สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

# การจัดการการใช้พลังงานในอาคาร

## Building Energy Optimization Management

วิทยานิพนธ์
ห้ามนำออกนอกห้องสมุด

เรือเอก สุรศักดิ์ สุวรรณเกษา
LT. Surasak Suwankasa

T023864

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2538

ISBN 974-621-382-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่..............................
เลขทะเบียน......23864
วัน, เดือน, ปี 19 ก.ย. 2538

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# BUILDING ENERGY OPTIMIZATION MANAGEMENT

SURASAK SUWANKASA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE

MASTER OF SCIENCE PROGRAM IN COMPUTER SCIENCE AND INFORMATION TECHNOLOGY

GRADUATE SCHOOL

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

1995

ISBN 974-621-382-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| หัวข้อวิทยานิพนธ์ | การจัดการการใช้พลังงานในอาคาร |
| นักศึกษา | เรือเอก สุรศักดิ์ สุวรรณเกษา |
| อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ | อ.กวิน สนธิเพิ่มพูน |
| ระดับการศึกษา | วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ |
| ภาควิชา | ภาควิชาคณิตศาสตร์และวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง |
| พ.ศ. | 2538 |

## บทคัดย่อ


การจัดการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า เป็นการจัดการให้ใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด ขณะเดียวกันต้องไม่มีผลกระทบต่อขบวนการผลิต งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบเพื่อควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีอยู่สามวิธีการ คือการควบคุมตามตารางเวลา การควบคุมด้วยการตัดโหลดเป็นเวลา และการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุด การควบคุมตามตารางเวลาเป็นการกำหนดเวลาปิดเปิดโหลด โดยแบ่งเป็นตารางเวลาทำงานปกติ ตารางวันเสาร์-อาทิตย์ และวันหยุดอื่นๆ การควบคุมด้วยการตัดโหลดเป็นเวลาเป็นการลดค่าพลังงานไฟฟ้าด้วยการปิดโหลดเป็นช่วง ๆ สำหรับโหลดที่ไม่จำเป็นต้องทำงานตลอดเวลา สำหรับวิธีการ จัดการส่วนนี้ได้ใช้เทคนิคในการกระจายการปิดโหลดด้วย เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูงสุด นอกเหนือจากความสามารถในการประหยัดพลังงาน การควบคุมกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด เป็นการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดไม่ให้เกินค่าที่ผู้ใช้กำหนด โดยมีการตัดโหลดตามลำดับความสำคัญ ในขบวนการดังกล่าวได้อาศัยเทคนิคในการคาดคะเนกำลังไฟฟ้าสูงสุด เพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบ ให้ต่ำกว่าค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่กำหนด โดยไม่ต้องซิงโครไนซ์เวลาของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า กับเวลาของเครื่องควบคุมเช่นเดียวกับเครื่องควบคุมอื่นๆ

การควบคุมทั้ง 3 วิธีการสามารถประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้า สำหรับการตัดโหลดเป็นเวลายังสามารถลดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ขณะที่การควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดสามารถกำหนด การใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ ตามต้องการของผู้ใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Thesis Title** | **Building Energy Optimization Management** |
| **Student** | **Lt. Surasak Suwankasa** |
| **Thesis Advisor** | **Kawin Sonthipermpoon** |
| **Level of Student** | **Master of Science Program in Computer Science and Information Technology** |
| **Department** | **Mathematic and Computer Science Department Faculty of Science King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang** |
| **Year** | **1995** |


ABSTRACT

Energy Management System is then provided in order to utilize those equipments efficiently and effectively. This research is to develop a computer program for controlling energy utilization. Three algorithms are included in the system Time Programming, Duty Cycle and Demand Limiting Control. The Time Programming algorithms controls the operation of equipments by starting and stopping a system based on time (weekdays, weekend, holidays) The Duty Cycle algorithms reduces the overall KW-hr consumption by cycle groups of electrical loads which need not be operated continuously. A technique to spread the off periods of the loads in a duty cycle function was developed in order to decrease the power as well as energy. The Demand Limiting Control algorithms stops electrical loads to pervent a predetermined maximum electrical demand from being exceeded. To reach such objective loads will be turned off on a given priority. A techinque of forecasting a demand was developed to limit the demand of the system to the set target. The synchronization of the counting time of demand meter and control system is not necessary.

The Duty Cycle algorithms can save both energy and peak demand. Likewise, Demand Limiting Control can save both too and can limit peak demand not to exceed the set target.





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดีก็เพราะได้รับความเมตตาจากอาจารย์กวิน สนธิเพิ่มพูน ได้ให้ความกรุณาแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบคุณ อย่างสูง

ขอขอบพระคุณ พลตรีทวีศักดิ์ เรืองพงษ์ เจ้ากรมการสนเทศทหาร พ.อ.สิทธิศักดิ์ เทภาสิต ผอ.กสท.สท.ทหาร ที่ให้ความกรุณาแก่ผู้วิจัย ได้มีเวลาศึกษาค้นคว้าได้อย่างเต็มที่ให้สถานที่ในการทดลอง อุปกรณ์ในการทดลองและให้คำแนะนำต่าง ๆ ตลอดมา จนบรรลุวัตถุประสงค์ทุกประการ รู้สึกซาบซึ้งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

เรือเอก สุรศักดิ์ สุวรรณเกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

| | หน้า |
|---|---|
| บทคัดย่อภาษาไทย | I |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | II |
| กิติกรรมประกาศ | III |
| สารบัญ | IV |
| สารบัญตาราง | VII |
| สารบัญภาพ | VIII |
| คำนิยมศัพท์ | X |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ | 1 |
| การคิดค่าไฟฟ้า | 1 |
| การประหยัดพลังงานไฟฟ้า | 5 |
| คุณลักษณะของเครื่องควบคุมเพื่อประหยัดพลังงาน | 7 |
| ที่มาของปัญหาสำหรับงานวิจัย | 8 |
| ขอบเขตของงานวิจัย | 10 |
| 2. การควบคุมตามตารางเวลา (Time programming) | 12 |
| หลักการควบคุมด้วย Time programming | 12 |
| การลด Demand ก่อนทำ Time programming | 12 |
| โครงสร้างของไฟล์ข้อมูลที่ใช้ใน Time Programming | 13 |
| วิธีการในการควบคุมแบบ Time programming | 14 |
| ตัวอย่างการควบคุมด้วย Time programming | 17 |
| 3. การควบคุมด้วยการตัดโหลดเป็นเวลา (Duty Cycle) | 19 |
| หลักการควบคุมด้วย Duty Cycle | 19 |
| Duty Cycle แบบช่วงเวลาปิดคงที่ | 22 |
| Duty Cycle แบบช่วงเวลาปิดแปรเปลี่ยนได้ | 23 |
| การกระจายให้โหลดปิดที่เวลาต่างกัน | 25 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

การควบคุมด้วย Duty Cycle เมื่อใช้ร่วมกับ Time programming และ Demanel limiting Control ........ 30
โปรแกรมควบคุมด้วย Duty Clcle ........ 31
โครงสร้างไฟล์ข้อมูลและตัวแปรที่สำคัญ ........ 31
ตัวอย่างการควบคุม ........ 35
เปรียบเทียบการควบคุม Duty Cycle กับไม่มีการควบคุม ........ 35
เปรียบเทียบการควบคุมแบบ DC & TP กับ TP ........ 35
สรุปผลการทดลอง ........ 38
4. การควบคุมกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด (Demand limiting Control) ........ 39
การคิดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด ........ 41
หลักการควบคุมด้วย Demand limiting Contral ........ 41
การแบ่งชนิดโหลด ........ 44
การคาดคะแนกำลังไฟฟ้าเมื่อใกล้ Target เพื่อลดโหลด ........ 45
การปลดโหลดเมื่อกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยมากกว่า Target ........ 47
การ Restore โหลดและปลดโหลดหลังจากการปลดโหลดต่ำกว่า Target-Deadband ........ 47
โปรแกรมควบคุมด้วย Demand Limiting Control ........ 48
ตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรม ........ 51
หลักการของโปรแกรมและ Flow chart ........ 51
5. เปรียบเทียบวิธีการควบคุมแบบต่างๆ ........ 53
เครื่องปรับอากาศที่มีการควบคุมโดยใช้เทอร์โมสตัส ........ 53
เครื่องปรับอากาศที่มีการควบคุมแบบ Fuzuy logic Algorithm ........ 54
เครื่องปรับอากาศที่มีการควบคุมแบบ Duty Cycle Algorithm ........ 54
เปรียบเทียบผลการทดลอง ........ 61
6. สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ ........ 62
สรุปผลวิจัย ........ 62
ข้อเสนอแนะ ........ 64
เอกสารอ้างอิง ........ 66
ภาคผนวก ก ........ 67
ภาคผนวก ข ........ 78



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

ประวัติผู้เขียน........................................................................................ 85



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1. ข้อมูลโหลดที่ใช้ศึกษาการควบคุมเพื่อประหยัดพลังงานวันทำงานปกติ.................... 16

2. ตัวอย่างแสดงการ Restore และปลดโหลดหลังจากที่ปลดโหลดต่ำกว่า

(Target - Deadband)........................................................................................ 50

3. เปรียบเทียบการควบคุมของเครื่องปรับอากาศแบบต่างๆ.......................................... 54

4. สรุปผลการควบคุมการใช้พลังงานในอาคาร.............................................................. 64



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญภาพ


| ภาพที่ | หน้า |
|---|---|
| 1. การใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมการใช้พลังงาน | 9 |
| 2. Flow Chart การควบคุมแบบ Time Programming | 15 |
| 3. เปรียบเทียบการควบคุมแบบ Time programming กับก่อนการควบคุม | 18 |
| 4. การทำงานของโหลดแบบ Duty Cycle | 20 |
| 5. ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องและช่วงเวลาปิด | 24 |
| 6. การควบคุมโหลดด้วย Duty Cycle ก) โหลดปิดที่เวลาเดียวกัน ข) โหลดปิดที่เวลาต่างกัน | 27 |
| 7. ตัวอย่างแสดงการทำ Duty Cycle ของโหลด 15 โหลด | 29 |
| 8. Flow Chart การควบคุมด้วย Duty Cycle | 33 |
| 9. เปรียบเทียบการควบคุมแบบ Duty Cycle กับก่อนการควบคุม | 37 |
| 10. เปรียบเทียบการควบคุม DC & TP กับ TP | 38 |
| 11. ตัวอย่างกราฟของโหลดของโรงงานผลิตหลอดฟลูออเรสเซ็นต์ | 40 |
| 12. กราฟของโหลดแสดงการคิดค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดภายใน 15 นาที | 42 |
| 13. การควบคุมด้วย Demand limiting Control | 43 |
| 14. การคาดคะเนหากำลังไฟฟ้าใกล้ Target | 46 |
| 15. ตัวอย่างกราฟของโหลดควบคุมด้วย Demand limiting Control | 49 |
| 16. Flow Chart การควบคุมด้วย Demand limiting Control | 52 |
| 17. อุณหภูมิในช่วงเวลาต่าง ๆ ของเครื่องปรับอากาศที่มีการควบคุมโดยเทอร์โมสตัส | 55 |
| 18. การใช้พลังงานในช่วงเวลาต่าง ๆ ของเครื่องปรับอากาศที่มีการควบคุมโดยเทอร์โมสตัส | 56 |
| 19. อุณหภูมิในช่วงเวลาต่าง ๆ ของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ Fuzzy logic Control | 57 |
| 20. การใช้พลังงานในช่วงเวลาต่าง ๆ ของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ Fuzzy logic Control | 58 |




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ หน้า

21. อุณหภูมิในช่วงเวลาต่าง ๆ ของเครื่องปรับอากาศที่ใช้

Duty Cycle Control .................................................................... 59

22. การใช้พลังงานในช่วงเวลาต่าง ๆ ของเครื่องปรับอากาศที่ใช้

Duty Cycle Control.................................................................... 60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## คำนิยามศัพท์

1. Time programming (TP) หมายถึงวิธีการในการควบคุมเปิดปิดโหลดตามตารางเวลาที่ตั้งไว้
2. Duty Cycle (DC) หมายถึงวิธีการควบคุมเพื่อประหยัดพลังงานโดยการเปิด-ปิดโหลดทุกช่วงเวลาการทำงาน
3. Demand limiting Control (DLC) หมายถึงการควบคุมโดยการตัดโหลดเมื่อกำลังไฟฟ้าสูงสุดสูงกว่าที่กำหนด
4. Optimization เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการจัดการกระจายการเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า
5. Off-Time หมายถึงช่วงเวลาที่ปิดโหลดแต่ละช่วงเวลาการทำงาน
6. Interval หมายถึงช่วงเวลาการทำงาน
7. Fixed Off Time หมายถึงช่วงเวลาปิดโหลดที่มีค่าคงที่ในแต่ละช่วงเวลาการทำงาน
8. Varied Off Time หมายถึงช่วงเวลาปิดโหลดที่เปลี่ยนแปลงค่าไปเรื่อย ๆ ตามสภาพการทำงานของโหลด
9. Minimum Off Time หมายถึงช่วงเวลาปิดต่ำสุดโดยที่โหลดสามารถทำงานได้โดยไม่ทำให้โหลดเสียหาย
10. Maximum Off Time หมายถึงช่วงเวลาปิดที่สูงสุดที่โหลดยังทำงานได้โดยไม่ทำให้เกิดผลเสียจากการทำงาน
11. Minimum On Time หมายถึงช่วงเวลาเปิดโหลดที่ต่ำสุดก่อนที่จะปิด
12. Temperature Sensor หมายถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิ
13. Demand interval หมายถึงช่วงเวลาที่ใช้คิดค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดซึ่งของการไฟฟ้าประเทศไทยใช้ 15 นาที
14. Demand Target หมายถึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผู้ใช้ระบบควบคุมตั้งไว้
15. Deadband หมายถึงค่ากำลังไฟฟ้าที่คิดจาก 1/จำนวนโหลด * Demand Target
16. Linear Extrapolation เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ซึ่งนำมาใช้ในการคาดคะเนกำลังไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

# บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับมนุษย์ในชีวิตประจำวันพลังงานที่มนุษย์ใช้อยู่มีหลายรูปแบบ ตั้งแต่พลังงานแสงแดด พลังงานกล พลังงานความร้อน พลังงานไฟฟ้า พลังงานเคมีเป็นต้น พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานที่สำคัญมากสำหรับมนุษย์พลังงานไฟฟ้าได้มาจากการเปลี่ยนสภาวะจากพลังงานอย่างอื่น เช่น พลังงานน้ำ พลังงานความร้อน จากเชื้อเพลิง เป็นต้น นับตั้งแต่เกิดวิกฤตการณ์น้ำมันเป็นต้นมา ราค่าต้นทุนของกระแสไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้นจากเดิมมาก ทำให้ไฟฟ้าไม่ใช่พลังงาน ที่มีราคาถูกต่อไปแล้ว ต้นเหตุนี้ผู้ใช้ไฟฟ้า จะต้องคำนึงถึงการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นพลังงานที่มีค่าสูงไม่ว่าจะมองในแง่ของทรัพยากร หรือมองในแง่ของราคาก็ตาม อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดให้ได้มากที่สุด

การประหยัดพลังงานไฟฟ้าสามารถทำได้หลายรูปแบบ ตั้งแต่การตรวจตราปิดไฟหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่จำเป็น ในช่วงแรกๆ การรณรงค์เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า การผลิตอุปกรณ์ไฟ้ฟ้าที่มีคุณภาพสูง การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ให้ทำงานตามเวลาที่ต้องการและจนถึงปัจจุบันความก้าวหน้าทางอิเล็กทรอนิกส์ได้ก้าวสู่ยุคไมโครโปรเซสเซอร์ ซึ่งเป็นมูลเหตุพื้นฐานที่จะนำมาพัฒนาและออกแบบ เพื่อนำเอาไมโครโปรเซสเซอร์มาประยุกต์ใช้ในระบบควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในแง่ของการประหยัดพลังงาน รวมทั้งการใช้งานให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อใช้กับอาคารพาณิชย์ โรงงานอุตสาหกรรม ทั้งนี้อยู่บนพื้นฐานการสร้างอุปกรณ์ควบคุมการใช้พลังงานที่มีราคาไม่สูงเกินไปนัก

ในบทนำนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานเบื้องต้น เกี่ยวกับค่าไฟฟ้าที่ถูกเรียกเก็บจาก การไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เครื่องควบคุมการประหยัดพลังงาน คุณลักษณะของเครื่องควบคุมเพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้า และที่มาของปัญหาที่นำมาสู่การทำวิทยานิพนธ์นี้

## 1.1. การคิดค่าไฟฟ้า

ในการศึกษาการประหยัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคารพาณิชย์ และโรงงานอุตสาหกรรม จำเป็นต้องศึกษาการคิดค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าเสียก่อนว่ามีระบบการเก็บค่าไฟฟ้าอย่างไร เมื่อทราบวิธีการเก็บค่าไฟฟ้าแล้ว การวิเคราะห์การลดค่าไฟฟ้าก็สามารถทำได้ตรงเป้าหมายมากขึ้น การเก็บค่าไฟฟ้าในประเทศไทย ถ้าเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก ก็ถูกเก็บค่าไฟฟ้าจากพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียว แต่ถ้าเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ก็ถูกเรียกเก็บค่าไฟฟ้าจากพลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน่วยงานที่รับผิดชอบเกี่ยวกับการจ่ายไฟฟ้า และการเก็บค่าไฟฟ้ามี 2 แหล่งคือ การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) จึงรับผิดชอบในการจ่ายและเก็บค่าไฟฟ้าในเขตนครหลวง และชานเมือง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) รับผิดชอบในการจ่ายและเก็บค่าไฟฟ้าในส่วนภูมิภาคหรือต่างจังหวัด ทั้งการไฟฟ้านครหลวงและการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค มีอัตราค่าไฟฟ้าคิดกับผู้ใช้หลายประเภทด้วยกัน การไฟฟ้านครหลวงได้แบ่งการคิดอัตราค่าไฟฟ้ากับผู้ใช้ทั้งหมด 7 ประเภท คือ บ้านอยู่อาศัย กิจการขนาดเล็ก กิจการขนาดกลาง กิจการขนาดใหญ่ ธุรกิจเฉพาะอย่าง ส่วนราชการ และองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร สูบน้ำเพื่อการเกษตร

อัตราค่าไฟฟ้าที่คิดกับผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละประเภทของการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมีขนาดใกล้เคียงกันมาก แตกต่างกันเพียงรายละเอียดปลีกย่อยเท่านั้น อัตราค่าไฟฟ้าที่จะกล่าวถึงจะกล่าวพอสังเขปเท่านั้น เพื่อให้ทราบการคิดค่าไฟฟ้าจากพลังงานไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า ของผู้ใช้แต่ละประเภทดังนี้

ก. บ้านอยู่อาศัย สำหรับการใช้ไฟฟ้าในบ้านเรือนที่อยู่อาศัย

1. ปริมาณการใช้ไฟฟ้าไม่เกิน 150 หน่วยต่อเดือน

ค่าพลังงานไฟฟ้า

| | |
|---|---|
| 5 หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) แรกหรือน้อยกว่า | เป็นเงิน 5.00 บาท |
| 10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 6-15) | หน่วยละ 0.70 บาท |
| 10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 15-25) | หน่วยละ 0.90 บาท |
| 10 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 26-35) | หน่วยละ 1.17 บาท |
| 65 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 36-100) | หน่วยละ 1.58 บาท |
| 50 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 101-150) | หน่วยละ 1.68 บาท |

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด เดือนละ 5.00 บาท

2. ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่า 150 หน่วย/เดือน

ค่าพลังงานไฟฟ้า

| | |
|---|---|
| 35 หน่วยแรกหรือน้อยกว่า | เป็นเงิน 89.00 บาท |
| 115 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 36-150) | หน่วยละ 1.14 บาท |
| 250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151-400) | หน่วยละ 2.22 บาท |
| เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป) | หน่วยละ 2.53 บาท |

ค่าไฟฟ้าต่ำสุดเดือนละ 89.00 บาท

ข. กิจการขนาดเล็ก สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาที สูงสุดต่ำกว่า 30 kW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพลังงานไฟฟ้า

| | |
|---|---|
| 35 หน่วยแรกหรือน้อยกว่า | เป็นเงิน 94.00 บาท |
| 115 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 36-150) | หน่วยละ 1.14 บาท |
| 250 หน่วยต่อไป (หน่วยที่ 151-400) | หน่วยละ 2.22 บาท |
| เกินกว่า 400 หน่วย (หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป | หน่วยละ 2.51 บาท |

ค่าไฟฟ้าต่ำสุดเดือนละ 94.00 บาท

ค.กิจการขนาดเล็ก สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาที ที่สูงสุดตั้งแต่ 30-1,999 กิโลวัตต์ ซึ่งมีรายละเอียดปลีกย่อยมากในการคิดค่าไฟฟ้าแต่จะยกตัวอย่างพอสังเขปดังนี้

1. พลังงานการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เดือนสุดท้ายไม่เกิน 355,000 หน่วยต่อเดือน อัตรารายเดือน

1.1 ระดับแรงดันไฟฟ้า 69 kv ขึ้นไป

ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า : กิโลวัตต์ละ 188.00 บาท

ค่าพลังงานไฟฟ้า : หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) ละ 1.03 บาท

1.2 ระดับแรงดันไฟฟ้า 12-24 kv

ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า : กิโลวัตต์ละ 210.00 บาท

ค่าพลังงานไฟฟ้า : หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) ละ 1.07 บาท

1.3 ระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 12 kv

ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า : กิโลวัตต์ละ 237.00 บาท

ค่าพลังงานไฟฟ้า : หน่วย (กิโลวัตต์ชั่วโมง) ละ 1.10 บาท

ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า : ความต้องการพลังงานไฟฟ้าแต่ละเดือน คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าเป็น kW เฉลี่ยใน 15 นาทีสูงสุดในรอบเดือน เศษของ kW ถ้าไม่ถึง 0.5 kW ตัดทิ้ง ถ้ามากกว่า 0.5 kW ขึ้นไปคิดเป็น 1 kW

ง. กิจการขนาดใหญ่ สำหรับการใช้ไฟฟ้าเพื่อประกอบธุรกิจ ซึ่งมีความต้องการไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาที ที่สูงสุด ตั้งแต่ 2,000 kW ขึ้นไป

ระดับแรงดันไฟฟ้า 69 kv ขึ้นไป

ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า

| | |
|---|---|
| เวลา 18.30-21.30 (On-Peak) : Kw ละ | 240.00 บาท |
| เวลา 08.00-18.30 (Partial Peak) : Kw ละ | 32.00 บาท |

เวลา 18.30-21.30 (off Peak) ไม่คิดค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า

ค่าพลังงานไฟฟ้าทุกช่วงเวลา : หน่วยละ 1.03 บาท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้... ไม่อนุญาตให้นำไป...ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ. กิจการเฉพาะอย่าง สำหรับการใช้ไฟฟ้า เพื่อประกอบกิจการโรงแรม และกิจการให้เช่าพักอาศัย ซึ่งมีความต้องการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยใน 15 นาทีที่สูงสุด ตั้งแต่ 30 kW ขึ้นไป ซึ่งรายละเอียดปลีกย่อยมาก แต่จะหาตัวอย่างพอสังเขปดังนี้

1. อัตราปกติ

1.1 ระดับแรงดันไฟฟ้า 69 kv ขึ้นไป

| | |
|---|---|
| ความต้องการพลังงานไฟฟ้า : kW ละ | 236.00 บาท |
| ค่าพลังงานไฟฟ้า : หน่วยละ | 1.03 บาท |

1.2 ระดับแรงดันไฟฟ้า ต่ำกว่า 12-24 kv

| | |
|---|---|
| ค่าความต้องการพลังไฟฟ้า : หน่วย | 274.00 บาท |
| ค่าพลังงานไฟฟ้า : kW ละ | 1.07 บาท |

1.3 ระดับแรงดันไฟฟ้า ต่ำกว่า 12 kv

| | |
|---|---|
| ค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้า : kW ละ | 296.00 บาท |
| ค่าพลังงานไฟฟ้า : หน่วยละ | 1.10 บาท |

ฉ. ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร สำหรับการใช้ไฟฟ้าของส่วนราชการ หน่วยงานตามกฎหมายว่าด้วยระเบียบบริหารราชการส่วนท้องถิ่นสถานทูต สถานที่ทำการเกี่ยวกับกิจการของชาติ และสถานที่ทำการขององค์การระหว่างประเทศ การคิดค่าไฟฟ้าพอสรุปได้ดังนี้

1. ระดับแรงดันไฟฟ้า 69 kv ขึ้นไป

ค่าพลังงานไฟฟ้า

| | |
|---|---|
| 10,000 หน่วยแรกหรือน้อยกว่า | เป็นเงิน 14,800.00 บาท |
| เกินกว่า 10,000 หน่วยขึ้นไป | หน่วยละ 1.48.00 บาท |

2. ระดับแรงดันไฟฟ้า 12-24 kv

ค่าพลังงานไฟฟ้า

| | |
|---|---|
| 300 หน่วยแรกหรือน้อยกว่า | เป็นเงิน 495.00 บาท |
| เกินกว่า 300 หน่วยขึ้นไป | หน่วยละ 1.65 บาท |

3. ระดับแรงดันต่ำกว่า 12 kv.

ค่าพลังงานไฟฟ้า

| | |
|---|---|
| 10 หน่วยแรกหรือน้อยกว่า | เป็นเงิน 18.70 บาท |
| เกินกว่า 10 หน่วยขึ้นไป | หน่วยละ 1.87 บาท |

ฉ. สูบน้ำเพื่อการเกษตร สำหรับการใช้ไฟฟ้ากับเครื่องสูบน้ำเพื่อการเกษตรของส่วนราชการกลุ่มเกษตรกร ที่ทางราชการรับรอง หรือสหกรณ์เพื่อการเกษตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าพลังงานไฟฟ้า

100 หน่วยแรกหรือน้อยกว่า เป็นเงิน 117.00 บาท

เกินกว่า 100 หน่วยขึ้นไป หน่วยละ 1.17 บาท

ค่าไฟฟ้าต่ำสุด : เดือนละ 117.00 บาท

## 1.2. การประหยัดพลังงานไฟฟ้า

การประหยัดพลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นมากในปัจจุบัน เนื่องจากแหล่งเชื้อเพลิงเพื่อการผลิตพลังงานไฟฟ้ามีน้อยลง และราคาเชื้อเพลิงก็มีค่าสูงมากขึ้น การประหยัดพลังงานไฟฟ้าในช่วงแรกๆ ที่มีวิกฤตการณ์ทางด้านน้ำมัน ต้องอาศัยมนุษย์ช่วยปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้ แต่การประหยัดด้วยวิธีดังกล่าวไม่ค่อยได้ผลมากนักจึงได้มีการพัฒนาใช้เทคโนโลยีทั้งทางด้านวิศวกรรม และสถาปนิก เพื่อออกแบบอาคารและการใช้พลังงานในอาคารให้ประหยัด

ปัจจุบันได้มีวิธีการประหยัดพลังงานแบบต่าง ๆ มากมายเช่น

- การออกแบบอาคารให้มีแสงสว่างจากภายนอกมากขึ้น และมีการ ระบายอากาศที่ดี
- การรณรงค์ประหยัดพลังงานโดยปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่ใช้หรือไม่ จำเป็น
- การปรับปรุงอุปกรณ์ไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่นหลอดไฟ มอเตอร์ เป็นต้น
- ปิดเปิดไฟแสงสว่างหรืออุปกรณ์ไฟฟ้า ตามเวลาโดยใช้ไทเมอร์ (Timer)
- การใช้เครื่องควบคุมประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ หรือโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป

การประหยัดพลังงานไฟฟ้าสำหรับอาคารพาณิชย์ และโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน ได้พยายามลดการใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าในกรณีง่ายที่ใช้คือจัดเวลาการปิดเปิดของอุปกรณ์ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่เหมาะสมเพื่อลดกำลังไฟฟ้าลงโดยพยายามใช้ในเวลาที่ต่างกันเพื่อให้กำลังทั้งหมดไม่สูงมากในช่วงใดช่วงหนึ่งของเวลาและใช้ Timer ช่วยในการปิดเปิดอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่มีการเริ่มต้นและเลิกทำงานในเวลาที่แน่นอน ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าดังกล่าวไม่ได้ใช้พลังงานเกินกว่าความจำเป็นแต่ถ้าเป็นอาคารพาณิชย์หรือโรงงานอุตสาหกรรมที่มีโหลดจำนวนมากๆ การจัดการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในเวลาต่างกันเพื่อลดกำลังไฟฟ้าทำได้ลำบาก ส่วนการใช้ Timer เพื่อการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแม้จะเป็นวิธีที่ง่ายและสะดวก และลงทุนน้อยก็ตาม การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าก็ยังไม่มากนัก ด้วยเทคโนโลยีวิศวกรรมไฟฟ้า และคอมพิวเตอร์ ได้มีการพัฒนาเครื่องควบคุมประหยัดพลังงานไฟฟ้าออกมาหลายรุ่น หลายยี่ห้อ ซึ่งมีตั้งแต่การควบคุมแบบง่ายๆ แบบจัดการปิดเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าตามตารางเวลา จนถึงประเภทยุ่งยาก ที่ต้องใช้เทคโนโลยี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางด้านไมโครโปเซสเซอร์ หรือโปรแกรมสำเร็จรูป ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าให้ใช้งานได้เหมาะสม และประหยัดทั้งพลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าด้วย

เครื่องควบคุมเพื่อประหยัดพลังงานในปัจจุบันที่เป็นที่รู้จักกันดีมี 3 ประเภท คือ Maximum Demand Controller (MDC), Energy Management System (EMS) และ Computer Based Building Automation System (BAS) MDC เป็นเครื่องควบคุมเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยใช้กำลังไฟฟ้าไม่เกินค่าที่ตั้งไว้และเมื่อพ้นขีดวิกฤตที่มีการใช้กำลังไฟฟ้า ต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้ก็ปิดวงจรของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ถูกปลดออกกลับเข้าไปใช้งานต่อไปอีก การประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ MDC มีขีดจำกัดเนื่องจากโหลดในอาคารพาณิชย์ หรือโรงงานอุตสาหกรรมบางแห่งไม่สามารถถูกปลดออกได้ หรือโหลดที่จะถูกปลดออกได้ก็มีขนาดการใช้กำลังไฟฟ้าน้อย จนไม่มีผลต่อการลดการใช้กำลังไฟฟ้าได้ นอกจากนี้ MDC ที่ออกสู่ตลาดมีการควบคุมโหลดจำนวนน้อย ทำให้การใช้งานไม่แพร่หลายนัก ยุคของการพัฒนาเครื่องควบคุมประหยัดพลังงาน ได้ตามมาด้วยการผลิตเครื่องควบคุม EMS ซึ่งมีการควบคุมการประหยัดพลังงานได้กว้างขวาง แต่ละยี่ห้อที่ผลิตออกมามีการควบคุมการประหยัดพลังงานแบบพื้นฐาน 3 อย่างคือ Timer Programming (TP) Duty Cycle (DC) และ Demand Limiting Control (DLC) รายละเอียดหรือเทคนิคที่ใช้เพื่อให้การใช้พลังงานลดลงอาจแตกต่างกันออกไป เครื่องควบคุมการประหยัดพลังงานในยุคที่ EMS เข้ามามีบทบาทในการประหยัดพลังงานในปัจจุบันก็คือ BAS พื้นฐานของเครื่องควบคุม BAS ที่ผลิตออกมาก็เพื่อควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ในอาคารพาณิชย์ให้เป็นไปโดยอัตโนมัติ โดยมีศูนย์กลางการควบคุมแห่งเดียว เครื่อง BAS ดังกล่าวไม่ได้ผลิตขึ้นมาเพื่อประหยัดพลังงานอย่างเดียวอย่าง EMS แต่ก็ใช้ควบคุมการประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยเพิ่มระบบ Energy Management เข้าไปในลักษณะโปรแกรมสำเร็จรูป ราคาของ BAS สูงมาก ดังนั้นหากจะลงทุนเพื่อเป้าหมายการประหยัดพลังงานอย่างเดียวก็อาจไม่คุ้มกัน การประหยัดพลังงานโดยใช้เครื่อง BAS เปรียบเสมือนกับผลพลอยได้ที่ติดมากับเครื่องที่นำมาใช้ควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารทั้งระบบ EMS และ BAS มีลักษณะการควบคุมหลายอย่าง ทำให้การใช้เครื่องดังกล่าวค่อนข้างยากและจำเป็นต้องอาศัยบุคลากรที่ศึกษาเรียนรู้เครื่องควบคุมโดยเฉพาะ ระบบดังกล่าวไม่ง่ายพอที่จะทำให้วิศวกรบำรุงรักษาสามารถใช้เองได้ เนื่องจากต้องเสียเวลาการเรียนรู้การใช้เครื่องนานและต้องทำงานประจำกับเครื่องควบคุมดังกล่าว การเลือกใช้ชนิดของเครื่อง EMS หรือ BAS จึงต้องมีการพิจารณาถึงลักษณะของงานด้วย ไม่จำเป็นเสมอไปที่เครื่องที่มีการออกแบบให้มีระบบควบคุมพิเศษมากมายจะดีเสมอไปสำหรับการควบคุมในอาคารหรือโรงงานทุกขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3. คุณลักษณะของเครื่องควบคุมเพื่อการประหยัดพลังงาน

เครื่องควบคุมเพื่อการประหยัดพลังงานในปัจจุบันตามที่ได้กล่าวมามีการควบคุมเพื่อการประหยัดพลังงาน 3 อย่าง คือ Time Programming, Duty Cycle และ Demand Limiting Control การควบคุมการประหยัดพลังงานทั้ง 3 แบบดังกล่าวต้องเลือกใช้ให้ถูกกับชนิดของโหลด โหลดบางชนิดอาจถูกควบคุมให้ประหยัดพลังงานแบบ Duty Cycle (DC) ได้แต่ทำ Demand Limiting Control (DLC) ไม่ได้ บางชนิดอาจควบคุมได้ด้วย DLC แต่ทำ DC ไม่ได้ หรือบางชนิดอาจควบคุมได้ Time Programming แต่ควบคุมแบบ DLC และ DC ไม่ได้เป็นต้น ก่อนที่จะควบคุมการประหยัดพลังงานจำเป็นต้องศึกษาระบบควบคุมด้วยวิธีการทั้ง 3 แบบก่อน และศึกษาลักษณะของโหลดชนิดต่างๆ ว่าสามารถทำการควบคุมได้ด้วยวิธีใด โหลดบางโหลด อาจถูกควบคุมให้ประหยัดพลังงานได้ด้วยวิธีควบคุมทั้ง 3 แบบได้

การควบคุมด้วย Time Programming หมายถึงการควบคุมโหลดหรืออุปกรณ์ไฟฟ้าให้ทำงานและหยุดทำงานตามเวลาที่กำหนด การควบคุมดังกล่าวเป็นการประหยัดพลังงานโดยไม่ให้โหลดทำงานเมื่อไม่จำเป็นหรือทำงานในเวลาที่ไม่ต้องการ โดยไม่จำเป็นต้องใช้คนคอยตรวจตราปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นหรือลืมเปิดทิ้งไว้ นอกจากนี้ก่อนที่จะให้มีการควบคุมปิดเปิดตามเวลาของโหลด อาจจัดการทำงานของโหลดให้ทำงานที่เวลาต่างกันถ้าเป็นไปได้ ทั้งนี้เพื่อไม่ให้ความต้องการกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาใดสูงเกินไป การควบคุมด้วย Timer Programming ในปัจจุบัน โดยทั่วไปได้แบ่งตามเวลาการปิดเปิดของอุปกรณ์ไฟฟ้า เป็นหลายตารางเวลาได้แก่ตารางเวลาวันทำงานปกติ (Weekday) ตารางเวลาวันสุดสัปดาห์ (Weekend) และตารางเวลาวันหยุด (Holiday)

การควบคุมด้วย Duty Cycle ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานโดยทั่วไปจะถูกออกแบบไว้ให้มีขนาดเกินกว่าที่ใช้งานจริงๆ เช่นเครื่องปรับอากาศเป็นต้น ดังนั้นการควบคุมด้วย Duty Cycle ก็คือการปิดเปิดโหลดเป็นช่วงๆ เวลาสั้นๆ ตลอดระยะเวลาการทำงานของโหลดนั้น เช่น ปิด 10 นาที ทุกๆ การทำงานหนึ่งชั่วโมงเป็นต้น แต่ทั้งนี้ก็ต้องไม่ให้ประสิทธิภาพของการทำงานของด้านการผลิตลดลง หรือสูญเสียความสบายในกรณีที่โหลดเป็นเครื่องปรับอากาศ ในกรณีที่โหลดดังกล่าวไม่สามารถ ปิดได้แม้ช่วงเวลานั้นๆ เนื่องจากจะทำให้ประสิทธิภาพทางการทำงานหรือผลิตผลเสียโหลดประเภทดังกล่าวก็ไม่สามารถทำDuty Cycle ได้

การควบคุมด้วย Demand Limiting Control ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาในระยะแรกๆ ที่มีการรณรงค์เพื่อประหยัดพลังงาน แต่ก็ไม่ได้รับการนิยมแพร่หลายนัก เพราะใช้ได้กับอาคารพาณิชย์หรือโรงงานอุตสาหกรรมบางแห่งที่มีอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือโหลดขนาดใหญ่ และสามารถตัดออกจากระบบได้ในช่วงเวลาที่กำลังไฟฟ้าของระบบมีค่าสูงการควบคุมด้วย Demand Limiting Control ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการพื้นฐานเหมือนกันทุกยี่ห้อของเครื่องควบคุมคือ ตัดโหลดออกในช่วงที่มีการใช้กำลังไฟฟ้ามาก เพื่อให้กำลังไฟฟ้ารวมต่ำว่าที่ตั้งไว้ ส่วนรายละเอียดปลีกย่อยในเรื่องของวิธีการทำนายโหลดอนาคตและเวลาที่จะตัดโหลดออกจากระบบ อาจต่างกัน ทั้งนี้เป็นเพราะค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่จะถูกเรียกเก็บค่าไฟฟ้าหมายถึง ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยภายใน 15 นาทีทำให้เครื่องควบคุมที่ผลิตจากบริษัทต่างๆ มีวิธีการแตกต่างกัน บางบริษัทก็รอกำลังไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยเกินกว่าที่ตั้งไว้ แต่ไม่ให้เกิดขึ้นนานถึง 15 นาที เป็นต้น

เครื่องควบคุมเพื่อการประหยัดพลังงานที่สมบูรณ์มีการควบคุมทั้ง 3 แบบ ตามที่ได้กล่าวมา และคุณลักษณะอื่นๆ ที่ควรพิจารณาในการเลือกเครื่องควบคุมเพื่อใช้งานนอกจากความสามารถในการทำงานของเครื่องควบคุมแล้วก็คือ ความสะดวกและง่ายในการใช้ ความมั่นคงเชื่อถือได้ของเครื่องมือ ราคาของเครื่องควบคุมไม่สูงเกินไป จนค่าใช้จ่ายไฟฟ้าที่ประหยัดก็ไม่สามารถถอนเงินลงทุนของเครื่องที่ซื้อไปได้ในระยะเวลาสั้น และข้อสำคัญก็คือ ความสามารถของเครื่องควบคุมที่เหมาะสมกับงาน

**1.4. ที่มาของปัญหาสำหรับงานวิจัย**

เครื่องควบคุมเพื่อการประหยัดพลังงานที่มีใช้ในปัจจุบันทั้งแบบ EMS และ BAS ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อให้ใช้ในการประหยัดพลังงานได้ทั้ง 3 แบบคือ Time Programming, Duty Cycle และ Demand Limiting Control และเทคนิคที่ใช้กันอย่างมีประสิทธิภาพ รูปแบบการทำงานของเครื่องควบคุมเป็นดังภาพที่ 1. ตัวไมโครคอมพิวเตอร์จะรับข้อมูล Input ได้แก่ อุณหภูมิ กิโลวัตต์ แล้วนำมาประมวลผลและตัดสินใจสั่งการควบคุมต่างๆ ทันทีโดย ส่งสัญญาณไปควบคุมโหลดต่างๆ ให้ทำงานตามโปรแกรมที่วางไว้ เครื่องควบคุมดังกล่าวยังไม่มีการศึกษาอย่างกว้างขวาง เพื่อสร้างใช้เองภายในประเทศ และเครื่องที่มีขายก็ยากต่อการใช้ ทำให้เกิดจุดเริ่มต้นที่นำมาสู่การทำวิจัยในครั้งนี้ ปัญหาที่นำมาสู่การทำวิจัยนี้ สรุปได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาพที่ 1**

**การใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้า**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.1 เครื่องควบคุมเพื่อการประหยัดพลังงาน ไม่ได้กล่าวถึงรายละเอียดของการสร้างโปรแกรมเพื่อควบคุม และเครื่องควบคุมที่มีขายในปัจจุบันก็มีราคาสูงมากในระดับตั้งแต่เครื่องควบคุมธรรมดา ที่มีแต่ Timer Programming หรือ Demand Limiting Control ที่ใช้ควบคุมโหลดได้ไม่ถึง 10 จุด ราคา 4-5 แสนบาท จนถึงเครื่องควบคุมที่มีการควบคุมเพื่อการประหยัดพลังงานทั้ง 3 แบบ รวมทั้งมีสัญญาณแสดงการทำงานของโหลดและสัญญาณเตือนภัยเมื่อมีการทำงานที่ผิดปกติของระบบเกิดขึ้น ซึ่งสามารถแสดงจอภาพให้เห็นหรือมีเครื่องพิมพ์แสดงผลการทำงานของโหลด กำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ ซึ่งราคาเครื่องดังกล่าวอาจแพงถึง 10 ล้านบาท ดังนั้นจุดประสงค์งานวิจัยนี้ เพื่อสร้างโปรแกรมควบคุมการประหยัดพลังงาน และสามารถนำไปใช้งานได้ แทนที่จะต้องใช้เครื่องควบคุมราคาแพงๆ จากต่างประเทศ การทำวิจัยนี้นับว่าจุดเริ่มต้นของการสร้างเครื่องควบคุมเพื่อประหยัดพลังงาน

1.4.2เครื่องควบคุมเพื่อประหยัดพลังงานส่วนมากที่มีใช้ในปัจจุบันมีการใช้ที่ยุ่งยากมาก ทำให้การเรียนรู้ถึงวิธีการใช้กระทำได้ยาก และจำเป็นที่จะต้องใช้บุคคลากรที่มีความสามารถสูง ทางด้านอุปกรณ์ไฟฟ้า เครื่องควบคุมและระบบคอมพิวเตอร์ ดังนั้นงานวิจัยนี้ จะลดความยุ่งยากในการใช้ระบบควบคุม แม้แต่วิศวกรบำรุงรักษาก็สามารถใช้ได้โดยไม่ต้องศึกษามาก

1.4.3 เครื่องควบคุมโดยทั่วไป ไม่ได้กล่าวถึงรายละเอียดของช่วงเวลาต่างๆ ที่จะใช้ระบบควบคุมจะต้องเลือกใช้เช่น การควบคุมแบบ Duty Cycle จะต้องเข้าใจช่วงเวลาเปิดต่ำสุด ช่วงเวลาปิดต่ำสุด ช่วงเวลาการควบคุม ฯลฯ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะอธิบายและวิเคราะห์โดยละเอียด ตลอดจนการวิเคราะห์แยกประเภทของโหลดได้เหมาะสมกับการควบคุมแต่ละประเภท

**1.5. ขอบเขตของงานวิจัย**

ขอบเขตของงานวิจัยในช่วงแรกของการทำวิจัยจะศึกษาการทำงานของระบบควบคุมการประหยัดพลังงานที่มีอยู่แล้ว จากวารสารของบริษัทต่างๆ ตลอดจนบทความจากวารสารต่างๆ หลังจากนั้นทำการศึกษาในรายละเอียดของเครื่องควบคุมทั้ง 3 แบบ แล้วทำการวิเคราะห์ออกแบบระบบและพัฒนาโปรแกรม แล้วทำการทดลองกับโหลดที่สมมุติขึ้นมาโดยทำการควบคุมทั้ง Timer Programming (TP), Duty Cycle (DC) และ Demand Limitin Control (DLC) รวมทั้งการควบคุมร่วม TP&DC, TP&DLC และ TP & DC & DLC หลังจากทดลองจนได้ผลสรุปที่แน่นอนแล้ว ต่อมาได้ทำการทดลองกับโหลดของอาคารจริงๆ จำนวน 8 โหลด ซึ่งการควบคุมในจุดนี้จะทำการควบคุมแบบ TP, DC และ TP & DC เท่านั้น เนื่องจากลักษณะของโหลดเป็นไฟแสงสว่าง และเครื่องปรับอากาศ ซึ่งไม่สามารถทำการควบคุมแบบ Demand Limiting Control ได้ แต่อย่างไรก็ตามหัวใจของระบบควบคุมอยู่วิธีการในการควบคุม ซึ่งงานวิจัยนี้ได้สรุป ผลการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการควบคุม วิธีการควบคุม ตลอดจนโปรแกรมของระบบการควบคุมทั้ง 3 แบบไว้โดยละเอียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2

# การควบคุมตามตารางเวลา(Time Programming)

ระบบควบคุมเพื่อประหยัดพลังงานแบบ Time Programming เป็นวิธีการควบคุมที่ง่ายที่สุด ซึ่งมีอยู่ในระบบควบคุมทั่วไป ซึ่งผลจากการควบคุมให้ผลดีพอสมควร เพราะสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าเมื่อไม่มีความจำเป็นที่ต้องใช้โหลด เช่น การควบคุมการเปิดปิดไฟแสงสว่าง ตามเวลาที่ต้องการใช้งานจริงๆ วิธีการดังกล่าวทำให้ไม่ต้องใช้บุคคลากร เพื่อตรวจตราปิด-เปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ เมื่อถึงเวลาเปิดหรือปิด การควบคุมโหลดของ Time Programming มีจุดประสงค์เพื่อการประหยัดพลังงานเป็นหลัก แต่ถ้าต้องการลดกำลังไฟฟ้าสูงสุดก็สามารถทำได้โดยวิธีการ Optimization ค่า Demand แล้วค่อยใช้ Time Programming เข้าควบคุม

ในบทนี้ จะกล่าวถึงหลักการของการควบคุมโหลดด้วย Time Programming หลักการลด Demand ก่อนทำ Time programming (TP) โครงสร้างของไฟล์ข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรม วิธีการในการควบคุม และผลสรุปจากการทดลอง

## 2.1. หลักการควบคุมด้วย Time Programming

การควบคุมโหลดด้วย Time Programming เป็นการควบคุมให้โหลดเปิดปิดการทำงานตามตารางเวลาที่ผู้ใช้กำหนด เพื่อลดการสูญเสียพลังงานในช่วงเวลาที่ไม่ใช้งาน ซึ่งได้แบ่งตารางเวลาในการควบคุมออกเป็น 3 ลักษณะ คือ ตารางควบคุมในวันทำงานปกติ (Weekday)วันสิ้นสุดสัปดาห์ (Weekend) และวันหยุดอื่นๆ (Holiday) ผู้ใช้จะต้องทราบเวลาการทำงานของอุปกรณ์แต่ละชนิดว่าจะเปิดปิดในเวลาใด เพื่อที่จะใส่ข้อมูล Input ของโปรแกรมควบคุมได้ถูกต้อง ซึ่งระบบควบคุมก็จะควบคุมเปิดปิดอุปกรณ์ตามเวลาที่ผู้ใช้ใส่ข้อมูลเข้าไป (รายละเอียดของข้อมูลจะกล่าวในหัวข้อต่อไป) โดยโหลดหนึ่งโหลดผู้ใช้จะต้องใส่ข้อมูล 3 ตารางดังกล่าว นอกจากนี้จะต้องเก็บข้อมูลวันหยุดอื่นๆ ตลอดทั้งปีไว้ด้วย เมื่อมีข้อมูลดังกล่าวแล้วก็สามารถควบคุมโหลดได้ตลอดทั้งปี โดยนำค่า วัน-เดือน-ปี และเวลา จากระบบปฏิบัติการของเครื่องคอมพิวเตอร์มาเปรียบเทียบกับค่าในตาราง เพื่อนำค่าสถานะเปิด หรือ ปิด มาควบคุมโหลดตามความต้องการ

## 2.2. การลด Demand ก่อนทำ Time Programming

หลังจากพิจารณาได้แล้วว่าโหลดใดบ้างที่จะทำการควบคุมด้วยTime Progrmming ในขั้นนี้จะทำการลด Demand โดยการจัดโหลดให้ทำงานที่เวลาต่างๆ กันเพื่อลดDemand ก่อนที่จะทำเป็นตารางเวลาการทำงานของโหลด การจัดโหลดก่อนเข้า Time Programming ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนกำลังไฟฟ้าสูงสุด แต่ก่อนที่จะทำการจัดโหลดเพื่อลดค่า Demand ให้ต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุดต้องศึกษาการทำงานของโหลดแต่ละอย่างให้ละเอียดก่อนว่าสามารถทำการเปลี่ยนแปลงหรือย้ายเวลาการทำงานของโหลดได้หรือไม่ และโหลดที่จะย้ายเวลาการทำงานจำเป็นต้องใช้คู่กับโหลดอื่น ทำให้ต้องย้ายเวลาการทำงานพร้อมกันหรือไม่ โหลดที่จะย้ายเวลาทำงานดังกล่าวได้ต้องไม่ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานหรือผลผลิตที่ได้ออกมาต่ำลง หรือเสียหายด้วย การจัดตารางเวลาการทำงานของโหลดสามารถทำได้ด้วยมือถ้าหากจำนวนโหลดไม่มากจนเกินไป และระบบตารางเวลาการทำงานของโหลดไม่ยุ่งยาก แต่ถ้าโหลดมีจำนวนมากและสภาวะการทำงานของโหลดมีเงื่อนไขมากมาย ก็อาจใช้โปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ช่วยในการจัดโหลดเพื่อลด Demand ให้ต่ำสุดโดยอาศัยหลักการ Optimization

**2.3. โครงสร้างของไฟล์ข้อมูลที่ใช้ใน Time Programming**

ไฟล์ข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมแบบ Time Programming มี 2 ไฟล์ ดังนี้

2.3.1. ไฟล์ Time-Table จะเป็นไฟล์ข้อมูลที่เก็บข้อมูลหมายเลขโหลดประเภทของวันทำงาน เวลา และสถานะของโหลดโดยมีรายละเอียดดังนี้

```
CHAR   lOAD_NO (2)
INT    DATA
INT    PERIOD
INT    STATUS
```

- load_no เป็นหมายเลขของโหลดที่ใช้ในการควบคุม โดยที่หมายเลขโหลดจะต้องไม่ซ้ำกันของการควบคุมทั้งระบบ

- Data เป็นการเก็บข้อมูลประเภทของวันโดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

1 : หมายถึงวันทำงานปกติ เช่น วันจันทร์-วันศุกร์

2 : หมายถึงวันสิ้นสุดสัปดาห์ เช่น วันเสาร์-อาทิตย์

3 : หมายถึงวันหยุดอื่น ๆ

- Period เก็บข้อมูลช่วงเวลาในการควบุม เช่น Period ละ 1 ชม. ก็จะเก็บข้อมูล (1,2...24) เป็นต้น ถ้าต้องการความละเอียดในการควบคุมมาก Period ก็จะแคบ เช่น ทุกๆ 15 นาที ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้

- Status เก็บข้อมูลว่าเปิดหรือปิดโดยกำหนดให้ 0=เปิด, 1=ปิด

2.3.2. ไฟล์ Holiday เป็นไฟล์ข้อมูลที่เก็บวันหยุดทั้งหมดโดยมีลักษณะโครงสร้างข้อมูลดังนี้

```
INT    DAY
INT    MONTH
INT    YEAR
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHAR DETAIL [30]

- Day เก็บข้อมูลวันในเดือนที่ค่าตั้งแต่ 1-31
- Month ลำดับของเดือนโดย เดือนมกราคม มีลำดับเป็น 1 และเดือนธันวาคม มีลำดับเป็น 12
- Year ปี เริ่มตั้งแต่แต่ปี 90
- Detail เก็บชื่อของวันหยุดนั้นๆ

**2.4. วิธีการในการควบคุมแบบ Time Programming**

การควบคุมแบบ Time Programming มีวิธีการในการควบคุมที่ไม่ยุ่งยากมากนัก โดยอาศัยการเปรียบเทียบ วัน เดือน ปี และเวลา จากระบบปฏิบัติการกับ วัน เดือน ปี และเวลาของโหลดนั้นๆ ในไฟล์ข้อมูลที่เก็บไว้เพื่อนำ Status มาควบคุมการเปิดปิดโหลดซึ่งมีขบวนการในการควบคุมดังนี้

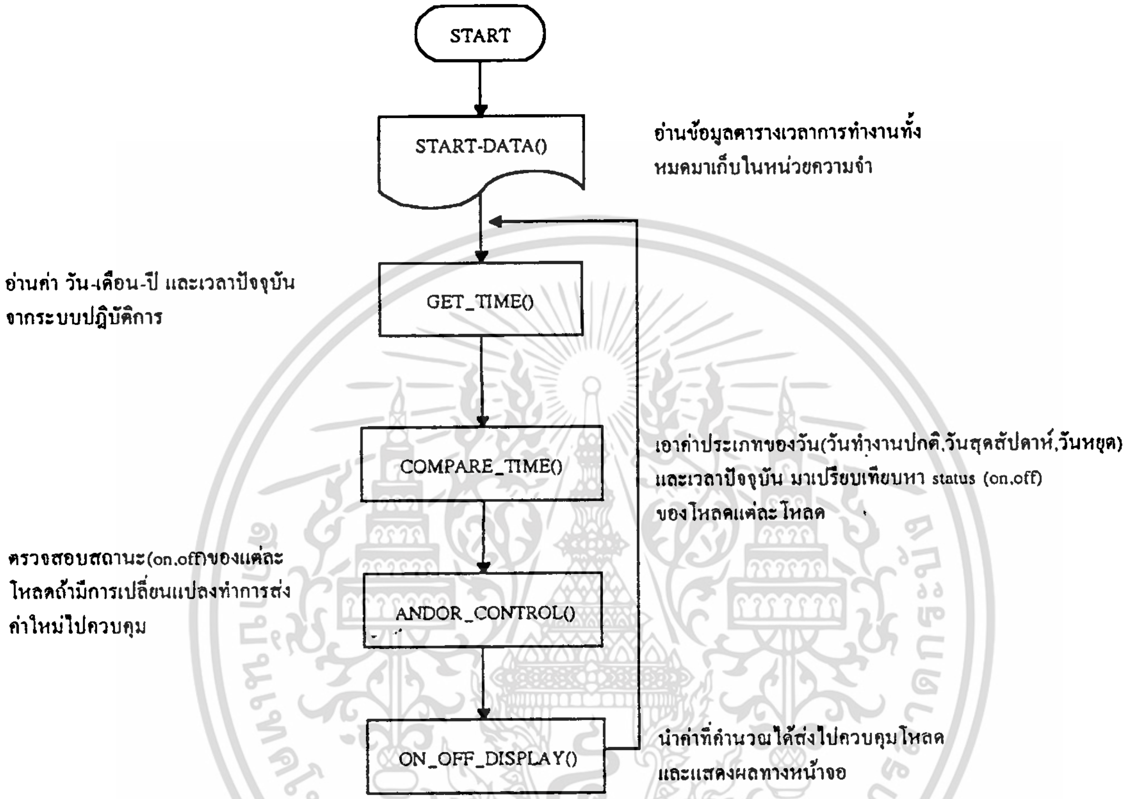
1. อ่านข้อมูลจากไฟล์ Time Table, Holiday นำค่ามาเก็บไว้ในหน่วยความจำ
2. อ่านวัน เดือน ปี และเวลาปัจจุบันจากระบบปฏิบัติ
3. ตรวจสอบว่าวันปัจจุบันเป็นวันทำงานปกติ วันหยุดสุดสัปดาห์ หรือวันหยุดอื่นๆ
4. เปรียบเทียบหา Status ของโหลดที่วัน,เดือน,ปี และเวลาปัจจุบัน
5. ตรวจสอบดูว่า โหลดนั้นๆ มีการควบคุมแบบ Duty Cycle หรือไม่ ถ้าไม่มีการควบคุมก็กำหนด Status ใหม่ที่ได้มาให้ โหลดนั้นๆ ได้เลย แต่ถ้ามีการควบคุมแบบ Duty Cycle จะต้องตรวจดูว่า Status ปัจจุบัน ปิดอยู่หรือไม่ ถ้าปิดอยู่จะไม่เปลี่ยนแปลง แต่ถ้าเปิดอยู่จะเปลี่ยนแปลงตามค่าที่คำนวณได้
6. ส่งค่าไปควบคุมโหลดและแสดง Status ปัจจุบันออกหน้าจอ

จากขั้นตอนการควบคุมสามารถเขียนเป็น Flow Chart คร่าวๆได้ดังรูปภาพที่ 2ซึ่งรายละเอียดของแต่ละฟังก์ชั่นที่เรียกใช้ ได้เขียนไว้โดยละเอียดในภาคผนวก ก.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาพที่ 2

## Flow Chart การควบคุมแบบ Time Programming




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ข้อมูลโหลดที่ใช้ศึกษาการควบคุมเพื่อประหยัดพลังงาน วันทำงานปกติ

| Load-no | Description | w | Demand mode | Duty mode | MAFT | MIFT | MINT | MAST | INT | Time Program (on periods) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | Lighting | 120 | 0 | 0 | - | - | - | - | - | 0800-1800 |
| 1 | Lighting | 640 | 0 | 0 | - | - | - | - | - | 0800-1600 |
| 2 | Lighting | 880 | 2 | 0 | - | - | - | 30 | - | 0700-1100,1300-1700 |
| 3 | AIR Conditon #1 | 320 | 1 | 1 | 12 | 4 | 3 | 25 | 20 | 0700-1600 |
| 4 | AIR Conditon #2 | 1320 | 1 | 1 | 12 | 4 | 3 | 25 | 20 | 0700-1600 |
| 5 | AIR Conditon #3 | 1320 | 1 | 1 | 12 | 4 | 3 | 25 | 20 | 0800-1800 |
| 6 | AIR Conditon #4 | 1320 | 1 | 1 | 12 | 4 | 3 | 25 | 20 | 0800-1800 |
| 7 | AIR Conditon #5 | 1320 | 1 | 1 | 10 | 3 | 3 | 20 | 15 | 0800-1800 |

MAFT : Maximum off Time
MAST : Maximum Shed Time
MIFT : Minimun off Time
INT : Time Interval

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

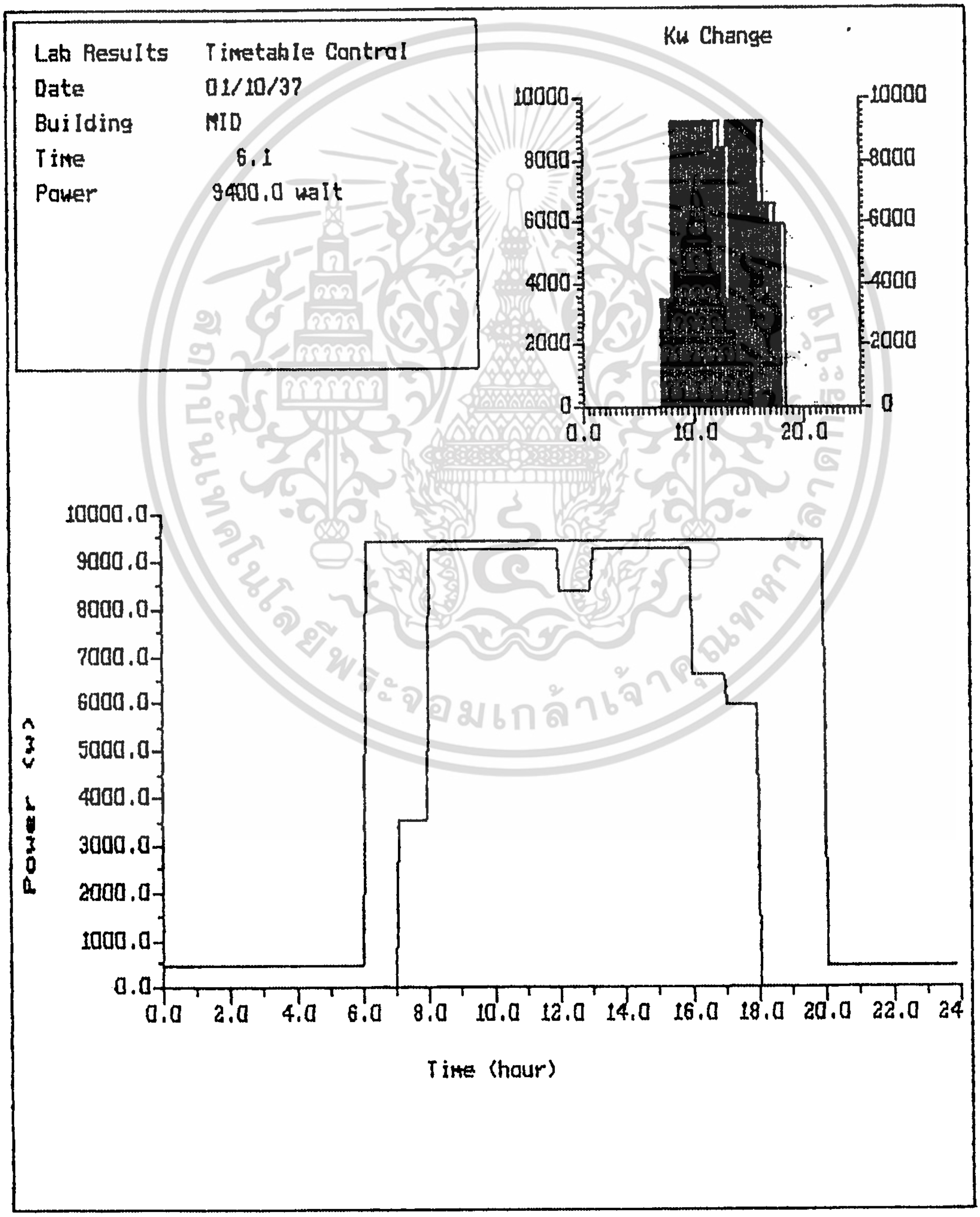
## 2.5. ตัวอย่างการควบคุมด้วย Time Programming

จากตารางที่ 1 เป็นตารางตัวอย่างของโหลดที่ใช้ในการทดลองเป็นโหลดของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารเพียงห้องเดียวแต่เป็นห้องที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ แม้อุปกรณ์ไฟฟ้าจะไม่หลากหลายแต่ก็เป็นตัวอย่างในการทดลองและศึกษาการควบคุมแบบ Time Porgramming Duty Cycle และ Demand Limiting Control ในที่นี้จะกล่าวถึงการควบคุมแบบ Time Programming เพียงอย่างเดียวจึงสนใจข้อมูลที่จะต้องใช้ในการควบคุมคือ Load-no, Description, W และ Time Program ส่วนรายละเอียดของข้อมูลอื่นๆ จะกล่าวในเรื่องนั้นๆ ในภายหลังความหมายของ Time Program ในตารางที่ 2 หมายถึงช่วงเวลาในการเปิดโหลดนั้นๆ ซึ่งส่วนนี้ผู้ใช้จะต้องกำหนดความต้องการ ดังรายละเอียดของข้อมูลที่ได้กล่าวมาแล้ว จากการทดลองควบคุมได้ผลการทดลองดังภาพที่ 3 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบก่อนการควบคุมแบบ Time Programming และหลังจากการควบคุมแบบ Time Programming ซึ่งในส่วนที่ทึบคือส่วนของพลังงานที่สามารถประหยัดได้คิดเป็น 35% ของการใช้พลังงานทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 8

เปรียบเทียบการควบคุมแบบ Time Programming กับไม่มีการควบคุม




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 3

# การควบคุมด้วยการตัดโหลดเป็นเวลา (Duty Cycle)

การควบคุมโหลดเพื่อประหยัดพลังงานมีหลายแบบ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วแต่ต้น และโดยอาศัยหลักการที่ว่าอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยมากจะถูกออกแบบให้ใช้งานโดยมีขนาดใหญ่กว่าที่จำเป็นเสมอ เพราะการหาขนาดพอเหมาะของอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อให้สัมพันธ์กับโหลดทำได้ลำบาก และดูจะเสี่ยงเกินไป ดังนั้นการหาขนาดของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานทั่วไปจึงเป็นแบบเผื่อไปทางมากไว้บางส่วน ตัวอย่างเช่นการคำนวณหาขนาดของปั๊มน้ำ ขนาดของเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น เพราะหากขนาดของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ถ้าเลือกขนาดต่ำกว่าความจำเป็นจะทำให้เกิดมีปัญหามาก ด้วยความเป็นจริงในการเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น จึงมีการหาวิธีประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าหรือโหลดดังกล่าวปิดเป็นช่วงสั้นๆ ได้โดยที่ไม่ทำให้ผลจากการทำงานเสียหายทั้งในแง่ของการใช้งานและอุปกรณ์ วิธีการปิดโหลดเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ตลอดระยะเวลาการทำงานของโหลดเรียกว่า Duty Cycle

ในบทนี้จะกล่าวถึงการควบคุมโหลดเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าแบบDuty Cycle การควบคุมแบบเอาสภาพภายนอก มาเป็นตัวควบคุมช่วงระยะเวลาการปิดโหลดในกรณีของเครื่องปรับอากาศ โปรแกรมการควบคุมของ Duty Cycle เปรียบเทียบผลของการประหยัดพลังงานทั้งในแง่ของการใช้พลังงานไฟฟ้า และการใช้กำลังสูงสุดด้วยวิธีการของ Duty Cycle

### 3.1 หลักการควบคุมด้วย Duty Cycle

การควบคุมโหลดแบบ Duty Cycle หมายถึงการปิดโหลดเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ตลอดเวลาการทำงานของโหลด โดยไม่กระทบกระเทือนต่อการทำงานของระบบหรือผลผลิตหรือพยายามให้มีส่วนกระทบน้อยที่สุด พิจารณาภาพที่ 4 ซึ่งเปรียบเทียบแสดงการทำงานของโหลดหนึ่งตัวแบบไม่มี Duty Cycle ในภาพ 4 ก) และแบบมี Duty Cycle ในภาพที่ 4 ข.)

ช่วงเวลาต่าง ๆ ที่ใช้ในการควบคุมโหลดด้วย Duty Cycle ควรได้รับการศึกษาให้เข้าใจก่อน ก่อนที่จะไปทำความเข้าใจในรายละเอียดการทำงานของระบบควบคุมเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าด้วย Duty Cycle

ช่วงเวลาปิด (OFF TIME) หมายถึงช่วงเวลาที่ปิดโหลดในแต่ละช่วงเวลาการทำงาน (INTERVEL) ในภาพ 4 ข) Toff ก็คือช่วงเวลาปิดในแต่ละช่วงเวลาการทำงาน INT ช่วงเวลาปิดใน Duty Cycle นี้แบ่งออกได้เป็นสองอย่างขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้ในการควบคุม คือช่วงเวลาปิดคงที่ (FIXED OFF TIME) และช่วงเวลาปิดที่เปลี่ยนได้ (VARIED OFF TIME)

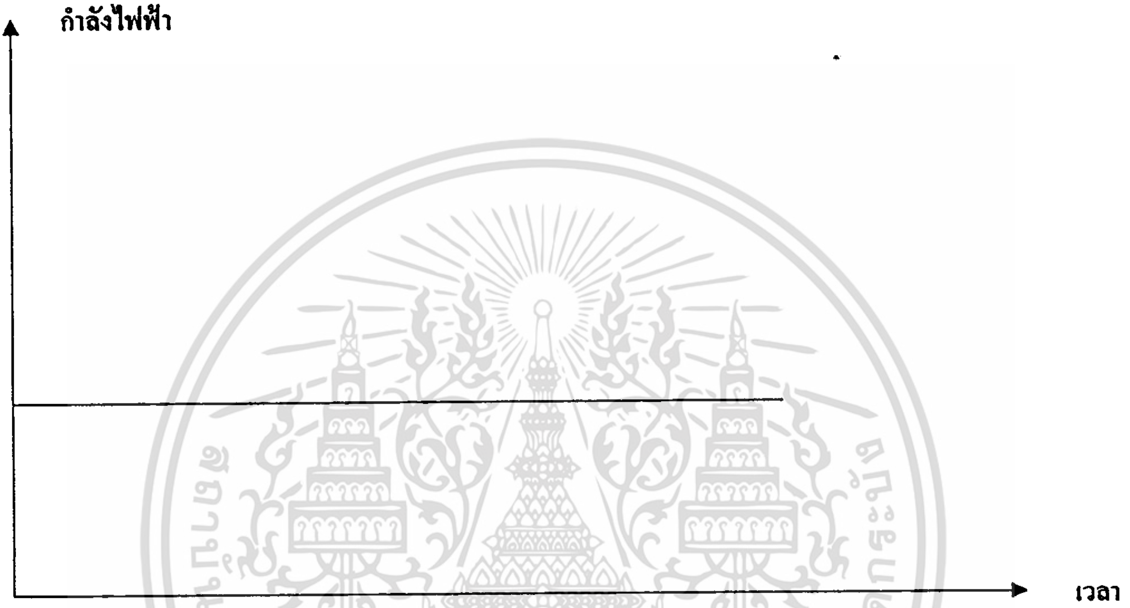
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4

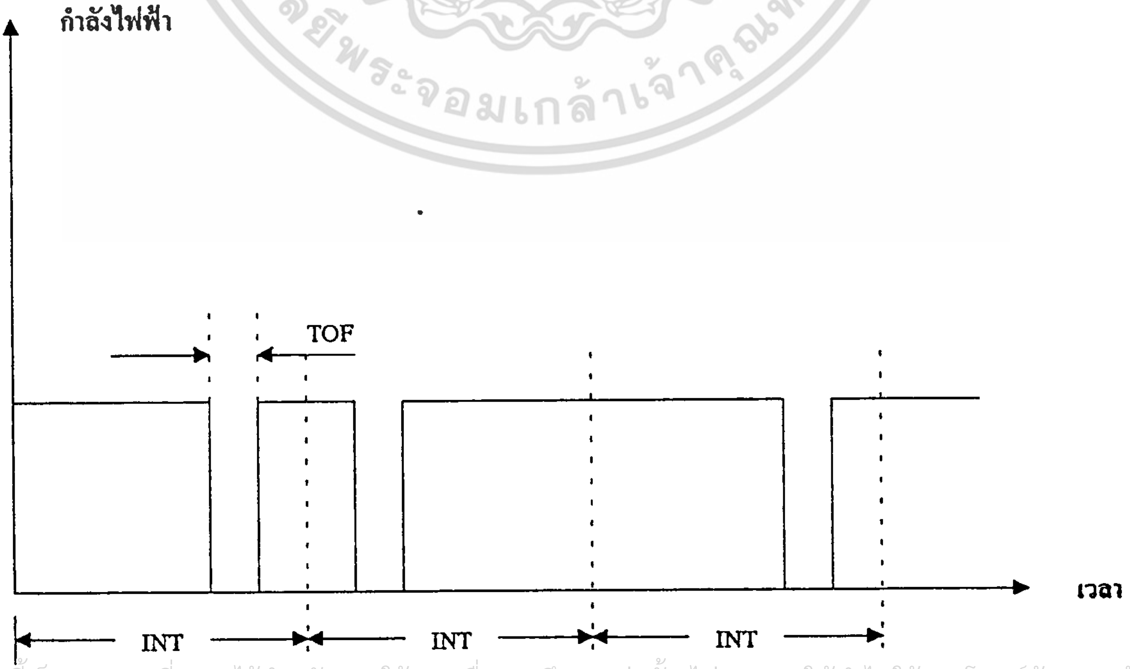
การทำงานของโหลด แบบ Duty Cycle

ก) แบบไม่มี Duty Cycle

ข) แบบมี Duty Cycle




ก)




ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงเวลาปิดคงที่ (FIXED OFF TIME) หมายถึงช่วงเวลาปิดโหลดที่มีค่าคงที่ในแต่ละช่วงเวลาการทำงาน ผู้ใช้เครื่องควบคุมเป็นผู้เลือกค่า วิธีการเลือกค่าดังกล่าวเป็นวิธีการเลือกค่าแบบเดาสุ่ม โดยดูสภาพการทำงานของโหลด และเปลี่ยนค่าดังกล่าวนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับโหลดนั้นๆ

ช่วงเวลาปิดที่แปรเปลี่ยนได้ (VARIED OFF TIME) หมายถึงช่วงเวลาปิดโหลดที่เปลี่ยนแปลงค่าไปเรื่อยๆ ตามสภาพการทำงานของโหลดและการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเครื่องควบคุมจะเปลี่ยนให้เองโดยอัตโนมัติตลอดเวลา โดยเอาผลจากการทำงานของโหลดในแต่ละเวลามาปรับค่า เช่น เครื่องปรับอากาศ ช่วงเวลาปิดที่แปรเปลี่ยนได้จะมาจากการคำนวณที่ใช้ช่วงอุณหภูมิที่สบาย อุณหภูมิของอากาศภายนอกห้องเป็นตัวแปร

ช่วงเวลาปิดต่ำสุด (MINIMUM OFF TIME) หมายถึงช่วงเวลาปิดโหลดที่มีค่าต่ำสุดโดยที่อุปกรณ์หรือโหลดสามารถทำงานได้โดยไม่ทำให้โหลดเสียหาย หรือมีอายุการใช้งานสั้นลง เช่น เครื่องปรับอากาศ โดยทั่วไปเมื่อปิดไปแล้วต้องรอระยะเวลาอย่างต่ำ 3-5 นาที (ขึ้นอยู่กับเครื่อง) ก่อนที่จะเปิดให้ทำงานได้อีกครั้ง เพราะถ้าหากไม่มีช่วงเวลาปิดต่ำสุดสำหรับเครื่องปรับอากาศแล้วจะทำให้น้ำยาในท่อความดันยังสูงอยู่ และคอมเพรสเซอร์ต้องทำงานหนักกว่าปกติอายุการใช้งานจะต่ำลง

ช่วงเวลาปิดสูงสุด (MAXIMUM OFF TIME) หมายถึงช่วงเวลาปิดโหลดที่สูงสุดที่โหลดยังทำงานได้ โดยไม่ทำให้ผลที่เกิดจากการทำงานของโหลดผิดเป้าหมาย เช่นในเครื่องปรับอากาศ ช่วงเวลาปิดสูงสุดคือช่วงเวลาที่สามารถปิดโหลดได้นานที่สุด โดยที่ยังไม่สูญเสียความสบาย (Comfort)

ช่วงเวลาเปิดต่ำสุด (MINIMUM ON TIME) หมายถึงช่วงเวลาเปิดโหลดที่ต่ำสุดก่อนที่จะปิด การกำหนดช่วงเวลาต่ำสุดดังกล่าวก็เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์มีอายุการใช้งานสั้นลง เช่น มอเตอร์ควรมีการเดินเครื่องด้วยระยะเวลาหนึ่งก่อนที่จะหยุด ทั้งนี้เป็นเพราะตอนเริ่มเดินเครื่องมอเตอร์จะดึงกระแสเริ่มแรกสูงทำให้เกิดความร้อนสะสมในขดลวดมาก ดังนั้นควรเดินเครื่องสักระยะหนึ่งเพื่อให้มีการระบายความร้อนก่อนที่จะหยุดเครื่อง เป็นต้น

ช่วงเวลาการทำงาน (INTERVAL) หมายถึงช่วงระยะเวลาการทำงานของโหลดที่จะมีการปิดโหลดหนึ่งครั้ง ดังแสดงด้วยช่วงระยะเวลา INT ในภาพที่ 4 ข)การเลือกช่วงเวลาการทำงานนี้ผู้ใช้ต้องเป็นผู้เลือกให้เหมาะสม โดยโหลดที่สำคัญจะมีการปิดเปิดบ่อยครั้งกว่าโหลดที่สำคัญรองลงมา และช่วงเวลาปิดควรสั้นเมื่อเทียบกับช่วงเวลาการทำงาน

การควบคุมโหลดแบบ Duty Cycle ที่ทำในงานวิจัยนี้เป็นแบบช่วงเวลาปิดที่แปรเปลี่ยนได้ เนื่องจากโหลดที่จะทำ Duty Cycle ได้เกือบทั้งหมดเป็นเครื่องปรับอากาศ และเป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้กำลังไฟฟ้ามากที่สุดในอาคารพาณิชย์ประมาณ 50-70% ของกำลังไฟฟ้าทั้งหมดในอาคาร ดังนั้นช่วงเวลาปิดที่แปรเปลี่ยนได้ที่ใช้จึงคำนวณจากตัวแปรที่อุณหภูมิทั้งย่านอุณภูมิที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สบายภายใน และอุณหภูมิภายนอกห้องการควบคุมโหลดแบบ Duty Cycle ที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ จะกล่าวทั้งแบบช่วงเวลาปิดคงที่และช่วงเวลาปิดที่แปรเปลี่ยนได้ เพื่อให้เห็นข้อแตกต่างของการควบคุมทั้งสองระบบ แต่จะกล่าวรายละเอียดทางด้าน Duty Cycle แบบช่วงเวลาปิดที่แปรเปลี่ยนได้มากกว่าเนื่องจากเป็นแบบที่ทำในงานวิจัยนี้

**3.1.1 Duty Cycle แบบช่วงเวลาปิดคงที่**

การควบคุมโหลดด้วย Duty Cycle แบบช่วงเวลาปิดคงที่ ที่มีใช้กันในเครื่องควบคุมที่ขายกันมีสองอย่างคือ อย่างไม่มีการวัดอุณหภูมิ และอย่างมีการวัดอุณหภูมิเพื่อมาเปลี่ยนค่าช่วงเวลาปิดคงที่

Duty Cycle แบบช่วงเวลาปิดคงที่อย่างไม่มีการวัดอุณหภูมินี้ ผู้ใช้เป็นผู้กำหนดช่วงเวลาปิดที่คงที่ และช่วงเวลาการทำงาน ช่วงเวลาปิดที่คงที่นี้จะอยู่ในส่วนใดในช่วงเวลาการทำงานไม่แน่นอน พิจารณาภาพที่ 4 ข) ประกอบจะเห็นว่าช่วงเวลาปิดอาจอยู่ตอนต้น หรือตอนท้ายของช่วงเวลาการทำงานก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระบบการจัดด้วย เครื่องควบคุมที่จะให้โหลดทั้งหมดที่ควบคุมอยู่มีช่วงเวลาปิดที่กระจายสม่ำเสมอโดยไม่เกิดขึ้นมาก หรือพร้อมกันในเวลาเดียวกันซึ่งเรียกว่า Load Manager Duty Cycle แบบนี้ไม่มีการวัดอุณหภูมิดังนั้นอาจจะเกิดความไม่สบายขึ้นได้เพราะตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าการกำหนดช่วงเวลาปิดให้เหมาะสมต้องขึ้นอยู่กับแฟกเตอร์หลายอย่างตั้งแต่ อุณหภูมิภายนอกห้อง อุณหภูมิภายในห้อง ซึ่งยังขึ้นกับขนาดห้องและจำนวนคนภายในห้อง

Duty Cycle แบบช่วงเวลาปิดคงที่อย่างมีการวัดอุณหภูมิอาศัยการเปรียบเทียบอุณหภูมิที่รับมาจาก Temperature Sensor กับค่าอุณหภูมิสบายภายในห้องที่ตั้งไว้ ว่าควรมีการปลดโหลดด้วยค่าช่วงเวลาปิดที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าหากอุณหภูมิห้องเป็นค่าที่ไม่สบายในช่วงเวลาการทำงานถัดไปจะไม่มีการปลดโหลด เครื่องควบคุมบางรุ่นในบางบริษัทก็มีช่วงเวลาปิดคงที่สองค่า คือเมื่ออุณหภูมิภายในห้องเย็นก็ปลดโหลดโดยมีช่วงเวลาปิดที่คงที่นานถ้าอุณหภูมิภายในห้องอยู่ในช่วงที่สบายการปลดโหลดจะทำโดยมีช่วงเวลาปิดที่คงที่สั้น และถ้าอุณหภูมิภายในห้องร้อนก็จะไม่มีการโหลด

Duty Cycle แบบช่วงเวลาปิดคงที่อย่างมีการวัดอุณหภูมิ มีการควบคุมโหลดที่ดีกว่าแบบไม่มีการวัดอุณหภูมิ เพราะมีการตรวจสอบตลอดเวลาว่าอุณหภูมิภายในห้องอยู่ในช่วงที่สบายหรือไม่ แต่การทำ Duty Cycle แบบนี้ก็ยังใช้ช่วงเวลาปิดคงที่อยู่ จึงมีข้อเสียที่ว่ายังไม่ประหยัดพลังงานเท่าที่ควร เพราะถ้าหากในช่วงเวลาการทำงาน (INTERVAL) มีการปลดโหลดให้ได้ช่วงเวลาปิดเท่ากับที่กำหนดไว้ ระหว่างที่ปลดโหลดออก Sensor อาจจะรายงานว่าอุณหภูมิห้องไม่สบายแล้ว แม้จะไม่มาก แต่ส่งผลให้ไม่มีการปลดโหลดในช่วงเวลาการทำงานถัดไป และในช่วงเวลาการทำงานนี้อาจเย็นเกินความจำเป็นทำให้ไม่ประหยัดพลังงานไฟฟ้าเท่าที่ควร ซึ่งถ้าเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Duty Cycle แบบช่วงเลาปิดแปรเปลี่ยนได้นั้นก็จะจัดให้มีช่วงเวลาปิดสั้นลงอีกเล็กน้อย แทนที่จะไม่ให้มีการปลด

### 3.1.2 Duty Cycle แบบช่วงเวลาปิดแปรเปลี่ยนได้

การควบคุมโหลดด้วย Duty Cycle แบบช่วงเวลาปิดแปรเปลี่ยนได้นี้จะมีการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาปิดตามอุณหภูมิภายในห้องที่รับเข้ามาว่ายังอยู่ในช่วงอุณหภูมิสบายที่ตั้งไว้ (Comfort Temperature Range) หรือไม่ ถ้าหากอุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้อยู่ในช่วงสบายแต่ค่อนไปทางอุณหภูมิสูง ช่วงเวลาปิดที่เครื่องควบคุมการทำงานก็มีค่าน้อย แต่ถ้าอุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้มีค่าค่อนไปทางอุณหภูมิต่ำช่วงเวลาปิดที่คำนวณและจะใช้ก็มีค่าสูงวิธีนี้ดีกว่าการทำ Duty Cycle แบบช่วงเวลาปิดคงที่เพราะมีการปรับช่วงเวลาปิดตลอดเวลาเพื่อรักษาอุณหภูมิห้องให้สบาย ช่วงเวลาปิดที่คำนวณออกมาได้ถ้าหากมีค่าต่ำกว่าช่วงเวลาปิดต่ำสุดก็ใช้ช่วงเวลาปิดต่ำสุด แต่ถ้าช่วงเวลาปิดที่คำนวณออกมาได้มีค่าสูงมากไป ก็ใช้ช่วงเวลาปิดสูงสุดเป็นเกณฑ์

ข้อมูลอินพุทที่จะใช้สำหรับโปรแกรมทำ Duty Cycle แบบมีช่วงเวลาปิดที่แปรเปลี่ยนได้นี้สำหรับโหลดแต่ละตัวมี ช่วงเวลาปิดต่ำสุด ช่วงเวลาปิดสูงสุด อุณหภูมิย่านสบายต่ำสุด อุณหภูมิสบายสูงสุด ช่วงเวลาเปิดต่ำสุด การคำนวณค่าช่วงเวลาปิดที่แปรเปลี่ยนได้ตามอุณหภูมิภายในห้อง และอุณหภูมิย่านที่สบาย สามารถทำได้โดยพิจารณาภาพที่ 5 ประกอบ การที่ให้เครื่องควบคุมมีช่วงเวลาปิดที่แปรเปลี่ยนได้อยู่ในย่านช่วงเวลาปิดที่สูงสุด และต่ำสุด ก็เพื่อไม่ให้เกิดความไม่สบาย (Uncomfort) และความเสียหายต่ออุปกรณ์เนื่องจากความร้อนสูงเกินไป (Overheating) ตามลำดับ

ในภาพที่ 5 $T_L$ เป็นอุณหภูมิต่ำสุดของอุณหภูมิย่านสบาย และ $T_H$ เป็นอุณหภูมิสูงสุดของอุณหภูมิย่านสบาย การกำหนดช่วงเวลาปิดต่ำสุดเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิห้องมีค่า $T_H$ และช่วงเวลาปิดสูงสุดเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิห้องมีค่า $T_L$ ช่วงเลาปิดอื่นๆ $T_{OFF}$ ในอุณหภูมิย่านสบาย $T_S$ ใดๆ ก็สามารถคำนวณได้โดยพิจารณาภาพที่ 5 ประกอบโดยใช้หลักการสามเหลี่ยมคล้าย

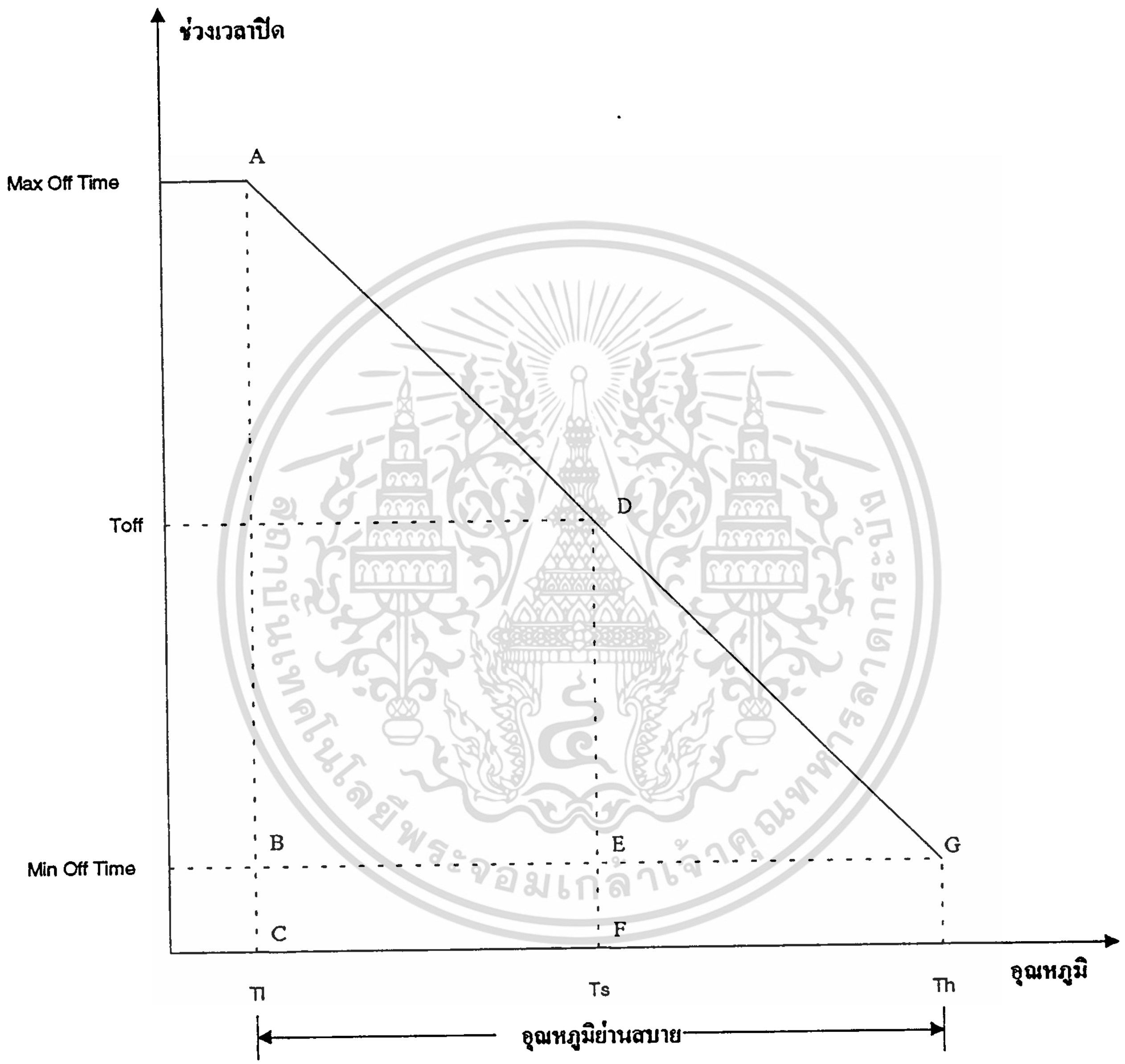
$$\frac{AB}{DE} = \frac{BG}{EG} \qquad (3.1)$$

$$\frac{T_{OFF(MAX)} - T_{OFF(MIN)}}{T_{OFF} - T_{OFF(MIN)}} = \frac{T_H - T_L}{T_H - T_S} \qquad (3.2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 5

ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องและช่วงเวลาปิด




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ Q เป็นอัตราส่วน $\frac{T_H - T_S}{T_H - T_L}$ (3.3)

$$\frac{T_{OFF} - T_{OFF(MIN)}}{T_{OFF(MAX)} - T_{OFF(MIN)}} = Q$$

$$T_{OFF} = (T_{OFF(MAX)} - T_{OFF(MIN)})Q + T_{OFF(MIN)} \quad (3.4)$$

ช่วงเวลาปิด TOFF ที่คำนวณได้จากสมการที่ (3.4) เป็นช่วงเวลาปิดที่จะเกิดขึ้นในหนึ่งช่วงเวลาการทำงาน สำหรับช่วงเวลาปิด $T_{OFF(MAX)}$, $T_{OFF(MIN)}$, $T_L$ $T_H$ และ INT ช่วงเวลาการทำงานผู้ใช้จะเป็นผู้กำหนดว่าควรเป็นเท่าใด หลักการในการกำหนดค่าต่างๆ เหล่านี้พอพิจารณาเป็นแนวทางได้คือ โหลดใดที่มีการปิดเปิดบ่อยจะให้ความสบายมากกว่าโหลดที่มีการปิดเปิดน้อย ทำให้พอกะเกณฑ์ช่วงเวลาการทำงานได้ เช่นเครื่องปรับอากาศในห้องที่ต้องการความสบายอาจใช้ช่วงเวลาการทำงาน 15-20 นาที แต่ถ้าในห้องที่ไม่สำคัญมาก หรือในช่วงเวลานั้นมีการใช้งานไม่มากช่วงเวลาการทำงานอาจยาวถึง 30-60 นาที ส่วนค่า $T_{OFF(MAX)}$ และ $T_{OFF(MIN)}$ ที่ผู้ใช้จะเลือกค่านั้นต้องทราบสภาพการณ์การใช้เครื่องปรับอากาศ นั่นคือเครื่องปรับอากาศนั้นเกินขนาดที่ควรใช้มากเท่าใด ถ้าหากใช้เครื่องปรับอากาศเกินขนาดมากช่วงเวลาที่เปิดเพื่อให้เย็นสบายก็ใช้สั้นมาก ดังนั้นช่วงเวลาปิดก็นานได้ เช่นเครื่องปรับอากาศที่ใช้เกินขนาดในห้องๆ หนึ่งอาจตั้งช่วงเวลาการทำงาน 20 นาที และใช้ช่วงเวลาปิดสูงสุด 15 นาที ช่วงเวลาปิดต่ำสุด 8 นาที เป็นต้น อุณหภูมิย่านต่ำสุดและสูงสุดที่ใช้กันทั่วไปคือ 23-25 องศาเซลเซียล

การที่ใช้หลักการของสามเหลี่ยมคล้ายหาค่า Toff นั้นก็เนื่องจากการกระจายความร้อนระหว่างภายนอกอาคาร และภายในอาคารเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ และปริมาณความร้อนที่กระจายระหว่างอาคารภายนอกและภายในสัมพันธ์โดยตรงกับเวลา คือเมื่อเวลามากขึ้นก็มีการกระจายความร้อนมากขึ้น ดังนั้นความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาใดของระบบทำความเย็นจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิภายในห้อง

### 3.1.3 การกระจายให้โหลดปิดที่เวลาต่างกัน

ในการควบคุมโหลดด้วย Duty Cycle จะให้โหลดแต่ละโหลดปิดหนึ่งครั้งในหนึ่งช่วงเวลาการทำงาน (Interval) ช่วงเวลาที่ปิดโหลดจะให้นานเท่ากับเวลาที่คำนวณได้ตามสมการที่ (3.4) ในการทำ Duty Cycle ต้องมีวิธีการจัดการให้โหลดที่ปิดในแต่ละช่วงเวลาการทำงานเกิดขึ้นที่เวลาต่าง ๆ กัน เพื่อว่าโหลดทั้งหมดจะได้ไม่เปิดทำงานพร้อมกันในเวลาเดียวกันอันจะทำให้กำลังไฟฟ้ารวมที่ใช้สูง พิจารณาภาพที่ 6 ของโหลด 3 โหลดขนาดเท่ากันและเวลาปิดเปิดเท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันที่ถูกควบคุมด้วย Duty Cycle ภาพที่ 6 ก) มีการทำ Duty Cycle แต่ไม่มีวิธีการกระจายโหลดให้ปิดต่างเวลากันทำให้มีการใช้กำลังไฟฟ้ารวมสูงกว่าแบบมีการกระจายโหลดให้ปิดที่เวลาต่างกัน

การกระจายโหลดให้ปิดที่เวลาต่างๆกันสามารถทำได้โดยพิจารณาหาจำนวนโหลด ที่ควรจะให้มีการปิดในแต่ละเวลาให้มีจำนวนพอๆ กันในกรณีที่ขนาดของโหลดมีขนาดใกล้เคียงกัน แต่ถ้าขนาดของโหลดมีขนาดแตกต่างกันมากค่า NF ควรเป็นฟังก์ชั่นของขนาดโหลดด้วยกล่าวคือ NF จะมีค่ามาก ในกรณีที่ให้โหลดขนาดเล็กปิดพร้อมกัน และ NF ควรจะมีค่าน้อยเมื่อจะปิดโหลดขนาดใหญ่ ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดค่า Demand สูง

สำหรับในงานวิจัยนี้ใช้กับโหลดที่เป็นเครื่องปรับอากาศเสียส่วนใหญ่ ซึ่งจะมีขนาดไม่แตกต่างกันมากนัก จึงใช้วิธีแรก คือปิดโหลดในแต่ละเวลาด้วยจำนวนพอๆ กัน โดยคิดจาก probabillity เพื่อหาจำนวนโหลดเฉลี่ยดังสมการ

$$NF = \sum_{I=1}^{N} \frac{TOFF(i)}{INT(i)} \qquad (3.5)$$

NF = จำนวนโหลดเฉลี่ยที่ควรให้ปิดตลอดเวลา

TOFF(i) = ช่วงเวลาปิดที่คำนวณตามสมการที่ (3.4) ของโหลด i

INT(i) = ช่วงเวลาการทำงาน (Interval) ของโหลด i

N = จำนวนโหลดทั้งหมดที่ทำ Duty Cycle

เมื่อได้จำนวนโหลดเฉลี่ยที่จะปิดในแต่ละเวลาได้แล้ว ปัญหาต่อไปจะใช้วิธีการอย่างไรในการปิดโหลดเพื่อให้ได้เท่ากับจำนวนโหลดเฉลี่ย NF ตลอดเวลา ก่อนที่จะหาวิธีการที่จะใช้ต้องทำความเข้าใจหลักการปิดและเปิดโหลดก่อนดังนี้

ก. โหลดแต่ละโหลดต้องมีการปิดหนึ่งครั้งในหนึ่งช่วงเวลาการทำงาน(Interval)

ข. โหลดใดที่มีการเปิดแล้วเท่า INT(i) - TOFF(i) ต้องปิดทันทีเพื่อให้เป็นไปตามข้อ ก. และมีช่วงเวลาปิดโหลดในแต่ละช่วงเวลาการทำงานเท่ากับ TOFF(i)

ค. ถ้าปิดโหลด i เป็นเวลา TOFF(i) แล้วต้องเปิดทันที

ในการปิดโหลดเพื่อให้จำนวนโหลดที่ถูกปิดมีจำนวนเท่ากับ NF หรือใกล้เคียงตลอดเวลาทำได้ดังนี้ คือเมื่อเริ่ม Duty Cycle ให้ปิดโหลดเรียงลำดับมาให้เท่ากับจำนวนNF และเมื่อโหลดใดที่ถูกปิดไปเป็นเวลานานเท่ากับ $T_{OFF}$ ที่คำนวณมาได้ของโหลดนั้นก็ต้องเปิดโหลดนั้นทำให้จำนวนโหลดที่ถูกปิดมีค่า NF-1 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปิดโหลดอื่นหนึ่งโหลด เพื่อให้ได้จำนวนโหลดที่ปิดเท่ากับ NF วิธีการเลือกว่าโหลดใดควรจะปิดต่อไปจะพิจารณาว่าโหลดใดที่จะหมดช่วงเวลาการทำงานแล้ว แต่ยังไม่ได้ปิดมาเลยก็ให้ปิดโหลดนั้นโดยคิดว่าถ้ารวมเวลาที่ต้องปิดคือ TOFF(i) กับค่าเวลาที่โหลดเคยเปิดมาเท่ากับ TON(i) ลบออกจากค่า INT(i) แล้วโหลดใดมี

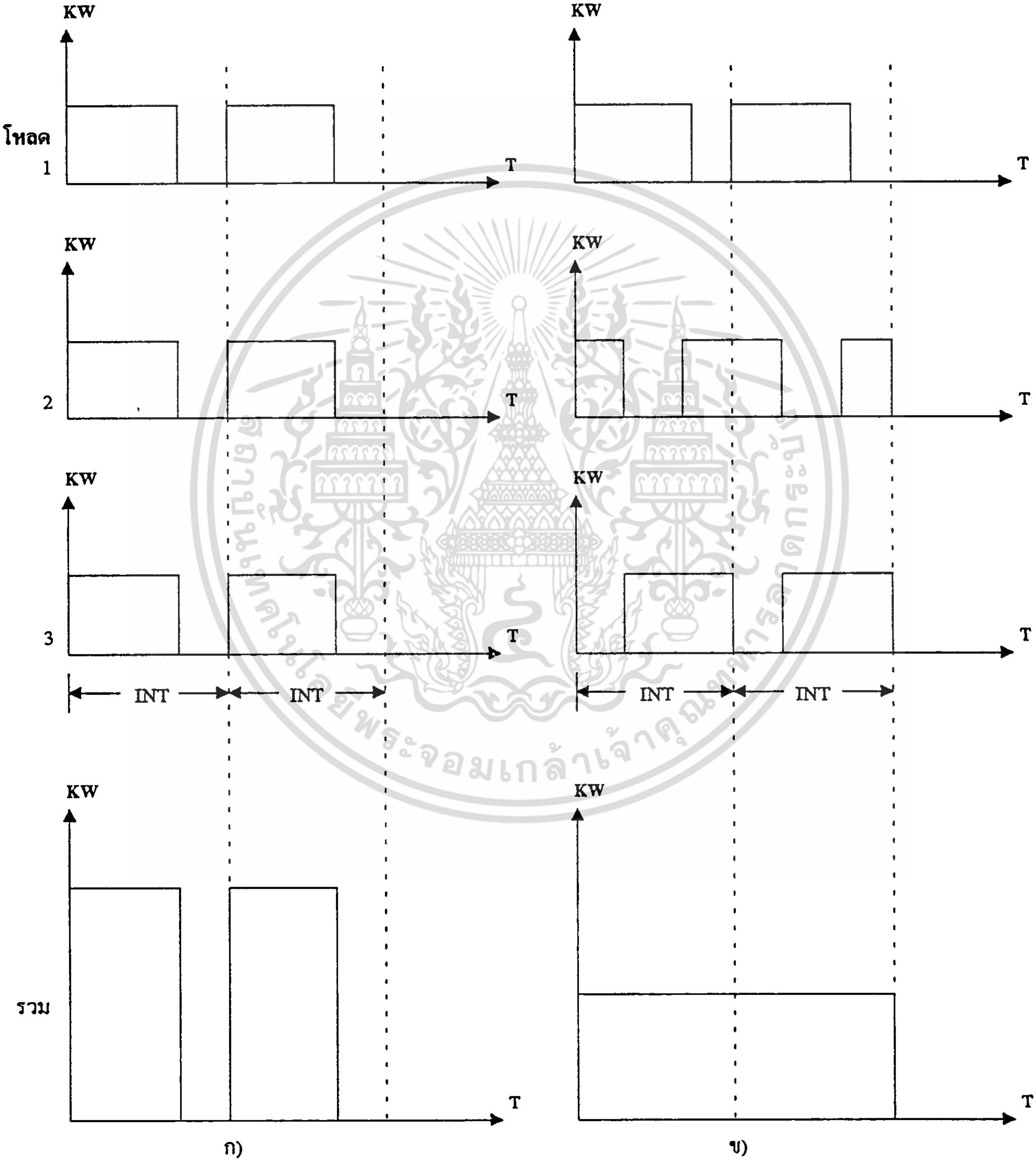
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาพที่ 6**

**การควบคุมโหลดด้วย Duty Cycle**

**ก)โหลดปิดที่เวลาเดียวกัน**

**ข)โหลดปิดที่เวลาต่างๆกัน**




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาเหลือน้อยที่สุดก่อนหมดช่วงเวลาการทำงาน (INT) ก็จะเลือกโหลดตัวนั้นปิดก่อนหรือเขียนได้เป็น

โหลดที่จะถูกปิดต่อไปคือโหลดที่มีค่า

$$\frac{TON(i) + TOFF(i)}{INT(i)} \quad \text{มากที่สุด} \qquad (3.6)$$

ในช่วงเวลาใดๆ สมมุติว่ามีโหลดปิดอยู่เป็นจำนวน NF เมื่อเวลาผ่านพ้นไปแล้วเกิดมีโหลดที่เปิดไปแล้วเท่ากับ INT(i)-TOFF(i) ก็ปิดโหลดนั้นทันทีทำให้จำนวนโหลดที่ถูกปิดมีค่า NF+1 ในกรณีนี้ก็ต้องรอให้เวลาผ่านพ้นไปจนกระทั่งเกิดโหลดที่จะถึงเวลาเปิดก็เปิดเพื่อให้ได้จำนวนโหลดเท่า NF คงเดิม เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจในการปิดเปิดโหลดเพื่อทำ Duty Cycle พิจารณาตัวอย่างในภาพที่ 7 ที่มีโหลดทั้งหมด 15 โดยที่กำหนดค่า TOFF ของโหลดแต่ละตัวคงที่ (ตามความเป็นจริงแล้วในโปรแกรมจะมีการเปลี่ยนค่า TOFF ตลอดเวลาแต่เพื่อผลในการทำความเข้าใจจึงสมมุติให้คงที่เฉพาะตัวอย่างนี้)

จำนวนโหลดเฉลี่ยที่จะต้องปิดในแต่ละเวลา

$$NF = \sum_{i=1}^{N} \frac{TOFF(i)}{INT(i)}$$

$$\frac{4}{8} + \frac{4}{16} + \frac{2}{4} + \frac{15}{16} + \frac{8}{16} + \frac{5}{8} + \frac{5}{15} + \frac{2}{10}$$

$$\frac{3}{8} + \frac{4}{10} + \frac{5}{15} + \frac{4}{10} + \frac{6}{12} + \frac{4}{16} + \frac{2}{8}$$

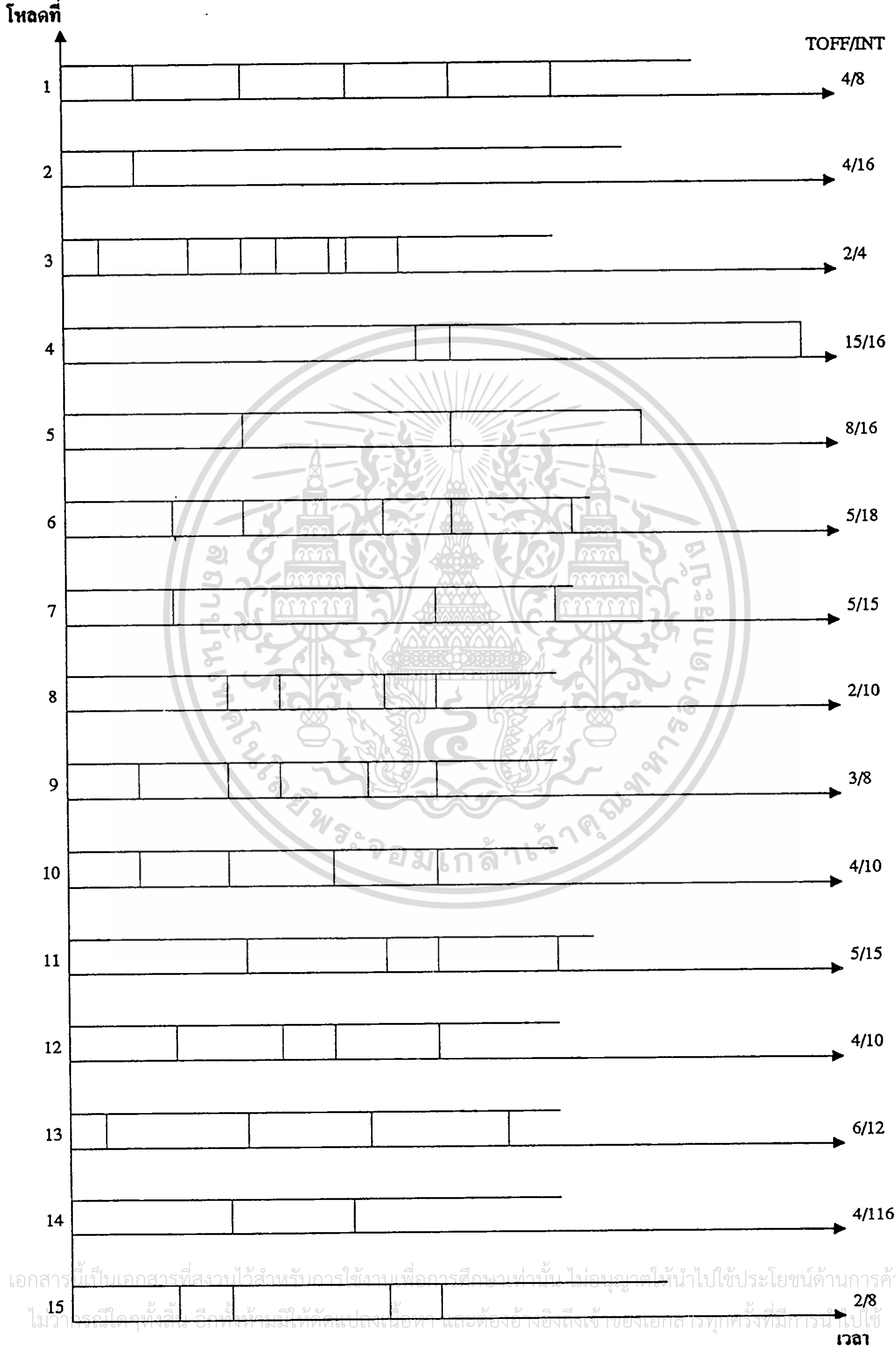
$$= 6.3$$

สมมุติเลือก NF เป็นจำนวนเต็ม 7 (ซึ่งจะอธิบายในตอนท้ายของตอนนี้เกี่ยวกับผลของการเลือก NF เป็นจำนวนเต็มทางด้านน้อย และด้านมากว่ามีผลอย่างไรต่อการควบคุมด้วย Duty Cycle )ให้เริ่มปลดโหลดออก 7 โหลดเรียงลำดับดังในรูป ในนาทีที่ 2 โหลดที่ 3 ปิด ไปแล้วครบ 2 นาที ก็เปิดทำให้มีโหลดปิดอยู่ในขณะนี้ 6 โหลด จึงต้องพิจารณาโหลดจะต้องปิดโดยใช้มาตรการตาม (3.6) ก็ได้โหลดที่ 13 ทีมีค่า (( TON + TOFF) / INT ) มากที่สุดก็ให้ปิดโหลดที่ 13 เมื่อถึงนาทีที่ 4 โหลด 1 และ 2 มีช่วงเวลาปิดครบเท่ากับ TOFF ก็ต้องหาโหลดที่จะมาปิด 2 โหลดในนาทีนี้ ซึ่งก็ได้แก่โหลดที่ 9 และ 10 ในนาทีที่ 5 มีโหลด 6 และ 7 ที่ถึงเวลาเปิดก็ให้

เอกสาร ... เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาพที่ 7**

**ตัวอย่างแสดงการทำ Duty Cycle ของโหลด 15 โหลด**




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาปิดโหลดที่ 12 และ 15 ซึ่งค่า (( TON +TOFF ) / INT) มากที่สุดเมื่อเทียบกับโหลดอื่น ในนาทีที่ 6 จำเป็นต้องปิดโหลด 3 เนื่องจากถ้าไม่ปิดตอนนี้จะทำให้โหลด 3 มีเวลาปิดไม่ถึง 2 นาที ตามที่กำหนดทำให้จำนวนโหลดที่ปิดรวมเป็น 8 โหลด ในนาทีที่ 7 มีโหลดที่ต้องเปิดเนื่องจากช่วงเวลาปิดมานานเท่ากับที่กำหนดแล้วคือโหลดที่ 9,10 และ 15 ทำให้โหลดรวมที่ปิดอยู่เท่ากับ 5 โหลดจึงต้องหาโหลดที่จะปิดอีก 2 โหลดเพื่อให้จำนวนโหลดถูกปิดเท่ากับ 7 โดยใช้มาตรการตาม (3.6) จะได้โหลดที่ 8 และ 14 ที่ต้องปิด การปิดและเปิดของโหลดเพื่อให้คงจำนวนโหลดที่ปิดให้เท่ากับ7 ก็ดำเนินการเช่นนี้เรื่อยๆ ไป

เมื่อเข้าใจวิธีการปิดโหลดให้กระจายที่เวลาต่างกันแล้ว คราวนี้ลองมาพิจารณาถึงการเลือกค่า NF เป็นจำนวนเต็มทางด้านน้อยและมาก จากตัวอย่างที่แสดงจะเห็นว่ากรณีที่คำนวณได้ NF= 6.3 แต่เลือก NF=7 ทำให้เกิดการปิดโหลดในแต่ละเวลามากกว่าค่าเฉลี่ย 0.7 และเกิดการสะสมค่าเฉลี่ยจำนวนโหลดที่ปิดเพิ่มขึ้น ดังนั้นบางช่วงเวลาจึงมีโหลดที่จะปิดได้ไม่ถึง 7 เช่นในช่วงนาทีที่ 15,16 มีโหลดปิดได้เพียง 6 และ 3 ตามลำดับ แต่ถ้าเลือกใช้ NF=6 ในตัวอย่างนี้จะทำให้บางเวลามีจำนวนโหลดที่ปิดได้เกินกว่า 6 คือ อาจถึง 7, 8 ดังนั้นการเลือก NF จึงควรเลือกไปในทางต่ำไว้จะดีกว่า เพราะมีโอกาสลดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้มากกว่าเลือก NF ไปในทางสูง ตัวอย่างที่เห็นได้ชัด เช่น คำนวณ NF ได้เท่ากับ 1.3 ถ้าเลือกใช้ NF=2 ในบางเวลาอาจมีโอกาสที่ไม่สามารถปิดโหลดได้เลย ทำให้โหลดทุกตัวทำงานพร้อมกัน กำลังไฟฟ้ารวมจึงสูง แต่ถ้าเลือก NF=1 บางเวลาอาจมีโหลดที่ต้องถูกปิดจำนวน 2 หรือ 3 ตัว จะเห็นว่า ในกรณีหลังนี้มีโหลดปิดตลอดเวลาอย่างน้อยหนึ่งโหลดทำให้กำลังไฟฟ้ารวมลดลงกว่าเมื่อใช้ NF=2

**3.1.4 การควบคุมด้วย Duty Cycle เมื่อใช้ร่วมกับ Time Programming และ Demand Limiting Control**

การควบคุมด้วย Duty Cycle (DC) ของโปรแกรมควบคุมเพื่อประหยัดพลังงานนี้สามารถใช้ร่วมกับ Time Programming (TP) และ Demand Limiting Control (DLC) ได้ การควบคุมโหลดของโปรแกรมที่ทำขึ้นแบ่งออกได้เป็น 4 แบบขึ้นอยู่กับการเลือกใช้คือ TP อย่างเดียว TP & DC TP & DLC และ TP & DC & DLC

TP เป็นโปรแกรมกำหนดเวลาเปิดและปิดของโหลดในกรณีที่การควบคุมโหลดร่วมกับ DC โหลดที่ถูกกำหนดให้ทำงานตามเวลาใน TP ก็จะถูกทำ Duty Cycle ด้วย

การควบคุมโหลดของโปรแกรมด้วย TP & DLC นั้นโหลดทุกโหลดจะทำงานตาม TP เมื่อกำลังไฟฟ้ารวมเฉลี่ยของโหลดทั้งหมดมีค่าต่ำกว่ากำลังไฟฟ้าที่ตั้งไว้ หรือ Target แต่เมื่อกำลังไฟฟ้ารวมเฉลี่ยของโหลดมีค่ามากกว่า Target โหลดที่เปิดทำงานตาม TP อยู่ก็จะถูกควบคุมด้วย DLC ให้ปลดตามลำดับความสำคัญที่ตั้งไว้ เมื่อปลดโหลดพ้นสภาวะวิกฤตแล้วก็จะให้โหลดกลับเข้าทำงานที่กำหนดไว้ใน TP แต่ทั้งนี้ก็ควบคุมไม่ให้กำลังไฟฟ้ารวมเกินกว่า Target เมื่อกราฟของโหลดตกลง การให้โหลดทั้งหมดกลับเข้าทำงาน แล้วกำลังไฟฟ้ารวมไม่เกิน Target

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลดทั้งหมดก็จะทำงานตามกำหนดเวลาใน TP และพ้นจาการควบคุมด้วย DLC รายละเอียดวิธีการปลดโหลดและควบคุมโหลดให้เข้าทำงานจะกล่าวในเรื่องการควบคุมด้วย DLC

การควบคุมโหลดของโปรแกรมด้วย TP, DC และ DLC รวมกันก็มีหลักการควบคุมเหมือนกับแบบ TP & DC ยกเว้นกรณีที่การใช้กำลังไฟฟ้าสูงเกินกว่า Target ก็ให้โปรแกรม DLC เข้ามาควบคุม เมื่อเข้าสภาวะที่กำลังไฟฟ้ารวมของโหลดทั้งหมดที่ทำงานต่ำกว่า Targer ก็ควบคุมด้วย TP & DC ตามเดิม

## 3.2 โปรแกรมควบคุมด้วย Duty Cycle

Flow Chart การควบคุมด้วย Duty Cycleของโปรแกรมควบคุมด้วย Duty Cycle ได้อธิบายไว้โดยละเอียดในภาคผนวก ก. โดยใช้หลักการในการควบคุมดังที่กล่าวมาแล้ว ในตอนนี้จะกล่าวถึง โครงสร้างข้อมูลและตัวแปรที่สำคัญที่ใช้ในการควบคุม Flow Chart ตัวอย่างการควบคุมด้วย Duty Cycle และผลสรุปจากการทดลอง

### 3.2.1 โครงสร้างไฟล์ข้อมูลและตัวแปรที่สำคัญ

#### 3.2.1.1 โครงสร้างของไฟล์ข้อมูล

ไฟล์ข้อมูลที่ใช้ในการควบคุมนอกจากไฟล์ Time-Table และ Holiday ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 ยังมีไฟล์ Enviroment ซึ่งข้อมูลส่วนมากใช้ในการควบคุมแบบ Duty Cycle โดยมีโครงสร้างข้อมูลดังนี้

| | |
|---|---|
| CHAR | LOAD-NO |
| CHAR | DESCRIPTION |
| INT | KW |
| INT | DEMAND MODE |
| INT | DUTY-MODE |
| INT | MAFT |
| INT | MIFT |
| INT | MINT |
| INT | MAST |
| INT | INTV |

LOAD-NO: เป็นหมายเลขของอุปกรณ์ไฟฟ้าแต่ละชนิดซึ่งจะต้องไม่ซ้ำกัน

DESCRIPTION : ชื่อที่อธิบายรายละเอียดของอุปกรณ์ไฟฟ้า

KW : เก็บค่าพลังงานของโหลด

DEMAND-MODE : เป็นตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมแบบ Demand Limiting Control (ใช้ในบทที่ 4)

เอกสารนี้ถือเป็นลิขสิทธิ์ ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DUTY-MODE : จะเก็บค่า 1 หรือ 0 โดยที่ 1 หมายถึง โหลดนี้มีการควบคุมแบบ Duty Cycle ส่วน 0 ไม่มีการควบคุมแบบ Duty Cycle

MAFT : ช่วงเวลาปิดสูงสุด (MAXIMUM OFF TIME)

MIFT :ช่วงเวลาปิดต่ำสุด (MINIMUM OFF TIME)

MINT : ช่วงเวลาเปิดต่ำสุด (MIMIMUM ON TIME)

MAST : เป็นตัวแปรที่ใช้ในการควบคุมแบบ Demand Limiting Control (ใช้ในบทที่ 4)

INTV : ช่วงเวลาในการทำงานของโหลดที่จะเปิดปิดหนึ่งครั้ง

รายละเอียดข้อมูลทั้งหมด ได้กล่าวมาแล้วโดยละเอียดในตอนต้น ซึ่งผู้ใช้จะต้องทำความเข้าใจโดยละเอียด เพื่อจะได้ใส่ข้อมูลได้ถูกต้อง เพื่อให้ประสิทธิภาพในการควบคุมดีที่สุด ซึ่งข้อมูลทั้งหมดนี้ผู้ใช้จะต้องใส่ในตอนต้นของการติดตั้งระบบควบคุมหลังจากนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แต่ก็สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามต้องการ

3.2.1.2 ตัวแปรที่สำคัญที่ใช้ในโปรแกรม

ตัวแปรที่จะกล่าวถึงในที่นี้เป็นตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรมควบคุม ซึ่งมีความจำเป็นที่จะต้องทำความเข้าใจความหมายของตัวแปรต่างๆ เพื่อที่จะเข้าใจ Flow Chart ของโปรแกรมสมบูรณ์ขึ้น แต่ไม่รวมตัวแปรทั้งหมดที่ใช้ในโปรแกรม ตัวแปรที่สำคัญมีดังนี้

STATUSD[i] : สภาวะการควบคุมเปิด-ปิด โดยการควบคุมแบบ Duty Cycle ของโหลด

NOT-OFF [i] : บอกสภาวะว่าเคยปิดมาแล้วยังใน interval นั้นๆ ถ้า not-off[i]=1 หมายความว่ายังไม่เคยปิด not-off[i]=0 เคยปิดมาแล้ว

NF : จำนวนโหลดที่จะต้องปิดที่เวลาใดๆ ได้จากการคำนวณ

NFR : จำนวนโหลดที่ปิดจริงๆ ในเวลานั้นๆ

T-Off [i] : ช่วงเวลาปิดที่คำนวณได้ของโหลด i

TL,TH : อุณหภูมิผ่านสบายต่ำสุด และอุณหภูมิสูงสุดตามลำดับ

TS [i] : อุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้

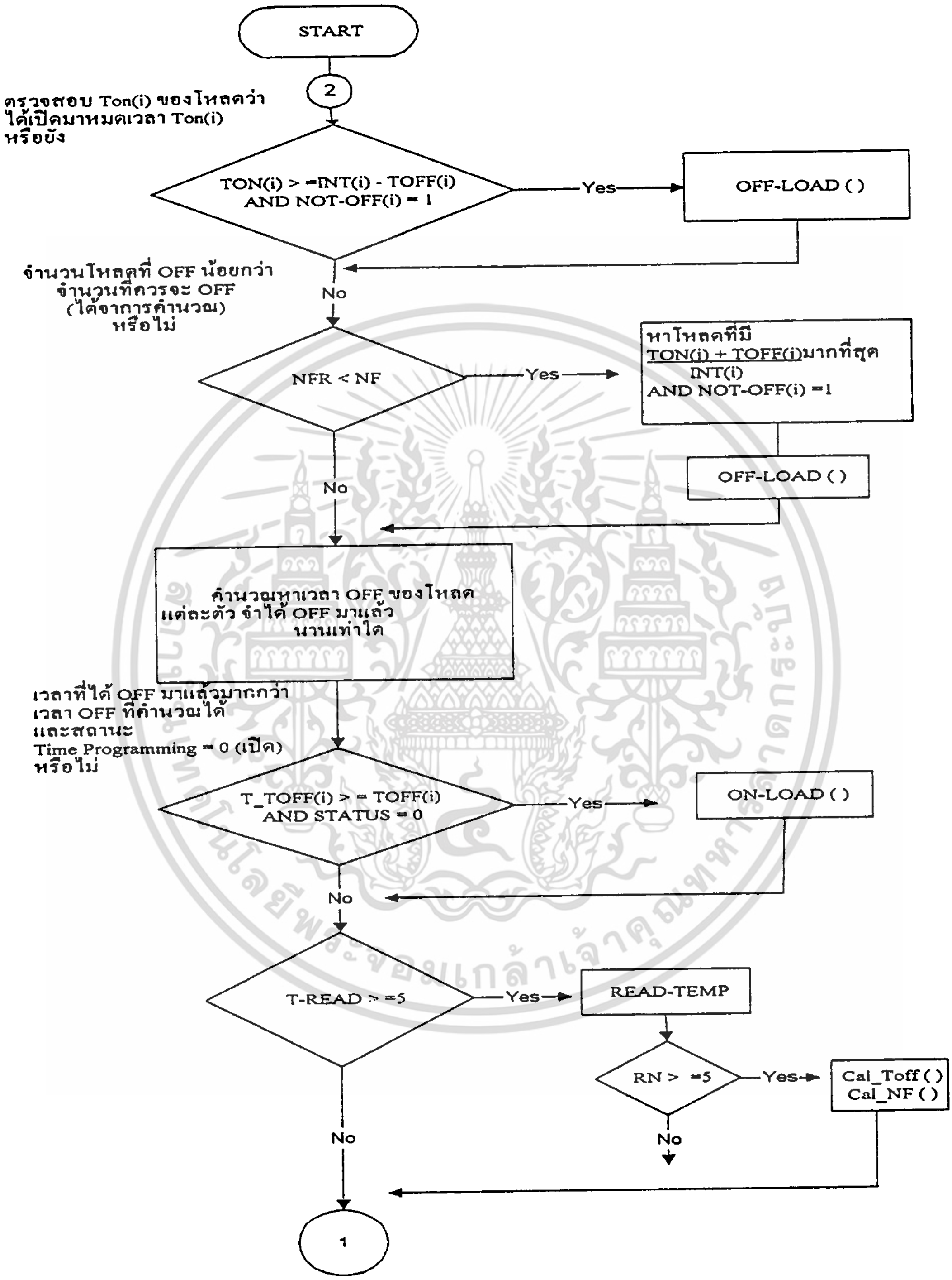
T-TON [i] : ช่วงเวลาเปิดของโหลด I ใน Interval นั้นๆ

T-TINT[i] : ช่วงเวลา interval ของโหลด i

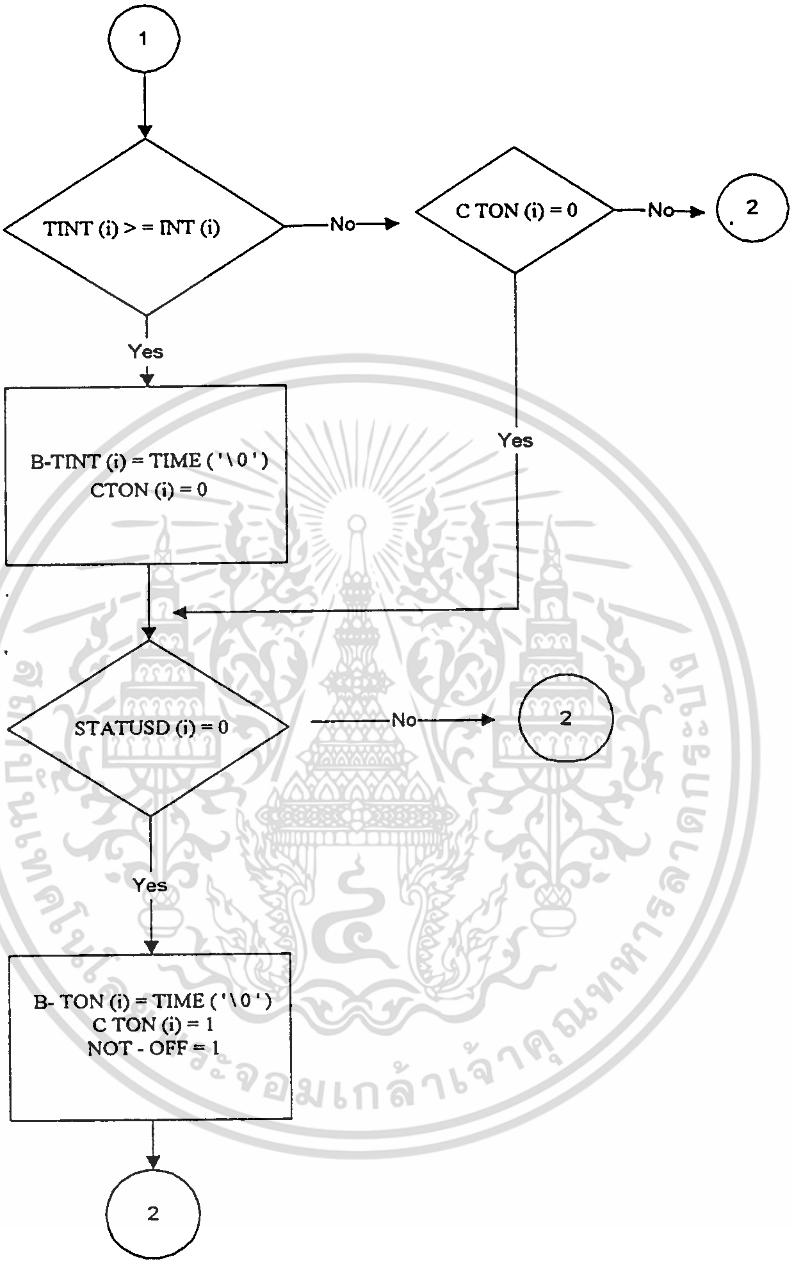
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาพที่ 8

## Flow Chart การควบคุมด้วย Duty Cycle




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flow Chart ที่กล่าวในที่นี้จะอธิบายเฉพาะส่วนสำคัญของโปรแกรม ส่วน Flow Chart ของระบบควบคุมทั้งหมด ได้อธิบายไว้โดยละเอียดในภาคผนวก ก.

3.2.3 ตัวอย่างการควบคุม

จากตารางที่ 1 เป็นข้อมูลที่ใช้ในการทดลองควบคุม โดยโหลดที่ควบคุมแบบ Duty Cycle ได้จะมี Duty mode=1 ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็น Air Conditon ทั้งหมด ซึ่งมีข้อมูลที่ใช้คือ MAFT (Maximum Off Time) , MIFT (Minimum Off Time) MINT (Miximum On Time ) และ INT (Time Interval) รายละเอียดข้อมูลดังตารางที่ 1 โดยมีช่วงอุณหภูมิสบายต่ำสุด และสูงสุด 23 องศาเซลเซียลและ 25 องศาเซลเซียลตามลำดับ การทดลองการควบคุมได้เปรียบเทียบการประหยัดพลังงานและกำลังงาน ระหว่างการควบคุมแบบ Duty Cycle กับการควบคุมแบบ Time Progarmming อย่างเดียว และการควบคุมแบบ Duty Cycle กับไม่มีการควบคุมการประหยัดพลังงาน โดยสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

3.2.3.1 เปรียบเทียบการควบคุมแบบ Duty Cycle กับไม่มีการควบคุม

จากภาพที่ 9 เป็นผลการทดลองการควบคุมแบบ DC & TP โดยกราฟเส้นบนเป็นกราฟของโหลดก่อนการควบคุมและกราฟเส้นล่างเป็นกราฟที่ทำการควบคุมแบบ DC& TP แล้ว กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด มีค่า 8000.0 วัตต์ เทียบกับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดที่ยังไม่ทำ DC & TP 9400 วัตต์ จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดลดไป 1400 วัตต์ ลดลง 14.89% พลังงานไฟฟ้าต่อวันที่ใช้งานก่อนทำ DC & TP มีค่า 136.66 กิโลวัตต์ชั่วโมง และหลังทำ DC & TP แล้วลดลงเหลือ 79.50 กิโลวัตต์ชั่วโมง ดังนั้นการทำ DC & TP จะทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าจากตัวอย่างที่ศึกษาไป 57.16 กิโลวัตต์ชั่วโมง ลดลง 41.826%

3.2.3.2 เปรียบเทียบการควบคุมแบบ DC & TP กับ TP

ผลการทดลองดังภาพที่ 10 โดยกราฟเส้นบนเป็นกราฟของการควบคุมแบบ Time Programming (TP) ส่วนกราฟเส้นล่างเป็นกราฟการควบคุมแบบ Duty Cycle และ Time Programming (DC & TP) หลังจากการควบคุมแบบ DC & TP แล้ว กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดมีค่า 8000.0 วัตต์เทียบกับการควบคุมแบบ TP กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดมีค่า 9400 วัตต์ ลดลง 1400 วัตต์ หรือ 14.89% พลังงานไฟฟ้าต่อวันที่ใช้งานการควบคุมแบบ DC & TP มีค่า79.50 กิโลวัตต์ชั่วโมง ส่วนการควบคุม TP มีค่า 86.12 วัตต์ชั่วโมง พลังงานไฟฟ้าลดลง 6.2 กิโลวัตต์ชั่วโมง หรือ 7.68%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

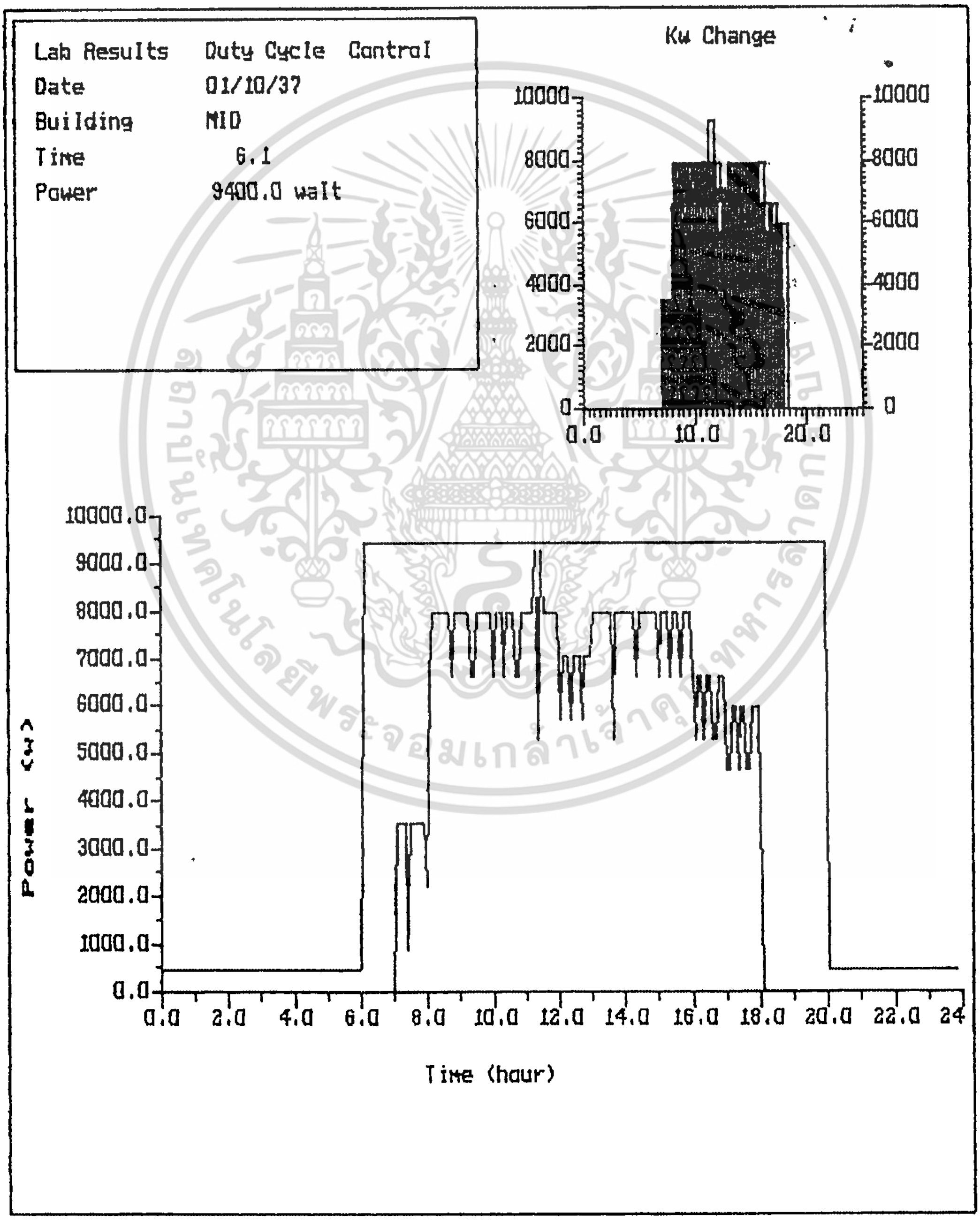
### 3.2.4 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลอง การประหยัดกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าด้วยการควบคุมแบบ Duty Cycle นั้นจะประหยัดได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับโหลดที่ควบคุมว่ามีขนาดเกินความจำเป็นมากน้อยเพียงใด ถ้าหากโหลดในระบบมีขนาดใหญ่เกินกว่าความจำเป็นมากก็สามารถประหยัดกำลังไฟฟ้าได้มาก แต่ถ้าโหลดที่ใช้ในระบบ เช่น เครื่องปรับอากาศ มอเตอร์ และอื่นๆ ที่ทำ Duty Cycle มีขนาดเท่ากับที่จำเป็นต้องใช้การควบคุมแบบ Duty Cycle ก็ไม่มีผล แต่ในทางปฏิบัติการออกแบบขนาดของโหลดที่ใช้งานโดยส่วนมาก วิศวกรผู้ออกแบบจะออกแบบเผื่อขนาดโหลดเกินความจำเป็นไว้ 10-20 % ทั้งนี้เนื่องจากการออกแบบขนาดโหลดให้มีขนาดพอดีกับที่ต้องใช้มันเสี่ยงเกินไป และถ้าหากออกแบบขนาดของโหลดต่ำกว่าที่จำเป็นต้องใช้ก็ทำให้เกิดผลเสียอย่างมาก ดังนั้นในทางปฏิบัติโดยทั่วไปแล้วการควบคุมด้วย Duty Cycle จึงมีผลทางด้านการประหยัดกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 9

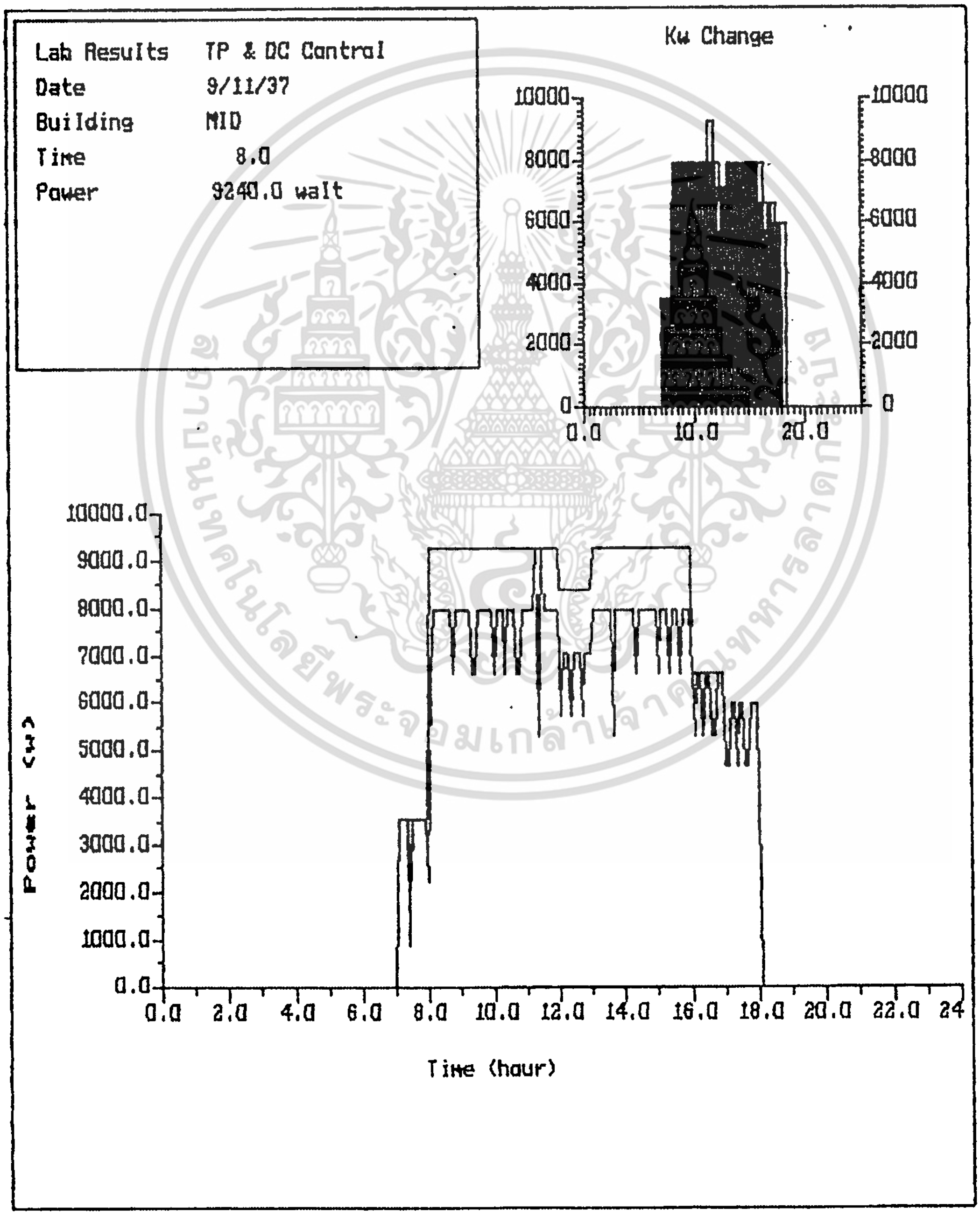
เปรียบเทียบการควบคุมแบบ Duty Cycle กับไม่มีการควบคุม




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 10

เปรียบเทียบการควบคุมแบบ Duty Cycle & Time Programming กับ Time Programming




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4

# การควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Demand Limiting Control)

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในอาคารพาณิชย์ และโรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลางและขนาดใหญ่จะถูกเรียกเก็บค่าไฟฟ้าหลายแบบตามที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 คือมีการเก็บค่าตามพลังไฟฟ้า ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุด และกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ทำให้เพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำกว่า 0.85 โดยประมาณ โดยทั่วไปแล้วการประหยัดค่าไฟฟ้าในอาคารพาณิชย์สามารถทำได้โดยใช้การควบคุมด้วย Time Programming, Duty Cycle และ Demand Limiting Control แต่ในโรงงานอุตสาหกรรม การประหยัดพลังงานไฟฟ้าอาจทำได้โดยการควบคุมด้วย Time Programming และ Demand Limiting Control เสียส่วนใหญ่ทั้งนี้เนื่องจากในโรงงานอุตสาหกรรมจะหาโหลดที่ทำ Duty Cycle ได้ยาก ดังนั้นการลดค่าไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม จึงเน้นหนักทางด้านลดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้

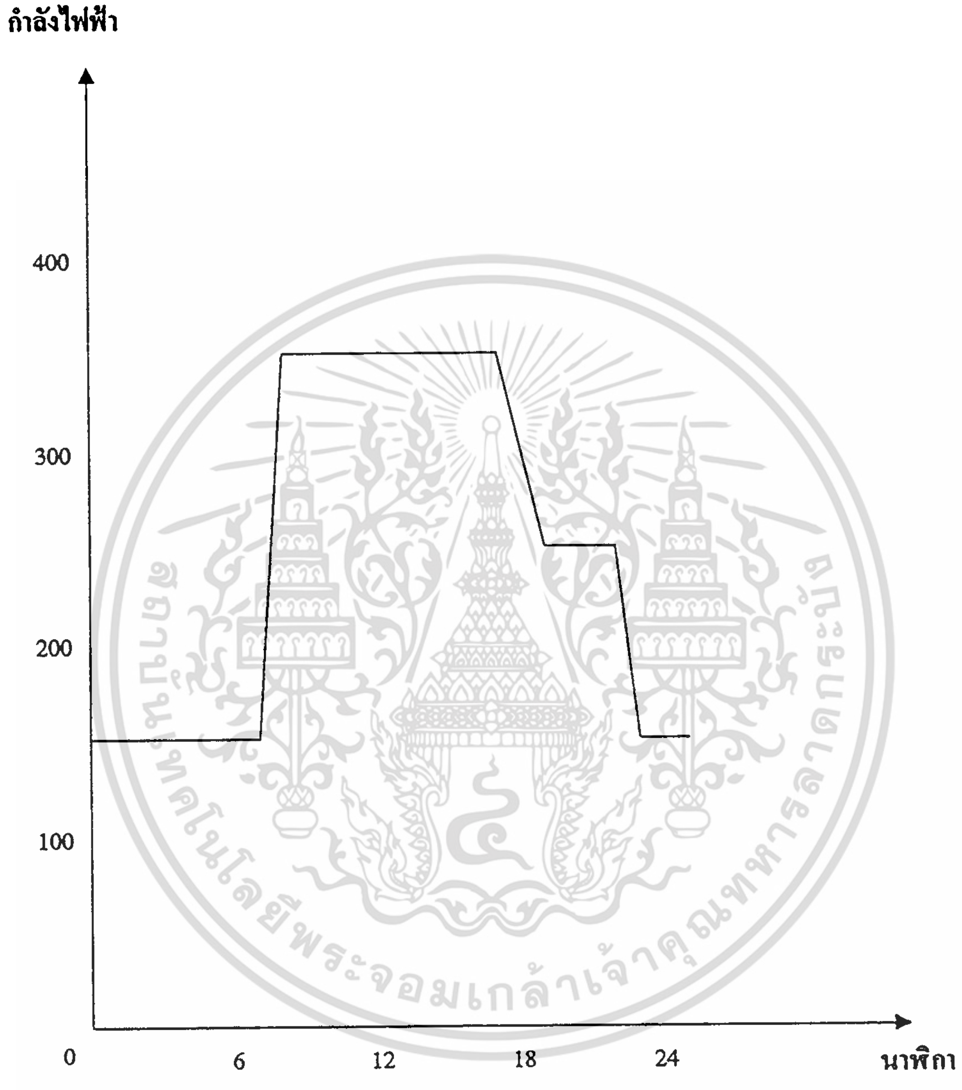
การประหยัดค่าไฟฟ้าด้วยวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ใช้งานในปัจจุบันสามารถประหยัดได้ตั้งแต่ 5 - 25% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะงานของอาคารพาณิชย์ หรือโรงงานอุตสาหกรรมที่จะควบคุม ถ้าเป็นงานที่มีจำนวนโหลดที่สามารถควบคุมได้มาก โอกาสที่จะประหยัดค่าไฟฟ้าได้สูงก็มีค่ามาก และนอกจากนี้แฟกเตอร์สำคัญที่จะทำให้การประหยัดค่าไฟฟ้าได้มากหรือน้อยก็ขึ้นกับลักษณะกราฟของโหลด และขั้นตอนการทำงานของโหลดต่างๆ ด้วยเป็นสำคัญ ถ้ากราฟของโหลดเป็นลักษณะแบนเรียบดังในภาพที่ 11 ซึ่งเป็นตัวอย่างกราฟของโหลดของโรงงานผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์ การประหยัดค่าไฟฟ้าการควบคุมด้วย Demand Limiting Control ก็ทำได้ลำบาก หรือทำไม่ได้เลย หรือถ้าเป็นอาคารพาณิชย์ หรือโรงงานที่โหลดขนาดใหญ่มากๆ เป็นหัวใจของการผลิตที่ไม่สามารถหยุดการผลิตได้แม้ในช่วงเวลาสั้นๆ และไม่สามารถเลื่อนเวลาการทำงานไปทำที่ OFF-PEAK ได้ก็ไม่สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ ตัวอย่างเช่น โรงงานผลิตเส้นใยพลาสติคซึ่งไม่สามารถหยุดจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นช่วงๆ หรือหยุดจ่ายชั่วคราว เพราะจะทำให้เส้นใยขาดและพลาสติกในเตาหลอมแข็งตัว เป็นต้น ดังนั้นการประหยัดค่าไฟฟ้าโดยการควบคุมด้วย Demand Limiting Control จะเหมาะสมกับลักษณะของงานที่สามารถตัดโหลดออกได้เป็นเวลาสั้นๆ ในช่วง ON-PEAK โดยไม่กระทบกระเทือนต่อการผลิต หรือกระทบกระเทือนน้อยที่สุด

ในบทนี้จะกล่าวถึงการประหยัดไฟฟ้าโดยควบคุมด้วย Demand Limiting Control โดยกล่าวตั้งแต่การคิดค่าไฟฟ้าจากกำลังไฟฟ้าสูงสุด หลักการควบคุมด้วย Demand Limiting Control โปรแกรมควบคุมการประหยัดพลังงาน การอินเตอร์เฟสกับการควบคุมด้วย Duty Cycle พร้อมกับแสดงตัวอย่างการศึกษาการควบคุมด้วย Demand Limiting Control

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 11

ตัวอย่างกราฟของโหลดของโรงงานผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.1 การคิดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด

การคิดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของการไฟฟ้าท้องถิ่น กับอาคารพาณิชย์หรือโรงงานอุตสาหกรรมจะคิดขนาดกำลังไฟฟ้าที่มีระยะเวลาการใช้มากกว่าระยะเวลากำลังไฟฟ้าที่กำหนด (Demand Interval) ระยะเวลากำลังไฟฟ้าที่มีใช้กันคือ 15, 30 หรือ 60 นาที สำหรับในประเทศไทยระยะเวลากำลังไฟฟ้าที่ใช้เรียกเก็บค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดคือ 15 นาที ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดใน 15 นาทีที่คิดค่าไฟฟ้านั้น ในประเทศไทยใช้คิดแบบกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดภายใน 15 นาที ไม่ใช่คิดจากกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นภายใน 15 นาที พิจารณาภาพที่ 12 ประกอบ ซึ่งแสดงกราฟของโหลดที่มีการแบ่งระยะเวลากำลังไฟฟ้าทุกๆ 15 นาที เส้นประในรูปของแต่ละช่องแสดงค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยในช่วง 15 นาที นั้นๆ จากรูปจะเห็นว่าค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดคือค่า $D_{AV}$ ส่วนค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เกิดขึ้นจริงภายใน 15 นาทีคือค่า $D_T$ มิเตอร์ที่วัดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดภายใน 15 นาที ถ้าเป็น Instantaneous & Tape Recording ก็จะวัดค่า $D_T$ ออกมาได้ แต่ถ้าเป็นมิเตอร์ประเภทหาค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าทุกๆ 15 นาที ก็จะวัดค่า $D_{AV}$ ออกมา สำหรับกราฟของโหลดเดียวกันการคิดค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าทุกๆ 15 นาที อาจมีค่าแตกต่างกันขึ้นอยู่กับ จุดเริ่มต้นของการนับช่วง 15 นาที เริ่มต้นที่ใด ดังนั้นเครื่องควบคุมด้วย Demand Limiting Control ต้องมีการซิงโครไนซ์ระหว่างการนับเวลา 15 นาที ของเครื่องควบคุมกับการนับเวลาของมิเตอร์ให้จุดเริ่มต้นของการนับช่วง 15 นาทีตรงกัน มิฉะนั้นแล้าค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยที่เครื่องควบคุมเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าคำนวณได้กับค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดที่มิเตอร์บันทึกไว้จะมีค่าแตกต่างกันแต่การซิงโครไนซ์จุดเริ่มต้นของการนับเวลาในช่วง 15 นาทีทำได้ลำบากทางไฟฟ้า เพราะการไฟฟ้าไม่อนุญาตให้มีการต่อสายใดๆ เข้ากับมิเตอร์เพื่อรับสัญญาณดังนั้นจึงอาจทำการซิงโครไนซ์โดยการสังเกตการเริ่มต้นการนับเวลาที่มิเตอร์ และให้เครื่องควบคุมเพื่อการประหยัดพลังงานเริ่มทำงานนับเวลา

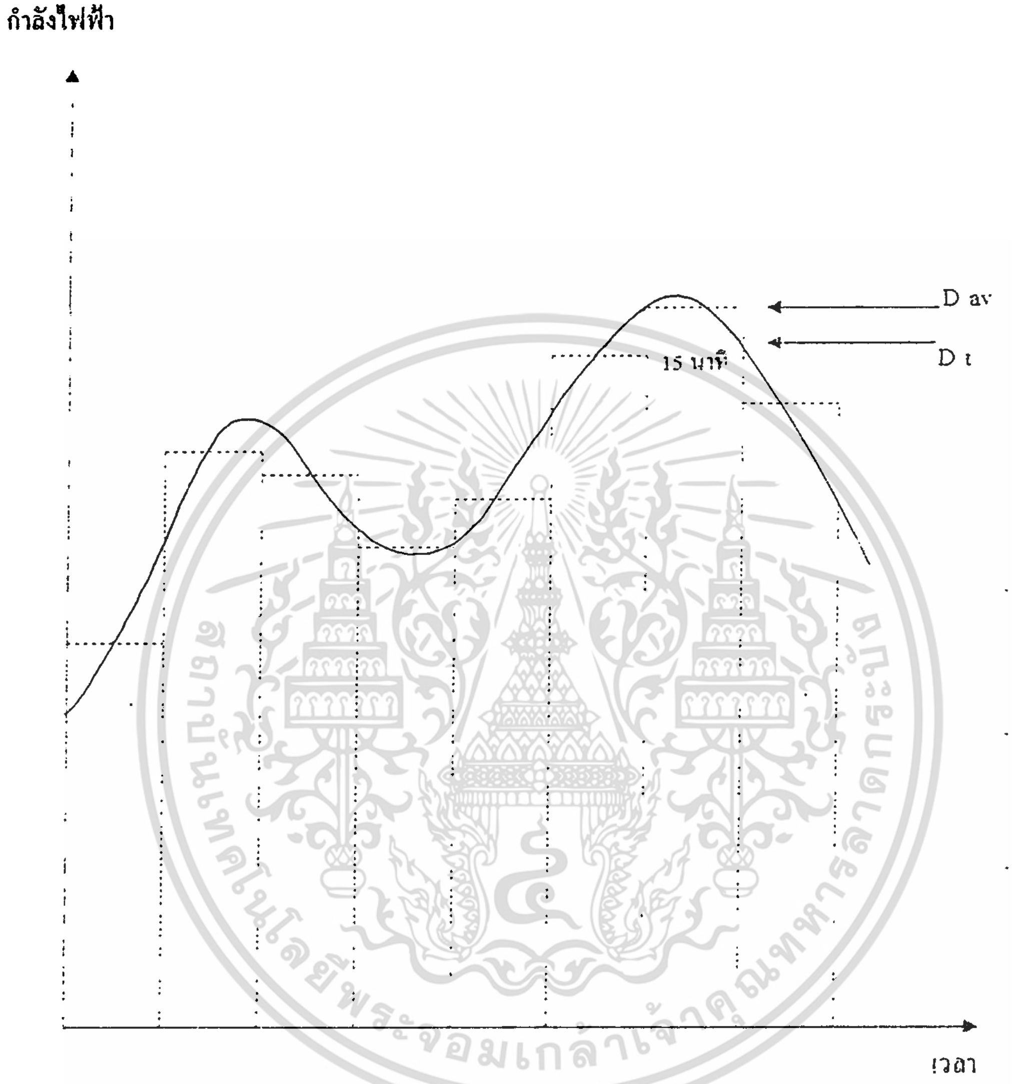
## 4.2 หลักการควบคุมด้วย Demand Limiting Control

หลักการควบคุมด้วย Demand Limiting Control ก็คือ ควบคุมให้ขนาดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เรียกเก็บจากการไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ตั้งไว้ หรือที่กำหนดไว้ ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า Demand Target หรือ Target การควบคุมด้วย Demand Limiting Control มีขั้นตอนดังนี้ เมื่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานมีค่าใกล้กับกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ตั้งไว้หรือที่กำหนดไว้โปรแกรมควบคุมก็จะปลดโหลดออกจนกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่มีค่าต่ำกว่า Target ลบด้วย Demand ดังแสดงในภาพที่ 13 จุด A เป็นจุดที่โปรแกรมควบคุมปลดโหลดออกจนกำลังไฟฟ้าตกลงมาที่จุด B ซึ่งต่ำกว่า Target-Deadband เหตุผลที่ต้องกำหนดระยะ Deadband ขึ้นมาก็เพื่อไม่ให้เกิดการปลดโหลดและ Restore โหลดอย่างทันทีตลอดเวลา Deadband ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้ให้มีค่าเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาพที่ 12

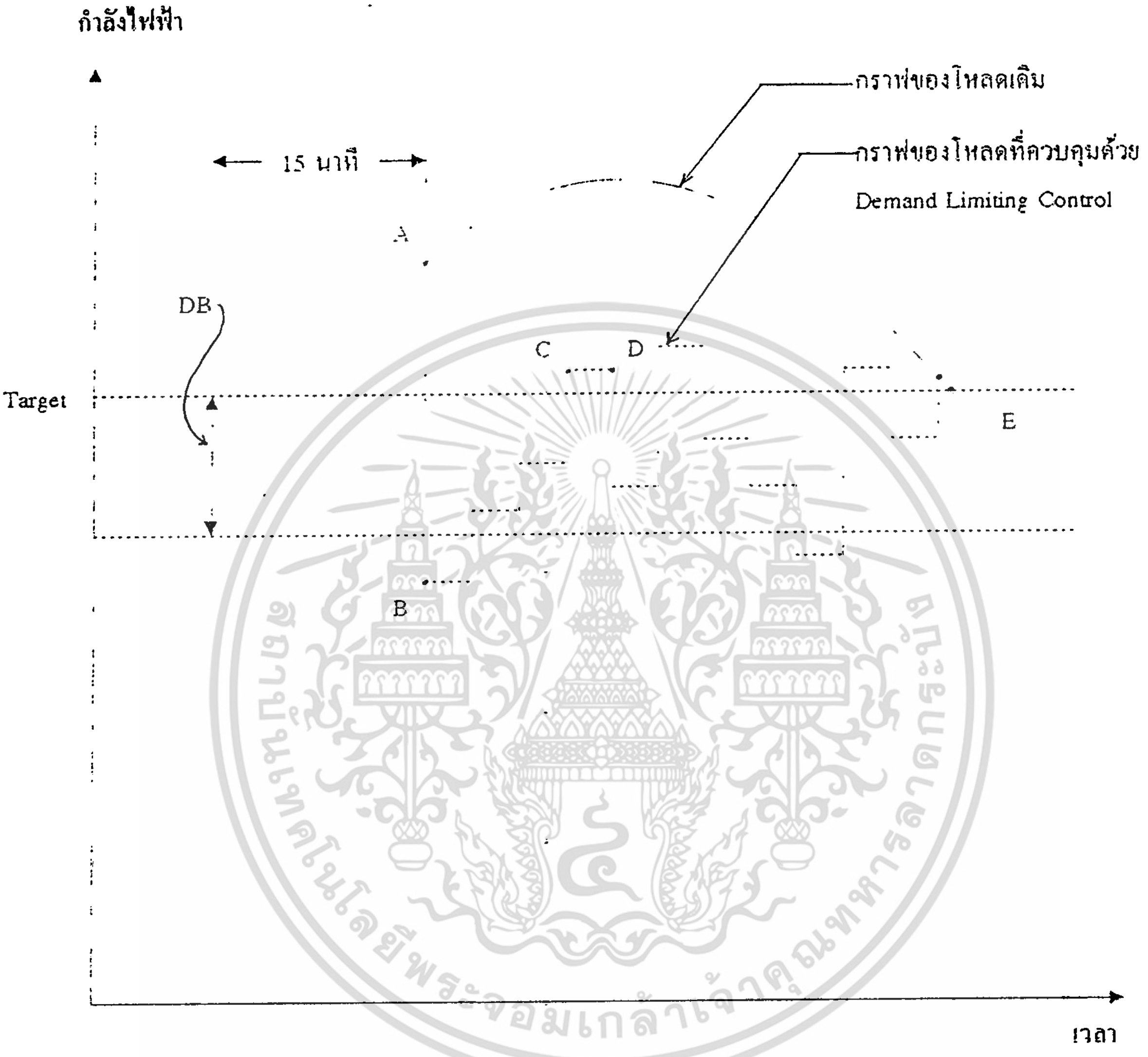
## กราฟของโหลด แสดงการคิดค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด ภายใน 15 นาที




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 18

การควบคุมด้วย Demand Limiting Control




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1/โหลด * Target ในกรณีที่โหลดมีจำนวนน้อยกว่า 10 และกำหนดให้ Deadband มีค่าเท่ากับ 10% ของ Target ในกรณีที่โหลดมีมากกว่า 10 ขึ้นไป เหตุผลที่ทำเช่นนี้ก็เพื่อเวลาที่ตัดโหลดออกหลังจากเจอ Peak Demand แล้วการ Restore โหลดเข้าไปหนึ่งโหลดจะไม่ทำให้เกิดการปลดโหลดเพราะค่ายังไม่เกิน Target เป็นการยืดเวลาของการปลดโหลดออกไปเพื่อไม่ให้มีการปิดเปิดโหลดบ่อย ในทางปฏิบัติที่ใช้กันหลายอย่างขึ้นอยู่กับผู้ใช้หรือข้อแนะนำของบริษัทผู้ผลิตเครื่องควบคุม โดยทั่วไปมีใช้ตั้งแต่ DB เท่ากับ 5 -15% แต่ถ้าเป็นกรณีจำนวนโหลดน้อย เช่น 5 โหลด การ Restore โหลดเข้าไปหลังจากปลดโหลดออกเมื่อเจอ Peak Demand แล้วจะทำให้ค่า Demand เกิน Target ซึ่งจำต้องมีการปลดโหลดอีก ดังนั้นจึงหาวิธีการตั้ง Deadband ออกเป็น 2 อย่าง คือกรณีคือโหลดน้อยกว่า 10 โหลด และกรณีที่มีโหลดมากกว่า 10 โหลดด้วยเหตุผลดังกล่าว

การปลดโหลดจากจุด A ลงมาถึง B จะปลดโหลดทีละตัว และอ่านค่ากำลังไฟฟ้าจากมิเตอร์ว่าต่ำกว่า Deadband หรือไม่ ถ้ายังไม่ต่ำกว่า Deadband ก็ปลดโหลดต่อไปจนต่ำกว่า Deadband หลังจากนั้นก็เริ่ม Restore โหลดที่ละโหลดต่อนาที ถ้าหากกำลังไฟฟ้าสูงกว่า Target เช่นที่จุด C ก็ปลดโหลดที่จุด D ในนาทีต่อไปทำเช่นนี้เรื่อยไปจนกระทั่ง Restore โหลดทั้งหมดที่ให้ทำงานตาม Time Programming ที่จุด E เมื่อ Restore โหลดได้หมดที่จุด E ก็หลุดออกจากการควบคุมด้วย Demand Limiting Control

เมื่อทราบวิธีการควบคุมโหลดด้วย demand Limiting Control แล้วรายละเอียดที่จะต้องศึกษาและวิเคราะห์ก่อนที่จะนำไปเขียนโปรแกรมควบคุมมี 3 ขั้นตอน คือ

ก. ศึกษาวิธีการที่จะให้ทราบว่าเมื่อใดควรจะเริ่มปลดโหลดออก เพื่อให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่มิเตอร์อ่านได้มีค่าต่ำกว่า Target ที่ต้องการเสมอ

ข. วิธีการปลดโหลดว่าควรมีลำดับขั้นตอนของการปลดอย่างไร

ค. วิธีการ Restore โหลด และปลดโหลดหลังจากโหลดถูกปลดจนต่ำกว่าค่า Deadband เช่นที่จุด B ในภาพที่ 13

4.2.1 การแบ่งชนิดโหลด

โหลดที่จะควบคุมด้วย Demand Limiting Control จะถูกแบ่งเป็นกลุ่มเพื่อเรียงลำดับความสำคัญในการปลดออก และ Restroe ทั้งนี้เพื่อให้การควบคุมด้วย Demand Limiting Control มีผลกระทบต่อระบบการผลิตหรือการทำงานให้น้อยที่สุด การแบ่งชนิดของโหลดเรียงตามลำดับความสำคัญจากน้อยไปมากเป็น3กลุ่มดังนี้

โหลดกลุ่มที่ 1 หมายถึง โหลดที่ไม่มีความสำคัญต่อระบบการผลิตหรือการทำงานมากนัก อาจให้หยุดทำงานในช่วงที่ระบบมีการใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดได้เป็นเวลานาน ซึ่งอาจเป็นระยะครึ่งชั่วโมงหรือหนึ่งชั่วโมง โหลดกลุ่มนี้จะถูกปลดเป็นอันดับแรกเมื่อกำลังไฟฟ้าที่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของระบบมีค่าสูงมากจนใกล้ Target และจะถูก Restore เข้าไปเป็นอันดับสุดท้ายหลังจาก Restore โหลดกลุ่มอื่นแล้ว

โหลดกลุ่มที่ 2 หมายถึง โหลดที่มีความสำคัญต่อระบบการผลิตหรือทำงาน แต่ยังสามารถให้หยุดทำงานได้ด้วยระยะเวลาหนึ่งสั้น ๆ ซึ่งอาจเป็น 5 -15 นาที และเมื่อหยุดทำงานไปจนถึงช่วงเวลาปิดสูงสุด (Maximim Off Time) ของโหลดนั้นๆ ก็จะให้ทำงานใหม่และไปปลดโหลดในกลุ่มเดียวกันต่อไป โหลดในกลุ่มสองนั้นจะเริ่มถูกปลดก็ต่อเมื่อโหลดกลุ่มหนึ่งถูกปลดออกหมดแล้วยังไม่สามารถทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดต่ำกว่า Deadband

โหลดกลุ่มที่ 3 หมายถึง โหลดที่มีความสำคัญกว่าสองกลุ่มแรก โหลดกลุ่มนี้จะเริ่มถูกปลดหลังจากที่โหลดสองกลุ่มแรกถูกปลดออกหมดแล้วและเมื่อจะ Restore โหลดในกลุ่มนี้ก็จะถูก Restore ก่อนโหลดในสองกลุ่มแรก

ผู้ใช้ต้องเป็นผู้แบ่งโหลดให้เข้าตามกลุ่ม และในแต่ละกลุ่มก็ต้องเรียงลำดับความสำคัญด้วยตัวเลขจากน้อยไปหามาก เช่นโหลดตัวที่ 3 ในกลุ่ม 1 มีความสำคัญน้อยกว่าโหลดตัวที่ 5 ในกลุ่ม 1 เป็นต้น

4.2.2 การคาดคะเนกำลังไฟฟ้าเมื่อใกล้ Target เพื่อปลดโหลด

เครื่องควบคุมโดยทั่วไปมักจะพยายามให้มีการ Synchronize กันระหว่างเวลาเริ่มต้นการนับช่วง 15 นาทีของมิเตอร์ กับการเริ่มต้นนับเวลาของเครื่อง แต่ในทางปฏิบัติจริงมักเกิดปัญหาที่ไม่สามารถ Synchronize กันได้พอดี การวิจัยนี้จะตัดปัญหาเกี่ยวกับการ Synchronize โดยพยายามคาดคะเนกำลังไฟฟ้าเมื่อใกล้Target โดยไม่ต้องสนใจว่ามิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้าจะเริ่มต้นนับเวลาช่วง 15 นาทีเมื่อใดและการควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยวิธีการคาดคะเนดังกล่าวรับประกันในหลักการที่ว่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่วัดจากมิเตอร์เมื่อควบคุมด้วย Demand Limiting Control มีค่าต่ำกว่าTarget ที่ตั้งไว้เสมอ

การคาดคะเนกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย ที่ใช้จะใช้หลักการบันทึกกำลังไฟฟ้าย้อนหลังไป 14 นาที มารวมกับกำลังไฟฟ้าที่คาดคะเนในนาทีที่ 15 แล้วหากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยการคาดคะเนกำลังไฟฟ้าในนาทีที่ 15 ใช้หลักการ Linear Extrapolation โดยต่อเส้นระหว่างกำลังไฟฟ้านาทีที่ 13 และ 14 เลยออกไปจนถึงนาทีที่ 15 (พิจารณาภาพที่ 14 ประกอบ) สมมุติให้ $KW_T$ เป็นกำลังไฟฟ้าที่นาที T ในช่วงเวลาการทำงาน (Interval) กำลังไฟฟ้าในนาทีที่ 15 ที่คาดคะเน

$$KW_{15} = KW_{14} + ( KW_{14} - KW_{13} ) \qquad (4.1)$$

กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่คาดคะเนในช่วงเวลาการทำงานที่คิดในนาทีที่ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$KW_{เฉลี่ย} = \left( \frac{KW_0 + KW_{15}}{2} + \sum_{T=1}^{14} KW_T \right) / 15 \qquad (4.2)$$

สภาพการณ์ที่ใช้พิจารณาว่าควรเริ่มปลดโหลดเมื่อ

$$KW_{เฉลี่ย} \geq Target \qquad (4.3)$$

ถ้าหากคำนวณหา $KW_{เฉลี่ย}$ ทั้งช่วงเวลาการทำงานที่นาทีที่ 14 ได้มากกว่าหรือเท่ากับ Target ก็เริ่มปลดโหลดในนาทีที่ 14 ที่ละตัวโดยเช็คกับค่ากำลังไฟฟ้าที่อ่านได้จากมิเตอร์ตลอดเวลาจนกระทั่งกำลังไฟฟ้าที่ใช้งานต่ำกว่า (Target-Deadband)

ถ้าหากคำนวณหา $KW_{เฉลี่ย}$ ทั้งช่วงเวลาการทำงานที่นาที 14 ได้น้อยกว่า Target ก็ปล่อยให้มีการใช้กำลังไฟฟ้าตามปกติต่อไปจนถึงนาทีที่ 15 แล้วเริ่มคำนวณหาค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาการทำงานที่เลื่อนขึ้นไปหนึ่งนาที คือ $KW_T$ ในช่วงเวลาการทำงานที่แล้วจะกลายเป็นเป็น $KW_{T-1}$ ในช่วงเวลการทำงานใหม่ นั่นก็คือ KW ของนาทีที่ 14 ในช่วงเวลาการทำงานที่แล้วจะเป็น KW ของนาทีที่ 13 ในช่วงเวลาการทำงานใหม่และในช่วงเวลาการทำงานใหม่ KW ในนาทีที่ 14 คือ KW ที่อ่านได้จากมิเตอร์ขณะนั้น ส่วน KW ในนาทีที่ 15 ก็ใช้การคาดคะเนตามสมการที่ (4.1)

### 4.2.3 การปลดโหลดเมื่อกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยมากกว่า Target

เมื่อ $KW_{เฉลี่ย}$ ที่คำนวณได้สมการที่ (4.2) มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ Target ก็เริ่มปลดโหลดตัวที่ 1 ในกลุ่ม 1 แล้วอ่านค่ากำลังไฟฟ้าจากมิเตอร์เพื่อเช็คดูว่าต่ำกว่า (Target-Deadband) หรือยัง ถ้าหากค่าที่อ่านได้ยังมีค่าสูงอยู่ก็ปลดโหลดที่ 2 ในกลุ่ม 1 ต่อไป ถ้าปลดโหลดในกลุ่ม 1 หมดแล้วแต่ยังมีค่ากำลังไฟฟ้าที่อ่านจากมิเตอร์สูงกว่า (Target-Deadband) ก็ปลดโหลดที่ 1 ในกลุ่มที่ 2 ต่อไป การปลดโหลดดังกล่าวใช้วิธีการปลดโหลดไล่ตั้งแต่กลุ่ม 1 ไปกลุ่ม 2 และกลุ่ม 3 และในแต่ละกลุ่มก็ปลดโหลดเรียงลำดับตามความสำคัญด้วยและการปลดโหลดจนกระทั่งต่ำกว่า (Target-Deadband) จะเกิดขึ้นระหว่างนาทีที่ 14 และ 15 ของช่วงเวลาการทำงาน

### 4.2.4 การ Restore โหลดและปลดโหลดหลังจากการปลดโหลดต่ำกว่า (Target-Deadband)

หลักการในการ Restore โหลดและปลดโหลดหลังจากปลดโหลดต่ำกว่า (Target-Deadband) ได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้นตามภาพที่ 12 ก่อนที่จะกล่าวถึงรายละเอียดในการ Restore และปลดโหลดต้องทำความเข้าใจเสียก่อนว่าโหลดทุกโหลดในสามกลุ่มมีค่าช่วงเวลาปิดต่ำสุด และสูงสุด (Mimimum Off Time & Maximum Off Time) และช่วงเวลาเปิดต่ำสุด (Minimum On Time) โหลดใดไม่ว่ากลุ่มใดก็ตามเมื่อจะปลดได้ก็ต่อเมื่อมีการทำงานมาไม่น้อยกว่าช่วงเวลาเปิดต่ำสุดและโหลดดังกล่าวถ้าถูกปลดไว้นานจนถึงช่วงเวลาปิดสูงสุดต้องให้ทำงาน หลักการ Restore

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และปลดเนื่องจากการบังคับด้วยช่วงเวลาปิดหรือเปิดดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ในการควบคุมด้วย Demand Limiting Control

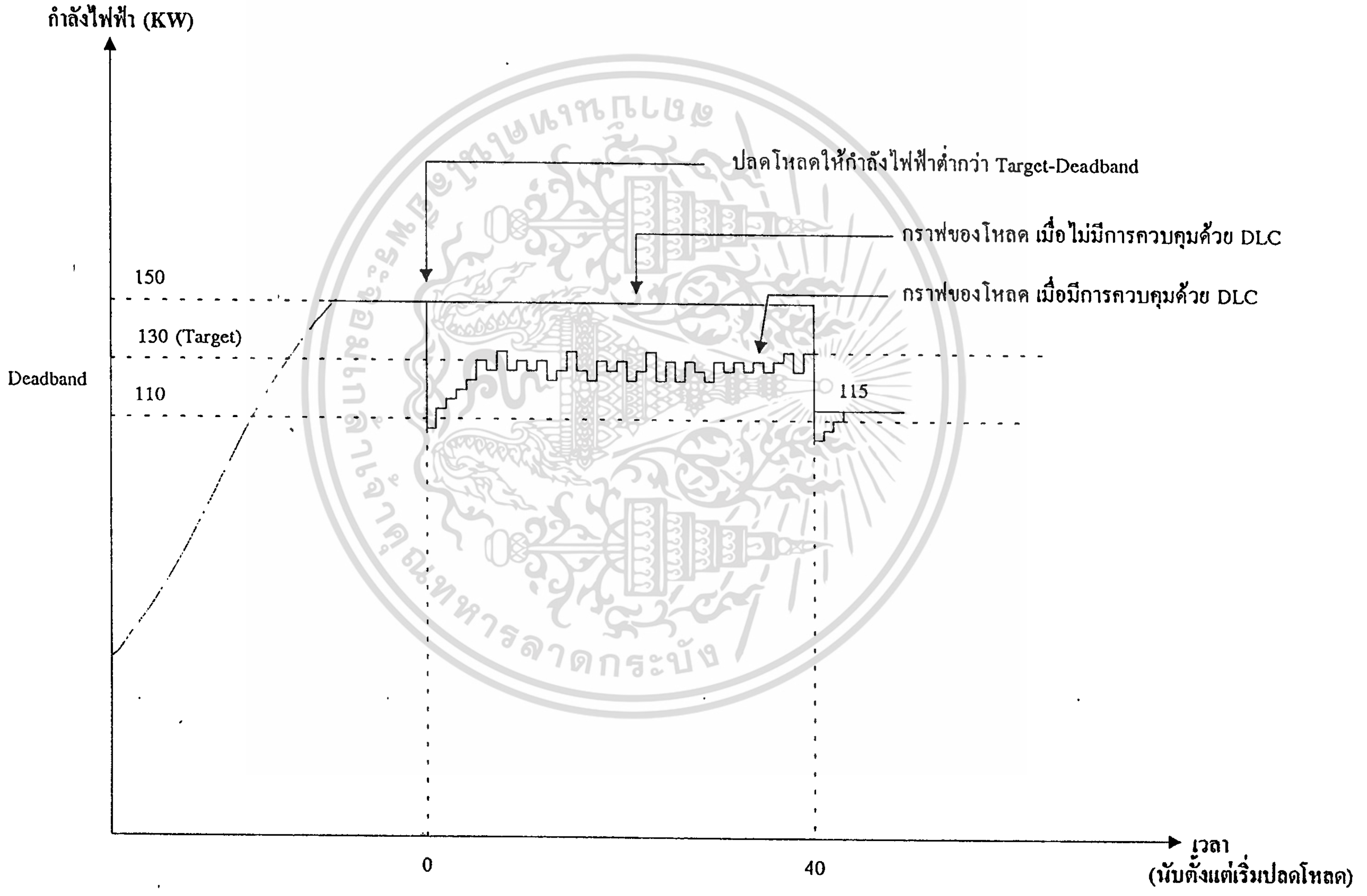
พิจารณาภาพที่ 13 ประกอบหลังจากที่โหลดถูกปลดจนต่ำกว่า (Target-Deadband) ที่จุด B แล้ว นาทีถัดมาก็เริ่ม Restore โหลดโดยเริ่มไล่ตั้งแต่โหลดสุดท้ายที่ถูกปลด ย้อนหลังกลับจากโหลดกลุ่ม 3 ไปหากลุ่ม 2 และกลุ่ม 1 ตามลำดับ แต่โหลดที่จะถูก Restore ได้ ต้องมีช่วงเวลาปิดมาแล้วไม่ต่ำกว่าช่วงเวลาปิดต่ำสุด เพื่อให้เข้าใจการ Restore และปลดโหลดหลังจากที่ปลดโหลดต่ำกว่า (Target-Deadband) แล้วให้พิจารณากราฟของโหลดในภาพที่ 15 และตัวอย่างโหลดที่จะควบคุมด้วย Demand Limiting Control ในตารางที่ 2 (ค่าต่าง ๆที่กำหนดในตารางที่ 2 รวมทั้งกราฟของโหลดในภาพที่ 15 ถูกสมมุติขึ้นมาเพื่อให้เห็นวิธีการ Restore และปลดโหลดเท่านั้น ค่าต่าง ๆ และกราฟของโหลดจึงอาจมีค่าหรือรูปร่างหน้าตาไม่ใช่ใกล้เคียงกับทางปฏิบัตินัก) กำลังไฟฟ้าสูงสุดของกราฟของโหลด 150.KW Target ที่ต้องการควบคุมคือ 130 KW โดยมีค่า Deadband 20 KW เมื่อปลดโหลดออกให้ต่ำกว่า Target-Deadband) คือ 110 KW ต้องปลดโหลดตั้งแต่กลุ่ม 1 และ 2 ทั้งหมดจนมาถึงปลดโหลดตัวที่หนึ่งในกลุ่มที่ 3 จะเหลือกำลังไฟฟ้า 105 KW ต่อจากนั้นนาทีที่ 1 เริ่มไล่ Restore ย้อนกลับโดยเริ่มจากโหลดตัวที่หนึ่งของกลุ่ม 3 แต่ Restore ยังไม่ได้เพราะโหลดนี้มีช่วงเวลาปิดต่ำสุด 3 นาที จึง Restore โหลดตัวที่ 4 ของกลุ่ม 2 ซึ่งมีช่วงเวลาปิดต่ำสุด 1 นาที ทำให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มเป็น 112 KW นาทีที่ 2 ก็เริ่มไล่ Restroe โหลดตั้งแต่กลุ่ม 3 ขึ้นมาอีก แต่โหลดที่ 1 ในกลุ่ม 3 ยังเปิดไปไม่ถึงช่วงเวลาปิดต่ำสุด จึง Restore โหลดที่ 3 ในกลุ่ม 2 ซึ่งมีช่วงเวลาปิดต่ำสุด 2 นาที ทำให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มเป็น 117 KW ในนาทีที่ 2 หลักการที่ใช้ในการ Restore ก็คือ เริ่มไล่ Restore จากกลุ่มที่ 3 จากกลุ่มที่ 3 ขึ้นมาหากลุ่ม 2 และกลุ่ม 1 และโหลดใดที่ยังมีช่วงเวลาปิดไม่ถึงช่วงเวลาปิดต่ำสุดของโหลดนั้น ๆ จะ Restore ไม่ได้ ก็ให้ไล่ข้ามโหลดดังกล่าว ส่วนในการปลดโหลดในกรณีที่กำลังไฟฟ้าเกินกว่า Target ก็ให้ปลดโหลดตั้งแต่ 1, 2 และ 3 ลงมา แต่มีข้อแม้ว่าโหลดใดที่จะปลดได้ก็ต่อเมื่อมีช่วงเวลาเปิด (ON) มานานกว่าช่วงเวลาเปิดต่ำสุดของโหลดนั้นๆ ด้วยในระหว่างการ Restore และปลดนั้น ถ้าโหลดใด ๆ ก็ตามไม่ว่าจะอยู่ในกลุ่มไหนถ้าถึงช่วงเวลาปิดสูงสุดของโหลดนั้นๆ แล้วก็ต้องให้ทำงานเสมอ

### 4.3 โปรแกรมควบคุมด้วย Demand Limiting Control

โปรแกรมควบคุมด้วย Demand Limiting Control ให้หลักการดังที่ได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น ต่อไปจะกล่าวถึงตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรม หลักการของโปรแกรม และ Flow Chart

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 15
ตัวอย่างกราฟของโหลดควบคุมด้วย Demand Limiting Control




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ตารางที่ 2

### ตัวอย่างแสดงการ Restore และปลดโหลดหลังจากที่ปลดโหลดต่ำกว่า(TARGET-DEADBAND)

| กลุ่มโหลด | โหลดที่ | KW | MIN OFF TIME (minute) | MAX ON TIME (minute) | MIN ON TIME (minute) | สถานะทุกๆนาทีของการ restore และปลดโหลดหลังจากปลดโหลดต่ำกว่า(target-deadband) O - หมายถึง restore X -หมายถึง ปลดโหลด | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 |
| กลุ่ม 1 | 1 | 6 | 3 | 20 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | O | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | O | |
| | 2 | 5 | 5 | 25 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | O | | | | | X | | | | | | | | | | | | | O | | |
| | 3 | 6 | 3 | 25 | 3 | | | | | | | O | | | X | | | O | | | X | | | O | | | | | | | X | | | | | | | O | | | X | | | O | | | | | | |
| กลุ่ม 2 | 1 | 3 | 3 | 10 | 4 | | | | | O | | | | | | | X | | | O | | | | | X | | | | | | | | | O | | | | | X | | | O | | | | | | | | |
| | 2 | 6 | 2 | 15 | 2 | | | | O | | X | | | O | | | | | X | | | O | | | | X | | | | | | O | | | | | X | | | O | | | X | | | O | | | | |
| | 3 | 5 | 2 | 15 | 3 | | O | | | | | | | | | O | | | | | | | | | | | | | | O | | | | | | O | | | | | | | | | | | O | | | |
| | 4 | 7 | 1 | 15 | 2 | O | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | O | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| กลุ่ม 3 | 1 | 7 | 3 | 30 | 4 | | | O | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | 10 | 4 | 30 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| กำลังไฟฟ้าหลังจากที่ restore หรือปลดโหลด | | | | | | 112 | 117 | 124 | 130 | 133 | 127 | 133 | 128 | 134 | 128 | 133 | 130 | 136 | 130 | 133 | 127 | 133 | 128 | 134 | 137 | 131 | 124 | 131 | 125 | 135 | 129 | 135 | 130 | 133 | 128 | 133 | 127 | 133 | 130 | 130 | 130 | 133 | 127 | 133 | 128 | 99 | 104 | 109 | 115 | 115 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3.1 ตัวแปรที่ใช้ในโปรแกรม

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะตัวแปรที่สำคัญที่เป็นอินพุทเอาท์พุท และตัวแปรที่ใช้ควบคุมเพื่อให้เข้าใจใน Flow Chart โดยไม่ได้รวมตัวแปรทั้งหมดที่ใช้ในโปรแกรม

NDL = จำนวนโหลดที่ให้ทำ Demand

MAST = ช่วงเวลาปิดสูงสุด (MAXIMUM SHED TIME) ของโหลด

TARGET = ค่าของกำลังไฟฟ้าสูงสุดโดยผู้ใช้

INDEM = ดรรชนีแสดงภาวะการควบคุมด้วย DLC

ถ้าเท่ากับ 1 หมายถึงโหลดกำลังถูกควบคุมค่า Demand

ถ้าเท่ากับ 0 หมายถึงโหลดอยู่ในภาวะการทำงานปกติในโหลดของ Time Programming หรือ Duty Cycle

TCKW =ค่าเฉลี่ยของกิโลวัตต์รวมของโหลดทั้งหมดใน15 นาที

RE(i) = ดรรชนีแสดงภาวะการ Restore ของโหลด I

ถ้าเท่ากับ 1 หมายถึง โหลด I อยู่ในภาวะการ Restore

ถ้าเท่ากับ 0 หมายถึง โหลด I ยังอยู่ในภาวะถูกปลด

TDN(i) = เวลารวมทั้งหมดที่โหลดอยู่ในภาวะ ON เนื่องจากการ Restore

TDF(i) = เวลารวมทั้งหมดที่โหลดอยู่ในภาวะ OFF เนื่องจากถูกปลด

### 4.3.2 หลักการของโปรแกรมและ Flow Chart

โปรแกรมควบคุมด้วย Demand Limiting Control ที่สร้างขึ้นมีคุณลักษณะที่สำคัญดังนี้

ก. การคาดคะเนกำลังไฟฟ้าในนาทีที่ 15 ใช้หลักการของ Linear-Extrapolation

ข. การปลดโหลดและ Restore โหลด ทำตามลำดับความสำคัญ

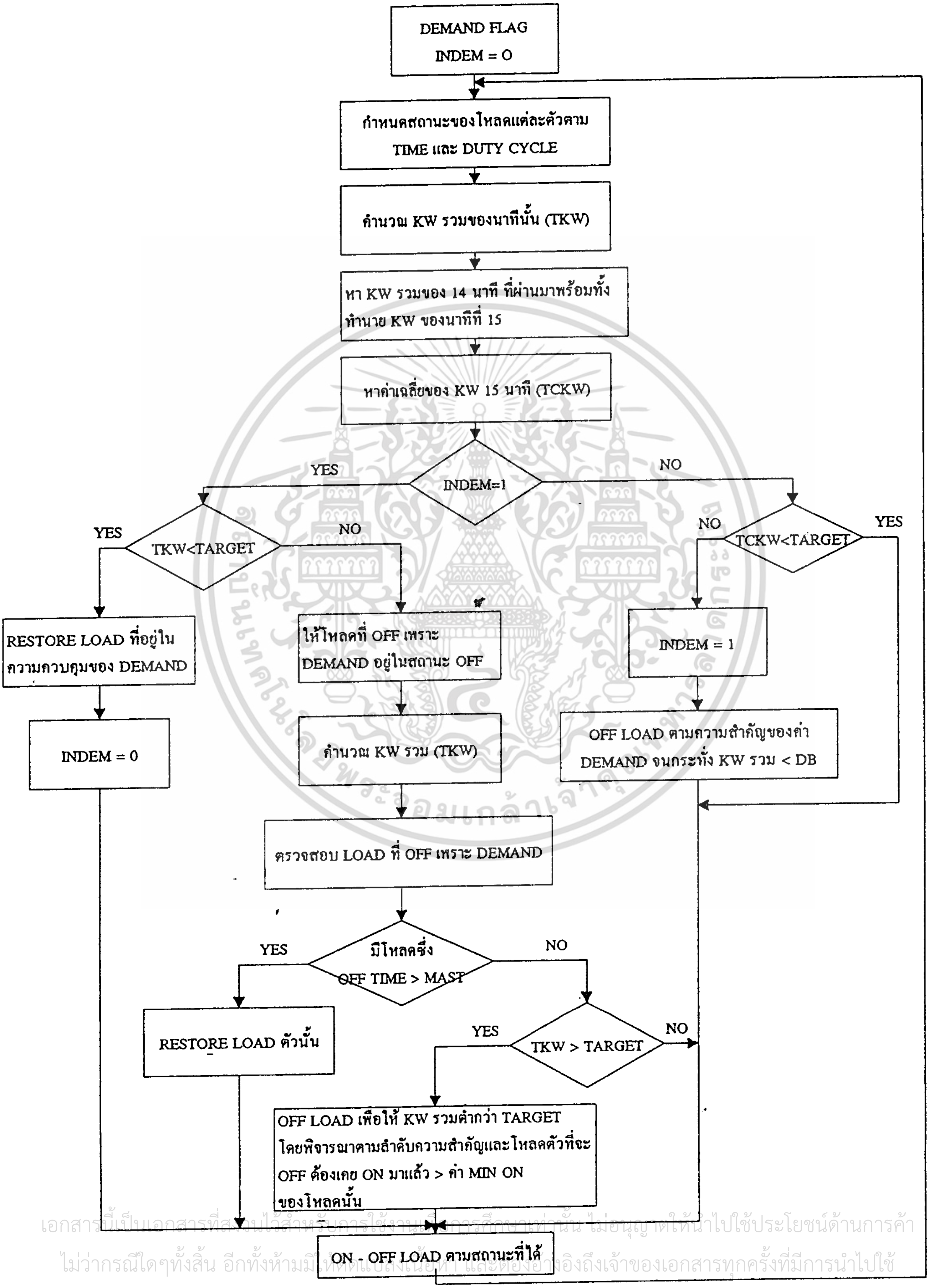
ค. ใช้งานควบคุมร่วมกับโปรแกรมควบคุมด้วย Duty Cycle

คุณลักษณะทั้ง 3 ข้อนี้ได้กล่าวรายละเอียดไว้แล้วในข้างต้น วิธีการควบคุมโหลดด้วย DLC ได้แสดงไว้ใน Flow Chart ดังในภาพที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาพที่ 16

## Flow Chart การควบคุมด้วย Demand limiting Control




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 5
# เปรียบเทียบวิธีการควบคุมแบบต่างๆ

ในบทนี้จะทำการทดลองเปรียบเทียบวิธีการควบคุมของเครื่องปรับอากาศ โดยทำการทดลองกับเครื่องปรับอากาศสามแบบคือ การควบคุมโดยใช้เทอร์โมสตัส Fuzzy Logic Control และการควบคุมแบบ Duty Cycle ซึ่งเป็นวิธีควบคุมที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ โดยเลือกเครื่องปรับอากาศที่มี BTU/ช.ม. ขนาดใกล้เคียงกัน ในการทดลองจะพิจารณาในแง่ของการใช้พลังงาน กำลังงาน อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

## 5.1 ผลการทดลอง

5.1.1 เครื่องปรับอากาศที่มีการควบคุมโดยใช้เทอร์โมสตัส เครื่องปรับอากาศที่มีขายในตลาดโดยทั่วไป 90% จะใช้เทอร์โมสตัสในการควบคุมอุณภูมิให้ได้ตามความต้องการของผู้ใช้ หลักการทำงานคือจะทำการตัดโหลดปิดเครื่องปรับอากาศ เมื่ออุณภูมิห้องต่ำกว่าที่กำหนด โดยจะทำการปิดโหลดด้วยช่วงเวลาปิดคงที่ แล้วแต่ผู้ผลิตจะกำหนดโดยไม่ได้คำนึงถึงสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ที่มีผลในการกระจายความร้อน การเปลี่ยนแปลงอุณภูมิ ซึ่งตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแต่ละที่ไม่เหมือนกัน เช่น ขนาดของเครื่องปรับอากาศออกแบบมาเกินความต้องการมากน้อยเพียงใด ถ้าออกแบบมาเกินความต้องการมาก ช่วงเวลาปิดก็ควรจะนานกว่าเครื่องปรับอากาศที่ออกแบบมาพอเหมาะกับความต้องการ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการควบคุมเช่น ขนาดของห้อง จำนวนคนในห้อง อุณหภูมิภายนอก ลักษณะของวัสดุของอาคาร ฯลฯซึ่งสิ่งต่างๆที่มีผลต่อการกำหนดช่วงเวลาปิดที่เหมาะสมทั้งสิ้นแต่การควบคุมด้วยเทอร์โมสตัสใช้ช่วงเวลาปิดคงที่ซึ่งเป็นข้อเสียอย่างหนึ่งของการควบคุมแบบนี้ ซึ่งมีผลการทดลองดังภาพที่ 17 และภาพที่ 18 โดยภาพที่ 17 เป็นกราฟของอุณหภูมิห้องในแกน Y และ ช่วงเวลาในแกน X จากการทดลองได้ตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 24C° สามารถ ควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วง 24C° - 27.25C° ส่วนในภาพที่ 18 เป็นกราฟของกระแสไฟฟ้าในแกน Y และช่วงเวลาในแกน X จะพิจารณาในสองส่วนคือ ในส่วนของพลังงานไฟฟ้า (วัตต์ช.ม.) จะเห็นว่าสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ในช่วงเวลาที่ปิดโหลดด้วยช่วงเวลาปิดคาที่สองช่วงเวลา ส่วนในแง่ของกำลังไฟฟ้าสูงสุด จะเห็นว่าตอนเปิดโหลดจะดึงกระแสสูงมากประมาณ 2.5 เท่าของกระแสปกติ แต่เป็นช่วงเวลาที่สั้นประมาณ 1 - 2 วินาที ซึ่งไม่มีผลมากนักในการคิดค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด

5.1.2 เครื่องปรับอากาศที่มีการควบคุมแบบ Fuzzy Logic

Fuzzy Logic Control นับว่าเป็นเทคโนโลยีใหม่ ที่ได้นำมาใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ให้มีประสิทธิภาพตามความต้องการของผู้ใช้ให้มากที่สุด ซึ่งเครื่องปรับอากาศที่มีขายทั่วไปประมาณ 3% มีการควบคุมแบบ Fuzzy Logic ในการทดลองนี้จะพิจารณาในส่วนของการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมอุณหภูมิ การใช้กำลังไฟฟ้าสูงสุดและพลังงานไฟฟ้ารวม จากการทดลองได้ดังภาพที่19 และภาพที่ 20 ในภาพที่ 19 แกน X เป็นช่วงเวลาส่วนในแกน Y เป็นอุณหภูมิ จะเห็นว่าการใช้ Fuzzy Logic Control สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วง 23.01C- 24.97C คือสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ประมาณ 2 องศา ซึ่งถือว่าเป็นช่วงอุณหภูมิที่สั้น เป็นการควบคุมที่ดี ส่วนในภาพที่ 20 เป็นการแสดงการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่าง ๆ จะเห็นว่าการใช้พลังงานกราฟจะเรียบ ช่วงของกระแสจะอยู่ในช่วงสั้น แต่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เพื่อใช้ในการปรับอุณภูมิ ให้ได้ตามต้องการ

5.1.3 เครื่องปรับอากาศที่มีการควบคุมแบบ Duty Cycle

Duty Cycle Control เป็นวิธีการในการควบคุมที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้การควบคุมแบบนี้เป็นการควบคุมที่มีการตัดโหลดทุก ๆ ช่วงเวลาการทำงาน โดยที่ช่วงเวลาที่ทำการปิดโหลดจะเปลี่ยนแปลงไปตาม อุณหภูมิที่รับเข้ามา และช่วงเลาต่าง ๆ ที่ผู้ใช้กำหนด เช่น ช่วงอุณกภูมิย่านสบายต่ำสุด - สูงสุด ช่วงเวลาปิดต่ำสุด ช่วงเวลาเปิดสูงสุด ช่วงเวลาเปิดต่ำสุด ซึ่งสิ่งเหล่านี้จะมีผลในการกำหนดช่วงเวลาการปิดโหลดในแต่ละช่วงเวลาการทำงาน จากการทดลองได้ผลการทดลองดังภาพที่ 21 และภาพที่ 22 ในภาพที่ 21 แสดงอุณหภูมิในช่วงเวลาต่าง ๆ ซึ่งก่อนการทดลองได้กำหนดอุณหภูมิย่านสบายต่ำสุด สูงสุดคือ 23C และ 26 C ตามลำดับ จากการทดลองสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ในช่วง 23.12C - 25.89C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิย่านสบายที่ได้กำหนดไว้ ส่วนในภาพที่ 22 จะพิจารณาในแง่ของการใช้พลังงานจะเห็นว่าสามารถประหยัดพลังงานได้ ในทุกช่วงเวลาการทำงาน และช่วงเวลาปิดแตกต่างกันไปจะไม่เท่ากัน ส่วนกำลังไฟฟ้าสูงสุด จะดึงกระแสสูงมากในช่าวที่เปิดโหลด ทุก ๆ ช่วงเวลาการทำงาน

ตารางที่ 3

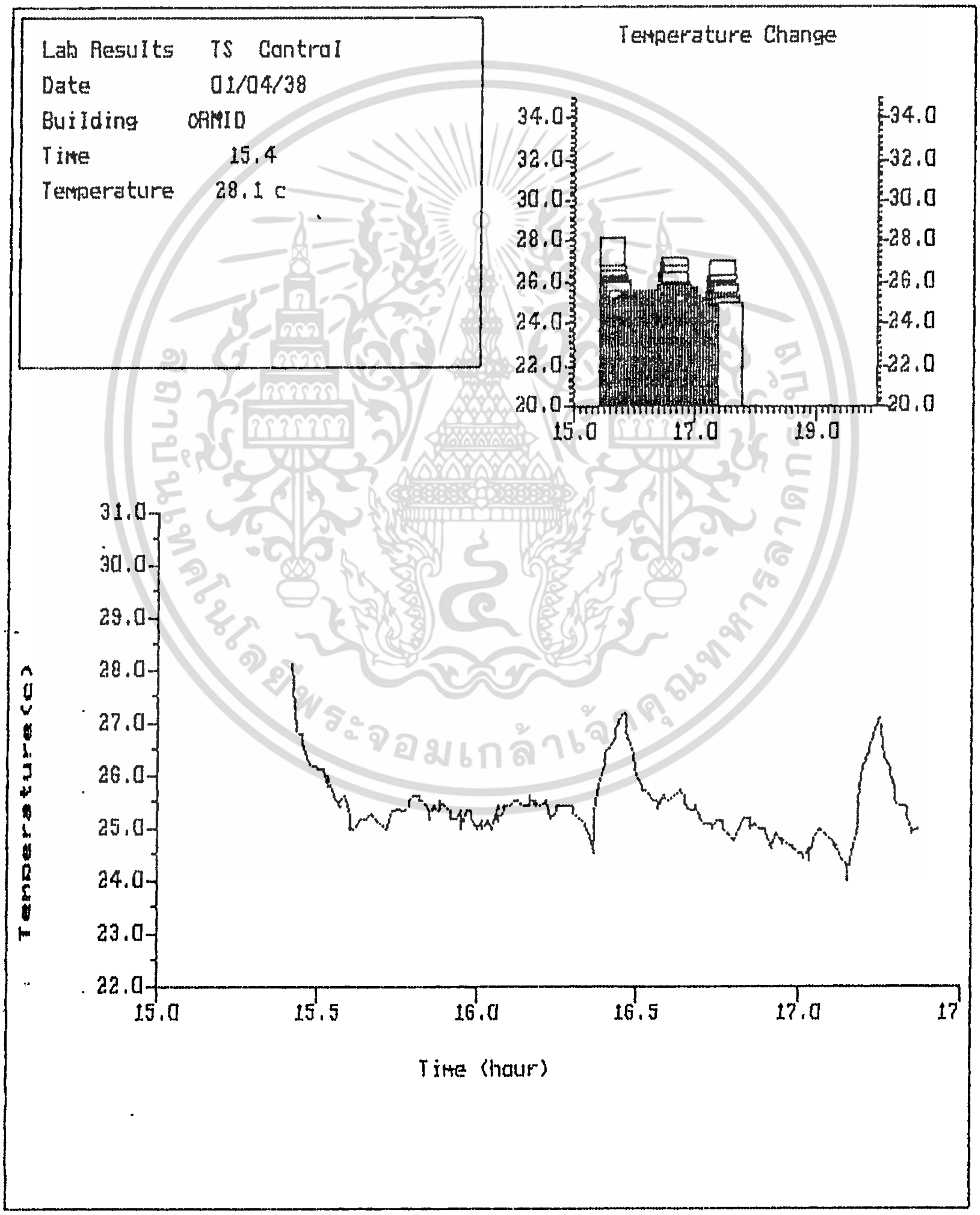
เปรียบเทียบการควบคุมของเครื่องปรับอากาศแบบต่างๆ

| ชนิดเครื่องปรับอากาศ | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด | พลังงานไฟฟ้า | การควบคุมอุณหภูมิ |
|---|---|---|---|
| เทอร์โมสตัส | x | x | ไม่ต่ำกว่าที่กำหนด |
| Duty Cycle | 0.6x | 0.7x | อยู่ในช่วงที่กำหนด(3 c) |
| Fuzzy logic | 0.8x | 1.3x | +-1c |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 17

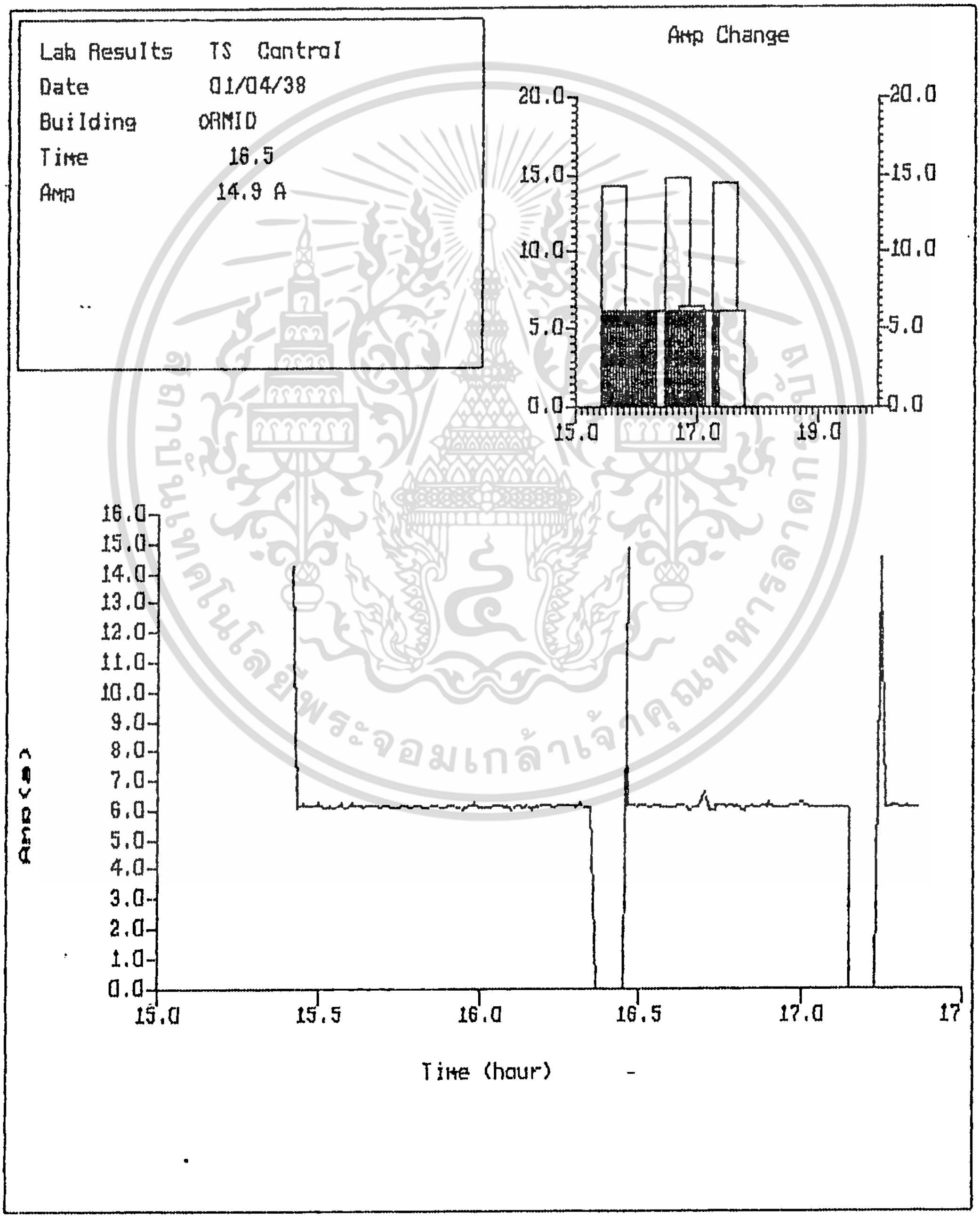
อุณหภูมิในช่วงเวลาต่างๆ ของเครื่องปรับอากาศที่มีการควบคุมโดยเทอร์โมสตัส




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 18

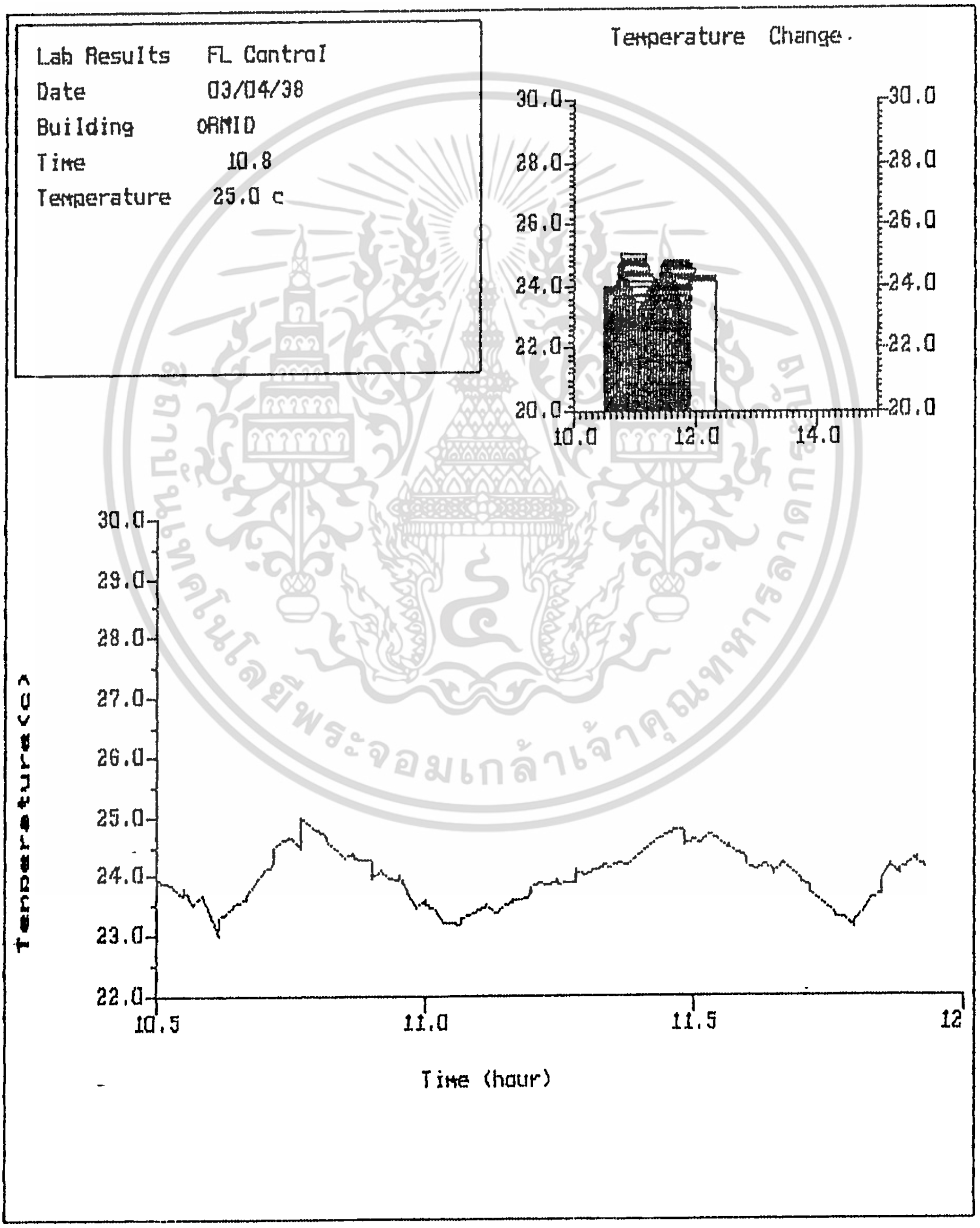
การใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ ของเครื่องปรับอากาศที่มีการควบคุมโดยเทอร์โมสตัส




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาพที่ 19

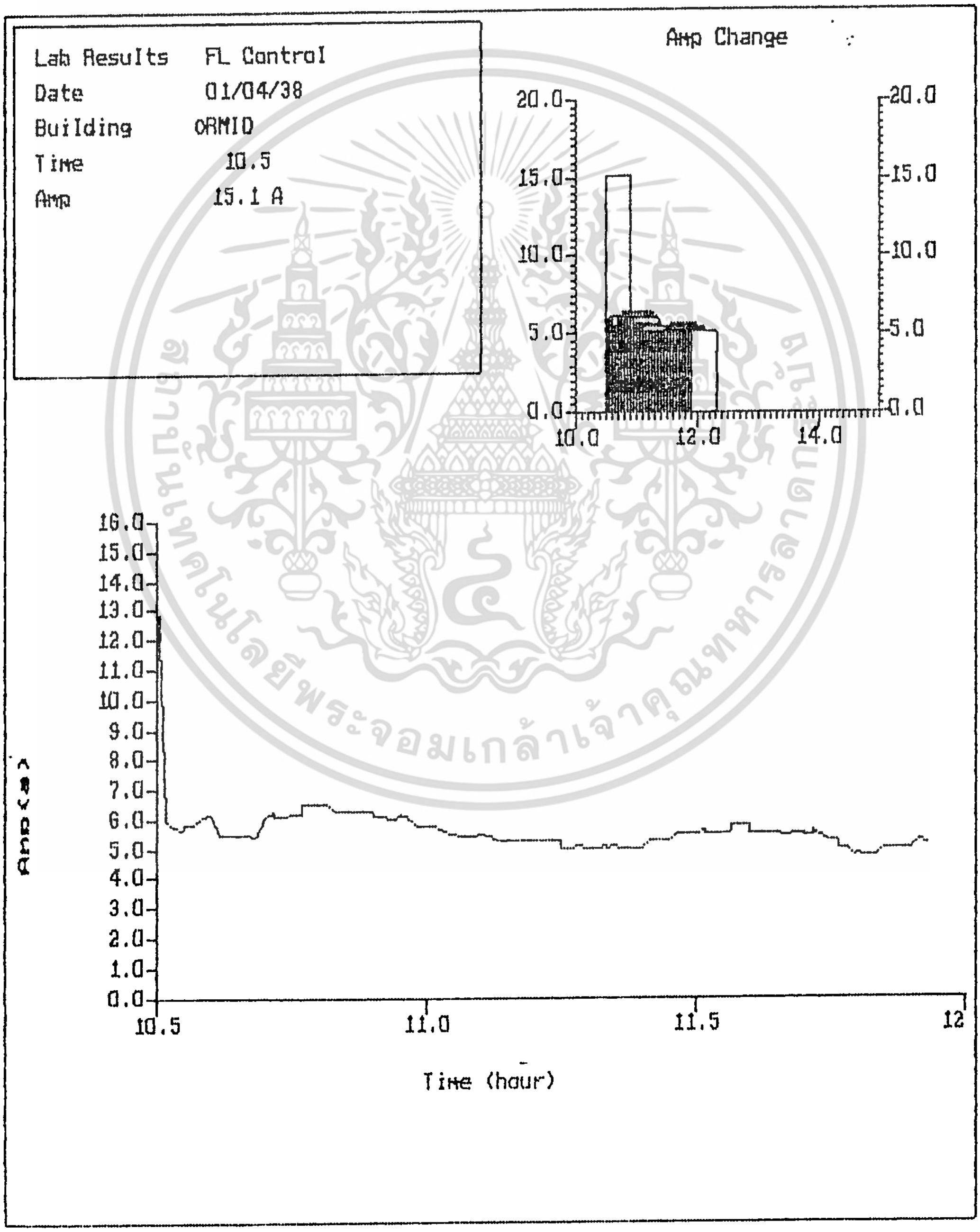
## อุณหภูมิในช่วงเวลาต่างๆ ของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ Fuzzy Logic Control




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาพที่ 20**

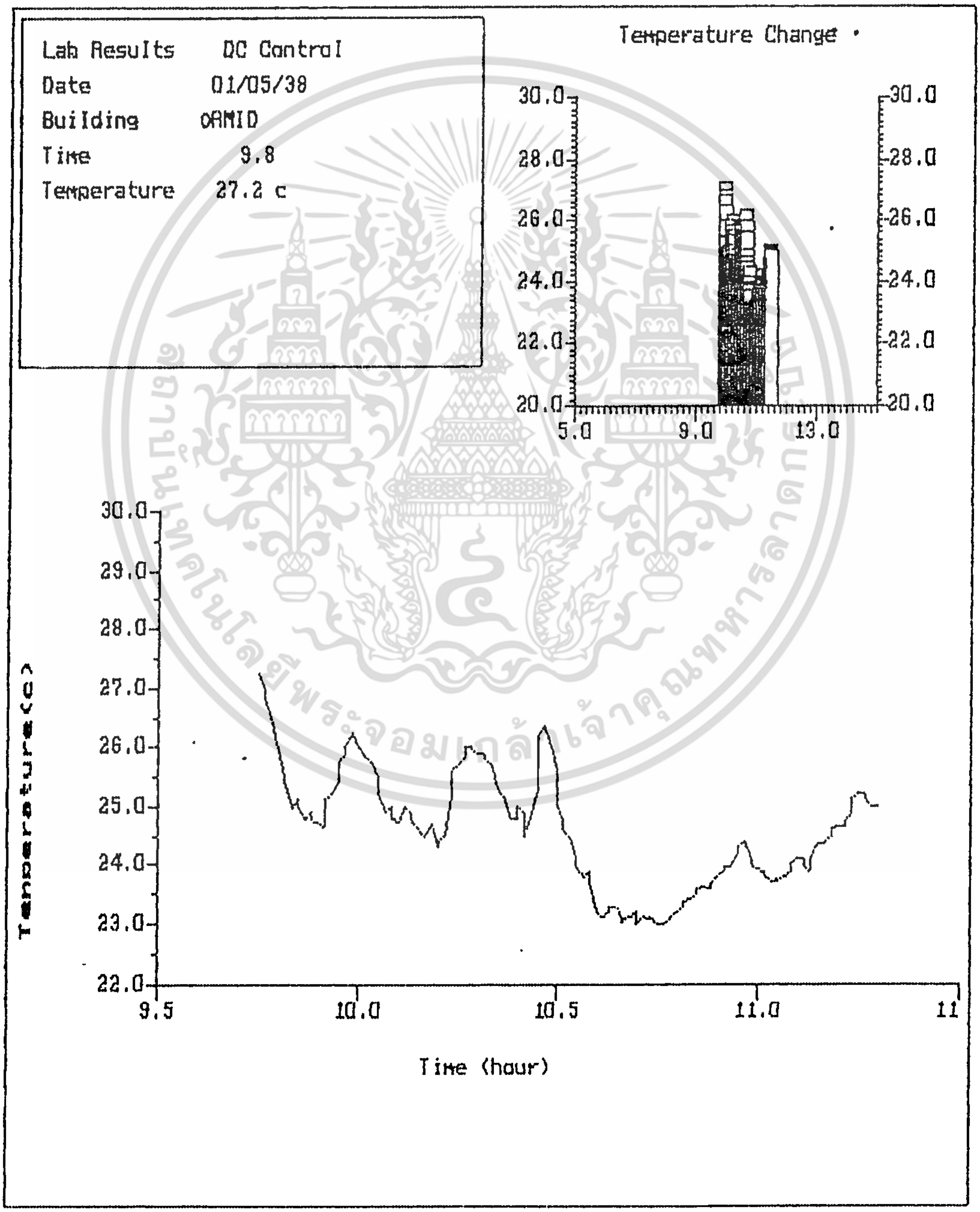
**การใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ ของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ Fuzzy Logic Control**




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 21

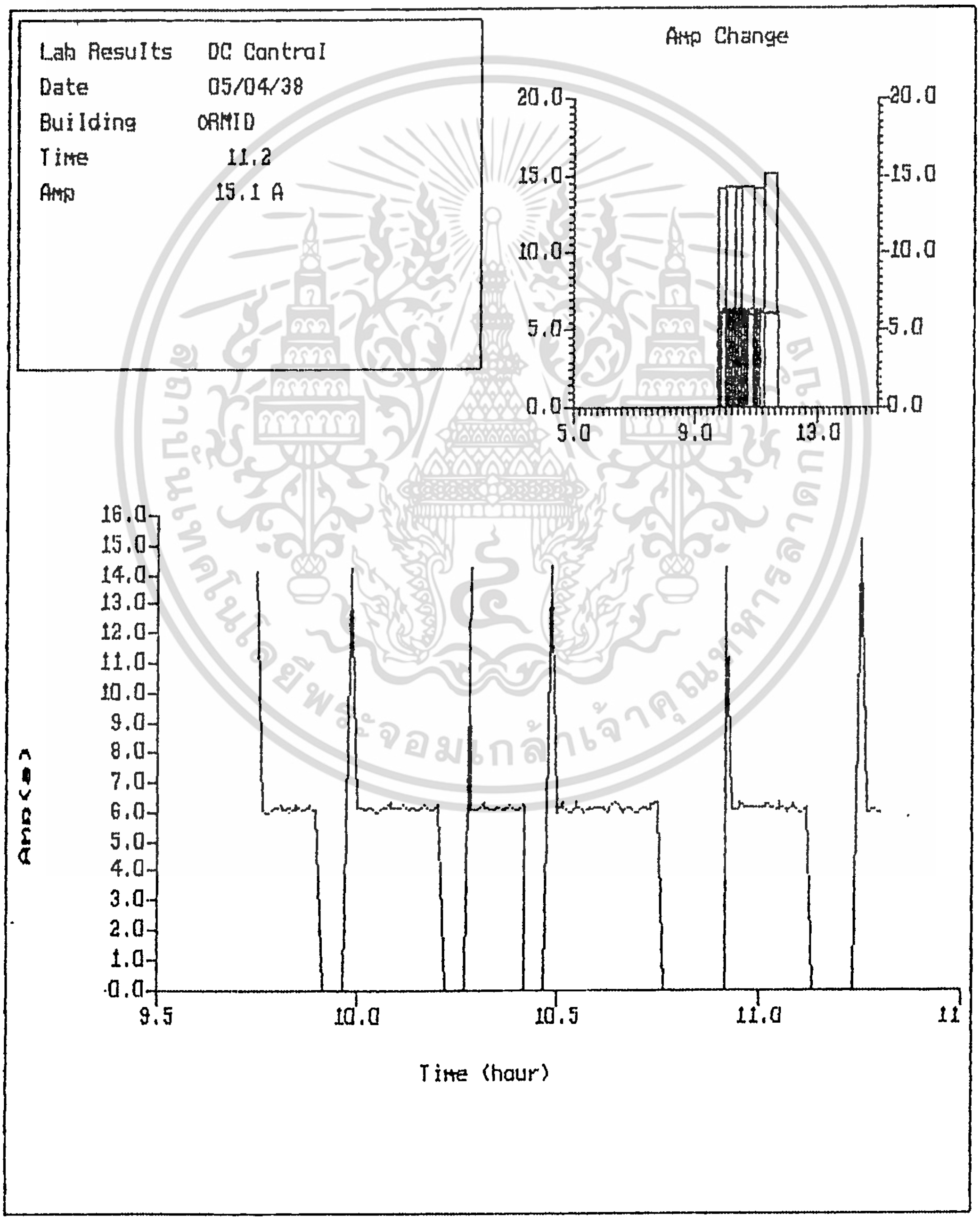
อุณหภูมิในช่วงเวลาต่างๆ ของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ Duty Cycle Control




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 22

การใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ ของเครื่องปรับอากาศที่ใช้ Duty Cycle Control




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**5.2เปรียบเทียบผลการทดลอง**

การทดลองการใช้งานของเครื่องปรับอากาศทั้งสามแบบสามารถสรุปผลการทดลองในตารางที่ 3 โดยสรุปได้ดังนี้

5.2.1 อุณภูมิห้อง อุณหภูมิห้องขณะที่เปิดเครื่องปรับอากาศ การใช้เทอร์โมสตัสควบคุมผู้ใช้จะต้องกำหนดอุณภูมิต่ำสุดตามต้องการ ทอร์โมสตัสจะทำการตัดก็ต่อเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าที่ตั้งไว้เท่านั้นสรุปได้ว่าการควบคุมแบบนี้สามารถรักษาอุณหภูมิได้ไม่ต่ำกว่าที่ตั้งไว้แต่อุณภูมิจะสูงกว่าขนาดไหนก็ได้ เครื่องปรับอากาศที่ใช้ Fuzzy Logic นับว่าเป็นเครื่องปรับอากาศที่ดีที่สุดในการควบคุมอุณหภูมิให้ได้ตามต้องการส่วนการควบคุมแบบDutyCycleแม้ว่าอุณหภูมิจะมีการเปลียนแปลงตลอดเวลา เนื่องจากการทดลองทำการควบคุมเครื่องปรับอากาศพร้อมกัน 4 เครื่องซึ่งมีเงื่อนไขอื่นอีกที่ต้องควบคุมเช่น การกระจายการปิดโหลดให้เท่ากันตลอดเวลา ดังนั้นการควบคุมอุณหภูมิให้คงที่หรือเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดทำได้ยาก แต่อย่างไรก็ตามก็อยู่ในช่วงอุณหภูมิย่านสบายที่ผู้ใช้กำหนดไว้

5.2.2 การใช้พลังงาน การควบคุมทั้งสามแบบสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าส่วนที่เกินความต้องการได้ แต่มีข้อแตกต่างกันดังนี้ การใช้เทอร์โมสตัสควบคุมจะทำการตัดโหลดก็ต่อเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าที่ตั้งไว้จากการทดลองงั้งอุณหภูมิต่ำสุดไว้ที่24 จะเห็นว่ามีช่วงเวลาปิดโหลดแค่ 2 ครั้งด้วยช่วงเวลาปิดคงที่ ในขณะที่การควบคุมแบบ Duty Cycle จะต้องมีการปิดโหลดทุกช่วงเวลาการทำงาน ตามช่วงเวลาที่คำนวณได้จากกราฟสามารถประหยัดพลังงานได้มากกว่า ส่วนการควบคุมโดยใช้ Fuzzy Logic แม้ว่าจะไม่มีการตัดโหลดแต่มีการลดกระแสเมื่ออุณหภูมิสูง และเพิ่มกระแสเมื่อต้องการเพิ่มอุณหภูมิกระทำอยู่ตลอดเวลา การประหยัดพลังงานก็สามารถทำได้แต่น้อยกว่าการควบคุมทั้งสองแบบดังได้กล่าวมาแล้วเนื่องจากมีการเพิ่มและลดกระแสอยู่ตลอดเวลา ช่วงเพิ่มกระแสจะเป็นช่วงที่ดึงกระแสสูงทำให้การใช้พลังงานมาก

5.2.3กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด การควบคุมโดยใช้เทอร์โมสตัส มีการตัดโหลดเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนด และจะปิดโหลดด้วยช่วงเวลาปิดคงที่ ถ้าเครื่องปรับอากาศออกแบบเกินความต้องการมากการตัดโหลดก็ต้องตัดบ่อยๆ และการเปิดโหลดแต่ละครั้งจะทำให้การดึงกระแสสูงมากแม้จะเป็นช่วงเวลาสั้นๆก็ตามแต่ถ้ามีจำนวนโหลดหลายโหลดทำในเวลาใกล้เคียงกันก็จะทำให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยงสูงสุดสูงมาก ในการควบคุมโดยใช้ Fuzzy Logic ไม่มีการเปิดปิดโหลด การใช้พลังงานค่อนข้างจะคงที่ตลอดเวลา ดังนั้นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดจะเป็นค่าเฉลี่ยที่ควรจะเป็นไม่สูงมากนักและน้อยกว่าการควบคุมโดยใช้เทอร์โมสตัส การควบคุมโดย Duty Cycle การทำงานมีการเปิดปิดโหลด ทุกช่วงเวลาการทำงาน ดังนั้นค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดน่าจะมากเช่นเดียวกับการใช้เทอร์โมสตัสควบคุม แต่ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคการกระจายโหลด ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่3 จึงทำให้ค่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดต่ำกว่าการควบคุมทั้ง 2 วิธีดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 6

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์คือ การสร้างโปรแกรมควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเพื่อให้ประหยัดพลังงานมากที่สุด โดยที่ไม่มีผลกระทบต่อขบวนการผลิต และความสะดวกสบาย ซึ่งได้ทำการวิจัยในสิ่งต่างๆ ตามลำดับดังนี้

6.1.1 การคิดค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งการคิดค่าไฟฟ้าจากผู้ใช้แบ่งออกได้ 7 ประเภทคือ บ้านอยู่อาศัย กิจการขนาดเล็ก กิจการขนาดกลาง กิจการขนาดใหญ่ ธุรกิจเฉพาะอย่าง ส่วนราชการและองค์กรที่ไม่แสวงหากำไร และสูบน้ำเพื่อการเกษตร ซึ่งแต่ละประเภทมีอัตราคิดค่าไฟฟ้าแตกต่างกัน (รายละเอียดในบทนำ) การเก็บค่าไฟฟ้าถ้าเป็นผู้ใช้ขนาดเล็กจะเก็บค่าไฟฟ้าจากพลังงานไฟฟ้าอย่างเดียว แต่ถ้าเป็นผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดใหญ่ ก็ถูกเรียกเก็บค่าไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าด้วย

6.1.2 ศึกษาวิธีการประหยัดพลังงานไฟฟ้าในอาคารแบบต่างๆ เช่นการออกแบบอาคารให้มีแสงสว่างจากภายนอกมาช่วยมากขึ้น และมีการระบายอากาศที่ดี การรณรงค์การประหยัดพลังงานโดยปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้หรือไม่จำเป็น การปรับปรุงอุปกรณ์ ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ปิดเปิดไฟแสงสว่าง หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าตามเวลาโดยใช้ไทเมอร์ (Timer) การใช้เครื่องควบคุมประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ หรือโดยใช้โปรแรมสำเร็จรูป

6.1.3 ชนิดของเครื่องควบคุมเพื่อประหยัดพลังงาน เครื่องควบคุมเพื่อประหยัดพลังงานในปัจจุบันที่รู้จักกันดีมี 3 ประเภทคือ

- Maximim Demand Controller เป็นเครื่องควบคุมเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยให้ใช้กำลังไฟฟ้าไม่เกินค่าที่ตั้งไว้

- Energy Management System (EMS) เป็นเครื่องควบคุมที่มีการควบคุมการประหยัดพลังงานได้กว้างขวาง มีการควบคุมการประหยัดพลังงานแบบพื้นฐาน 3 อย่างคือ Time Programming (TP) Duty Cycle (DC) และ Demand Limiting Control (DLC)

- Computer Baded Building Automation System (BAS) เป็นระบบควบคุมอาคาร ซึ่งควบคุมหลายระบบ รวมทั้งระบบ Energy Management

6.1.4 โปรแกรมการควบคุมแบบ Time Programming เป็นการควบคุมเปิดปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าตามตารางเวลา ซึ่งเป็นการควบคุมที่เครื่องควบคุมเพื่อประหยัดพลังงานทุกเครื่องจะต้องมีการควบคุมแบบนี้ แต่จะแตกต่างกันที่วิธีการในการควบคุม ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการวิเคราะห์

เอกสาร... ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และออกแบบระบบในการควบคุมโดยทำการแบ่งตารางเวลาออกเป็น 3 ประเภทคือวันทำงานปกติ (weekday) วันสิ้นสุดสัปดาห์ (weekend) และวันหยุดอื่น (holidays)ซึ่งโหลดแต่ละโหลดผู้ใช้จะใส่ข้อมูลแค่สามตารางก็สามารถควบคุมได้ตลอด การควบคุมโหลดแบบ Time rogramming โดยพื้นฐานแล้วมีไว้เพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้า แต่ในงานวิจัยนี้ ยังสามารถลดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ด้วย โดยวิธีการ Optimization ค่า Demand แล้วค่อยใช้ Time Programming เข้าควบคุม ซึ่งการควบคุมด้วย Time Programming สามารถประหยัดพลังงานได้มากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับว่าพฤติกรรมของผู้ใช้ไฟฟ้าก่อนการควบคุมเป็นอย่างไรถ้าก่อนการควบคุม มีการรณรงค์การประหยัดพลังงานโดยปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่ได้ใช้หรือไม่จำเป็นอยู่เสมอ หลังการควบคุมก็จะประหยัดพลังงานได้น้อยแต่ถ้าพฤติกรรมการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าก่อนการควบคุมไม่มีการสนใจการประหยัดพลังงาน มีการเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าทิ้งไว้โดยไม่จำเป็นเสมอๆ หลังการควบคุมก็จะประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้มาก

6.1.5 โปรแกรมการควบคุมแบบ Duty Cycle การควบคุมโหลดแบบ Duty Cycle หมายถึงการปิดโหลดเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ตลอดระยะเวลาการทำงานของโหลด โดยไม่กระทบกระเทือนต่อการทำงานของระบบหรือผลผลิตหรือพยายามให้ส่วนกระทบน้อยที่สุด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการวิเคราะห์ช่วงเวลาต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุม เช่น ช่วงเวลาปิด ช่วงปิดต่ำสุด ช่วงเวลาปิดสูงสุด ช่วงเวลาการทำงาน เป็นต้น ซึ่งเครื่องควบคุมโดยทั่วไปผู้ใช้ จะต้องมีพื้นฐานความรู้ทางด้านไฟฟ้า จึงจะสามารถเข้าใจความหมายของช่วงเวลาดังกล่าวได้และสามารถเลือกค่าได้เหมาะสม ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวถ้าเลือกค่าไม่เหมาะสมจะทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าน้อยลง นอกจากนี้แล้วยังใช้เทคนิคในการกระจายโหลดให้ปิดที่เวลาต่างกัน เพื่อว่าโหลดทั้งหมดจะได้ไม่เปิดทำงานพร้อมกันในเวลาเดียวกัน อันจะทำให้กำลังไฟฟ้ารวมที่ใช้สูง ดังนั้นจะเห็นว่าการควบคุมแบบ Duty Cycle สามารถประหยัดได้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า ซึ่งในการใช้งานจริงจะประหยัดได้มากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับ ตอนออกแบบการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าว่าออกแบบเผื่อไว้มากน้อยแค่ไหน ในทางปฏิบัติแล้วจะออกแบบเผื่อไว้ 20% ถึง 30% เพราะการออกแบบให้พอดีกับความต้องการจะเป็นการเสี่ยงเกินไป ดังนั้นการควบคุมแบบ Duty Cycle ก็จะประหยัดพลังงานในส่วนที่เกินความจำเป็นในส่วนนี้

6.1.6 โปรแกรมควบคุมแบบ demand Limiting Control เนื่องจากอัตราการคิดค่าไฟฟ้าจะคิดทั้งพลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้า ซึ่งในส่วนกำลังไฟฟ้าจะคิดกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดภายใน 15 นาที ใดๆ ของเดือนนั้นๆ ซึ่งจะเห็นว่าถ้าช่วงเวลาใดๆ ใช้กำลังไฟฟ้ารวมสูงกว่าช่วงเวลาอื่นๆ มาก ก็ทำให้ค่าไฟฟ้าสูงเกินกว่าค่าที่ควรจะเป็น ดังนั้นการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุด ใช้ควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดไม่ให้เกินค่าที่ผู้ใช้กำหนด โดยจะมีการตัดโหลดตามลำดับความสำคัญ โปรแกรมนี้ได้อาศัยเทคนิคในการคาดคะเนกำลังไฟฟ้าสูงสุด เพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบ ให้ต่ำกว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่สูงสุดที่ตั้งไว้ โดยไม่ต้องซิงโครไนซ์ของเครื่องวัดกำลังไฟฟ้า กับเวลาของเครื่องควบคุม เช่นเดียวกับเครื่องควบคุมอื่นๆ การประหยัดค่าไฟฟ้าด้วยวิธีการควบคุมกำลังไฟฟ้าสูงสุด สามารถประหยัดได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับลักษณะของอาคารพาณิชย์ หรือโรงงานอุตสาหกรรมที่จะทำการควบคุม ถ้ามีจำนวนโหลดที่สามารถควบคุมได้มาก โอกาสที่จะประหยัดค่าไฟฟ้าได้สูงก็มีโอกาสมาก และนอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับลักษณะของกราฟของโหลดและขั้นตอนการทำงานของโหลดด้วยเป็นสำคัญ ถ้ากราฟของโหลดเป็นลักษณะแบบเรียบ การควบคุมด้วย Demand Limiting Control ก็ไม่สามารถประหยัดค่าไฟฟ้าได้มาก และการควบคุมก็กระทำได้ลำบากหรือทำไม่ได้เลย และถ้าเป็นอาคารพาณิชย์หรือโรงงานที่โหลดขนาดใหญ่มากๆ เป็นหัวใจของการผลิต ที่ไม่สามารถหยุดการผลิตได้แม้ช่วงเวลาสั้นๆ และไม่สามารถเลื่อนเวลาการทำงานไปทำที่ OFF-PEAK ได้ ก็ไม่สามารถลดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้ ดังนั้นการประหยัดค่าไฟฟ้าโดยการควบคุมแบบ Demand Limiting Control จะเหมาะสมกับลักษณะของงาน ที่สามารถตัดโหลดออกได้เป็นช่วงเวลาสั้นๆ ในช่วง ON-PEAK โดยไม่กระทบกระเทือน ต่อการผลิต หรือกระทบกระเทือนน้อยที่สุด

ผลจากการควบคุมโหลดด้วย Duty Cycle และ Demand Limiting Control จากตัวอย่างระบบโหลดดังตารางที่ 4 ปรากฏว่าสามารถประหยัดได้ทั้งกำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้า การควบคุมด้วย Duty Cycle โดยหลักการแล้ว สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ ส่วนการระหยัดกำลังไฟฟ้าสามารถทำได้มากน้อยเพียงใด ก็ขึ้นอยู่กับโหลดที่ควบคุมด้วย Duty Cycle ถ้ามีจำนวนมาก ก็มีโอกาสประหยัดกำลังไฟฟ้าได้มาก และถ้าโหลดที่ถูกควบคุมมีขนาดเกินความจำเป็นมากทำให้สามารถปิดได้เป็นระยะเวลานาน ดังนั้นโอกาสที่โหลดจะถูกปิดกระจายตลอดเวลามีมาก ทำให้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดรวมลดลงได้

ตารางที่ 4

สรุปผลการควบคุมการใช้พลังงานในอาคาร

| ชนิดการควบคุม | กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุด (w) | พลังงานไฟฟ้า (Kw.hr) | กำลังไฟฟ้า ลดลง (%) | พลังงานไฟฟ้า ลดลง (%) |
|---|---|---|---|---|
| ไม่มีการควบคุม | 9400 | 136.66 | - | - |
| TP | 9400 | 86.12 | - | 36.89 |
| TP & DC | 8000 | 79.50 | 14.89 | 41.82 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เริ่มต้นตั้งแต่การศึกษาการคิดอัตราค่าไฟฟ้า วิธีการในการประหยัดพลังงานต่อมาทำการวิเคราะห์ระบบ เขียนโปรแกรม แล้วทำการทดลองวิธีการในการควบคุม ด้วยข้อมูลของโหลดที่สมมุติขึ้นมา ทำการแก้ไขวิธีการในการการควบคุม จนสมบูรณ์แล้วทำการควบคุมโหลดของอาคารดังตัวอย่างในการทดลองที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งเป็นโหลดของห้องเดียวจำนวน 8 โหลด ดังนั้นชนิดของโหลดจึงไม่มีความหลากหลาย การควบคุมบางแบบ เช่น Demand Limit Control ก็ไม่สามารถกระทำได้เห็นผลชัดเจนมากนักเนื่องจากลักษณะของโหลดไม่เหมาะสมในการควบคุมแบบนี้ ตลอดจนการควบคุม ก็ทำการควบคุมเพียงช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งไม่ได้ต่อใช้งานจริงๆ เป็นเดือนหรือเป็นปี เนื่องจากมีข้อจำกัดหลายอย่าง ในจุดนี้จึงเห็นสมควรว่า ควรทำการควบคุมจริงๆ ช่วงระยะเวลาพอสมควร เพื่อจะได้ผลสรุปที่ดีกว่า ในการประหยัดพลังงานว่ามากน้อยเพียงใด ตลอดจนประสิทธิภาพและอายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้า แต่อย่างไรก็ตาม ในส่วนของระบบควบคุมทั้ง 3 ระบบที่ได้พัฒนาขึ้น เป็นระบบที่พร้อมใช้งานแล้ว มีโปรแกรมในส่วน input data และ out put ที่ไปควบคุมการเปิดปิด ตลอดจน Real-Time Graphics แสดงสถานะการเปิดปิด อุณหภูมิ และกราฟการใช้พลังงานและกำลังไฟฟ้า ส่วนที่เห็นสมควรพัฒนาต่อไปคือการ Optimize กำลังไฟฟ้าของระบบในช่วงควบคุมด้วย Duty Cycle เพราะการควบคุมด้วย Duty Cycle ในส่วนที่พัฒนาขึ้นมานั้น ได้พัฒนาเทคนิคของการกระจายการปิดเปิดโหลดด้วยจำนวนโหลดที่ปิดเกือบคงที่ตลอดเวลา แต่ไม่ได้ Optimize กำลังไฟฟ้าสูงสุดเพื่อให้ต่ำสุด และงานวิจัยทางด้านอายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ น่าจะได้รับการศึกษาและวิเคราะห์ เพราะการควบคุมโหลดด้วย Duty Cycle มีการปิดเปิดโหลดเป็นระบบ รวมทั้งช่วงเวลาการเปิดปิดของโหลดที่เหมาะสม โดยไม่ทำให้อายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลง

เครื่องควบคุมเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่นำจากต่างประเทศมาขายในประเทศไทย มีราคาสูงมากถ้าหากสร้างเครื่องควบคุมใช้เองภายในประเทศ สามารถสร้างได้ในราคาหนึ่งในสาม ของราคาที่ขายสำหรับเครื่องขนาดเล็กที่ต่ำกว่าแสนบาท และราคาเครื่องควบคุมที่สร้างขึ้นเอง สำหรับเครื่องควบคุมระบบใหญ่ๆ อาจลดลงถึงหนึ่งในหกของราคาขาย ในงานวิจัยได้พัฒนาโปรแกรมควบคุม อันเป็นหัวใจของเครื่องควบคุมเพื่อประหยัดพลังงาน และถ้าต้องการที่จะนำไปใช้ควบคุมโหลดเพื่อประหยัดพลังงานจริงก็สามารถทำได้ไม่ยากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง


[1] Johnson Controls. Building Automation System For Today and Tomorrow. U.S.A. : JC/85/20 Milwaukee, WI 53201, 1982

[2] Honeywell. Delta 1000 Energy Management System, Power DemandControl. U.S.A. : Honeywell, Number 74-1466, 1974

[3] เอกชัย แสงอินทร์ . การออกแบบและสร้างเครื่องควบคุมค่าความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุดโดยใช้ไมโครโปรเซสเซอร์. กรุงเทพฯ : วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (ISBM 974- - 562 - 825 - 2), 2526.

[4] Honeywell. Delta 1000 Energy Management System, Duty Cycling. U.S.A. :Honeywell, Number 74 - 1732, 1974.

[5] Cheviot. Cheviot Energy Management System. Hong Kong : Cheviot Energy System, 1991.

[6] การไฟฟ้านครหลวง. อัตราค่าไฟฟ้า. กรุงเทพฯ : การไฟฟ้านครหลวง, 2534

[7] กวิน สนธิเพิ่มพูน, ร.ท.สุรศักดิ์ สุวรรณเกษา ร.น.. ขบวนการในการควบคุมแบบ Duty Cycle สำหรับเครื่องปรับอากาศ. กรุงเทพฯ : การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า (CP 006),2536


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

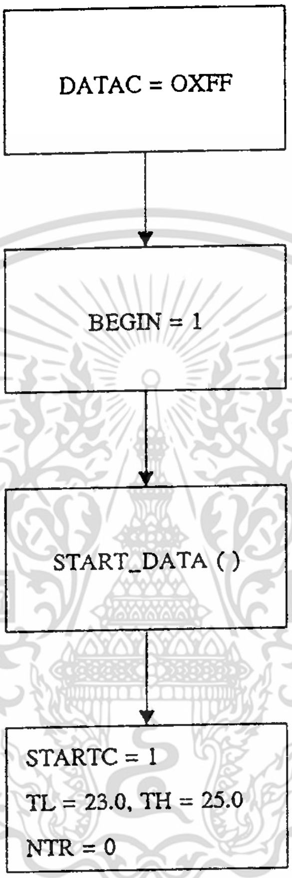
# ภาคผนวก ก.

## Flow Chart ฟังก์ชันที่สำคัญของการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MODULE ที่สำคัญ**

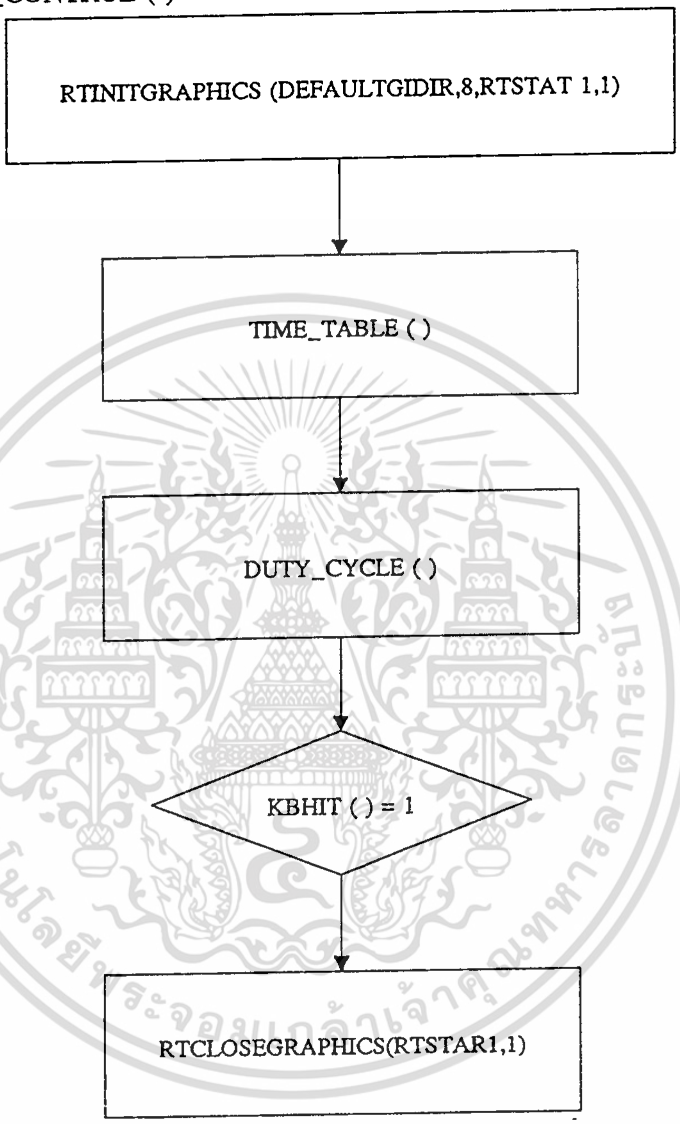
1. START_CONTROL ( ) เป็น module ที่กำหนดค่าเริ่มต้นต่าง ๆ ให้กับระบบควบคุมที่สำคัญดังนี้




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

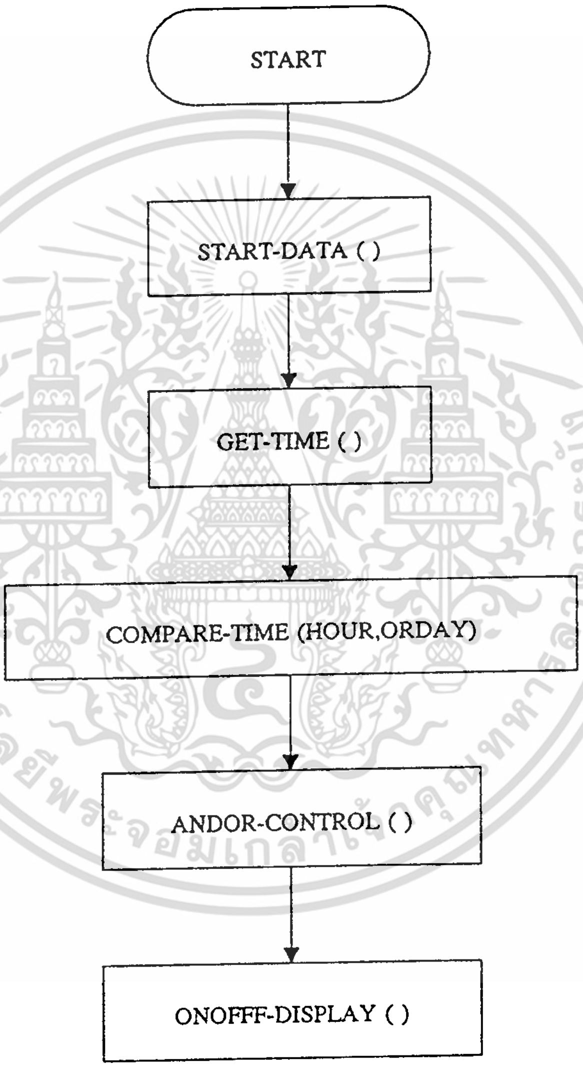
2. STARTC_DATA ( ) module นี้จะทำการอ่านข้อมูลจาก file ข้อมูลทั้ง 3 fileมาเก็บไว้ในหน่วยความจำ

3 MAIN_CONTROL ( )



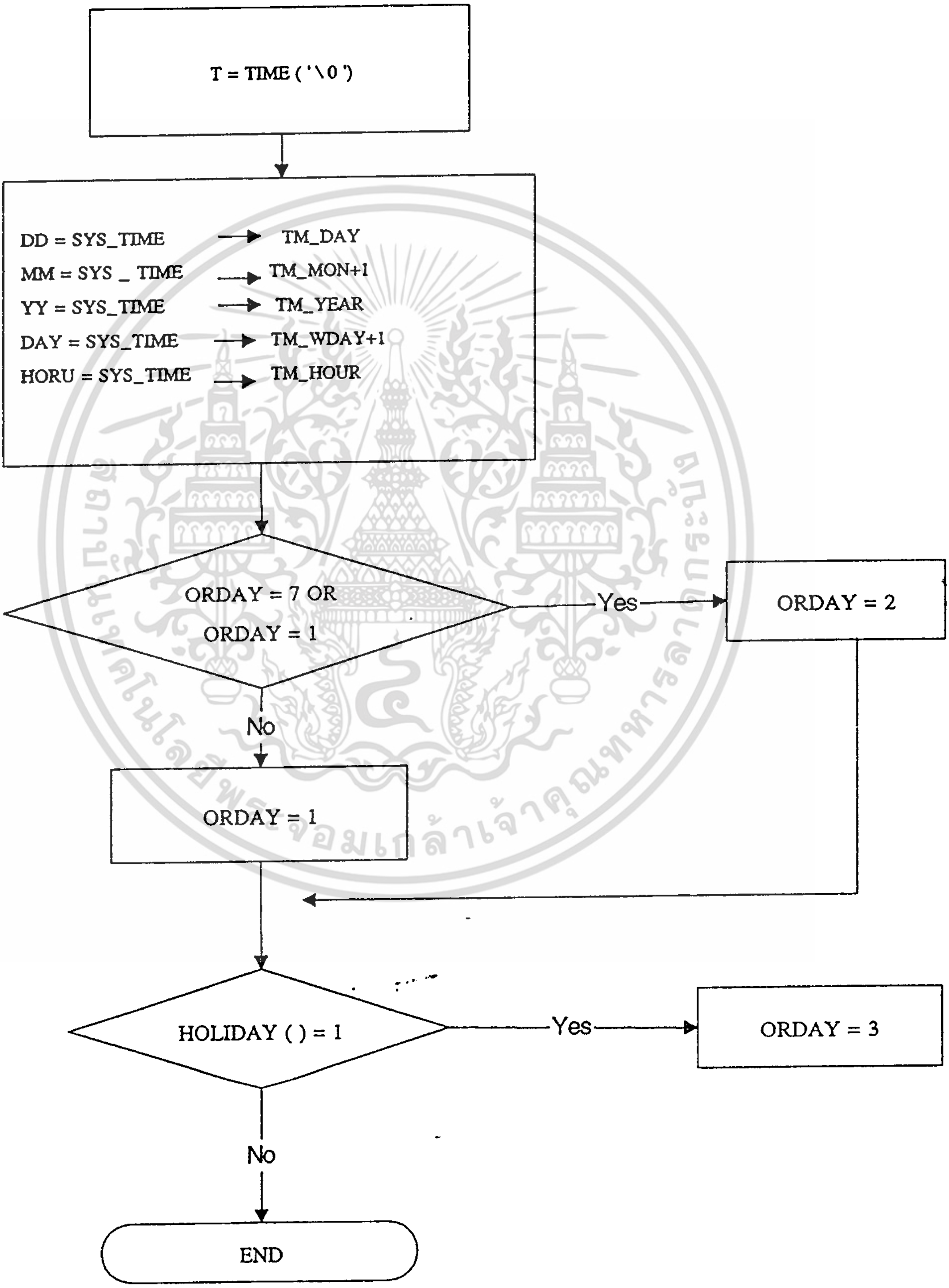

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. TIME_TABLE เป็น module หลักที่ใช้ในการควบคุมแบบ Time Programing



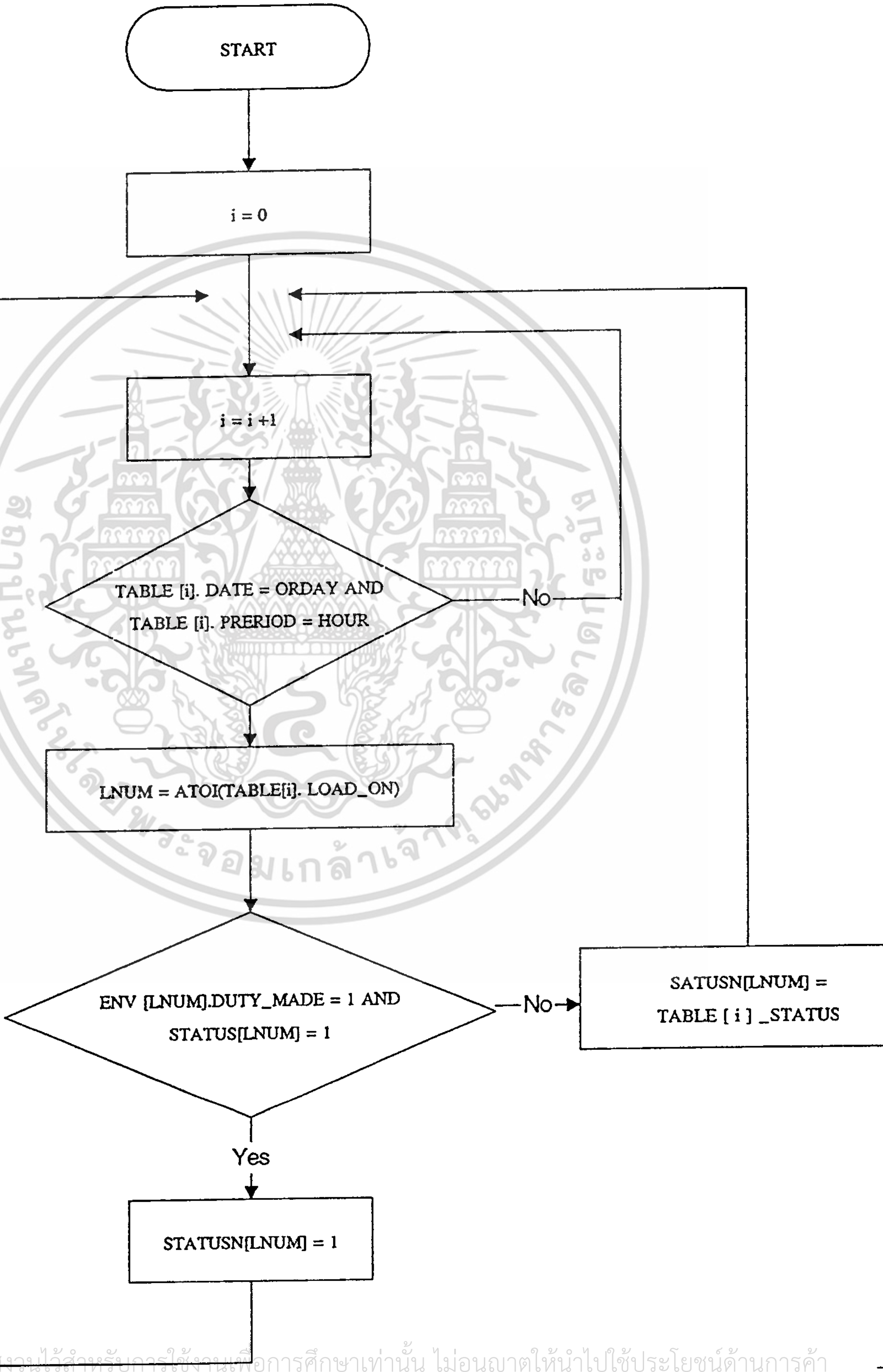

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. GET_TIME ( ) module นี้จะทำการอ่านค่า วัน - เดือน - ปี และเวลาจากระบบปฏิบัติการเพื่อจะนำมาเปรียบเทียบในการควบคุม




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. COMPARE_TIME ( ) เป็น module ที่ทำการเปรียบเทียบวันปัจจุบันว่าใช้ ตารางควบคุมแบบไหน และทำการเปรียบเทียบ period ให้ตรงกับเวลาปัจจุบัน แล้วกำหนด STATUS เพื่อไปควบคุมเปิดหรือปิดโหลด




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. Andor_Control ( ) module นี้จะทำงานร่วมกับส่วนอินเตอร์เฟส 2 ส่วนคือ PC 8255 และ Solid-State Relay ซึ่งการทำงานของ Card ทั้ง 2 ดังนี้

7.1 PC 8255 จะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ IC 8255 ซึ่งเป็น IC ทำหน้าที่เป็น input, output port และส่วนของวงจร IC Decode (เลือกตำแหน่งของ port คือ IC 745688, 74LS688, 74LS139 และ Dip Sw. IC 8255 เป็น IC ซึ่งประกอบด้วย Port ใช้งาน 3 Port และอีก 1 Port ควบคุม ก่อนที่จะใช้งาน 8255 จะต้องส่งข้อมูลไปยัง Port ควบคุมก่อนว่าจะให้ Port ของ 8255 ที่เหลือทำหน้าที่อะไรเป็น input หรือ output port เราจะต้องเป็นผู้กำหนด ดังตัวอย่างในโปรแกรม Andor_Control IC 8255 1 ตัวสามารถใช้ควบคุมโหลดได้ 24 โหลด และ Card PC 8255 ขยายเพิ่ม IC 8255 ได้ 3 ตัว จึงสามารถควบคุมโหลดได้ 72 โหลด

7.2 Et-Ssrac เป็น Solid-State Relay (SSR) ซึ่งการทำงานของ SSR แบ่งได้เป็น 2 ส่วนใหญ่และจะมาขับให้ Tr Bc557 ทำงานให้ IC Optical (Plloto) Moc 3082 เปลี่ยนสัญญาณจากไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณทนแสงส่งไปภาค Output อีกทีหนึ่ง ซึ่งจะทำให้เป็นการตัดขาดระหว่าง Input และ Output จริงๆ

- ภาค Input จะรับสัญญาณจาก Port 8255 ซึ่งจะส่งมาให้ IC75LS245ซึ่งเป็น Buffer ทนแสงส่งไปภาค Output อีกทีหนึ่ง ซึ่งจะทำให้เป็นการตัดขาดระหว่าง Input และ Output จริงๆ

- ภาค Output จะรับสัญญาณจาก IC MOC3082 ซึ่งจะเป็นการทำงานในรูปลักษณะ Zero Switching โดยจะต่อวงจรขับ Triac ก็เมื่อไฟ AC line มีค่าใกล้เคียง 0 โวลย์

สำหรับการส่งค่าไปควบคุมโหลดต่างๆ ค่า 0 เป็นสถานะ ON ส่วน 1 เป็น OFF ซึ่งมีเทคนิคในการส่งค่าไปควบคุมรายละเอียดในโปรแกรม Andor_Control.c

Define ค่าคงที่ดังนี้

ON0 0XFF, ON1 0XFD, ON2 0XFD, ON3 0XF7, ON4 0XEF

ON5 0XDF, ON6 0X6F, ON7 0X7F

OFF0 0X01, OFF1 0X02, OFF2 0X04, OFF3 0X08, OFF4 0X10

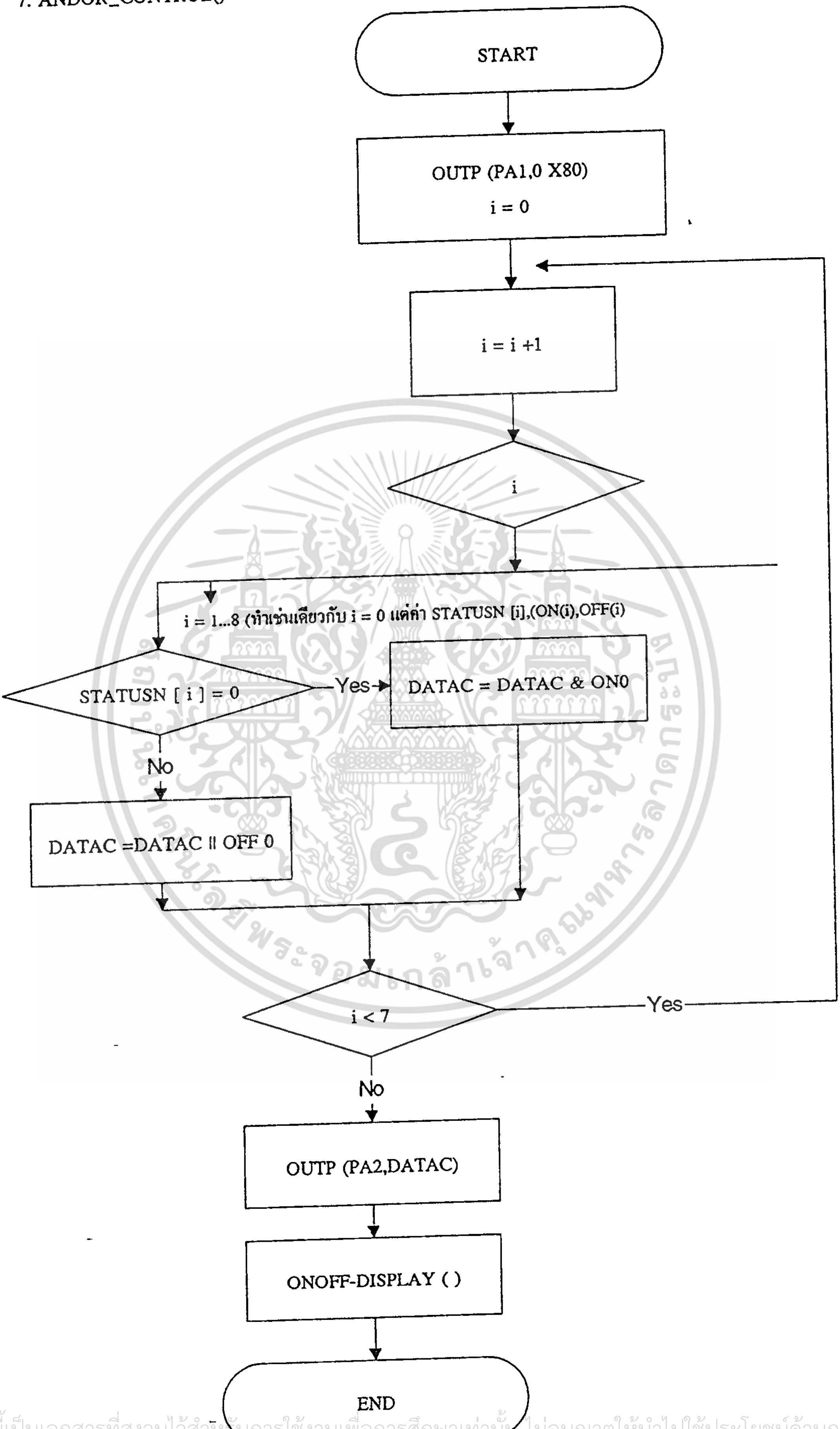
OFF5 0X20, OFF6 0X40, OFF7 0X80

PA1 0X303 ⟶ Control Port

PA2 0X300 ⟶ Output Data Port

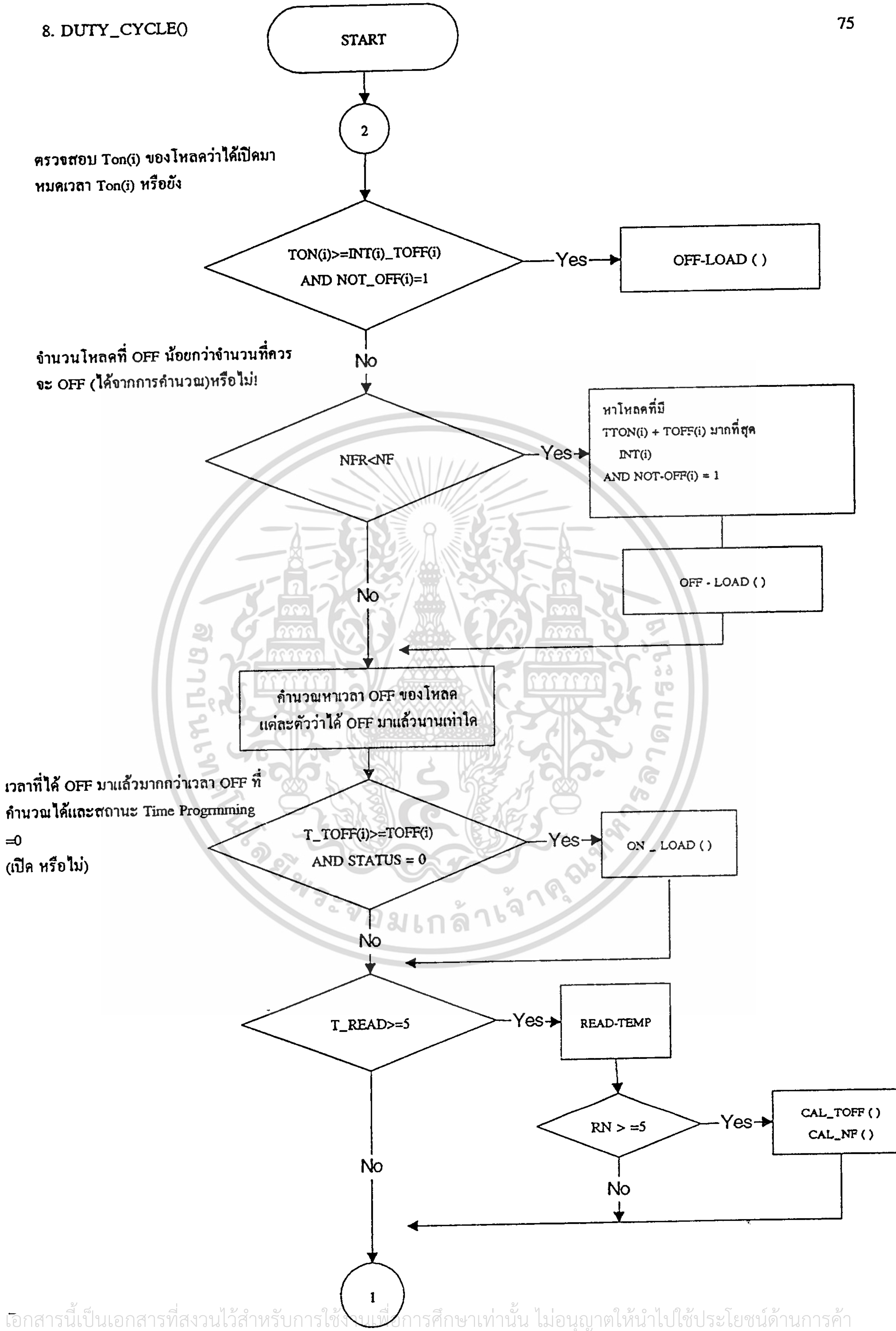
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. ANDOR_CONTROL()



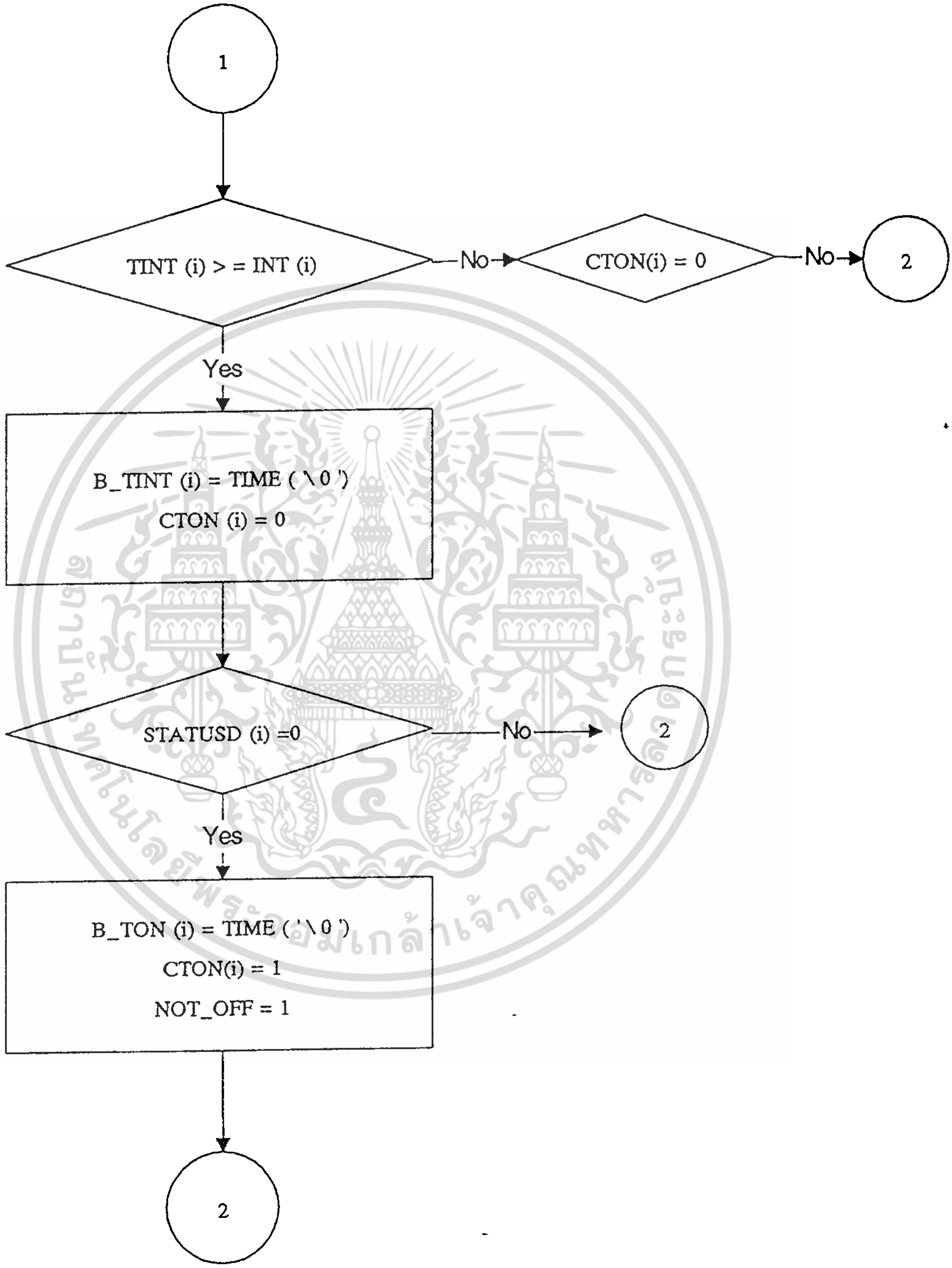

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. DUTY_CYCLE()



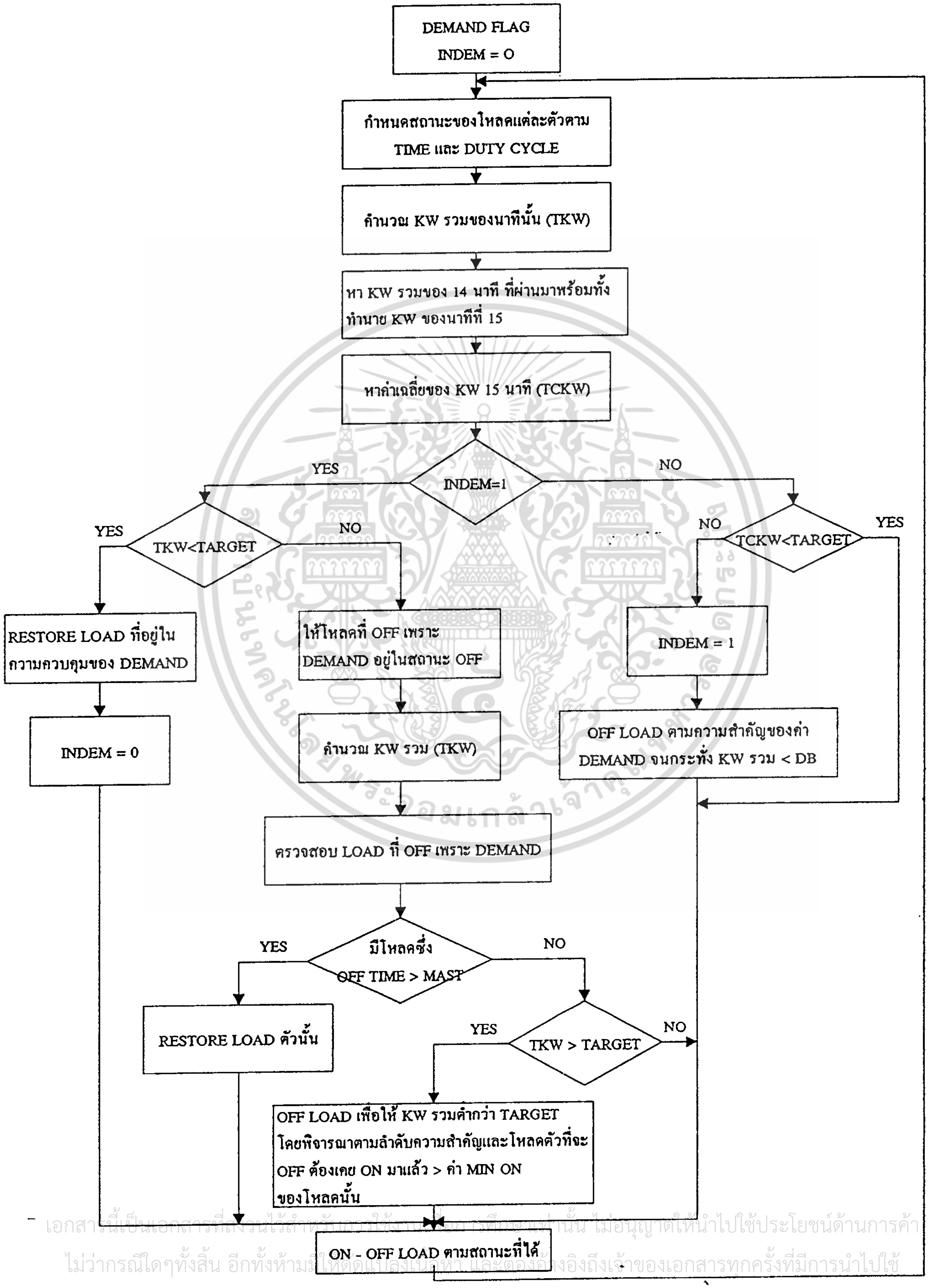

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DUTY_CYCLE() ต่อ




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. DEMAND_LIMIT()




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข.

# ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ขบวนการในการควบคุมแบบ Duty Cycle สำหรับเครื่องปรับอากาศ
# (Duty Cycle Control Algorithms For Air_Condition)

ร.ท.สุรศักดิ์ สุวรรณเกษา ร.น. *
กวิน สนธิเพิ่มพูน **

**บทคัดย่อ** - เนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้ามักจะได้รับการออกแบบให้เกินขนาดเผื่อไว้เสมอ การจัดการควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าจึงมีไว้เพื่อให้ใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างประหยัด ขณะเดียวกันก็ไม่มีผลกระทบต่อขบวนการผลิตหรือความสบาย งานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการควบคุมแบบ Duty Cycle เป็นการควบคุมด้วยการตัดโหลดเป็นเวลา เป็นการลดค่าพลังงานไฟฟ้า ด้วยการปิดโหลดเป็นช่วงๆ สำหรับโหลดที่ไม่จำเป็น ต้องทำงานตลอดเวลา และได้ใช้เทคนิคการกระจายปิดโหลดด้วยเพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูงสุด นอกเหนือจากความสามารถในการประหยัดพลังงานจากการทดลองสามารถประหยัดกำลังไฟฟ้าได้ 36.5 % และประหยัดพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 32 %

**Abstract**

- The electrical installation design may make for even more necessary. Energy Management System is then provided in order to utilize those equipments effectively. This research is to develop Duty Cycle algorithms for controlling energy utilization. The Duty Cycle fucntion reduces the overall Kw-hr comsumption by Cycle groups of electrical loads which need not be operate Continuously. A technique to spread the off periods of the load in a Duty Cycle fucntion was developed in order to decrease the demand as well as energy. Duty Cycle can reduce the total 32 percent of the energy cost and 36.5 percent of demand (by testing).

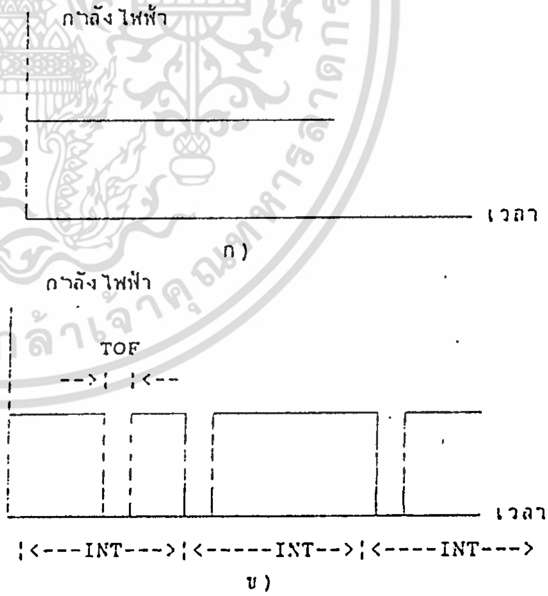
## 1) บทนำ

การควบคุมโหลด เพื่อประหยัดพลังงานมี หลายแบบ และโดยหลักการที่ว่าอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยมากจะถูกออกแบบให้ใช้งานโดยมีขนาดใหญ่กว่าที่จำเป็นเสมอเพราะการหาขนาดที่เหมาะสมของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งาน เพื่อให้สัมพันธ์กับโหลดทำได้ลำบากและดูจะเสี่ยงเกินไป ดังนั้นการหาขนาดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้งานทั่วไปจึงเป็นแบบเผื่อไปทางมากไว้บางส่วน เพราะหากขนาดของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ ต่ำกว่าความจำเป็นจะทำให้เกิดปัญหามากด้วยความเป็นจริงจึงเลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่เกินความจำเป็น จึงมีการหาวิธีประหยัดพลังงานไฟฟ้าโดยใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า หรือ โหลดดังกล่าวปิดในช่วงสั้นๆ โดยไม่ทำให้ผลจากการทำงานเสียหายทั้งในแง่ของการใช้งานและอุปกรณ์ วิธีการปิดโหลดเป็นช่วงเวลาสั้นๆตลอดระยะเวลา การทำงานของโหลดเรียกว่า Duty Cycle การควบคุมแบบ Duty Cycle ที่ใช้โดยทั่วไปเป็นการควบคุมแบบช่วงเวลาปิดคงที่การควบคุมแบบนี้ระยะเวลาที่ปิดโหลด ในแต่ระช่วงจะปิดโหลดด้วยเวลาคงที่ตลอด ซึ่งการควบคุมแบบนี้ สามารถใช้งานได้ระดับหนึ่ง แต่การควบคุมอุณภูมิให้ อยู่ในช่วงสบายและ การประหยัดพลังงานและกำลังงานทำได้ไม่ดีงานวิจัยนี้จึงทำการวิจัย ขบวนการควบคุม Duty Cycle แบบช่วงเวลาปิดที่แปรเปลี่ยนได้โดยช่วงเวลาปิดอุปกรณ์ไฟฟ้า จะเปลี่ยนแปลงไปตาม เงื่อนไขต่าง ๆ ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียด ในหัวข้อต่อไป จากการทดลองทำให้การลดพลังงาน และกำลังงานลงได้มากขึ้น ตลอดจนการควบคุมให้อุณหภูมิอยู่ในช่วงสบายก็ทำได้ดีกว่า การควบคุมแบบช่วงเวลาปิดคงที่

## 2) ทฤษฎี

### 2.1 หลักการควบคุมด้วย Duty Cycle

การควบคุมโหลดแบบ Duty Cycle หมายถึง การปิดโหลดเป็นช่วงเวลาสั้นๆ ตลอดระยะเวลาการทำงานของโหลด โดยไม่กระทบกระเทือนต่อการทำงานของระบบหรือผลผลิต หรือพยายามให้มีส่วนกระทบน้อยที่สุด พิจารณาภาพที่ 1. ซึ่งเปรียบเทียบแสดงการทำงานของโหลดหนึ่งตัวแบบไม่มี Duty Cycle ในภาพที่ 1.ก) และแบบมี Duty Cycle ในภาพที่ 1 ข)




ภาพที่ 1 การทำงานของโหลดแบบ Duty Cycle
ก) แบบไม่มี Duty Cycle
ข) แบบมี Duty Cucle

ช่วงเวลาต่าง ๆ ที่ใช้ในการควบคุมโหลดด้วย Duty Cycle ควรได้รับการศึกษาให้เข้าใจก่อน ก่อนที่จะไปทำความเข้าใจในรายละเอียดการทำงานของ ระบบควบคุมเพื่อประหยัดพลังงานไฟฟ้าด้วย Duty Cycle

* นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ และเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

** อาจารย์ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงเวลาการทำงาน (Interval) หมายถึงช่วงระยะเวลาการทำงานของโหลดที่มีการปิดโหลดหนึ่งครั้ง ดังแสดงด้วยช่วงระยะเวลา INT ในภาพที่ 1 ข) การเลือกช่วงเวลาการทำงานนี้ ผู้ใช้ต้องเป็นผู้เลือกให้เหมาะสมโดยโหลดที่สำคัญจะมีการปิดเปิดบ่อยครั้งกว่า โหลดที่สำคัญรองลงมา และช่วงเวลาปิดควรสั้นเมื่อเทียบกับช่วงเวลาการทำงาน

ช่วงเวลาปิด (Off Time) หมายถึง ช่วงเวลาที่ปิดโหลดในแต่ละช่วงเวลา การทำงาน (Intervel) ในภาพที่ 1. ข) TOF ก็คือช่วงเวลาปิดในแต่ละช่วงเวลาการทำงาน INT ช่วงเวลาปิดใน Duty Cycle นี้แบ่งออกได้เป็นสองอย่างขึ้นอยู่กับวิธีการที่ใช้ในการควบคุม คือช่วงเวลาปิดคงที่ (Fixed Off Time) และช่วงเวลาปิดที่แปรเปลี่ยนได้ (Varied Off Time)

ช่วงเวลาปิดคงที่ (Fixed Off Time) หมายถึงช่วงเวลาปิดโหลดที่มีค่าคงที่ในแต่ละช่วงเวลาการทำงาน ผู้ใช้เครื่องควบคุมเป็นผู้เลือกค่าเวลาปิด วิธีการเลือกค่าดังกล่าวเป็นวิธีการเลือกค่าแบบเดาสุ่ม โดยดูสภาพการทำงานของโหลด และเปลี่ยนค่าดังกล่าวนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับโหลดนั้น ๆ

ช่วงเวลาปิดที่แปรเปลี่ยนได้ (Varied Off Time) หมายถึงช่วงเวลาปิดโหลดที่เปลี่ยนแปลงค่าไปเรื่อย ๆ ตามสภาพการทำงาน ของโหลด และการเปลี่ยนแปลงค่าดังกล่าว เครื่องควบคุมจะเปลี่ยนให้เอง โดยอัตโนมัติตลอดเวลา โดยเอาผลจากการทำงานของโหลดในแต่ละเวลามาปรับค่า เช่น เครื่องปรับอากาศ ช่วงเวลาปิดที่แปรเปลี่ยนได้จะได้มาจากการคำนวณที่ใช้ช่วงอุณหภูมิที่สบาย อุณหภูมิของอากาศภายนอกห้องเป็นตัวแปร

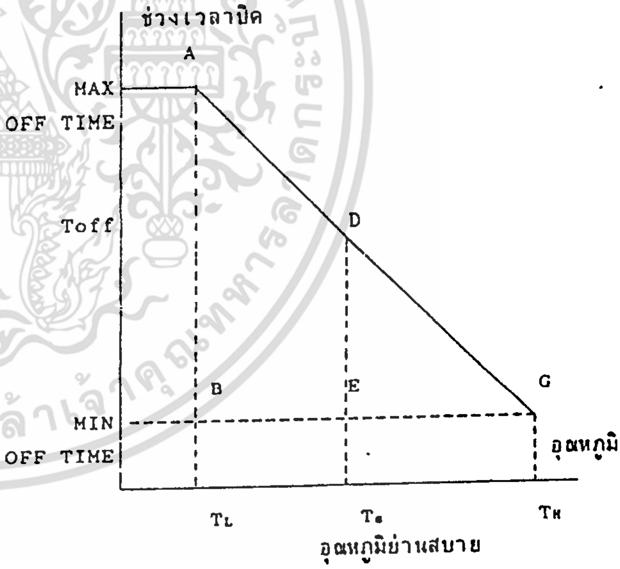
ช่วงเวลาปิดต่ำสุด (Minimun Off Time) หมายถึงช่วงเวลาปิดโหลดที่มีค่าต่ำสุด โดยที่อุณหภูมิหรือโหลดสามารถทำงานได้โดยไม่ทำให้โหลดเสียหาย หรือมีอายุการใช้งานสั้นลง เช่น เครื่องปรับอากาศ โดยทั่วไปเมื่อปิดไปแล้วต้องรอระยะเวลาอย่างต่ำ 3-5 นาที (ขึ้นอยู่กับเครื่อง) ก่อนที่จะเปิดให้ทำงานได้อีกครั้ง เพราะถ้าไม่มีช่วงเวลาปิดต่ำสุดสำหรับเครื่องปรับอากาศแล้วจะทำให้น้ำยาในท่อความดันยังสูงอยู่ และคอมเพรสเซอร์ต้องทำงานหนักกว่าปกติ อายุการใช้งานจะต่ำลง

ช่วงเวลาปิดสูงสุด (Maximum Off Time) หมายถึงช่วงเวลาปิดโหลดที่สูงที่สุดที่โหลดยังทำงานได้ โดยไม่ทำให้ผลที่เกิดจากการทำงานของโหลดผิดเป้าหมาย เช่น ในเครื่องปรับอากาศ ช่วงเวลาปิดสูงสุดคือ ช่วงเวลาที่สามารถปิดโหลดได้นานที่สุด โดยที่ยังไม่สูญเสียความสบาย (Comfort)

ช่วงเวลาเปิดต่ำสุด (Minimum On Time) หมายถึงช่วงเวลาเปิดโหลดต่ำสุดก่อนที่จะปิด การกำหนดช่วงเวลาต่ำสุดดังกล่าว ก็เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์มีอายุการใช้งานสั้นลง เช่น มอเตอร์ จะดึงกระแสเริ่มแรกสูงทำให้เกิดความร้อนสะสมในขดลวดมาก ดังนั้นควรเดินเครื่องสักระยะหนึ่งเพื่อให้มีการระบายความร้อนออกก่อนที่จะหยุดเครื่อง เป็นต้น

**2.2 Duty Cycle แบบช่วงเวลาปิดแปรเปลี่ยนได้**

การควบคุมโหลดด้วย Duty Cycle แบบช่วงเวลาปิดแปรเปลี่ยนได้นี้จะมีการเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาปิดตามอุณหภูมิภายในห้องที่รับเข้ามาว่าอยู่ในช่วงอุณหภูมิย่านสบาย (Comfort Temperature Range) หรือไม่ ถ้าอุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้อยู่ในช่วงสบายแต่ค่อนไปทางอุณหภูมิสูง ช่วงเวลาปิดที่เครื่องควบคุมทำงานก็มีค่าน้อย แต่ถ้าอุณหภูมิภายในห้องที่วัดได้มีค่าไปทางอุณหภูมิต่ำช่วงเวลาปิดที่คำนวณและจะใช้ก็มีค่าสูง วิธีนี้ดีกว่าการทำ Duty Cycle แบบช่วงเวลาปิดคงที่ เพราะมีการปรับช่วงเวลาปิดตลอดเวลา เพื่อรักษาอุณหภูมิห้องให้สบายช่วงเวลาปิดที่คำนวณออกมาได้ถ้ามีค่าต่ำกว่าช่วงเวลาปิดต่ำสุดก็ใช้ช่วงเวลาปิดต่ำสุดนั้น แต่ถ้าช่วงเวลาปิดที่คำนวณออกมาได้มีค่าสูงมากไป ก็ใช้ช่วงเวลาปิดสูงสุดเป็นเกณฑ์ ข้อมูล Input ที่จะใช้สำหรับโปรแกรมทำ Duty Cycle แบบมีช่วงเวลาปิดที่แปรเปลี่ยนได้นี้สำหรับโหลดแต่ละตัวมีช่วงเวลาปิดต่ำสุด ช่วงเวลาปิดสูงสุด อุณหภูมิย่านสบายต่ำสุด อุณหภูมิย่านสบายสูงสุด ช่วงเวลาเปิดต่ำสุด วิธีการคำนวณหาช่วงเวลาปิดที่แปรเปลี่ยนได้ตามอุณหภูมิภายนอกห้อง และอุณหภูมิย่านที่สบายสามารถทำได้โดยพิจารณา ภาพที่ 2 ประกอบ การที่ให้เครื่องควบคุมมีช่วงเวลาปิดที่แปรเปลี่ยนได้อยู่ในย่านช่วงเวลาปิดที่สูงสุดและ ต่ำสุด ก็เพื่อไม่ให้เกิดความไม่สบาย (Uncomfort) และ ความเสียหายต่ออุปกรณ์ เนื่องจากความร้อนสูงเกินไป (Overheating)




ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิห้องและช่วงเวลาปิด

ในภาพที่ 2 $T_L$ เป็นอุณหภูมิต่ำสุดของอุณหภูมิย่านสบาย และ $T_H$ เป็นอุณหภูมิสูงสุดของอุณหภูมิย่านสบาย การกำหนดช่วงเวลาปิดต่ำสุดเกิดขึ้น เมื่ออุณหภูมิห้องมีค่า $T_H$ และช่วงเวลาปิดสูงสุดเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิห้องมีค่า $T_L$ ช่วงเวลาปิดอื่น ๆ $T_{off}$ ในอุณหภูมิย่านสบาย $T_s$ ใด ๆ สามารถคำนวณได้โดยพิจารณาภาพที่ 2 ประกอบโดยใช้หลักการของสามเหลี่ยมคล้าย

$$\frac{AB}{DE} = \frac{BG}{EG} \qquad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{Toff(MAX) - Toff(MIN)}{Toff - Toff(MIN)} = \frac{T_H - T_L}{T_H - T_S} \qquad (2)$$

ให้ Q เป็นอัตราส่วน

$$\frac{T_H - T_S}{T_H - T_L} = Q \qquad (3)$$

$$\frac{Toff - Toff(MIN)}{Toff(MAX) - Toff(MIN)} = Q$$

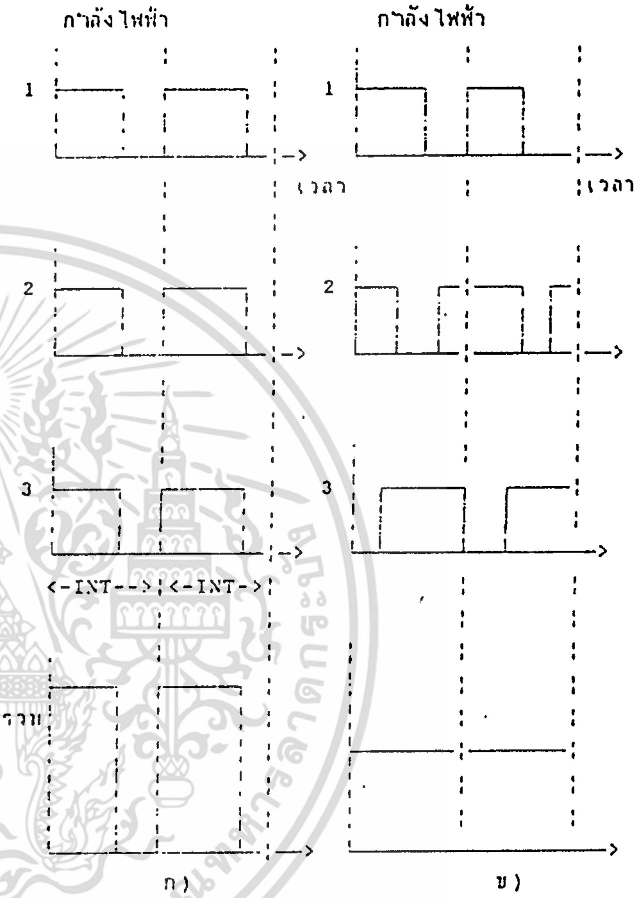
$$Toff^{2} = (Toff(MAX) - Toff(MIN))\, Q + Toff(MIN) \qquad (4)$$

ช่วงเวลาปิด Toff ที่คำนวณได้จากสมการที่ (4) เป็นช่วงเวลาปิดที่จะเกิดขึ้นในหนึ่งช่วงเวลาการทำงาน สำหรับช่วงเวลาปิด Toff(MAX), Toff(MIN), $T_L$, $T_H$ และ INT ช่วงเวลาการทำงาน ผู้ใช้จะเป็นผู้กำหนดว่าควรเป็นเท่าใด หลักการในการคำนวณค่าต่าง ๆ เหล่านี้พอพิจารณาเป็นแนวทางได้คือ โหลดใดที่มีการปิดเปิดบ่อยจะให้ความสบายมากกว่าโหลดที่มีการปิดเปิดน้อย ทำให้พอกะเกณฑ์ช่วงเวลาการทำงานได้ เช่น เครื่องปรับอากาศในห้องที่ต้องการความสบายอาจใช้ช่วงเวลาการทำงาน 15-20 นาที แต่ถ้าในห้องที่ไม่สำคัญมาก หรือในช่วงเวลานั้นมีการใช้งานไม่มาก ช่วงเวลาการทำงานอาจยาวถึง 30-60 นาที ส่วนค่า Toff(MAX) และ Toff(MIN) ที่ผู้ใช้จะเลือกค่านั้นต้องทราบสภาพการณ์การใช้เครื่องปรับอากาศ นั่นคือ เครื่องปรับอากาศนั้นเกินขนาดที่ควรใช้มากเท่าใด ถ้าหากใช้เครื่องปรับอากาศเกินขนาดมากช่วงเวลาที่เปิดเพื่อให้เย็นสบายก็ใช้สั้นมาก ดังนั้นช่วงเวลาปิดก็นานได้ เช่น เครื่องปรับอากาศที่ใช้เกินขนาดในห้อง ๆ หนึ่งอาจตั้งช่วงเวลาการทำงาน 20 นาที และให้ช่วงเวลาปิดสูงสุด 15 นาที ช่วงเวลาปิดต่ำสุด 8 นาที เป็นต้น อุณหภูมิย่านสบายต่ำสุดและสูงสุดที่ใช้กันทั่วไปคือ 74 และ 77 องศาฟาเรนไฮต์ ตามลำดับ

การที่ใช้หลักการของสามเหลี่ยมคล้ายหาค่า Toff นั้น ก็เนื่องจากการกระจายความร้อนระหว่างภายนอกอาคารและภายในอาคารเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอุณหภูมิ และปริมาณความร้อนที่กระจายระหว่างอาคารภายนอก และภายในสัมพันธ์โดยตรงกับเวลา คือเมื่อเวลามากขึ้นก็มีการกระจายความร้อนมากขึ้น ดังนั้น ความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาใดของระบบทำความเย็นจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอุณหภูมิภายในห้อง

**2.3 การกระจายให้โหลดปิดที่เวลาต่างกัน**

ในการควบคุมโหลดด้วย Duty Cycle จะให้โหลดแต่ละโหลดปิดหนึ่งครั้งในหนึ่งช่วงเวลาการทำงาน (Intervel) ช่วงเวลาที่ปิดโหลดจะให้นาน เท่ากับเวลาที่คำนวณได้ ตามสมการที่ (4) ในการทำ Duty Cycle ต้องมีวิธีการจัดการให้โหลดที่ปิดในแต่ละช่วงเวลาการทำงานที่เกิดขึ้นกระจาย ที่เวลาต่าง ๆ กัน เพื่อว่าโหลดทั้งหมดจะได้ไม่เปิดทำงานพร้อมกันในเวลาเดียวกัน อันจะทำให้กำลังไฟฟ้ารวมที่ใช้สูง พิจารณาภาพที่ 3 ของโหลด 3 โหลดขนาดเท่ากัน และเวลาปิดเปิดเท่ากัน ที่ถูกควบคุมด้วย Duty Cycle ภาพที่ 3 ก) มีการทำ Duty Cycle แต่ไม่มีวิธีการกระจายโหลดให้ปิดต่างเวลากัน ทำให้มีการใช้กำลังไฟฟ้าสูงกว่าแบบมีการกระจายโหลด ให้ปิดที่เวลาต่างกันในภาพที่ 3 ข)




ภาพที่ 3 การควบคุมโหลดด้วย Duty Cycle
ก) โหลดปิดที่เวลาเดียวกัน
ข) โหลดปิดที่เวลาต่างกัน

วิธีการกระจายโหลด ให้ปิดที่เวลา ต่าง ๆ กัน สามารถทำได้โดยพิจารณาหาจำนวนโหลดที่ควรจะ ให้มีการปิดในแต่ละเวลา (NF) ให้มีจำนวนพอ ๆ กันในกรณีที่ขนาดของโหลดมีขนาดใกล้เคียงกัน แต่ถ้าขนาดของโหลดมีขนาดแตกต่างกันมาก ค่า NF ควรเป็นฟังค์ชั่นของขนาดโหลดด้วย กล่าวคือ NF จะมีค่ามากในกรณีที่ให้โหลดขนาดเล็กปิดพร้อมกัน และ NF ควรมีค่าน้อยเมื่อจะปิดโหลดขนาดใหญ่ ทั้งนี้เพื่อไม่ให้เกิดค่า Demand สูง

สำหรับในงานวิจัยนี้ ทำใช้กับโหลดที่เป็นเครื่องปรับอากาศเสียส่วนใหญ่ ซึ่งจะมีขนาดไม่แตกต่างกันมากนัก จึงใช้วิธีแรกคือปิดโหลดในแต่ละเวลาด้วยจำนวน พอ ๆ กัน โดยคิดจาก Probability เพื่อหาจำนวนโหลดเฉลี่ยดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$NF^2 = \sum_{i=1}^{N} \frac{Toff(i)}{INT(i)} \qquad (5)$$

NF = จำนวนโหลดเฉลี่ยที่ควรให้ปิดตลอดเวลา

Toff(i) = ช่วงเวลาปิดที่คำนวณตามสมการที่ (4) ของโหลด i

INT(i) = ช่วงเวลาการทำงาน (Interval) ของโหลด i

N = จำนวนโหลดทั้งหมดที่ทำ Duty Cycle

เมื่อได้จำนวนโหลดเฉลี่ยที่จะปิดในแต่ละเวลาได้แล้ว ปัญหาต่อไปจะใช้วิธีการอย่างไรในการปิดโหลด เพื่อให้ได้เท่ากับจำนวนโหลดเฉลี่ย NF ตลอดเวลา ก่อนที่จะหาวิธีการที่จะใช้ต้องทำความเข้าใจหลักการในการปิดและเปิดโหลดก่อน ดังนี้

ก. โหลดแต่ละโหลดต้องมีการปิดครั้งหนึ่งในหนึ่งช่วงเวลาการทำงาน (Interval)

ข. โหลดใดที่มีการเปิดไปแล้วเท่ากับ INT(i) - Toff(i) ต้องปิดทันที เพื่อให้เป็นไปตามข้อ ก. และมีช่วงเวลาปิดโหลดในแต่ละช่วงเวลาการทำงานเท่ากับ Toff(i)

ค: ถ้าปิดโหลด i เป็นเวลา Toff(i) แล้วต้องเปิดทันที

ในการปิดโหลดเพื่อให้จำนวนโหลดที่ถูกปิดมีจำนวนเท่ากับ NF หรือใกล้เคียงตลอด เวลาหาได้ดังนี้ คือเมื่อเริ่ม Duty Cycle ให้ปิดโหลดเรียงลำดับมาให้เท่ากับจำนวน NF และเมื่อโหลดใดที่ถูกปิดไปเป็นเวลานานเท่ากับ Toff ที่คำนวณมาได้ของโหลดนั้นก็ต้องเปิดโหลดนั้น ทำให้จำนวนโหลดที่ถูกปิดมีค่า NF-1 ดังนั้นจึงจำเป็นต้องปิดโหลดอื่นหนึ่งโหลดเพื่อให้ได้จำนวนโหลดที่ปิดเท่ากับ NF วิธีการเลือกว่าโหลดใดควรจะถูกปิดต่อไปพิจารณาว่าโหลดใดที่จะหมดช่วงเวลาการทำงานแล้ว แต่ยังไม่ได้ปิดมาเลยก็ให้ปิดโหลดนั้น โดยคิดว่าถ้ารวมเวลาที่ต้องปิดด้วย Toff (i) กับค่าเวลาที่โหลด i เคยเปิดมาเท่ากับ Ton(i)และหักออกจากค่า ช่วงเวลา INT(i) แล้วโหลดใด ที่มีเวลาเหลือน้อยที่สุด ก่อนหมดช่วงเวลาการทำงาน (INT) ก็จะเลือกโหลดตัวนั้นปิดก่อน หรือเขียนได้เป็น

โหลดที่จะถูกปิดต่อไปคือโหลดที่มีค่า

$$\frac{Ton(i) + Toff(i)^2}{INT(i)} \text{ มากที่สุด} \qquad (6)$$

ในช่วงเวลาใด ๆ สมมุติว่ามีโหลดปิดอยู่เป็นจำนวน NF เมื่อเวลาผ่านพ้นไปแล้วเกิดมีโหลดที่เปิดไปแล้วเท่ากับ INT (i) - Toff(i) ก็ปิดโหลดนั้นทันที ทำให้จำนวนโหลดที่ถูกปิดมีค่า NF+1 ในกรณีนี้ต้องรอให้เวลผ่านพ้นไปจนกระทั่งเกิดโหลดที่จะถึงเวลาเปิดก็เปิด เพื่อให้ได้จำนวนโหลดเท่ากับ NF คงเดิม

เมื่อเข้าใจวิธีการปิดโหลดให้กระจายที่เวลาต่างกันแล้ว คราวนี้มาพิจารณาถึงการเลือกค่า NF เป็นจำนวนเต็มทางด้านน้อยและมาก เช่น กรณีที่คำนวณได้ NF = 6.3 แต่เลือก NF = 7 ทำให้เกิดการปิดโหลดในแต่ละเวลามากกว่าค่าเฉลี่ย 0.7 และเกิดการสะสมค่าเฉลี่ยจำนวนโหลดที่ปิดเพิ่มขึ้น ดังนั้นบางช่วงเวลาจึงมีโหลดที่จะปิดได้ไม่ถึง 7 แต่ถ้าเลือกใช้ NF = 6 ในตัวอย่างนี้จะทำให้บางเวลามี จำนวนโหลดที่ปิดได้เกินกว่า 6 คือ อาจถึง 7,8 ดังนั้นการเลือก NF จึงควรเลือกไปในทางต่ำไว้จะดีกว่า เพราะมีโอกาสลดกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้มากกว่าการเลือก NF ไปทางสูง ตัวอย่างที่เห็นได้ชัด เช่นคำนวณ NF ได้เท่ากับ 1.3 ถ้าเลือกใช้ NF = 2 ในบางเวลาอาจมีโอกาสที่ไม่สามารถปิดโหลดได้เลย ทำให้โหลดทุกตัวทำงานพร้อมกัน กำลังไฟฟ้ารวมจึงสูงแต่ถ้าเลือก NF = 1 บางเวลา อาจมีโหลดที่ต้องถูกปิดจำนวน 2 หรือ 3 ตัวจะเห็นว่าอย่างไรก็ตามในกรณีหลังนี้มีโหลดปิดตลอดเวลาอย่างน้อย 1 โหลด

**3) ตัวอย่างการควบคุมด้วย Duty Cycle**

จากตารางที่ 1 มีโหลดทั้งหมด 19 โหลดจะเห็นว่ามีโหลดบางชนิดเท่านั้น ที่สามารถทำการควบคุมแบบ Duty Cycle ได้คือโหลดที่มี Duty Mode เท่ากับ 1 การทดลองทำการเปรียบเทียบผลที่ได้ จากการควบคุมด้วย Duty Cycle กับการควบคุมแบบ time programming[1] อย่างเดียวอุณหภูมิบ้านสบายต่ำสุด และสูงที่สุดที่ใช้ในโปรแกรมคือ 74 และ 77 องศาฟาเรนไฮต์ ตามลำดับ และในช่วงที่หมดช่วงเวลาทำงาน (Interval) ของโหลดแต่ละตัว ก็มีการป้อนอินพุตอุณหภูมิของห้องที่โหลดทำงานอยู่ (เฉพาะโหลดที่เป็นเครื่องปรับอากาศ) ตลอดเวลา โดยเขียนโปรแกรมควบคุมตาม Flow chart ภาพที่ 4 ผลจากการควบคุมโหลดด้วย Duty Cycle ได้แสดงด้วยกราฟของโหลดต่อวัน ในภาพที่ 4 เส้นประในภาพที่ 4 แสดงกราฟของโหลดจาก Time Programming[1] ส่วนเส้นสีดำที่เขียนจากเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นกราฟของโหลดหลังจากควบคุมด้วย Duty Cycle กำลังไฟฟ้าสูงสุดมีขนาด 100 กิโลวัตต์ ที่ 10.58 น. กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดมีค่า 73 กิโลวัตต์ เทียบกับกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดที่ยังไม่ทำ Duty Cycle 115 กิโลวัตต์ จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าเฉลี่ยสูงสุดลดไป 42 กิโลวัตต์ พลังงานไฟฟ้าต่อวันที่ใช้งานก่อนทำ Duty Cycle มีค่า 860 กิโลวัตต์ชั่วโมง และหลังจากการทำ Duty Cycle แล้ว ลดลงเหลือ 581.65 กิโลวัตต์ชั่วโมง ดังนั้นการทำ Duty Cycle ทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้า จากตัวอย่างที่ศึกษาไป 278.35 กิโลวัตต์ชั่วโมง

**4) สรุป**

จากตัวอย่างที่ศึกษาจะเห็นว่า การควบคุมด้วย Duty Cycle สามารถประหยัดกำลังไฟฟ้าไปได้ 36.5 % และประหยัดพลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 32 % การประหยัดกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้าด้วย Duty Cycle นั้นจะประหยัดได้มาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับ โหลดที่ควบคุมว่ามีขนาดเกินกว่าความจำเป็นมากน้อยเพียงใด ถ้าหาก โหลดในระบบ มีขนาดใหญ่เกินกว่าความจำเป็นมากก็สามารถประหยัดกำลังไฟฟ้า และพลังงานไฟฟ้าได้มาก แต่ถ้าโหลดที่ใช้ในระบบ เช่น เครื่องปรับอากาศ มอ

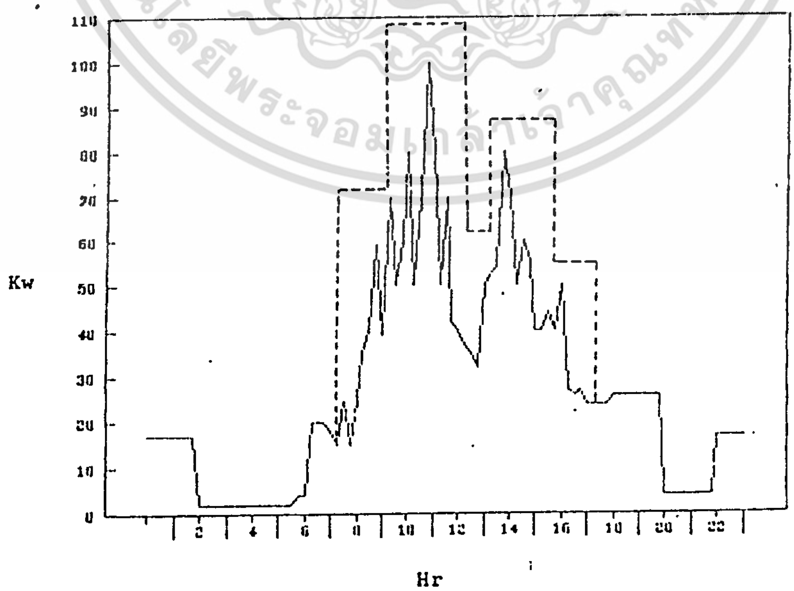
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตอร์ และอื่นๆที่ทำ Duty Cycle มีขนาดเท่ากับที่จำเป็นต้องใช้การควบคุมด้วย Duty Cycle ก็ไม่มีผลแต่ในทางปฏิบัติการออกแบบขนาดของโหลดที่ใช้งาน โดยส่วนมากวิศวกรผู้ออกแบบจะเผื่อขนาดโหลดเกินความจำเป็นไว้ 10 - 20 % ทั้งนี้เนื่องจากการออกแบบขนาดโหลด ให้มีขนาดที่จำเป็นต้องใช้พอดีมีนเสี่ยงเกินไป และถ้าหากออกแบบ ขนาดของโหลดต่ำกว่าที่จำเป็นต้องใช้ ก็ทำให้เกิดผลเสียอย่างมาก ดังนั้นในทางปฏิบัติโดยทั่วไปแล้ว การควบคุมโหลดด้วย Duty Cycle จึงมีผลทางด้านการประหยัดกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า

| NO LOAD | DESCRIPTION | KW | DUTY MODE | MAFT | MIFT | MINT | MAST | INT | TIME PROGRAM (ON FERIODS) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | PUMP # 1 | 5 | 0 | - | - | 5 | 35 | - | 6-10.00,12.00-13.00,16.00-20.00 |
| 2 | PUMP # 2 | 10 | 0 | - | - | 5 | - | - | 6-10.00,12.00-13.00,16.00-20.00 |
| 3 | MOTOR # 1 | 4 | 0 | - | - | - | - | - | 22.00-02.00 |
| 4 | MOTOR # 2 | 5 | 0 | - | - | - | - | - | 22.00-02.00 |
| 5 | MOTOR # 3 | 5 | 0 | - | - | - | - | - | 22.00-02.00 |
| 6 | LIGHTING | 2 | 0 | - | - | - | - | - | 18.00-05.30 |
| 7 | AIR CONDITION # 1 | 10 | 1 | 12 | 5 | 3 | 12 | 20 | 7.00-9.00,11.00-13.00 |
| 8 | MOTOR # 4 | 4 | - | - | - | - | - | - | 5.30-7.00 |
| 9 | AIR CONDITION # 2 | 5 | 1 | 7 | 3 | 3 | 20 | 10 | 11.00-13.00 |
| 10 | AIR CONDITION # 3 | 15 | 1 | 10 | 4 | 3 | 10 | 15 | 8.00-11.30,13.00-16.00 |
| 11 | MOTOR # 5 | 5 | 0 | - | - | 3 | 35 | - | 8.00-11.30,13.00-16.00 |
| 12 | AIR CONDITION # 4 | 20 | 1 | 12 | 5 | 5 | 12 | 20 | 8.00-12.00,13.00-16.00 |
| 13 | AIR CONDITION # 5 | 10 | 1 | 10 | 4 | 3 | 10 | 15 | 9.00-12.00,13.00-16.00 |
| 14 | AIR CONDITION # 6 | 10 | 1 | 10 | 4 | 3 | 10 | 15 | 10.00-12.00,13.00-16.00 |
| 15 | MOTOR # 6 | 5 | 0 | - | - | 3 | 35 | - | 10.00-12.00,13.00-16.00 |
| 16 | AIR CONDITION # 7 | 15 | 1 | 12 | 5 | 5 | 15 | 20 | 10.00-14.00 |
| 17 | MOTOR # 7 | 5 | 0 | - | - | - | 35 | - | 10.00-14.00 |
| 18 | AIR CONDITION # 8 | 10 | 1 | 8 | 3 | 3 | 8 | 10 | 9.00-12.00,13.00-16.00 |
| 19 | LIFT | 5 | 0 | - | - | - | - | - | 8.00-17.00 |

MAFT-MAXIMUM OFF TIME MIFT - MINIMUM OF TIME MINT-MINIMUM ON TIME
MAST-MAXIMUM SHED TIME INT-TIME INTERVAL

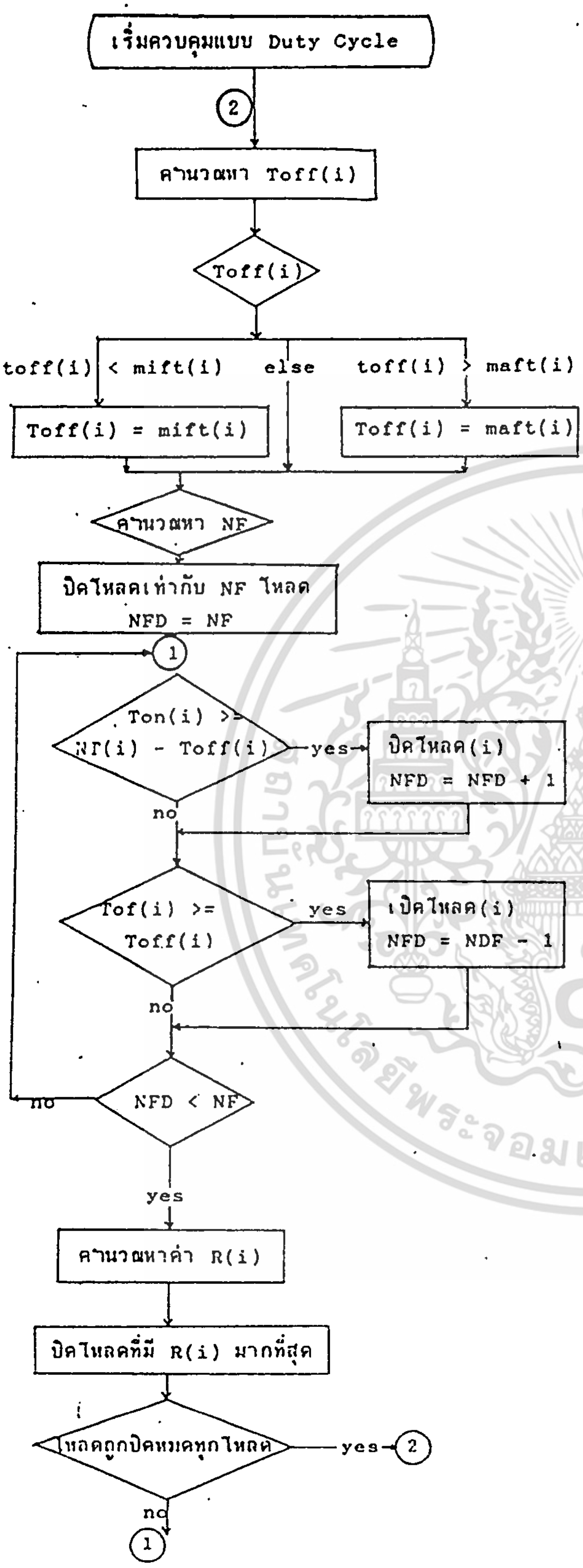
ตารางที่ 1 ตัวอย่างข้อมูลของโหลดที่ใช้ศึกษาการควบคุมเพื่อประหยัดพลังงาน




Maximum power = 100 Kw at 10.58 total KwH = 581.65

ภาพที่ 4 กราฟของโหลดต่อวันเมื่อควบคุมด้วย Duty Cycle เทียบกับการปิดเปิดตาม Time Programmimg (เส้นประ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




ภาพที่ 4 Flow chart ของ Duty Cycle

Tof(i) = ช่วงเวลาที่ปิดโหลด i ในช่วงเวลาทำงานนั้น

Ton(i) = เวลาที่โหลดได้ทำงานมาแล้วในช่วงเวลาการทำงานนั้น

INF(i) = ช่วงเวลาการทำงานของโหลด i

Toff(i)= ช่วงเวลาปิดที่คำนวณได้ของโหลด i ตามสมการที่ 4

NF = จำนวนโหลดเฉลี่ยที่ควรให้ปิดตลอดเวลาตามสมการที่5

NFD = จำนวนโหลดที่ปิด ณ เวลานั้นๆ

R(i)= ค่าที่จะกำหนดให้โหลดไหนปิดต่อไป ตามสมการที่ 6

5) เอกสารอ้างอิง


1. Johnson Controls. 1982. Building Automation system For Today and Tomorrow. jc/85/20.Milwaukee,WI 53201. U.S.A. : Johnson Controls,Inc.

2. Honeywell 1974 Delta 1000 Energy Management system,Duty Cycle. Honeywell, Number 74-1464 U.S.A.


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้เขียน

| | |
|---|---|
| ชื่อผู้เขียน | ร.อ.สุรศักดิ์ สุวรรณเกษา ร.น. |
| วันเดือนปีเกิด | วันที่ 6 กรกฎาคม พ.ศ.2510 |
| สถานที่เกิด | จังหวัดพัทลุง |
| วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี | วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า |
| สถานที่สำเร็จการศึกษา | โรงเรียนนายเรือ |
| ปีที่สำเร็จการศึกษา | ปีการศึกษา 2534 |
| ผลงานทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์ | เรื่องขบวนการในการควบคุมแบบ Duty Cycle สำหรับเครื่องปรับอากาศ การประชุมทางวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 16 |
| ประสบการณ์ทำงาน | -โปรแกรมเมอร์ แผนกโปรแกรม กพร.สท.ทหาร เมื่อปี พ.ศ.2534 ถึง 2536<br>-โปรแกรมเมอร์ แผนกสนับสนุนระบบควบคุมบังคับบัญชา เมื่อปี พ.ศ.2536 ถึงปัจจุบัน |
| อาชีพปัจจุบัน | รับราชการทหาร สังกัดกองบัญชาการทหารสูงสุด ตำแหน่งนายโปรแกรม แผนกสนับสนุนระบบควบคุมบังคับบัญชา กสท.สท.ทหาร |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้