 = [[[DC \times P_{OP}] + [EC_1 \times E_1] + [EC_2 \times E_2] + [Ft \times E] + A_{CC}] \times N_M] + VAT \quad (4.62)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรดังนี้

DC = 74.14 (4.63)

P_{OP} = 1407.1 (4.64)

E_{C1} = 2.6136 (4.65)

E_{C2} = 1.1726 (4.66)

E_1 = 238362.74 (4.67)

E_2 = 15168.538 (4.68)

E = 253531.27 (4.69)

Ft = 0.2612 (4.70)

VAT = 7% (4.71)

N_M = 12 (4.72)

A_{CC} = 228.17 (4.73)

อัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยใน 15 นาทีแรกของเดือนให้ใช้ค่าสูงสุดจากการคำนวณ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าให้คิด 22 วันต่อ 1 เดือนทำงานวันละ 12 ชั่วโมงทำงานตั้งแต่เวลา 08.00 ถึง 20.00 น.เว้นวันเสาร์วันอาทิตย์ ระบบทำงานเฉลี่ย 70 เปอร์เซ็นต์

จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 6 ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 10,420, 230.31 บาท

4.4.1 ปัญหากรณีที่ 3

การทดสอบการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เริ่มจาก การหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period ; n) การหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value ; NPV) และอัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return ; IRR) ของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำตามตัวอย่างการทดสอบดังนี้

ตัวอย่างที่ 7

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหาค่าระยะเวลาคืนทุนของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้สมการ

n = TS / Yi (4.74)

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรตามตารางดังนี้

ตาราง 4.1 แสดงค่าของตัวแปรต่างๆของการหาระยะเวลาคืนทุน

ปี	ค่าลงทุนเริ่มต้น (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	อัตราค่าไฟฟ้า (บาท)	ผลตอบแทน (บาท)	ผลตอบแทนสุทธิ (บาท)
1	62,020,138	144,000	142,770	10,420,230.31	37,707,000.31	-35,020,138
2	0	151,200	142,770	10,420,230.31	37,714,200.31	27,000,000
3	0	158,760	142,770	10,420,230.31	37,721,760.31	27,000,000
4	0	166,698	142,770	10,420230.31	37,729,698.31	27,000,000
5	0	175,032.90	142,770	10,420,230.31	37,738,033.21	27,000,000
6	0	183,784.55	142,770	10,420,230.31	37,746,784.86	27,000,000
7	0	192,973.77	142,770	10,420,230.31	37,755,974.08	27,000,000
8	0	202,622.46	142,770	10,420,230.31	37,765,622.77	27,000,000
9	0	212,753.58	142,770	10,420,230.31	37,775,753.89	27,000,000
10	0	223,391.26	142,770	10,420,230.31	37,786,391.57	27,000,000
11	0	234,560.83	142,770	10,420,230.31	37,797,561.14	27,000,000
12	0	246,288.87	142,770	10,420,230.31	37,809,289.18	27,000,000
13	0	258,603.31	142,770	10,420,230.31	37,821,603.62	27,000,000
14	0	271,533.48	142,770	10,420,230.31	37,834,533.79	27,000,000
15	0	285,110.15	142,770	10,420,230.31	37,848,110.46	27,000,000
รวม	62,020,138	3,107,313.16	2,141,550	156,303,454.7	566,552,317.8	342,979,862
ค่าใช้จ่ายในการลงทุน TS =			22,3572,455.8	ผลตอบแทนสุทธิ =		342,979,862

จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 7 ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 9.78ปี

ตัวอย่างที่ 8

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้สมการ

$$NPV = -k_0 + \left[\frac{b_1-c_1}{(i+1)} \right] + \left[\frac{b_2-c_2}{(i+1)^2} \right] + \left[\frac{b_t-c_t}{(i+1)^n} \right] .... \quad (4.75)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรตามตารางดังนี้

ตาราง 4.2 แสดงค่าของตัวแปรต่างๆของการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนการลงทุน

ปี	ค่าลงทุนเริ่มต้น (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	อัตราค่าไฟฟ้า (บาท)	ผลตอบแทน (บาท)	ผลตอบแทนสุทธิ (บาท)
1	62,020,138	144,000	142,770	10,420,230.31	37,707,000.31	-35,020,138
2	0	151,200	142,770	10,420,230.31	37,714,200.31	27,000,000
3	0	158,760	142,770	10,420,230.31	37,721,760.31	27,000,000
4	0	166,698	142,770	10,420,230.31	37,729,698.31	27,000,000
5	0	175,032.90	142,770	10,420,230.31	37,738,033.21	27,000,000
6	0	183,784.55	142,770	10,420,230.31	37,746,784.86	27,000,000
7	0	192,973.77	142,770	10,420,230.31	37,755,974.08	27,000,000
8	0	202,622.46	142,770	10,420,230.31	37,765,622.77	27,000,000
9	0	212,753.58	142,770	10,420,230.31	37,775,753.89	27,000,000
10	0	223,391.26	142,770	10,420,230.31	37,786,391.57	27,000,000
11	0	234,560.83	142,770	10,420,230.31	37,797,561.14	27,000,000
12	0	246,288.87	142,770	10,420,230.31	37,809,289.18	27,000,000
13	0	258,603.31	142,770	10,420,230.31	37,821,603.62	27,000,000
14	0	271,533.48	142,770	10,420,230.31	37,834,533.79	27,000,000
15	0	285,110.15	142,770	10,420,230.31	37,848,110.46	27,000,000
รวม	62,020,138	3,107,313.16	2,141,550	156,303,454.7	566,552,317.8	342,979,862
อัตราดอกเบี้ย TS = 8.5 %				ทรัพย์สินคงเหลือ =		263,171.18

จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 8 ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 167,130,379.2บาท

ตัวอย่างที่ 9

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหาอัตราผลตอบแทนการลงทุนของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้สมการ

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{Bt-Ct}{(i+r)^t} = 0 \qquad (4.76)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรตามตารางดังนี้ จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 9 ได้ผลลัพธ์เป็นดอกเบี้ยเท่ากับ 77.08 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 5
การทดสอบโปรแกรมและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

5.1 ประเภทของระบบที่จะนำมาทดสอบ

บทนี้กล่าวถึงระบบที่จะนำมาทดสอบซึ่งได้ทำการออกแบบไว้ อยู่ในรูปของแบบแปลนการก่อสร้าง จะมีระบบปรับอากาศหนึ่งระบบส่วนอีกสองระบบต้องทำการออกแบบมาใหม่ ในแต่ละระบบมีคุณสมบัติที่ต้องนำมาใช้ดังนี้

5.1.1 **ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน** *(Spilt Type Air-Conditioning System)*

มีรายละเอียดคุณสมบัติต่างๆดังนี้

1. ปริมาณการทำความเย็นซึ่งเป็นการทำความเย็นของต่อละห้องหรือแต่ละโซน
2. จำนวนชุดของเครื่องปรับอากาศจะบอกถึงขนาดของเครื่องปรับอากาศแต่ละขนาดว่ามีจำนวนเท่าใด
3. รายการอุปกรณ์ระบบไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ เช่นขนาดสายไฟฟ้า,ท่อร้อยสายไฟฟ้า , ขนาดของสะพานไฟ (Circuit Breaker)

5.1.2 **ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ** (Air Cooled Water Chiller Air-Conditioning System)

มีรายละเอียดคุณสมบัติต่างๆดังนี้

1. ปริมาณการทำความเย็นซึ่งเป็นการทำความเย็นของต่อละห้องหรือแต่ละโซน
2. จำนวนชุดของ Fan Coil Unit และ Air Handling Unit จะบอกถึงขนาดของเครื่องแต่ละขนาดว่ามีจำนวนเท่าใด
3. ขนาดและจำนวนของเครื่องทำน้ำเย็น
4. ชนิดของ Compressor
5. ขนาด , ชนิดและจำนวนของเครื่องสูบน้ำ
6. อัตราการไหลของน้ำ
7. ความดันสูงสุดของน้ำในระบบ

5.1.3 **ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ** *(Water Cooled Water Chiller Air-Conditioning System)*

มีรายละเอียดคุณสมบัติต่างๆดังนี้

1. ปริมาณการทำความเย็นซึ่งเป็นการทำความเย็นของต่อละห้องหรือแต่ละโซน

2. จำนวนชุดของ Fan Coil Unit และ Air Handling Unit จะบอกถึงขนาดของเครื่องแต่ละขนาดว่ามีจำนวนเท่าใด

3. ขนาดและจำนวนของเครื่องทำน้ำเย็น

4. ชนิดของ Compressor

5. ขนาด , ชนิดและจำนวนของเครื่องสูบน้ำ

6. อัตราการไหลของน้ำ

7. ความดันสูงสุดของน้ำในระบบ

8. จำนวนและขนาดของหอผึ่งน้ำ

5.2 รายละเอียดที่ใช้ในการทดสอบหาการใช้ปริมาณไฟฟ้าของระบบ

ในการทดสอบต้องทำการทดสอบจากแบบแปลนของระบบปรับอากาศที่ได้ออกแบบไว้หรือเป็นแบบแปลนที่ยังไม่ได้ออกแบบไว้ซึ่งจะต้องออกแบบใหม่ทั้งสามระบบเพื่อนำมาทดสอบเปรียบเทียบกัน

5.2.1รายละเอียดระบบปรับอากาศซึ่งเป็นแบบระบบปรับอากาศของอาคารหอสมุดมหาวิทยาลัยมหิดลหมายเลขแบบ M.4231

5.2.1.1 เป็นระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air-conditioning System) หมายเลขแบบ M.4231 มีรายละเอียดคุณสมบัติต่างๆตามแบบแปลนดังนี้ดังนี้

ตาราง 5.1 แสดง Split Type Air – Conditioning System Performance & Specification

Symbol	CDU-AHU & CDU-FCU
Quantity (Sets)	67
Total Capacity (Tons)	1370.75
Refrigerant	R22

5.2.2.2 เป็นระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) หมายเลขแบบ M.4026 มีรายละเอียดคุณสมบัติต่างๆตามแบบแปลนดังนี้ดังนี้

ตาราง 5.2 แสดง Chillers Performance & Specification

Symbol	ACH-1, ACH-2,ACH-3
Quantity (Sets)	3
Compressor Type	Hermetic Centrifugal
Refrigerant	R123 or R12
Cooling Capacity (Tons)	500
Power Consumption (kW/ton)	1.2
Condenser	Air-Cooled
Cooler/Condenser Working Pressure (PSIG)	175
Chilled Water Temperature ENT/LEA (^{O}F)	54/44
Condenser Water Temperature ENT/LEA (^{O}F)	90/100
Start Type	Wye/Delta
Electrical System	380/3/50

ตาราง 5.3 แสดง Chilled Water Pump Performance & Specification

System For	Chilled Water Pump
Symbol	CHP-1,CHP-2,CHP-3,CHP-4
Quantity (Sets)	4
Water Flow Rate.(US.GPM)	1,200
Total Dynamics Head (FT.of Water)	160
Minimum Efficiency(%)	70
Working Pressure (PSIG)	175
Motor Size (HP.)	75
Motor Starter	Wye/Delta
Electrical System	380/3/50

ตาราง 5.4 แสดง Fan Coil Unit & Air Handling Unit Performance & Specification

Symbol	FC, AHU
Fan Coil Unit Total Capacity (Tons)	24.67
Air Handling Unit Total Capacity (Tons)	1231.67

5.2.2.3 เป็นระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) หมายเลขแบบ M.4026 มีรายละเอียดคุณสมบัติต่างๆตามแบบแปลนดังนี้ดังนี้

ตาราง 5.5 แสดง Chillers Performance & Specification

Symbol	CH-1, CH-2, CH-3
Quantity (Sets)	3
Compressor Type	Hermetic Centrifugal
Refrigerant	R123
Cooling Capacity (Tons)	500
Power Consumption (kW/ton)	0.70
Chiller Water/Condenser Water QTY.(US.GPM)	1200/1500
Cooler/Condenser Working Pressure (PSIG)	175
Chilled Water Temperature ENT/LEA (^{O}F)	54/44
Condenser Water Temperature ENT/LEA (^{O}F)	90/100
Start Type	Wye /Delta
Electrical System	380/3/50

ตาราง 5.6 แสดง Cooling Tower Performance & Specification

Symbol	SCT-1, SCT-2, SCT-3
Quantity (Sets)	3
Condenser Water QTY.(US.GPM)	1600
Condenser Water Temperature (^{O}F)	100/90
Ambient Condition Temperature (^{O}F db / ^{O}F wb)	95/83
Motor Size (HP.)	10
Motor Starter	Wye/Delta
Electrical System	380/3/50

ตาราง 5.7 แสดง Condenser and Chilled Water Pump Performance & Specification

System For	Condenser Water Pump	Chilled Water Pump
Symbol	CDP-1, CDP-2,CDP-3,CDP-4	CHP-1, CHP-2, CHP-3, CHP-4
Quantity (Sets)	4	4
Water Flow Rate.(US.GPM)	1,500	1,200
Total Dynamics Head (FT.Of Water)	100	160
Minimum Efficiency (%)	70	70
Working Pressure (PSIG)	175	175
Motor Size (HP.)	60	75
Motor Starter	Wye/Delta	Wye/Delta
Electrical System	380/3/50	380/3/50

ตาราง 5.8 แสดง Fan Coil Unit & Air Handling Unit Performance & Specification

Symbol	FC , AHU
Fan Coil Unit Total Capacity (Tons)	24.67
Air Handling Unit Total Capacity (Tons)	1231.67

5.3 ประเภทของปัญหาที่นำมาทำการทดสอบ

การทดสอบอาจกระทำได้หลายกรณีแล้วแต่การออกแบบระบบปรับอากาศทั้งสามระบบซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ออกแบบเอง ในที่นี้จะทดสอบกับระบบปรับอากาศทั้ง 3 ระบบคือ

กรณีที่ 1: ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air- Conditioning System)

กรณีที่ 2: ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller Air- Conditioning System)

กรณีที่ 3: ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ

(Water Cooled Water Chiller Air - Conditioning System)

โดยทำการทดสอบและหาผลเปรียบเทียบของระบบปรับอากาศแต่ละระบบที่จะใช้ในการตัดสินใจเลือกระบบที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งระบบดังกล่าว

5.3.1 **การทดสอบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน.**

การทดสอบเริ่มด้วยการทดสอบระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air-Conditioning System) ตามตัวอย่างการทดสอบดังนี้

ตัวอย่างที่1

ปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบกับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนใช้สมการ

$$Y_1 = [(X_1 + X_2 + X_3) \times (E_{SP} \times L_{SP})] \times \text{Tons} \quad (5.1)$$

สำหรับเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบสมการคือ

$$X_1 + X_2 + X_3 = 1 \quad (5.2)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของอินพุท (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data)มีค่าตัวแปรดังนี้

$$E_{SP} = 1.5 \quad (5.3)$$

$$L_{SP} = 100\% \quad (5.4)$$

$$\text{Tons} = 1{,}370.75 \quad (5.5)$$

จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 1 ได้ผลลัพธ์การใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 2056.125 กิโลวัตต์

ตัวอย่างที่ 2

ปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบกับระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนคือ การคิดค่าไฟฟ้า ใช้สามรูปแบบในการคิดคำนวณหาคือ การคิดค่าไฟฟ้าอัตราปกติรายเดือน การคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของวัน และการคิดค่าไฟฟ้าอัตราช่วงเวลาของการใช้ เลือกอัตราใดอัตราหนึ่งมาทำการคิดและนำค่าต่างๆในตารางในบทที่ 3 ในการทดสอบนี้เป็นหน่วยงานที่ไม่ต้องการผลกำไรแต่การคิดเลือกการคิดแบบอัตราช่วงเวลาของการใช้เพื่อใช้ทดสอบเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าที่เหมือนองค์กรอื่นเพื่อให้เห็นการสภาพการใช้ไฟฟ้าที่แท้จริง ตามค่าตัวแปรของการไฟฟ้านครหลวงซึ่งระบบการจ่ายไฟของการไฟฟ้านครหลวง จ่ายไฟให้กับผู้ใช้สำหรับโครงการจะมีแรงดันไฟฟ้า 12,000 หรือ 24,000 โวลต์ 3 เฟส 3 สาย โดยผ่านอุปกรณ์ตัดตอนไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแรงดัน 380/220 โวลต์ 3 เฟส 4 สาย สำหรับการเลือกระบบแรงดันในการนำมาคิดคำนวณให้ดูขนาดของหม้อแปลงตามตารางในบทที่ 3 คือ

1.ระบบแรงดันไฟฟ้า 24 kV.ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (Load) เกิน 20,000 kVA.เลือกแรงดัน 69 kV.ขึ้นไป

2. ระบบแรงดันไฟฟ้า 12 kV.หรือ 24 kV. ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (Load) เกินกว่า 10,000 kVA. แต่ไม่เกิน 20,000 kVA.เลือกแรงดัน 12-24 kV.

3.ระบบแรงดันไฟฟ้า 12 kV. ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (Load) ไม่เกิน 10,000 kVA.เลือกแรงดันต่ำกว่า12 kV.

ซึ่งเป็นไปดังสมการ

$$C3 = [[[DC \times P_{OP}] + [EC_1 \times E_1] + [EC_2 \times E_2] + [Ftx E] + A_{CC}] \times N_M] + VAT \quad (5.6)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรดังนี้

$$DC = 74.14 \quad (5.7)$$

$$P_{OP} = 2{,}056.125 \quad (5.8)$$

E_{C1} = 2.6136 (5.9)

E_{C2} = 1.1726 (5.10)

E_1 = 348,307.57 (5.11)

E_2 = 31,664.325 (5.12)

E = 379,971.89 (5.13)

Ft = 0.2612 (5.14)

VAT = 7% (5.15)

N_M = 12 (5.16)

A_{CC} = 228.17 (5.17)

อัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยใน 15 นาทีแรกของเดือนให้ใช้ค่าสูงสุดจากการคำนวณ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าให้คิด 22 วันต่อ 1 เดือนทำงานวันละ 12 ชั่วโมงทำงานตั้งแต่เวลา 08.00 ถึง 20.00 น.เว้นวันเสาร์วันอาทิตย์ ระบบทำงานเฉลี่ย 70 เปอร์เซ็นต์

จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 2 ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 15,400, 092.97 บาท

ตัวอย่างที่ 3

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหาระยะเวลาคืนทุนของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ใช้สมการ

n = TS / Yi (5.18)

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรตามตารางดังนี้

ตาราง 5.9 แสดงค่าของตัวแปรต่างๆของการหาระยะเวลาคืนทุน

ปี	ค่าลงทุนเริ่มต้น (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	อัตราค่าไฟฟ้า (บาท)	ผลตอบแทน (บาท)	ผลตอบแทนสุทธิ (บาท)
1	45,161,771	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	-20,488,271
2	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
3	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
4	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
5	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
6	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
7	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
รวม	45,161,771	0	3,078,033.00	107,800,650.8	283,593,183.8	127,552,729
ค่าใช้จ่ายในการลงทุน TS =			156,040,454.8	ผลตอบแทนสุทธิ =		127,552,729

จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 3 ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 8.56 ปี

ตัวอย่างที่ 4

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ใช้สมการ

$$NPV = -k_0 + \left[\frac{b_1-c_1}{(i+1)} \right] + \left[\frac{b_2-c_2}{(i+1)^2} \right] + \left[\frac{b_n-c_t}{(i+1)^n} \right] .... \quad (5.19)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรตามตารางดังนี้

ตาราง 5.10 แสดงค่าของตัวแปรต่างๆของการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนการลงทุน

ปี	ค่าลงทุนเริ่มต้น (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	อัตราค่าไฟฟ้า (บาท)	ผลตอบแทน (บาท)	ผลตอบแทนสุทธิ (บาท)
1	45,161,771	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	-20,488,271
2	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
3	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
4	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
5	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
6	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
7	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
รวม	45,161,771	0	3,078,033	107,800,650.8	283,593,183.8	127,552,729
อัตราดอกเบี้ย TS = 8.5 %				ทรัพย์สินคงเหลือ =		75,110

จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 4 ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 84,710,322.8บาท

ตัวอย่างที่ 5

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหาอัตราผลตอบแทนการลงทุนของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ใช้สมการ

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{Bt-Ct}{(i+r)^t} = 0 \qquad (5.20)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรตามตารางดังนี้ จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 5 ได้ผลลัพธ์เป็นดอกเบี้ยเท่ากับ 119.35 เปอร์เซ็นต์

5.3.1 การทดสอบระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ

ตัวอย่างที่ 6

ปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบกับระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ ใช้สมการ

$$Y_2 = [(X_{1a} + X_{2a}) \times Tons1 + (X_{3a} + X_{4a}) \times Tons2] \quad (5.21)$$

สำหรับเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบสมการคือ

$$X_{1a} = [E_{CP} \times L_{CP}] \quad (5.22)$$

$$X_{2a} = [E_{AC} \times L_{AC}] \quad (5.23)$$

$$X_{3a} = [E_{FC} \times L_{FC}] \quad (5.24)$$

$$X_{4a} = [E_{AH} \times L_{AH}] \quad (5.25)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของมูลที่ใส (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรดังนี้

$$E_{CP} = 0.11 \quad (5.26)$$

$$L_{CP} = 83.756\% \quad (5.27)$$

$$E_{AC} = 1.2 \quad (5.28)$$

$$L_{AC} = 83.756\% \quad (5.29)$$

$$E_{FC} = 0.03 \quad (5.30)$$

$$L_{FC} = 100\ \% \quad (5.31)$$

$$E_{AH} = 0.15 \quad (5.32)$$

L_{AH} = 100 % (5.33)

Tons1 = 1,500 (5.34)

Tons2 = 1,256.34 (5.35)

จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 6 ได้ผลลัพธ์การใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 1871.64 กิโลวัตต์

ตัวอย่างที่ 7

ปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบกับระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ คือการคิดค่าไฟฟ้า ใช้สามรูปแบบในการคิดคำนวณหาคือ การคิดค่าไฟฟ้าอัตราปกติรายเดือน การคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของวัน และการคิดค่าไฟฟ้าอัตราช่วงเวลาของการใช้เลือกอัตราใดอัตราหนึ่ง มาทำการคิดและนำค่าต่างๆในตารางในบทที่ 3 ในการทดสอบนี้เป็นหน่วยงานที่ไม่ต้องการผลกำไรแต่การคิดเลือกการคิดแบบอัตราช่วงเวลาของการใช้เพื่อใช้ทดสอบเปรียบเทียบการใช้ไฟฟ้าที่เหมือนองค์กรอื่นเพื่อให้เห็นการสภาพการใช้ไฟฟ้าที่แท้จริง ตามค่าตัวแปรของการไฟฟ้านครหลวงซึ่งระบบการจ่ายไฟของการไฟฟ้านครหลวง จ่ายไฟให้กับผู้ใช้สำหรับโครงการจะมีแรงดันไฟฟ้า 12,000หรือ 24,000 โวลต์ 3 เฟส 3 สาย โดยผ่านอุปกรณ์ตัดตอนไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นแรงดัน 380/220 โวลต์ 3 เฟส 4 สาย สำหรับการเลือกระบบแรงดันในการนำมาคิดคำนวณให้ดูขนาดของหม้อแปลงตามตารางในบทที่ 3 คือ

1.ระบบแรงดันไฟฟ้า 24 kV.ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (Load) เกิน 20,000 kVA.เลือกแรงดัน 69 kV.ขึ้นไป

2. ระบบแรงดันไฟฟ้า 12 kV.หรือ 24 kV. ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (Load) เกินกว่า 10,000 kVA. แต่ไม่เกิน 20,000 kVA.เลือกแรงดัน 12-24 kV.

3.ระบบแรงดันไฟฟ้า 12 kV. ปริมาณการใช้ไฟฟ้า (Load) ไม่เกิน 10,000 kVA.เลือกแรงดันต่ำกว่า12 kV.

ซึ่งเป็นไปดังสมการ

$$C3 = [[[DCxP_{OP}]+[EC_1xE_1]+[EC_2xE_2]+[FtxE]+A_{CC}]xN_M]+VAT \quad (5.36)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรดังนี้

$DC = 74.14$ (5.37)

$P_{OP} = 1,871.64$ (5.38)

$E_{C1} = 2.6136$ (5.39)

$E_{C2} = 1.1726$ (5.40)

$E_1 = 317,055.81$ (5.41)

$E_2 = 28,823.26$ (5.42)

$E = 345,879.07$ (5.43)

$Ft = 0.2612$ (5.44)

$VAT = 7\%$ (5.45)

$N_M = 12$ (5.46)

$A_{CC} = 228.17$ (5.47)

อัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยใน 15 นาทีแรกของเดือนให้ใช้ค่าสูงสุดจากการคำนวณ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าให้คิด 22 วันต่อ 1 เดือนทำงานวันละ 12 ชั่วโมงทำงานตั้งแต่เวลา 08.00 ถึง 20.00 น.เว้นวันเสาร์วันอาทิตย์ ระบบทำงานเฉลี่ย 70 เปอร์เซ็นต์

จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 7 ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 14,018, 588.638 บาท

ตัวอย่างที่ 8

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหาระยะเวลาคืนทุนของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ ใช้สมการ

$n = TS / Yi$ (5.48)

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรตามตารางดังนี้

ตาราง 5.11 แสดงค่าของตัวแปรต่างๆของการหาระยะเวลาคืนทุน

ปี	ค่าลงทุนเริ่มต้น (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	อัตราค่าไฟฟ้า (บาท)	ผลตอบแทน (บาท)	ผลตอบแทนสุทธิ (บาท)
1	61,481,788	144,000	30,000	14,018,588.64	41,192,588.64	-34,481,788
2	0	151,200	30,000	14,018,588.64	41,199,788.64	27,000,000
3	0	158,760	30,000	14,018,588.64	41,207,348.64	27,000,000
4	0	166,698	30,000	14,018,588.64	41,215,286.64	27,000,000
5	0	175,032.9	30,000	14,018,588.64	41,223,621.54	27,000,000
6	0	183,784.55	30,000	14,018,588.64	41,232,373.18	27,000,000
7	0	192,973.77	30,000	14,018,588.64	41,241,562.41	27,000,000
8	0	202,622.46	30,000	14,018,588.64	41,251,211.1	27,000,000
9	0	212,753.58	30,000	14,018,588.64	41,261,342.22	27,000,000
10	0	223,391.26	30,000	14,018,588.64	41,271,979.9	27,000,000
11	0	234,560.83	30,000	14,018,588.64	41,283,149.46	27,000,000
12	0	246,288.87	30,000	14,018,588.64	41,294,877.51	27,000,000
13	0	258,603.31	30,000	14,018,588.64	41,307,191.95	27,000,000
14	0	271,533.48	30,000	14,018,588.64	41,320,122.11	27,000,000
15	0	285,110.15	30,000	14,018,588.64	41,333,698.79	27,000,000
รวม	61,481,788	3,107,313.16	450,000	210,278,829.6	618,836,142.7	343,518,212
ค่าใช้จ่ายในการลงทุน TS =			27,5317,930.7	ผลตอบแทนสุทธิ =		343,518,212

จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 8 ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 12 ปี

ตัวอย่างที่ 9

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ ใช้สมการ

$$NPV = -k_0 + \left[\frac{b_1-c_1}{(i+1)} \right] + \left[\frac{b_2-c_2}{(i+1)^2} \right] + \left[\frac{b_t-c_t}{(i+1)^n} \right] .... \quad (5.49)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรตามตารางดังนี้

ตาราง 5.12 แสดงค่าของตัวแปรต่างๆของการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนการลงทุน

ปี	ค่าลงทุนเริ่มต้น (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	อัตราค่าไฟฟ้า (บาท)	ผลตอบแทน (บาท)	ผลตอบแทนสุทธิ (บาท)
1	61,481,788	144,000	30,000	14,018,588.64	41,192,588.64	-34,481,788
2	0	151,200	30,000	14,018,588.64	41,199,788.64	27,000,000
3	0	158,760	30,000	14,018,588.64	41,207,348.64	27,000,000
4	0	166,698	30,000	14,018,588.64	41,215,286.64	27,000,000
5	0	175,032.90	30,000	14,018,588.64	41,223,621.54	27,000,000
6	0	183,784.55	30,000	14,018,588.64	41,232,373.18	27,000,000
7	0	192,973.77	30,000	14,018,588.64	41,241,562.41	27,000,000
8	0	202,622.46	30,000	14,018,588.64	41,251,211.1	27,000,000
9	0	212,753.58	30,000	14,018,588.64	41,261,342.22	27,000,000
10	0	223,391.26	30,000	14,018,588.64	41,271,979.9	27,000,000
11	0	234,560.83	30,000	14,018,588.64	41,283,149.46	27,000,000
12	0	246,288.87	30,000	14,018,588.64	41,294,877.51	27,000,000
13	0	258,603.31	30,000	14,018,588.64	41,307,191.95	27,000,000
14	0	271,533.48	30,000	14,018,588.64	41,320,122.11	27,000,000
15	0	285,110.15	30,000	14,018,588.64	41,333,698.79	27,000,000
รวม	61,481,788	3,107,313.16	450,000	210,278,829.6	618,836,142.7	343,518,212
อัตราดอกเบี้ย TS = 8.5 %				ทรัพย์สินคงเหลือ =		178,676.28

จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 9 ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 167,601,700.97บาท

ตัวอย่างที่ 10

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหาอัตราผลตอบแทนการลงทุนของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ ใช้สมการ

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{Bt-Ct}{(i+r)^t} = 0 \qquad (5.50)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรตามตารางดังนี้ จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 10 ได้ผลลัพธ์เป็นดอกเบี้ยเท่ากับ 78.28 เปอร์เซ็นต์

5.3.3 การทดสอบระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ

ตัวอย่างที่ 11

ปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบกับระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้สมการ

$$Y_3 = [(X_{1b} + X_{2b} + X_5 + X_6) \times Tons21 + (X_{3b} + X_{4b}) \times Tons22] \qquad (5.51)$$

สำหรับเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบสมการคือ

$$X_{1b} = [E_{CP} \times L_{CP}] \qquad (5.52)$$

$$X_{2b} = [E_{WC} \times L_{WC}] \qquad (5.53)$$

$$X_{3b} = [E_{FC} \times L_{FC}] \qquad (5.54)$$

$$X_{4b} = [\ E_{AH} \times L_{AH}\ ] \quad (5.55)$$

$$X_5 = [\ E_{COP} \times L_{COP}\ ] \quad (5.56)$$

$$X_6 = [\ E_{CT} \times L_{CT}\ ] \quad (5.57)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรดังนี้

$$E_{CP} = 0.11 \quad (5.58)$$

$$L_{CP} = 83.756\% \quad (5.59)$$

$$E_{WC} = 0.7 \quad (5.60)$$

$$L_{WC} = 83.756\% \quad (5.61)$$

$$E_{FC} = 0.03 \quad (5.62)$$

$$L_{FC} = 100\% \quad (5.63)$$

$$E_{AH} = 0.15 \quad (5.64)$$

$$L_{AH} = 100\% \quad (5.65)$$

$$E_{COP} = 0.1 \quad (5.66)$$

$$L_{COP} = 83.756\% \quad (5.67)$$

$$E_{CT} = 0.03 \quad (5.68)$$

$$L_{CT} = 83.756\% \quad (5.69)$$

$$Tons21 = 1{,}500 \quad (5.70)$$

$$Tons22 = 1{,}256.34 \quad (5.71)$$

จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 11 ได้ผลลัพธ์การใช้ไฟฟ้าเท่ากับ 1407.1 กิโลวัตต์

ตัวอย่างที่ 12

ปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบกับการคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้สมการ

$$C3 = [[[DCxP_{OP}]+[EC_1xE_1]+[EC_2xE_2]+[FtxE]+A_{CC}]xN_M]+VAT \quad (5.72)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรดังนี้

$$DC = 74.14 \quad (5.73)$$

$$P_{OP} = 1,407.1 \quad (5.74)$$

$$E_{C1} = 2.6136 \quad (5.75)$$

$$E_{C2} = 1.1726 \quad (5.76)$$

$$E_1 = 238,362.74 \quad (5.77)$$

$$E_2 = 15,168.538 \quad (5.78)$$

$$E = 253,531.27 \quad (5.79)$$

$$Ft = 0.2612 \quad (5.80)$$

$$VAT = 7\% \quad (5.81)$$

$$N_M = 12 \quad (5.82)$$

$$A_{CC} = 228.17 \quad (5.83)$$

อัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยใน 15 นาทีแรกของเดือนให้ใช้ค่าสูงสุดจากการคำนวณ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าให้คิด 22 วันต่อ 1 เดือนทำงานวันละ 12 ชั่วโมงทำงานตั้งแต่เวลา 08.00 ถึง 20.00 น.เว้นวันเสาร์วันอาทิตย์ ระบบทำงานเฉลี่ย 70 เปอร์เซ็นต์

จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 12 ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 10,420, 230.31 บาท

ตัวอย่างที่ 13

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหาระยะเวลาคืนทุนของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้สมการ

$$n = TS / Yi \quad (5.84)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรตามตารางดังนี้

ตาราง 5.13 แสดงค่าของตัวแปรต่างๆของการหาระยะเวลาคืนทุน

ปี	ค่าลงทุนเริ่มต้น (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	อัตราค่าไฟฟ้า (บาท)	ผลตอบแทน (บาท)	ผลตอบแทนสุทธิ (บาท)
1	62,020,138	144,000	142,770	10,420,230.31	37,707,000.31	-35,020,138
2	0	151,200	142,770	10,420,230.31	37,714,200.31	27,000,000
3	0	158,760	142,770	10,420,230.31	37,721,760.31	27,000,000
4	0	166,698	142,770	10,420,230.31	37,729,698.31	27,000,000
5	0	175,032.90	142,770	10,420,230.31	37,738,033.21	27,000,000
6	0	183,784.55	142,770	10,420,230.31	37,746,784.86	27,000,000
7	0	192,973.77	142,770	10,420,230.31	37,755,974.08	27,000,000
8	0	202,622.46	142,770	10,420,230.31	37,765,622.77	27,000,000
9	0	212,753.58	142,770	10,420,230.31	37,775,753.89	27,000,000
10	0	223,391.26	142,770	10,420,230.31	37,786,391.57	27,000,000
11	0	234,560.83	142,770	10,420,230.31	37,797,561.14	27,000,000
12	0	246,288.87	142,770	10,420,230.31	37,809,289.18	27,000,000
13	0	258,603.31	142,770	10,420,230.31	37,821,603.62	27,000,000
14	0	271,533.48	142,770	10,420,230.31	37,834,533.79	27,000,000
15	0	285,110.15	142,770	10,420,230.31	37,848,110.46	27,000,000
รวม	62,020,138	3,107,313.16	2,141,550	156,303,454.7	566,552,317.8	342,979,862
ค่าใช้จ่ายในการลงทุน TS =			223,572,455.8	ผลตอบแทนสุทธิ =		342,979,862

จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 13 ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 9.78ปี

ตัวอย่างที่ 14

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้สมการ

$$NPV = -k_0 + \left[\frac{b_1-c_1}{(i+1)} \right] + \left[\frac{b_2-c_2}{(i+1)^2} \right] + \left[\frac{b_t-c_t}{(i+1)^n} \right] .... \quad (5.85)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรตามตารางดังนี้

ตาราง 5.14 แสดงค่าของตัวแปรต่างๆของการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนการลงทุน

ปี	ค่าลงทุนเริ่มต้น (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	อัตราค่าไฟฟ้า (บาท)	ผลตอบแทน (บาท)	ผลตอบแทนสุทธิ (บาท)
1	62,020,138	144,000	142,770	10,420,230.31	37,707,000.31	-35,020,138
2	0	151,200	142,770	10,420,230.31	37,714,200.31	27,000,000
3	0	158,760	142,770	10,420,230.31	37,721,760.31	27,000,000
4	0	166,698	142,770	10,420,230.31	37,729,698.31	27,000,000
5	0	175,032.90	142,770	10,420,230.31	37,738,033.21	27,000,000
6	0	183,784.55	142,770	10,420,230.31	37,746,784.86	27,000,000
7	0	192,973.77	142,770	10,420,230.31	37,755,974.08	27,000,000
8	0	202,622.46	142,770	10,420,230.31	37,765,622.77	27,000,000
9	0	212,753.58	142,770	10,420,230.31	37,775,753.89	27,000,000
10	0	223,391.26	142,770	10,420,230.31	37,786,391.57	27,000,000
11	0	234,560.83	142,770	10,420,230.31	37,797,561.14	27,000,000
12	0	246,288.87	142,770	10,420,230.31	37,809,289.18	27,000,000
13	0	258,603.31	142,770	10,420,230.31	37,821,603.62	27,000,000
14	0	271,533.48	142,770	10,420,230.31	37,834,533.79	27,000,000
15	0	285,110.15	142770	10,420,230.31	37,848,110.46	27,000,000
รวม	62,020,138	3,107,313.16	2,141,550	156,303,454.7	566,552,317.8	342,979,862
อัตราดอกเบี้ย TS = 8.5 %				ทรัพย์สินคงเหลือ =		263,171.18

จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 14 ได้ผลลัพธ์เท่ากับ 167,130,379.2บาท

ตัวอย่างที่ 15

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหาอัตราผลตอบแทนการลงทุนของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้สมการ

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{Bt-Ct}{(i+r)^{t}} = 0 \qquad (5.86)$$

โดยมีค่าตัวแปรต่างๆที่อยู่ในรูปของข้อมูลที่ใส่ (Input) ซึ่งจะป้อนข้อมูลผ่านหน้าจอรับข้อมูล (Graphic User Interface) ในรูปของของข้อมูลแบบสตริง (String Data) มีค่าตัวแปรตามตารางดังนี้ จากการทดสอบตามตัวอย่างที่ 15 ได้ผลลัพธ์เป็นดอกเบี้ยเท่ากับ 77.08 เปอร์เซ็นต์

5.3 สรุปผลการทดสอบ

ในการทดสอบระบบปรับอากาศทั้ง 3 ระบบคือ การหาการใช้ปริมาณไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแต่ละระบบ การคิดค่าไฟฟ้า การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ในการวิเคราะห์หาความเหมาะสมว่าจะติดตั้งระบบปรับอากาศระบบไหนในสามระบบข้างต้น ต้องอาศัยการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ส่วนการวิเคราะห์การหาการใช้ปริมาณไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแต่ละระบบและ การหาอัตราค่าไฟฟ้านั้น ทำเพื่อนำข้อมูลมาประมวลผล

การหาการใช้ปริมาณไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแต่ละระบบ จากการใช้โปรแกรมในการทดสอบปรากฏว่าระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air-Conditioning System) มีการใช้ปริมาณไฟฟ้า 2056.125 กิโลวัตต์ ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) มีการใช้ปริมาณไฟฟ้า 1871.64 กิโลวัตต์ ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) มีการใช้ปริมาณไฟฟ้า1407.1 กิโลวัตต์

การคิดค่าไฟฟ้าขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานตามช่วงเวลาในการทดสอบนี้ใช้ การคิดอัตราค่าไฟฟ้าประเภท TOU Rate จากการใช้โปรแกรมในการทดสอบปรากฏว่าระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air-Conditioning System) เป็นจำนวนเงิน 15,400,092.97บาท ระบบปรับอากาศ

แบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) เป็นจำนวนเงิน 14,018,588.638 บาท ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) เป็นจำนวนเงิน 10,420,230.31 บาท

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ แบ่งเป็น 3 วิธี ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air-Conditioning System) เป็นเวลา 8.56 ปี ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) เป็นเวลา 12 ปี ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) เป็นเป็นเวลา 9.78 ปี การหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน มีมูลค่าเท่ากับ 84,710,322.8 บาท ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศมีมูลค่าเท่ากับ 167,601,700.97 บาท ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ มีมูลค่าเท่ากับ 167,130,397.2 บาท ส่วนอัตราผลตอบแทนในการลงทุน (Internal Rate of Return) ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนให้ผลตอบแทน 119.35 เปอร์เซ็นต์ ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศให้ผลตอบแทน 78.28 เปอร์เซ็นต์ ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำให้ผลตอบแทน 77.08 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 6
สรุปและวิจารณ์ผลการทดสอบ

6.1 สรุปและวิจารณ์ผลทดสอบ

ในงานวิจัยนี้เป็นการคำนวณหาระบบปรับอากาศที่เหมาะสมที่สุด (Optimization)โดยใช้ MATLAB เพื่อใช้ติดตั้งในอาคารระบบที่จะนำมาทำการวิเคราะห์คือ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air-Conditioning System) ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) จากผลการทดสอบหาปริมาณการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ มีการใช้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนมีการใช้ปริมาณการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด ถ้าพิจารณา ถึงการใช้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ เหมาะสมในการติดตั้งมากที่สุด ส่วนการหาอัตราค่าไฟฟ้าก็ขึ้นอยู่กับหน่วยการใช้ไฟฟ้าของระบบนั้นๆถ้าหน่วยการใช้มากอัตราค่าไฟฟ้าก็มากเช่นกัน

จากการการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ การหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ปรากฏว่าระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำให้อัตราการคืนทุนเร็วที่สุด และในการการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value) นั้นเพื่อเป็นกฎในการตัดสินใจเลือกระบบในการติดตั้ง ถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมากกว่าหรือเท่าศูนย์ระบบดังกล่าวก็สามารถเลือกมาติดตั้งได้ ในทางกลับกันถ้ามูลค่าปัจจุบันสุทธิต่ำกว่าศูนย์ก็ไม่สามารถเลือกระบบดังกล่าวได้ทั้งนี้ต้องพิจารณาถึงการวิเคราะห์อย่างอื่นประกอบกัน ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศมีค่ามูลค่าปัจจุบันสุทธิมากที่สุด

กระบวนการหาคำตอบตามขั้นตอนข้างต้นบนโปรแกรม MATLAB และใช้หน้าจอรับข้อมูล (Graphic user interface) และได้สร้างส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งานเพื่อใช้งานสะดวกต่อการใช้งานและนำไปเชื่อมต่อโปรแกรมในส่วนที่จะเขียนเพิ่มเติมหรือพัฒนาให้ดีขึ้น จากการใช้งานดังกล่าวค่าที่ได้จากการคำนวณมีความแม่นยำซึ่งเหมาะสมกับการคิดค่าการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งต้องการความแม่นยำมาก

6.2 ข้อแนะนำสำหรับงานวิจัยต่อไป

เนื่องจากงานวิจัยนี้มีขอบเขตการทดสอบระบบปรับอากาศเพียง 3 ระบบคือ ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type Air-Conditioning System) ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Water Chiller Air-Conditioning System) ในความเป็นจริงระบบปรับอากาศที่มีใช้ในอาคาร อาจเป็นระบบผสมคือในอาคารหนึ่งๆ มีการติดตั้งระบบปรับอากาศสองระบบซึ่งโปรแกรมที่ออกแบบมายังไม่สามารถนำมาคำนวณได้ ดังนั้นข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต คือออกแบบโปรแกรมให้สามารถคำนวณระบบผสมได้เพื่อให้เกิดความคล่องตัวในการใช้งาน

สำหรับการอนุรักษ์พลังงานในอาคารและโรงงานซึ่งมีอุปกรณ์ทางความร้อนต่างๆที่ใช้งานอยู่ เช่นหม้อไอน้ำ (Boiler) อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (Heat exchanger) เตาอบ อุปกรณ์เหล่านี้ยังสามารถทำการคำนวณโดยการจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ ที่เหมาะสมทั้งการใช้งานและอนุรักษ์พลังงาน

บรรณานุกรม

บุญยฤทธิ์ เผือกผ่องสุริยะ. (2544). *การพัฒนา CLTD และ SCLสำหรับคำนวณภาระการทำความเย็นของอาคารในกรุงเทพมหานคร.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย .ถ่ายเอกสาร [10]

บริษัท พอล คอนซัลแตนท์. (2545). *รายงานการตรวจสอบและวิเคราะห์พลังงานโดยละเอียดของโรงงานควบคุม.* กรุงเทพฯ: บริษัท มิตซูบิชิ อิเล็คทริค คอนซูมเมอร์ โปรดักส์(ประเทศไทย) จำกัด [11]

บรรพต ประภาศิริ. (2542). *การประหยัดพลังงานของระบบปรับอากาศโดยใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิและการบำรุงรักษาเบื้องต้น.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. (เทคโนโลยีการจัดการพลังงาน). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.ถ่ายเอกสาร [12]

ประสิทธิ์ ตงยิ่งศิริ. (2542). *การวางแผนและการวิเคราะห์โครงการ.*กรุงเทพฯ: เม็ดทรายพริ้นติ้ง. [13]

ไพบูลย์ แย้มเผื่อน. (2545). *เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม.* กรุงเทพฯ: เม็ดทรายพริ้นติ้ง. [14]

พูลลาภ มณีนิล. (2530). *โปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อวิเคราะห์ภาระความเย็นสำหรับอาคารในประเทศไทย.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย . ถ่ายเอกสาร [15]

มนัส สังวรศิลป์; และ วรรัตน์ ภัทรอมรกุล. (2543). *คู่มือการใช้งานแม็ธซ์ – แล็บ (MATLAB) ฉบับสมบูรณ์ .พิมพ์ครั้งที่ 1.* นนทบุรี: อินโฟเพรส. [16]

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2545). *มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย.* กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ . [17]

วรชาติ จิรัฐติเจริญ. (2543). *การจำลองระบบทำความเย็นสำหรับระบบทำความเย็นส่วนกลางแบบมหภาคของอาคารในกรุงเทพมหานคร.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย . ถ่ายเอกสาร [18]

สานิตย์ จันทโร. (2542). *การวิเคราะห์พารามิเตอร์และประเมินศักยภาพของระบบการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่จากคอนเดนเสท และ แฟลชสตีม.* วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. (วิศวกรรมเครื่องกล). กรุงเทพฯ: บัณฑิตสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ . ถ่ายเอกสาร [19]

สำนักมาตรฐานงบประมาณ. (2547). *บัญชีราคามาตรฐานครุภัณฑ์*. (ออนไลน์) แหล่งที่มา : http://www.bb.or.th. วันสืบค้น15 มกราคม 2547 [20]

สมชาย วงศ์วิเศษ. (2541). *การออกแบบและการหาสภาพที่เหมาะสมที่สุดทางความร้อน*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี . [21]

T.Blank, Leland.; & J.Tarquin, Anthony. (1998). *Engineering Economics*. Singapore: McGraw - Hill Companies [22]

Air-Conditioning Data Sale and Catalog. (1998). La Crosse: The Trane Company and American - Standard Company. [23]

Stoecker, W.F. (1989). *Design of Thermal System*. Malaysia: McGraw - Hill Companies. [24]

ภาคผนวก ก.
ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณของการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศ

ตัวอย่างการคำนวณที่ 1

ปัญหาที่นำมาใช้ในการคำนวณคือระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนใช้สมการ

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

สำหรับเงื่อนไขที่ใช้ในการคำนวณสมการคือ

$$X_1 + X_2 + X_3 = 1$$

พารามิเตอร์ที่กำหนดมีดังนี้

$E_{SP} = 1.5$

$L_{SP} = 100\%$

$\text{Tons} = 1{,}370.75$

แทนค่าในสมการที่ (3.1)

$$Y_1 = [(1) \times (1.5 \times 1)] \times 1{,}370.75$$

$$Y_1 = 2{,}056.1 \text{ kW.}$$

∴ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน = 2,056.1 kW.

ตัวอย่างการคำนวณที่ 2

ปัญหาที่นำมาใช้ในการคำนวณคือระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ ใช้สมการ

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

สำหรับเงื่อนไขที่ใช้ในการคำนวณสมการคือ

$$X_{1a} = [E_{CP} \times L_{CP}]$$
$$X_{2a} = [E_{AC} \times L_{AC}]$$
$$X_{3a} = [E_{FC} \times L_{FC}]$$
$$X_{4a} = [E_{AH} \times L_{AH}]$$

พารามิเตอร์ที่กำหนดมีดังนี้

$E_{CP} = 0.11$
$L_{CP} = 83.756\%$
$E_{AC} = 1.2$
$L_{AC} = 83.756\%$
$E_{FC} = 0.03$
$L_{FC} = 100\ \%$
$E_{AH} = 0.15$
$L_{AH} = 100\ \%$
$Tons1 = 1{,}500$
$Tons2 = 1{,}256.34$

แทนค่าในสมการที่ (3.2)

$$Y_2 = [(0.11x0.83756) + (1.2 x0.83756) x 1,500 + (0.03 x1) + (0.015 x1) x 1,256.34]$$

$$Y_2 = 1,871.64 \text{ kW.}$$

∴ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ = 1,871.6412 kW.

ตัวอย่างการคำนวณที่ 3

ปัญหาที่นำมาใช้ในการคำนวณระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้สมการ

$$Y_3 = [(X_{1b} + X_{2b} + X_5 + X_6) x Tons21 + (X_{3b} + X_{4b}) x Tons22]$$

สำหรับเงื่อนไขที่ใช้ในการคำนวณสมการคือ

$$X_{1b} = [E_{CP} x L_{CP}]$$

$$X_{2b} = [E_{WC} x L_{WC}]$$

$$X_{3b} = [E_{FC} x L_{FC}]$$

$$X_{4b} = [E_{AH} x L_{AH}]$$

$$X_5 = [E_{COP} x L_{COP}]$$

$$X_6 = [E_{CT} x L_{CT}]$$

พารามิเตอร์ที่กำหนดมีดังนี้

E_{CP} = 0.11

L_{CP} = 83.756%

E_{WC} = 0.7

L_{WC} = 83.756%

E_{FC} = 0.03

L_{FC} = 100%

E_{AH} = 0.15

L_{AH} = 100%

E_{COP} = 0.1

L_{COP} = 83.756%

E_{CT} = 0.03

L_{CT} = 83.756%

Tons21 = 1,500

Tons22 = 1,256.34

แทนค่าในสมการที่ (3.7)

$$Y_3 = [(0.11 \times 0.83756 + 0.7 \times 0.83756 + 0.1 \times 0.83756 + 0.03 \times 0.83756) \times 1,500 + (0.03 \times 1 + 0.15 \times 1) \times 1,256.34]$$

Y_3 = 1,407.1 kW.

∴ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ

= 1,407.1 kW.

ตัวอย่างการคำนวณคิดค่าไฟฟ้า

ตัวอย่างการคำนวณที่ 4

ปัญหาที่นำมาใช้ในการคำนวณการคิดค่าไฟฟ้าอัตราปกติรายเดือนของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้สมการ

$$C1 = [[[DC_P \times P_P] + [E_C \times E] + [Ft \times E] + Acc] \times N_M] + VAT$$

พารามิเตอร์ที่กำหนดมีดังนี้

DC_P = 220.56

P_P = 1407.1

E_C = 1.666

E = 260,032.08

Ft = 0.2612

VAT = 7%

N_M = 12

A_{cc} = 0

แทนค่าในสมการที่ (3.14)

$$C1 = [[[220.56 \times 1,407.1] + [1.666 \times 260,032.08] + [0.2612 \times 260,032.08] + 0] \times 12] + 0.07$$

C1 = 10,419,452 Baht

∴ อัตราค่าไฟฟ้าอัตราปกติรายเดือน = 10,419,452. Baht

โดยอัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยใน 15 นาทีแรกของเดือนให้ใช้ค่าสูงสุดจากการคำนวณ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าให้คิด 22 วันต่อ 1 เดือนทำงานวันละ 12 ชั่วโมงทำงานตั้งแต่เวลา 08.00 ถึง 20.00 น.เว้นวันเสาร์วันอาทิตย์ ระบบทำงานเฉลี่ย 70 เปอร์เซ็นต์

ตัวอย่างการคำนวณที่ 5

ปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบกับการคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของวันของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้สมการ

$$C2 = [[[DC_P x P_P]+[D_{CPP} x (PP-P_P)]+[E_C x E]+[Ft \times E]+A_{CC}] x N_M]+VAT$$

พารามิเตอร์ที่กำหนดมีดังนี้

DC_P = 224.30

DC_{PP} = 29.91

P_P = 1,407.1

PP = 1,407.1

E_C = 1.666

E = 260,032.08

Ft = 0.2612

VAT = 7%

N_M = 12

A_{CC} = 0

แทนค่าในสมการที่ (3.15)

C2 = [[[224.30x1,407.1]+[29.91x(1,407.11,407.1)]+[1.666x260,032.08]
+[.02612 x 260,032.08]+0] x12]+0.07

C2 = 10,487,023.2 Baht

∴ อัตราค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของวัน = 10,487,023.2 Baht

โดยอัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยใน 15 นาทีแรกของเดือนให้ใช้ค่าสูงสุดจากการคำนวณ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าให้คิด 22 วันต่อ 1 เดือนทำงานวันละ 12 ชั่วโมงทำงานตั้งแต่เวลา 08.00 ถึง 20.00 น.เว้นวันเสาร์วันอาทิตย์ ระบบทำงานเฉลี่ย 70 เปอร์เซ็นต์

ตัวอย่างการคำนวณที่ 6

ปัญหาที่นำมาใช้ในการทดสอบกับการคิดค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้สมการ

$$C3 = [[[DC \times P_{OP}]+[EC_1 xE_1]+[EC_2 xE_2]+[Ft \times E]+A_{CC}] \times N_M]+VAT$$

พารามิเตอร์ที่กำหนดมีดังนี้

DC = 74.14

P_{OP} = 703.58

E_{C1} = 2.6136

E_{C2} = 1.1726

E_1 = 238,362.74

E_2 = 15,168.538

E = 253,531.27

Ft = 0.2612

VAT = 7%

N_M = 12

A_{cc} = 228.17

แทนค่าในสมการที่ (3.16)

C3 = [[[74.14x703.58]+[2.6136x238,362.74]+[1.1726x15,168.538]
+[0.2612x253,531.27]+228.17]x12]+0.07

C3 = 10,420, 230.31 Baht

∴ อัตราค่าไฟฟ้าอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ = 10,487,023.2 Baht

โดยอัตราค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยใน 15 นาทีแรกของเดือนให้ใช้ค่าสูงสุดจากการคำนวณ ปริมาณการใช้ไฟฟ้าให้คิด 22 วันต่อ 1 เดือนทำงานวันละ 12 ชั่วโมงทำงานตั้งแต่เวลา 08.00 ถึง 20.00 น.เว้นวันเสาร์วันอาทิตย์ ระบบทำงานเฉลี่ย 70 เปอร์เซ็นต์

ตัวอย่างการคำนวณการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การทดสอบการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์เริ่มจาก การหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period ; n) การหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value ; NPV) และอัตราผลตอบแทนการลงทุน (Internal Rate of Return ; IRR) ของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ ระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ โดยจะทำการคำนวณเทียบกับการเช่าระบบปรับอากาศ ถ้าเจ้าของอาคารทำการติดตั้งระบบปรับอากาศเองค่าใช้จ่ายส่วนนี้ก็จะเป็นงบลงทุน แต่ถ้าเป็นการเช่าระบบงบส่วนนี้ก็ให้คิดเป็นผลตอบแทน

ตัวอย่างการคำนวณที่ 7

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหาระยะเวลาคืนทุนของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ใช้สมการ

$$n = TS / Yi$$

พารามิเตอร์ที่กำหนดมีดังตาราง 7.1 แทนค่าลงในสมการ (3.17)

ตาราง 7.1 แสดงค่าของตัวแปรต่างๆของการหาระยะเวลาคืนทุน

ปี	ค่าลงทุนเริ่มต้น (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	อัตราค่าไฟฟ้า (บาท)	ผลตอบแทน (บาท)	ผลตอบแทนสุทธิ (บาท)
1	45,161,771	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	-20,488,271
2	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
3	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
4	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
5	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
6	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
7	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
รวม	45,161,771	0	3,078,033.00	107,800,650.8	283,593,183.8	127,552,729
ค่าใช้จ่ายในการลงทุน TS =			156,040,454.8	ผลตอบแทนสุทธิ =		127,552,729

หมายเหตุ

1. ค่าบำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศคิดต่อ 1 ตันความเย็น 320 บาท เป็นจำนวนเงิน 439,719 บาท[3][20]
2. ผลตอบแทนประกอบด้วย เงินสนับสนุนของหน่วยงานได้แก่ ค่าบำรุงรักษา อัตราค่าไฟฟ้าจ่ายตามความเป็นจริงแต่ละปีเป็นจำนวนเงิน 15,839,811.97 บาท

3.ผลตอบแทนในรูปของค่าเช่ากล่าวคือถ้าไม่ทำการติดตั้งระบบเองก็ทำการเช่าระบบในที่นี้ติดตั้งระบบเองจำนวนเงินที่จะนำไปเป็นค่าเช่าก็เป็นผลตอบแทนซึ่ง เครื่องปรับอากาศคิดต่อ 1 ตันความเย็น 18,000บาท เป็นจำนวนเงิน 24,673,500 บาท[20]

∴ ระยะเวลาคืนทุน = 8.56 ปี

ตัวอย่างการคำนวณที่ 8

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ใช้สมการ

$$NPV = -k_0 + \left[\frac{b_1-c_1}{(i+1)}\right] + \left[\frac{b_2-c_2}{(i+1)^2}\right] + \left[\frac{b_t-c_t}{(i+1)^n}\right] \ldots.$$

พารามิเตอร์ที่กำหนดมีดังตาราง 7.2 แทนค่าลงในสมการ (3.18)

ตาราง 7.2 แสดงค่าของตัวแปรต่างๆของการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนการลงทุน

ปี	ค่าลงทุนเริ่มต้น (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	อัตราค่าไฟฟ้า (บาท)	ผลตอบแทน (บาท)	ผลตอบแทนสุทธิ (บาท)
1	45,161,771	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	-20,488,271
2	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
3	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
4	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
5	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
6	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
7	0	0	439,719	15,400,092.97	40,513,311.97	24,673,500
รวม	45,161,771	0	3,078,033	107,800,650.8	283,593,183.8	127,552,729
อัตราดอกเบี้ย TS = 8.5 %				ทรัพย์สินคงเหลือ =		75,110

หมายเหตุ

1. มูลค่าซากคงเหลือของระบบปรับอากาศ เป็นจำนวนเงิน 75,110 บาท
2. การคิดอัตราดอกเบี้ย ทำการคิดดังนี้ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ระยะยาวลบด้วยอัตราเงินเฟ้อของประเทศ คือ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ระยะยาวเท่ากับ 13.5 เปอร์เซ็นต์และอัตราเงินเฟ้อของประเทศเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ อัตราดอกเบี้ยที่แท้จริงเท่ากับ 8.5 เปอร์เซ็นต์[13]

∴ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ = 84,710,322.8บาท

ตัวอย่างการคำนวณที่ 9

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหาอัตราผลตอบแทนการลงทุนของระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ใช้สมการ

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{Bt-Ct}{(i+r)^t} = 0$$

พารามิเตอร์ที่กำหนดมีดังตารางที่ 7.2 แทนค่าลงในสมการ (3.19)

∴ อัตราผลตอบแทนการลงทุน = 119.35เปอร์เซ็นต์

ตัวอย่างการคำนวณที่ 10

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหาระยะเวลาคืนทุนของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ ใช้สมการ

$$n = TS / Yi$$

พารามิเตอร์ที่กำหนดมีดังตาราง 7.3 แทนค่าลงในสมการ (3.17)

ตาราง 7.3 แสดงค่าของตัวแปรต่างๆของการหาระยะเวลาคืนทุน

ปี	ค่าลงทุนเริ่มต้น (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	อัตราค่าไฟฟ้า (บาท)	ผลตอบแทน (บาท)	ผลตอบแทนสุทธิ (บาท)
1	61,481,788	144,000	30,000	14,018,588.64	41,192,588.64	-34,481,788
2	0	151,200	30,000	14,018,588.64	41,199,788.64	27,000,000
3	0	158,760	30,000	14,018,588.64	41,207,348.64	27,000,000
4	0	166,698	30,000	14,018,588.64	41,215,286.64	27,000,000
5	0	175,032.9	30,000	14,018,588.64	41,223,621.54	27,000,000
6	0	183,784.55	30,000	14,018,588.64	41,232,373.18	27,000,000
7	0	192,973.77	30,000	14,018,588.64	41,241,562.41	27,000,000
8	0	202,622.46	30,000	14,018,588.64	41,251,211.1	27,000,000
9	0	212,753.58	30,000	14,018,588.64	41,261,342.22	27,000,000
10	0	223,391.26	30,000	14,018,588.64	41,271,979.9	27,000,000
11	0	234,560.83	30,000	14,018,588.64	41,283,149.46	27,000,000
12	0	246,288.87	30,000	14,018,588.64	41,294,877.51	27,000,000
13	0	258,603.31	30,000	14,018,588.64	41,307,191.95	27,000,000
14	0	271,533.48	30,000	14,018,588.64	41,320,122.11	27,000,000
15	0	285,110.15	30,000	14,018,588.64	41,333,698.79	27,000,000
รวม	61,481,788	3,107,313.16	450,000	210,278,829.6	618,836,142.7	343,518,212
ค่าใช้จ่ายในการลงทุน TS =			275,317,930.7	ผลตอบแทนสุทธิ =		3,435,18212

หมายเหตุ

1. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน คือค่าจ้างรายเดือนในการบำรุงรักษาและการเดินเครื่องของระบบปรับอากาศโดยคิด 144,000 ต่อปีและเพิ่มขึ้นปีละ 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นจำนวนเงิน 3,107,313.16 บาท
2. ค่าบำรุงรักษาเครื่องทำน้ำเย็นคือ Condensing Cleaning จำนวน 3 ชุด เป็นจำนวนเงิน 30,000บาทต่อปี ทั้งหมดเท่ากับ 450,000 บาท[23]

3. ผลตอบแทนประกอบด้วย เงินสนับสนุนของหน่วยงานได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ค่าบำรุงรักษา อัตราค่าไฟฟ้า จ่ายตามความเป็นจริงแต่ละปีเป็นจำนวนเงิน 213,836,142.76 บาท
4. ผลตอบแทนในรูปของค่าเช่ากล่าวคือถ้าไม่ทำการติดตั้งระบบเองก็ทำการเช่าระบบในที่นี้ติดตั้งระบบเองจำนวนเงินที่จะนำไปเป็นค่าเช่าก็เป็นผลตอบแทนซึ่ง เครื่องปรับอากาศคิดต่อ 1 ตันความเย็น 18,000บาท เป็นจำนวนเงิน 27,000,000 บาท[3][20]

∴ ระยะเวลาคืนทุน = 12 ปี

ตัวอย่างการคำนวณที่ 11

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ ใช้สมการ

$$NPV = -k_0 + \left[\frac{b_1-c_1}{(i+1)} \right] + \left[\frac{b_2-c_2}{(i+1)^2} \right] + \left[\frac{b_t-c_t}{(i+1)^n} \right] \ldots.$$

พารามิเตอร์ที่กำหนดมีดังตาราง 7.4 แทนค่าลงในสมการ (3.18)

ตาราง 7.4. แสดงค่าของตัวแปรต่างๆของการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนการลงทุน

ปี	ค่าลงทุนเริ่มต้น (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	อัตราค่าไฟฟ้า (บาท)	ผลตอบแทน (บาท)	ผลตอบแทนสุทธิ (บาท)
1	61,481,788	144,000	30,000	14,018,588.64	41,192,588.64	-34,481,788
2	0	151,200	30,000	14,018,588.64	41,199,788.64	27,000,000
3	0	158,760	30,000	14,018,588.64	41,207,348.64	27,000,000
4	0	166,698	30,000	14,018,588.64	41,215,286.64	27,000,000
5	0	175,032.90	30,000	14,018,588.64	41,223,621.54	27,000,000
6	0	183,784.55	30,000	14,018,588.64	41,232,373.18	27,000,000
7	0	192,973.77	30,000	14,018,588.64	41,241,562.41	27,000,000
8	0	202,622.46	30,000	14,018,588.64	41,251,211.1	27,000,000
9	0	212,753.58	30,000	14,018,588.64	41,261,342.22	27,000,000
10	0	223,391.26	30,000	14,018,588.64	41,271,979.9	27,000,000
11	0	234,560.83	30,000	14,018,588.64	41,283,149.46	27,000,000
12	0	246,288.87	30,000	14,018,588.64	41,294,877.51	27,000,000
13	0	258,603.31	30,000	14,018,588.64	41,307,191.95	27,000,000
14	0	271,533.48	30,000	14,018,588.64	41,320,122.11	27,000,000
15	0	285,110.15	30,000	14,018,588.64	41,333,698.79	27,000,000
รวม	61,481,788	3,107,313.16	450,000	210,278,829.6	618,836,142.7	343,518,212
อัตราดอกเบี้ย TS = 8.5 %				ทรัพย์สินคงเหลือ =		178,676.28

หมายเหตุ

1. มูลค่าซากคงเหลือของระบบปรับอากาศ เป็นจำนวนเงิน 178,676.28 บาท
2. การคิดอัตราดอกเบี้ย ทำการคิดดังนี้ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ระยะยาวลบด้วยอัตราเงินเฟ้อของประเทศ คือ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ระยะยาวเท่ากับ 13.5 เปอร์เซ็นต์และอัตราเงินเฟ้อของประเทศเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ อัตราดอกเบี้ยที่แท้จริงเท่ากับ 8.5 เปอร์เซ็นต์[7](13)

∴ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ =167,601,700.97 บาท

ตัวอย่างการคำนวณที่ 12

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหาอัตราผลตอบแทนการลงทุนของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยอากาศ ใช้สมการ

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{Bt-Ct}{(i+r)^t} = 0$$

พารามิเตอร์ที่กำหนดมีดังตารางที่ 7.4 แทนค่าลงในสมการ (3.19)

∴ อัตราผลตอบแทนการลงทุน = 78.28เปอร์เซ็นต์

ตัวอย่างการคำนวณที่ 13

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหาระยะเวลาคืนทุนของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้สมการ

$$n = TS / Yi$$

พารามิเตอร์ที่กำหนดมีดังตาราง 7.5 แทนค่าลงในสมการ (3.17)

ตาราง 7.5 แสดงค่าของตัวแปรต่างๆของการหาระยะเวลาคืนทุน

ปี	ค่าลงทุนเริ่มต้น (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	อัตราค่าไฟฟ้า (บาท)	ผลตอบแทน (บาท)	ผลตอบแทนสุทธิ (บาท)
1	62,020,138	144,000	142,770	10,420,230.31	37,707,000.31	-35,020,138
2	0	151,200	142,770	10,420,230.31	37,714,200.31	27,000,000
3	0	158,760	142,770	10,420,230.31	37,721,760.31	27,000,000
4	0	166,698	142,770	10,420,230.31	37,729,698.31	27,000,000
5	0	175,032.90	142,770	10,420,230.31	37,738,033.21	27,000,000
6	0	183,784.55	142,770	10,420,230.31	37,746,784.86	27,000,000
7	0	192,973.77	142,770	10,420,230.31	37,755,974.08	27,000,000
8	0	202,622.46	142,770	10,420,230.31	37,765,622.77	27,000,000
9	0	212,753.58	142,770	10,420,230.31	37,775,753.89	27,000,000
10	0	223,391.26	142,770	10,420,230.31	37,786,391.57	27,000,000
11	0	234,560.83	142,770	10,420,230.31	37,797,561.14	27,000,000
12	0	246,288.87	142,770	10,420,230.31	37,809,289.18	27,000,000
13	0	258,603.31	142,770	10,420,230.31	37,821,603.62	27,000,000
14	0	271,533.48	142,770	10,420,230.31	37,834,533.79	27,000,000
15	0	285,110.15	142,770	10,420,230.31	37,848,110.46	27,000,000
รวม	62,020,138	3,107,313.16	2,141,550	156,303,454.7	566,552,317.8	342,979,862
ค่าใช้จ่ายในการลงทุน TS =			223,572,455.8	ผลตอบแทนสุทธิ =		342,979,862

หมายเหตุ

1. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน คือค่าจ้างรายเดือนในการบำรุงรักษาและการเดินเครื่องของระบบปรับอากาศโดยคิด 144,000 ต่อปีและเพิ่มขึ้นปีละ 5 เปอร์เซ็นต์ เป็นจำนวนเงิน 3,107,313.16 บาท
2. ค่าบำรุงรักษาเครื่องทำน้ำเย็นคือ Condensing Cleaning เป็นจำนวนเงิน 17,400บาท Compressor Oil เป็นจำนวนเงิน 13,950 บาท Oil Filter เป็นจำนวนเงิน 3,460 บาท [23]

Drier Core เป็นจำนวนเงิน 7,530 บาท Labour Charge เป็นจำนวนเงิน 5,250 บาท จำนวน 3 ชุด ทั้งหมดเท่ากับ 142,770บาทต่อปี เป็นเงินทั้งหมด 2,141,550 บาท[23]

3. ผลตอบแทนประกอบด้วย เงินสนับสนุนของหน่วยงานได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ค่าบำรุงรักษา อัตราค่าไฟฟ้า จ่ายตามความเป็นจริงแต่ละปีเป็นจำนวนเงิน 156,303,454.7 บาท
4. ผลตอบแทนในรูปของค่าเช่ากล่าวคือถ้าไม่ทำการติดตั้งระบบเองก็ทำการเช่าระบบในที่นี้ติดตั้งระบบเองจำนวนเงินที่จะนำไปเป็นค่าเช่าก็เป็นผลตอบแทนซึ่ง เครื่องปรับอากาศคิดต่อ 1 ตันความเย็น 18,000บาท เป็นจำนวนเงิน 27,000,000 บาท[3][20]

∴ ระยะเวลาคืนทุน = 9.78 ปี

ตัวอย่างการคำนวณที่ 14

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้สมการ

$$NPV = -k_0 + \left[\frac{b_1-c_1}{(i+1)}\right] + \left[\frac{b_2-c_2}{(i+1)^2}\right] + \left[\frac{b_t-c_t}{(i+1)^n}\right] .... \qquad (5.85)$$

พารามิเตอร์ที่กำหนดมีดังตาราง 7.6 แทนค่าลงในสมการ (3.18)

ตาราง 7.6 แสดงค่าของตัวแปรต่างๆของการหามูลค่าปัจจุบันสุทธิและอัตราผลตอบแทนการลงทุน

ปี	ค่าลงทุนเริ่มต้น (บาท)	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (บาท)	ค่าบำรุงรักษา (บาท)	อัตราค่าไฟฟ้า (บาท)	ผลตอบแทน (บาท)	ผลตอบแทนสุทธิ (บาท)
1	62,020,138	144,000	142,770	10,420,230.31	37,707,000.31	-35,020,138
2	0	151,200	142,770	10,420,230.31	37,714,200.31	27,000,000
3	0	158,760	142,770	10,420,230.31	37,721,760.31	27,000,000
4	0	166,698	142,770	10,420,230.31	37,729,698.31	27,000,000
5	0	175,032.90	142,770	10,420,230.31	37,738,033.21	27,000,000
6	0	183,784.55	142,770	10,420,230.31	37,746,784.86	27,000,000
7	0	192,973.77	142,770	10,420,230.31	37,755,974.08	27,000,000
8	0	202,622.46	142,770	10,420,230.31	37,765,622.77	27,000,000
9	0	212,753.58	142,770	10,420,230.31	37,775,753.89	27,000,000
10	0	223,391.26	142,770	10,420,230.31	37,786,391.57	27,000,000
11	0	234,560.83	142,770	10,420,230.31	37,797,561.14	27,000,000
12	0	246,288.87	142,770	10,420,230.31	37,809,289.18	27,000,000
13	0	258,603.31	142,770	10,420,230.31	37,821,603.62	27,000,000
14	0	271,533.48	142,770	10,420,230.31	37,834,533.79	27,000,000
15	0	285,110.15	142,770	10,420,230.31	37,848,110.46	27,000,000
รวม	62,020,138	3,107,313.16	2,141,550	156,303,454.7	566,552,317.8	342,979,862
อัตราดอกเบี้ย TS = 8.5 %				ทรัพย์สินคงเหลือ =		263,171.18

หมายเหตุ

1. มูลค่าซากคงเหลือของระบบปรับอากาศ เป็นจำนวนเงิน 263,171.18 บาท
2. การคิดอัตราดอกเบี้ย ทำการคิดดังนี้ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ระยะยาวลบด้วยอัตราเงินเฟ้อของประเทศ คือ อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ระยะยาวเท่ากับ 13.5 เปอร์เซ็นต์และอัตราเงินเฟ้อของประเทศเท่ากับ 5 เปอร์เซ็นต์ อัตราดอกเบี้ยที่แท้จริงเท่ากับ 8.5 เปอร์เซ็นต์[13]

∴ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ =167,130,379.2บาท

ตัวอย่างการคำนวณที่ 15

ปัญหาที่นำมาใช้ในการหาอัตราผลตอบแทนการลงทุนของระบบปรับอากาศแบบระบบทำน้ำเย็นส่วนกลางระบายความร้อนด้วยน้ำ ใช้สมการ

$$\sum_{t=1}^{n} \frac{Bt-Ct}{(i+r)^t} = 0$$

พารามิเตอร์ที่กำหนดมีดังตาราง 7.6 แทนค่าลงในสมการ (3.19)

∴ อัตราผลตอบแทนการลงทุน = 77.08 เปอร์เซ็นต์

ภาคผนวก ข.
ค่าบำรุงรักษาเครื่องทำน้ำเย็น

ตาราง 7.7 แสดงค่าจำนวนเงินในการบำรุงรักษา Condenser ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane

Condenser & Condensing Cleaning				
Type	Model	Capacity Range	Condenser Cleaning	Condensing Cleaning
Centrifugal Chiller	CDHG	N/A	32,000	
	CVHE/G, CVGB/D/E/F	600-1100	17,400	
		300-600	14,700	
	CVAE	N/A	N/A	10,000
Screw Chiller	RTHA/B/C	301 UP	14,700	
		100-300	12,600	
	RTWA		10,000	
	RTAA	215-400		9,500
		70-200		8,400
	RTAB	100-200		8,400
Scroll Chiller	Scroll A/C			7,400
	Scroll W/C		7,400	

ตาราง 7.8 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น CV

Oil Change for CVHE, CVHF, CVHG, CDHG				
Description	CVHE	CVHF	CVHG	CDHG
Compressor Oil	13,950	13,950	13,950	37,200
Oil Filter	3,460	3,460	3,460	6,920
Drier Core	7,530	7,530	7,530	15,060
Labour Charge	5,250	5,250	5,250	10,000

ตาราง 7.9 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น CVG

Oil Change for CVGA, CVGB, CVGD		
Description	Nominal Unit Size	
	23-45 Tons	50-80 Tons
Compressor Oil	23,100	31,460
Oil Filter	3,660	3,660
Labour Charge	5,250	5,250

ตาราง 7.10 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น CVGE

Oil Change for CVGE		
Description	Nominal Unit Size	
	23-45 Tons	50-80 Tons
Compressor Oil	12,120	12,120
Oil Filter	3,660	3,660
Labour Charge	5,250	5,250

ตาราง 7.11 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น CVGF

Oil Change for CVGF				
Description	CVGF 400	CVGF 500	CVGF 650	CVGF 800
Compressor Oil	65,160	65,160	65,160	65,160
Oil Filter	7,520	7,520	7,520	7,520
Refrigerant Filter	9,200	9,200	9,200	9,200
Labour Charge	5,250	5,250	5,250	5,250

ตาราง 7.12 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่าย น้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Tran รุ่น RTHB

Oil Change for RTHB				
Description	Nominal Unit Size			
	130	150	180	215
Compressor Oil	10,500	10,500	14,700	14,700
Oil Filter	11,100	11,100	11,100	11,100
R-22 (23Kg)	4,600	4,600	4,600	4,600
Labour Charge	5,250	5,250	5,250	5,250

ตาราง 7.13 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่าย น้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Tran รุ่น RTHB

Oil Change for RTHB				
Description	Nominal Unit Size			
	255-300STD-LONG	255-300STD-LONG	380	450
Compressor Oil	21,000	23,100	23,100	23,100
Oil Filter	11,100	11,100	11,100	11,100
R-22 (23Kg)	4,600	4,600	4,600	4,600
Labour Charge	5,250	5,250	5,250	5,250

ตาราง 7.14 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่าย น้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น RTHB

Oil Change for RTHB								
Description	Nominal Unit Size							
	130	150	180	215	255-300STD-LONG	255-300STD-LONG	380	450
Compressor Oil	10,500	10,500	14,700	14,700	21,000	23,100	23,100	23,100
Oil Filter	11,100	11,100	11,100	11,100	11,100	11,100	11,100	11,100
R-22 (23Kg)	4,600	4,600	4,600	4,600	4,600	4,600	4,600	4,600
Labour Charge	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250

ตาราง 7.15 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่าย น้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น RTHAA

Oil Change for RTHAA							
Description	Nominal Unit Size						
	130	140	155	170	185	200	215
Compressor Oil	29,400	29,400	31,500	31,500	33,600	33,600	33,600
Oil Filter	22,200	22,200	22,200	22,200	22,200	22,200	22,200
R-22 (56.7Kg)	10,150	10,150	10,150	10,150	10,150	10,150	10,150
Labour Charge	9,450	9,450	9,450	9,450	9,450	9,450	9,450

ตาราง 7.16 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่าย น้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น RTHAA

Description	Nominal Unit Size					
	240	270	300	340	370	400
Compressor Oil	48,300	50,400	52,500	67,200	69,300	71,400
Oil Filter	33,300	33,300	33,300	44,400	44,400	44,400
R-22 (56.7Kg)	20,300	20,300	20,300	20,300	20,300	20,300
Labour Charge	9,450	9,450	9,450	9,450	9,450	9,450

ตาราง 7.17 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่าย น้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น RTHAA

Description	Nominal Unit Size					
	70	80	90	100	110	125
Compressor Oil	10,500	10,500	12,600	12,600	12,600	12,600
Oil Filter	8,800	8,800	8,800	8,800	8,800	8,800
R-22 (23Kg)	4,830	4,830	4,830	4,830	4,830	4,830
Labour Charge	7,350	7,350	7,350	7,350	7,350	7,350

ตาราง 7.18 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่าย น้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น RTWAA

Description	Nominal Unit Size					
	70	80	90	100	110	125
Compressor Oil	12,600	12,600	12,600	12,600	12,600	12,600
Oil Filter	8,800	8,800	8,800	8,800	8,800	8,800
R-22 (23Kg)	9,660	9,660	9,660	9,660	9,660	9,660
Labour Charge	7,350	7,350	7,350	7,350	7,350	7,350

ตาราง 7.19 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่าย น้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น RTHC

Description	Nominal Unit Size					
	D1E1E1	D1F1F2	D1G2G2	D2D2E2	D2F2F3	D2G3G3
Compressor Oil	25,500	42,500	46,750	25,500	42,500	46,750
Oil Filter	10,650	10,650	10,650	10,650	10,650	10,650
Refrigerant Filter	10,650	10,650	10,650	10,650	10,650	10,650
Labour Charge	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250

ตาราง 7.20 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่าย น้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น RTHC

Oil Change for RTHC						
Description	Nominal Unit Size					
	D3D2E2	D3F2F3	D3G3G3	E3D2E2	E3F2F3	E3G3G3
Compressor Oil	25,500	42,500	46,750	25,500	42,500	46,750
Oil Filter	10,650	10,650	10,650	10,650	10,650	10,650
Refrigerant Filter	10,650	10,650	10,650	10,650	10,650	10,650
Labour Charge	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250

ตาราง 7.21 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่าย น้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น RTHC

Oil Change for RTHC						
Description	Nominal Unit Size					
	C1B2C1	C1B3C2	C1E1F1	C2B3C2	C2D3E3	
Compressor Oil	25,500	25,500	42,500	25,500	25,500	
Oil Filter	10,650	10,650	10,650	10,650	10,650	
Refrigerant Filter	10,650	10,650	10,650	10,650	10,650	
Labour Charge	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	

ตาราง 7.22 แสดงค่าจำนวนเงินในการเปลี่ยนถ่าย น้ำมัน ของเครื่องทำน้ำเย็น Trane รุ่น RTHC

Oil change for RTHC						
Description	Nominal Unit Size					
	C2G1G1	B1B1B1	B1C1D1	B2B2B2	B2C2D2	
Compressor Oil	46,750	21,250	21,250	21,250	21,250	
Oil Filter	10,650	10,650	10,650	10,650	10,650	
Refrigerant Filter	10,650	10,650	10,650	10,650	10,650	
Labour Charge	5,250	5,250	5,250	5,250	5,250	

Remark

Unit : Baht

These prices may be changed without inform so please check them purchased order

ประวัติย่อผู้วิจัย

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ ชื่อสกุล	นายวิโรจน์ จินดารัตน์
วันเดือนปีเกิด	14 พฤศจิกายน 2513
สถานที่เกิด	พัทลุง
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	477 ม.9 ต.ฝาละมี อ.ปากพะยูน จ.พัทลุง 93120

ประวัติการศึกษา

พ.ศ.2529	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนควนพระสาครินทร์
พ.ศ. 2532	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคนิคพัทลุง
พ.ศ. 2534	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคใต้ สงขลา
พ.ศ. 2539	อุดมศึกษา(อุสาหกรรมศาสตรบัณฑิต) วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
พ.ศ. 2548	บัณฑิตศึกษา(วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต) วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ