การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการควบคุมและจัดการพลังงาน

DEVELOPMENT PROGRAM FOR ENERGY CONTROL AND MANAGEMENT

คมกฤษณ์ ศรีสุวรรณ์
KHOMKRIT SRISUWAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-600-6

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการควบคุมและจัดการพลังงาน

DEVELOPMENT PROGRAM FOR ENERGY CONTROL AND MANAGEMENT

คมกฤษณ์ ศรีสุวรรณ์

KHOMKRIT SRISUWAN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....49542
วัน, เดือน, ปี.....24 ก.พ. 2547

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2546

ISBN 974-324-609-6

DEVELOPMENT PROGRAM FOR ENERGY CONTROL AND MANAGEMENT

KHOMKRIT SRISUWAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

SCHOOL OF GRADUATE STUDENTS

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2003

ISBN 974-324-609-6

COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STRUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการควบคุมและจัดการพลังงาน
DEVELOPMENT PROGRAM FOR ENERGY CONTROL AND MANAGEMENT

ชื่อนักศึกษา นายคมกฤษณ์ ศรีสุวรรณ์

รหัสประจำตัว 43061447

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ.สุพรรณ กุลพาณิชย์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.พิพัฒน์	เลาหสงคราม	
รศ.เกษตร์	ศิริสันติสัมฤทธิ์	
รศ.วิทยา	ทิพย์สุวรรณพร	
รศ.วิริยะ	กองรัตน์	
รศ.สุพรรณ	กุลพาณิชย์	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 14 พฤษภาคม 2546 เวลา 10.30-12.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร 12 ชั้น ชั้น 4 (ห้อง E12-402)

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวัฒน์ อัตชู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....๒๐.....**เดือน**.....พฤษภาคม.....**พ.ศ.**.....๒๕๔๖.....

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาโปรแกรมสำหรับการควบคุมและจัดการพลังงาน
นักศึกษา	นายคมกฤษณ์ ศรีสุวรรณ์
รหัสประจำตัว	43061447
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมการวัดคุม
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.สุพรรณ กุลพาณิชย์

บทคัดย่อ

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ นำเสนอการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในอาคาร โดยการควบคุมและจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า หรือการควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในอาคาร อาศัยไมโครคอมพิวเตอร์ทำงานร่วมกับอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอลและเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้ (Programmable Logic Controller: PLC) ในรูปแบบการวัดและควบคุม แบบแยกกระจายหลายจุด (Multidrop) ผ่านการสื่อสารข้อมูลมาตรฐาน RS 485 ค่าต่าง ๆ ทางไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าจะถูกนำมาแสดงผลผ่านทางหน้าจอ และบันทึกไว้ในฐานข้อมูล พร้อมทั้งทำนายความต้องการกำลังไฟฟ้า (Demand) ในช่วงระยะเวลา 15 นาที ถ้าผลของการทำนายมากกว่าหรือเท่ากับค่าที่กำหนดไว้ ระบบจัดการฐานข้อมูลจะสั่งให้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีความสำคัญน้อยที่สุดและเหมาะสมที่สุดหยุดการทำงาน โดยมีเงื่อนไขขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและลักษณะการทำงานของอุปกรณ์นั้น ๆ ตามที่กำหนดไว้ในฐานข้อมูลของอุปกรณ์ไฟฟ้า ทั้งนี้จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารลงได้ ส่งผลให้ลดกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าของประเทศลงได้ และลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของเจ้าของกิจการลงด้วย

Thesis Title	Development Program for Energy Control and Management
Student	Mr.Khomkrit Srisuwan
Student ID	43061447
Degree	Master of Engineering
Programme	Instrumentation Engineering
Year	2003
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Suphan Kulpanich

ABSTRACT

The purpose of this Thesis was to present the electrical energy conservation in building which controls and manages energetic consumption, maximum demand by microcomputer, digital power meter and programmable logic controller: PLC in form of multidrop control and measurement via RS485 standard serial communication. The measuring values of digital power meter were shown on the monitor and recorded in database system. It can forecast the power demand in every 15 minutes. If the forecasting results equal or more than the set point values, the system will pause the low loaded operation that will consider from loading database. This process can reduce the power demand in building, the power expense and also the power generation of the country.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้อย่างดี เพราะได้รับการสนับสนุนและคำปรึกษาจากท่าน รศ. สุพรรณ กุลพาณิชย์ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้วิทยานิพนธ์ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณท่านเป็นอย่างสูงสำหรับคำปรึกษาและความกรุณาที่ท่านได้มอบให้ตลอดจนจนสำเร็จการศึกษา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่โครงการอาคารสีเขียว ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคุณเจริญ เทพรังสฤษฏ์ ผู้ที่ให้การสนับสนุน คำแนะนำ คำปรึกษา และความรู้ แก่ผู้วิจัยมาก เป็นพี่ที่แสนดีที่ไม่มีวันลืม

ขอบคุณ รศ.วิทยา ทิพย์สุวรรณพร รศ.เกษตร์ ศิริสันติสัมฤษธิ์ ผศ.ทวีพล ซื่อสัตย์ และอาจารย์อาจิน นวมสำราญ ที่ได้ให้คำปรึกษาชี้แนะ ให้กำลังใจและประสบการณ์ในด้านการไปนำเสนอบทความทางวิชาการในต่างไประเทศ อีกทั้งคณะเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่านที่ให้ความสะดวกในทุก ๆ ด้านของผู้ทำวิจัยครั้งนี้

ขอคุณนายธีรวัฒน์ เทพมณี ที่ให้ความช่วยเหลือแก่ผู้ทำวิจัยในขณะที่ทำวิจัยและศึกษาอยู่จนงานวิจัยนี้สำเร็จ และนายศศิ ศรีสัตตบุตร อาจารย์ธีรชาติ แสนชัย และอาจารย์เดชา เทพประสิทธิ์ชัย เพื่อนและรุ่นพี่ ๆ ที่ร่วมทุกข์ร่วมสุข ให้กำลังใจกันมาตลอด

ขอคุณเจ้าหน้าที่บัณฑิตวิทยาลัยทุกท่านที่ได้อำนวยความสะดวกแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ท่านผู้ให้กำเนิดเลี้ยงดู และญาติพี่น้องที่ให้การสนับสนุนในการเรียนและการวิจัยของผู้ทำวิจัยมาโดยตลอดจนจบการศึกษา ถือว่ายิ่งใหญ่นัก

คมกฤษณ์ ศรีสุวรรณ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II

กิตติกรรมประกาศ.....III

สารบัญ.....IV

สารบัญตาราง.....VII

สารบัญรูปภาพ.....VIII

บทที่ 1 บทนำ.....1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1

1.2 วัตถุประสงค์และความมุ่งหมายของการศึกษา.....1

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....2

1.4 ขอบเขตการวิจัย.....2

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา.....3

1.6 ข้อจำกัดของการศึกษา.....3

บทที่ 2 ความรู้เบื้องต้นสำหรับการบริหารพลังงานไฟฟ้า.....4

2.1 ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าและองค์ประกอบค่าไฟฟ้า.....4

2.1.1 ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า.....4

2.1.2 อัตราค่าไฟฟ้า.....5

2.2 ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า.....6

2.2.1 การหาค่า Demand ด้วยวิธีการจดค่าจาก kWIIr – Meter.....7

2.2.2 การหาค่า Demand ด้วยการเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทุก ๆ 15 นาที.....8

2.2.3 การใช้อุปกรณ์วัดค่า Demand หรือ Digital Power Meter, Demand controller...9

2.2.4 ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด.....10

2.2.5 ทำไมต้องควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า.....10

2.3 ตัวประกอบโหลด และการปรับปรุงตัวประกอบโหลด.....13

2.3.1 การหาค่าตัวประกอบโหลดจากใบเสร็จหรือใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า.....13

2.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบโหลดดับค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า.....13

สารบัญ (ต่อ)

หน้าที่

2.3.3 ตัวประกอบโหลดมาตรฐาน.....14

2.3.4 แนวทางการปรับปรุงตัวประกอบโหลดด้วยวิธีควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า.....14

2.4 วิธีควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด.....15

2.4.1 แนวทางในการลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูวสุด.....15

2.4.2 วิธีการควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด.....15

2.4.2.1 การควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยมนุษย์.....16

2.4.2.2 การควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยอุปกรณ์ควบคุม...16

2.4.3 โครงสร้างระบบควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์.....19

บทที่ 3 แนวคิดการควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้าชนิดที่วิจัย.....20

3.1 การทำนายค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า.....20

3.2 กำหนดเงื่อนไขการควบคุมโหลดเพื่อเป็นแนวทางการลดค่า Demand.....22

3.2.1 การสร้างตารางโหลด.....22

3.2.2 เงื่อนไขการควบคุม.....23

3.3 การบริหารโหลดด้วยระบบฐานข้อมูล.....25

3.3.1 ฐานข้อมูลโหลด (Load Database).....25

3.3.2 ระบบจัดการฐานข้อมูลโหลด (DBMS).....26

3.4 สรุปแนวคิดการควบคุมปละจัดการโหลด.....25

บทที่ 4 โครงสร้างและโปรแกรมการควบคุมฯ.....29

4.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์(Hardware Configuration).....29

4.1.1 อุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอล(Digital Power Meter).....29

4.1.2 เครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้(Programmable Logic Controller).....32

4.1.3 เครื่อข่ายการสื่อสารข้อมูลแบอนุกรมระหว่าง PC กับ PLC.....34

4.2 โครงสร้างทางโปรแกรม(Software Configuration).....36

4.2.1 โปรแกรมแสดงผล (Monitoring Software).....37

4.2.2 โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูล 38

สารบัญ (ต่อ)

หน้าที่

4.3 โปรแกรมข้อตกลงการสื่อสารข้อมูล(Software Protocol).....41
4.3.1 ข้อตกลงการสื่อสารข้อมูลด้วยมาตรฐาน MODBUS.....42
4.3.2 ข้อตกลงการสื่อสารข้อมูลสำหรับเครื่องควบคุมที่โปรแกรมได้ PC84SF.....45
4.4 เครื่องมือสำหรับการสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก.....49

บทที่ 5 การทดสอบและผลการทดสอบ.....50
5.1 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....50
5.1.1 การหาค่าตัวประกอบโหลดของอาคาร.....52
5.1.2 การหาค่าตัวประกอบโหลดที่เหมาะสม.....53
5.2 วางแผนดำเนินการควบคุมและจัดการโหลด.....54
5.3 ดำเนินการควบคุมและติดตามผลระกอบโหลดของอาคาร.....56
5.4 ผลการทดสอบโปรแกรมฯ กับเงื่อนไขอื่น ๆ ที่มีอยู่.....59

บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....61

เอกสารอ้างอิง.....62

ภาคผนวก 63
ภาคผนวก ก อัตราค่าไฟฟ้าแยกตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า.....64
ภาคผนวก ข โปรแกรมฟังก์ชันที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับแสดงผลบนหน้าจอ.....73
ภาคผนวก ค ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์.....78

ประวัติผู้เขียน.....90

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 3.1.2.....5

2.2 แสดงวิธีการหาค่า Demand ด้วยการจดค่าจาก kWHr – Meter.....8

4.1 แสดงค่าเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ RS-232 C, RS-422A, และ RS-485.....36

4.2 แสดงรายละเอียดของข้อมูลในฐานข้อมูล.....40

4.3 แสดงการหาค่ารหัส FCS ด้วยการ Exclusive OR.....46

5.1 แสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าใน 1 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1พ.ย. 2544 - 30 พ.ย. 2544.....52

5.2 แสดงค่าตัวประกอบโหลดที่เพิ่มขึ้นจาก 32 % – 46 % เพื่อหาค่า Demand ที่เหมาะสม.....53

5.3 แสดงรายละเอียดการจัดลำดับโหลด.....55

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	แสดงใบแจ้งหนี้และองค์ประกอบค่าไฟฟ้า	6
2.2	แสดงค่าพลังงานไฟฟ้าและแสดงค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้า	6
2.3	แสดงวิธีการหาค่า Demand ด้วยการเฉลี่ยค่ากำลังไฟฟ้า	8
2.4	แสดงการหาค่า Demand จากการเฉลี่ยค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ทุก ๆ 15 นาทีจากคอมพิวเตอร์	9
2.5	แสดงอุปกรณ์วัดค่า Demand หรือ Digital Power Meter	10
2.6	แสดงเส้นแนวโน้มของค่า Maximum Demand	10
2.7	กราฟแสดงการใช้ไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าเท่ากันตลอด	11
2.8	กราฟแสดงการใช้ไฟฟ้าที่มีค่าความต้อการสูงสุดแตกต่างกัน 1000 kW	12
2.9	แสดงเส้นแนวโน้มวิธีการควบคุมด้วยค่ากำลังไฟฟ้า	16
2.10	แสดงแผนผังขั้นตอนการทำงานของการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้า	17
2.11	แสดงเส้นแนวโน้มวิธีการควบคุมโหลดด้วยค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า	18
2.12	แสดงโครงสร้างระบบควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ควบคุม	19
3.1	แสดงเส้นแนวโน้มพลังงานที่มีการทำนาย	20
3.2	แสดงวิธีการทำนายค่าพลังงานไฟฟ้าจากเวลาที่เหลืออยู่ในช่วงเวลา 15 นาที	20
3.3	แสดงวิธีการทำนายค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า	22
3.4	แผนผังแสดงขั้นตอนเงื่อนไขการตัดโหลดออกจากระบบจ่ายไฟฟ้า	24
3.5	แผนผังแสดงขั้นตอนเงื่อนไขการต่อโหลดเข้าสู่ระบบจ่ายไฟฟ้า	24
3.6	แสดงระบบฐานข้อมูล	25
3.7	องค์ประกอบของฐานข้อมูล	25
3.8	แสดงตัวอย่าง ตารางฐานข้อมูลของโหลดที่ใช้ในการทดลองเงื่อนไข	26
3.9	แสดงตารางโหลดที่เลือกเฉพาะโหลดที่กำลังทำงาน	27
3.10	แสดงตารางโหลดใหม่ ตามเงื่อนไขการเลือกโหลดที่มีลำดับความสำคัญต่ำที่สุด	27
3.11	แสดงตารางโหลดใหม่ ตามเงื่อนไขการเลือกโหลดที่มีอัตรากำลังไฟฟ้าสูงสุด	27
3.12	แสดงตารางโหลดใหม่ ตามเงื่อนไขการเลือกโหลดที่มีช่วงเวลาหยุดทำงานนานที่สุด	28
3.13	แสดงตารางโหลดใหม่ ตามเงื่อนไขการเลือกโหลดที่มีลำดับการจัดเรียงข้อมูลท้ายสุด	28
4.1	แสดงโครงสร้างทาง Hardware	29
4.2	แสดงการติดกตั้งอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า	30
4.3	แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าเข้ากับคอมพิวเตอร์หลัก	30

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.4 แสดงการเชื่อมต่อสายสัญญาณ RS 485 กับอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า.....31

4.5 แสดงการเชื่อมต่อสาย Shield Twisted pair.....31

4.6 แสดงสภาวะการทำงานของรีเลย์เอาท์พุท ก) Low Alarm ข) High Alarm 31

4.7 การเชื่อมต่อการสื่อสารข้อมูลแบบจุดต่อจุด.....32

4.8 แสดงการเชื่อมต่อการสื่อสารข้อมูลแบบเครือข่าย หรือแบบแยกกระจายจุด(Multidrop).....33

4.9 แสดงโครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232C.....34

4.10 แสดงโครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-422 A.....35

4.11 แสดงโครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-485.....35

4.12 แสดงโครงสร้างโปรแกรมสำหรับควบคุมและจัดการ.....36

4.13 แสดงหน้าต่างโปรแกรมแสดงผลในรูปแบบข้อมูลตัวเลข และ รูปแบบเส้นแนวโน้ม.....37

4.14 แสดงการสุ่มค่ากำลังไฟฟ้ามาคำนวณหาค่าพลังงานและความต้องการกำลังไฟฟ้าและ แสดงช่วงเวลาในการสุ่มข้อมูลที่ช่วงเวลาต่าง.....38

4.15 แสดงรายชื่อตารางในแฟ้มฐานข้อมูลของโหลด.....39

4.16 แสดงโครงสร้างของฐานข้อมูลของโหลด.....39

4.17 แสดงโครงสร้างฐานข้อมูลรูปแบบแฟ้มข้อความ.....41

4.18 แสดงตัวอย่างแฟ้มข้อความที่ได้จากการบันทึก.....41

4.19 แสดงบล็อกคำสั่งให้อ่านค่าในหน่วยความจำขนาด N Word.....42

4.20 แสดงบล็อกให้เขียนค่าในหน่วยความจำขนาด 1 Bit.....43

4.21 แสดงตัวอย่างชุดข้อมูลบล็อกตอบสนองจากอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า.....44

4.22 แสดงการแจกแจงข้อมูลที่อ่านได้จากหน่วยความจำตามความหมาย.....44

4.23 รูปแบบของบล็อกคำสั่งและตอบสนองของเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้.....45

4.24 แสดงตัวอย่างบล็อกคำสั่ง และวิธีการหารหัส FCS.....45

4.25 แสดงบล็อกคำสั่งอ่านพื้นที่อินพุท/เอาท์พุท (Input /Output Relay).....46

4.26 แสดงบล็อกคำสั่งเขียนพื้นที่อินพุท/เอาท์พุท (Input /Output Relay).....47

4.27 แสดงบล็อกคำสั่งอ่านพื้นที่ Link Relay.....48

4.28 แสดงบล็อกคำสั่งอ่านพื้นที่ Link Relay.....48

4.29 แสดงรูปเครื่องมือ MSComm Control และ แสดงตัวอย่างการเขียนคำสั่งสื่อสารข้อมูล.....49

5.1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์วัดในห้องระบบจ่ายไฟฟ้า.....51

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.2 แสดงเส้นแนวโน้มของการใช้ไฟฟ้าที่วัดได้.....51

5.3 แสดงแผนผังอาคารเรียนที่ และตำแหน่งของโหลดที่เป็นเครื่องปรับอากาศ.....54

5.4 แสดงการป้อนข้อมูลของโหลดลงในฐานข้อมูล.....56

5.5 แสดงผลการจำลองการใช้ไฟฟ้าและการเปรียบเทียบผลการควบคุมค่า Demand.....57

5.6 แสดงผลการทดลองการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง.....58

5.7 แสดงการทดลองการควบคุมและบริหารโหลดด้วยเงื่อนไขของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต.....59

5.8 แสดงเส้นแนวโน้มการควบคุมแบบเดิม และแสดงเส้นแนวโน้มการควบคุมแบบที่วิจัย.....60

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น เห็นได้จากการสร้างโรงไฟฟ้าขึ้นหลายแห่งในประเทศ เนื่องจากผู้ใช้มีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นการไฟฟ้าฝ่ายผลิตจะต้องเพิ่มกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอกับผู้ใช้ ทำให้ต้นทุนในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากราคา ค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้าแต่ละแห่ง ค่าเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ฯลฯ ที่สำคัญเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ส่วนใหญ่เป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดสินไป ดังนั้นรัฐบาลจึงกำหนดนโยบายการอนุรักษ์พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ ขึ้นอย่างเช่น การประหยัดพลังงานไฟฟ้าภายในอาคารและโรงงาน เพื่อลดการใช้กำลังไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดลงให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด และการพัฒนาโปรแกรมสำหรับการควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้าที่สามารถทำนายค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับอาคารหรือโรงงานได้ ซึ่งปัจจุบันแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับระบบควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้า ลักษณะและการใช้งานของโหลด เงื่อนไขการตัดต่อโหลด รวมไปถึงสถานที่ติดตั้งระบบควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้า ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้เลือกรูปแบบระบบการควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย(หน่วยงานโครงการอาคารสีเขียว) มาเป็นกรณีศึกษา ซึ่งรูปแบบเดิมไม่มีการทำนายค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด อีกทั้งจำนวนของโหลดที่ถูกควบคุมมีจำนวนจำกัด

1.2 วัตถุประสงค์และความมุ่งหมายของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อเสนอแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีการควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด และพัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้า โดยศึกษารูปแบบของโปรแกรมสำหรับการควบคุมและจัดการพลังงานของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยแล้วนำมาปรับปรุงและพัฒนา โปรแกรมสำหรับการควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้าให้เป็นรูปแบบที่ทำวิจัย

ความมุ่งหมายของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับการควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้า ที่ประกอบด้วยการทำนายค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด การควบคุมและจัดการโหลดเพื่อให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้า สามารถประยุกต์ใช้กับอาคารหรือโรงงานได้ เพื่อให้ความรู้

ความเข้าใจในการอนุรักษ์พลังงานและการประหยัดพลังงานไฟฟ้าด้วยวิธีควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด และลดค่าใช้จากด้านพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

การประหยัดพลังงานไฟฟ้ามีด้วยกันหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับผู้ใช้จะเลือกใช้รูปแบบใด วิธีที่ง่ายและนิยมใช้กันมากที่สุดคือการเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดของระบบไฟฟ้าให้สูงขึ้น ค่าตัวประกอบโหลดคือสัดส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงเวลาใด ๆ ต่อค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลานั้น ๆ ถ้าต้องการเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดให้สูงขึ้นจำเป็นต้องลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าลง ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดและนิยมใช้กันมาก ผลของการลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดนอกจากจะทำให้ค่าตัวประกอบโหลดเพิ่มขึ้นแล้ว ยังช่วยให้ลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าลงได้ด้วย และยังช่วยในการวางแผนการผลิตกระแสไฟฟ้าของประเทศมีประสิทธิภาพดีขึ้น

การศึกษาวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้พัฒนาโปรแกรมสำหรับการควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้า เพื่อลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดลง โดยมีการทำนายค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าก่อนที่ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดจริงจะเกิดขึ้น เมื่อผลของการทำนายเกินค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่กำหนดไว้ ระบบควบคุมจะสั่งหยุดโหลดบางตัวไม่ให้ทำงานชั่วคราว เพื่อให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ลดลง เป็นผลทำให้ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าลดลงเช่นกัน เมื่อค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดหรือค่าที่ทำนายลดลง ระบบควบคุมจะสั่งให้ต่อโหลดทำงานอีกครั้ง ทั้งนี้ต้องพิจารณาเงื่อนไขของเวลาด้วย จากหลักการทำงานของโปรแกรมสามารถลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบลงได้ ทำให้ค่าตัวประกอบโหลดเพิ่มขึ้น ลดค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าลง

1.4 ขอบเขตการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เริ่มจากการศึกษาระบบควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย เงื่อนไขการควบคุมโหลดที่มีใช้อยู่ จากนั้นนำพัฒนาโปรแกรมสำหรับการควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้ารูปแบบที่ทำวิจัย ทั้งนี้จำเป็นต้องศึกษาแนวทางการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในอาคารและโรงงาน การหาค่าปริมาณทางไฟฟ้าต่าง ๆ การสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอลและเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้ ซึ่งรูปแบบการการสื่อสารข้อมูลเป็นแบบอนุกรมมาตรฐาน RS485 แต่มีข้อตกลงในการติดต่อสื่อสารข้อมูลที่ไม่เหมือนกัน เพิ่มการทำนายค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยเทียบกับสมการเส้นตรง ซึ่งผลของการทำนายจะเป็นปัจจัยในการตัดสินใจที่จะควบคุมโหลดต่อไป กำหนดรูปแบบการควบคุมโหลดขึ้นมาใหม่โดยพิจารณาจากรูปแบบการควบคุมเดิมของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทษไทย จากนั้นพัฒนาให้เหมาะสมและเป็นประโยชน์กับผู้ใช้ไฟฟ้าให้มากที่สุด

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้แบ่งขั้นตอนของการศึกษาดังนี้

1) การความรู้เบื้องต้นสำหรับการบริหารพลังงานไฟฟ้า
   1.1) ประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าและองค์ประกอบค่าไฟฟ้า
   1.2) ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า
   1.3) ค่าตัวประกอบโหลด
   1.4) แนวทางการปรับปรุงตัวประกอบโหลด
   1.5) วิธีการควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า
2) แนวคิดในการควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้าชนิดที่ทำวิจัย
   2.1) การทำนายค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า
   2.2) กำหนดเงื่อนการควบคุมโหลดจากปัจจัยที่มีผลต่อค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า
   2.3) นำระบบจัดการฐานข้อมูลมาใช้จัดการและบริหารโหลด
3) กำหนดโครงสร้าง โปรแกรมสำหรับการควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้า
   3.1) โครงสร้างทางด้านฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์
   3.2) ข้อตกลงในการติดต่อสื่อสารข้อมูล
4) การทดสอบโปรแกรมและผลการทดลอง
5) สรุป ข้อเสนอแนะ และปัญหาในงานวิจัย

1.6 ข้อจำกัดของการศึกษา

ข้อจำกัดของการศึกษาคือ เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในงานวิจัยเป็นของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ระยะเวลาในการยืมมาทดลองมีจำกัดเมื่อเทียบกับระยะการของงานวิจัย อีกทั้งยังมีมาใช้งานได้เพียงตัวเดียว ทั้ง ๆ ที่สามารถออกแบบให้ใช้งานได้หลายตัวพร้อม ๆ กัน ดังนั้นโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมานี้จึงใช้วัดได้เพียงตัวเดียว และจำกัดในเรื่องของยี่ห้อของเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าต้องเป็นยี่ห้อ ELCONTROL รุ่น VIP ENERGY 185 ในส่วนของเครื่องควบคุมแบบตรรกก็เช่นเดียวกันคือยี่ห้อ FACCON รุ่น FAC-PC84 โดยอุปกรณ์ทั้งสองชนิดนี้มีข้อตกลงในการติดต่อสื่อสารข้อมูลทีไม่เหมือนกันด้วย จึงใช้ช่องการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของคอมพิวเตอร์ถึงสองช่องคือ พอร์ต COM1 และพอร์ต COM2

บทที่ 2
การความรู้เบื้องต้นสำหรับการบริหารพลังงานไฟฟ้า

2.1 ประเภทของผู้ใช้ไฟฟ้าและองค์ประกอบค่าไฟฟ้า

2.1.1 ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า

การไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าภูมิภาค ได้แบ่งประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าออกเป็น 7 ประเภท ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าต่าง ๆ ดังนี้ 12 kV, 24 kV, 33 kV และ 69 kV เพื่อให้สอดคล้องกับงานวิจัย จึงขอยกข้อกำหนดอัตราค่าไฟฟ้าที่ผู้ใช้ไฟฟ้าก่อนเดือนตุลาคม 2543 [1] ดังนี้

1) ประเภทที่ 1 บ้านพักอาศัย ลักษณะการใช้สำหรับการใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือนที่อยู่อาศัย วัดและโบสถ์ของศาสนาต่าง ๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

2) ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก ลักษณะการใช้สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ ธุรกิจรวมกับที่อยู่อาศัยอุตสาหกรรม และหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ หรืออื่น ๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

3) ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติและสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดตั้งแต่ 30 ถึง 999 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

4) ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่ สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ หน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติ และสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน เกินกว่า 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

5) ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบกิจการโรงแรมและกิจการให้เช่าพักอาศัย ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

6) ประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร สำหรับการใช้ไฟฟ้าของส่วนราชการ หน่วยงานตามกฎหมายว่าด้วยระเบียบบริหารราชการส่วนท้องถิ่น ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุดต่ำกว่า 1,000 กิโลวัตต์ และมีปริมาณ

การใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน และองค์กรที่ไม่ใช่ ส่วนราชการ แต่มีวัตถุประสงค์ในการให้บริการโดยไม่คิดค่าตอบแทน รวมถึงสถานที่ใช้ประกอบศาสนกิจตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง แต่ไม่รวมถึงหน่วยงานรัฐวิสาหกิจ สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของต่างชาติ และสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

7) ประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร สำหรับการใช้ไฟฟ้ากับเครื่องสูบน้ำเพื่อการเกษตรของส่วนราชการ กลุ่มเกษตรกรที่ทางราชการรับรอง หรือสหกรณ์เพื่อการเกษตร โดยต่อผ่านเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.1.2 อัตราค่าไฟฟ้า

ในแต่ละประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า ได้จำแนกรายละเอียดอัตราค่าไฟฟ้า ของแต่ละกิจการดังนี้คือ

ก) อัตราปกติ : คิดค่าไฟฟ้าเท่ากันตลอด 24 ชั่วโมงของทุก ๆ วัน

ข) อัตรา TOU (Time of Use) : คิดค่าไฟฟ้าออกเป็น 2 ช่วงเวลา ดังนี้

On Peak: เวลา 09.00 - 22.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์

Off Peak: เวลา 22.00 - 09.00 น. วันจันทร์ – วันศุกร์

Off Peak: เวลา 00.00 - 24.00 น. วันเสาร์ – วันอาทิตย์ และวันหยุดราชการ ไม่คิดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า

ค) อัตรา TOD (Time of Day) : คิดค่าไฟฟ้าออกเป็น 3 ช่วงเวลาของทุก ๆ วัน ดังนี้

Partial Peak: เวลา 08.00-18.30 น. ของทุกวัน คิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าเฉพาะส่วนที่เกินจากช่วง On Peak

On Peak: เวลา 18.30 - 21.30 น. ทุกวัน

Off Peak: เวลา 21.30 - 08.00 น. ของทุกวัน (ไม่คิดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า)

รายละเอียดอัตราค่าไฟฟ้าแต่ละประเภทแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

2.1.3 องค์ประกอบค่าไฟฟ้า

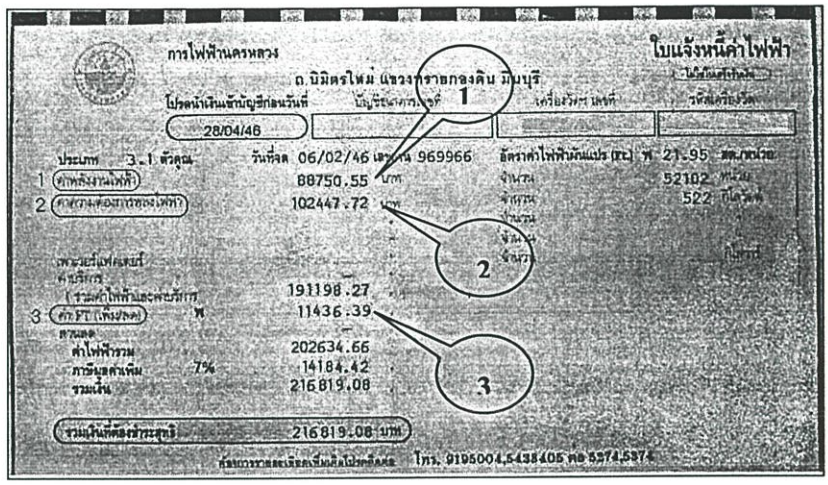
องค์ประกอบค่าไฟฟ้าในงานวิจัยฉบับนี้ ได้ยกตัวอย่างผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 3.1 คือกิจการขนาดกลาง ระดับแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ 22 กิโลโวลท์ มีอัตราค่าไฟฟ้าดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงอัตราค่าไฟฟ้าประเภทที่ 3.1.2

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	**ค่าพลังงานไฟฟ้า** (บาท/หน่วย)
3.1.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	175.70	1.6660
3.1.2 แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	196.26	1.7034
3.1.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	221.50	1.7314

และองค์ประกอบค่าไฟฟ้าจากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า ดังรูปที่ 2.1 จะประกอบด้วย

1) ค่าไฟฟ้าต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (บาท/หน่วย) หรือ (บาท/kWHr.)
2) ค่าไฟฟ้าต่อความต้องการกำลังไฟฟ้า (บาท/kW.)
3) ค่าไฟฟ้าผันแปรหรือ Ft (บาท/หน่วย)

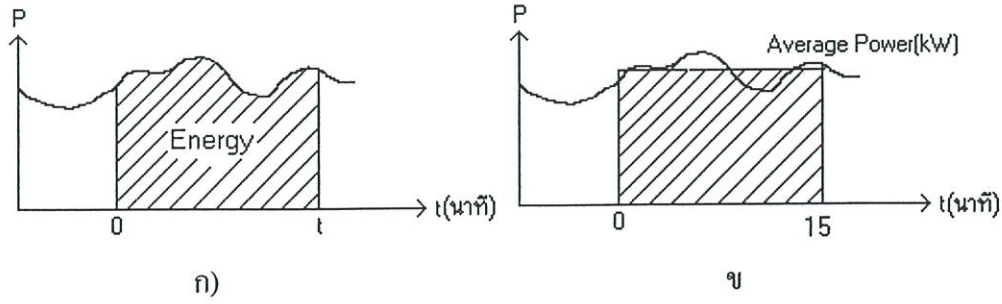


รูปที่ 2.1 แสดงใบแจ้งหนี้และองค์ประกอบค่าไฟฟ้า

จากใบแจ้งหนี้พบว่า ค่าไฟฟ้าต่อความต้องการกำลังไฟฟ้า(บาทต่อกิโลวัตต์) จะสูงกว่าค่าไฟฟ้าต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้(บาทต่อหน่วย) เนื่องจากไม่มีการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในกิจการแห่งนี้ ทำให้ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าที่วัดได้สูง ดังนั้นองค์ประกอบตัวนี้(ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า) จึงเป็นปัจจัยทำให้ต้องศึกษาวิจัยในงานวิจัยฉบับนี้

2.2 ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (Demand)

ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า คือค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงเวลา 15 นาที [2]



รูปที่ 2.2 ก) แสดงค่าพลังงานไฟฟ้า ข) แสดงค่าเฉลี่ยของกำลังไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.1 ก) พื้นที่ใต้เส้นโค้งของกำลังไฟฟ้า คือค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในช่วงเวลา t นาที ค่าพลังงานไฟฟ้า(Energy)[2] สามารถหาได้จากสมการที่ 2.1 ถ้าเอาพลังงานไฟฟ้าที่ได้หารด้วยช่วงเวลา t ที่ใช้ไป ดังสมการที่ 2.2 ก็จะได้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยใต้เส้นโค้งช่วงเวลานั้น ๆ โดยกำหนดให้ช่วงเวลา t = 15 นาที ก็จะได้เฉลี่ยของกำลังไฟฟ้าที่ช่วงเวลา 15 นาที นั้นคือค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า(Demand) ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ข)

$$E = \int_{0}^{t} P(t)dt \tag{2.1}$$

$$P_{(average)} = \frac{E}{t} \tag{2.2}$$

เมื่อ E คือพลังไฟฟ้า (WHr.)

P (t) คือกำลังไฟฟ้าที่ขึ้นอยู่กับเวลา (kW)

$P_{(average)}$ คือกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยช่วงเวลา t =15 นาที (kW)

t คือช่วงเวลาที่พิจารณา 15 นาที (นาที)

การหาค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า(Demand) สามารถทำดังนี้

1) การจดค่าจากเครื่องมือวัดพลังงานไฟฟ้า(kWHr-Meter)
2) การหาค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยทุก ๆ 15 นาที
3) อุปกรณ์วัดค่า Demand หรือ Digital Power Meter, Demand Controller

2.2.1 การหาค่า Demand ด้วยวิธีการจดค่าจาก kWHr - Meter

การหาค่า Demand ด้วยวิธีนี้จำเป็นต้องอาศัยมนุษย์เข้ามาช่วย ทำได้โดยการจดบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในช่วงเวลา 15 นาที ทุก ๆ 15 นาที แล้วนำหน่วยที่ได้ไปคูณ 4 [2] ดังสมการที่ 2.3 ก็จะได้ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า(Demand) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

$$\text{Demand} = \text{Energy}_{(15\text{นาที})} \times 4 \tag{2.3}$$

เมื่อ Demand คือค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (kW)

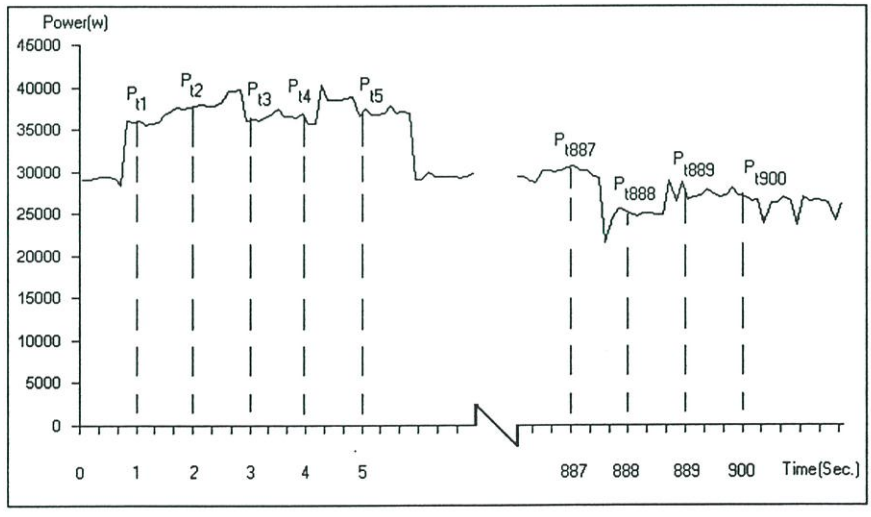
Energy คือพลังงานที่ใช้ไปในช่วงเวลา 15 นาที (kWHr.)

ตารางที่ 2.2 แสดงวิธีการหาค่า Demand ด้วยการจดค่าจาก kWHr – Meter

เวลา	หน่วยที่อ่านได้(kWHr)	หน่วยที่ใช้ไป(kWHr)	Demand = $kWHr._{(15นาที)}$ x 4 (kW)
00:00	125	....	....
00:15	255	130=(255-125)	520 =130 x 4
00:30	384	129=(384-255)	516 =129 x 4
00:45	550	166=(550-384)	664 =166 x 4
01:00	724	174=(724-550)	696 =174 x 4

2.2.2 การหาค่า Demand ด้วยการเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าที่ใช้ทุก ๆ 15 นาที

การหาค่า Demand ด้วยวิธีนี้อาจต้องใช้มนุษย์บันทึกค่าจากเครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าเป็นระยะ ๆ แล้วทำการพอร์ตกราฟแนวโน้มของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ แล้วมาทำการคำนวณหาค่า Demand ในแต่ละช่วงเวลา 15 นาที หรือใช้อุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าที่สามารถส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ แล้วใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ทำการคำนวณค่า Demand พอร์ตกราฟแสดงแนวโน้มการใช้กำลังไฟฟ้าบันทึก และวิเคราะห์ข้อมูลแทนมนุษย์ได้ ซึ่งการคำนวณค่า Demand จากการใช้มนุษย์และคอมพิวเตอร์สามารถคำนวณได้สมการที่ 2.4 และ 2.5 โดยมีหลักการดังรูปที่ 2.3 และผลของการหาค่า Demand จากการคำนวณของคอมพิวเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 แสดงวิธีการหาค่า Demand ด้วยการเฉลี่ยค่ากำลังไฟฟ้า

$$\text{Demand} = \frac{P_{t1} + P_{t2} + ... + P_{tn}}{T} \qquad (2.4)$$

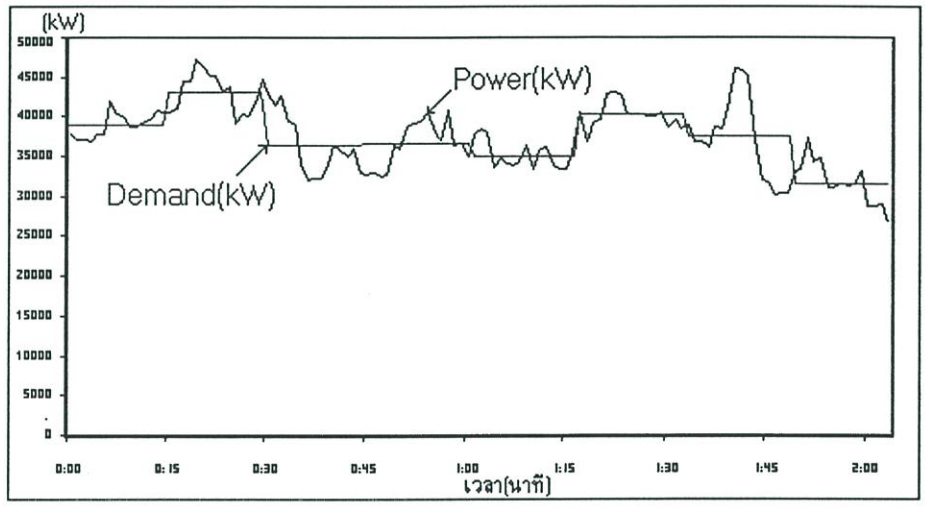
หรือค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า(Demand) เท่ากับ

$$\text{Demand} = \frac{P_{t1} + P_{t2} + \ldots + P_{t900}}{900\,\text{sec.}} \qquad (2.5)$$

เมื่อ: Demand = ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า(คิดที่เป็นช่วงเวลาเท่ากับ 15 นาที)

T = ช่วงเวลาของการคิดค่า Demand เท่ากับ 15 นาที หรือ 900 วินาที

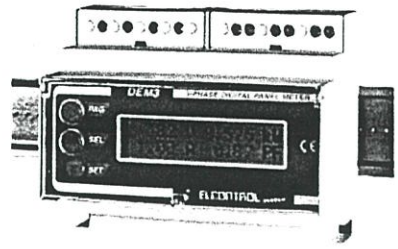
P_t = ค่ากำลังไฟฟ้าที่เวลาใด ๆ ในช่วงเวลา T



รูปที่ 2.4 แสดงการหาค่า Demand จากการเฉลี่ยค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ทุก ๆ 15 นาทีจากคอมพิวเตอร์

2.2.3 การใช้อุปกรณ์วัดค่า Demand หรือ Digital Power Meter, Demand Controller

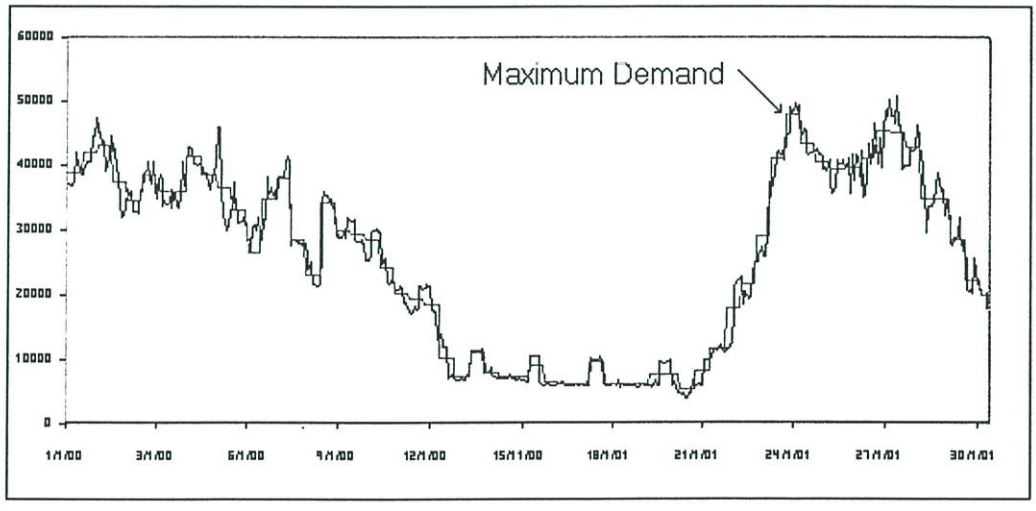
การหาค่า Demand ด้วยวิธีนี้ต้องใช้อุปกรณ์วัดค่า Demand โดยตรง ที่สามารถวัดและบันทึกค่า Demand จากระบบจ่ายไฟฟ้าได้ อุปกรณ์วัดชนิดนี้อาศัยเทคโนโลยีของไมโครโพรเซสเซอร์ทำให้สามารถคำนวณ และแสดงค่า Demand ขณะทำการวัดได้พร้อม ๆ กัน นอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ได้ ทำให้มีประสิทธิภาพในการวัด และวิเคราะห์ข้อมูลดียิ่งขึ้น ในปัจจุบันอุปกรณ์วัดค่า Demand ยังสามารถเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้หลาย ๆ จุด โดยผ่านการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม RS422 หรือ RS485 ซึ่งการสื่อสารข้อมูลแบบนี้สามารถต่อได้ในระยะไกล ๆ และจำนวนของอุปกรณ์สามารถต่อได้มากถึง 247 ตัว(แต่ต้องใช้ Adapter ขยาย) ทำให้ผู้ใช้สามารถกระจายการวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้หลาย ๆ จุดด้วย อุปกรณ์วัดค่า Demand แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงอุปกรณ์วัดค่า Demand หรือ Digital Power Meter

2.2.4 ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด(Maximum Demand) คือค่า Demand ที่สูงที่สุดในรอบ 1 เดือน ดังแสดงในรูป 2.6 ค่า Maximum Demand นี้จะถูกนำไปคิดเป็นค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าในใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า โดยที่ค่า Maximum Demand จะถูกบันทึกไว้ด้วยอุปกรณ์วัด Demand ของการไฟฟ้าเอง เมื่อครบรอบเวลาของการจดมิเตอร์ พนักงานของการไฟฟ้าจะทำการ Reset ค่า Maximum Demand ให้เป็น 0 เพื่อเริ่มบันทึกใหม่ในรอบเดือนต่อไป ดังนั้นถ้าผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าลงได้ ก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าลดลงได้เช่นกัน อีกทั้งยังช่วยประหยัดพลังงานภายในประเทศได้อีกทาง



รูปที่ 2.6 แสดงเส้นแนวโน้มของค่า Maximum Demand

2.2.5 ทำไมต้องควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า

เนื่องจากค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเป็นปัจจัยหนึ่งที่บอกได้ว่า ผู้ใช้ไฟฟ้ามีความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ามากน้อยเพียงใด ทำให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตต้องเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้าหรืออาจสร้าง

โรงไฟฟ้าเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นให้เพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า เป็นผลทำให้ต้นทุนการผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้อัตราค่าไฟฟ้าของผู้ใช้สูงขึ้นตาม ดังนั้นถ้าลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าลง ด้วยวิธีการประหยัดพลังงานไฟฟ้าหรือควบคุมการใช้กำลังไฟฟ้าไม่ให้มากเกินไป จะช่วยให้ลดค่าใช้ด้านพลังงานไฟฟ้าและลดต้นทนการผลิตต่อหน่วยลงได้ ดังตัวอย่างที่พิจารณาการใช้ไฟฟ้า 2 แบบ ที่มีความแตกต่างระหว่างค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า เทียบกับค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าดังนี้

ก) พิจารณาการใช้ไฟฟ้าแบบที่ 1

ถ้าอาคารแห่งหนึ่งมีการใช้กำลังไฟฟ้า 24 ชั่วโมงเท่ากันตลอดทั้งเดือน ดังรูปที่ 2.7 สามารถคำนวณค่าไฟฟ้ารายเดือนได้ดังนี้

เมื่อ: พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ = 500kW×24ช.ม.×30วัน = 360,000 หน่วย

ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า = 500 kW

ค่า Ft. = 21.12 ส.ต./หน่วย

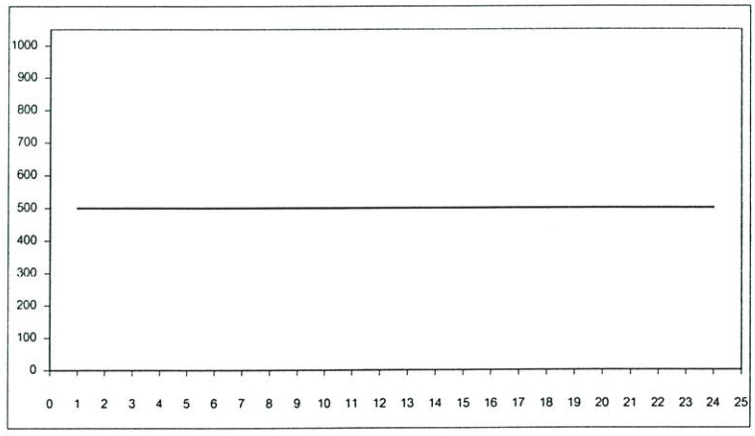
ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย = 360,000 หน่วย × 1.7034 บาท/หน่วย = 613,224 บาท

ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า = 500 kW × 196.26 บาท/kW = 98,130 บาท

ค่า Ft. = 360,000 หน่วย × 0.2612 บาท/หน่วย = 94,032 บาท

รวม = 613,224 + 98,130 + 94,032 = 805,406 บาท

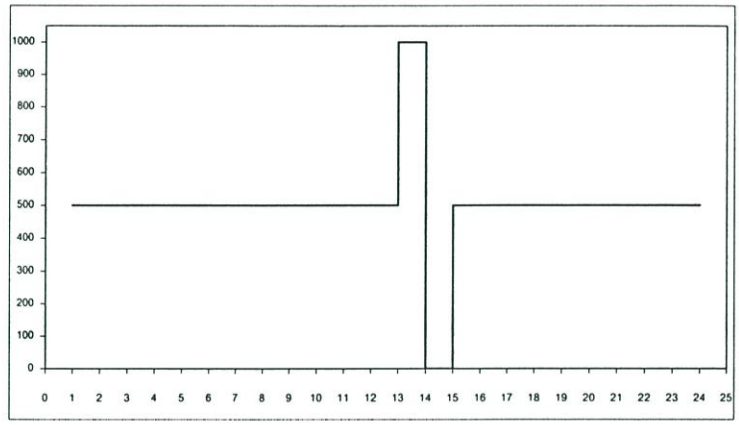
ฉะนั้นราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย = 805,406 / 360,000 = 2.24 บาท/หน่วย



รูปที่ 2.7 กราฟแสดงการใช้ไฟฟ้าที่มีกำลังไฟฟ้าเท่ากันตลอด

ข) พิจารณาการใช้ไฟฟ้าแบบที่ 2

ถ้าในมีอยู่วันหนึ่งของเดือนมีการใช้กำลังไฟฟ้าสูงที่สุด 1,000 kW และวันหนึ่งไม่มีการใช้กำลังไฟฟ้าเลยคือต่ำสุด 0 kW ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงการใช้ไฟฟ้าที่มีค่าความต้อการสูงสุดแตกต่างกัน 1000 kW

เมื่อ: พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ =(500kW×24ช.ม.×28วัน)+(1,000kW×24ช.ม.×1วัน) + (0kW×24ช.ม.×1วัน) = 360,000 หน่วย

ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า = 1,000 kW

ค่า Ft. = 26.12 ส.ต./หน่วย

ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วย = 360,000 หน่วย × 1.7034 บาท/หน่วย = 613,224 บาท

ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า = 1,000 kW × 196.26 บาท/kW = 196,260 บาท

ค่า Ft. = 360,000 หน่วย × 0.2612 บาท/หน่วย = 94,032 บาท

รวม = 613,224 + 196,260 + 94,032 = 903,536 บาท

ฉะนั้นราคาค่าไฟฟ้าต่อหน่วย = 903,536 / 360,000 = 2.51 บาท/หน่วย

จากการพิจารณาค่าไฟฟ้าของการใช้ไฟฟ้าทั้ง 2 แบบ จะเห็นว่าค่าไฟฟ้าแบบที่ 2 มีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าแบบที่ 1 เนื่องจากการใช้ไฟฟ้าแบบที่ 2 มีค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงกว่าแบบที่ 1 ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าทำไมต้องมีการควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า ไม่ให้มีค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบเดือนสูงเกินไป ทั้งนี้การควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะต้องไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของผู้ใช้ไฟฟ้า หรือกระบวนการผลิต ตัวแปรที่จะบอกถึงค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมคือ สัดส่วนของค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ต่อค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของช่วงเวลาที่แน่นอน หรือเรียกว่าตัวประกอบโหลด[2]

2.3 ตัวประกอบโหลด และการปรับปรุงตัวประกอบโหลด(Load Factor)

ตัวประกอบโหลด คือค่าอัตราส่วนของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้ในช่วงเวลาที่แน่นอนช่วงหนึ่ง ๆ ต่อค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลานั้น ๆ ค่าตัวประกอบโหลด คือดรรชนีที่ชี้ว่าเมื่อไรจึงมีการควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า(Demand) และเป็นตัวแสดงถึงประสิทธิภาพการทำงานของโหลดโดยรวม ในอาคารหรือโรงงานนั้นซึ่งบอกค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ [2] ดังแสดงในสมการที่ 2.6

$$\text{Load Factor} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ใช้งานในช่วงเวลาที่แน่นอน}}{\text{กำลังไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลาที่แน่นอน}} \times 100\% \qquad (2.6)$$

2.3.1 การหาค่าตัวประกอบโหลดจากใบเสร็จหรือใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า

เมื่อพิจารณาใบเสร็จรับเงินหรือใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้า ที่ประกอบด้วยค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด สามารถหาค่าตัวประกอบโหลดได้ดังสมการที่ 2.7[1]

$$\text{Load Factor}_{(\text{รายเดือน})} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้}_{(1\text{เดือน})}}{\text{ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด}_{(1\text{เดือน})} \times 24\text{ชม.} \times 30\text{วัน}} \times 100\% \qquad (2.7)$$

หรือการหาค่าตัวประกอบโหลดรายวันได้จากข้อมูลบันทึกการใช้กำลังไฟฟ้ารายวัน ซึ่งประกอบด้วยค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดใน 1 วัน ดังสมการที่ 2.8

$$\text{Load Factor}_{(\text{รายวัน})} = \frac{\text{พลังงานไฟฟ้าที่ใช้}_{(24\text{Hr.})}}{\text{กำลังไฟฟ้าสูงสุด}_{(24\text{Hr.})} \times 24\text{Hr.}} 100\% \qquad (2.8)$$

2.3.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าตัวประกอบโหลดกับค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า

จากสมการตัวประกอบโหลดแสดงให้เห็นว่าตัวประกอบโหลดจะแปรผกผันกับค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า ซึ่งจะแสดงให้เห็นความสัมพันธ์ของตัวประกอบโหลดกับค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าดังนี้[2]

ก) พิจารณาการใช้ไฟฟ้าแบบที่ 1 ดังรูปที่ 2.7

เมื่อ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน 1 เดือน = 360,000 kWHr.

ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า = 500 kW

จากสมการที่ 2.7 สามารถหาค่าตัวประกอบโหลดได้ดังนี้

$$\text{Load Factor} = \frac{360{,}000\,\text{kWHr.}}{500\,\text{kW} \times 24\,\text{Hr.} \times 30\,\text{วัน}} \times 100\% = 100\%$$

ข) พิจารณาการใช้ไฟฟ้าแบบที่ 2 ดังรูปที่ 2.8

เมื่อ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน 1 เดือน = 360,000 kWHr.

ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า = 1,000 kW

จากสมการที่ 2.7 สามารถหาค่าตัวประกอบโหลดได้ดังนี้

$$\text{Load Factor} = \frac{360{,}000\ \text{kWHr}}{1{,}000\,\text{kW} \times 24\,\text{Hr.} \times 30\,\text{วัน}} \times 100\% = 50\%$$

เมื่อพิจารณาการใช้ไฟฟ้าทั้ง 2 แบบ จะเห็นว่าค่าตัวประกอบโหลดจะลดลงเมื่อค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงบอกได้ว่าการประหยัดพลังงานไฟฟ้าให้ได้ผลดีนั้นจะต้องเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดของระบบไฟฟ้าในอาคารหรือโรงงานขึ้น ซึ่งจะมีแนวทางการปรับปรุงโหลดหลายแนวทาง การปรับปรุงตัวประกอบโหลดของระบบไฟฟ้าในอาคารหรือโรงงาน ให้ได้ประสิทธิภาพนั้นจะมีค่าตัวประกอบโหลดมาตรฐานเป็นตัวเปรียบเทียบ ก่อนทำการปรับปรุงตัวประกอบโหลด

2.3.3 ตัวประกอบโหลดมาตรฐาน

ตัวประกอบโหลดมาตรฐานเป็นข้อกำหนดจากการตั้งข้อสมมุติฐานของการใช้ไฟฟ้า ซึ่งใช้เป็นตัวเปรียบเทียบค่าตัวประกอบโหลดของอาคารหรือโรงงานที่ต้องการปรับปรุงค่าตัวประกอบโหลดของตนเอง โดยที่มาของตัวประกอบโหลดมาตรฐานหาจาก

สมมุติให้โรงงานแห่งหนึ่งมีการใช้ไฟฟ้าคงที่ตลอดทั้งวัน 24 ชั่วโมง และใน 1 อาทิตย์ทำงานแค่ 6 วัน ฉะนั้นจึงมีเวลาทำงานประมาณ 80% ของเดือน ดังนั้นจึงกำหนดเป็นค่าตัวประกอบโหลดมาตรฐานเท่ากับ 80% [2] สำหรับเปรียบเทียบกับอาคารหรือโรงงานที่ต้องการปรับปรุงค่าตัวประโหลด

ในบางกรณีก็ไม่สามารถใช้ค่าตัวประกอบมาตรฐานมาเป็นตัวเปรียบเทียบได้ เนื่องจากว่าในอาคารหรือโรงงานบางแห่งไม่สามารถลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดลงได้อย่างรวดเร็ว เพราะมีความจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าในขณะนั้น แต่จะอาศัยระยะเวลาค่อย ๆ ปรับลด

2.3.4 แนวทางการปรับปรุงตัวประกอบโหลดด้วยวิธีควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า

สำหรับการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอาคารและโรงงาน ด้วยการปรับปรุงตัวประกอบโหลดให้สูงขึ้นเป็นแนวทางที่นิยมกระทำมากที่สุด สามารถทำได้โดยการลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบไฟฟ้าลง ด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น

1) วางแผนการทำงานของโหลดโดยพยายามลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดลง

2) กำหนดเวลาการทำงานของโหลดไปไว้ช่วงเวลาที่เหมาะสม เพื่อลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

3) หลีกเลี่ยงการเดินโหลดที่มีขนาดใหญ่พร้อม ๆ กันหลายตัว และเป็นเวลานาน ๆ

4) ใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง เช่นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

5) ใช้เครื่องควบคุมโหลดอัตโนมัติ เมื่อค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงกว่าที่กำหนด

การประหยัดพลังงานไฟฟ้าเกี่ยวกับระบบรวมในอาคาร โดยการปรับปรุงค่าตัวประกอบโหลดให้สูงขึ้น จะทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้ นอกจากนี้ยังช่วยการวางแผนการผลิตกระแสไฟฟ้าของประเทศให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2.4 วิธีควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

การควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า คือการความคุมการใช้โหลดไม่ให้ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดเกินที่กำหนดไว้ พร้อมกับการปรับปรุงค่าตัวประกอบโหลดของระบบไฟฟ้าด้วย การควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าให้ได้ผลดี จำเป็นต้องรู้ข้อมูลของโหลดที่นำมาควบคุม เช่น ขนาดพิกัด สภาพการใช้งาน(ทำงานตลอดเวลา ทำบ้างหยุดบ้าง ทำเป็นระยะ ๆ เป็นต้น) แล้วจึงนำข้อมูลเหล่านั้นมาพิจารณาใช้ในการควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้การควบคุมได้ผลดี

2.4.1 แนวทางในการลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

การควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้า ควรจะมีการรวบรวมข้อมูลของโหลดต่าง ๆ ก่อน เพื่อจัดทำรายการแสดงรายละเอียดของโหลด จัดกลุ่มให้เป็นหมวดหมู่ เพื่อให้ง่ายต่อการตรวจสอบและค้นหา สำรวจการใช้งาน การใช้กำลังไฟฟ้า สภาพการทำงาน ระยะเวลาในการทำงาน เงื่อนไขการเริ่มหรือหยุดทำงาน จัดทำแผนผังการจ่ายไฟฟ้าจากหม้อแปลงไปยังโหลดต่าง ๆ คำนวณหาค่าตัวประกอบโหลดในการควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า โดยพิจารณาตัวประกอบโหลดรายเดือนและรายวัน[2] ทั้งหมดนี้นำไปสู่แนวทางการการลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดดังนี้

1) พิจารณาการย้ายเวลาทำงานของโหลด ไปอยู่ในช่วงที่เหมาะสม

2) พิจารณาลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโหลดบางชนิดลง

3) หลีกเลี่ยงการเดินเครื่องสำหรับโหลดที่มีขนาดใหญ่หลาย ๆ ตัวพร้อม ๆ กันในช่วงเวลา 15 นาที

4) พิจารณาเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง เช่นมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง

5) พิจารณาใช้อุปกรณ์ควบคุมอัตโนมัติในการตัดต่อโหลด

2.4.2 วิธีควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด

วิธีการควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสามารถแบ่งออกได้ 2 วิธีคือ

1) ใช้มนุษย์ควบคุมการเปิด-ปิดโหลด

2) ใช้อุปกรณ์ควบคุมการเปิด-ปิดโหลด

2.4.2.1 การควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าด้วยมนุษย์

การควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าด้วยมนุษย์หรือ ควบคุมการเปิด-ปิดโหลดด้วยมนุษย์สามารถทำได้ 2 รูปแบบ คือ

1) การควบคุมโหลดตามเวลา ในรูปแบบนี้จะกำหนดเวลาการทำงานของโหลดเอาไว้ เมื่อถึงเวลาพนังงานที่รับผิดชอบจะทำการควบคุมการเปิด-ปิดโหลด

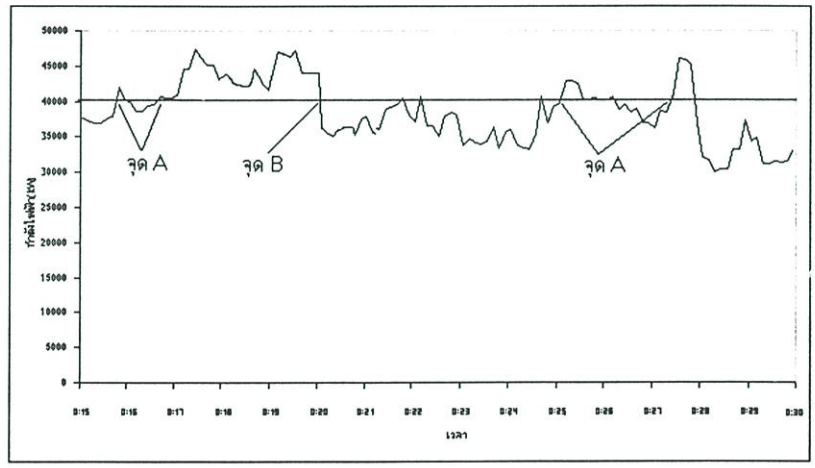
2) การควบคุมจากสัญญาณเตือน ในรูปแบบนี้จะติดตั้งอุปกรณ์วัดความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดไว้ เมื่อค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงกว่าที่กำหนดไว้ อุปกรณ์วัดจะส่งสัญญาณเตือน เพื่อให้พนักงานที่รับผิดชอบทำการควบคุมการเปิด-ปิดโหลด

2.4.2.2 การควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ควบคุม

การใช้อุปกรณ์ควบคุมสามารถแบ่งออกเป็น 3 รูปแบบคือ

1) การควบคุมโหลดด้วยเวลา อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมอย่างเช่น Timer หรือเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้(PLC) โดยการตั้งเวลาเปิด-ปิดโหลดจาก Timer หรือ PLC

2) การควบคุมโหลดด้วยค่ากำลังไฟฟ้า(kW) อุปกรณ์ที่นำมาใช้อย่างเช่น Digital Power Meter, PLC และคอมพิวเตอร์ การควบคุมโหลดจะเกิดขึ้นเมื่อ ค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้สูงกว่ากำลังไฟฟ้าที่กำหนดไว้ ในอุปกรณ์ หรือในโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 2.9

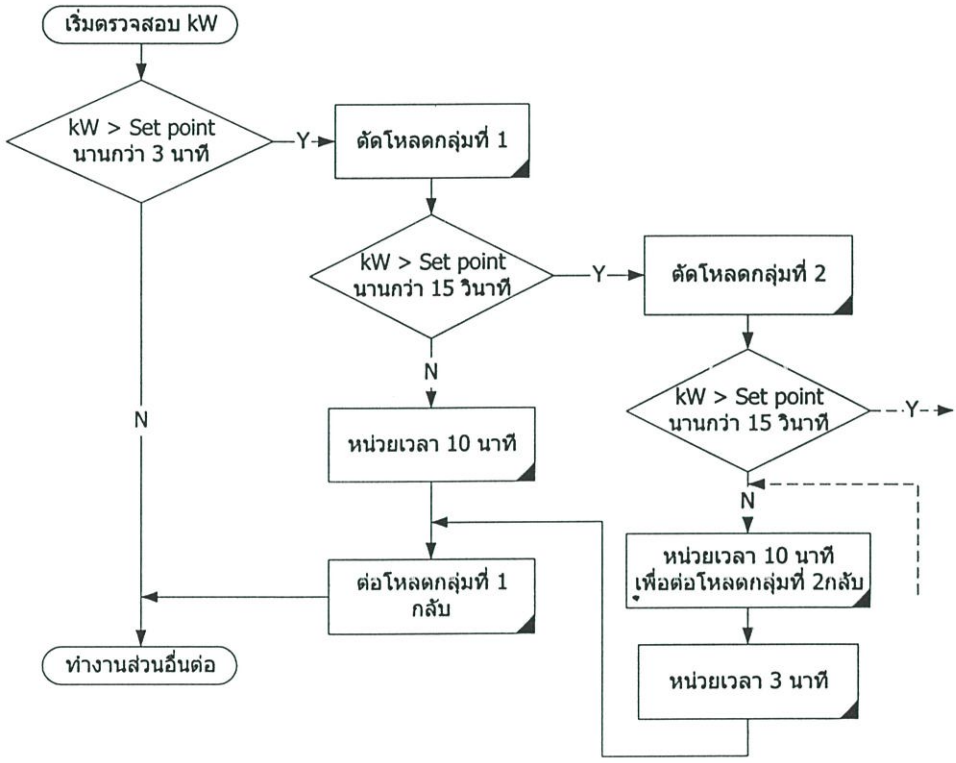


รูปที่ 2.9 แสดงเส้นแนวโน้มวิธีการควบคุมด้วยค่ากำลังไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.9 สามารถอธิบายการทำงานของการควบคุมได้ดังนี้ ณ จุดA บนกราฟ เป็นเวลาที่ค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้สูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ ระบบควบคุมจะหน่วงเวลาประมาณ 3 นาที เผื่อว่าค่ากำลังไฟฟ้าจะลดลง ถ้ากำลังไฟฟ้าไม่ลดลงนานกว่า 3 นาที ระบบควบคุมจะสั่งให้ตัดโหลดก

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

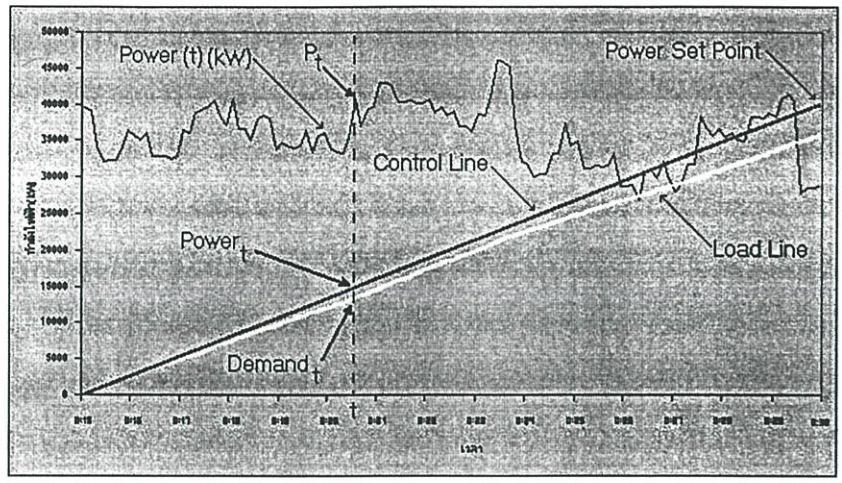
ลุ่มแรกออกจากระบบจ่ายไฟฟ้า (จุดB) กรณีค่ากำลังไฟฟ้ายังไม่ลดลงระบบควบคุมจะสั่งตัดโหลดลำดับกลุ่มต่อไปที่อยู่ในระบบจ่ายไฟฟ้าออกโดยหน่วงเวลาประมาณ 15 ถ้าค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้ต่ำกว่าค่าที่กำหนด ระบบควบคุมจะต่อโหลดกลุ่มสุดท้ายที่ตัดเข้าสู่ระบบจ่ายไฟฟ้าอีกครั้งโดยหน่วยประมาณ 10 นาที ถ้ากำลังไฟฟ้าที่วัดยังต่ำกว่าก็จะต่อโหลดกลุ่มต่อไปเข้าระบบจ่ายไฟฟ้าโดยหน่วงเวลาประมาณ 3 นาที เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด[4] จากที่กล่าวมาแล้วสามารถแสดงแผนผังขั้นตอนการทำงานได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงแผนผังขั้นตอนการทำงานของการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้า

3) การควบคุมโหลดด้วยค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า จะมีวิธีการคล้ายกับการควบคุมด้วยค่ากำลังไฟฟ้า แต่แตกต่างที่ค่าข้อมูลที่วัดและเป้าหมายคือค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (Demand) อุปกรณ์ที่นำมาใช้สำหรับระบบนี้อย่างเช่น Digital Power Meter, PLC และคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่จะใช้ร่วมกับโปรแกรมควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 2.11

49542



รูปที่ 2.11 แสดงเส้นแนวโน้มวิธีการควบคุมโหลดด้วยค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.11 สามารถอธิบายการทำงานของระบบควบคุม ด้วยค่าความต้อง การกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ดังนี้ เส้น Control Line คือเส้นตรงที่ลากจากจุดเริ่มต้น (0 kW) ไปยังค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเป้าหมายของการควบคุม (ในรูป Set Point = 4,000 kW) เมื่อเส้นแนวโน้มผ่านแต่ละจุดบนแกนเวลา (จำนวนเวลา 900 วินาที) สามารถคำนวณหาค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเป้าหมายได้ทุก ๆ ช่วงเวลาที่ผ่าน ($Power_t$) ดังสมการที่ 2.9

$$Power_t = \frac{\text{Power Set Point} \times t_{(\text{วินาที})}}{900_{(\text{วินาที})}} \tag{2.9}$$

$$Demand_t\,(kW) = \frac{P_{t1} + P_{t2} + \ldots + P_{t900}}{900_{(\text{วินาที})}} \tag{2.10}$$

เมื่อ: $Power_t$ คือค่ากำลังไฟฟ้าเป้าหมาย ณ จำนวนเวลา t (kW)

Power Set Point คือค่ากำลังไฟฟ้าเป้าหมายการควบคุม (kW)

P_t คือค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้ ณ เวลา t ตั้งแต่ 0-900 วินาที (kW)

t คือจำนวนเวลาที่ผ่านไปตั้งแต่ 0- 900 วินาที

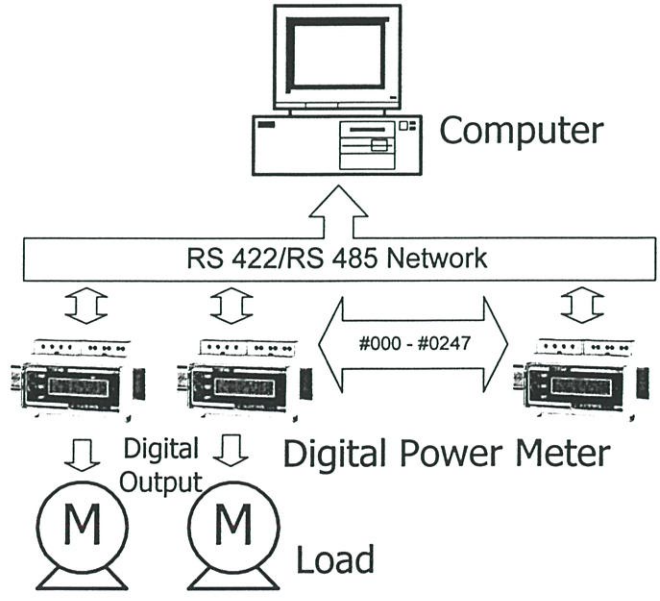
Demand t คือค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า ณ จำนวนเวลา t วินาที (kW)

ส่วนเส้น Load Line คือเส้นแสดงค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (Demand) ของค่ากำลังไฟฟ้า (Power: kW) ที่วัดได้ในช่วงเวลานั้น ๆ สุดท้ายแล้วเมื่อเวลาผ่านไปครบ 15 นาที (900วินาที) จะได้ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า (Demand) ในช่วงเวลานั้น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.10

การควบคุมโหลดจะเกิดขึ้น เมื่อแนวโน้มของเส้น Load Line สูงกว่าแนวโน้มของเส้น Control Line หรือค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ สูงกว่าค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเป้าหมาย ซึ่งเงื่อนไขการควบคุมโหลดจะคล้ายกับวิธีที่ผ่านมา คือหน่วงเวลาประมาณ 3 นาทีก่อนตัดโหลดกลุ่มแรก และจะตัดกลุ่มต่อ ๆ ไปถ้าค่าความต้องการกำลังไฟฟ้ายังสูงกว่าค่าเป้าหมาย โดยมีการหน่วงเวลาประมาณ 15 วินาที กรณีเมื่อค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าที่วัดได้ต่ำกว่าค่าเป้าหมาย โหลดกลุ่มสุดท้ายที่ถูกตัดจะถูกต่อเข้าระบบจ่ายไฟฟ้าก่อนเป็นลำดับแรก ด้วยการหน่วงเวลาประมาณ 10 นาทีในการต่อ แล้วตามด้วยกลุ่มถัดไปจนถึงกลุ่มแรกที่ถูกตัดจะถูกต่อเป็นกลุ่มสุดท้ายด้วยเงื่อนไขการหน่วงเวลา 3 นาทีในการต่อ[4]

2.4.3 โครงสร้างระบบควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ควบคุม

ระบบควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า ด้วยอุปกรณ์ควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าคือระบบที่เน้นเฉพาะการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่ให้เกินขอบเขตที่กำหนดในเวลาที่กำหนด โดยการสั่งหยุดการทำงานของโหลดผ่าน Digital Output ของอุปกรณ์ควบคุม ในระบบนี้ได้นำเอาคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ระบบนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Demand Controller ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 2.12 และข้อกำหนดทางเทคนิค คือ สามารถจำกัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ผู้ใช้กำหนดไว้ได้ การควบคุมเมื่อค่ากำลังไฟฟ้าสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ได้ไม่เกิน 8 กลุ่ม สามารถตั้งค่าเวลาในการตัดต่อโหลด โดยกำหนดเวลาสูงสุดและต่ำสุดได้ แสดงค่าปริมาณทางไฟฟ้าบนหน้าจอ เก็บบันทึกข้อมูล เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ได้ [2-6]

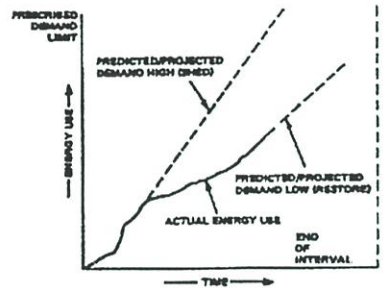


รูปที่ 2.12 แสดงโครงสร้างระบบควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์ควบคุม

บทที่ 3
แนวคิดการควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้าชนิดที่ทำวิจัย

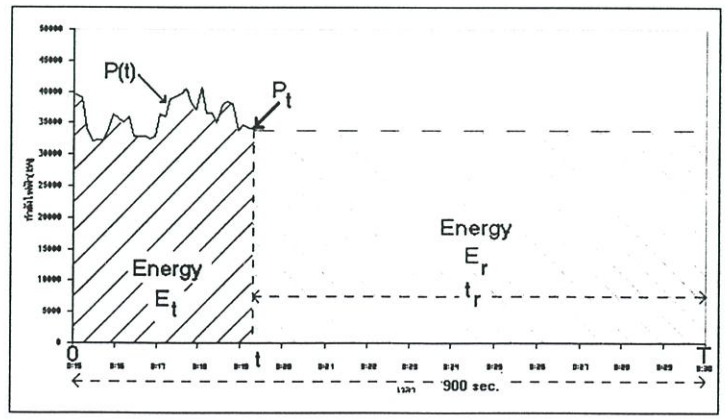
3.1 การทำนายค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า

ในงานวิจัยฉบับนี้ มีแนวคิดนำการทำนายค่าความต้องการกำลังไฟฟ้ามาใช้กับระบบควบคุม เพื่อเฝ้ามองค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า ไม่ให้สูงกว่าค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่กำหนดไว้ ในช่วงเวลา 15 นาทีของการคิดค่า Demand ของการไฟฟ้าฯ ถ้าสูงกว่าระบบควบคุมก็จะเข้าสู่เงื่อนไขของการควบคุมต่อไป นอกจากนี้ยังให้มีการแสดงผลการทำนายความต้องการกำลังไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นให้เห็นด้วย โดยใช้หลักการ Predicted Demand Principle [5] คือการทำนายค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจากค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในช่วงเวลาที่เหลืออยู่ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงเส้นแนวโน้มพลังงานที่มีการทำนาย

การทำนายค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าจากค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่เหลืออยู่มีหลักการคือ การนำค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้ในขณะนั้น มาหาค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาที่เหลือของการคิดค่า Demand (15 นาที) ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ค่าพลังงานไฟฟ้าต่าง ๆ



รูปที่ 3.2 แสดงวิธีการทำนายค่าพลังงานไฟฟ้าจากเวลาที่เหลืออยู่ในช่วงเวลา 15 นาที

จากรูปที่ 3.2 ค่าพลังงานไฟฟ้า E_t คือค่าพลังงานที่ใช้ผ่านมาแล้ว หาได้จากสมการที่ 3.1

$$E_t = \int_0^t P(t)dt \tag{3.1}$$

จากรูปที่ 3.2 ค่าพลังงานไฟฟ้าช่วงเวลาที่เหลือ E_r คือค่าพลังงานไฟฟ้าที่คาดว่าจะสามารถใช้ได้ในช่างเวลาที่เหลือ โดยสมมุติให้มีการใช้กำลังไฟฟ้าในขณะนั้นคงที่ (P_t) เป็นเวลาที่เหลือ $(t_r = T - t)$ จากเวลาทั้งหมด 15 นาที นั้นคือค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาเหลือ ดังสมการที่ 3.2

$$E_r = \int_t^T P_t dt \tag{3.2}$$

ดังนั้นค่าพลังงานที่คาดว่าจะใช้ทั้งหมด (E_F) หาได้จากผลรวมของพลังงานที่ใช้ผ่านไปกับพลังงานที่คาดว่าจะใช้ในช่วงเวลาที่เหลืออยู่ ดังสมการที่ 3.3 และ 3.4

$$E_F = E_t + E_r = \int_0^t P(t)dt + \int_t^T P_t dt \tag{3.3}$$

$$E_F = E_t + P_t(T - t)$$

ดังนั้น $$E_F = E_t + P_t \times t_r \tag{3.4}$$

เมื่อ $P(t)$ คือกำลังไฟฟ้าที่ผ่านมาขึ้นอยู่กับเวลา

P_t คือค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้ ณ ช่วงเวลา t

T คือช่วงเวลาทั้งหมดเท่ากับ 15 นาที (900 วินาที)

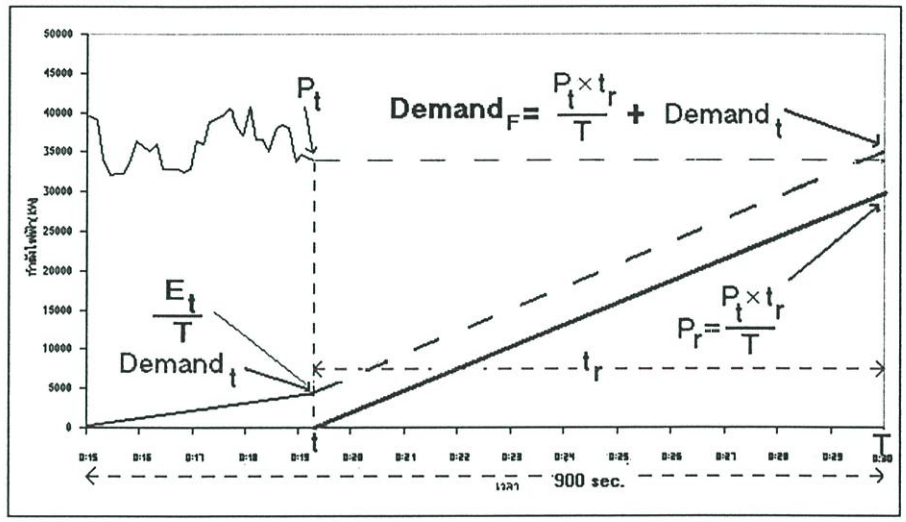
t_r คือช่วงเวลาที่เหลือ (T-t)

จากสมการที่ 2.2 ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า คือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ใน 15 นาทีต่อเวลา 15 นาที ดังนั้นค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าที่คาดว่าจะเกิดขึ้น $(Demand_F)$ จากการใช้ไฟฟ้าที่ผ่านมาและกำลังไฟฟ้าในขณะนั้น สามารถหาได้จากค่าพลังงานที่คาดว่าจะใช้ทั้งหมด (E_F) หารด้วยเวลาทั้งหมด 15 นาที ดังสมการที่ 3.5 และ 3.6

$$\text{Demand}_F = \frac{E_F}{T} = \frac{E_t}{T} + \frac{P_t \times t_r}{T} \quad (3.5)$$

$$\text{Demand}_F = \text{Demand}_t + \frac{P_t \times t_r}{T} \quad (3.6)$$

เมื่อ $E_t = \text{Demand}_t$



รูปที่ 3.3 แสดงวิธีการทำนายค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า

3.2 กำหนดเงื่อนการควบคุมโหลดเพื่อเป็นแนวทางการลดค่า Demand

ในงานวิจัยนี้มีแนวความคิดที่จะเพิ่มเงื่อนไขของการควบคุมโหลดให้มากกว่าเดิม นอกเหนือจากเงื่อนไขการพิจารณาเฉพาะลำดับความสำคัญของโหลดเพียงอย่างเดียว ยังเพิ่งเงื่อนไขการพิจารณาจากสถานะการทำงานของโหลด กำลังไฟฟ้าที่ใช้ เวลาการเริ่มหรือหยุดทำงานของโหลด แนวคิดนี้จะทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถกำหนดโหลดที่จะนำมาควบคุมได้หลากหลายมากขึ้นกว่าแบบเดิม เงื่อนไขการพิจารณาเลือกโหลดจะสัมพันธ์กับระบบฐานข้อมูลในรูปแบบของตารางฐานข้อมูล ซึ่งจะกล่าวต่อไป

3.2.1 การสร้างตารางโหลด

การสร้างตารางโหลดขึ้นมาก็เพื่อกำหนดลำดับความสำคัญ คุณสมบัติ และข้อมูลต่าง ๆ ของโหลดให้สนับสนุนการควบคุมและจัดการโหลดให้ตัดหรือต่อ เมื่อเกิดปัจจัยที่ทำให้เกิดความต้องการกำลังไฟฟ้า เช่นมีการทำงานของโหลดมากเกินไปในช่วงที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้า ตารางโหลดในงานวิจัยฉบับนี้สร้างจาก MS-Access 97 มีองค์ประกอบหลักของตารางโหลดมีดังนี้

1) สถานะการทำงานของโหลด
2) ลำดับความสำคัญของโหลด

3) อัตราการใช้กำลังไฟฟ้าของโหลด (kW)

4) ข้อมูลด้านเวลาของโหลด

5) ชื่อ / เลขที่ /.../ รายละเอียดต่าง ๆ

3.2.2 เงื่อนไขการควบคุมโหลด

แนวทางการสร้างเงื่อนไขการควบคุมโหลดในงานวิจัยนี้ ได้ปรับปรุงจากเงื่อนไขการควบคุมโหลดแบบเดิม คือมีการตรวจสอบสถานะการทำงานของโหลดก่อนตัดสินใจสั่งตัดโหลด ระบบตรวจสอบสถานะการทำงานของโหลดจะใช้เครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้(PLC) ซึ่งจะกล่าวถึงในบทต่อไป เงื่อนไขอีกประการหนึ่งที่เพิ่มเข้ามาก็คือ การกำหนดลำดับความสำคัญของโหลด ที่สามารถกำหนดให้มีความสำคัญเท่ากันได้ แต่ไม่ใช่ว่าโหลดที่มีความสำคัญเท่ากันจะถูกตัดพร้อมกัน ยังมีเงื่อนไขอื่นมาช่วยในการตัดสินใจ เช่น อัตราการใช้กำลังไฟฟ้าของโหลด ทำให้ยืดเวลาการทำงานของโหลดบางตัวออกไป เพื่อให้มีผลกระทบต่อผู้ใช้น้อยที่สุด และเงื่อนไขทั้งหมดนี้ก็ยังดำเนินต่อไป ถ้าปัจจัยที่ทำให้เกิดความต้องการกำลังไฟฟ้ายังไม่ลดลง เงื่อนไขที่กล่าวมาแล้วสามารถจำแนกได้ดังนี้

1) การตรวจสอบสถานะการทำงานของโหลด (สถานะ On จะถูกพิจารณาเลือก)

2) การตรวจสอบลำดับความสำคัญ (Priority) ของโหลด แบ่งเป็น 2 กรณีคือ

2.1) ถ้าลำดับความสำคัญไม่เท่ากับ (ความสำคัญต่ำสุดจะถูกควบคุมก่อน)

- โหลดที่มีความสำคัญต่ำที่สุดจะถูกตัดก่อน และต่อทีหลัง
- โหลดที่มีความสำคัญมากที่สุดจะถูกตัดทีหลัง และต่อก่อน

2.2) ถ้าลำดับความสำคัญเท่ากับ (เลือกกลุ่มโหลดที่มีความสำคัญต่ำสุดมาก่อน)

- โหลดที่ถูกตัดก่อนจะถูกต่อก่อน
- โหลดที่ถูกตัดทีหลังจะถูกต่อทีหลัง

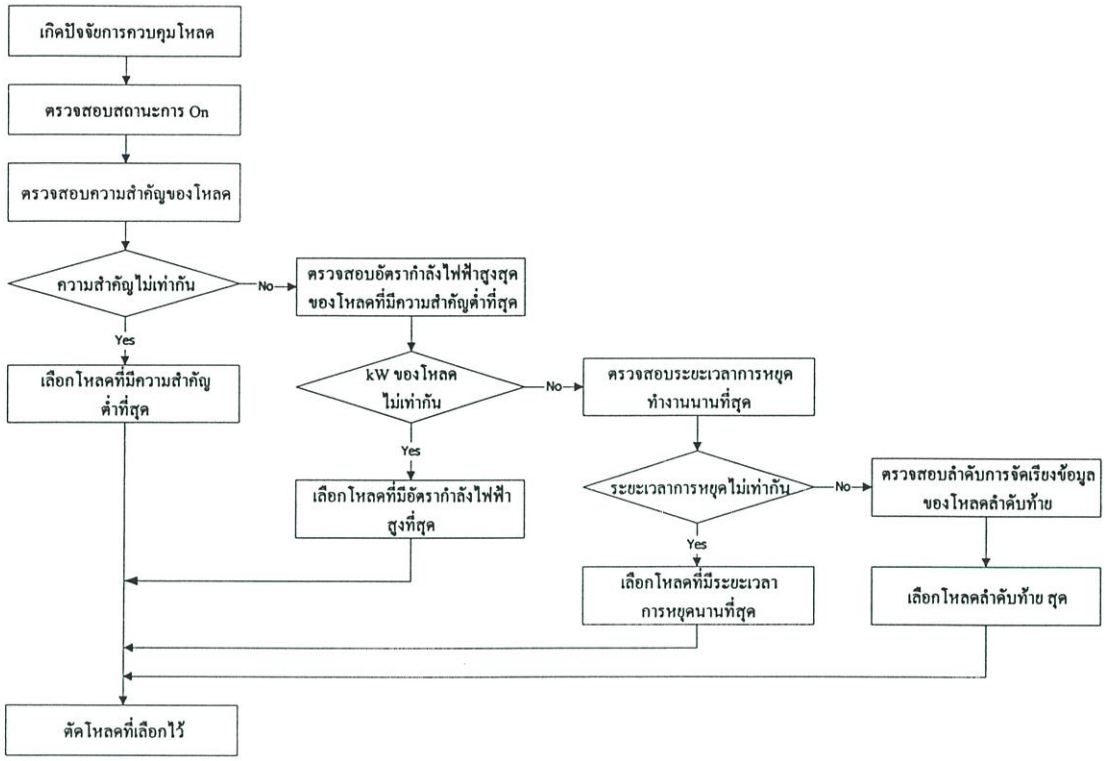
3) การตรวจสอบอัตราการใช้กำลังไฟฟ้าของโหลด(kW) เงื่อนไขนี้จะเกิดขึ้นหลังจากการตรวจสอบพบว่าโหลดที่มีความสำคัญเท่ากันเท่านั้น (อัตรากำลังไฟฟ้าสูงสุดจะถูกควบคุมก่อน)

4) การตรวจสอบระยะเวลาการหยุดทำงานของโหลด เงื่อนไขนี้จะเกิดขึ้นหลังจากการตรวจสอบพบว่าโหลดที่มีอัตราการใช้กำลังไฟฟ้าของโหลดเท่ากัน (โหลดที่มีระยะเวลาการหยุดทำงานนานจะถูกควบคุมก่อน)

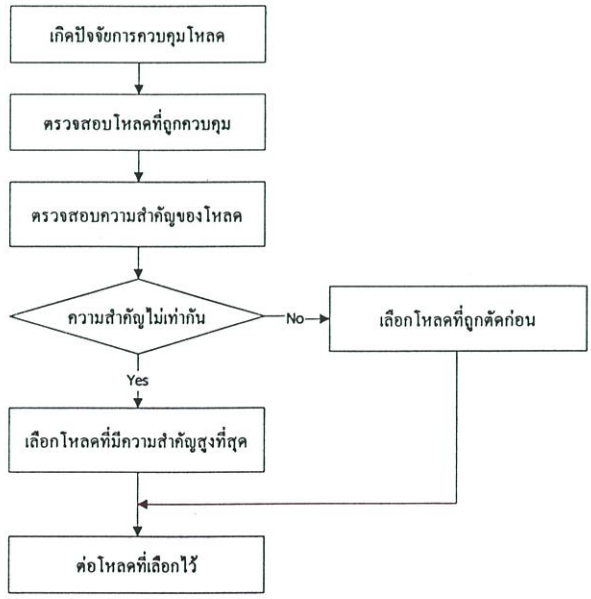
5) การตรวจสอบลำดับการจัดเรียงข้อมูลของโหลด เงื่อนไขนี้จะเกิดขึ้นหลังจากการตรวจสอบพบว่าโหลดที่มีช่วงเวลาหยุดทำงานเท่ากัน (โหลดที่มีลำดับการจัดเรียงท้ายสุดจะถูกควบคุมก่อน)

จากแนวทางการกำหนดเงื่อนไขทั้ง 5 หัวข้อ สามารถนำมาเขียนเป็นแผนผังขั้นตอนแสดงเงื่อนไขการตัดโหลดออกจากระบบจ่ายไฟฟ้า ได้ดังรูปที่ 3.4 และแผนผังขั้นตอนแสดงเงื่อนไขการ

ต่อโหลดเข้าสู่จากระบบจ่ายไฟฟ้า ได้ดังรูปที่ 3.5



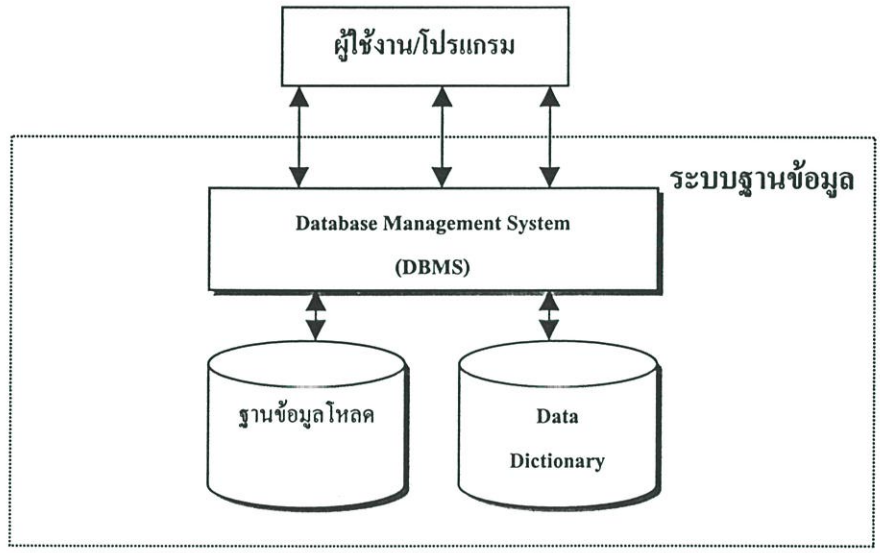
รูปที่ 3.4 แผนผังแสดงขั้นตอนเงื่อนไขการตัดโหลดออกจากระบบจ่ายไฟฟ้า



รูปที่ 3.5 แผนผังแสดงขั้นตอนเงื่อนไขการต่อโหลดเข้าสู่ระบบจ่ายไฟฟ้า

3.3 การบริหารโหลดด้วยระบบฐานข้อมูล

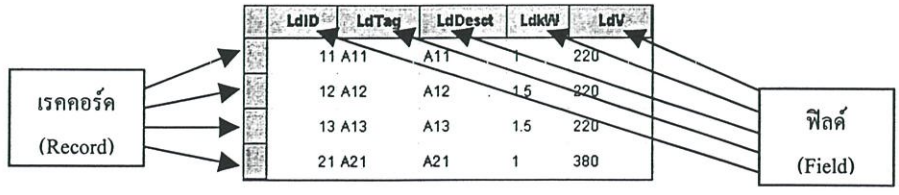
ระบบฐานข้อมูลที่ใช้ในการบริหารโหลดในงานวิจัยฉบับนี้ประกอบด้วย ฐานข้อมูลของโหลด (Load Database) ระบบจัดการฐานข้อมูล (Database Management System: DBMS) และโครงสร้างฐานข้อมูลหรือพจนานุกรมฐานข้อมูล (Data Dictionary) องค์ประกอบระบบฐานข้อมูลของโหลดแสดงดังรูปที่ 3.6 [7]



รูปที่ 3.6 แสดงระบบฐานข้อมูล

3.3.1 ฐานข้อมูลโหลด (Load Database)

ฐานข้อมูลโหลด คือที่อยู่ของข้อมูลของโหลดที่มีความสัมพันธ์กัน ข้อมูลของโหลดจะถูกจัดเก็บอย่างเป็นระเบียบและมีรูปแบบ ทำให้ง่ายต่อการบริหารและจัดการ รูปแบบการจัดเก็บข้อมูลเป็นแบบตาราง การสร้างฐานข้อมูลใช้โปรแกรม Microsoft Access 97 องค์ประกอบของตารางฐานข้อมูลประกอบด้วย เรคคอร์ด(Record) และฟิลด์(Field) ดังรูปที่ 3.7 ในแต่ละเรคคอร์ดจะหมายถึงข้อมูลของโหลดแต่ละตัว และใน 1 เรคคอร์ดจะมีหลายฟิลด์ แต่ละฟิลด์จะเป็นรายละเอียดของโหลด ทุก ๆ ตัว เช่น กำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ลำดับความสำคัญ อื่น ๆ



รูปที่ 3.7 องค์ประกอบของฐานข้อมูล

3.3.2 ระบบการจัดการฐานข้อมูลโหลด(DBMS)

ระบบจัดการฐานข้อมูลเป็นโปรแกรมหรือภาษาที่ใช้ในการเข้าถึงข้อมูล เช่นโปรแกรม Microsoft Access 97 และภาษา SQL (Structured Query Language) ซึ่งเป็นภาษามาตรฐานที่ใช้ในการจัดการฐานข้อมูล เช่น การเรียกค้นหาข้อมูล การเพิ่มเติม แก้ไข หรือลบข้อมูลที่มีอยู่ ในงานวิจัยฉบับนี้ใช้ SQL ในการค้นหาคุณสมบัติของโหลดในฐานข้อมูลโหลด เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาควบคุมการตัด-ต่อโหลด

การเข้าถึงข้อมูลด้วยคำสั่งของ SQL ในงานวิจัยนี้ ใช้คำสั่ง **SELECT** ในการดึงข้อมูลจากตารางฐานข้อมูล เช่น การค้นหาโหลดที่มีสถานะกำลังทำงาน มีรูปแบบคำสั่งดังนี้

" SELECT * FROM LdTab WHERE onload = yes "

จากคำสั่งบรรทัดบนนี้ สามารถอธิบายได้ดังนี้ เลือก **ทุกเรคคอร์ด** ในตาราง **LdTab** โดยพิจารณาเงื่อนไขการเลือกในช่อง (Field) **onload** ต้องมีค่าเป็น " 1 " หรือ " yes " หรือ เครื่องหมายถูก

	LdID	LdTag	LdDesct	LdkW	LdV	LdA	LdPhs	LdPrio	OnPeriod	OffPeriod	ContAddr	OnLoad	Controlling
	11	A11	A11	1	220	10	1	4	20	10	900	☑	☐
	12	A12	A12	1.5	220	15	1	4	20	10	901	☑	☐
	13	A13	A13	1.5	220	15	1	4	20	10	902	☑	☐
	21	A21	A21	1	380	10	3	3	10	10	903	☑	☐
	22	A22	A22	1.5	220	13	1	3	10	10	904	☑	☐
	23	A23	A23	1.5	380	15	3	3	20	20	905	☑	☐
	31	A31	A31	1	220	10	1	2	10	10	906	☐	☐
	32	A32	A32	1.5	380	15	3	2	10	10	907	☐	☐
	33	A33	A33	1.5	380	15	3	2	10	10	908	☐	☐
▶												☐	☐

รูปที่ 3.8 แสดงตัวอย่าง ตารางฐานข้อมูลของโหลดที่ใช้ในการทดลองเงื่อนไข

จากรูปที่ 3.8 แสดงตารางข้อมูลโหลด เมื่อนำระบบจัดการฐานข้อมูลด้วยภาษา SQL โดยพิจารณาเงื่อนไขการควบคุมควบ สามารถแสดงให้เห็นผลของการจัดการฐานข้อมูลได้ดังนี้

ตัวอย่างที่ 3.1 คำสั่งตรวจสอบสถานะการทำงานของโหลด เมื่อเกิดปัจจัยการควบคุม คำสั่ง SQL **" SELECT * FROM LdTab WHERE onload = yes "** หมายถึงเลือก **เรคคอร์ด** ในตาราง **LdTab** โดยพิจารณาเงื่อนไขการเลือกในฟิลด์ **onload** ต้องมีค่าเป็น " 1 " หรือ " yes " หรือ เครื่องหมายถูก และแสดงทุกฟิลด์ ผลของการจัดการฐานข้อมูลใหม่จะได้ตารางโหลดใหม่ดังรูปที่ 3.9

LdID	LdTag	LdDeset	LdkW	LdV	LdA	LdPhs	LdPrio	OnPeriod	OffPeriod	ContAddr	OnLoad	Controlling
11	A11	A11	1	220	10	1	4	20	10	900	☑	☐
12	A12	A12	1.5	220	15	1	4	20	10	901	☑	☐
13	A13	A13	1.5	220	15	1	4	20	10	902	☑	☐
21	A21	A21	1	380	10	3	3	10	10	903	☑	☐
22	A22	A22	1.5	220	13	1	3	10	10	904	☑	☐
23	A23	A23	1.5	380	15	3	3	20	20	905	☑	☐
											☐	☐

รูปที่ 3.9 แสดงตารางโหลดที่เลือกเฉพาะโหลดที่กำลังทำงาน

ตัวอย่างที่ 3.2 จากรูปที่ 3.9 ใช้เงื่อนไขต่อไป คือเลือกลำดับความสำคัญของโหลดที่ต่ำที่สุด เมื่อกำหนดให้ค่าตัวเลขมากมีความสำคัญต่ำสุด ค่าตัวเลขน้อยมีความสำคัญมากสุด คำสั่ง SQL **"SELECT * FROM ContLdTab WHERE ldprio = SOME (SELECT Max(ldprio) FROM ContLdTab)"** หมายถึงเลือก **เรคคอร์ด** ในตาราง **ContLdTab** โดยพิจารณาเงื่อนไขการเลือกในฟิลด์ **ldprio** ที่มีค่าตัวเลขมากที่สุดทุก ๆ เรคคอร์ด และแสดงทุกฟิลด์ ผลของการจัดการฐานข้อมูลใหม่จะได้ตารางโหลดใหม่ดังรูปที่ 3.10

LdID	LdTag	LdDeset	LdkW	LdV	LdA	LdPhs	LdPrio	OnPeriod	OffPeriod	ContAddr	OnLoad	Controlling
11	A11	A11	1	220	10	1	4	20	10	900	☑	☐
12	A12	A12	1.5	220	15	1	4	20	10	901	☑	☐
13	A13	A13	1.5	220	15	1	4	20	10	902	☑	☐
											☐	☐

รูปที่ 3.10 แสดงตารางโหลดใหม่ ตามเงื่อนไขการเลือกโหลดที่มีลำดับความสำคัญต่ำที่สุด

ตัวอย่างที่ 3.3 จากรูปที่ 3.10 ใช้เงื่อนไขต่อไป คือถ้าโหลดมีความสำคัญเท่ากันให้เลือกโหลดที่มีค่าอัตรากำลังไฟฟ้าสูงสุด คำสั่ง SLQ **"SELECT * FROM ContLdtab WHERE LdkW = some (SELECT MAX(LdkW) AS Max FROM ContLdtab)"** หมายถึงเลือก **เรคคอร์ด** ในตาราง **ContLdTab** โดยพิจารณาเงื่อนไขการเลือกในฟิลด์ **LdkW** ที่มีค่าตัวเลขมากที่สุด และแสดงทุกฟิลด์ ผลของการจัดการฐานข้อมูลใหม่จะได้ตารางโหลดใหม่ดังรูปที่ 3.11

LdID	LdTag	LdDeset	LdkW	LdV	LdA	LdPhs	LdPrio	OnPeriod	OffPeriod	ContAddr	OnLoad	Controlling
12	A12	A12	1.5	220	15	1	4	20	10	901	☑	☐
13	A13	A13	1.5	220	15	1	4	20	10	902	☑	☑
											☐	☐

รูปที่ 3.11 แสดงตารางโหลดใหม่ ตามเงื่อนไขการเลือกโหลดที่มีอัตรากำลังไฟฟ้าสูงสุด

ตัวอย่างที่ 3.4 จากรูปที่ 3.11 ใช้เงื่อนไขต่อไป คือถ้าโหลดมีกำลังไฟฟ้าเท่ากันให้เลือกโหลดที่มีช่วงเวลาหยุดทำงานนานที่สุด คำสั่ง SLQ **"SELECT * FROM ContLdtab WHERE OffPeriod = some (SELECT MAX(OffPeriod) AS Max FROM ContLdtab)"** หมายถึงเลือก **เรคคอร์ด** ในตาราง **ContLdTab** โดยพิจารณาเงื่อนไขการเลือกในฟิลด์ **OffPeriod** ที่มีค่าตัวเลขมากที่สุด และแสดงทุกฟิลด์ ผลของการจัดการฐานข้อมูลใหม่จะได้ตารางโหลดใหม่ ดังรูปที่ 3.12 แต่จะเหมือนกับตารางในรูปที่ 3.11 เพราะว่ามีค่าช่วงเวลาเท่ากัน

LdID	LdTag	LdDeset	LdkW	LdV	LdA	LdPhs	LdPrio	OnPeriod	OffPeriod	ContAddr	OnLoad	Controlling
12	A12	A12	1.5	220	15	1	4	20	10	901	☑	☐
13	A13	A13	1.5	220	15	1	4	20	10	902	☑	☑
											☐	☐

รูปที่ 3.12 แสดงตารางโหลดใหม่ ตามเงื่อนไขการเลือกโหลดที่มีช่วงเวลาหยุดทำงานนานที่สุด

ตัวอย่างที่ 3.5 จากรูปที่ 3.12 ใช้เงื่อนไขต่อไป คือถ้าโหลดมีช่วงเวลาหยุดทำงานเท่ากัน ให้เลือกโหลดที่ถูกจัดอยู่ลำดับท้ายสุดของกลุ่ม(ค่าตัวเลขมาก) คำสั่ง SLQ **"SELECT * FROM ContLdtab WHERE LdID = some (SELECT MAX(LdID) AS Max FROM ContLdtab)"** หมายถึงเลือก **เรคคอร์ด** ในตาราง **ContLdtab** โดยพิจารณาเงื่อนไขการเลือกในฟิลด์ **LdID** ที่มีค่าตัวเลขมากที่สุด และแสดงทุกฟิลด์ ผลของการจัดการฐานข้อมูลใหม่จะได้ตารางโหลดใหม่ ดังรูปที่ 3.13 ผลของการจัดการฐานข้อมูลโหลดตารางสุดท้าย จะเหลือเพียงเรคคอร์ดเดียวที่จะถูกนำไปควบคุมการทำงานโดยสั่งให้หยุดการทำงาน

LdID	LdTag	LdDeset	LdkW	LdV	LdA	LdPhs	LdPrio	OnPeriod	OffPeriod	ContAddr	OnLoad	Controlling
13	A13	A13	1.5	220	15	1	4	20	10	902	☑	☑
											☐	☐

รูปที่ 3.13 แสดงตารางโหลดใหม่ ตามเงื่อนไขการเลือกโหลดที่มีลำดับการจัดเรียงข้อมูลท้ายสุด

3.4 สรุปแนวคิดการควบคุมและจัดการโหลด

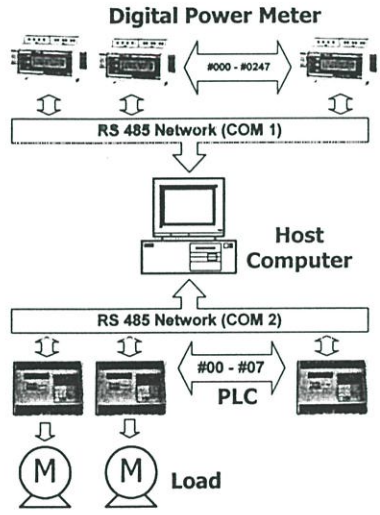
แนวคิดในการควบคุมและจัดการโหลดในงานวิจัยฉบับนี้ ได้เอาผลของการทำนายค่าความต้องการกำลังไฟฟ้ามาเป็นปัจจัยให้มีสั่งควบคุมโหลด ซึ่งกำหนดเงื่อนไขการเลือกโหลดที่จะนำไปควบคุมมีมากว่าเดิม เช่น เงื่อนไขตรวจสอบสถานะการทำงาน ความสำคัญ อัตรากำลังไฟฟ้า ระยะเวลาการหยุดทำงานนานที่สุด และการจัดเรียงลำดับข้อมูลของโหลด โดยมีระบบฐานข้อมูล Microsoft Access 97 เป็นระบบจัดการบริหารข้อมูลของโหลด

บทที่ 4
โครงสร้างและโปรแกรมการควบคุมฯ

4.1 โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ (Hardware Configuration)

โครงสร้างทาง Hardware ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ๆ คือ

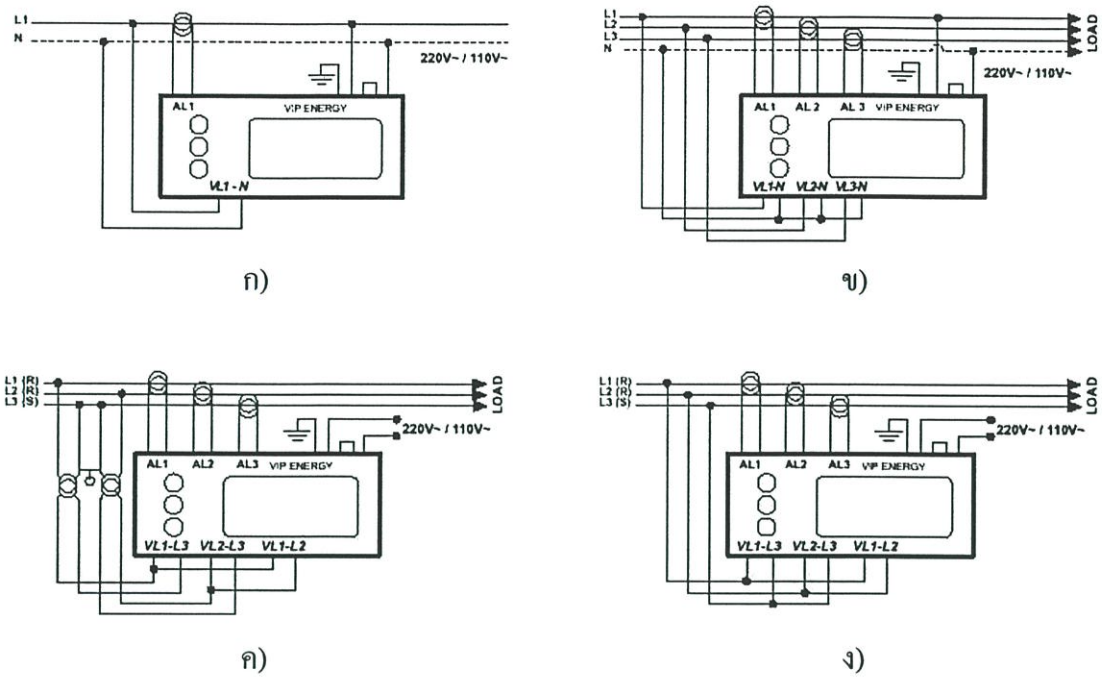
1) คอมพิวเตอร์หลัก (Host Computer)
2) อุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอล (Digital Power Meter)
3) เครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปแกรมได้ (Programmable Logic Controller : PLC)
4) เครือข่ายการสื่อสารข้อมูลมาตรฐาน RS 485 (Communication Network by RS 485)



รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างทาง Hardware

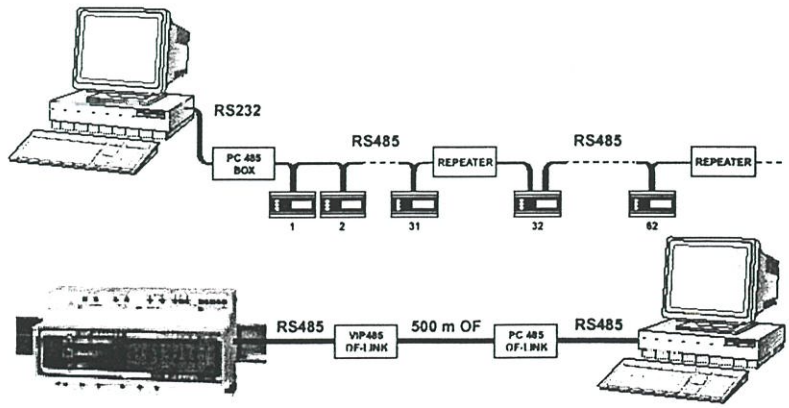
4.1.1 อุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอล (Digital Power Meter)

ในงานวิจัยฉบับนี้ใช้เครื่องมือวัดกำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอลยี่ห้อ ELCONTROL ENERGY รุ่น VIP ENERGY เป็นอุปกรณ์ในการวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้า[6] เช่นแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า ความต้องการกำลังไฟฟ้า ฯลฯ จากระบบจ่ายไฟฟ้าของอาคาร คุณสมบัติของอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าตัวนี้สามารถวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าได้ทั้งระบบไฟฟ้า 1 เฟสและ 3 เฟส ข้อมูลที่วัดได้จะถูกแสดงเป็นตัวเลขผ่านทางหน้าจอบนตัวอุปกรณ์ ข้อมูลอีกส่วนหนึ่งจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำภายในเครื่อง สามารถเรียกดูข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ได้ ด้วยสายสัญญาณ 2 เส้นผ่านการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมาตรฐาน RS 485 การติดตั้งอุปกรณ์วัดเข้ากับระบบจ่ายไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 4.2

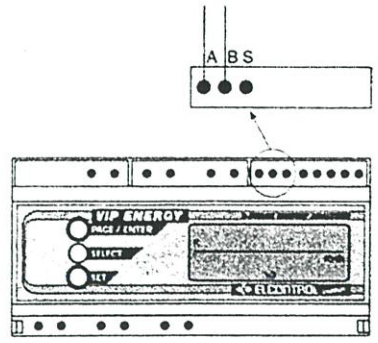


รูปที่ 4.2 แสดงการติดกตั้งอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า ก)การวัดไฟฟ้า 1 เฟส ข) การวัดไฟฟ้า 3 เฟส ต่อแบบสตาร์(Y) ค), ง) การวัดไฟฟ้า 3 เฟส ต่อแบบเดลต้า (Δ)

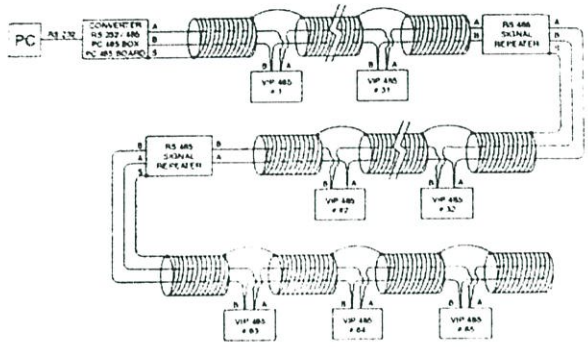
การเชื่อมต่อเพื่อการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์หลักกับอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า ทำได้โดยใช้สายสัญญาณแค่ 2 เส้นที่มีความยาวไม่เกิน 1.2 กิโลเมตร ผ่านการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมาตรฐาน RS 485 ด้วยการสื่อสารข้อมูลแบบนี้ทำให้สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์วัดเข้ากับคอมพิวเตอร์หลักได้ถึง 247 ตัวโดยมีการเชื่อมต่อแบบลูกโซ่ ซึ่งการเชื่อมต่อทุก ๆ 31 ตัวจะมีอุปกรณ์ส่งสัญญาณต่อหรือรีพีทเตอร์ (REPEATER) เป็นตัวขยายอุปกรณ์วัดนี้ ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าเข้ากับคอมพิวเตอร์หลัก

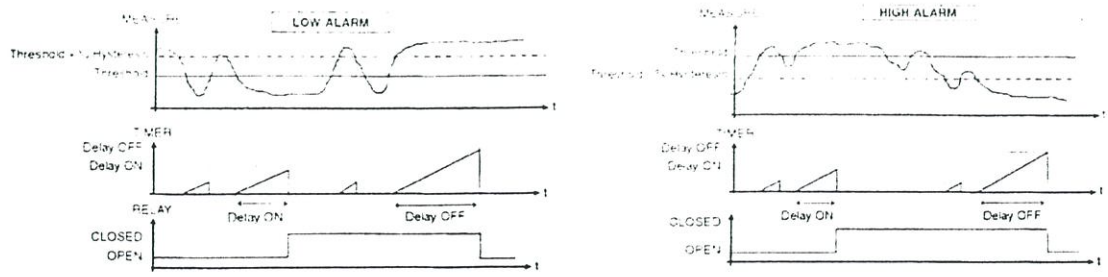


รูปที่ 4.4 แสดงการเชื่อมต่อสายสัญญาณ RS 485 กับอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 4.5 แสดงการเชื่อมต่อสาย Shield Twisted pair

คุณสมบัติของอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าตัวนี้อีกประการคือ มีสัญญาณดิจิตอลเอาท์พุท(Digital Output) จากรีเลย์(Relay) ในตัว 2 ชุด ใช้สำหรับส่งสัญญาณเตือนภัย 2 ระดับ คือการเตือนภัยระดับต่ำ และระดับสูง หรือประยุกต์ใช้ร่วมกับ PCL เพื่อส่งสัญญาณการควบคุมก็ได้ ลักษณะการทำงานของรีเลย์เอาท์พุททั้งสองแสดงดังรูปที่ 4.4 แต่ในงานวิจัยฉบับนี้ไม่ได้ใช้คุณสมบัตินี้



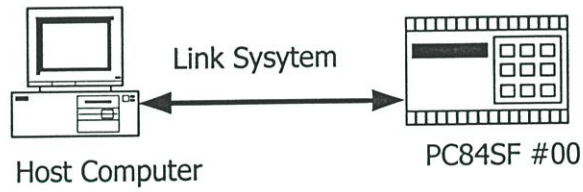
ก) ข)

รูปที่ 4.6 แสดงสภาวะการทำงานของรีเลย์เอาท์พุท ก) Low Alarm ข) High Alarm

4.1.2 เครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้(Programmable Logic Controller : PLC)

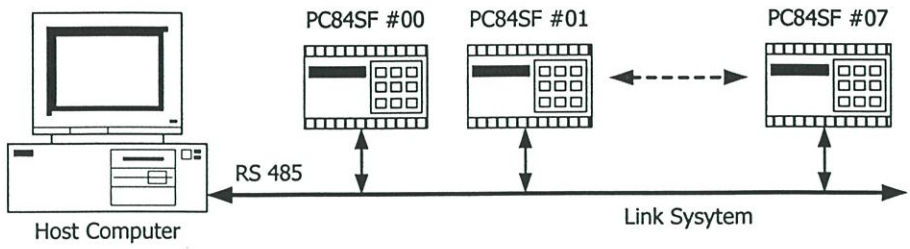
ในงานวิจัยฉบับนี้ใช้เครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้ยี่ห้อ FACCON รุ่น PC84SF Ver 2.00 ส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์ในงานควบคุมโหลดในงานอุตสาหกรรม[8] เช่นใช้ควบคุมมอเตอร์ ควบคุมการเปิด-ปิดวาล์ว ฯลฯ คุณสมบัติของ PLC นี้สามารถโปรแกรมการทำงานของโหลดได้ง่าย แก้ไขการทำงานได้ง่าย มีช่องรับสัญญาณจากภายนอกแบบดิจิตอล (Digital Input) และช่องส่งสัญญาณออกภายนอกแบบดิจิตอล (Digital Output) หลายช่อง การเชื่อมต่อเพื่อการสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ทำได้โดยผ่านการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมาตรฐาน RS 323 หรือRS 485 ได้ ส่วนการโปรแกรมเงื่อนไขการทำงานของอินพุท-เอาท์พุทสามารถโปรแกรมได้จากคีย์บอร์ดบนตัว PLC หรือผ่านคอมพิวเตอร์ก็ได้ การเชื่อมต่อการสื่อสารข้อมูลของเครื่องควบคุมแบบที่โปรแกรมได้สามารถกระทำได้ 2 แบบคือ การสื่อสารข้อมูลแบบจุดต่อจุด (Point to Point) และการสื่อสารข้อมูลแบบหลายจุด (Multidrop)

ก) การสื่อสารข้อมูลแบบจุดต่อจุด (Point to Point) คือรูปแบบการสื่อสารข้อมูลด้วยระยะไกลระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้ แบบจุดต่อจุดดังแสดงในรูปที่ 4.7 การทำงาน คอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่เป็นผู้ควบคุมซึ่งเรียกว่า Host ค่อยควบคุมข้อมูลและบริหารข้อมูลที่รับ-ส่งจากเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้ จุดประสงค์ก็เพื่อที่จะให้สามารถควบคุม ตรวจสอบ และสังเกตุการทำงานของเครื่องควบคุมได้ในระยะไกล ๆ การส่งข้อมูลกระทำผ่านพอร์ตอนุกรมมาตรฐาน RS 232 หรือ RS 485



รูปที่ 4.7 การเชื่อมต่อการสื่อสารข้อมูลแบบจุดต่อจุด

ข) การสื่อสารแบบเครือข่าย (Network Communication) คือการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้หลาย ๆ ตัวเป็นเครือข่าย การสื่อสารข้อมูลภายในเครือข่ายเป็นการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมาตรฐาน RS 485 เครื่องควบคุม PC84SF สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายได้ถึง 8 เครื่องโดยแต่ละเครื่องจะมีตำแหน่งเฉพาะ ซึ่งสามารถกำหนดได้ที่ DIP Switch บนตัวเครื่องควบคุม การเชื่อมต่อเครื่องควบคุมฯ ในลักษณะแบบแยกกระจายจุด (Multidrop) นี้ จะทำให้คอมพิวเตอร์หลักสื่อสารข้อมูลกับเครื่องควบคุมฯ ได้หลาย ๆ จุด และมีการแลกเปลี่ยนข่าวสารข้อมูลระหว่างเครื่องควบคุมฯ แต่ละเครื่อง โดยข้อมูลที่มีการแลกเปลี่ยนกันจะเป็นค่าสภาวะของ Link Relay ในแต่ละเครื่องควบคุม ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงการเชื่อมต่อการสื่อสารข้อมูลแบบเครือข่าย หรือแบบแยกกระจายจุด(Multidrop)

ค) พื้นที่หน่วยความจำของเครื่องควบคุมที่โปรแกรมได้ (PC84SF) ออกดังนี้

1) **IR Area** เริ่มจาก IR000 – IR079 รวม 80 Channel จำนาน 1280 บิต ใช้เก็บข้อมูลและค่าสภาวะ สามารถกระทำการอ่านและเขียนได้ทั้งแบบ Word และ Bit

- **Input Relay** เริ่มจาก IR000 – IR006 รวม 7 Channel จำนาน 122 บิต เป็นค่าสภาวะที่ถูกอ่านจากภายนอกผ่านพอร์ตอินพุทเข้ามา
- **Output Relay** เริ่มจาก IR007 – IR009 รวม 3 Channel จำนาน 48 บิต เป็นค่าสภาวะที่ถูกส่งออกสู่ภายนอกผ่านพอร์ตเอาท์พุทออกไป
- **Special Relay** เริ่มจาก IR078 – IR079 รวม 2 Channel จำนวน 32 บิต เป็นค่าสภาวะของเครื่องเช่น คุณสมบัติการสื่อสารข้อมูล ฯลฯ

2) **HR Area** เริ่มจาก HR000 – HR099 รวม 100 Channel จำนาน 1600 บิต ใช้เก็บข้อมูลและค่าสภาวะ สามารถกระทำการอ่านและเขียนได้ทั้งแบบ Word และ Bit โดยยังค้างสภาวะไว้แม้ว่าจะดับไฟหรือปิดเครื่อง

3) **LR Area** เริ่มจาก LR000 – LR063 รวม 64 Channel จำนาน 1024 บิต ใช้เก็บข้อมูลและค่าสภาวะ สามารถกระทำการอ่านและเขียนได้ทั้งแบบ Word และ Bit โดยใช้ในการสื่อสารข้อมูลในเครือข่าย

4) **DM Area** เริ่มจาก LR000 – LR999 รวม 1000 Channel ใช้เก็บข้อมูลและค่าสภาวะ สามารถกระทำการอ่านและเขียนได้เฉพาะแบบ Word

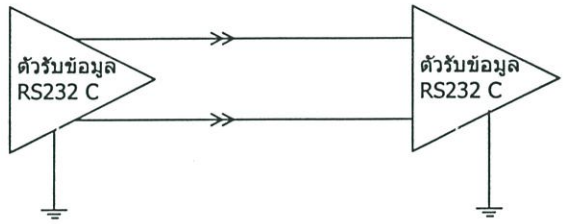
5) **TC Area** เริ่มจาก TC000 – LR255 รวม 256 Channel ใช้เก็บค่าของ Timer/Counter สภาวะ สามารถกระทำการอ่านและเขียนได้เฉพาะแบบ Word BCD เท่านั้น

- TC Status Area ใช้เก็บค่าสถานะของ Timer / Counter สามารถอ่านและเขียนได้เฉพาะแบบ Bit โดยการอ้างอิงตำแหน่งที่เริ่มต้นจาก TC000-TC255 ที่โปรแกรม

4.1.3 เครือข่ายการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมระหว่าง PC กับ PLC

4.1.3.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232C

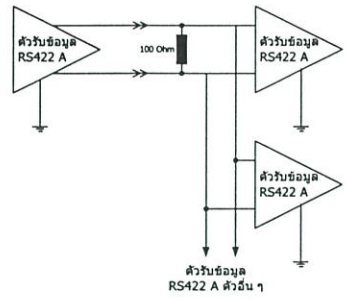
การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันนั้น ได้มีการกำหนดมาตรฐานการรับส่งข้อมูลไว้หลายแบบด้วยกัน แต่ที่ได้รับความนิยมนำมาใช้งานอย่างมาก คือ การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232C และที่มาตรฐานนี้เป็นที่นิยมเนื่องจากเป็น ระบบการสื่อสารข้อมูลที่ใช้ในเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC ซึ่งเป็นคอมพิวเตอร์ที่มีใช้อย่างแพร่หลายมากจากอดีตจนถึงปัจจุบันนมาตรฐานการสื่อสารนี้ในการออกแบบเบื้องต้นได้ออกแบบสำหรับการเชื่อมต่อกับเครื่องโมเด็ม (MODEM) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้การสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ผ่านทางสายโทรศัพท์ ซึ่งทำให้อัตราการรับส่งข้อมูลถูกกำจัดให้มีค่าที่ค่อนข้างต่ำมาตรฐาน RS-232C นี้ได้ออกแบบให้มีโครงสร้างการสื่อสารเป็นแบบจุดต่อจุดเท่านั้น [10]



รูปที่ 4.9 แสดงโครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232C

4.1.3.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมาตรฐาน RS-422A

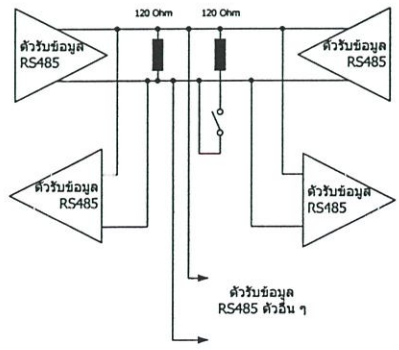
ในการออกแบบระบบสื่อสารข้อมูลจากที่ผ่านมาจนถึงปัจจุบัน ได้มีการพยายามที่จะออกแบบให้การสื่อสารข้อมูลได้รวดเร็วขึ้นและมีระยะในการสื่อสารที่มากขึ้นด้วย ซึ่งที่ผ่านมาการสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐาน RS-232C ได้ออกแบบเพื่อใช้เชื่อมต่อกับโมเด็มเท่านั้น จึงไม่ได้คำนึงถึงความเร็วและระยะทางในการสื่อสารต่อมาได้มีมาตรฐานในการสื่อสารข้อมูลใหม่ที่ได้ออกแบบมาเพื่อรอบรับความต้องการของผู้ใช้งานที่ต้องการให้การรับส่งข้อมูลได้ระยะทางไกลและรวดเร็ว คือมาตรฐาน RS-422A ซึ่งการที่มาตรฐานสื่อสารนี้สามารถรับส่งข้อมูลได้ไกลและรวดเร็วขึ้นเนื่องมาจากหลักการที่ใช้สัญญาณเป็นแบบดิฟเฟอเรนเชียล ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งหลักการก็คือสัญญาณที่รับส่งจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณ 2 เส้นเทียบกับมาตรฐาน RS-232C ที่สัญญาณทุกสัญญาณจะเทียบกับกราวด์ ซึ่งในการสื่อสารในระยะทางไกล ๆ แล้วสัญญาณจะถูกลดทอนไปและเมื่อสัญญาณถูกลดทอนถึงจุด ๆ หนึ่งสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียล การลดทอนของสัญญาณก็จะไปลดทอนทั้งสองสายด้วยค่าที่เท่าเดิมหรือเปลี่ยนแปลงน้อย จึงทำให้ผลของการลดทอนต่อสัญญาณที่ระยะการสื่อสารที่ไกลไม่มีผลต่อการสื่อสารข้อมูล พร้อมทั้งสามารถติดต่อกับตัวรับได้ถึง 10 ตัว[12]



รูปที่ 4.10 แสดงโครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-422 A

4.1.3.3 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-485

ซึ่งเป็นการสื่อสารที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ การสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐานที่กล่าวมาข้างต้นคือ RS-232C นั้นเป็นมาตรฐานการสื่อสารข้อมูลในแบบที่ใช้สื่อสารระหว่างอุปกรณ์ต่ออุปกรณ์หรือจุดต่อจุด (Point-to-Point) ส่วน RS-422A นั้นเป็นมาตรฐานที่พัฒนามาจาก RS-232C ให้ได้ระยะทางไกลขึ้นและอัตราการสื่อสารเพิ่มขึ้น แต่ก็ยังเป็นการสื่อสารข้อมูลจากอุปกรณ์หนึ่งตัวไปยังอุปกรณ์อื่น ๆ ได้สูงสุด 10 ตัว เท่านั้นไม่สามารถส่งย้อนกลับจากอุปกรณ์ตัวรับมาตัวส่งได้ หรือกล่าวได้ว่าการสื่อสารข้อมูลตามมาตรฐาน RS-422A นั้นเป็นการสื่อสารข้อมูลแบบ Simplex คือ ทิศทางของข้อมูลเป็นแบบทางเดียวตลอดเวลาดังนั้นถ้าต้องการออกแบบระบบให้เป็นลักษณะโครงข่ายข้อมูลก็จะไม่สามารถทำได้ จึงมีการพัฒนามาตรฐานการสื่อสารข้อมูลขึ้นใหม่เพื่อรองรับความต้องการนี้ คือ มาตรฐาน RS-485 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่อาศัยหลักการของสัญญาณแบบดิฟเฟอเรนเชียลนี้ ทำให้ระยะทางและความเร็วในการสื่อสารข้อมูลมีค่าสูง เช่นเดียวกับมาตรฐานการสื่อสารข้อมูล RS-422A แต่มาตรฐาน RS-485 สามารถที่จะสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ทั้งการส่งของอุปกรณ์ได้สูงสุด 32 ตัว หรืออาจกล่าวได้ว่าการสื่อสารตามมาตรฐาน RS-485 เป็นการสื่อสารแบบหลายจุด (Multipoint- Communication) ดังแสดงค่าเปรียบเทียบในตารางที่ 4.1 และแสดงโครงสร้างในรูปที่ 4.11 [12]



รูปที่ 4.11 แสดงโครงสร้างของการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมตามมาตรฐาน RS-485

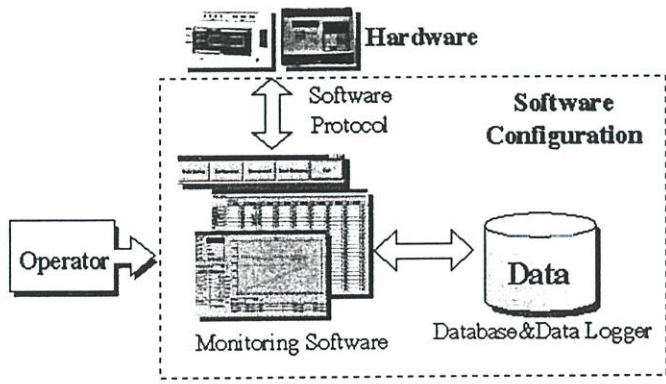
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ RS-232 C, RS-422A, และ RS-485

	RS 232	**RS 422**	**RS 485**
Cabling	Single ended	Single ended Multi-drop	Multi-drop
Number of Devices	1 transmit 1 receive	5 transmitters 10 receivers	32 transmitters 32 receivers
Communication Mode	Full duplex	Full duplex Half duplex	Half duplex
Max. Distance	50 feet at 19.2 Kbps	4000 feet at 100 bps	4000 feet at 100 Kbps
Max. Data Rate	19.2 Kbps for 50 feet	10 Mpbs for 50 feet	10 Mpbs for 50 feet
Signaling	unbalanced	balanced	Balanced
Mark (data 1)	-5 V min. -15 V max.	2 V min. (B>A) 6 V max. (B>A)	1.5 V min. (B>A) 5 V max. (B>A)
Space (data 0)	5 V min. 15 V max.	2 V min. (A>B) 6 V max. (A>B)	1.5 V min. (A>B) 5 V max. (A>B)
Input Level Min.	+/ - 3 V	0.2 V difference	0.2 V difference
Output Current	500 mA (Note that the driver Ics normally used In PCs are limited to 10 mA)	150 mA	250 mA

4.2 โครงสร้างทางโปรแกรม (Software Configuration)

โครงสร้างทาง Software ประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก ๆ คือ

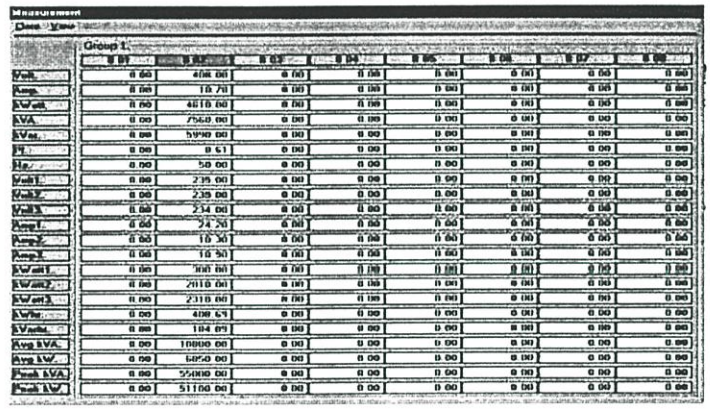
1) โปรแกรมแสดงผล (Monitoring Software)
2) โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูล (Database and Data Logger Management Software)
3) โปรแกรมข้อตกลงการสื่อสารข้อมูล (Software Protocol)



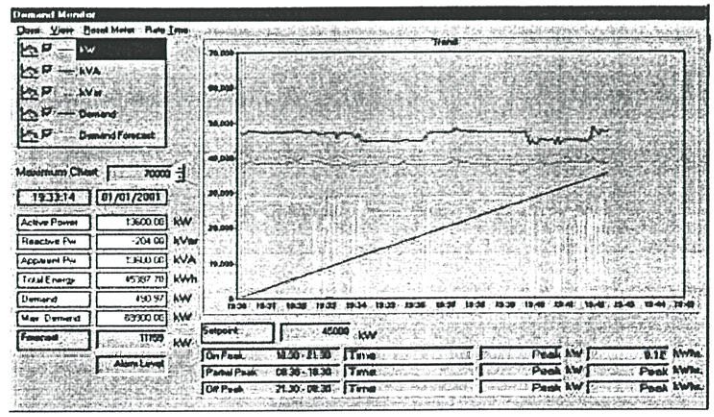
รูปที่ 4.12 แสดงโครงสร้างโปรแกรมสำหรับควบคุมและจัดการ

4.2.1 โปรแกรมแสดงผล (Monitoring Software)

ในส่วนของโปรแกรมแสดงผลถือว่าเป็นโปรแกรมหลักที่ใช้ในการบริหารการใช้พลังงานไฟฟ้าในงานวิจัยฉบับนี้ ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวกลางสื่อสารระหว่างผู้ควบคุมโปรแกรม(Operator) กับระบบควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้า โดยจะแสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่วัดได้ในรูปแบบของตัวเลขและเส้นแนวโน้ม (Trend) ทำให้ผู้ควบคุมระบบรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานไฟฟ้า ข้อมูลที่แสดงในรูปแบบตัวเลขประกอบด้วย แรงดันไฟฟ้า 1 เฟส /3 เฟส กระแสไฟฟ้า 1 เฟส /3 เฟส กำลังไฟฟ้า 1 เฟส /3 เฟส ฯลฯ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ข้อมูลที่แสดงในอีกรูปแบบคือเส้นแนวโน้ม (Trend Graph) ซึ่งจะแสดงเส้นแนวโน้มของกำลังไฟฟ้าที่วัดได้ เส้นแนวโน้มความต้องการกำลังไฟฟ้าที่คำนวณจากค่ากำลังไฟฟ้า เส้นแนวโน้ม Reactive Power และ Apparent Power แสดงค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ทำนายรูปแบบตัวเลข ฯลฯ ดังแสดงในรูปที่ 4.13 ข) โปรแกรมแสดงผลยังเชื่อมโยงไปสู่โปรแกรมจัดการระบบฐานข้อมูล และโปรแกรมข้อตกลงการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของอุปกรณ์วัดและเครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้ ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

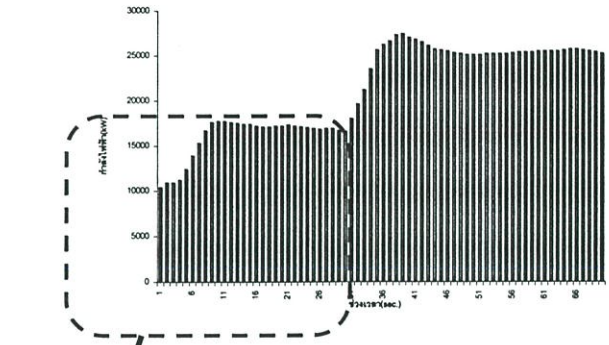


ก)

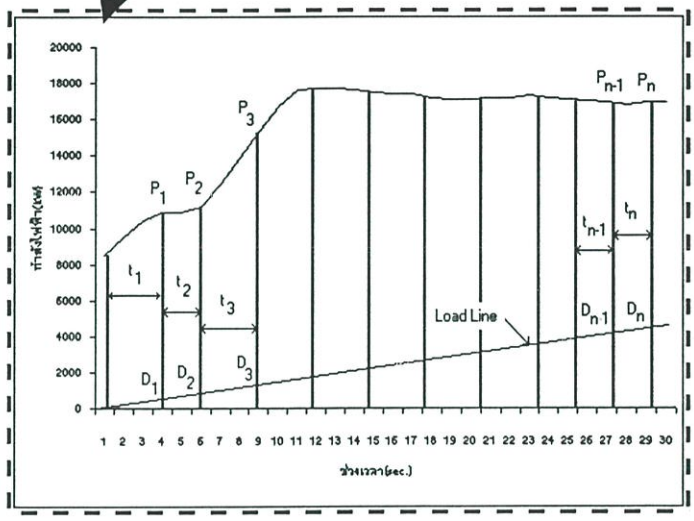


ข)

รูปที่ 4.13 ก) แสดงหน้าต่างโปรแกรมแสดงผลในรูปแบบข้อมูลตัวเลข
ข) แสดงหน้าต่างโปรแกรมแสดงผลในรูปแบบเส้นแนวโน้ม



ก)



ข)

รูปที่ 4.14 ก) แสดงการสุ่มค่ากำลังไฟฟ้ามาคำนวณหาค่าพลังงานและความต้องการกำลังไฟฟ้า
ข) แสดงช่วงเวลาในการสุ่มข้อมูลที่ช่วงเวลาต่าง

จากรูปที่ 4.14 ข) จะเห็นว่าช่วงเวลา t ที่สุ่มข้อมูลจากอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าไม่เท่ากัน เนื่องจากการสุ่มข้อมูลต้องเสียเวลาในการส่งถ่ายข้อมูล ในบางครั้งการส่งถ่ายข้อมูลอาจจะไม่สมบูรณ์ทำให้ต้องมีการสุ่มข้อมูลใหม่ดังนั้นจึงทำให้ใช้เวลามาก และไม่เท่ากัน การจับเวลาในการสุ่มข้อมูลแต่ละครั้งได้ใช้ฟังก์ชัน Timer32.dll และ Timer 32.Bas (ภาคผนวก ข.) เป็นฟังก์ชันการจับเวลา จากรูปที่ 4.14 สามารถหาค่าพลังงานและความต้องการกำลังไฟฟ้าได้ดังนี้

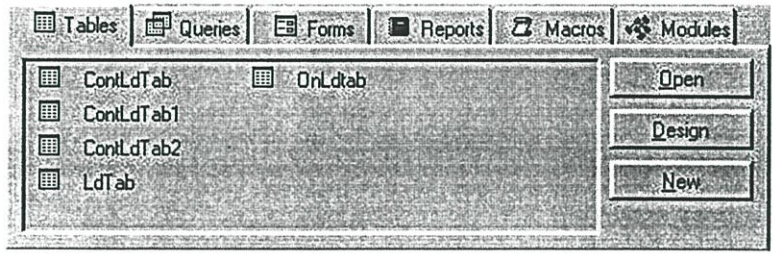
$$\text{Energy}_n = P_1 t_1 + P2t2 + \ldots + P_{(n-1)} t_{(n-1)} + P_{(n-1)} t_{(n-1)} \tag{4.1}$$

$$\text{Demand}_n = \frac{(P_1 t1) + (P_2 t_2) + \ldots + (P_{(n-1)} t_{(n-1)}) + (P_n t_n)}{900\,\text{sec}.} \tag{4.2}$$

4.2.2 โปรแกรมระบบจัดการฐานข้อมูล

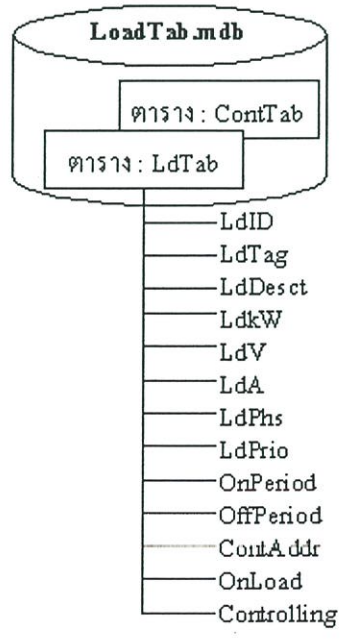
ในส่วนระบบจัดการฐานข้อมูลได้กล่าวไปบ้างบางส่วนแล้วในบทที่ 3 ในบทนี้จะกล่าวถึงรูปแบบการจัดเก็บข้อมูล อย่างเช่นฐานข้อมูลและการเก็บบันทึกข้อมูลแบบแฟ้มข้อความ(Text File)

1) การบันทึกข้อมูลของโหลดในรูปแบบแฟ้มฐานข้อมูลของโปรแกรม Microsoft Access 97 ชื่อไฟล์ **LoadDB.mdb** ในแฟ้มข้อมูลประกอบด้วยหลาย ๆ ตาราง อย่างเช่น ตารางข้อมูลของโหลด(LdTab) ตารางโหลดที่ถูกควบคุม (ContLdTab) ดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 แสดงรายชื่อตารางในแฟ้มฐานข้อมูลของโหลด

ตารางฐานข้อมูลของโหลด(LdTab) คือตารางสำหรับเก็บข้อมูลของโหลดที่ใช้สำหรับควบคุมเท่านั้น โหลดแต่ละตัวจะถูกเก็บข้อมูลมาบันทึกไว้เพื่อประกอบพิจารณาตามเงื่อนไขของการควบคุม ข้อมูลที่บันทึกลงไปในตารางประกอบด้วยค่าต่าง ๆ ดังแผนผังในรูปที่ 4.16

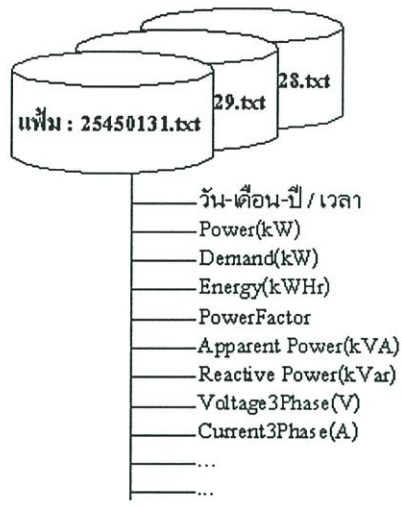


รูปที่ 4.16 แสดงโครงสร้างของฐานข้อมูลของโหลด

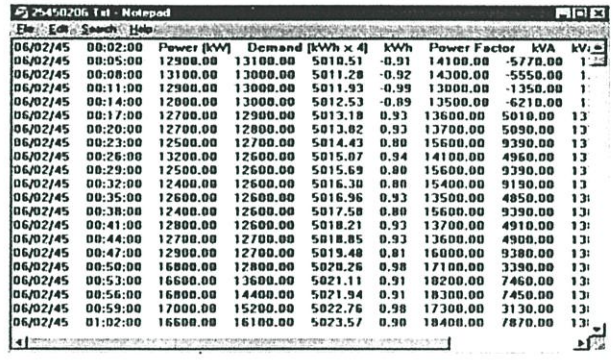
ตารางที่ 4.2 แสดงรายละเอียดของข้อมูลในฐานข้อมูล

ชื่อตัวแปร	ความหมาย
LdID	หมายเลขลำดับของโหลด
LdTag	ชื่อเรียกโหลด
LdDesct	คำอธิบายเกี่ยวกับโหลด
LdkW	กำลังไฟฟ้า
LdV	แรงดันไฟฟ้า
LdA	กระแสไฟฟ้า
LdPhs	ระบบเฟสไฟฟ้า(Phase)
LdPrio	กำหนดหมายเลขลำดับความสำคัญ
OnPeriod	กำหนดระยะเวลาทำงานสั้นที่สุด
OffPeriod	กำหนดระยะเวลาหยุดทำงานสั้นที่สุด
ContAddr	กำหนดตำแหน่งหน่วยความจำในเครื่องควบคุม
OnLoad	แสดงสถานะการทำงาน
Controlling	แสดงสถานะกำลังถูกควบคุม

2) การบันทึกข้อมูลรูปแบบของแฟ้มข้อความ(Text File) เป็นการบันทึกข้อมูลด้วยค่าปริมาณทางไฟฟ้าต่าง ๆ ที่วัดได้จากอุปกรณ์วัด ที่ผ่านการแสดงผลบนหน้าต่างของโปรแกรมหลักแล้ว ข้อมูลที่บันทึกในรูปแบบแฟ้มข้อความนี้สามารถนำกลับมาดูย้อนหลังได้ หรือเรียกว่า Data Logger หรือนำมาวิเคราะห์ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ ได้ ตามวัตถุประสงค์ของผู้วิเคราะห์ การเก็บข้อมูลรูปแบบนี้มีประโยชน์อย่างมากในด้านของการประหยัดพื้นที่หน่วยความจะบนคอมพิวเตอร์ เพราะแฟ้มข้อมูลชนิดนี้มีขนาดการจัดเก็บจุต่ำ ค่าปริมาณทางไฟฟ้าที่บันทึกลงในแฟ้มข้อมูลนี้ประกอบด้วย วันที่ เวลา กำลังไฟฟ้า 1-3 เฟส ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ Power Factor, Reactive Power, Apparent Power แรงดันไฟฟ้า 1-3 เฟส กระแสไฟฟ้า 1-3 เฟส ฯลฯ ซึ่งเวลาในการบันทึกแต่ละครั้งสามารถกำหนดได้จากโปรแกรมหลัก และชื่อแฟ้มข้อมูลจะกำหนดตามปีเดือนวันที่สร้างแฟ้มขึ้นมา โครงสร้างของแฟ้มข้อมูลแสดงในรูปที่ 4.17 และตัวอย่างของการจัดเก็บข้อมูลในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.17 แสดงโครงสร้างฐานข้อมูลรูปแบบแฟ้มข้อความ



06/02/45	00:02:00	Power (kW)	Demand	(kWh x 4)	kWh	Power Factor	kVA	kV
06/02/45	00:05:00	12900.00	13100.00	5010.51	-0.91	14100.00	-5770.00	1
06/02/45	00:08:00	13100.00	13000.00	5011.28	-0.92	14300.00	-5550.00	1
06/02/45	00:11:00	12900.00	13000.00	5011.93	-0.99	13000.00	-1350.00	1
06/02/45	00:14:00	12800.00	13000.00	5012.53	-0.89	13500.00	-6210.00	1
06/02/45	00:17:00	12700.00	12900.00	5013.18	0.93	13600.00	5010.00	13
06/02/45	00:20:00	12700.00	12800.00	5013.82	0.93	13700.00	5050.00	13
06/02/45	00:23:00	12500.00	12700.00	5014.43	0.88	15600.00	9390.00	13
06/02/45	00:26:00	13200.00	12600.00	5015.07	0.94	14100.00	4960.00	13
06/02/45	00:29:00	12500.00	12600.00	5015.69	0.88	15600.00	9390.00	13
06/02/45	00:32:00	12400.00	12600.00	5016.30	0.88	15400.00	9190.00	13
06/02/45	00:35:00	12600.00	12600.00	5016.96	0.93	13500.00	4850.00	13
06/02/45	00:38:00	12400.00	12600.00	5017.58	0.88	15600.00	9390.00	13
06/02/45	00:41:00	12800.00	12600.00	5018.21	0.93	13700.00	4910.00	13
06/02/45	00:44:00	12700.00	12700.00	5018.85	0.93	13600.00	4900.00	13
06/02/45	00:47:00	12900.00	12700.00	5019.48	0.81	16000.00	9380.00	13
06/02/45	00:50:00	16800.00	12800.00	5020.26	0.98	17100.00	3390.00	13
06/02/45	00:53:00	16600.00	13600.00	5021.11	0.91	18200.00	7460.00	13
06/02/45	00:56:00	16800.00	14400.00	5021.94	0.91	18300.00	7450.00	13
06/02/45	00:59:00	17000.00	15200.00	5022.76	0.98	17300.00	3130.00	13
06/02/45	01:02:00	16600.00	16100.00	5023.57	0.90	18400.00	7870.00	13

รูปที่ 4.18 แสดงตัวอย่างแฟ้มข้อความที่ได้จากการบันทึก

4.3 โปรแกรมข้อตกลงการสื่อสารข้อมูล (Software Protocol)

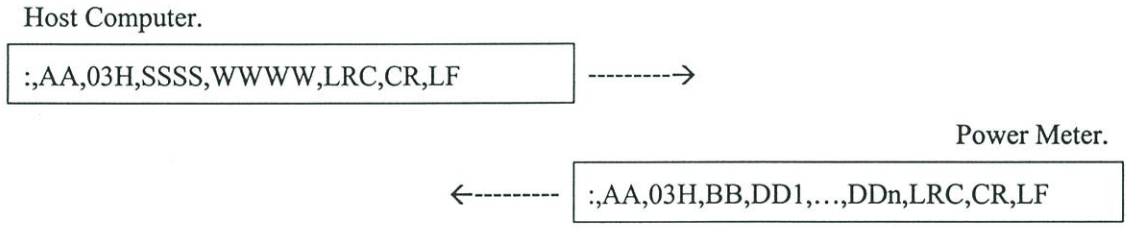
ในงานวิจัยฉบับนี้มีการใช้โปรโตคอล 2 รูปแบบคือ MODBUS Protocol และโปรโตคอลของเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้(PC84SF) ซึ่งอุปกรณ์ทั้งสองรูปแบบข้อตกลงการสื่อสารข้อมูลไม่เหมือนกัน แต่รูปแบบการสื่อสารข้อมูลของอุปกรณ์ทั้งสองเหมือนกัน คือใช้การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมาตราฐาน RS 485 ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองกับคอมพิวเตอร์ ในงานวิจัยนี้จึงแยกพอร์ตการสื่อสารออกเป็น 2 พอร์ตคือ พอร์ตอนุกรมที่ 1 (COM1) ใช้เชื่อมต่อกับอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า และพอร์ตอนุกรมที่ 2 (COM 2) ใช้เชื่อมต่อกับเครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.1

4.3.1 ข้อตกลงการสื่อสารข้อมูลด้วยมาตรฐาน MODBUS

ข้อกำหนดของการสื่อสารข้อมูลด้วยมาตราฐาน MODBUS จะมีรูปแบบเป็นชุดของข้อมูลในการสื่อสารเรียกว่า บล็อก ซึ่งบล็อกข้อมูลที่ถูกส่งออกจากคอมพิวเตอร์ผ่านระบบการเชื่อมต่อสื่อสารไปยังอุปกรณ์วัดจะเรียกว่า บล็อกคำสั่ง(Command Block) และบล็อกข้อมูลที่ถูกส่งมาจากอุปกรณ์วัดผ่านระบบการเชื่อมต่อสื่อสารเข้ามายังคอมพิวเตอร์เรียกว่า บล็อกตอบสนอง(Response Block) โดยรูปแบบของบล็อกคำสั่งและบล็อกตอบสนองจะมีรูปแบบคล้าย ๆ กันคือ ชุดของข้อมูลการสื่อสารจะประกอบด้วย อักขระเริ่มต้นของชุดข้อมูล " : " ตามด้วยตำแหน่งเฉพาะของอุปกรณ์ (Address) ตามด้วยรหัสคำสั่ง (Command) ตามด้วยข้อมูลที่ส่งออกหรือรับเข้า(Data) ตามด้วยรหัสกำกับบล็อก(LRC) ตามด้วยรหัสปิดท้ายบล็อก (CR+LF) [6]

ตัวอย่างต่อไปเป็นการแสดงให้เห็นรูปแบบการสื่อสารข้อมูล ระหว่าคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าซึ่งเป็นลักษณะการถามตอบ โดยคอมพิวเตอร์จะเป็นฝ่ายส่งบล็อกคำสั่งไปอ่านข้อมูลในหน่วยความจำของอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 4.19

4.3.1.1 รูปแบบคำสั่งให้อ่านค่าในหน่วยความจำขนาด N Word



รูปที่ 4.19 แสดงบล็อกคำสั่งให้อ่านค่าในหน่วยความจำขนาด N Word

จากรูปที่ 4.19 สามารถอธิบายได้ดังนี้

เมื่อ " : " = เริ่มบล็อกข้อมูลการสื่อสาร

AA = ตำแหน่งอุปกรณ์(2 bytes ASCII)

03H = รหัสคำสั่งสำหรับอ่านข้อมูล N เวอร์ด(2 bytes ASCII)

SSSS = ตำแหน่งเริ่มต้นของการอ่าน(4 bytes ASCII)(ตำแน่งที่ใช้ : 0FE00H)

WWWW = จำนวนเวอร์ดที่ต้องการอ่าน(4 bytes ASCII): Max.70 word

LRC = รหัสตรวจสอบข้อมูล (Longitudinal Redundancy Check)(2 bytes ASCII)

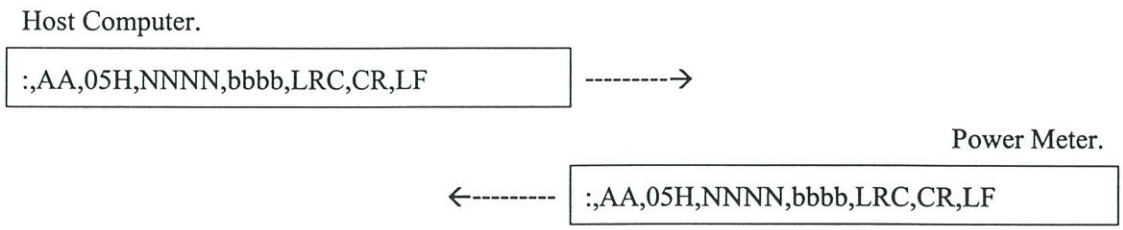
CR = รหัสปิดบล็อก(1 bytes ASCII)

LF = รหัสเริ่มบรรทัดใหม่(1 bytes ASCII)

BB = จำนวนไบต์ของข้อมูลที่อ่านได้(2 bytes ASCII)

DD1,...,DDn = ข้อมูลที่อ่านมาได้(2 *Num.ASCII bytes)

4.3.1.2 รูปแบบคำสั่งให้เขียนค่าในหน่วยความจำขนาด 1 Bit



รูปที่ 4.20 แสดงบล็อกให้เขียนค่าในหน่วยความจำขนาด 1 Bit

จากรูปที่ 4.20 สามารถอธิบายได้ดังนี้

เมื่อ " : " = เริ่มบล็อกข้อมูลการสื่อสาร

AA = ตำแหน่งอุปกรณ์(2 bytes ASCII)

05H = รหัสคำสั่งสำหรับเขียนข้อมูล 1 Bit(2 bytes ASCII)

NNNN = จำนวนของบิตที่ต้องการเขียน(4 bytes ASCII):

0000H<จำนวนของบิต<0003H หรือจำนวนของบิตเท่ากับ FFFEH

bbbb = FF00H :บิต = 1; 0000H : บิต = 0 (4 bytes ASCII)

LRC = รหัสตรวจสอบข้อมูล (Longitudinal Redundancy Check)(2 bytes ASCII)

CR – รหัสปิดบล็อก(1 bytes ASCII)

LF = รหัสเริ่มบรรทัดใหม่(1 bytes ASCII)

4.3.1.3 การคำนวณหาค่ารหัส LRC (Longitudinal Redundancy Check)

การคำนวณรหัส LRC สามารถทำได้ดังนี้

1) รวมรหัสชุดข้อมูลทั้งหมดยกเว้นอักขระเริ่มต้นบล็อก " : " ในรูปเลขฐาน 16
2) นำผลลัพธ์ที่ได้หารด้วย 100H หรือ 256_{10} ถ้ามีเศษให้เก็บไว้
3) นำเศษที่ได้ลบออกจาก 100H หรือ 256_{10}

ตัวอย่างเช่น บล็อกคำสั่งการอ่านข้อมูลดังนี้

":,01H,03H,FE00H,0021H,LRC,CR,LF"

วิธีทำ

รวมรหัสทั้งหมดยกเว้น ":"

10H+03H+FFH+00H+00H+21H = 123H $(291)_{10}$

นำผลลัพธ์ที่ได้หารด้วย 100H $(256)_{10}$

123H/100H$(256)_{10}$ = 01H เศษ 23H $(35)_{10}$

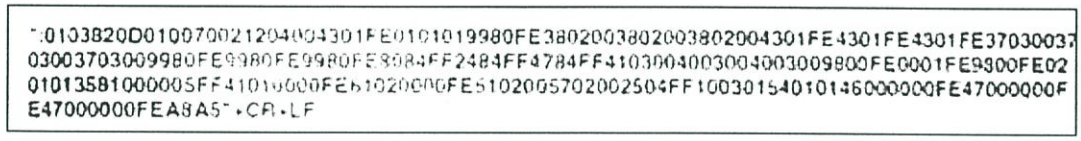
นำเศษที่ได้ลบออกจาก $100H(256)_{10}$

$100H - 23H = DDH$

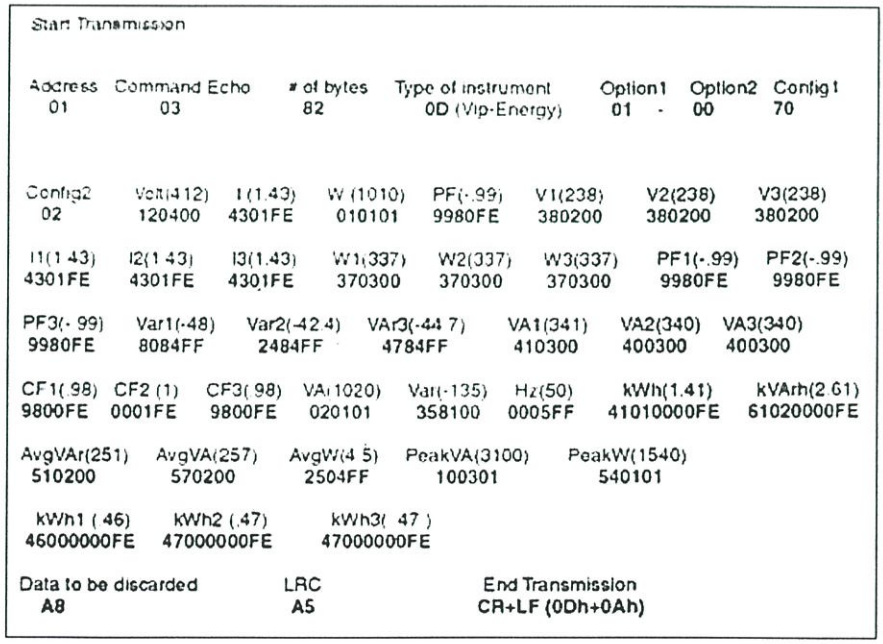
ดังนั้นรหัส LRC = DDH

4.3.1.4 รูปแบบคำสั่งให้อ่านค่าในหน่วยความจำทั้งหมด

จากรูปที่ 4.19 เป็นรูปแบบคำสั่งการอ่านข้อมูลในหน่วยความจำขนาด N Word สามารถใช้คำสั่งนี้ในการอ่านข้อมูลทั้งหมดในหน่วยความจำที่เก็บค่าข้อมูลต่าง ๆ ของอุปกรณ์วัดได้ โดยอ้างอิงตำแหน่งที่อ่านเป็น FF00H จำนวนข้อมูลทั้งหมดที่อ่านเท่ากับ 41H(65 Word) ดังนั้นชุดคำสั่งที่ได้คือ ":,AAH,03H,FEH,00H,00H,41H,LRC,CR,LF" ผลที่ได้จากการอ่านข้อมูลทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.21 ซึ่งเป็นการส่งชุดคุสั่งให้อ่านข้อมูลทั้งหมดในหน่วยความจะที่ตำแหน่งอุปกรณ์วัดที่ 1 (01H) ชุดคำสั่งเขียนใหม่ได้ดังนี้ ":0103FE000041BD" + CR +LF (ภาคผนวก ค)



รูปที่ 4.21 แสดงตัวอย่างชุดข้อมูลบล็อกตอบสนองจากอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้า



รูปที่ 4.22 แสดงการแจกแจงข้อมูลที่อ่านได้จากหน่วยความจำตามความหมาย

4.3.2 ข้อตกลงการสื่อสารข้อมูลสำหรับเครื่องควบคุมที่โปรแกรมได้ PC84SF

ข้อกำหนดของการสื่อสารข้อมูลสำหรับเครื่องควบคุมแบบที่โปรแกรมได้ จะมีรูปแบบเป็นชุดข้อมูลเรียกว่า บล็อก ซึ่งบล็อกข้อมูลที่ถูกส่งออกจากคอมพิวเตอร์ผ่านระบบการเชื่อมต่อสื่อสารไปยังเครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้ PC84SF ซึ่งจะเรียกว่า บล็อกคำสั่ง(Command Block) และบล็อกข้อมูลที่ถูกส่งมาจากเครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้ PC84SF ผ่านระบบการเชื่อมต่อสื่อสารเข้ามายังคอมพิวเตอร์เรียกว่า บล็อกตอบสนอง(Response Block) โดยรูปแบบของบล็อกคำสั่งและบล็อกตอบสนองจะมีรูปแบบคล้าย ๆ กันคือ ชุดของข้อมูลการสื่อสารจะประกอบด้วย อักขระเริ่มต้นของชุดข้อมูล " @ " ตามด้วยตำแหน่งเฉพาะของเครื่องควบคุมฯ (Unit Number) ตามด้วยรหัสคำสั่ง (Header) ตามด้วยข้อมูลที่ส่งออกหรือรับเข้า(Data) และอักขระ " * " สิ้นสุดด้วยรหัสกำกับบล็อก(Frame Check Sequence : FCS) และรหัสปิดท้ายบล็อกที่เป็นอักขระ (CR)[8]

4.3.2.1 รูปแบบของบล็อก(Block Format)

@	X	X	X	X	DATA	*	X	X	CR
เริ่มต้น	ตำแหน่ง		คำสั่ง		ข้อมูล		FCS		ปิด
ช่วงคำนวณรหัสกำกับบล็อก									

รูปที่ 4.23 รูปแบบของบล็อกคำสั่งและตอบสนองของเครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้

จำนวนอักขระรวมในแต่ละบล็อกทั้งหมดจะต้องไม่เกิน 128 ตัว และช่องของการคำนวณหารรหัสกำกับบล็อกจะอยู่ระหว่างอักขระเริ่มต้น @ ไปจนถึงสิ้นสุด DATA ที่ " * "

4.3.2.2 การคำนวณรหัสกำกับบล็อก (FCS Calculation)

FCS เป็นข้อมูลขนาด 8 บิตที่ถูกแปลงไปเป็นอักขระ ASCII และ 8 บิตดังกล่าวนี้เป็นผลลัพธ์จากการ Exclusive OR [XOR] กันเป็นลำดับของแต่ละอักขระในบล็อกเริ่มจากอักขระแรกจนถึงอักขระสุดท้ายของ DATA เช่น

@01	RL	0000 0001 *	74	CR
Unit NO.	Header	DATA	FCS	Close

รูปที่ 4.24 แสดงตัวอย่างบล็อกคำสั่ง และวิธีการหารหัส FCS

จากรูปที่ 4.24 อธิบายได้ว่า ให้อ่านพื้นที่ Link Relay ของ PC84SF Unit ที่ 01 เริ่มต้นที่ตำแหน่ง RL0000 จำนวน 0010 ตำแหน่ง สามารถคำนวณค่ารหัส FCS ได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงการหาค่ารหัส FCS ด้วยการ Exclusive OR

อักขระ	รหัส ASCII	Binary	[HEX]	XOR[HEX]
@	0100	0000	[40]	120 [70]
0	0011	0000	[30]	65 [41]
1	0011	0001	[31]	19 [13]
R	0101	0010	[52]	95 [5F]
L	0100	1100	[4C]	111 [6F]
0	0011	0000	[30]	95 [5F]
0	0011	0000	[30]	111 [6F]
0	0011	0000	[30]	111 [6F]
0	0011	0000	[30]	95 [5F]
0	0011	0000	[30]	111 [6F]
0	0011	0000	[30]	95 [5F]
1	0011	0001	[31]	110 [6E]
0	0011	0000	[30]	94 [5E]
*	0010	1010	[2A]	116 [74]

4.3.2.3 รูปแบบการสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับเครื่องควบคุมแบบโปรแกรมได้

ในขณะที่ทำการเชื่อมต่อเพื่อสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์หลักสามารถที่จะทำการเฝ้ามองการดำเนินการแล้วสามารถที่จะทำการควบคุมเครื่องควบคุมฯ PC84SF ถ้าอยู่ในสถานะการเฝ้ามอง คอมพิวเตอร์หลักจะต้องส่งคำสั่งไปถามข้อมูลจากเครื่องควบคุมฯ ตามชนิดของข้อมูลที่ต้องการ หรือถ้าในสถานะการควบคุมก็สามารถที่จะสั่งไปทำการเปลี่ยนแปลงค่าข้อมูล ที่อยู่ในหน่วยความจะได้โดยตรง เช่นข้อมูลอินพุท/เอาท์พุทเป็นต้น

4.3.2.3.1 บล็อกคำสั่งอ่านพื้นที่อินพุท/เอาท์พุท (Input /Output Relay)

Host Computer

@0,Unit On.,RI,SSSS,nnnn,*,FCS,CR ----->

PC84SF

<----- @0,Unit On.,RI,SSSS,DD_1,..,DD_n,*,FCS,CR

รูปที่ 4.25 แสดงบล็อกคำสั่งอ่านพื้นที่อินพุท/เอาท์พุท (Input /Output Relay)

เมื่อ @ = อักขระเริ่มต้นบล็อก

Unit On. = ตำแน่งเฉพาะที่ของเครื่องควบคุมฯ PC84SF

RI = คำสั่งอ่านข้อมูลจาก Input / Output Area (Internal Relay)

SSSS = ตำแหน่งหน่วยความจำเริ่มต้นที่ต้องการอ่าน

nnnn = จำนวน Word ข้อมูลที่ต้องการอ่าน

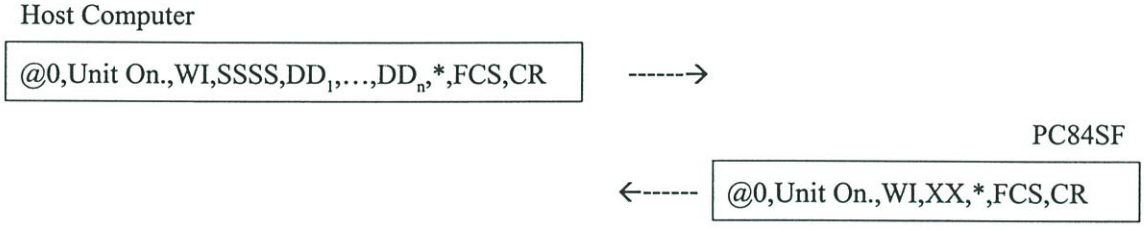
" * " = อักขระสิ้นสุดคำสั่ง

FCS = รหัสกำกับบล็อก

CR = อักขระปิดบล็อก

$DD_1,\ldots,DD_n$ = ข้อมูลที่อ่านได้(DATA)

4.3.2.3.2 บล็อกคำสั่งเขียนพื้นที่อินพุท/เอาท์พุท (Input /Output Relay)



รูปที่ 4.26 แสดงบล็อกคำสั่งเขียนพื้นที่อินพุท/เอาท์พุท (Input /Output Relay)

เมื่อ @ = อักขระเริ่มต้นบล็อก

Unit On. = ตำแน่งเฉพาะที่ของเครื่องควบคุมฯ PC84SF

WI = คำสั่งเขียนข้อมูลจาก Input / Output Area (Internal Relay)

SSSS = ตำแหน่งหน่วยความจำเริ่มต้นที่ต้องการเขียน

DD1,…,DDn = ข้อมูลที่ต้องการเขียน(DATA)

" * " = อักขระสิ้นสุดคำสั่ง

FCS = รหัสกำกับบล็อก

CR = อักขระปิดบล็อก

XX = รหัสตอบสนอง(Response Code): 00=Data Compete; 08=Data Error

4.3.2.3.3 บล็อกคำสั่งอ่านพื้นที่ Link Relay

Host Computer

@0,Unit On.,RL,SSSS,nnnn,*,FCS,CR ----→

PC84SF

←---- @0,Unit On.,RL,SSSS,DD1,..,DDn,*,FCS,CR

รูปที่ 4.27 แสดงบล็อกคำสั่งอ่านพื้นที่ Link Relay

เมื่อ @ = อักขระเริ่มต้นบล็อก

Unit On. = ตำแน่งเฉพาะที่ของเครื่องควบคุมฯ PC84SF

RL = คำสั่งอ่านข้อมูลจาก Link Relay

SSSS = ตำแหน่งหน่วยความจำเริ่มต้นที่ต้องการอ่าน

nnnn = จำนวน Word ข้อมูลที่ต้องการอ่าน

" * " = อักขระสิ้นสุดคำสั่ง

FCS = รหัสกำกับบล็อก

CR = อักขระปิดบล็อก

DD1,…,DDn = ข้อมูลที่อ่านได้(DATA)

4.3.2.3.4 บล็อกคำสั่งเขียนพื้นที่ Link Relay

Host Computer

@0,Unit On.,WL,SSSS,DD_1,…,DD_n,*,FCS,CR ------→

PC84SF

←------ @0,Unit On.,WL,XX,*,FCS,CR

รูปที่ 4.28 แสดงบล็อกคำสั่งอ่านพื้นที่ Link Relay

เมื่อ @ = อักขระเริ่มต้นบล็อก

Unit On. = ตำแน่งเฉพาะที่ของเครื่องควบคุมฯ PC84SF

WI = คำสั่งเขียนข้อมูลจาก Link Relay

SSSS = ตำแหน่งหน่วยความจำเริ่มต้นที่ต้องการเขียน

DD1,...,DDn = ข้อมูลที่ต้องการเขียน(DATA)

" * " = อักขระสิ้นสุดคำสั่ง

FCS = รหัสกำกับบล็อก

CR = อักขระปิดบล็อก

XX = รหัสตอบสนอง(Response Code): 00=Data Compete; 08=Data Error

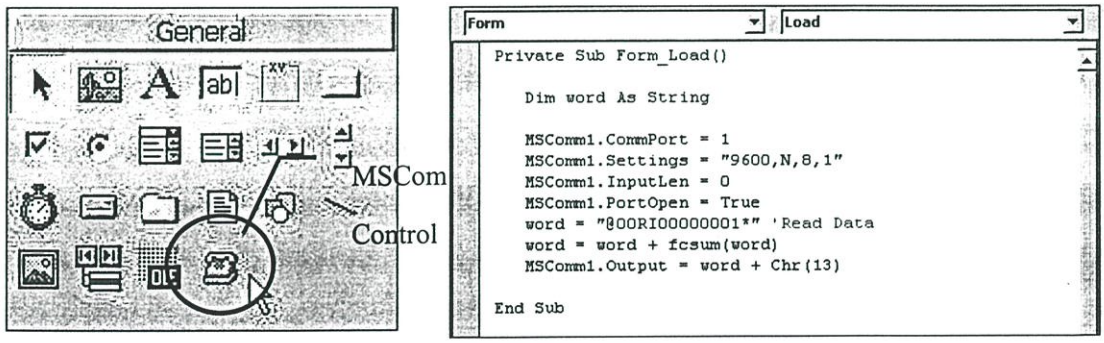
4.4 เครื่องมือสำหรับการสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก

ในงานวิจัยฉบับนี้เลือกใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Microsoft Visual Basic Ver. 6.0 มาใช้สร้างโปรแกรมสำหรับควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้า แต่ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการใช้เครื่องมือในโปรแกรมไมโครซอฟท์วิชวลเบสิก ที่ใช้สำหรับติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านทางช่องสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมาตรฐาน RS 232 หรือเรียกว่าเครื่องมือ MSComm Control (Communication Customer Control)

การรับและการส่งข้อมูลระหว่างช่องการสื่อสารแบบอนุกรม (Serial Port) กับอุปกรณ์ภายนอกจะมีการติดต่อได้ 2 รูปแบบคือ

1. การสื่อสารแบบกระตุ้นด้วยเหตุการณ์ (Even Driven Communication) หรือเป็นการเขียนโปรแกรมแบบกระตุ้นด้วยอิเตอร์รัพต์นั้นเอง

2. การสื่อสารแบบโพลลิ่ง (Polling) เกิดขึ้นโดยการเขียนโปรแกรมวนรอบตรวจสอบข้อมูลจากช่องสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Port) ตลอดเวลา



ก) ข)

รูปที่ 4.29 ก) แสดงรูปเครื่องมือ MSComm Control ข) แสดงตัวอย่างการเขียนคำสั่งสื่อสารข้อมูล

บทที่ 5
การทดสอบและผลการทดสอบ

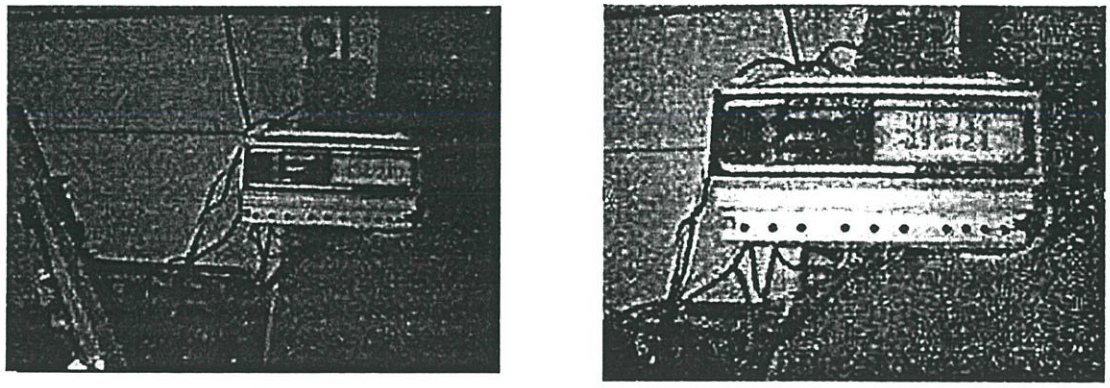
การทดสอบโปรแกรมสำหรับควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้า มีลำดับขั้นการทดลองเหมือนจริงกับการนำเอาระบบนี้ไปใช้กับอาคาร เพียงแต่บางส่วนของงานวิจัย เช่น ส่วนของการควบคุมโหลดที่ไม่สามารถทดสอบกับโหลดจริงได้ เป็นเพียงการจำลองเหตุการณ์บนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เนื่องจากการติดตั้งระบบควบคุมโหลดมีความยุ่งยากมากและยังมีความน่าเชื่อถือน้อย แต่ก็มีการทดลองกับเครื่องปรับอากาศในห้องทดลองจริง 1 เครื่อง เพื่อดูการทำงานของระบบควบคุมด้วย PLC ในส่วนการวัดค่าปริมาณทางไฟฟ้าเพื่อเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร เป็นการทดสอบจริง ซึ่งได้ค่าปริมาณทางไฟฟ้าที่เป็นข้อมูลและสามารถนำมาวิเคราะห์และจำลองเหตุการณ์ต่าง ๆ ได้ ทั้งนี้เป็นเพียงการทดลองวิจัยแนวคิดเกี่ยวกับการควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้า ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ได้ทดสอบกับอาคารเรียน ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในช่วงเวลาที่ผู้ทำวิจัยศึกษาอยู่ ขั้นตอนการควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้าและโหลดต่าง ๆ
2. วางแผนดำเนินการควบคุมและจัดการโหลด
3. ดำเนินการควบคุมและติดตามผล

5.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้า

การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้ไฟฟ้ามีจุดประสงค์เพื่อที่จะหาค่าปริมาณทางไฟฟ้า เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าตัวประกอบโหลดของระบบไฟฟ้าในอาคาร ซึ่งการหาค่าตัวประกอบโหลดสามารถหาได้จากสมการที่ 2.7 ที่มีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดในรอบเดือนกับค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในเดือนนั้น ซึ่งค่าพลังงานไฟฟ้ากับค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าในรอบเดือนสามารถหาได้จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าที่ออกให้จากการไฟฟ้า หรืออีกวิธีคือข้อมูลการใช้ไฟฟ้าที่ได้จากการบันทึกในระบบควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้า ดังนั้นในงานวิจัยนี้จำเลือกวิธีติดตั้งอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าเพื่อบันทึกค่าปริมาณทางไฟฟ้าต่าง ๆ แทนการวิเคราะห์จากใบแจ้งหนี้ ซึ่งผู้วิจัยได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าไว้ในห้องควบคุมการจ่ายไฟฟ้าของอาคาร ดังแสดงในรูปที่ 5.1 จากนั้นก็ต่อสายสัญญาณการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมาตรฐาน RS 485 ด้วยสาย 2 เส้นมายังห้องทดลองชั้นสอง แล้วใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเก็บข้อมูลที่เป็นค่าปริมาณทางไฟฟ้า อย่างเช่น ค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) กระแสไฟฟ้า(Current) กำลังไฟฟ้า(Power) เพาเวอร์แฟกเตอร์(PF) พลังงานไฟฟ้า (Energy) แบบ 1 เฟส และ 3 เฟส เป็นต้น ข้อมูลที่ส่งมาจากอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าจะอยู่ในรูปแบบ

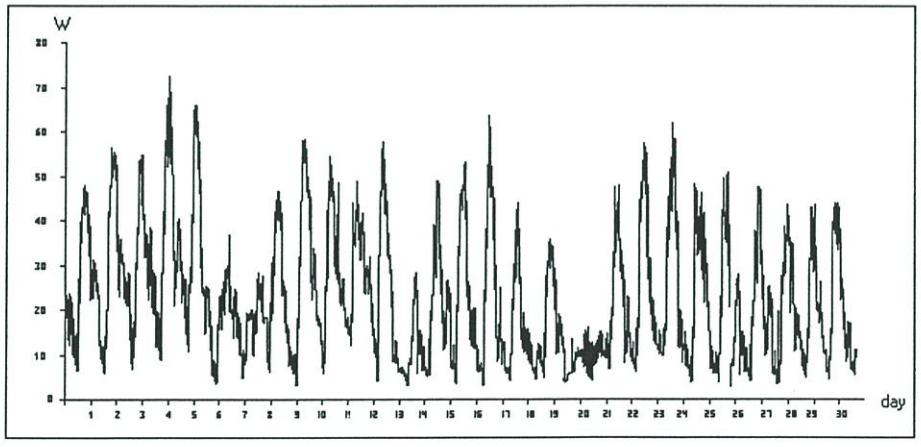
เลขฐาน 16 ซึ่งโปรแกรมแสดงผลข้อมูลจะทำแปลงข้อมูลให้อยู่ในเลขฐาน 10 เพื่อใช้ในการแสดงผลเป็นตัวเลย เส้นแนวโน้ม และแฟ้มข้อมูลแบบข้อความ



ก)　　ข)

รูปที่ 5.1 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์วัดในห้องระบบจ่ายไฟฟ้า

ข้อมูลที่ได้จากการเก็บรวบรวมตั้งแต่วันที่ 1พ.ย. 2544 - 30 พ.ย. 2544 ถูกเลือกนำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าตัวประกอบโหลด และใช้หาค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมในเดือนถัดไป ข้อมูลที่ได้จากแฟ้มข้อมูลชนิดข้อความ ถูกนำมาเขียนเป็นกราฟแสดงแนวโน้มการใช้ไฟฟ้าของเดือนพฤศจิกายน ดังรูปที่ 5.2 นอกจากนี้ข้อมูลที่รวบรวมได้ยังสามารถแยกเป็นค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในแต่ละวันและค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละวัน ดังตารางที่ 5.1



รูปที่ 5.2 แสดงเส้นแนวโน้มของการใช้ไฟฟ้าที่วัดได้

ตารางที่ 5.1 แสดงข้อมูลการใช้ไฟฟ้าใน 1 เดือน ตั้งแต่วันที่ 1พ.ย. 2544 - 30 พ.ย. 2544

วันที่	Demand (kW)	Unit (kWHr)	Load Factor %	วันที่	Demand (kW)	Unit (kWHr)	Load Factor %
1	55	721	55	16	52	585	47
2	56	724	54	17	62	563	38
3	54	719	55	18	42	389	39
4	70	838	50	19	40	407	43
5	65	817	52	20	15	209	59
6	29	439	63	21	27	334	52
7	28	393	60	22	48	665	58
8	46	596	54	23	49	671	58
9	57	692	50	24	54	718	55
10	54	665	51	25	62	564	38
11	48	681	60	26	27	334	52
12	49	508	44	27	52	585	47
13	27	269	41	28	49	673	57
14	27	276	43	29	40	407	43
15	47	482	43	30	38	403	45

5.1.1 การหาค่าตัวประกอบโหลดของอาคาร

จากตารางที่ 5.1 ข้อมูลที่ได้ประกอบด้วยช่องของวันที่ ความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Demand)ใน 1 วัน ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปใน 1 วัน และค่าตัวประกอบโหลดที่คำนวณได้ใน 1 วัน จากตารางค่าความความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 70 kW ในวันที่ 4 ของเดือน และค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้รวมแล้วในเดือนนั้นเท่ากับ 16,327 kWHr. จากสมการที่ 2.7 สามารถหาค่าตัวประกอบโหลดรายเดือนของระบบไฟฟ้าในอาคารนี้ได้เท่ากับ

$$\text{Load Factor(รายเดือน)} = \frac{16{,}327(\text{kWHr.})}{70(\text{kW}) \times 24(\text{Hr}) \times 30(\text{day})} 100\% \quad = 32\,\%$$

จะเห็นว่าค่าตัวประกอบโหลดรายเดือนของระบบไฟฟ้าเท่ากับ 32 % ถือว่าต่ำมาก จากแนวทางการประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยการเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดให้สูงขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการ

ปรับปรุงค่าตัวประกอบโหลดของระบบไฟฟ้าให้สูงขึ้น ซึ่งเป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพมากและนิยมทำมากที่สุด เนื่องจากวิธีการเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดให้สูงขึ้นด้วยการลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดลง ดังจะเห็นได้จากสมการที่ 2.7 จะทำให้ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าลงได้ อีกทั้งยังช่วยในการวางแผนลดกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าของประเทศลดลงได้ด้วย

5.1.2 การหาค่าตัวประกอบโหลดที่เหมาะสม

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกวิธีการเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดให้สูงขึ้น โดยได้จัดทำตารางแสดงค่าตัวประกอบที่เพิ่มขึ้นจากเดิมคือ 32 – 46 % แล้วนำไปหาค่าค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ค่าตัวประกอบโหลดที่เพิ่มขึ้น โดยจะเห็นได้จากตารางที่ 5.2

$$\text{Demand}_{(\text{Set point})} = \frac{16{,}327(\text{kWHr})}{\text{Load Factor}(\%) \times 24(\text{Hr}) \times 30(\text{day})} \times 100\%$$

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าตัวประกอบโหลดที่เพิ่มขึ้นจาก 32 % – 46 % เพื่อหาค่า Demand ที่เหมาะสม

$\text{Demand}_{(\text{Set point})}$	Load Factor %	$\text{Demand}_{(\text{Set point})}$	Load Factor %
69	33	57	40
67	34	55	41
65	35	54	42
63	36	53	43
61	37	52	44
60	38	50	45
58	39	49	46

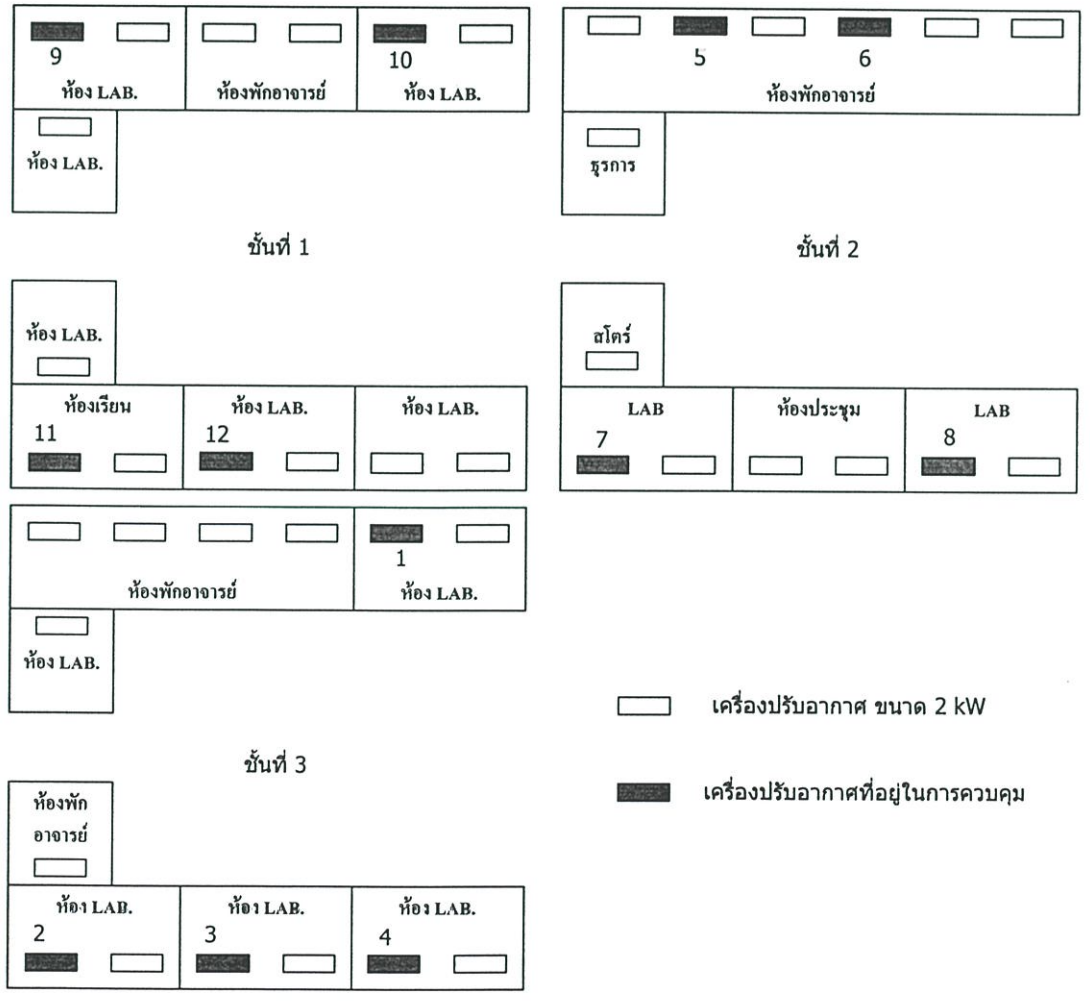
จากตารางที่ 5.2 แสดงให้เห็นว่าค่าตัวประกอบโหลดที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้านั้นลดลง และทำให้ง่ายต่อการเลือกค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม สำหรับนำไปเป็นค่าเป้าหมายการควบคุม

โดยทั่วไปถ้าเป็นการหาค่าตัวประกอบโหลดที่เหมาะสมในโรงงานที่มีการทำงานเป็นกะ หรือมีเวลาการทำงานที่แน่นอนจะต้องมีการคำนวณค่าตัวประกอบโหลดจาก สัดส่วนของเวลาทำงานต่อ 24 ชั่วโมงเทียบกับตัวประกอบโหลดมาตรฐานที่ 80 % แล้วนำค่าตัวประกอบโหลดที่เหมาะสมไปหาค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดสำหรับเป็นค่าเป้าหมายในการควบคุม แต่ในงานวิจัยนี้เป็นอาคารเรียนที่มีเวลาการใช้งานของโหลดที่ไม่แน่นอนเหมือนกับโหลดในโรงงาน ซึ่งจึงไม่สามารถหาด้วยวิธีนี้ได้ ดังนั้นจึงได้ทำตารางตัวประกอบโหลดนี้ขึ้นมา เพื่อหาค่าตัวประกอบโหลดและค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม

จากตารางที่ 5.2 ค่าตัวประกอบโหลดที่เหมาะสมเท่ากับ 38% ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เป็นค่าเป้าหมายของการควบคุมได้เท่ากับ 60 kW ซึ่งเป็นการลดค่าความต้องการกำลัง ไฟฟ้าเดิมลงจากเดิมถึง 10 kW ซึ่งสามารถทำได้

5.2 วางแผนดำเนินการควบคุมและจัดการโหลด

การดำเนินการควบคุมและจัดการโหลด เมื่อได้ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมมาแล้ว จำเป็นต้องมีการวางแผนการควบคุมโหลด เพื่อให้สามารถลดค่าความต้องกำลังไฟฟ้าได้จริง ดังที่กล่าวมาแล้วว่างานวิจัยฉบับนี้ได้เลือกอาคาร ภาควิศวกรรมการวัดคุม มาเป็นกรณีศึกษา และเลือกวิธีการจำลองการควบคุมขึ้นเนื่องจากเหตุผลดังที่กล่าวมาแล้ว การวางแผนดำเนินการควบคุมเริ่มจากการเลือกโหลดที่ต้องการควบคุมในอาคารฯ จัดลำดับความสำคัญของโหลดแต่ละตัว ดังรูปที่ 5.3 เป็นแผนผังของอาคารและตำแหน่งเครื่องปรับอากาศ



รูปที่ 5.3 แสดงแผนผังอาคารเรียนที่ และตำแหน่งของโหลดที่เป็นเครื่องปรับอากาศ

การพิจารณาเลือกโหลดเพื่อนำมาควบคุม โดยทั่วไปแล้วจะพิจารณเลือกจากรายละเอียดการใช้งานและการใช้ไฟฟ้าของโหลด ว่ามีความสำคัญและความจำเป็นในการใช้งานอย่างไร โดยมีหลักการคือ ระยะเวลาในการทำงาน เงื่อนไขระยะเวลาการเริ่มหรือหยุดการทำงาน และกำลังไฟฟ้าจริงของโหลด แล้วนำมากำหนดลำดับความสำคัญของโหลดที่ต้องการนำมาควบคุม จากรูปที่ 5.3 เป็นแผนผังการติดตั้งปรับอากาศภายในอาคารเรียน ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม ในงานวิจัยนี้กำหนดให้เครื่องปรับอากาศเป็นโหลดที่ต้องการจะควบคุม และมีขนาดกำลังไฟฟ้าเท่ากันทุกเครื่อง คือ 1.5 kW(เฉพาะในงานวิจัยนี้) โดยมีการพิจารณาเลือกโหลดดังนี้

1) ในห้องที่มีโหลดเพียง 1 เครื่อง จะไม่นำมาควบคุม เพราะมีผลต่อผู้ใช้มากถ้าโหลดหยุดทำงาน

2) ในห้องที่มีโหลด 2 เครื่อง จะนำโหลดมาควบคุม 1 เครื่อง

3) ในห้องประชุม โหลดถือว่ามีความสำคัญมากจึงไม่นำมาควบคุม

4) ในห้องพักอาจารย์ โหลดถือว่ามีความสำคัญมากกว่าห้อง LAB

5) ในแต่ละห้องของชั้นที่ 3 โหลดที่เลือกมาควบคุมถือว่ามีความสำคัญมากกว่าโหลดในชั้นที่ 2 และชั้นที่ 1 ตามลำดับ เพราะชั้นที่ 3 มีอุณหภูมิภายนอกห้องมีผลกระทบมาจากชั้นดาดฟ้าของอาคารมากว่าชั้นที่ 2 และชั้นที่ 1ตามลำดับ

จากการพิจารณาเลือกโหลดทั้งหมดที่นำมาควบคุมเท่ากับ 12 เครื่อง มีหมายเลขประจำโหลด และมีค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้รวมแล้วเฉพาะที่ควบคุมได้เท่ากับ 18 kW ดังแสดงในตารางที่ 5.3 ซึ่งถ้ามีการควบคุมให้โหลดทั้งหมดในตารางนี้หยุดทำงานก็จะสามารถลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าได้ถึง 18 kW โดยที่ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ต้องการลดเพียง 10 kW เท่านั้น

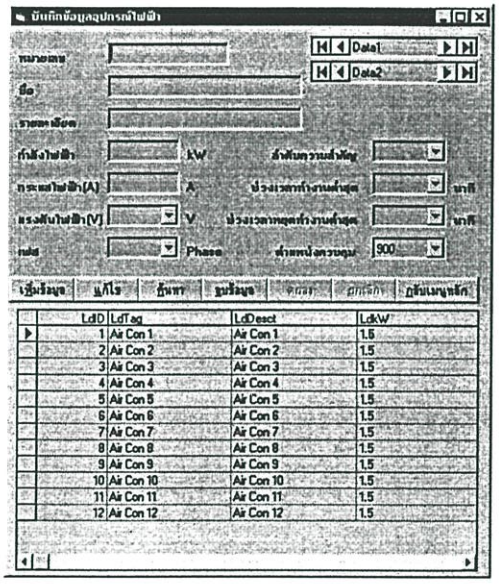
ตารางที่ 5.3 แสดงรายละเอียดการจัดลำดับโหลด

ลำดับความสำคัญ	ตำแหน่ง	กำลังไฟฟ้า	หมายเลขโหลด	ตำแหน่งในเครื่องควบคุม
1	ชั้นที่ 2	1.5	5	904
		1.5	6	905
2	ชั้นที่ 3	1.5	1	900
		1.5	2	901
		1.5	3	902
		1.5	4	903
3	ชั้นที่ 2	1.5	7	906
		1.5	8	907

ตารางที่ 5.3 (ต่อ)

ลำดับความสำคัญ	ตำแหน่ง	กำลังไฟฟ้า	หมายเลขโหลด	ตำแหน่งในเครื่องควบคุม
4	ชั้นที่ 1	1.5	9	908
		1.5	10	909
		1.5	11	910
		1.5	12	911

เมื่อได้ข้อมูลโหลดของโหลดที่ต้องการจะควบคุมแล้ว ดังแสดงในตารางที่ 5.2 ป้อนข้อมูลนี้ลงในฐานข้อมูลของโหลดที่เตรียมไว้ในโปรแกรมสำหรับควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้าต่อไป

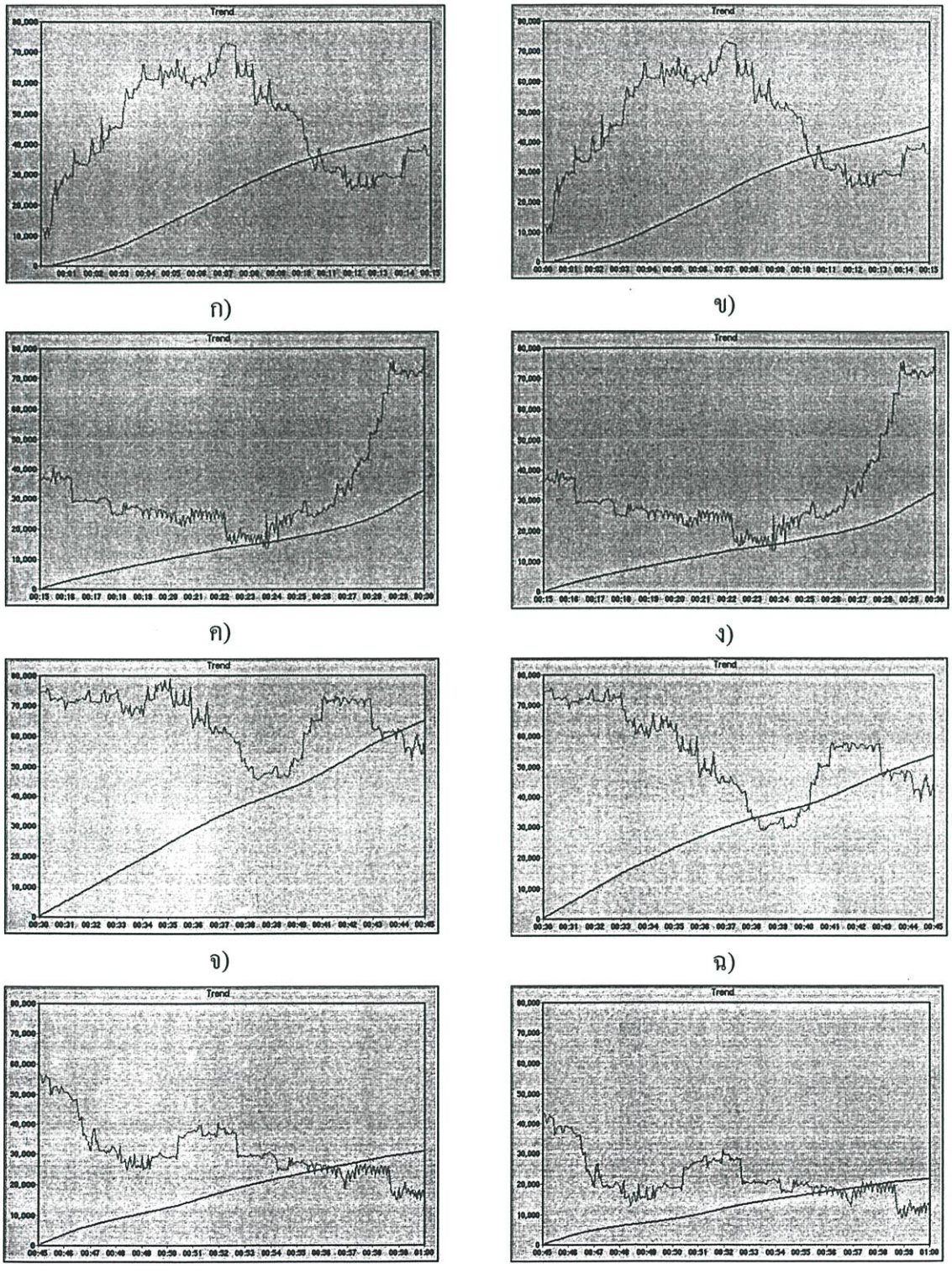


รูปที่ 5.4 แสดงการป้อนข้อมูลของโหลดลงในฐานข้อมูล

5.3 ดำเนินการควบคุมและติดตามผล

การดำเนินการควบคุมเพื่อการลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า มีขั้นตอนดังนี้คือ นำข้อมูลการใช้ไฟฟ้าที่บันทึกไว้ได้ โดยที่ยังไม่มีการควบคุมโหลดใด ๆ นำมาแสดงเป็นเส้นแนวโน้ม จากนั้นนำข้อมูลการใช้ไฟฟ้าที่บันทึกไว้ได้ มาทำการจำลองการทำงานของโปรแกรม ตั้งเงื่อนไขที่กำหนดไว้ แล้วเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้ระหว่างข้อมูลก่อนทำการควบคุมและหลังการควบคุมด้วยโปรแกรมระบบควบคุมฯ โดยใช้ข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของเดือนธันวาคม 2545 ในช่วงที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุด หรือช่วงที่มีค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเดือน มาทำการทดลองในช่วงสั้น ๆ เพื่อให้เห็นผลได้ชัดเจน เริ่มจากการจำลองการวัดกำลังไฟฟ้าที่ยังไม่ได้มีการควบคุมและการจำลองการใช้

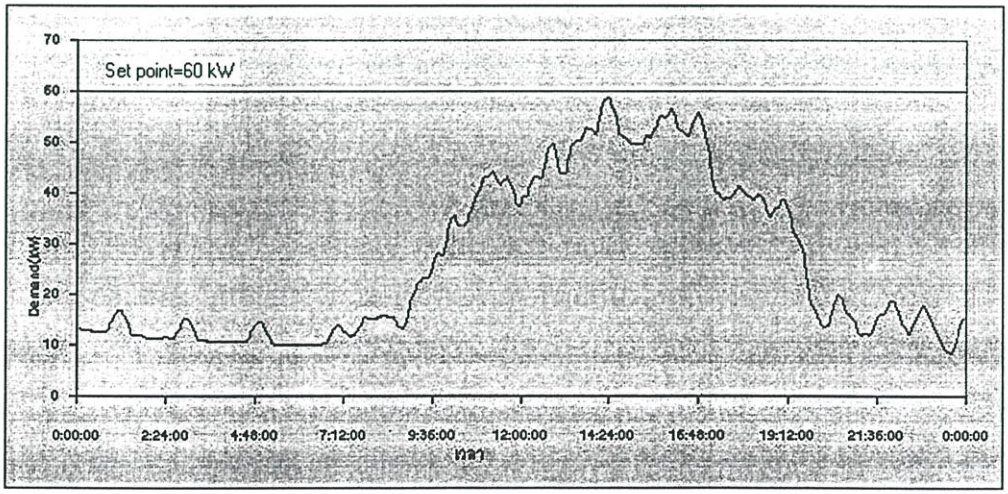
กำลังไฟฟ้าที่มีเงื่อนไขการควบคุม ผลที่ได้จากการวัดกำลังไฟฟ้า และการทำนายค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าของโปรแกรมที่พัฒนานี้ สามารถลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดลงได้ ดังแสดงการเปรียบเทียบการวัดและควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าไว้ในรูปที่ 5.5 ดังนี้



รูปที่ 5.5 แสดงผลการจำลองการใช้ไฟฟ้าและการเปรียบเทียบผลการควบคุมค่า Demand

จากรูปที่ 5.5 ก) แสดงเส้นแนวโน้มการใช้กำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 0 – 15 นาที ที่ยังไม่มีระบบควบคุม รูปที่ 5.5 ข) แสดงเส้นแนวโน้มการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา 0 – 15 นาที ที่มีระบบควบคุมฯ แต่ไม่มีการควบคุม รูปที่ 5.5 ค) แสดงเส้นแนวโน้มการใช้กำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 15 – 30 นาที ที่ยังไม่มีระบบควบคุม รูปที่ 5.5 ง) แสดงเส้นแนวโน้มการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา 15 – 30 นาที ที่มีระบบควบคุมฯ 5.5 จ) แสดงเส้นแนวโน้มการใช้กำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 30 – 45 นาที ที่ยังไม่มีระบบควบคุม รูปที่ 5.5 ฉ) แสดงเส้นแนวโน้มการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา 30 – 45 นาที ที่มีระบบควบคุมฯ และมีการควบคุมเกิดขึ้น รูปที่ 5.5 ช) แสดงเส้นแนวโน้มการใช้กำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 45 นาที – 1 ช.ม. ที่ยังไม่มีระบบควบคุม รูปที่ 5.5 ซ) แสดงเส้นแนวโน้มการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา 45 นาที – 1 ช.ม. ที่มีระบบควบคุมฯ และยังมีการควบคุมโหลดอยู่

จากการเปรียบเทียบผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้ ช่วงเวลาที่ 0 – 30 นาที การทดลองทั้ง 2 แบบไม่มีการควบคุมเกิดขึ้น เนื่องจากค่าการทำนายความต้องการกำลังไฟฟ้า ต่ำกว่าค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ แต่ในช่วงเวลา 30 – 45 นาที ค่าการทำนายความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงกว่าค่าเป้าหมาย ทำให้มีการควบคุมโหลดเกิดขึ้น ผลของการควบคุมโหลดทำให้ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดลดลงจาก 65.5 kW เหลือ 53.8 kW ลดลงถึง 11.7 kW ซึ่งจริง ๆ แล้วเป้าหมายของการควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 60 kW สาเหตุของค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดลดลงมากกว่าที่กำหนดไว้ อาจจะเนื่องมาจากการกำหนดเงื่อนไขของเวลาในการตัดโหลดเร็วเกินไปทำให้โหลดถูกตัดเร็วขึ้นเป็นสาเหตุให้กำลังไฟฟ้าลดลงได้มาก ตรงจุดนี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ที่โปรแกรม รูปที่ 5.6 เป็นผลการจำลองการควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าในเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อมีการแก้ไขช่วงเวลาการตัดต่อโหดลใหม่แล้ว จะเห็นว่าค่าความต้องการกำลังไฟฟ้ายังลดลงต่ำกว่า 60 kW

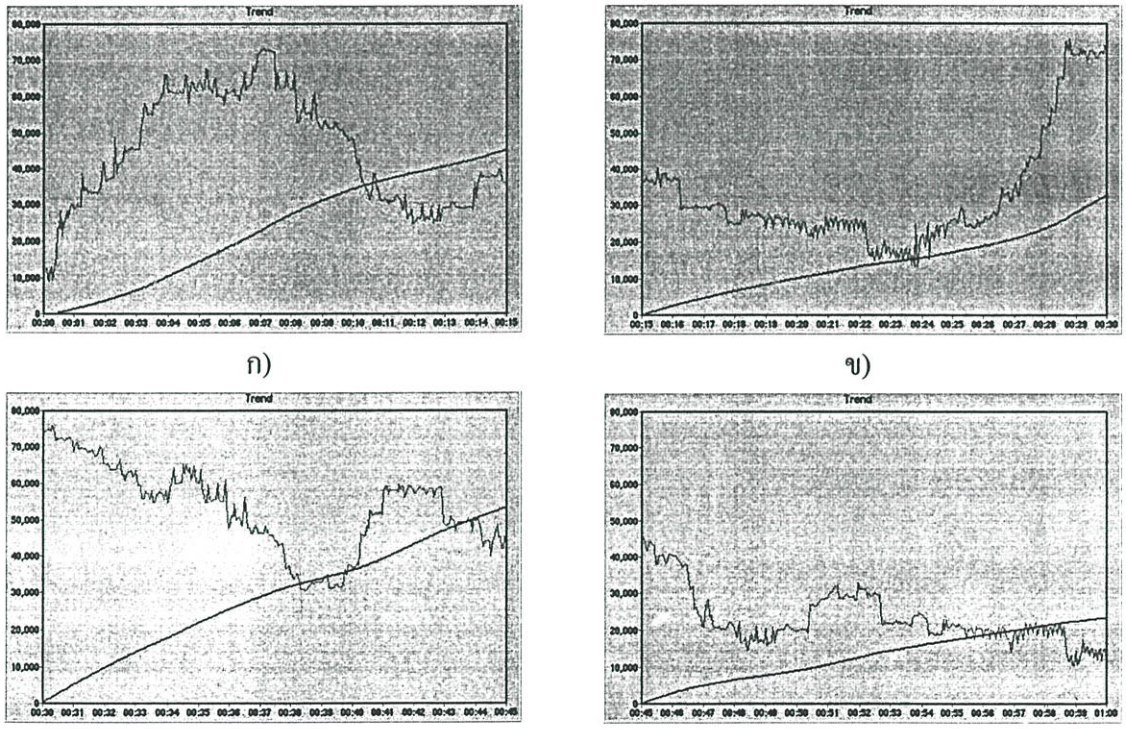


รูปที่ 5.6 แสดงผลการทดลองการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง

5.4 ผลการทดสอบโปรแกรมฯ กับเงื่อนไขอื่น ๆ ที่มีอยู่

ในการทดสอบกับเงื่อนไขอื่น ๆ ที่มีอยู่ ในงานวิจัยฉบับนี้ได้ทดลองใช้เงื่อนไขการควบคุมและบริหารการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย หน่วยงานโครงการอาคารสีเขียว ซึ่งงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากทางหน่วงงานดังกล่าว ให้เข้าไปศึกษาหาความรู้ต่าง ๆ เกี่ยวกับระบบที่มีอยู่ เพื่อนำมาพัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมและจัดการพลังงานที่ทำวิจัยอยู่ ซึ่งการควบคุมและบริหารการใช้ไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ มีเงื่อนไขดังนี้คือ เป้าหมายของการควบคุมคือค่ากำลังไฟฟ้าที่ผู้ใช้ต้องการในขณะนั้น(ไม่ใช่ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า) ส่วนการควบคุมโหลดของอาคารเมื่อค่ากำลังไฟฟ้าที่วัดได้มากกว่าค่าเป้าหมาย ได้ใช้สัญญาณดิจิตอลเอาท์พุทในตัวอุปกรณ์วัดค่ากำลังไฟฟ้า มีรายละเอียดดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 และ 3

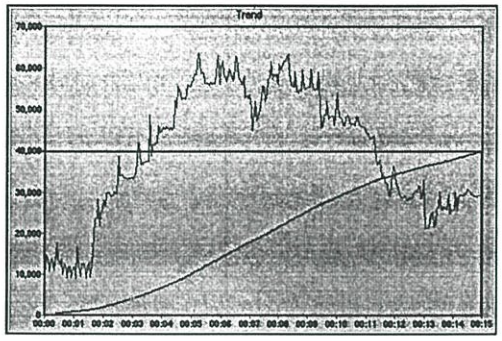
จากการทดลองโดยใช้ข้อมูลจากหัวข้อที่ 5.3 ทำการทดลองเงื่อนไขของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ เปรียบเทียบกับเงื่อนไขของโปรแกรมที่วิจัยได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 5.7



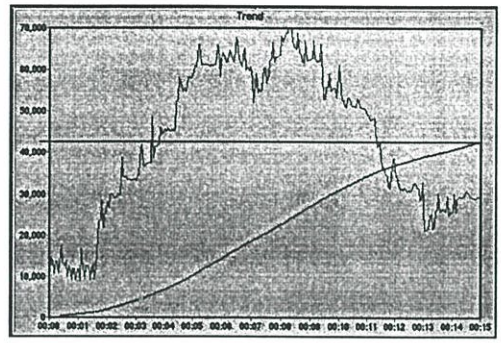
รูปที่ 5.7 แสดงการทดลองการควบคุมและบริหารโหลดด้วยเงื่อนไขของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตฯ
ก) เส้นแนวโน้มช่วงเวลา 0 – 15 นาที ข) เส้นแนวโน้มช่วงเวลา 15 – 30 นาที
ค) เส้นแนวโน้มช่วงเวลา 30 – 45 นาที ง) เส้นแนวโน้มช่วงเวลา 45 นาที – 1 ชั่วโมง

จากผลการทดลองพบว่าค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ลดลง มีค่าประมาณ 35.5 kW ซึ่งค่ามีใกล้เคียงกับผลการทดลองด้วยเงื่อนไขของงานวิจัย แต่ข้อสังเกตประการหนึ่งที่แตกต่างกันคือ

การตัดโหลดของวิธีที่นำมาเปรียบเทียบจะตัดเร็วกว่าวิธีที่ทำวิจัยมากกว่า เพราะเนื่องจากว่าวิธีเดิมจะใช้วัดค่ากำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าเป้าหมาย โดยที่บางครั้งในช่วงเวลานั้นอาจจะไม่ทำให้ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดเกิดขึ้นได้ แต่ในงานวิจัยนี้วัดที่ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า และยังมีการทำนายค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย ทำให้ยืดเวลาในการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไปได้อีกระยะหนึ่ง ดังจะแสดงให้เห็นในรูปที่ 5.8



ก)



ข)

รูปที่ 5.8 ก) แสดงเส้นแนวโน้มการควบคุมแบบเดิม ข)แสดงเส้นแนวโน้มการควบคุมแบบที่วิจัย

จากรูปที่ 5.8 ก) และ ข) สามารถอธิบายได้ดังนี้ เมื่อกำหนดให้ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเป้าหมายเท่ากับ 60 kW ผลของการควบคุมค่ากำลังไฟฟ้าด้วยจากวิธีเดิมทำให้ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดลดลงเท่ากับ 40 kW เนื่องจากมีการตัดโหลด แต่ผลของการใช้การควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าแบบที่วิจัย ไม่มีการตัดโหลดเลย เนื่องจากว่าค่าการทำนายความต้องการกำลังไฟฟ้าไม่เกินค่าเป้าหมายทำให้ไม่มีการควบคุมโหลดเกิดขึ้น ค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ได้เท่ากับ 42 kW

บทที่ 6
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การประหยัดพลังงานไฟฟ้าเป็นนโยบายหนึ่งของรัฐบาลในการอนุรักษ์พลังงานภายในประเทศ แนวทางในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่นิยมทำมากที่สุดคือ การเพิ่มค่าตัวประกอบโหลด (Load Factor) ให้สูงขึ้น ซึ่งสามารถทำได้โดยลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ใช้ลง ไม่ว่าจะเป็นการย้ายเวลาการทำงานของโหลดไปในช่วงเวลาที่เหมาะสม หยุดการทำงานของโหลดเมื่อค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงเกินไป เพื่อไม่ให้มีการใช้กำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 15 นาทีมากเกิดไป หรือเรียกว่าค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า(Demand) ค่า Demand เป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งจะเห็นได้จากใบแจ้งหนี้ค่าไฟฟ้าที่มีจำนวนเงินค่าความต้องการกำลังไฟฟ้า บางครั้งก็สูงกว่าจำนวนเงินค่าพลังงานไฟฟ้าหลายเท่า จากแนวคิดในการเพิ่มค่าตัวประกอบโหลดด้วยวิธีควบคุมค่า Demand ให้ลดลง จึงเป็นแนวทางในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับควบคุมและจัดการพลังงานไฟฟ้านี้ขึ้นมา โดยการเพิ่มเงื่อนไขการควบคุมขึ้นมาใหม่ คือการทำนายค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าแล้วเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมาย ซึ่งรูปแบบการควบคุมและจัดการพลังงานแบบเดิม แค่ใช้การวัดค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้งานเทียบกับค่ากำลังไฟฟ้าเป้าหมาย รูปแบบการควบคุมที่ทำวิจัยนี้ยังสามารถควบคุมโหลดได้จำนวนมากกว่าแบบเดิม เพราะระบบควบคุมโหลดได้ใช้เครื่องควบคุมแบบตรรกที่โปรแกรมได้ (Programmable Logic Control : PLC) มาช่วยในการตัดต่อโหลด เมื่อเกิดปัจจัยการควบคุมเกิดขึ้น การสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องควบคุมกับคอมพิวเตอร์เป็นเชื่อมต่อการสื่อสารแบบอนุกรมมาตรฐาน RS 485 ซึ่งสามารถต่อ PLC ได้มากถึง 8 เครื่อง เช่นเดียวกับอุปกรณ์วัดค่ากำลังไฟฟ้าแบบดิจิตอลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มีการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมมาตรฐาน RS 458 แต่รูปแบบข้อกำหนดของการสื่อสารข้อมูลทั้งสองอุปกรณ์ไม่เหมือนกัน จึงได้แยกช่องสัญญาณการสื่อสารออกเป็น COM 1 และCOM 2 ผลที่ได้จากการทดสอบการทำงานของโปรแกรม โดยการจำลองการวัดและการคบคุมโหลดในอาคารเรียนที่ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้ผลเป็นที่น่าพอใจคือ สามารถลดค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดลงได้ เช่นเดียวกับวิธีการวัดและควบคุมแบบเดิม แต่มองในเรื่องการให้โอกาสผู้ใช้ไฟฟ้า การควบคุมรูปแบบที่วิจัยสามารถทำได้ดีกว่า ดังเห็นได้จากผลการทดลอง แต่ปัญหาในงานวิจัยครั้งนี้คือ ไม่มีโอการได้ทดลองกับอาคารขนาดใหญ่จริง ๆ อีกทั้งเรื่องของเวลา และความน่าเชื่อถือของโปรแกรมฯ ทำให้มีการจำลองการทำงานของโปรแกรมบนคอมพิเตอร์เพียงส่วนของการควบคุมโหลด ข้อแนะนำสำหรับการพัฒนาต่อไปคือ พัฒนาโปรแกรมให้สามารถใช้งานกับเครื่องควบคุมและอุปกรณ์วัดกำลังไฟฟ้าให้ได้หลายยี่ห้อ พัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลมาช่วยในการเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้และโหลด เพื่อให้ระบบมีความเฉลียวฉลาดมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] การไฟฟ้านครหลวง. **"อัตราค่าไฟฟ้า."** [Online]. Available : http://www.mea.or.th/menu2_5_3.htm. 2545.

[2] กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. 2541. **เอกสารประกอบการฝึกอบรม "การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในอาคารและโรงงาน".** กรุงเทพฯ : กองฝึกอบรม กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน.

[3] โมโตกิ มัตสุโอะ. **เทคนิคการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในโรงงาน พ.ศ. 2541.** แปลโดย บัณฑิต โรจน์อารยานนท์ และคนอื่นๆ. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[4] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2543. **"เอกสารสรุปการส่งมอบเครื่องมือตรวจวัดและบริหารการใช้ไฟฟ้า".** นนทบุรี: โครงการอาคารสีเขียว ฝ่ายปฏิบัติการด้านการใช้ไฟฟ้า.

[5] IEEE Standard. "IEEE Recommended Practice For Energy Management In Industrial And Commercial Facilities. November 1996. pp. 75-89.

[6] ELCONTROL. **คู่มือการใช้งาน VIP ENERGY 485.** Italy : Pontecchio Marconi (BO).

[7] ธาริน สิทธิธรรมชารี และสรุสิทธิ์ คิวประสพศักดิ์. 2543. **Visual Basic Version 6.0 ฉบับเพื่อการประยุกต์ใช้งาน.** กรุงเทพ ฯ : บริษัท ซัคเซส มีเดีย จำกัด.

[8] บริษัท แฟคทอรีคอนซัลแตนซ์ จำกัด. **คู่มือการใช้งาน Programmable Controller PC84SF Ver 2.00.** กรุงเทพฯ : บริษัท แฟคทอรีคอนซัลแตนซ์ จำกัด.

[9] Maurice Eyke. **Building Automation System. Print in Great Britain.** BSP Professional Book. 1988.

[10] สุพรรณ กุลพาณิชย์. **เทคนิคและการใช้งานเบื้องต้น Programmable Controller เล่ม 1.** กรุงเทพฯ : บริษัท ออมร่อน ตรีศักดิ์ จำกัด.

[11] สุพรรณ กุลพาณิชย์. **เทคนิคและการประยุกต์ใช้งาน Programmable Controller เล่ม 2.** กรุงเทพฯ : บริษัท ออมร่อน ตรีศักดิ์ จำกัด.

[12] ทวีพล ซื่อสัตย์. "การออกแบบเครื่องควบคุมแบบตรรกและระบบโครงข่ายผ่านโฮสคอมพิวเตอร์." วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2541

[13] Cho, M.Y. and Hwang, J.C. "Development of Data Acquisition and Load Control System by Programmable Logic Control for High Voltage Load Customer." Power System Technology Proceeding, POWERCON'98, International Conference on, Volume : 1. 1998. pp. 275-279.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

อัตราค่าไฟฟ้าแยกตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า

ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าต่าง ๆ

ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง

ประเภทที่ 6 ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร

ประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร

ประเภทที่ 8 ไฟฟ้าชั่วคราว

ประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย

สำหรับการใช้ไฟฟ้าภายในบ้านเรือนที่อยู่อาศัย ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งวัด สำนักสงฆ์ และสถานประกอบศาสนกิจ ของทุกศาสนา โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

1.1 อัตราปกติ

ตารางที่ 1

		ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
1.1.1 ใช้พลังงานไฟฟ้า ไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน			8.19
5 หน่วยแรก	(หน่วยที่ 0 - 5)	0	
10 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 6 - 15)	1.3576	
10 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 16 - 25)	1.5445	
10 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 26 - 35)	1.7968	
65 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 36 - 100)	2.1800	
50 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 101 - 150)	2.2734	
250 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 151 - 400)	2.7781	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป	(หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	2.9780	
1.1.2 ใช้พลังงานไฟฟ้า เกิน 150 หน่วยต่อเดือน			40.90
150 หน่วยแรก	(หน่วยที่ 0 - 150)	1.8047	
250 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 151 - 400)	2.7781	
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป	(หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	2.9780	

1.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)

ตารางที่ 2.

	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	**Off Peak**	
1.1.2 แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	3.6246	1.1914	228.17
1.2.2 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	4.3093	1.2246	57.95
Peak : วันจันทร์ -ศุกร์ 09.00 น. - 22.00 น. Off Peak : วันจันทร์ -ศุกร์ 22.00 น. - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน			

หมายเหตุ ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องวัดไม่เกิน 5 แอมป์ 220 โวลท์ 1 เฟส 2 สาย จะจัดเข้าประเภทที่ 1.1.1 แต่หากมีการใช้ไฟฟ้าเกิน 150 หน่วยติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าประเภทที่ 1.1.2 และเมื่อใดที่การใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไป จะจัดเข้าประเภทที่ 1.1.1 ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ติดตั้งเครื่องวัดเกิน 5 แอมป์ 220 โวลท์ 1 เฟส 2 สาย ให้ใช้อัตราประเภทที่ 1.1.2

ประเภทที่ 1.2 กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง ซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้คำนวณหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย ประเภทที่ 1.2 เป็นอัตราเลือก เมื่อใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 1.1 ไม่ได้ ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU และหรือค่าใช้จ่ายอื่น ตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด

ประเภทที่ 2 กิจการขนาดเล็ก

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ ธุรกิจรวมกับบ้านอยู่อาศัย อุตสาหกรรม ส่วนราชการที่มีลักษณะเป็นอุตสาหกรรม รัฐวิสาหกิจ หรืออื่นๆ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดต่ำกว่า 30 กิโลวัตต์ โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

2.1 อัตราปกติ

ตารางที่ 3

	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
2.1.1 แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	2.4649	228.17
2.1.2 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์		40.90
- 150 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 - 150)	1.8047	
- 250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151 - 400)	2.7781	
- เกิน 400 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	2.9780	

2.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)

ตารางที่ 4

	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Off Peak	
2.2.1 แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	3.6246	1.1914	228.17
2.2.2 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	4.3093	1.2246	57.95
Peak : วันจันทร์ -ศุกร์ 09.00 น. - 22.00 น. Off Peak : วันจันทร์ -ศุกร์ 22.00 น. - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน			

หมายเหตุ ประเภทที่ 2.2 กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลง ซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้คำนวณหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย

ประเภทที่ 2.2 เป็นอัตราเลือก เมื่อใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 2.1 ไม่ได้ ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU และหรือค่าใช้จ่ายอื่นตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดเดือนใดมีความต้องการพลังไฟฟ้าตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป จะจัดเข้าอยู่ในประเภทที่ 3-5 แล้วแต่กรณี

ประเภทที่ 3 กิจการขนาดกลาง

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการที่มีลักษณะเป็นอุตสาหกรรม รัฐวิสาหกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด ตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ แต่ไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์ และมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือน ไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

3.1 อัตราปกติ

ตารางที่ 5

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)
3.1.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	175.70	1.6660
3.1.2 แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	196.26	1.7034
3.1.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	221.50	1.7314

3.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)

ตารางที่ 6

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Peak	Off Peak	
3.2.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	74.14	2.6136	1.1726	228.17

ตารางที่ 6(ต่อ)

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Peak	Off Peak	
3.2.2 แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	132.93	2.6950	1.1914	228.17
3.2.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	210.00	2.8408	1.2246	228.17
Peak : วันจันทร์ -ศุกร์ 09.00 น. - 22.00 น. Off Peak : วันจันทร์ -ศุกร์ 22.00 น. - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ(ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน				

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมาสิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

หมายเหตุ กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้คำนวณกิโลวัตต์ และหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย

ประเภทที่ 3.2 เป็นอัตราบังคับสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 3 เป็นครั้งแรก ตั้งแต่ค่าไฟฟ้าเดือน ตุลาคม 2543

ประเภทที่ 3.2 เป็นอัตราเลือกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายเดิม เมื่อใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 3.1 ไม่ได้ ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU และหรือค่าใช้จ่ายอื่นตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด เดือนใดความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ ค่าไฟฟ้ายังคงคำนวณตามอัตราดังกล่าว หากความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน และในเดือนถัดไปก็ยังไม่ถึง 30 กิโลวัตต์อีก ให้เปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นประเภทที่ 2.1 .

ประเภทที่ 4 กิจการขนาดใหญ่

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ อุตสาหกรรม ส่วนราชการ รัฐวิสาหกิจ ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดตั้งแต่ 1,000 กิโลวัตต์ขึ้นไป หรือมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนเกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

4.1 อัตราตามช่วงเวลาของวัน (Time of Day Rate : TOD)

ตารางที่ 7

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)			ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)
	Peak	Partial	Off Peak	
4.1.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	224.30	29.91	0	1.6660
4.1.2 แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	285.05	58.88	0	1.7034
4.1.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	332.71	68.22	0	1.7314

Peak : เวลา 18.30 – 21.30 น. ของทุกวัน
Partial : เวลา 08.00 – 18.30 น. ของทุกวัน (ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า คิดเฉพาะส่วนที่เกิน Peak)
Off Peak : เวลา 21.30 – 08.00 น. ของทุกวัน

4.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)

ตารางที่ 8

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	**Peak**	**Off Peak**	
4.2.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	74.14	2.6136	1.1726	228.17
4.2.2 แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	132.93	2.6950	1.1914	228.17
4.2.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	210.00	2.8408	1.2246	228.17
Peak : วันจันทร์ -ศุกร์ 09.00 น. - 22.00 น. Off Peak : วันจันทร์ -ศุกร์ 22.00 น. - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน				

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมาสิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

หมายเหตุ ประเภทที่ 4.2 เป็นอัตราบังคับสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหม่ หรือผู้ใช้ไฟฟ้าเดิมที่เคยใช้ TOU แล้ว

ประเภทที่ 4.2 เป็นอัตราเลือกสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายเดิมประเภทที่ 4.1 เมื่อใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 4.1 ไม่ได้ ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU และหรือค่าใช้จ่ายอื่นตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด เดือนใดความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 1,000 กิโลวัตต์ หรือการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน ค่าไฟฟ้ายังคงคำนวณตามอัตราดังกล่าว หากความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน และในเดือนถัดไปยังไม่ถึง 30 กิโลวัตต์อีก ให้เปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าเป็นประเภทที่ 2.1 หรือ 6.1 แล้วแต่กรณี

ประเภทที่ 5 กิจการเฉพาะอย่าง

สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบกิจการโรงแรม และกิจการให้เช่าพักอาศัย ตลอดจนบริเวณที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีความต้องการพลังไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุด ตั้งแต่ 30 กิโลวัตต์ขึ้นไป โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

5.1 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)

ตารางที่ 9

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	**Peak**	**Off Peak**	
5.1.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	74.14	2.6136	1.1726	228.17

ตารางที่ 9(ต่อ)

5.1.2 แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	132.93	2.6950	1.1914	228.17
5.1.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	210.00	2.8408	1.2246	228.17
Peak : วันจันทร์ -ศุกร์ 09.00 น. - 22.00 น. Off Peak : วันจันทร์ -ศุกร์ 22.00 น. - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ(ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน				

5.2 อัตราปกติ (สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่ยังไม่ได้ติดมิเตอร์ TOU)

ตารางที่ 10

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)
5.2.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	220.56	1.666
5.2.2 แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	256.07	1.7034
5.2.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	276.64	1.7314

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมาสิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

หมายเหตุ กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้าให้คำนวณกิโลวัตต์ และหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย

ประเภทที่ 5.1 เป็นอัตราบังคับและ 5.2 เป็นอัตราสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าที่ยังไม่ติดตั้งมิเตอร์ TOU เดือนใดความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ ค่าไฟฟ้ายังคงคำนวณตามอัตราดังกล่าว หากความต้องการพลังไฟฟ้าไม่ถึง 30 กิโลวัตต์ ติดต่อกันเป็นเวลา 12 เดือน และในเดือนถัดไปก็ยังไม่ถึง 30 กิโลวัตต์อีก ให้เปลี่ยนประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า เป็นประเภทที่ 2.1

ประเภทที่ 6 ส่วนราชการ และองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร

สำหรับการใช้ไฟฟ้าของหน่วยราชการ สำนักงาน หรือหน่วยงานอื่นใดของรัฐ หน่วยงานตามกฎหมายว่าด้วยระเบียบบริหารราชการส่วนท้องถิ่น ซึ่งมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนไม่เกิน 250,000 หน่วยต่อเดือน รวมถึงองค์กรที่ไม่ใช่ส่วนราชการ แต่มีวัตถุประสงค์ในการให้บริการ โดยไม่คิดค่าตอบแทน แต่ไม่รวมหน่วยงานของรัฐวิสาหกิจ สถานทูต สถานที่ทำการของหน่วยราชการต่างประเทศ และสถานที่ทำการขององค์กรระหว่างประเทศ โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

6.1 อัตราปกติ

ตารางที่ 11

	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
6.1.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	1.9712	228.17

ตารางที่ 11(ต่อ)

6.1.2 แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	2.1412	228.17
6.1.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์		20.00
- 10 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0 - 10)	1.3576	
- เกิน10 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 11 เป็นต้นไป)	2.4482	

6.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)

ตารางที่ 12

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	Peak	Off Peak	
6.2.1 แรงดันตั้งแต่ 69 กิโลโวลท์ขึ้นไป	74.14	2.6136	1.1726	228.17
6.2.2 แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	132.93	2.6950	1.1914	228.17
6.2.3 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	210.00	2.8408	1.2246	228.17
Peak : วันจันทร์ -ศุกร์ 09.00 น. - 22.00 น. Off Peak : วันจันทร์ -ศุกร์ 22.00 น. - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ(ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน				

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมาสิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

หมายเหตุ วัด สถานประกอบศาสนกิจ ที่คิดอัตราประเภทบ้านอยู่อาศัย หากมีการใช้ไฟฟ้าตั้งแต่ 350 หน่วยติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าประเภทที่ 6.1 และเมื่อใดที่การใช้ไฟฟ้าไม่ถึง 350 หน่วยติดต่อกัน 3 เดือน ในเดือนถัดไปจะจัดเข้าประเภทที่ 1 กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำ ของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้คำนวณกิโลวัตต์ และหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย

ประเภทที่ 6.2 เป็นอัตราเลือก เมื่อใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 6.1 ไม่ได้ ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU และหรือค่าใช้จ่ายอื่นตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด

ประเภทที่ 7 สูบน้ำเพื่อการเกษตร

สำหรับการใช้ไฟฟ้ากับเครื่องสูบน้ำเพื่อการเกษตรของหน่วยราชการ สหกรณ์เพื่อการเกษตร กลุ่มเกษตรกรที่จดทะเบียนจัดตั้งกลุ่มเกษตรกร โดยต่อผ่านเครื่องวัดไฟฟ้าเครื่องเดียว

7.1 อัตราปกติ

ตารางที่ 13

	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)	ค่าบริการ (บาท/เดือน)
		115.16
100 หน่วยแรก (หน่วยที่ 0-100)	0.6452	
เกิน 100 หน่วยขึ้นไป (หน่วยที่ 101 เป็นต้นไป)	1.7968	

7.2 อัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate : TOU)

ตารางที่ 14

	ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า (บาท/กิโลวัตต์)	ค่าพลังงานไฟฟ้า (บาท/หน่วย)		ค่าบริการ (บาท/เดือน)
	Peak	**Peak**	**Off Peak**	
7.2.1 แรงดัน 22-33 กิโลโวลท์	132.93	2.6950	1.1914	228.17
7.2.2 แรงดันต่ำกว่า 22 กิโลโวลท์	210.00	2.8408	1.2246	228.17
Peak : วันจันทร์ -ศุกร์ 09.00 น. - 22.00 น. Off Peak : วันจันทร์ -ศุกร์ 22.00 น. - 09.00 น. และวันเสาร์ วันอาทิตย์ วันหยุดราชการตามปกติ (ไม่รวมวันหยุดชดเชย) ทั้งวัน				

อัตราขั้นต่ำ : ค่าไฟฟ้าต่ำสุดต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 70 ของค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดในรอบ 12 เดือนที่ผ่านมาสิ้นสุดในเดือนปัจจุบัน

หมายเหตุ กรณีติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำของหม้อแปลงซึ่งเป็นสมบัติของผู้ใช้ไฟฟ้า หรือหม้อแปลงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (เฉพาะที่ติดตั้งเครื่องวัดไฟฟ้าทางด้านแรงต่ำประกอบ ซ.ท.) ให้คำนวณกิโลวัตต์และหน่วยคิดเงินเพิ่มขึ้นอีกร้อยละ 2 เพื่อครอบคลุมการสูญเสียในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งมิได้วัดรวมไว้ด้วย

ประเภทที่ 7.2 เป็นอัตราเลือก เมื่อใช้แล้วจะกลับไปใช้อัตราประเภทที่ 7.1 ไม่ได้ ทั้งนี้ ผู้ใช้ไฟฟ้าจะต้องชำระค่าเครื่องวัด TOU และหรือค่าใช้จ่ายอื่นตามที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนด

อัตราค่าไฟฟ้าข้างต้น เริ่มใช้ตั้งแต่ **ค่าไฟฟ้าประจำเดือน ตุลาคม 2543** เป็นต้นไป

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

ภาคผนวก ข.

โปรแกรมฟังก์ชันที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับแสดงผลบนหน้าจอ

TIMER32 Function

```
Option Explicit
' Project Name  : -
' Library Name  : Benchmark Timer functions for VB/Win 5.0, 6.0
' VB/Win Module : TIMER32.BAS
' DLL Filename  : TIMER32.DLL
' Copyright     : (c)1996-1999 by Sutthisak Phongthanapanich
' Declare  C:\Windows\System\TIMER32.DLL
' TIMER32.DLL constants declaration.
' Copyright string character case.
Public Const BTR_COPYRIGHT_DEFAULT = 0
Public Const BTR_COPYRIGHT_CAPITAL = 1
Public Const BTR_COPYRIGHT_SMALL = 2
' Ranges of valid Timer ID.
Public Const BTR_MIN_TIMERID = 1
Public Const BTR_MAX_TIMERID = 256
' Time unit.
Public Const BTR_TIMEUNIT_MS = 0
Public Const BTR_TIMEUNIT_SC = 1
Public Const BTR_TIMEUNIT_MN = 2
Public Const BTR_TIMEUNIT_HR = 3
Public RT As String
' TIMER32.DLL API Functions declaration.
Public Declare Function vbrcTimerGetCopyright Lib "Timer32.dll"
   (ByVal ChrCase As Long) As String
Public Declare Function vbrcTimerGetVersion Lib "Timer32.dll" _
   (vMajor As Long, vMinor As Long, vRevision As Long) As String
Public Declare Function vbrcAllocTimer Lib "Timer32.dll" _
   (ByVal TimerID As Long) As Long
Public Declare Function vbrcGetBenchmarkTime Lib "Timer32.dll" _
   (ByVal TimerID As Long, ByVal tmUnit As Long) As Double
Public Declare Function vbrcGetFreeTimerID Lib "Timer32.dll" () As Long
Public Declare Function vbrcGetLoopCounter Lib "Timer32.dll"
   (ByVal TimerID As Long) As Long
Public Declare Function vbrcGetRemainLoopCount _
   Lib "Timer32.dll" (ByVal TimerID As Long) As Long
```

```
Public Declare Function vbrcIsEOLoop Lib "Timer32.dll" _
   (ByVal TimerID As Long) As Boolean
Public Declare Function vbrcReleaseTimer Lib "Timer32.dll" _
   (ByVal TimerID As Long) As Long
Public Declare Sub vbrcDelayTime Lib "Timer32.dll" _
   (ByVal msTime As Long)
Public Declare Sub vbrcInitTimer Lib "Timer32.dll" ()
Public Declare Sub vbrcPauseTimer Lib "Timer32.dll" _
   (ByVal TimerID As Long)
Public Declare Sub vbrcResetTimer Lib "Timer32.dll" _
   (ByVal TimerID As Long)
Public Declare Sub vbrcResumeTimer Lib "Timer32.dll" _
   (ByVal TimerID As Long)
Public Declare Sub vbrcSetLoopCounter Lib "Timer32.dll" _
   (ByVal TimerID As Long, ByVal LoopCnt As Long)
Public Declare Sub vbrcStartTimer Lib "Timer32.dll" _
   (ByVal TimerID As Long)
Public Declare Sub vbrcStopTimer Lib "Timer32.dll" _
   (ByVal TimerID As Long)
```

LRC Calculation Function

```
Function LRC$(strng As Variant)
Dim temp As String
   temp$ = 0
   For i = 1 To Len(strng) Step 2
      a$ = Mid$(strng, i, 2)
      DECVALUE = AsciiHexToDec(a$)
      temp$ = temp$ + DECVALUE
   Next i
   temp = temp Mod 256
   temp = 256 - temp
   LRC = Hex$(temp)
End Function
```

AsciiHexToDec Function

```
Function AsciiHexToDec(a$)
Dim temp As String
   MSC$ = Left$(a$, 1)
```

```
  LSC$ = Right(a$, 1)
  If MSC$ >= "A" Then
    temp$ = (Asc(MSC$) - Asc("A") + 10) * 16
  Else
    temp$ = Val(MSC$) * 16
  End If
  If LSC$ >= "A" Then
    temp$ = temp$ + (Asc(LSC$) - Asc("A") + 10)
  Else
    temp$ = temp$ + Val(LSC$)
  End If
  AsciiHexToDec = temp$
End Function
```

CheckLrc Function

```
Function CheckLrc(EnergyReply As Variant) As Boolean
  On Error Resume Next
  EnergyReply = Mid$(EnergyReply, 2, Len(EnergyReply)) 'Delete ":"
  RxLrc$ = Right$(EnergyReply, 4)   'Select LRC + CR + LF
  RxLrc$ = Mid$(RxLrc$, 1, 2)       'Select LRC
  EnergyReply = Left$(EnergyReply, Len(EnergyReply) - 4)  'Get Data
  CalcLrc$ = Format(LRC$(EnergyReply), "00")
  If RxLrc = CalcLrc$ Then
    CheckLrc = True
  Else
    CheckLrc = False
  End If
End Function
```

AsciiToFloat

```
Function AsciiToFloat(Data$) As Variant
  Dim k As Integer
  Dim F As String
  On Error Resume Next
  Exponent = AsciiHexToDec(Right$(Data$, 2))
  If Exponent > 200 Then Exponent = Exponent - 256
  Num$ = ""
  For k = 1 To Len(Data$) - 3 Step 2
```

```
    Num$ = Mid$(Data$, k, 2) + Num$
  Next k
  If Left(Num$, 1) = "8" Then
    Num$ = "-" + Right$(Num$, Len(Num$) - 1)
  End If
  Dim r As Variant
  AsciiToFloat = Val(Num$) * 10 ^ Exponent
End Function
```

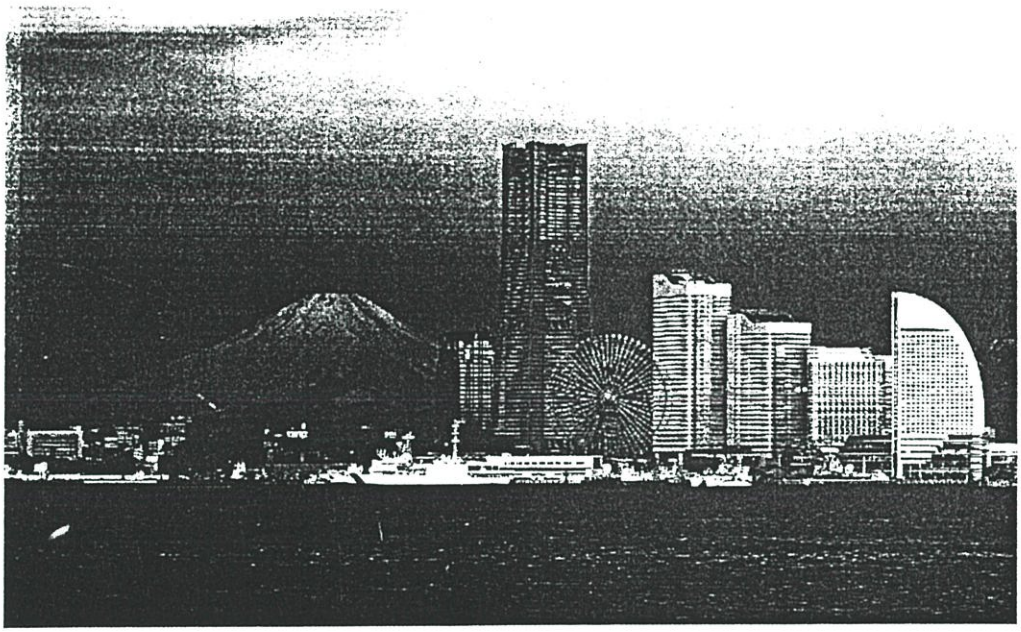
ภาคผนวก ค.

ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์และได้รับการตีพิมพ์

IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific

- New Wave of T&D Technology from Asia Pacific -

IEEE / PES T&D 2002 Asia Pacific



Pacific Convention Plaza Yokohama
Yokohama, Japan
October 6 - 10, 2002

Conference Proceedings Vol. 3

Technically Co-sponsored by

IEEE
Power Engineering Society

The Institute of Electrical Engineers of Japan
IEE Japan

Development of Load Control and Management System

V. Tipsuwanporn, K. Srisuwan, S. Kulpanich, T. Suesut and A. Numsomran
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok,
Thailand 10520. E-mail : ktvittay@kmitl.ac.th

Abstract

This paper presents the conservation of electrical energy in building with the technique to develop load control and management system in order to adjust load factor of system. Using the limiting and controlling the maximum demand, we can acquire the prediction and compare it to the maximum demand set point. This system consist computer which works as controller, processor and database unit and works with digital power meter inform of multidrop network by serial communication via RS-485. The control system use PLC to control load via serial communication RS-485. The data of measurement such as voltage, current, power, power factor, energy, etc., can be saved as database and analysis. The load factor adjustment by limiting and controlling maximum demand can reduce the cost of electric consumption and energy generation.

Keywords

Load demand control, Demand forecast

1. INTRODUCTION

Presently, the load control system in building or factory to control maximum demand there are many formats. The aim of maximum demand control is reduces cost and saves electrical energy. Besides that can reduces lost of load such as transformer , Energy saving can make many methods such as shift operating time of mechanism, to use automation load control system. In presently, the Energy Monitoring And Control System (EMCS) and Building Automation System (BAS) used in large building are better than to use control device and sensor device moreover, so not appropriate to be used in the medium and small building

In this paper, we present the development of load control system within medium and small building. This system uses microcomputer which works as digital power meter and PLC controller via standard serial communication RS 485[1]. The information received from digital power meter can be shown in Data monitoring, records to Database system and forecasts load demand of building. The load control system consist of function Load shedding, direct load control, cycling control and timing control. The demand forecast calculated by electric power of building. When demand forecast value is more than setpoint value the database management will be selected load online to be control by PLC.

2. HARDWRE CONFIGURATION

The hardware system consist of Data Acquisition system and Load Control system, show in figure 1. The Data Acquisition system consist of the digital power meter, that install in building for measurements of the electrical value and then link to the microcomputer, With standard serial communication RS 485. The load control system consist microcomputer, works as supervisory system. That is for Monitoring , Load control, Communication, Database management and Demand forecast. The function of PLC controller is to control output device and input device. In case of the communication is failed, the microcomputer can be standalone.

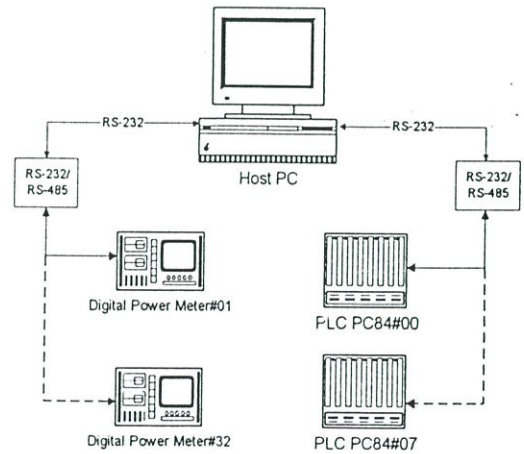


Figure 1: Hardware configuration system

3. SOFTWARE CONFIGURATION

The software is developed by Visual Basic Ver. 6 program and can be used on the Windows 98 operation system. The function of software is Demand monitoring and load control, Communication software, Database management software and Demand forecast system. All of functions are

0-7803-7525-4/02/$17.00 © 2002 IEEE.

inside the microcomputer. Besides the software on the PLC controller is ladder program.

3.1 Demand monitoring and control software

Monitoring software can be shown all of electric values such as voltage, current, power factor, power and kilowatt hour etc., in the table format. Another values such as electric power, apparent power, reactive power and demand to show in trend graph format. Show in figure 2 and 3.

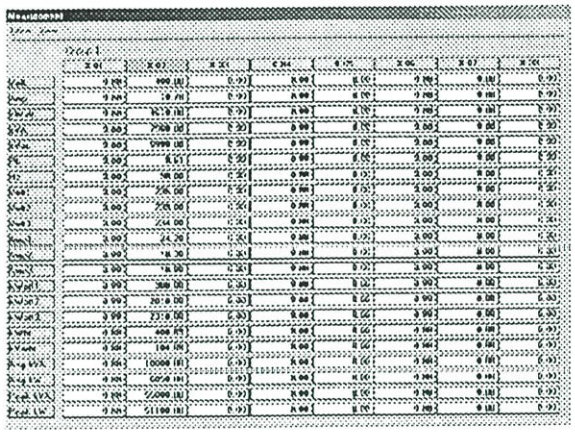


Figure 2: Show all of electrical value.

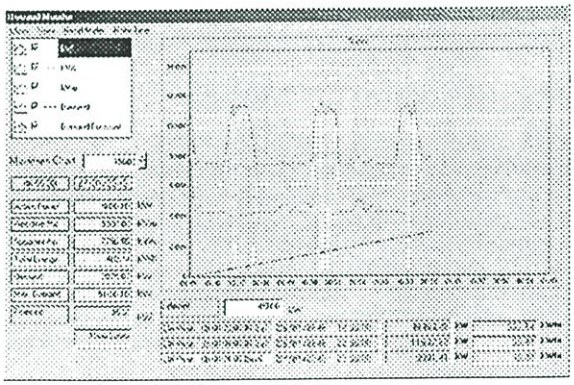


Figure 3: Trend monitoring.

2.3 Communication software

The communication software in this paper have 2 format. The MODBUS protocol format uses between the microcomputer and digital power meters, and the host link protocol format uses between the microcomputer and the PLC controller.

MODUS protocol show in figure 4.1 and 4.2, there are 2 format. The command format and the response format.

Host link protocol show in figure 4.3. This same protocol is Command Block format and Response Block format.

4. DEMAND FORECASTING

The load controlling in this system uses the predicted demand method[2], shown in equation 1. The forecasting technique was developed to predict the future demand based on initial demand. Demand forecast values was update every 5 second then compared with demand setpoint, if that values are more than setpoint value, the controller will delay time for control device and check load was online to controllable. Show in figure 5.

$$D_f = D_t + \frac{P_t T_r}{T} \qquad (1)$$

When: t :Time (sec)
T :Time interval (sec)
T_r :Time remain (sec)
P_t :Power at time (kW)
D_t :Demand at time (kW)
D_f :Demand forecast (kW)

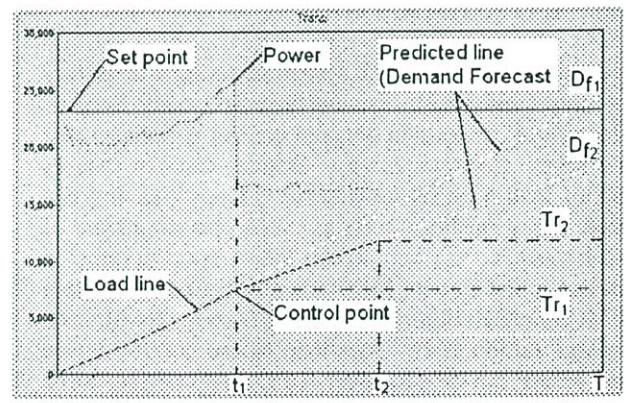


Figure 5: The trend of demand forecast and load shedding.

:	XX	XX	XXXX	XXXX	XX	CR	LF
{start block}	{address Meter}	{command Code}	{address memory}	{data}	{LCR}		

Figure 4.1: Command block format

:	XX	XX	XX	XX,..,XX	XX	CR	LF
{start block}	{address Meter}	{command Code}	{number of Read data}	{data}	{LCR}		

Figure 4.2: Response block format

@	xx	xx	xx,...,xx	*	xx	CR
{Start block}	{Unit PLC}	{Command Code}	{data}		{FCS}	{Close}

Figure 4.3: Command and Response block format of Host link

5. THE CONTROL STRATEGY

Demand control system can be described on figure 6. First, define load in building into the database, show in table 1 which each load will must defined priority by operation and rate. Load control algorithm, first to check load online then control load lower priority before load high priority. Next, load controllable large rate if same priority. Which is controlling can be check balance load in electric system. Function of load control can be direct control, cycling control, and timing control. The control operation can be describe in flowchart from figure 7.

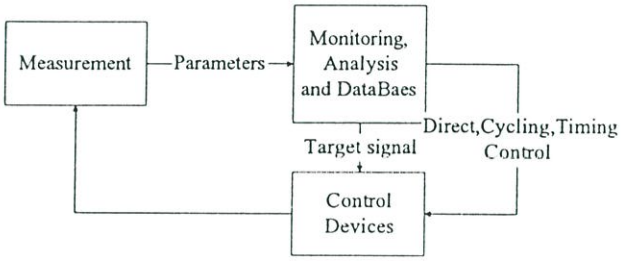


Figure 6: The control strategy.

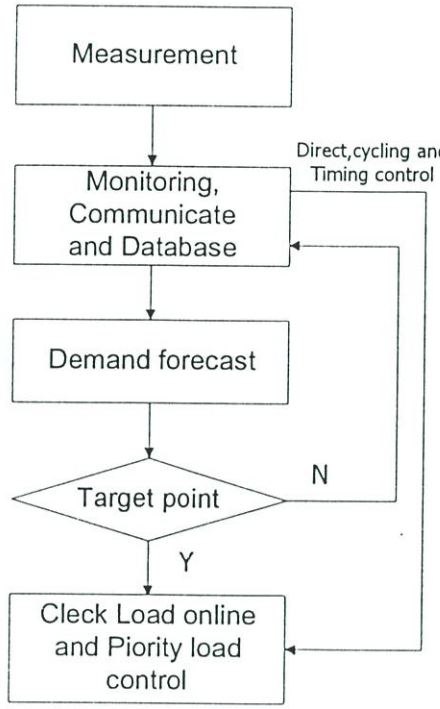


Figure 7: Control system flow chart.

Table 1: Database devices and database I/O list .

Load group	Tag name	I/O Address at PLC	Rating(watt)	Priority
A	AC1.1Floor1	0700	200	1
	AC1.2Floor1	0701	200	2
	AC2.1Floor1	0702	250	0
	AC2.2Floor1	0703	200	1
	AC3.1Floor1	0704	250	0
	AC3.2Floor1	0705	200	1
B	AC1.1Floor2	0706	300	1
	AC1.2Floor2	0707	250	2
	AC2.1Floor2	0800	200	1
	AC2.2Floor2	0801	200	2
	AC3.1Floor2	0802	300	0
	AC3.2Floor2	0803	300	0
	AC3.3Floor2	0804	300	1
C	AC1.1Floor3	0805	200	1
	AC1.2Floor3	0806	200	2
	AC2.1Floor3	0807	250	1
	AC2.2Floor3	0900	250	2
	AC3.1Floor3	0901	300	0

6. IMPLEMENTATION

The control demand and forecasting was implemented on a small building which have maximum demand is 50-70 kW, show in figure 8. When the maximum demand of control was defined at 42.3 kW, this values can be adjustment. In this implement, the operation system is load shedding with demand forecast. The load controllable was air conditioning system in building, as shows in table 1. The result of load control to shows in figure 9, that is trend of demand in 24 hour. The target signal of maximum demand at 2.00 p.m. and finish of control at 4.15 p.m.. This implement can reduce maximum demand 10-15 % or more by user adjustment and management.

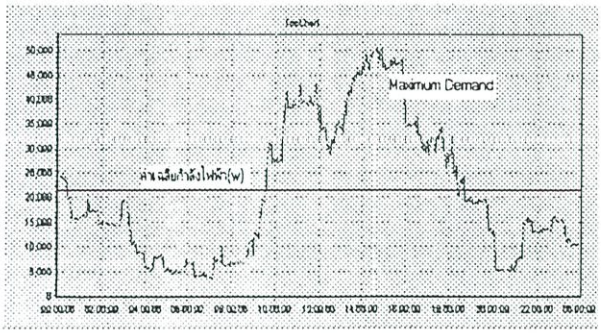


Figure 8: Trend of demand in 24 hour.

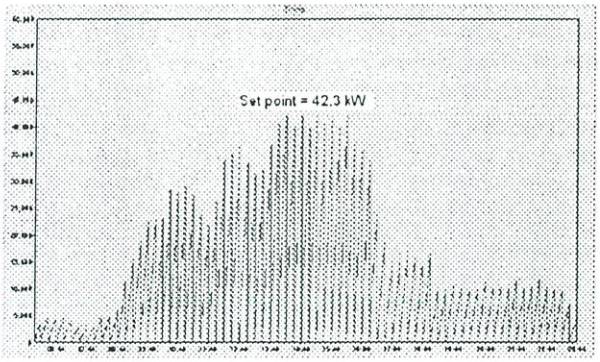


Figure 9: Trend of demand after install system.

7. CONCUSSION

In this paper we presents the load control and demand forecast system for limiting the maximum demand in medium and small building by microcomputer which work as digital power meter and PLC controller.

The demand control system can be controlled load by demand forecasting of building. On micro computer was show all of electric value, function direct, cycling and timing control. In the future the system can be installed digital power meter and PLC controller for develop load control algorithm.

REFFERENTS

[1] Cho, M.Y.; Hwang, J.C., **"Development of data acquisition and load control system by programmable logic controller for high voltage load customer"**, *Power System Technology, 1998. Proceedings.* POWERCON '98. 1998 International Conference on , Volume: 1 , 1998, Page(s): 275 -279 vol.1

[2] IEEE Std 739-1995 [The Bronze Book], ***IEEE Recommended Practice For Energy Management In Industrial And Commercial Facilities***, November 1996, Page 75-89

[3] Molina, A.; Gabaldon, A.; Fuentes, J.A.; Canovas, F.J. **"Approach to multivariable predictive control applications in residential HVAC direct load control"** *Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. IEEE* , Volume: 3 , 2000 Page(s): 1811 -1816.

[4] Martins, A.; Jorge, H.; Mota, J.; Parracho, R.; Gomes, A., **"A PC-based simulation package for supporting end-user demand side energy management strategies"**, *Power Systems, IEEE Transactions on* , Volume: 6 Issue: 3 , Aug. 1991, Page(s): 897 -903.

[5] Caballer, M.A.; Kassebaum, J.H.; Stratford, R.P.; Delaney, L., **"Computer controlled load-shedding for a co-generation facility"**, *Petroleum and Chemical Industry Conference,* 1992, Record of Conference Papers., Industry Applications Society 39th Annual , 1992, Page(s): 247 -254

[6] Bin Qiu; Yilu Liu; Eng Kiat Chan; Cao, L.L.J., **"LAN-based control for load shedding"**, *IEEE Computer Applications in Power*, Volume: 14 Issue: 3 , Jul 2001, Page(s): 38 -43

[7] Elcontrol Energy, "VIP ENERGY User Manual", Italy, www.elcontrol-energy.it.

[8] FACCON, "PC84SF Programable logic Control Operation Manual", Thailand, www.faccon.com.

International Conference
on Control, Automation and Systems

ICCAS 2001

October, 17~21, 2001
Cheju National University, Jeju Island, Korea

http://www.iccas.org

October, 17~21, 2001
Cheju National University,
Jeju Island, Korea

- Welcome Message
- Conference Organization
- Conference Information
- Table of Contents
- Author Index
- Search This CD-ROM
- CD-ROM Help
- EXIT

Institute of Control,
Automation and Systems Engineers, Korea

I-FE01 : Micro Systems

Design and Analysis of an Electro-Magnetic Micro Gripper for Grasping Miniature Sized Objects 772
Jaehong Shim(Korea Polytechnic Univ.), Won Choe(Samsung Co.), Kyunghwan Kim(KIST)
Compliant Micro Actuator made from Dieelectric Polymer 776
Sunghwi Cho(AIST), Sungmoo Ryew, JaeWook Jeon, Hunmo Kim, Jae-Do Nam, Hyoukryeol Choi and Ryutaro Maeda(Sungkyunkwan Univ.)
Realization of Cilia Motion of Annelida by Distributed IPMC Actuators 780
Jung Kwangmok, Ryew Sungmoo, Kim Hunmo, Nam Jae-do, Jeon Jae wook and Choi Hyoukryeol (Sungkyunkwan Univ.)
Teleoperated Microassembly and its Application to Peg-in-Hole Task 784
Deok-Ho Kim, Yoon0Kyong Kim, Kyunghwan(KIST), Won Choe(Samsung Co.)
Multiple Vision Based Micromanipulation System for 3D-Shaped Micro Parts Assembly 789
Seok Joo Lee, Gwi Tae Park(Korea Univ.), Kyunghwan Kim, Deok-Ho Kim, Jong-Oh Park(KIST),
New Valve Actuator for a Glaucoma Treatment by Using MEMS 793
Byunghoon Bae, Nakhoon Kim, Kyihwan Park (KJIST), Hongseok Kee, Seonho Kim, Yeon Lee(Lee yeon ophthalmic hospital)

I-FE02 : Robot & Measurement Application

Development of Load Control and Demand Forecasting System 797
Tipsuwanporn Vittaya, Srisuwan Khomkrit, Suesut Taweepol, Kulpanich Suphan and Roengruen Prapas (KMITL, Thailand)
Multi-Layer Printed Wiring Board with Built-In Soldering Heater and 3D Implementation of Dynamically Reconfigurable Highly Parallel Processors 801
Yoshichija Fujioka, Noburio Tomabechi(Hachinohe Institute of Tech.)
Formation Approach for Mobile Robots with Inaccurate Sensor Information 805
Gunhee Kim(KIST), Doo Yong Lee, Kyungno Lee(KAIST)
Supervisor for Real-Time Nondeterministic Discrete Event Systems under Bounded Time Constraints 809
Seong-Jin Park(Samsung Electronics), Kwang-Hyun Cho(Ulsan Univ.), Jong-Tae Lim(KAIST)
Swing-up Control and Singular Problem of an Acrobot System 813
Nam Taek Kun and Mita Tsutomu (Tokyo Institute of Technology)

I-FE03 : Pattern Reconignition

Spinal Deformity Detection Based on the Evaluation of Middle Line's Displacement on a Moire Image of a Human Back 818
Hyoungseop Kim, Seiji Ishikawa (Kyushu Institute of Technology), Yoshinori Otsuka(National Sanatorium Chiba Higashi Hospital), Hisashi Shimizu(Chiba Health Care Association) and Takashi Shinomiya(Nicon Digital Technos Co.)
Continuous Korean Sign Language Recognition using Automata based Gesture Segmentation and Hidden Markov Model 822
Jung-Bae Kim, Kwang-Hyun Park, Won-Chul Bang, Z.Zenn Bien,(KAIST), Jong-Sung Kim(ETRI)
Two-Input Max/Min Circuit for Fuzzy Inference System 826
Laipasu Pornchai, Chaikla Amphawan, Jaruwanawat Anuchit, Pannil Pittaya, Lee Tipapan and Reiwruja Vanchai (KMITL, Thailand)
Multipoint Monitoring System based on a Near Infrared Ray(NIR) Acousto-Optic Tunable

Development of Load Control and Demand Forecasting System

V. Tipsuwanporn, K. Srisuwan, T. Suesut, S. Kulpanich and P. Roengruen
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok,
Thailand 10520. E-mail : ktvittay@kmitl.ac.th

Abstract: This paper presents a technique to development load control and management system in order to limits a maximum load demand and saves electric energy consumption. The computer programming proper load forecasting algorithm associated with programmable logic control and digital power meter through inform of multidrop network RS 485 over the twisted pair, over all are contained in this system. The digital power meter can measure a load data such as V, I, pf, P, Q, kWh, kVarh, etc., to be collected in statistics data convey to data base system on microcomputer and then analyzed a moving linear regression of load to forecast load demand. Eventually, the result by forecasting are used for compost of load management and shedding for demand monitoring, Cycling on/off load control, Timer control, and Direct control. In this case can effectively reduce the electric energy consumption cost for 10% approximately with continuous real time.

Keyword : Load control, Load management, Maximum demand, linear regression

1. Introduction

Presently, the energy saving in building and industry factory are importantly to reduce energy cost. The power management and load control system used many kind in national such as Energy Monitoring and control System (EMCS), Building Automation System (BAS)[1] which is the expensive cost system, sensor and control devices are many that can use in the large building such as the large hotel, the large hospital etc., format of control are automation and manual control more of control in device of HVAC system and lighting system etc.,.

In this paper present the saving electrical energy in the medium building by load management. The aim of present to control Maximum Demand such as Load Shedding, Time On/Off Load Control, Duty Cycling On/Off Load Control and Direct Load Control by Data Acquisition and Load Control[2] for data acquisition can use digital power meter are measurement value of electrical in to the host computer via standard communication RS-485. The data received use to monitoring and analyzed for control demand. The part of control can use digital output of PLC to control device that receive command form the host computer via communication RS-232C. This demand control is forecasted every 15 minute by linear regression between time and demand, and compare set point value of demand.

2. System Configuration Designing

2.1 Hardware configuration

There are 2 parts in hardware configuration system. First of all, Data Acquisition system, which consists of the Digital Power Meter model VIP ENERGY 3 Phase Energy Analysis[3], work as measure value in electrical room such as V, I, pf, P, Q, kWh, kVarh, etc.,. Second, Load Control system, which consists of the OMRON model C20H[4],work as control device. Both of part controlled by the host computer via standard communication RS-485 and RS-232C respectively. Fig. 1 show the hardware configuration.

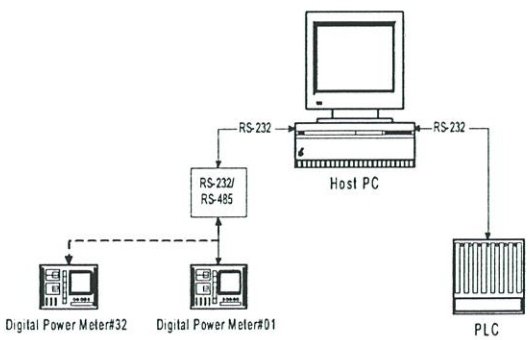


Fig. 1. Hardware configuration.

The host computer via RS 485 serial communication reads data from the digital power meter. The communication can link up to 32 of digital power meter with long distance (up to 4000feet). Each digital power meter has to set a different unit number that start from unit 01 to unit 32 by setting on meter. And the host computer via RS 232C serial communication are controls the PLC.

2.2 Software Design

There are 2 parts software in this system. First of all, the communication program. Second, the monitoring and control program. There are developed on Visual Basic Version 6.0 program and work on Windows 98.

2.2.1 Software Communication

Communication software between the host computer, digital power meters and PLC there are two formats. First of format, The Modbus protocol (RS-485) format, communicate between the host computer and the digital power meter, that show on Fig. 2-a and 2-b.

:	AA	FF	SSSS	WWWW	LCR	CR	LF

Fig. 2-a Command block formats for power meter.

:	AA	FF	BB	D1,..., Dn	LCR	CR	LF

Fig. 2-b. Response block format for power meter.

The mean of each section in the block format is explained in the Table 1.

Table 1. Command and response block format of Modbus protocol.

:	Start block
AA	Address of the power meter (2 byte ascii)
FF	Code of the command for reading or write of N words (2 byte ascii)
SSSS	Address from which the reading or write starts (4 byte ascii)
WWWW	Number of words to read or data of write (4 byte ascii)
BB	Number of bytes reading or write (2 byte ascii)

Continue table 1.

D1,..., Dn	Byte of data read or wirte (2 byte ascii)
LRC	Longitudinal Redundancy Check (2 byte ascii)
CR	Carriage Return code
LF	0A H (1 byte ascii)

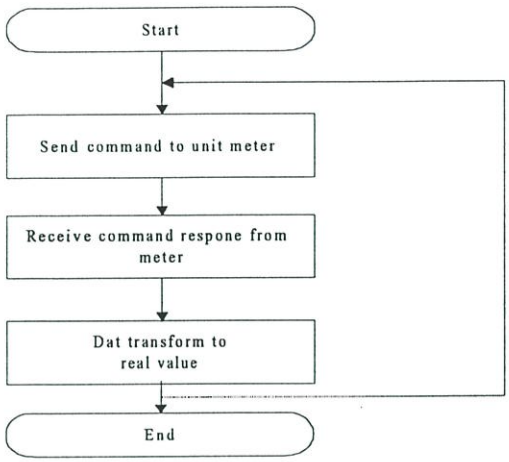


Fig. 3. Communication between the host computer and Digital power meter flowchart.

Second, The Host Link protocol(RS-232C) format, communicate between the host computer and the PLC, that show on Fig. 4.

@	Unit No.	Header	Text	FCS	*	CR

Fig. 4. Command and Response block format of PLC.

The mean of each section in the block format is explained in the Table 2.

Table 2. Command and response block format of Host link protocol.

@	Start block
Unit No.	Node number refer to PLC (00 – 31)Hex
Header	Command code (ASCII Code 2 characters) RR: Read data(I/O, Internal relay) WR: Write data(I/O, Internal relay)
Text	Any characters (118 max.) other than a carriage return
FCS	Frame Check Sequence to recheck data by XOR each of character and compared the result of XOR calculated between source and destination. The result has to match.
*	Close block character.
CR	Carriage Return code

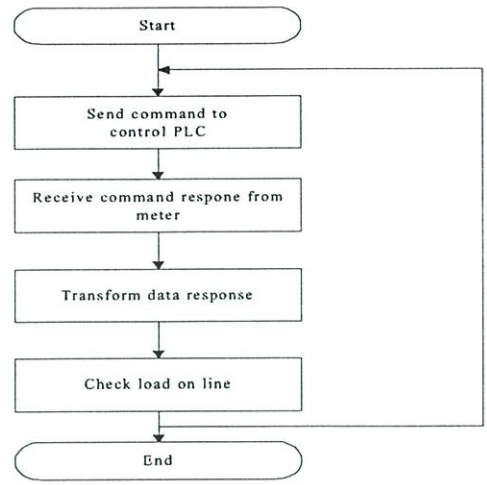


Fig. 5. Communication between the host computer and PLC flowchart.

2.2.2 Software Monitoring and load Control

This part is software monitoring and load control, function of software to transfer data from hex code to real data for display monitor and collected in statistics data convey to data base system on computer and then analyzed a moving linear regression of load to forecast load demand and control. The value monitoring are V, I, pf, P, Q, kWh, kVarh etc.,. Each value is analyzed to forecast maximum demand every 15 minutes in from of regressive line. And then compare data between the result and set value. If the result more than set value, then the software will send command to the PLC in order to shed load by checking lowest priority. If the result still more than set value then the next load will be shed. If result less than set value, the last shed load will be connected respectively.

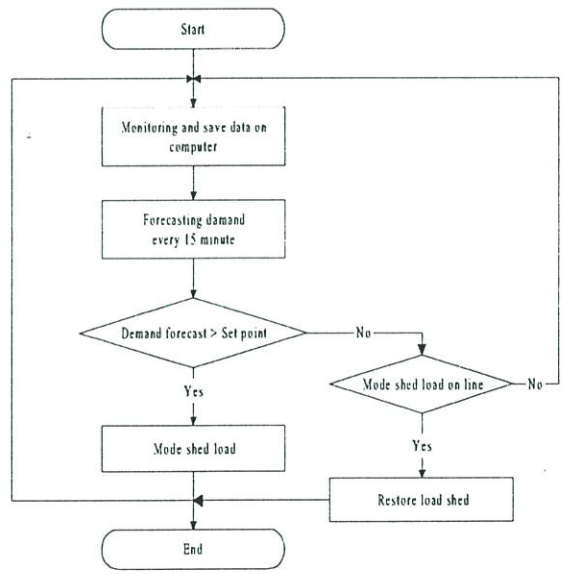


Fig. 6. Monitoring and control flowchart.

3. Demand Forecast

The maximum demand forecast can be calculated by equation 1. This equation is regression line for forecasting value.

$$p_f = \hat{a} + \hat{b}t_f \quad (1)$$

$$\hat{a} = \bar{P} - \hat{b}\bar{T} \quad (2)$$

$$\hat{b} = \frac{n\sum_i^n t_i p_i - (\sum_i^n t_i)(\sum_i^n p_i)}{n\sum_i^n t_i^2 - (\sum_i^n t_i)^2} \quad (3)$$

when p_f : Demand Forecast value
t_f : Time Forecasting
p_i : Demand of period i
t_i : Time of period i
$\overline{P}$: Mean of demand
$\overline{T}$: Mean of time
$\hat{a}$: Constant
$\hat{b}$: Slope of regression line or

Table 3. Show the demand forecast every 15 minute, forecasting start at 0.15 to 1.45.

Time (min)	Demand (kW)	$\overline{P}$ (kW)	$\overline{T}$ (Min)	$\hat{b}$	$\hat{a}$	Forecast (kW)
->0:00	->16200					
->0:05	->15800					
->0:10	->15500					
0:15	15200	15833	0:05	-95897	16177	->15178
0:20	15300	15500	0:10	-86284	16109	14892
0:25	15700	15333	0:15	-27639	15626	15131
->0:30	->15800	15400	0:20	66951	14453	15855
->0:35	->15900	15600	0:25	74548	14284	16128
->0:41	->15900	15800	0:30	29166	15182	16014
0:45	15700	15867	0:35	13171	15541	->15957
0:50	15500	15833	0:40	-28079	16627	15634
0:55	14900	15700	0:45	-58333	17556	15317
->1:00	14600	15367	0:50	-114491	19386	14615
->1:05	14000	15000	0:55	-141998	20463	14042
->1:10	13900	14500	1:00	-132319	20026	13540
1:15	13900	14167	1:05	-94460	18446	->13526
1:20	13900	13933	1:10	-15029	14666	13827
1:25	13800	13900	1:15	0	13900	13900
1:30	13800	13867	1:20	-13265	14608	13776
1:35	13800	13833	1:25	-15114	14731	13726
1:40	14000	13800	1:30	0	13800	13800
->1:45	13800	13867	1:35	28119	12005	14055

Table 4. Show the demand forecast every 15 minute, forecasting start at 12.00 to 13.40.

Time (min)	Demand (kW)	$\overline{P}$ (kW)	$\overline{T}$ (Min)	$\hat{b}$	$\hat{a}$	Forecast (kW)
12:00	51600	51100	11:50	40503	31122	51373
12:05	54200	51300	11:55	93308	4951	51991
12:10	56400	52367	12:00	394237	-144849	55121
12:15	57800	54067	12:05	661704	-279292	58452
12:20	58200	56133	12:10	572239	-234141	60026
12:25	58700	57467	12:15	259886	-75223	59361
12:30	58600	58233	12:20	121007	-3978	59047
12:35	58700	58500	12:25	62356	26226	58943
12:40	59400	58667	12:30	1251	58015	58675
12:45	59700	58900	12:35	111582	383	59690
12:50	59900	59267	12:40	144155	-16846	60320
12:55	59400	59667	12:45	66433	24355	60119

Continue table 4.

Time (min)	Demand (kW)	$\overline{P}$ (kW)	$\overline{T}$ (Min)	$\hat{b}$	$\hat{a}$	Forecast (kW)
13:00	59300	59667	12:50	-40067	81104	59402
13:05	58300	59533	12:55	-93195	109713	58905
13:10	58000	59000	13:00	-161891	146700	57829
13:15	59600	58533	13:05	-176981	155035	57327
13:20	63500	58633	13:10	178846	-39506	59894
13:25	66700	60367	13:15	812992	-388629	66307
13:30	66700	63267	13:20	946235	-462667	69589
13:35	66500	65633	13:25	494679	-211036	69156
13:40	64800	66633	13:30	-30495	83797	66432

4. Implementation

In this experiment, the hardware and software installed in building of department of Instrumentation engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand. The measuring results have shown on Fig. 7.

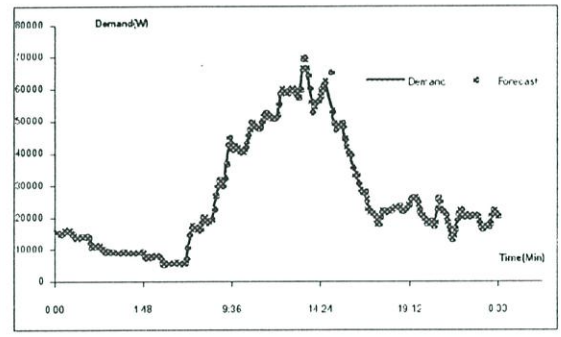


Fig. 7 Demand Trend and forecasting of a Day.

The result analyzed, maximum demand are 66.7 kW, load factor are 38.93% and electrical cost are 47503.485 bath. But the maximum demand become is 60 kW and load factor are 43.33%. That is set point in order to control load. The result control can be reduced maximum demand less than 5-10%.

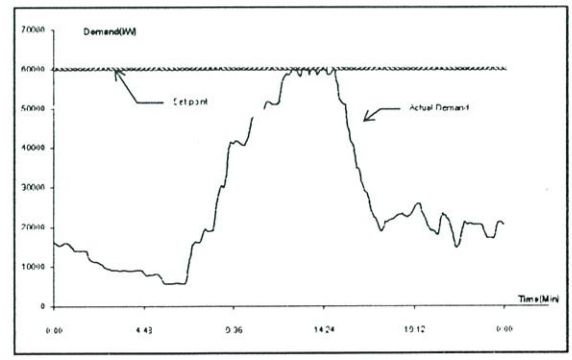


Fig. 8. Control load demand on a day.

5. Conclusion

The paper shows the technique to developing the load control and forecast demand in order to the medium building instead Building Automation System. This system can be control Maximum Demand such as Load Shedding. And The software Monitoring can be show V, I, pf, P, Q, kWh, kVarh, etc.,. This network can be link digital power meter and PLC up to 32 unit. The maximum demand can be reduce more than 60.0 kW

Reference

[1] Maurice Eyke, Building Automation System, ISBN 0-632-019360-0, Print in Great Britain, BSP Professional Book, 1988.

[2] M. Y. Cho, J. C. Hwang, "Development of Data Acquisition and Load Control System By Programmable Logic Control for High Voltage Load Customer", Power System Technology, Volume:1, 1998, Page(s):275-279 vol.1.

[3] VIP ENERGY, 3-Phase Energy Analyzer User Manual, ELCONTROL ENERGY.

[4] ORON, SYSMAC Mini H-Type PCs C20H/C28H/C40H Programmable Controller Operation Manual, Revision, Japan, July 1990.

[5] A. J. Hoffman, "Peak Demand Control in Commercial Buildings with Target Peak Adjustment base on Load Forecasting", Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Control Applications, Trieste, Italy, 1-4 September 1998.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายคมกฤษณ์ ศรีสุวรรณ์

เกิดวันที่ 1 กันยายน 2518 ที่จังหวัดมหาสารคาม

การศึกษา ปีการศึกษา 2533-2535 ระดับ ปวช. สาขาช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม

ปีการศึกษา 2536-2537 ระดับ ปวส. สาขาช่างเครื่องมือวัดในงานอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคนิคสัตหีบ

ปีการศึกษา 2538 – 2539 ระดับปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระนครเหนือ

ผลงานทางวิชาการ

1. Khomkrit Srisiwan. **"Development of Load Control and Demand Forecasting System"** International Conference on Control Automation and System ICCAS2001, Korea, October, 2001.
2. Khomkrit Srisuwan. "Development of Load Control and Management System" IEEE/PES T&D Conference and Exhibition 2002: Asia Pacific. Yokohama, Japan, October 2002.

ประสบการณ์ทำงาน

1 พฤษภาคม 2540 – 1 เมษายน 2541 : บริษัท ส.อนันต์อินสตรัก จำกัด จ. สมุทรปราการ ตำแหน่ง วิศวกรไฟฟ้า

1 พฤษภาคม 2541 – 1 เมษายน 2542 : วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม ตำแหน่งอาจารย์พิเศษ

1 พฤษภาคม 2545 – 1 เมษายน 2546 : วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม ตำแหน่งอาจารย์พิเศษ