ระบบจัดการพลังงานสำหรับโรงงานน้ำแข็งซองที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD และ TOU

นางสาวธิติมา เลิศปิยะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-17-3490-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ENERGY MANAGEMENT SYSTEM FOR BLOCK-ICE FACTORY USING TOD AND TOU TARIFF

Miss Thitima Lertpiya

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic year 2005

ISBN 974-17-3490-5

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบจัดการพลังงานสำหรับโรงงานน้ำแข็งซองที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD และ TOU
โดย	นางสาวธิติมา เลิศปิยะ
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.แนบบุญ หุนเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ดร. แนบบุญ หุนเจริญ)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. เดวิด บรรเจิดพงศ์ชัย)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุณฑินี มณีรัตน์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ธิติมา เลิศปิยะ : ระบบจัดการพลังงานสำหรับโรงงานน้ำแข็งซองที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD และ TOU (ENERGY MANAGEMENT SYSTEM FOR BLOCK-ICE FACTORY USING TOD AND TOU TARIFF) อ. ที่ปรึกษา : อ.ดร.แนบบุญ หุนเจริญ, 94 หน้า. ISBN 974-17-3490-5.

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานผลิตน้ำแข็งซองที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD และ TOU โรงงานผลิตน้ำแข็งซองเป็นโรงงานที่ต้องใช้ไฟฟ้าในปริมาณที่สูงมากในกระบวนการผลิต เนื่องจากในการขึ้นรูปน้ำแข็งแต่ละรอบใช้เวลาประมาณ 40-70 ชั่วโมง ทำให้โรงน้ำแข็งส่วนใหญ่ต้องเดินเครื่องจักรตลอด 24 ชั่วโมง แม้ในช่วงเวลาที่ไม่มีการขายน้ำแข็งก็ตาม ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงมุ่งเน้นการออกแบบระบบจัดการพลังงานที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งซอง เพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ ลดปริมาณการใช้ไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าลงได้โดยยังสามารถขายน้ำแข็งได้ทันตามความต้องการของลูกค้า โดยวิธีปรับตารางเวลาการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ไฟฟ้าหลักในกระบวนการผลิตอย่างเหมาะสม ระบบจัดการพลังงานนี้พัฒนาโดยประยุกต์แนวความคิดการบริหารกระบวนการผลิต พร้อมทั้งทฤษฎีการควบคุมอัตโนมัติแบบเวลาจริง มาใช้ร่วมกับวิธีคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOD และ TOU ผลที่ได้จากการศึกษาแสดงให้เห็นว่าระบบจัดการพลังงานสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้า และค่าไฟฟ้าของโรงงานลงได้ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ช่างผู้ควบคุม เปิด-ปิดคอมเพรสเซอร์โดยอาศัยประสบการณ์ ในโรงงานตัวอย่าง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต ธิติมา เลิศปิยะ

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2548

4770638721 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: ENERGY MANAGEMENT SYSTEM / BLOCK ICE / TOD / TOU

THITIMA LERTPIYA : ENERGY MANAGEMENT SYSTEM FOR BLOCK-ICE FACTORY USING TOD AND TOU TARIFF. THESIS ADVISOR: NAEBBOON HOONCHAREON, Ph.D., 94 pp. ISBN 974-17-3490-5.

This thesis presents an energy management system for the ice-producing factories based on TOD and TOU tariff. Since an ice-producing factory is found to consume large amount of electric power for its operation, of which each block of ice will require a set-up time of approximately 40-70 hours. Most factories are obliged to have the compressors run on a 24-hour basis although no sales occur during some operating intervals. Accordingly, this thesis focuses on a design of an energy management system to enable efficient consumption of electric power, that is to reduce energy consumption and energy cost while demand requirement is not compromised. To that end, an algorithm to determine appropriate scheduling of the compressors, which are the main electrical loads in the production, has been developed. The concepts of the production management, the real-time automatic control, in tandem with, the TOD and TOU tariff methods have been applied. Test results reveal that the proposed energy management system can reduce energy consumption and costs of the pilot plant, when they are compared with those obtained from using the past experiences of the plant technicians.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Electrical Engineering, Student's signature ธิติมา เลิศปิยะ

Field of study Electrical Engineering, Advisor's signature

Academic year 2005

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อ.ดร. แนบบุญ หุนเจริญ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา รวมทั้งคณะกรรมการคุมสอบวิทยานิพนธ์ซึ่งประกอบด้วย รศ.ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ รศ. ดร. เดวิด บรรเจิดพงศ์ชัย และผศ. ดร.กุณฑินี มณีรัตน์ จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ข้าพเจ้าขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัยระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งเป็นสถานที่ทำการวิจัย และเพื่อนพี่น้องนิสิตห้องปฏิบัติการวิจัยระบบไฟฟ้ากำลังทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ แสดงข้อคิดเห็น และให้กำลังใจตลอดการทำงานวิจัย

ท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่ให้โอกาสในการศึกษาแก่ข้าพเจ้า ตลอดจนให้กำลังใจและเอาใจใส่ข้าพเจ้าเสมอมา จนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญภาพ ..... ญ

สารบัญตาราง ..... ฏ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 หลักการและเหตุผล 1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 2

1.3 ขอบเขตของของวิทยานิพนธ์ 2

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ 3

2 กระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง 5

2.1 วัฏจักรทำความเย็นพื้นฐาน 5

2.2 กระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง 7

2.2.1 องค์ประกอบทางกายภาพของโรงน้ำแข็ง 7

2.2.2 อุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิตน้ำแข็ง 10

2.2.3 การผลิตน้ำแข็งซอง 12

3 แบบจำลองพลวัตของกระบวนการผลิตน้ำแข็งของโรงงาน 15

3.1 แบบจำลองการขึ้นรูปน้ำแข็งซอง 15

3.2 แบบจำลองสถานะของบ่อและจำนวนน้ำแข็งพร้อมขาย 17

3.2.1 การหาพลังงานสะสมในน้ำแข็งแต่ละซอง และจำนวนน้ำแข็งพร้อมขายในแต่ละชั่วโมง 19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.2 การประมาณค่าพารามิเตอร์สำคัญของแบบจำลองระบบผลิตน้ำแข็ง 21
3.2.3 การคำนวณหาอุณหภูมิน้ำเกลือในอนาคต 23
3.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองพลวัตของกระบวนการผลิตน้ำแข็ง 23
4 ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า 25
4.1 การพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็ง 26
4.2 การประมาณสถานะของบ่อ ณ ปัจจุบัน 27
4.3 การควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ 27
4.3.1 นิยามสัญลักษณ์และตัวแปร 28
4.3.2 การควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์สำหรับโรงงานน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD 29
4.3.3 ขั้นตอนการหาคำตอบคำสั่งควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์กรณีเสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD 31
4.3.4 การควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์สำหรับโรงงานน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU 36
4.3.5 ขั้นตอนการหาคำตอบคำสั่งควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์กรณีเสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU 37
4.3.6 ฟังก์ชันสร้างตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์ล่วงหน้า 72 ชั่วโมง 40
4.3.7 ฟังก์ชันเปลี่ยนลำดับคอมเพรสเซอร์ 47
4.3.8 ฟังก์ชันหาค่าความเสี่ยง 48
5 การทดสอบสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานน้ำแข็งซองที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD 50
5.1 นิยามพารามิเตอร์ในระบบควบคุม 50
5.2 การศึกษาผลของพารามิเตอร์ควบคุมในระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า 51
5.3 การทดสอบสมรรถนะของระบบควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ 57
5.4 การศึกษาผลของการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งที่มีต่อสมรรถนะของระบบจัดการพลังงาน 62
5.5 การศึกษาผลของแบบแผนความต้องการน้ำแข็งที่มีต่อสมรรถนะของระบบจัดการพลังงาน 66

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.6 สรุปผลการทดสอบ 69

6 การทดสอบสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานน้ำแข็งซอง ที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU 70

6.1 นิยามพารามิเตอร์ในระบบควบคุม 70

6.2 การศึกษาผลของพารามิเตอร์ควบคุมในระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า 71

6.3 การทดสอบการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์จากการควบคุมของระบบ จัดการพลังงานไฟฟ้า 76

6.4 การศึกษาผลของการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งที่มีต่อ สมรรถนะของระบบจัดการพลังงาน 80

6.5 การศึกษาผลของแบบแผนความต้องการน้ำแข็งที่มีต่อ สมรรถนะของระบบจัดการพลังงาน 85

6.6 การเปรียบเทียบผลระหว่างระบบควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ สำหรับโรงงานน้ำแข็งที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD กับ TOU 88

6.7 สรุปผลการทดสอบ 89

7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 90

7.1 บทสรุป 90

7.2 ข้อเสนอแนะ 92

รายการอ้างอิง 93

ประวัติผู้เขียน 94

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ หน้า
รูปที่ 2.1 แผนภาพ P-h ของวัฏจักรทำความเย็นทางทฤษฎี 6
รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงองค์ประกอบหลักในการผลิตน้ำแข็งซอง 8
รูปที่ 2.3 คอมเพรสเซอร์ 10
รูปที่ 2.4 คอนเดนเซอร์ 11
รูปที่ 2.5 หอทำความเย็น 11
รูปที่ 2.6 แผนผังขั้นตอนการผลิตน้ำแข็งซอง 14
รูปที่ 3.1 ขนาดของซองน้ำแข็ง และระดับน้ำ / น้ำแข็ง
ในซองเทียบกับระดับน้ำเกลือบริเวณภายนอก 16
รูปที่ 3.2 แบบจำลองสถานะของบ่อและจำนวนน้ำแข็งพร้อมขาย 18
รูปที่ 3.3 การหมุนเวียนของพลังงานในบ่อน้ำแข็ง 21
รูปที่ 3.4 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิของบ่อน้ำเกลือที่คำนวณได้กับ
อุณหภูมิของบ่อน้ำเกลือจริงในช่วงวันที่ 8 – 10 มีนาคม พ.ศ. 2548 24
รูปที่ 4.1 ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า 25
รูปที่ 4.2 ขั้นตอนในการคำนวณการควบคุมมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ตามช่วงเวลาของ
อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD 35
รูปที่ 4.3 ขั้นตอนในการคำนวณการควบคุมมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ตามช่วงเวลาของ
อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU 39
รูปที่ 4.4 ตารางการทำงานเริ่มต้นล่วงหน้า 72 ชั่วโมงสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD
กรณีโรงงานมีคอมเพรสเซอร์ทั้งหมด 4 ตัวต่อบ่อผลิตน้ำแข็ง 1 บ่อ 41
รูปที่ 4.5 ตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์ล่วงหน้า 72 ชั่วโมงประเภทที่ 1
สำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD 42
รูปที่ 4.6 ตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์ล่วงหน้า 72 ชั่วโมงประเภทที่ 2
สำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD 43
รูปที่ 4.7 ตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์ล่วงหน้า 72 ชั่วโมงประเภทที่ 3
สำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD 44
รูปที่ 4.8 ตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์ล่วงหน้า 72 ชั่วโมงประเภทที่ 4
สำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD 45

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 4.9 ตารางการทำงานเริ่มต้นล่วงหน้า 72 ชั่วโมงสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU ในกรณีที่ชั่วโมงต่อไปอยู่ในช่วงเวลา On-Peak 46

รูปที่ 4.10 ตารางการทำงานเริ่มต้นล่วงหน้า 72 ชั่วโมงสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU ในกรณีที่ชั่วโมงต่อไปอยู่ในช่วงเวลา On-Peak 47

รูปที่ 5.1 ผลการทดสอบการควบคุมการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ตามช่วงเวลาแบบ TOD ในช่วงวันที่ 12 ธันวาคม พ.ศ. 2548 59

รูปที่ 5.2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำเกลือในกรณีที่ใช้ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามแบบ TOD กับกรณีที่ใช้คนในการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ 61

รูปที่ 5.3 การทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ตามช่วงเวลาแบบ TOD เปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ใช้หลักการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซองและกรณีทราบความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมงล่วงหน้าของวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2548 65

รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าจากการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์รายชั่วโมงตามช่วงเวลาแบบ TODโดยมีแบบแผนการขายน้ำแข็งในลักษณะแตกต่างกัน 68

รูปที่ 6.1 ผลการทดสอบการควบคุมการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ตามช่วงเวลาแบบ TOUในช่วงวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2549 78

รูปที่ 6.2 ลักษณะการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์รายชั่วโมงตามช่วงเวลาแบบ TOU 79

รูปที่ 6.3 ตัวอย่างลักษณะการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ตามช่วงเวลาแบบ TOU เปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ใช้หลักการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซองและกรณีทราบความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมงล่วงหน้าของวันที่ 17 ธันวาคม พ.ศ. 2549 83

รูปที่ 6.4 ตัวอย่างลักษณะการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ตามช่วงเวลาแบบ TOU เปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ใช้หลักการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซองและกรณีทราบความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมงล่วงหน้าของวันที่ 17 มกราคม พ.ศ. 2549 84

รูปที่ 6.5 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าจากการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์รายชั่วโมงตามช่วงเวลาแบบ TOUโดยมีแบบแผนการขายน้ำแข็งในลักษณะแตกต่างกัน 87

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 3.1 ตารางฐานข้อมูลการขึ้นรูปน้ำแข็งที่อุณหภูมิเกลือ –3°C ถึง –2 °C อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 40 °C ใน 10 ชั่วโมงแรก 17

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการหาค่าพลังงานสะสมที่ถ่ายเทออกจากน้ำในแต่ละชั่วโมง ที่อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 40 °C 19

ตารางที่ 5.1 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ของระบบตามค่าที่ปรับตั้งไว้ 52

ตารางที่ 5.2 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD เมื่อ Tlead มีค่าต่าง ๆ 52

ตารางที่ 5.3 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD เมื่อ epsilon มีค่าต่าง ๆ 53

ตารางที่ 5.4 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD เมื่อ pcres มีค่าต่าง ๆ 54

ตารางที่ 5.5 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD ของเดือนมกราคม พ.ศ. 2548 เมื่อกำหนดให้ Tlead มีค่าเท่ากับ 0 ชั่วโมง epsilon มีค่าเท่ากับ 0.9 TbReg มีค่าเท่ากับ -4 °C และ pcres มีค่าต่าง ๆ 55

ตารางที่ 5.6 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD เมื่อ TbReg มีค่าต่าง ๆ 56

ตารางที่ 5.7 ผลการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ด้วยระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD เปรียบเทียบกับผลการควบคุมโดยผู้ควบคุมของโรงงาน 60

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบสมรรถนะของการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซองกรณีที่ใช้ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD 63

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบสมรรถนะของการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซองกรณีที่ใช้ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD และใช้ฟังก์ชันกำหนดยอดขายล่วงหน้า 64

ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบแบบแผนการขายน้ำแข็งลักษณะต่าง ๆ ที่มีต่อระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD 66

ตารางที่ 6.1 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ของระบบตามค่าที่ปรับตั้งไว้ 72

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

ตารางที่ 6.2 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOU เมื่อ Tlead มีค่าต่าง ๆ 72

ตารางที่ 6.3 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOU เมื่อ epsilon มีค่าต่าง ๆ 73

ตารางที่ 6.4 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOU เมื่อ pcresMax มีค่าต่าง ๆ 74

ตารางที่ 6.5 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOU เมื่อ TbReg มีค่าต่าง ๆ 75

ตารางที่ 6.6 ผลการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOU 79

ตารางที่ 6.7 ผลการทดสอบสมรรถนะของการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซองกรณีที่ใช้ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOU 81

ตารางที่ 6.8 ผลการทดสอบแบบแผนการขายน้ำแข็งลักษณะต่าง ๆ ที่มีต่อระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOU 86

ตารางที่ 6.9 ผลการเปรียบเทียบผลระหว่างระบบควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์สำหรับโรงงานน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD กับ TOU 88

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

โรงงานผลิตน้ำแข็งซองเป็นโรงงานที่ต้องใช้ไฟฟ้าในปริมาณสูงมากในการผลิตน้ำแข็ง ในการผลิตน้ำแข็งแต่ละครั้งใช้เวลาในการขึ้นรูปน้ำแข็งเป็นเวลาประมาณ 40-70 ชั่วโมง ทำให้โรงน้ำแข็งส่วนใหญ่ต้องเดินเครื่องจักรตลอด 24 ชั่วโมง รวมถึงช่วงเวลาที่ไม่มีการขายน้ำแข็ง วิทยานิพนธ์นี้ มุ่งเน้นด้านการจัดการพลังงานที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งซอง เพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานผลิตน้ำแข็งซองเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ ลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าลง โดยคำนึงถึงความสามารถขายน้ำแข็งได้ทันตามความต้องการของลูกค้า โดยการปรับตารางเวลาการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าหลักในกระบวนการผลิต อย่างเหมาะสม ร่วมกับการพิจารณาวิธีคิดค่าไฟฟ้าทั้งในแบบ TOD และ TOU ระบบจัดการด้านการใช้พลังงานที่นำเสนอประยุกต์แนวความคิดการบริหารกระบวนการผลิต พร้อมทั้งทฤษฎีการควบคุมอัตโนมัติแบบเวลาจริง

สำหรับอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU คืออัตราค่าไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate: TOU) เป็นอัตราค่าไฟฟ้าที่สะท้อนถึงต้นทุนที่แท้จริงในการผลิตไฟฟ้า ค่าไฟฟ้ามีราคาแพงในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าโดยรวมมาก (On Peak) และราคาถูกในช่วงที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อย (Off Peak) หากสามารถลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak ได้ นอกจากจะลดการใช้พลังงานส่วนเกินแล้ว ยังจะช่วยทำให้ประหยัดค่าไฟฟ้าลงได้ด้วยกลไกด้านราคาอีกด้วย

ที่ผ่านมาแนวความคิดด้านการประหยัดพลังงานสำหรับโรงงานน้ำแข็งซอง ส่วนใหญ่มุ่งเน้นการเปลี่ยนแปลงเครื่องจักรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอุปกรณ์ในแต่ละส่วนของกระบวนการผลิต ได้แก่ การเปลี่ยนไปใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง การทำความสะอาดหอทำความเย็นและเครื่องคอนเดนเซอร์ และการทำให้น้ำเย็นลงก่อนเติมเข้าซอง (Pre-cooling) ด้วยการเพิ่มเติมอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนประเภทต่างๆ เข้าไปในระบบ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม แนวทางดังกล่าวยังขาดการพิจารณากระบวนการผลิตในลักษณะที่เป็นองค์รวม รวมถึงการเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการผลิตโดยวิธีบริหารจัดการ ดังนั้นแนวความคิดของวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นส่วนช่วยเติมเต็มในประเด็นดังกล่าว โดยมุ่งเน้นที่การจัดการกระบวนการผลิตและจำหน่ายน้ำแข็ง การกำหนดจุดทำงาน (Operating conditions) ของระบบทำน้ำแข็งซองเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในเชิงการใช้ไฟฟ้าสูงสุด การลดการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนเกิน

และลดการสูญเสียพลังงาน การปรับตารางการทำงานของเครื่องจักรให้สอดคล้องกับกลไกการคิดราคาค่าไฟฟ้าและความต้องการน้ำแข็งของลูกค้าเพื่อบริหารต้นทุนสินค้าคงคลังได้อย่างเหมาะสม เป็นหลัก

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. ออกแบบและพัฒนาระบบบริหารจัดการพลังงานเพื่อกำหนดเวลาการเดินเครื่องมอเตอร์-คอมเพรสเซอร์เพื่อผลิตน้ำแข็งซองแบบเวลาจริง สำหรับโรงงานน้ำแข็งซองที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD และแบบ TOU เพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนเกิน และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้กับระบบผลิตน้ำแข็งซองของโรงงาน และสอดคล้องกับความต้องการน้ำแข็งของลูกค้า
2. ทดสอบสมรรถนะการทำงานของขั้นตอนการควบคุมการเดินเครื่องจักรโดยใช้ข้อมูลจริงจากโรงงานน้ำแข็งซองตัวอย่างที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD
3. วิเคราะห์ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อต้นทุนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ผลิตน้ำแข็งซอง โดยเฉพาะปัจจัยด้านลักษณะความต้องการน้ำแข็ง

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้มีขอบเขตดังต่อไปนี้

1. พัฒนาระเบียบวิธีการเดินเครื่องมอเตอร์-คอมเพรสเซอร์ที่เหมาะสมแบบเวลาจริงสำหรับโรงงานผลิตน้ำแข็งซองที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD และ TOU
2. วิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของขั้นตอนการเดินเครื่องมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ที่ได้พัฒนาขึ้น โดยใช้ข้อมูลจริงจากโรงงานตัวอย่าง
3. ศึกษาปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อต้นทุนพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ผลิตน้ำแข็งซอง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาและกำหนดปัจจัยที่มีผลสำคัญต่อกระบวนการผลิตและจำหน่ายน้ำแข็งซอง ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าของโรงงาน
2. ศึกษาลักษณะการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ที่เป็นอยู่ในปัจจุบันของโรงงาน รวมถึงข้อจำกัดทางเทคนิคเกี่ยวกับการเปิด-ปิด และการสั่งเดินเครื่องใช้งานมอเตอร์-คอมเพรสเซอร์
3. ตรวจวัดและเก็บข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าและอุณหภูมิของน้ำเกลือในบ่อผลิตน้ำแข็ง เพื่อนำมาพัฒนาแบบจำลองของโรงงานผลิตน้ำแข็งซอง

4. ศึกษาสถิติการจำหน่ายน้ำแข็งรายชั่วโมง รายวัน และรายเดือน รวมถึงข้อจำกัดในการจำหน่ายน้ำแข็ง เช่น เวลาเปิด-ปิดของโรงงาน ลักษณะการนำน้ำแข็งออกจากบ่อ วันหยุดประจำปี
5. กำหนดรูปแบบของปัญหาและแนวทางการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมเพื่อนำมาพัฒนาขั้นตอนวิธีการเดินเครื่องมอเตอร์คอมเพรสเซอร์แบบเวลาจริง
6. วิเคราะห์สมรรถนะของระบบที่ส่งผลต่อต้นทุนค่าไฟฟ้าในการผลิตน้ำแข็งของโรงงานสำหรับทั้งวิธีการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOD และ TOU โดยใช้ข้อมูลความต้องการน้ำแข็งและสมรรถนะของกระบวนการผลิตจริงของโรงงาน
7. วิเคราะห์ลักษณะความต้องการน้ำแข็งซองและปัจจัยสำคัญอื่นๆ ที่มีผลต่อการควบคุมการเดินเครื่องจักร และค่าไฟฟ้าของโรงงาน
8. เรียบเรียง และนำเสนอผลการศึกษาในรายงานวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ระบบบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าที่กำหนดเวลาในการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ในกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่องแบบเวลาจริง สำหรับโรงงานน้ำแข็งซองที่เสียค่าไฟฟ้าทั้งแบบ TOD และ TOU ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ได้จริง
2. ลดการใช้พลังงานและลดต้นทุนค่าไฟฟ้า ซึ่งเป็นต้นทุนหลักในการผลิตน้ำแข็งซอง
3. ช่วยในการบริหารน้ำแข็งคงคลังให้กับโรงงานอย่างเหมาะสม

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 นำเสนอเกี่ยวกับทฤษฎีพื้นฐานของระบบทำความเย็น และกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองของโรงงาน จากนั้นจะนำเสนอแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองโดยหลักการประมาณระยะเวลาการขึ้นรูปน้ำแข็งแต่ละซองด้วยวิธี Finite Volume และการใช้สมการการอนุรักษ์พลังงานเฉลี่ย เพื่อสร้างแบบจำลองการผลิตน้ำแข็งเชิงพลวัตแบบไม่เป็นเชิงเส้น ในบทที่ 3

บทที่ 4 กล่าวถึง การออกแบบระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานผลิตน้ำแข็งซองโดยเฉพาะระเบียบวิธีในการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์แบบเวลาจริง

บทที่ 5 จะนำเสนอผลการทดสอบสมรรถนะการทำงานของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าที่พัฒนาสำหรับโรงงานน้ำแข็งที่เสียค่าไฟฟ้าอัตราแบบ TOD ส่วนในบทที่ 6 นำเสนอผลการทดสอบสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานสำหรับโรงงานน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU และการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างระบบควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์สำหรับโรงงานน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD กับ TOU

การสรุปผลการวิจัยและแนวทางการนำผลที่ได้จากการศึกษาไปพัฒนาต่อไปได้นำเสนอไว้ในบทที่ 8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

กระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง

ความต้องการน้ำแข็งในปัจจุบันได้เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเพื่อใช้สำหรับการบริโภค ธุรกิจประมง และธุรกิจอาหารแช่แข็ง จึงทำให้ผู้ประกอบกิจการให้ความสนใจตั้งโรงงานน้ำแข็งกันมากยิ่งขึ้น ปัจจุบันมีโรงงานน้ำแข็งตั้งอยู่เกือบทุกอำเภอในจังหวัดต่าง ๆ ทั่วประเทศจำนวน 1,434 โรงงาน ซึ่งเป็นโรงงานที่ผลิตน้ำแข็งซองอยู่ประมาณ 42-45 % ของทั้งหมด [1] เนื่องจากประเทศไทยเป็นเมืองร้อน ความต้องการน้ำแข็งจะมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับสภาพอากาศเป็นสำคัญ ส่วนความต้องการน้ำแข็งเพื่อกิจการประมงและธุรกิจอาหารทะเลแช่แข็งจะขึ้นอยู่กับปริมาณสัตว์น้ำที่จับได้และฤดูการส่งออก การผลิตน้ำแข็งซองแต่ละครั้งใช้เวลาในการขึ้นรูปน้ำแข็งในช่วงประมาณ 40 - 70 ชั่วโมง ซึ่งกระบวนการผลิตส่วนใหญ่จะเป็นไปตามที่กล่าวไว้ในบทนี้

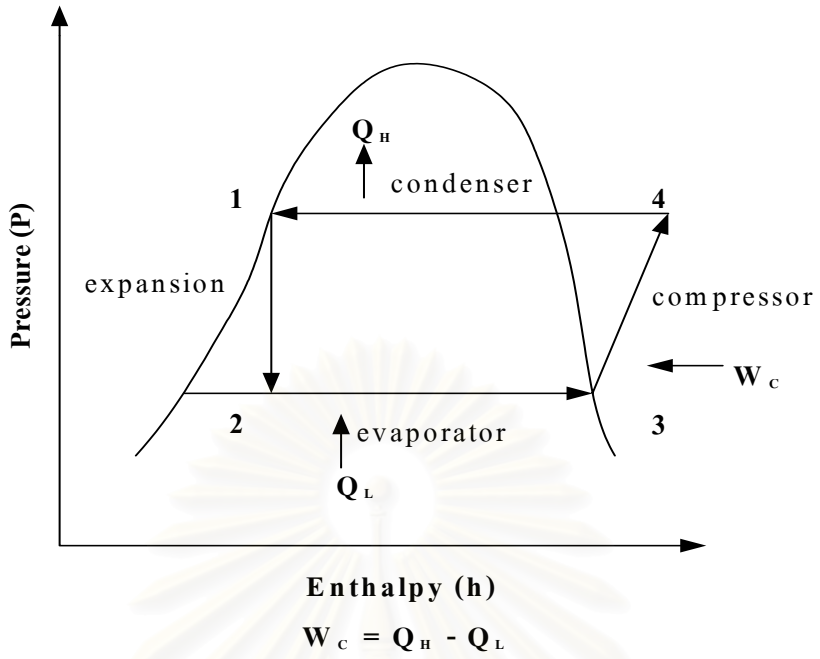
2.1 วัฏจักรทำความเย็นพื้นฐาน

ก่อนที่จะกล่าวถึงกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง จะนำเสนอวัฏจักรทำความเย็นพื้นฐานเพื่อความเข้าใจในกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน และการใช้พลังงานของระบบดังกล่าวก่อน

วัฏจักรทำความเย็นพื้นฐาน โดยทั่วไปประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ดังนี้

1. ลิ้นลดความดัน (expansion valve)
2. เครื่องระเหย (evaporator)
3. เครื่องคอมเพรสเซอร์ (compressor)
4. เครื่องคอนเดนเซอร์ (condenser)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ช่วง 1-2: กระบวนการขยายตัว (Reversible adiabatic expansion)

ช่วง 2-3: กระบวนการกลายเป็นไอ (Reversible constant temperature heat addition)

ช่วง 3-4: กระบวนการของการอัดตัว (Reversible adiabatic compression)

ช่วง 4-1: กระบวนการควบแน่น (Reversible constant temperature heat rejection)

รูปที่ 2.1 แผนภาพ P-h ของวัฏจักรทำความเย็นทางทฤษฎี

หลักการทำงานของวัฏจักรทำความเย็นเป็นดังรูปที่ 2.1 ซึ่งอธิบายกระบวนการทำงานหลักพอสังเขปได้ดังนี้

1. กระบวนการขยายตัว เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นจากการทำงานของลิ้นลดความดัน ดังรูปที่ 2.1 ในช่วง 1-2 โดยเริ่มจากสารทำความเย็นที่มีสภาวะเป็นของเหลวอิ่มตัวจากคอนเดนเซอร์ไหลผ่านลิ้นลดความดัน เพื่อลดความดันหรือขยายตัว โดยไม่มีการรับหรือดึงความร้อนให้กับสารทำความเย็น ผลจากการลดความดันทำให้สารทำความเย็นมีอุณหภูมิลดลง และกลายเป็นไอได้ที่อุณหภูมิต่ำ
2. กระบวนการกลายเป็นไอเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อสารทำความเย็นผ่านเครื่องระเหย ดังรูปที่ 2.1 ในช่วง 2-3 ซึ่งจะดูดความร้อนออกจากระบบ ทำให้สารทำความเย็นเปลี่ยนสถานะเป็นไออิ่มตัว โดยที่อุณหภูมิและความดันคงที่

3. กระบวนการของการอัดตัวเกิดขึ้นจากการทำงานของคอมเพรสเซอร์ โดยไออิ่มตัวจากเครื่องระเหยจะถูกคอมเพรสเซอร์อัดให้มีความดันสูงขึ้นในช่วง 3-4 ในรูปที่ 2.1 เพื่อให้สามารถนำความร้อนออกสู่บรรยากาศภายนอกได้ที่อุณหภูมิห้อง
4. กระบวนการควบแน่นเป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อสารทำความเย็นผ่านคอนเดนเซอร์ สารทำความเย็นที่มีสถานะเป็นไอความดันสูงจะถูกควบแน่นจนเป็นของเหลวอิ่มตัวในช่วง 1-4 ในรูปที่ 2.1 โดยนำความร้อนถ่ายออกสู่บรรยากาศภายนอก สารทำความเย็นในสภาวะของเหลวอิ่มตัวที่ได้จะถูกส่งผ่านลิ้นลดความดันหมุนเวียนไปใช้ในระบบต่อไป

จากที่กล่าวถึงข้างต้น จะเห็นว่าความร้อนถูกดึงออกจากระบบผ่านอุปกรณ์เครื่องระเหยและถูกนำไปถ่ายเทออกสู่บรรยากาศภายนอกด้วยระบบคอนเดนเซอร์ โดยการแลกเปลี่ยนความร้อนดังกล่าวจะเกิดขึ้นได้ต้องมีการใส่พลังงานเข้าไปให้กับคอมเพรสเซอร์

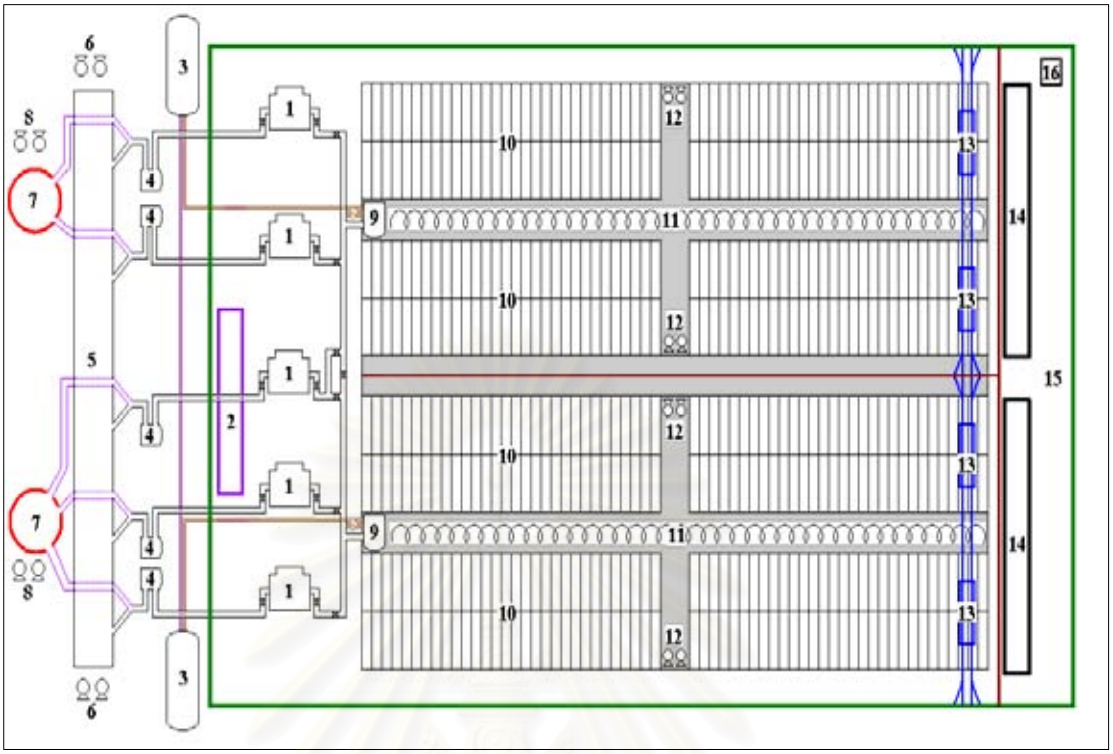
2.2 กระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง

กระบวนการผลิตน้ำแข็งซองมีองค์ประกอบที่สำคัญ และการทำงาน ดังจะกล่าวถึงต่อไปนี้

2.2.1 องค์ประกอบทางกายภาพของโรงน้ำแข็ง

โรงงานผลิตน้ำแข็งซองที่ได้ทำการศึกษาในวิทยานิพนธ์นี้ถือได้ว่าเป็นโรงงานมาตรฐานขนาดใหญ่ที่ผลิตน้ำแข็งเพื่อตอบสนองความต้องการของธุรกิจประมง และธุรกิจส่งออกอาหารแช่-แข็ง ตั้งอยู่ที่จังหวัดสมุทรสาคร มีบ่อสำหรับผลิตน้ำแข็งซองจำนวน 2 บ่อ แต่ละบ่อมีความจุในการผลิตน้ำแข็งซองได้จำนวน 2,600 ซอง เปิดทำการวันละ 20 ชั่วโมง ตั้งแต่เวลา 00.00 – 20.00 น. ทุกวันของสัปดาห์ มีองค์ประกอบที่สำคัญแสดงได้ดังรูปที่ 2.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงองค์ประกอบหลักในการผลิตน้ำแข็งซอง

คำอธิบายองค์ประกอบแต่ละส่วนในรูปที่ 2.2 เป็นดังนี้

1. คอมเพรสเซอร์และมอเตอร์ขับคอมเพรสเซอร์
2. ห้องไฟฟ้า
3. ถังเก็บแอมโมเนียหลังผ่านคอนเดนเซอร์
4. ถังพักแอมโมเนียก่อนไปคอนเดนเซอร์
5. คอนเดนเซอร์แบบใช้น้ำฉีดพ่นในการถ่ายเทความร้อน
6. มอเตอร์สำหรับปั๊มน้ำให้คอนเดนเซอร์
7. หอผึ่งน้ำระบายความร้อน
8. มอเตอร์สำหรับปั๊มน้ำให้หอผึ่งน้ำระบายความร้อน
9. ถังดักแอมโมเนียเหลวจากคอยล์เย็น (Accumulator)
10. บ่อทำน้ำแข็ง
11. อีวาปโปเรเตอร์ (คอยล์เย็น)
12. มอเตอร์สำหรับฉุดใบพัดเพื่อหมุนเวียนน้ำเกลือในบ่อ
13. เครนไฟฟ้าที่ใช้ในการยกน้ำแข็งออกจากบ่อ
14. บริเวณถอดน้ำแข็งออกจากซองและเติมน้ำดิบเข้าซอง

15. ลานขนถ่ายน้ำแข็งเพื่อนำออกจำหน่าย
16. เครื่องโม่น้ำแข็ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2.2 อุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิตน้ำแข็ง

อุปกรณ์หลักในกระบวนการผลิตน้ำแข็ง มีรายละเอียดและการทำงานแตกต่างกัน ดังนี้

1. มอเตอร์ขับคอมเพรสเซอร์ ขนาดพิกัด 200 แรงม้า 380 โวลต์ 280 แอมแปร์ ความเร็วรอบ 980 รอบต่อนาที 50 Hz 6 ขั้ว ในโรงงานตัวอย่างที่ทำการศึกษา มีมอเตอร์ดังกล่าวจำนวน 8 เครื่อง แบ่งการทำงานสำหรับแต่ละบ่อผลิตน้ำแข็ง บ่อละ 4 เครื่อง ทำหน้าที่ขับคอมเพรสเซอร์ เพื่ออัดน้ำยาแอมโมเนียซึ่งเป็นสารทำความเย็นชนิดหนึ่ง เพื่อทำความเย็นให้กับบ่อน้ำเกลือที่ใช้ผลิตน้ำแข็ง

รูปที่ 2.3 คอมเพรสเซอร์

2. มอเตอร์สำหรับปั๊มน้ำระบายความร้อนที่คอนเดนเซอร์ ขนาดพิกัด 20 แรงม้า ความเร็วรอบ 1,455 รอบต่อนาที กระแสสูงสุด 30 แอมแปร์ จำนวน 8 ตัว แบ่งเป็น 4 ตัวต่อบ่อ ทำหน้าที่สูบน้ำเพื่อให้เกิดการไหลเวียนเพื่อรับความร้อนจากไอแอมโมเนียความดันสูง และระบายออกสู่บรรยากาศภายนอก ผ่านระบบน้ำฉีดพ่น และหอผึ่งน้ำ

รูปที่ 2.4คอนเดนเซอร์

3. หอผึ่งน้ำ (Cooling Tower) ใช้การหมุนเวียนของอากาศเพื่อช่วยระบายความร้อนออกจากน้ำที่รับความร้อนผ่านคอนเดนเซอร์แล้ว ซึ่งการระบายความร้อนด้วยอากาศนี้ทำได้โดยวิธีเชิงกลใช้พัดลมบังคับทิศทางลมให้สัมผัสกับเม็ดน้ำที่ถูกฉีดออกจากหัวฉีด

รูปที่ 2.5หอทำความเย็น

4. บ่อผลิตน้ำแข็ง จำนวน 2 บ่อ แต่ละบ่อมีขนาดกว้าง 14.5 ม. ยาว 70 ม. และลึก 2 ม. โดยประมาณ แบ่งการจัดเรียงซองน้ำแข็งออกเป็น 65 แถวตามความยาวของบ่อ และ 4

ส่วนหลักตามความกว้างของบ่อ โดยแต่ละส่วนหลักบรรจุซองน้ำแข็งเรียงเป็นชุด ชุดละ 10 ซอง (ตัวเลขแตกต่างกันได้ในแต่ละโรงงาน) ดังนั้น จึงสามารถบรรจุซองน้ำแข็งได้จำนวน 2,600 ซองต่อบ่อ มีท่อซึ่งทำหน้าที่เป็นคอยล์เย็น (Evaporator) วางเรียงไปตามแนวความยาวของบ่อ และซ้อนกันเป็นชั้นอยู่ใต้ระดับน้ำเกลือ โดยทั่วไป จะรักษาอุณหภูมิบ่ออยู่ในช่วงประมาณ –2°C ถึง –12 °C โดยมีใบพัดน้ำเกลือทำหน้าที่พัดน้ำเกลือให้ไหลเวียนไปรอบ ๆ บ่อ เพื่อรักษาอุณหภูมิบ่อให้สม่ำเสมอทั่วกัน นอกจากนี้ สำหรับโรงงานที่ผลิตน้ำแข็งซองเพื่อบริโภคจะมีท่อลมสำหรับเป่าลมลงในช่องบรรจุซองน้ำแข็งเพื่อให้น้ำแข็งใส แล้วใช้เครื่องดูดไส้น้ำแข็งที่สกปรกทิ้ง

5. มอเตอร์สำหรับฉุดใบพัดน้ำเกลือ ขนาดพิกัด 10 แรงม้า ความเร็วรอบ 965 รอบต่อนาที กระแสสูงสุด 23 แอมแปร์ จำนวน 8 ตัว แบ่งเป็น 4 ตัวต่อบ่อ ทำหน้าที่หมุนเวียนน้ำเกลือในแต่ละบ่อ
6. ระบบเครนขนถ่ายน้ำแข็ง มี 2 เครนต่อบ่อ บังคับการทำงานด้วยคน เพื่อเคลื่อนย้ายซองน้ำแข็งระหว่างตำแหน่งในบ่อกับแท่นถอดน้ำแข็งออกและเติมน้ำเข้าซอง ซึ่งอยู่ด้านหน้าของบ่อ โดยการขนถ่ายแต่ละครั้งมีจำนวนน้ำแข็งซอง 10 ซองต่อเครน

จากที่กล่าวถึงข้างต้น มอเตอร์-คอมเพรสเซอร์จะเป็นอุปกรณ์หลักที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณสูง และยังเป็นตัวกำหนดกำลังการผลิตของโรงงานน้ำแข็ง (ซองต่อวัน) ดังนั้นโรงน้ำแข็งจะต้องเลือกขนาดและจำนวนของเครื่องมอเตอร์-คอมเพรสเซอร์ ให้เหมาะสมกับความต้องการในการผลิตน้ำแข็ง

2.2.3 การผลิตน้ำแข็งซอง

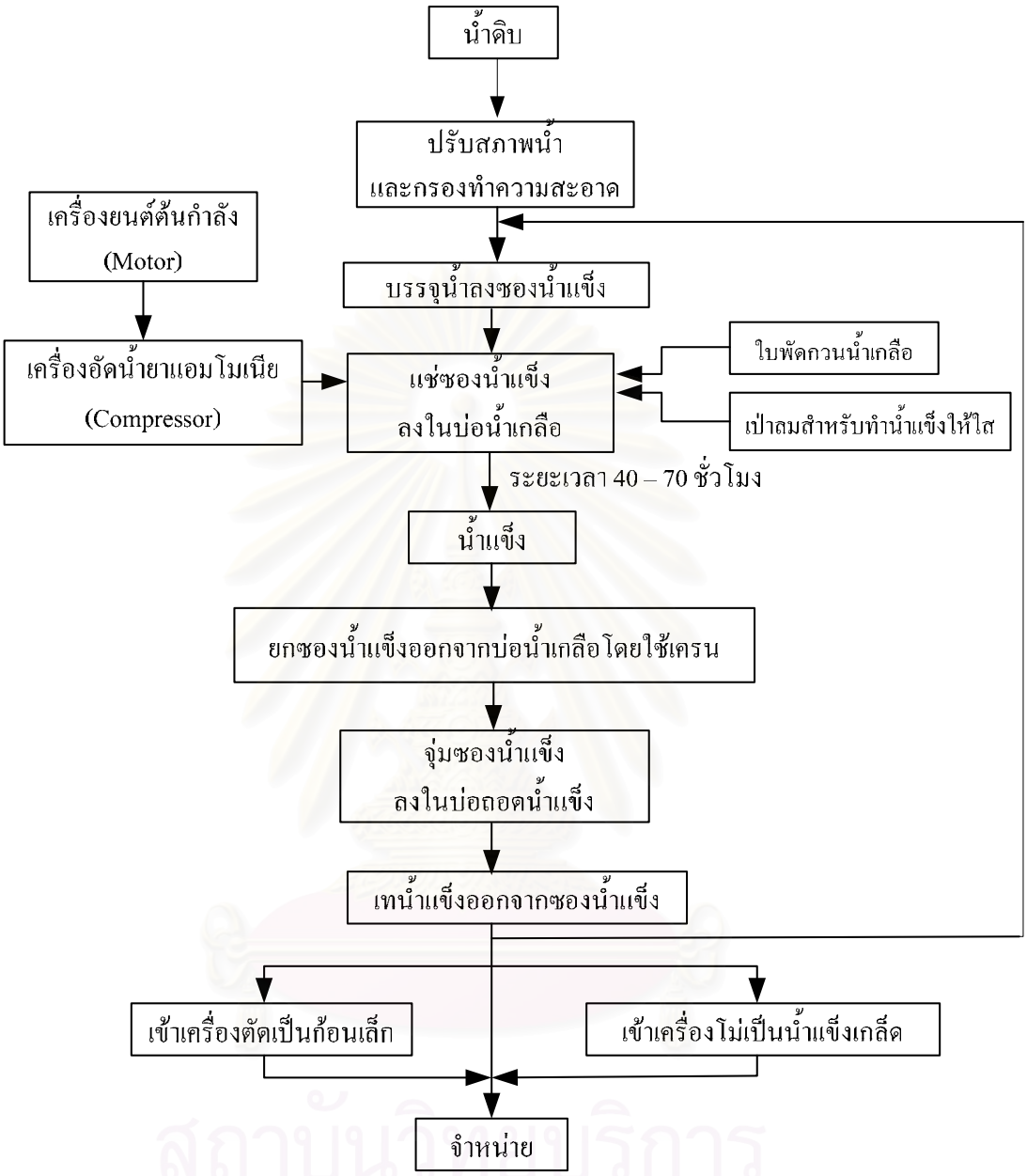
การผลิตน้ำแข็งซอง โดยทั่วไปนิยมทำเป็นก้อนขนาดใหญ่ น้ำหนักประมาณ 150 – 160 กิโลกรัม วัตถุดิบหลักที่สำคัญ คือ น้ำสะอาด และมีวัตถุดิบอื่นๆ ที่จำเป็น ได้แก่ เกลือ และแอมโมเนีย

ในกระบวนการผลิตน้ำแข็งจะประกอบไปด้วยกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนสำคัญสองกระบวนการ กระบวนการแรก คือ การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำยาแอมโมเนียกับน้ำเกลือ โดยใช้เครื่องคอมเพรสเซอร์แบบลูกสูบเป็นตัวอัดน้ำยาแอมโมเนียหลังจากรับความร้อนจากบ่อน้ำเกลือเพื่อถ่ายเทออกสู่บรรยากาศภายนอก กระบวนการที่ 2 เป็นการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำดิบในซองน้ำแข็งกับน้ำเกลือ กล่าวคือ การถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำเกลือ เพื่อทำให้น้ำกลายเป็นน้ำแข็ง

เมื่อมีความต้องการน้ำแข็งซองของลูกค้า เจ้าหน้าที่ก็จะใช้เครนยกน้ำแข็งครั้งละ 10 ซองมาที่แท่นถอดซองน้ำแข็ง โดยมีลักษณะการเดินเครนแบบแถวเว้นแถวเพื่อรักษาอุณหภูมิบ่อตามแนวยาวให้สม่ำเสมอ ในกรณีที่มีบ่อผลิตน้ำแข็ง 2 บ่อ การเอาน้ำแข็งออกโดยทั่วไปจะกระทำแบบสามารถ โดยนำน้ำแข็งออกจากแต่ละบ่อในปริมาณเท่า ๆ กัน จากนั้น เมื่อนำน้ำแข็งถอดออกจากซองไปจำหน่ายแล้วจะเติมน้ำดิบกลับเข้าไปในซองเปล่า แล้วใช้เครนนำไปวางไว้ในตำแหน่งเดิมในบ่อน้ำเกลือ ก่อนที่จะนำน้ำแข็งพร้อมขายตำแหน่งถัดไปออกจากบ่อ เป็นพลวัตเช่นนี้ไปตามลำดับ ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.6 จนกว่าจะเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าในแต่ละครั้ง

การทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์จะขึ้นกับปริมาณยอดขายน้ำแข็งในวันนั้น ๆ และจำนวนน้ำแข็งที่คงเหลือในบ่อ รวมทั้งอุณหภูมิบ่อ ซึ่งโดยปกติช่างจะเดินเครื่องตลอดเกือบ 24 ชั่วโมง และจะตัดสินใจเปิด-ปิดคอมเพรสเซอร์บางตัวโดยอาศัยการสังเกตอุณหภูมิบ่อเป็นหลัก จากการศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานเบื้องต้นของโรงงาน พบว่า พลังงานไฟฟ้าที่ใช้เกินกว่า 80% ถูกใช้ไปเพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์-คอมเพรสเซอร์ ดังนั้นในการบริหารจัดการด้านพลังงานไฟฟ้าในโรงงานน้ำแข็งซอง จึงมุ่งเน้นไปที่การควบคุมการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ เป็นสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.6 แผนผังขั้นตอนการผลิตและจำหน่ายน้ำแข็งซอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

แบบจำลองพลวัตของกระบวนการผลิตน้ำแข็งของโรงงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสร้างแบบจำลองพลวัตของกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองโดยใช้หลักการประมาณระยะเวลาการขึ้นรูปน้ำแข็งแต่ละซองด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์วอลุ่ม [3], [4] และสมการการอนุรักษ์พลังงานเฉลี่ยมาใช้ในการประมาณจำนวนน้ำแข็งพร้อมขายในแต่ละชั่วโมง

3.1 แบบจำลองการขึ้นรูปน้ำแข็งซอง

ในขั้นต้นได้นำแบบจำลองการขึ้นรูปน้ำแข็งซองของ รจนา ประไพนพ [3] ซึ่งเป็นแบบจำลองที่สร้างขึ้นเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเชิงเวลาของน้ำในซอง ณ ตำแหน่งต่าง ๆ กัน ที่อุณหภูมิของน้ำเกลือบริเวณรอบผิวสัมผัส (Boundary Condition) คงที่ค่าหนึ่งๆ แต่เนื่องจากแบบจำลองเป็นการจำลองการขึ้นรูปน้ำแข็งแบบ 2 มิติ โดยละเลยเงื่อนไขความสูงจำกัดของซองน้ำแข็ง เมื่อนำมาใช้ประกอบเข้าเป็นแบบจำลองสถานะของบ่อโดยรวม เพื่อประมาณอุณหภูมิเฉลี่ยของบ่อและจำนวนน้ำแข็งพร้อมขายในแต่ละชั่วโมงโดยใช้สมการการอนุรักษ์พลังงานเฉลี่ยในระบบ พบว่าผลที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูง

ต่อมาได้นำแบบจำลองการขึ้นรูปน้ำแข็งแบบ 3 มิติ [4] มาประยุกต์ใช้ในลักษณะเดียวกันแทน แบบจำลองการขึ้นรูปน้ำแข็งแบบ 2 มิติ กับแบบ 3 มิติ มีความแตกต่างกันโดยหลัก คือ แบบจำลองการขึ้นรูปน้ำแข็งแบบ 3 มิติ จะคิดผลของมิติความสูงที่จำกัดของน้ำแข็งด้วย ซึ่งผลที่ได้มีความถูกต้อง แม่นยำขึ้น

การป้อนค่าลงในแบบจำลองการขึ้นรูปน้ำแข็งแบบ 3 มิติ จะต้องป้อนค่าที่สำคัญ คือ อุณหภูมิ บริเวณรอบผิวสัมผัสของน้ำ / น้ำแข็ง ซึ่งแบ่งเป็นสามส่วนหลัก อุณหภูมิน้ำดิบเริ่มต้นที่ใช้ และขนาดของน้ำที่เติมลงในซอง ดังนี้

1. ขนาดของน้ำที่เติมลงในซอง มีหน่วยเป็นเมตร

width top - half	[m] : 0.285
width bottom - half	[m] : 0.26
thickness - half	[m] : 0.135
height	[m] : 1.20

โดย width top - half และ width bottom - half คือ ครึ่งหนึ่งของความกว้างด้านบนและล่างของซองน้ำแข็งตามลำดับ ส่วน thickness - half คือ ครึ่งหนึ่งของความหนาของซองน้ำแข็ง และ height คือความสูงของระดับน้ำที่เติมลงในซองบรรจุน้ำแข็ง (เมื่อน้ำเปลี่ยนเป็นน้ำแข็งจะมีขนาดความสูงในซองสูงขึ้นจากเดิมประมาณ 20 ซ.ม.)

2. อุณหภูมิน้ำดิบเริ่มต้น มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

   initial T of water [C] : 40

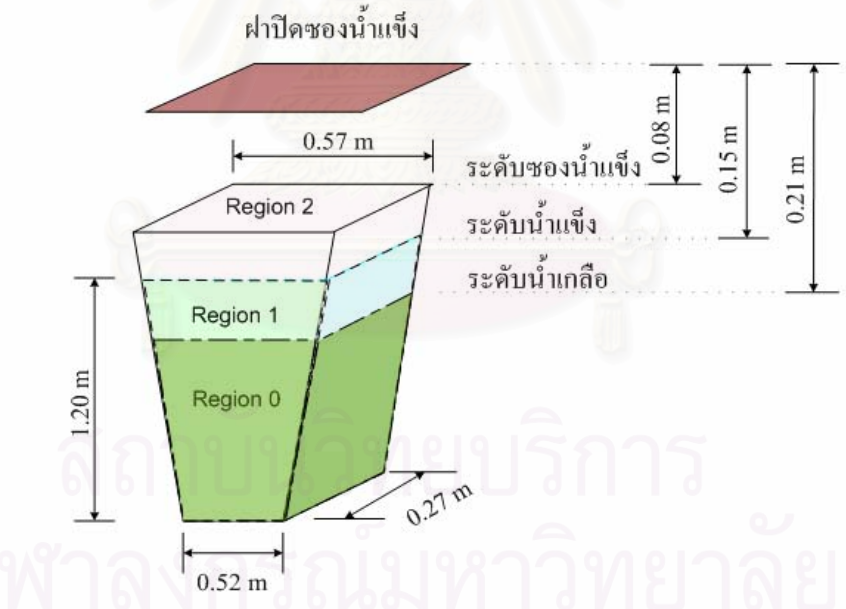
3. อุณหภูมิบริเวณผิวสัมผัสของน้ำ / น้ำแข็ง มีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส

   region 0 [C] : temp: -12

   region 1 [C] : temp: -12

   region 2 [C] : temp: 0

โดย region 0 คือ อุณหภูมิบริเวณผิวสัมผัสในส่วนที่ซองน้ำแข็งสัมผัสกับน้ำเกลือโดยตรง region 1 คือ อุณหภูมิบริเวณผิวสัมผัสในส่วนที่ซองน้ำแข็งไม่สัมผัสอยู่กับน้ำเกลือ และ region 2 คือ อุณหภูมิบริเวณผิวสัมผัสในส่วนบนที่น้ำแข็งสัมผัสกับอากาศ ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขนาดของซองน้ำแข็ง และระดับน้ำ / น้ำแข็ง ในซองเทียบกับระดับน้ำเกลือบริเวณภายนอก

นำผลที่ได้จากการคำนวณล่วงหน้าโดยใช้แบบจำลองการขึ้นรูปน้ำแข็งซองแบบ 3 มิติข้างต้นมาสร้างเป็นตารางฐานข้อมูลการขึ้นรูปน้ำแข็ง ที่อุณหภูมิน้ำดิบเริ่มต้นคงที่ และแปรค่าอุณหภูมิของน้ำเกลือในช่วง -2 ถึง -12 องศาเซลเซียส ตารางฐานข้อมูลการขึ้นรูปน้ำแข็งดังกล่าวจะ

แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่น้ำแข็งถูกแช่อยู่ในบ่อเพื่อขึ้นรูปกับค่าพลังงานความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกจากน้ำ / น้ำแข็งในซองหนึ่งๆ ในหน่วยกิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) (ซึ่งเป็นหน่วยเดียวกับหน่วยที่ใช้ในการระบุปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์ขับคอมเพรสเซอร์) ที่อุณหภูมิน้ำเกลือ (อุณหภูมิบ่อ) ค่าต่างๆ กันไปในช่วงที่พิจารณา

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างข้อมูลบางส่วนของตารางฐานข้อมูลการขึ้นรูปน้ำแข็งที่กล่าวถึงข้างต้น ซึ่งค่าในตารางแสดงถึงพลังงานความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกจากน้ำแข็งแต่ละซอง (kWh) ในช่วงอุณหภูมิของน้ำเกลือ –2°C ถึง –3 °C โดยอุณหภูมิน้ำดิบเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส

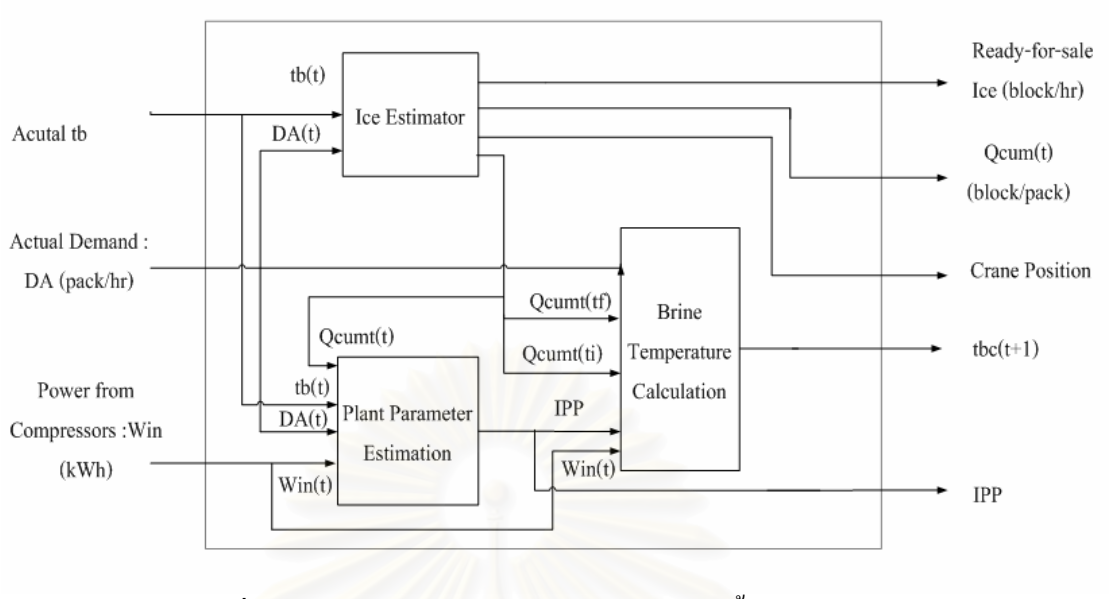
ตารางที่ 3.1 ส่วนหนึ่งของตารางฐานข้อมูลการขึ้นรูปน้ำแข็งที่อุณหภูมิเกลือในช่วง –2°C ถึง –3 °C ที่อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 40 °C สำหรับการเปลี่ยนแปลงใน 10 ชั่วโมงแรก

จำนวนชั่วโมง	-2 °C	-2.5 °C	-3 °C
1	2.35	2.38	2.41
2	3.25	3.31	3.37
3	3.93	4.01	4.10
4	4.48	4.59	4.73
5	4.95	5.13	5.31
6	5.41	5.62	5.88
7	5.82	6.09	6.43
8	6.21	6.55	6.98
9	6.60	7.02	7.52
10	6.96	7.47	8.06

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 แบบจำลองสถานะของบ่อและจำนวนน้ำแข็งพร้อมขาย

แบบจำลองสถานะของบ่อและจำนวนน้ำแข็งพร้อมขายประกอบด้วย 3 ส่วนหลักดังแสดงไว้ในรูปที่ 3.2 ได้แก่ การหาพลังงานสะสมของน้ำแข็งแต่ละซองและจำนวนน้ำแข็งพร้อมขายในแต่ละชั่วโมง การประมาณค่าพารามิเตอร์สำคัญของแบบจำลองระบบผลิตน้ำแข็ง และการคำนวณอุณหภูมิบ่อน้ำเกลือในอนาคต ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.2 แบบจำลองสถานะของบ่อและจำนวนน้ำแข็งพร้อมขาย

นิยามของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดรูปแบบของปัญหาในแบบจำลองสถานะของบ่อและจำนวนน้ำแข็งพร้อมขายมีดังนี้

t	: เวลามีหน่วยเป็นชั่วโมง ซึ่งเริ่มต้นที่ชั่วโมงที่ 0
Win(t)	: พลังงานที่คอมเพรสเซอร์จ่ายเข้าสู่ระบบในชั่วโมงที่ t [kWh]
Qref	: พลังงานสะสมอ้างอิงที่ใช้ในการทำน้ำแข็ง 1 ซอง [kWh]
DA(t)	: จำนวนน้ำแข็งที่ออกจากบ่อในชั่วโมงที่ t [ซอง]
Mb	: มวลของน้ำเกลือในบ่อน้ำเกลือ [kg]
cb	: ค่าความร้อนจำเพาะของของเหลวของน้ำเกลือ [kWh/(kg-K)]
Qcum(i,t)	: ค่าพลังงานสะสมของน้ำแข็งซองที่ i ณ เวลาที่ t
Qcumt(t-1)	: ค่าพลังงานสะสมรวมในบ่อที่เวลาต้นชั่วโมงที่ t [kWh]
Qcumt(t)	: ค่าพลังงานสะสมรวมในบ่อที่เวลาท้ายชั่วโมงที่ t [kWh]
tb(t-1)	: อุณหภูมิในบ่อน้ำเกลือที่เวลาต้นชั่วโมงที่ t [องศาเซลเซียส]
tb(t)	: อุณหภูมิในบ่อน้ำเกลือที่เวลาท้ายชั่วโมงที่ t [องศาเซลเซียส]
Qloss	: พลังงานสูญเสียสู่บรรยากาศภายนอก [kWh]
N	: จำนวนข้อมูลที่นำมาใช้ในการคำนวณมีค่าเท่ากับ 72
IPP	: ค่าพารามิเตอร์ของระบบที่ประมาณได้ (α, β และ γ)

3.2.1 การหาพลังงานสะสมของน้ำแข็งแต่ละซองและจำนวนน้ำแข็งพร้อมขายในแต่ละชั่วโมง

1. พลังงานสะสมที่ถ่ายเทออกจากซองน้ำแข็งแต่ละซอง

กำหนดให้ Qcum(i,t) เป็นค่าพลังงานสะสมที่ถ่ายเทออกจากซองน้ำแข็งแต่ละซองที่เวลา t ซึ่งจะถูกปรับค่าให้เป็นปัจจุบันในแต่ละชั่วโมง โดยปริมาณ Qcum(i,t) จะเปลี่ยนแปลงไปมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับอุณหภูมิน้ำเกลือเฉลี่ยในบ่อ ณ ชั่วโมงนั้นๆ ค่า Qcum(i,t) ในชั่วโมงปัจจุบันสามารถหาได้จากตารางฐานข้อมูลการขึ้นรูปน้ำแข็งตามที่ได้กล่าวไว้แล้วในหัวข้อ 3.1 เมื่อทราบอุณหภูมิของน้ำเกลือเฉลี่ยในบ่อ ในชั่วโมงนั้น ๆ

ในกรณีที่น้ำแข็งถูกขายออกไปจากบ่อ ค่าพลังงานสะสม Qcum(i,t) ของซองที่ถูกขายออกไปจะถูกรีเซทกลับมาที่ค่าเริ่มต้น มีค่าเท่ากับศูนย์

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการปรับค่าพลังงานสะสมที่ถ่ายเทออกจากซองน้ำแข็งในแต่ละชั่วโมง ที่อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 40 °C

จำนวนชั่วโมง t (hr)	อุณหภูมิน้ำเกลือ tb(t) (°C)	พลังงานสะสมที่ถ่ายเทออกจากน้ำ Qcum(i,t) (kWh)
64	-4.61	21.66
65	-5.10	21.66
66	-5.32	21.83
67	-5.98	21.83
68	-6.55	21.97
69	-6.86	21.97
70	-7.52	22.33
71	-8.04	22.33
72	-8.70	22.69

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการปรับค่าพลังงานสะสมที่ถ่ายเทออกจากซองน้ำแข็งในแต่ละชั่วโมงที่อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น 40 °C ซึ่งค่า Qcum(i,t) ที่แสดงไว้เมื่อเวลาเปลี่ยนไป ได้มาจากค่าพลังงานความร้อนที่ถูกถ่ายเทออกจากน้ำในตารางฐานข้อมูลการขึ้นรูปน้ำแข็งที่อุณหภูมิน้ำเกลือ ณ เวลา t

นอกจากนี้ จะหาพลังงานสะสมรวมของบ่อ (Qcumt(t)) ในแต่ละชั่วโมงได้จากผลรวมของพลังงานที่สะสมในแต่ละซองในบ่อ ดังสมการที่ 3.1

$$Qcumt(t) = \sum_{i=1}^{n} Qcum(i,t)$$

โดยที่ n คือ ความจุของบ่อ [ซอง]

โดยค่าพลังงานสะสมรวมของบ่อจะถูกนำไปใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์สำคัญของแบบจำลองระบบผลิตน้ำแข็งของโรงงาน และในการคำนวณค่าอุณหภูมิของบ่อน้ำเกลือในอนาคต ต่อไป

2. จำนวนน้ำแข็งพร้อมขาย

จำนวนน้ำแข็งพร้อมขาย ณ เวลานั้น ๆ สามารถหาได้จากการเปรียบเทียบค่าพลังงานสะสมที่ถ่ายเทออกจากซองน้ำแข็งแต่ละซอง ณ ชั่วโมงนั้นๆ (Qcum(i,t)) กับค่าพลังงานสะสมอ้างอิง (Qref) กล่าวคือ น้ำแต่ละซองจะกลายเป็นน้ำแข็งพร้อมขายเมื่อค่าพลังงานสะสมที่ถ่ายเทออกไปมีค่าเท่ากับ หรือมากกว่า ค่าพลังงานสะสมอ้างอิง ดังนั้นผลรวมของจำนวนซองน้ำแข็งทั้งหมดที่มีค่า Qcum(i,t) มากกว่าหรือเท่ากับค่า Qref ในแต่ละชั่วโมงจะเท่ากับจำนวนน้ำแข็งพร้อมขาย ณ ชั่วโมงนั้น ๆ

เราสามารถหาค่าพลังงานสะสมอ้างอิง (Qref) ที่ใช้ระบุว่าน้ำในซองได้กลายเป็นน้ำแข็งพร้อมขายแล้ว ได้ดังนี้

$$Qref = mc_1\Delta T_1 + mh_L + mc_2\Delta T_2 \qquad (3.1)$$

โดยที่

m : มวลของน้ำ 1 ซอง

ΔT_1 : ผลต่างของอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นที่ 40 กับอุณหภูมิน้ำแข็งที่ 0 C

ΔT_2 : ผลต่างของอุณหภูมิน้ำแข็งที่ 0 C กับอุณหภูมิน้ำแข็งน้อยกว่า 0 C

c_1 : ค่าความร้อนจำเพาะก่อนถึงจุดเยือกแข็งมีค่าเท่ากับ 4.226 [kJ/kgC]

c_2 : ค่าความร้อนจำเพาะหลังจุดเยือกแข็งมีค่าเท่ากับ 1.762 [kJ/kgC]

h_L : ค่าความร้อนแฝงเพื่อการแข็งตัวมีค่าเท่ากับ 388 [kJ/kg]

ในกรณีนี้ จะกำหนดให้มวลของน้ำแข็ง 1 ซอง มีค่าเท่ากับ 160 กิโลกรัม ΔT_1 คือผลต่างของอุณหภูมิน้ำเริ่มต้นที่ 40 C) กับอุณหภูมิน้ำแข็งที่ 0 C และ ΔT_2 คือผลต่างของอุณหภูมิน้ำแข็งที่ 0 C กับอุณหภูมิน้ำแข็งที่ -5 C พลังงานทั้งหมดที่สามารถทำให้น้ำ

กลายเป็นน้ำแข็ง เมื่อถ่ายเทพลังงานถึงค่า 22.93 [kWh] ซึ่งจะมีสภาพเป็นน้ำแข็งพร้อมขายพอดี เนื่องจากในแบบจำลองได้ละเลยการถ่ายเทความร้อนในกรณีที่น้ำแข็งที่ 0° C ไปเป็นน้ำแข็งที่ -5° C ทำให้ค่า Qref มีค่าเท่ากับ 22.54 [kWh] ซึ่งจากตัวอย่างในตารางที่ 3.2 น้ำจะเป็นน้ำแข็งหมดทั้งซองในชั่วโมงที่ 72

3.2.2 การประมาณค่าพารามิเตอร์สำคัญของแบบจำลองระบบผลิตน้ำแข็ง

การประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองระบบทำน้ำแข็งจะใช้หลักการอนุรักษ์พลังงาน ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยสร้างสมการคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองระบบทำน้ำแข็ง

พลังงานหมุนเวียนในบ่อน้ำแข็งมีอยู่ 4 ส่วนได้แก่ 1. พลังงานที่ถ่ายเทเข้าสู่ระบบ คือ พลังงานเกิดจากเครื่องคอมเพรสเซอร์ 2. พลังงานที่สะสมอยู่ในระบบ คือพลังงานจากน้ำและน้ำแข็งที่คงอยู่ในบ่อ และพลังงานที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในบ่อน้ำเกลือ 3. พลังงานที่ถ่ายเทออกจากระบบ คือจากน้ำแข็งขายออกซึ่งเป็นพลังงานที่ออกจากบ่อ และ 4. พลังงานสูญเสียสู่บรรยากาศภายนอก

รูปที่ 3.3 การหมุนเวียนของพลังงานในบ่อน้ำแข็ง

จากรูปที่ 3.3 แสดงการหมุนเวียนของพลังงานในบ่อน้ำแข็ง ดังนั้นตามกฎการอนุรักษ์พลังงานจะได้ว่าพลังงานที่ถ่ายเทเข้าสู่ระบบจะเท่ากับผลรวมของพลังงานที่สะสมอยู่ในระบบ พลังงานที่ออกจากระบบ และพลังงานสูญเสียสู่บรรยากาศภายนอก ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$Win(t) = (\alpha \times Qref \times DA(t)) + (\beta \times Qcumt(t) - Qcumt(t-1)) + (\gamma \times mb \times cb \times (tb(t-1) - tb(t))) + Qloss \quad (3.2)$$

การประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองระบบทำน้ำแข็งใช้วิธีกำลังสองน้อยสุดแบบวนซ้ำโดยการถอดราก [6], [7] ซึ่งเป็นการเก็บข้อมูลภายในหน้าต่างเวลาที่กำหนดเอาไว้ค่าหนึ่ง ๆ เพื่อลดความซับซ้อนแล้วทำการเฉลี่ยภายในหน้าต่างเวลานั้น ๆ และแต่ละชั่วโมงก็จะทำการเคลื่อนหน้าต่างเวลาไปเรื่อย ๆ และเพื่อลดความซับซ้อนของสมการจึงได้กำหนดให้ Qloss เป็นฟังก์ชันเชิงเส้นของตัวแปรทั้ง 3 ตัวคือ จำนวนน้ำแข็งที่ออกจากบ่อ ค่าพลังงานสะสมรวม และอุณหภูมิในบ่อน้ำเกลือ ดังนั้นจากสมการที่ 3.2 จะได้สมการที่ให้ในการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองระบบดังนี้

$$\frac{1}{N}\sum_{t=t_{now}-N}^{t_{now}} Win(t) = \alpha \times Qref \times \sum_{t=t_{now}-N}^{t_{now}} DA(t) + \beta \times \sum_{t=t_{now}-N}^{t_{now}} (Qcumt(t) - Qcumt(t-1)) + \gamma \times mb \times cb \sum_{t=t_{now}-N}^{t_{now}} (tb(t-1) - tb(t)) \quad (3.3)$$

ค่าพารามิเตอร์ที่คำนวณได้คือ α, β และ γ ซึ่งจะได้ถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าอุณหภูมิน้ำเกลือ โดยจากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองโดยการเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำเกลือที่วัดได้จากโรงงานจริง กับอุณหภูมิน้ำเกลือที่คำนวณได้พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ประมาณได้จากแบบจำลองระบบทำน้ำแข็ง เมื่อใช้วิธีกำลังสองน้อยสุดแบบวนซ้ำโดยการถอดราก 1 ส่วน ให้ค่าความคลาดเคลื่อนสูงดังนั้นจึงได้มีการประมาณค่าพารามิเตอร์โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยสุดแบบวนซ้ำโดยการถอดราก 2 ส่วนขนานกันไป โดยนำค่า alpha (α) ที่ประมาณได้ในส่วนแรกมาป้อนให้กับส่วนที่ 2 เพื่อหาค่า beta (β) และ gamma (γ) ต่อไป โดยแต่ละส่วนมีหน้าต่างเวลาที่แตกต่างกัน ทำให้แบบจำลองระบบทำน้ำแข็งมีความแม่นยำมากขึ้น

ความหมายทางกายภาพของค่า alpha (α) ประมาณได้เป็นส่วนกลับของค่าสัมประสิทธิสมรรถนะ (1/COP) ในการผลิตน้ำแข็งของระบบ ส่วนค่า beta (β) และ gamma (γ) เป็นค่าที่มีเพื่อเพิ่มความแม่นยำของแบบจำลองให้สูงขึ้น

3.2.3 การคำนวณหาอุณหภูมิบ่อน้ำเกลือในอนาคต

เนื่องจากอุณหภูมิน้ำเกลือมีผลต่อระยะเวลาการขึ้นรูปน้ำแข็ง ดังนั้นหากเราสามารถคำนวณอุณหภูมิของน้ำเกลือที่สภาวะการทำงานต่าง ๆ จะทำให้ทราบถึงจำนวนน้ำแข็งพร้อมขายที่เกิดขึ้นมาในแต่ละชั่วโมงได้

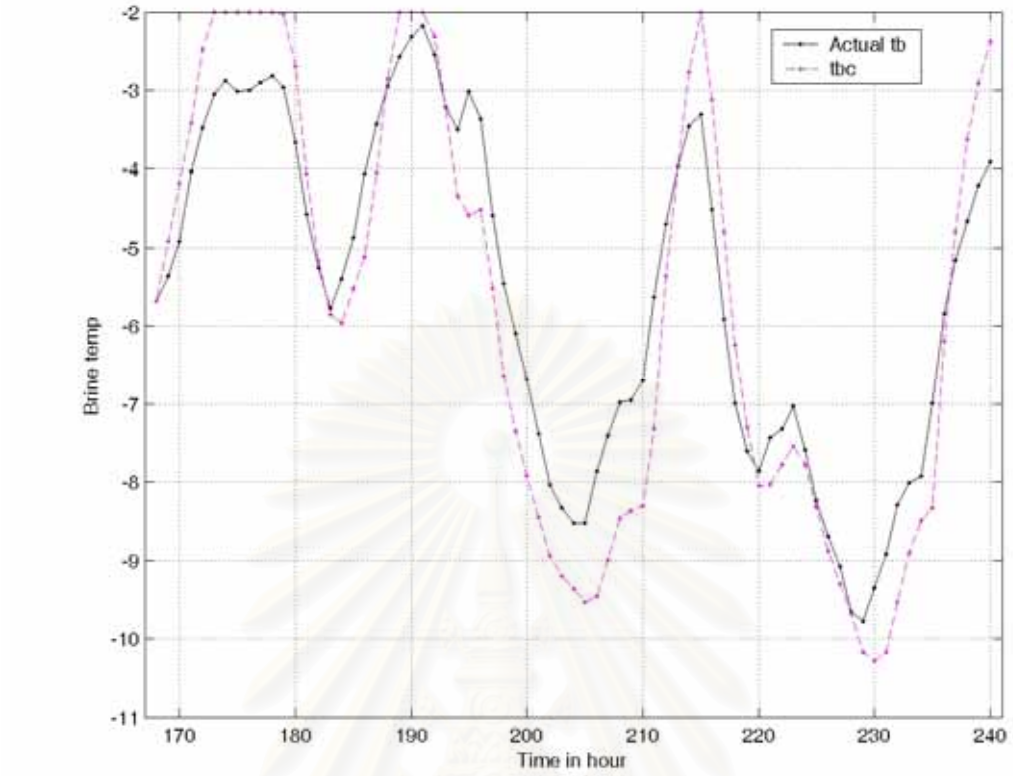
จากสมการอนุรักษ์พลังงานในสมการที่ 3.2 ข้างต้น สามารถนำมาเขียนสมการสถานะของน้ำเกลือได้ โดยอุณหภูมิของน้ำเกลือในบ่อในชั่วโมงต่อไปสามารถคำนวณโดยใช้ค่าพลังงานจากเครื่องคอมเพรสเซอร์ของชั่วโมงปัจจุบัน (Win(t)) ค่าพลังงานจากน้ำแข็งที่ออกจากบ่อของชั่วโมงปัจจุบัน (DA(t)) ค่าพลังงานสะสมรวมในบ่อที่เวลาต้นชั่วโมงปัจจุบัน (Qcumt(t-1)) และท้ายชั่วโมงปัจจุบัน (Qcumt(t)) ตามสมการดังนี้

$$tbc(t+1) = tbc(t) + \frac{\alpha \times Qref \times DA(t) + \beta \times (Qcumt(t-1) - Qcumt(t)) + Qloss - Win(t)}{(\lambda \times Mb \times cb)} \quad (3.4)$$

ขอบเขตของอุณหภูมิในบ่อที่คำนวณได้กำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง -12°C ถึง -2°C ส่วนค่าพารามิเตอร์ α, β, γ และ Qlossได้จากการประมาณค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองระบบทำน้ำแข็ง โดยวิธีกำลังสองน้อยสุดแบบวนซ้ำโดยการถอดรากดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

3.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองพลวัตของกระบวนการผลิตน้ำแข็ง

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองได้นำข้อมูลที่วัดจากโรงงานจริง ได้แก่ยอดขายน้ำแข็งซองในแต่ละชั่วโมง และพลังงานที่วัดได้จากคอมเพรสเซอร์ในแต่ละชั่วโมง มาประมวลผลในแบบจำลองเพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำเกลือจริงในแต่ละชั่วโมงที่วัดได้จากโรงงาน กับอุณหภูมิน้ำเกลือที่ได้จากการคำนวณ แบบจำลองจะประมวลผลโดยเริ่มรับข้อมูลขาเข้าจนครบ 72 ชั่วโมง เพื่อนำมาคำนวณค่าพารามิเตอร์ของระบบ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ของระบบ ณ ประมาณชั่วโมงที่ 72 นี้ยังไม่ลู่เข้าสู่ค่าคงที่ ดังนั้นจึงยังไม่มีการนำค่าพารามิเตอร์ไปคำนวณอุณหภูมิน้ำเกลือ และจากการทดสอบแบบจำลองพบว่าเมื่อเวลาประมาณชั่วโมงที่ 168 จะได้ค่าพารามิเตอร์ของระบบเป็นค่าคงที่ ดังนั้นจึงจะเริ่มคำนวณอุณหภูมิน้ำเกลือ ณ ชั่วโมงนี้



รูปที่ 3.4 ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิของบ่อน้ำเกลือที่คำนวณได้กับอุณหภูมิของบ่อน้ำเกลือจริง ในช่วงวันที่ 8 – 10 มีนาคม พ.ศ. 2548

รูปที่ 3.4 แสดงผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิของบ่อน้ำเกลือที่คำนวณได้กับอุณหภูมิของบ่อน้ำเกลือจริงเป็นระยะเวลา 72 ชั่วโมง ค่าความคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้จากรากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองมีค่าประมาณ 0.8°C – 0.9°C

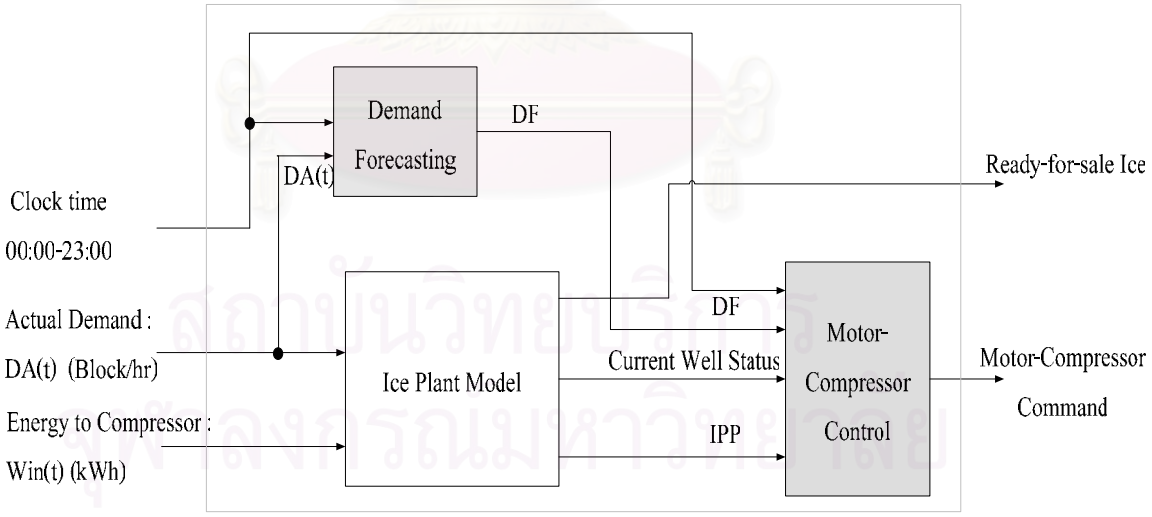
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า

ในบทก่อนหน้านี้ได้กล่าวถึงกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง และแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง ซึ่งอาศัยหลักการพลังงานหมุนเวียนระบบผลิตน้ำแข็งด้วยวิธีกำลังสองน้อยสุดแบบวนซ้ำโดยการถอดรากเพื่อหาอุณหภูมิน้ำเกลือที่เปลี่ยนไป และหลักการประมาณระยะเวลาการขึ้นรูปน้ำแข็งแต่ละซองในการหาจำนวนน้ำแข็งพร้อมขายที่เกิดขึ้นมาในแต่ละชั่วโมง ด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์วอลุ่ม เนื่องจาก ต้นทุนค่าไฟฟ้าหลักในโรงงานผลิตน้ำแข็งซองมาจากการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ ดังนั้นในบทนี้จะได้กล่าวถึงการจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงานผลิตน้ำแข็งซอง ด้วยการปรับตารางเวลาการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ให้สอดคล้องกับกลไกการคิดราคาค่าไฟฟ้า และความต้องการน้ำแข็งของลูกค้า

ระบบบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าที่นำเสนอมีองค์ประกอบหลักดังแสดงในรูปที่ 4.1 ได้แก่ การพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็ง การประมาณสถานะของบ่อ ณ ปัจจุบัน และการควบคุมการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์



รูปที่ 4.1 ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า

4.1 การพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็ง

ความต้องการน้ำแข็งของโรงงานผลิตน้ำแข็งนั้นจะขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ ฤดูการทำประมง รวมถึงความต้องการของลูกค้าประเภทอุตสาหกรรมอาหารแช่แข็ง โดยความต้องการน้ำแข็งจะแปรเปลี่ยนไปในแต่ละชั่วโมง จากการศึกษาสถิติข้อมูลของโรงงาน ทำให้ทราบว่าในแต่ละวันจะมีแบบแผนและลักษณะการขายน้ำแข็งที่ใกล้เคียงกัน กล่าวคือที่เวลาเดียวกันในแต่ละวันจะมียอดขายใกล้เคียงกัน ดังนั้นในที่นี้จะพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งโดยใช้ข้อมูลยอดขายจากในอดีตจนถึงปัจจุบันมาคำนวณโดยหลักการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving Average) [9] เพื่อหาความต้องการน้ำแข็งในแต่ละชั่วโมงสำหรับวันถัดไป ซึ่งเขียนเป็นสมการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งดังนี้

$$DF(t_{k+1}) = DF(t_k) + \zeta \times \left(DA(t_k) - DF(t_k)\right) \qquad (4.1)$$

1. t_k คือชั่วโมงนาฬิกาของวันที่ k
2. $DA(t_k)$ คือจำนวนน้ำแข็งที่นำออกจากบ่อจริงในชั่วโมงนาฬิกาที่ t ของวันที่ k
3. $DF(t_k)$ คือความต้องการน้ำแข็งที่พยากรณ์ได้ในชั่วโมงนาฬิกาที่ t ของวันที่ k
4. ζ คือตัวถ่วงน้ำหนักของความคลาดเคลื่อนระหว่างความต้องการน้ำแข็งจริงกับความต้องการน้ำแข็งที่พยากรณ์ได้ (ในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.2)

ในการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งจะพยากรณ์ยอดขายไปข้างหน้า 3 วันล่วงหน้า ซึ่งสอดคล้องกับช่วงชีวิต (Life Time) ของบ่อน้ำแข็ง โดยกำหนดให้ในแต่ละวันมีแบบแผนและลักษณะการขายน้ำแข็งเหมือนกัน มีเงื่อนไขจำกัดสำหรับการคำนวณดังนี้

- มีการขายน้ำแข็งในช่วงเวลาเปิดทำการของโรงงาน คือ 00:00 –20:00 น.
- ในระหว่างเวลาเปิดขายของโรงงาน หากยอดขายจริงในชั่วโมงนั้น ๆ มีค่าเป็นศูนย์จะไม่นำมาคิดในการหาค่าเฉลี่ย
- จำนวนน้ำแข็งขายออกจากบ่อมากที่สุดคือ 200 ซอง/ชม. และ 1500 ซอง/วัน

ความเหมาะสมในการควบคุมการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ ขึ้นอยู่กับการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็ง หากการพยากรณ์มีความแม่นยำสูงหรือใกล้เคียงกับความต้องการจริง ก็จะทำให้เราสามารถปรับตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้อย่างถูกต้อง กล่าวคือลดการใช้พลังงาน

ไฟฟ้าส่วนเกินที่ไม่จำเป็นและลดการสูญเสียพลังงาน ในขณะที่ยังมีน้ำแข็งพร้อมขายตามความต้องการของลูกค้า

4.2 การประมาณสถานะของบ่อ ณ ปัจจุบัน

ในการประมวลผลของระบบจัดการพลังงานแบบเวลาจริงจะต้องติดตามการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณขาเข้าในแต่ละชั่วโมงได้แก่ ผลรวมพลังงานที่ป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์ ยอดการนำน้ำแข็งออกจากบ่อจริง และอุณหภูมิน้ำเกลือเฉลี่ยในแต่ละชั่วโมง ข้อมูลสถานะของบ่อจะถูกปรับปรุงให้เป็นสถานะ ณ เวลาปัจจุบันที่สอดคล้องกับสัญญาณขาเข้า เพื่อนำไปใช้ในการประมวลผลการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์

สัญญาณขาออกที่ระบุถึงข้อมูลสถานะของบ่อ ณ ปัจจุบันได้แก่ ค่าพลังงานที่ถ่ายเทออกจากน้ำหรือน้ำแข็งแต่ละซอง ตำแหน่งของเครนหรือตำแหน่งของซองน้ำแข็งที่ถูกนำออกจากบ่อล่าสุด และค่าพารามิเตอร์ของระบบผลิตน้ำแข็ง ซึ่งข้อมูลสถานะของบ่อเหล่านี้คำนวณได้จากแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

4.3 การควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์

ขั้นตอนในการควบคุมการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยมุ่งเน้นการปรับตารางเวลาการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์เพื่อลดการใช้พลังงานและลดค่าไฟฟ้าให้ต่ำที่สุดภายในหน้าต่างเวลา (Time Window) ที่เหมาะสมสอดคล้องกับกลไกการคิดราคาค่าไฟฟ้า ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับโรงงานที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าทั้งแบบ TOD และ TOU

ในตอนต้นจะพัฒนาขั้นตอนการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ที่สอดคล้องกับอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD ก่อน แล้วจึงนำระเบียบวิธีในการควบคุมมาพัฒนาต่อยอดเพื่อให้สามารถนำไปใช้ได้กับโรงงานที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU ได้ต่อไป

มีเงื่อนไขจำกัดและหลักในการควบคุมหลายประการที่นำมาใช้ประกอบในการควบคุม ที่สำคัญได้แก่ การรักษาอุณหภูมิบ่อน้ำเกลือไว้ภายในขอบเขตที่จะทำให้ประสิทธิภาพการผลิตน้ำแข็งมีค่าสูงสุดทั้งในเชิงเวลาในการผลิตน้ำแข็งและการใช้พลังงาน บ่อไม่ร้อนหรือเย็นจนเกินไป การรักษาปริมาณน้ำแข็งพร้อมขายคงบ่อไว้ในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อให้มีน้ำแข็งพร้อมขายทันเวลาที่กำหนด และลดการแกว่งของอุณหภูมิน้ำเกลือในบ่อน้ำแข็งที่มีคุณภาพดี นอกจากนี้จะควบคุมให้จำนวนชั่วโมงเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์แต่ละตัวสม่ำเสมอกัน

4.3.1 นิยามสัญลักษณ์และตัวแปร

ก่อนที่จะกล่าวถึงหลักการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์สำหรับการคิดค่าฟ้าในแบบ TOD และ TOU จะได้กำหนดนิยามของสัญลักษณ์และตัวแปรที่ใช้ในการกำหนดรูปแบบของปัญหาดังนี้

M(i,t)	: มอเตอร์คอมเพรสเซอร์ตัวที่ i ซึ่งเป็นตัวที่เปิดการทำงาน ณ ชั่วโมงที่ t
nmc	: จำนวนมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ทั้งหมด
nmcMin	: จำนวนมอเตอร์คอมเพรสเซอร์ที่น้อยที่สุด ที่ยอมให้เปิดการทำงานเมื่อมีการเปิดการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์
EC	: อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOD โดยรวมกับการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ Ft
EC_P	: อัตราค่าไฟฟ้าในช่วงเวลา On Peak สำหรับการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU โดยรวมกับการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ Ft
EC_OP	: อัตราค่าไฟฟ้าในช่วงเวลา Off-Peak สำหรับการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU โดยรวมกับการปรับอัตราค่าไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ Ft
Pavg	: กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์แต่ละตัว
t_{now}	: เวลาชั่วโมงปัจจุบัน
Tw	: หน้าต่างเวลาซึ่งมีระยะเวลาเท่ากับช่วงชีวิตของบ่อ หรือระยะเวลาที่น้ำแข็ง 1 บ่อจะถูกนำออกขายจนหมดในแต่ละรอบ
MOT	: ระยะเวลาน้อยที่สุดที่อนุญาตให้ปิดการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์
cot(i,t)	: ระยะเวลาต่อเนื่องที่มีการปิดคอมเพรสเซอร์ตัวที่ i ณ ชั่วโมงที่ t
cont(i,t)	: ระยะเวลาต่อเนื่องที่มีการเปิดคอมเพรสเซอร์ตัวที่ i ณ ชั่วโมงที่ t
seq(i)	: ลำดับความสำคัญของคอมเพรสเซอร์เช่น seq(1) = 2 หมายความว่าคอมเพรสเซอร์ตัวที่ 2 เป็นตัวแรกที่จะถูกพิจารณาปิดการทำงาน
IR2S(t)	: จำนวนน้ำแข็งพร้อมขาย ณ ชั่วโมงที่ t
DF(n)	: จำนวนความต้องการที่พยากรณ์ได้ในชั่วโมงที่ n
Tbmin	: อุณหภูมิต่ำสุด
Tbmax	: อุณหภูมิสูงสุด
TbReg	: ค่าฐานของอุณหภูมิน้ำเกลือ ทำหน้าที่เป็นตัวกำหนดอุณหภูมิน้ำเกลือเพื่อมิให้อุณหภูมิในบ่อร้อนหรือเย็นจนเกินไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

tb(t) : อุณหภูมิน้ำเกลือที่จริง ณ ชั่วโมงที่ t

tbc(t) : อุณหภูมิน้ำเกลือที่คำนวณได้ ณ ชั่วโมงที่ t

pcres : เปอร์เซ็นต์ของจำนวนน้ำแข็งพร้อมขาย ที่ต้องการให้มีสำรองไว้ใน 24 ชั่วโมงข้างหน้า

pcresMax : เปอร์เซ็นต์ของจำนวนน้ำแข็งพร้อมขายที่มากที่สุด ที่ต้องการให้มีสำรองไว้ใน 24 ชั่วโมงข้างหน้า

Tlead : จำนวนชั่วโมงที่น้ำแข็งจะต้องคงอยู่ในบ่อ ก่อนที่จะถูกนำออกจากบ่อตามความต้องการน้ำแข็งของส่วนพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งล่วงหน้า 72 ชั่วโมงเพื่อเป็นการสำรองน้ำแข็งให้เพียงพอต่อความต้องการ และรักษาคุณภาพของน้ำแข็ง

epsilon : ค่าเกณฑ์ความเสี่ยงเกิดจากผลกระทบในอีก 72 ชั่วโมงข้างหน้าเมื่อมีการสั่งปิดคอมเพรสเซอร์ คือ จำนวนชั่วโมงที่เกิดเหตุการณ์การขายน้ำแข็งไม่ทัน หรือมีน้ำแข็งไม่พอต่อความต้องการของลูกค้า และจำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิในบ่อร้อนเกินไป

Risk : ค่าความเสี่ยงที่คำนวณได้

mcerr : จำนวนชั่วโมงต่อเนื่องที่เกิดเหตุการณ์การขายน้ำแข็งไม่ทัน หรืออุณหภูมิในบ่อร้อนเกินไป

4.3.2 การควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์สำหรับโรงงานน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD

การควบคุมการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ตามช่วงเวลาของอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD จะกำหนดปิดคอมเพรสเซอร์ทุกตัวในช่วงเวลา On Peak (18.00 – 22.00 น. เพื่อให้ครอบคลุมช่วงเวลา On Peak ตมนิยามของการไฟฟ้าคือ18.30 – 21.30 น.) สำหรับในช่วงเวลาอื่นจะคำนวณหาจำนวนคอมเพรสเซอร์ที่สามารถปิดในแต่ละชั่วโมงที่สนใจ โดยใช้ข้อมูลความต้องการน้ำแข็งที่ได้จากการพยากรณ์ และสถานะของบ่อ ณ ปัจจุบัน ซึ่งสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดได้ดังนี้

สมการฟังก์ชันจุดประสงค์ในการคำนวณในแต่ละชั่วโมงมีดังนี้

$$\min \sum_{t=t_{now}}^{t_{now}+Tw} \sum_{i=1}^{nmc} M(i,t) \times Pavg \times EC \qquad (4.2)$$

โดยมีเงื่อนไขจำกัดของสถานะบ่อที่เวลาปัจจุบัน $t = t_{now}$ ดังนี้

$$tb(t) \leq TbReg$$

$$IR2S(t) \geq DF(t) + \frac{pcres}{100} \times \sum_{t=t_{now}}^{t_{now}+24} DF(t)$$

$$cot(i,t) \geq MOT \quad , \quad i = 1,2,\ldots,nmc$$

$$cont(i,t) \geq MOT \quad , \quad i = 1,2,\ldots,nmc$$

นอกจากนี้ยังคำนึงถึงเงื่อนไขจำกัดของสถานะบ่อที่เวลาในอนาคตเท่ากับช่วงชีวิตของบ่อ $t_{now} \leq t \leq t_{now} + Tw$ เพื่อใช้ในการพิจารณาความเสี่ยง เพื่อประกอบการตัดสินใจปิดคอมเพรสเซอร์ ดังนี้

$$tbc(t) \geq Tbmax \quad , \quad t_{now} \leq t \leq t_{now} + Tw$$

$$IR2S(t) \geq \sum_{n=t}^{t+Tlead} DF(n)$$

นอกจากนี้ในการออกแบบระบบจัดการพลังงานเพื่อให้ใช้งานได้จริงในโรงงาน ยังได้กำหนดการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์โดยให้ผู้ใช้งานระบบป้อนข้อมูลเพิ่มเติม สำหรับเหตุการณ์ไม่ปกติที่ทราบล่วงหน้าได้ในกรณีสำคัญ 3 ประการดังนี้

1. กรณีที่ยอดขายจะเปลี่ยนแปลงจากปกติอย่างรวดเร็วเช่น เพิ่มขึ้นเนื่องจากคำสั่งจองพิเศษเนื่องจากมีสินค้าวัตถุดิบเข้ามาจำนวนมาก หรือลดลงเนื่องจากวันหยุดเทศกาล หรือ ปิดบ่อชั่วคราวเพื่อซ่อมเครน ซึ่งการพยากรณ์น้ำแข็งอัตโนมัติด้วยวิธีการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ไม่สามารถคาดการณ์ได้
2. กรณีที่การไฟฟ้าจะงดจ่ายไฟฟ้าชั่วคราวทำให้ไม่สามารถเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ได้

3. กรณีที่โรงงานวางแผนซ่อมบำรุงมอเตอร์-คอมเพรสเซอร์รายตัว ทำให้ไม่สามารถเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ตัวนั้น ๆ ได้

ขั้นตอนการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 โดยมีเป้าหมายเพื่อลดค่าไฟฟ้าโดยรวมของโรงงานในแต่ละเดือน สำหรับโรงงานที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD เดิมผู้ประกอบการไม่เดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ในช่วง On Peak (18:00 – 22:00 น.) อยู่แล้ว ดังนั้นในกรณีนี้จึงให้ความสนใจกับการจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก ซึ่งอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าแบบ TOD มีอัตราเท่ากันตลอดทุกชั่วโมง ดังนั้นขั้นตอนการควบคุมจึงใช้หลักการปิดคอมเพรสเซอร์ในชั่วโมงปัจจุบันให้ได้มากที่สุด โดยไม่ส่งผลประทบต่อการขายน้ำแข็งและคุณภาพน้ำแข็ง

อย่างไรก็ดีการกำหนดการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์จะต้องคำนึงถึงเงื่อนไขของจำนวนชั่วโมงในการเปิดและปิดต่อเนื่องขั้นต่ำด้วย ดังนั้นจึงเลือกที่จะให้มีการปิดคอมเพรสเซอร์แต่ละตัวให้มีจำนวนชั่วโมงปิดต่อเนื่องยาวนานมากกว่าการปิดคอมเพรสเซอร์หลายตัวในจำนวนชั่วโมงที่สั้นกว่า เพื่อหลีกเลี่ยงการเปิด-ปิดคอมเพรสเซอร์บ่อยครั้งเกินความจำเป็น

4.3.3 ขั้นตอนการหาคำตอบคำสั่งควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์กรณีเสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD

หลักการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ มีขั้นตอนการทำงานเพื่อหาคำตอบของสถานะของคอมเพรสเซอร์ว่าควรจะปิดคอมเพรสเซอร์เป็นจำนวนเท่าใด โดยที่ค่าความเสี่ยงยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ค่าความเสี่ยงนั้นนิยามได้จากผลกระทบที่เกิดขึ้นในอีก 72 ชั่วโมงข้างหน้าดังที่จะได้กล่าวในลำดับถัดไป

ขั้นตอนการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์เป็นดังนี้

1. รับค่าข้อมูลขาเข้าได้แก่ อุณหภูมิน้ำเกลือที่วัดได้จริงเฉลี่ยในชั่วโมงที่ผ่านมา สถานะของบ่อที่ประมาณผ่านแบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็ง ณ ปัจจุบัน และความต้องการน้ำแข็งที่ได้จากการพยากรณ์ไปในอนาคตเป็นเวลา 72 ชั่วโมง
2. รับข้อมูลการเปิด-ปิดคอมเพรสเซอร์จริงในชั่วโมงที่ผ่านมา แล้วทำการเปลี่ยนลำดับความสนใจของคอมเพรสเซอร์ด้วยฟังก์ชันเปลี่ยนลำดับคอมเพรสเซอร์ (ดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.3.7)
3. เริ่มต้นโดยการตรวจสอบคำสั่งกำหนดการเปิด-ปิดคอมเพรสเซอร์ล่วงหน้าที่ผู้ใช้ป้อนข้อมูลไว้ (สำหรับกรณีที่เกิดเหตุการณ์ไม่ปกติที่ทราบล่วงหน้า) หากมีคำสั่งบังคับการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในชั่วโมงปัจจุบัน จะกำหนดคำสั่งควบคุมการทำงาน

ตามนั้น แล้วไปข้อที่ 19 หากไม่มีคำสั่งกำหนดการเปิด-ปิดคอมเพรสเซอร์ล่วงหน้า จะตรวจสอบช่วงเวลาปัจจุบันในข้อ 3

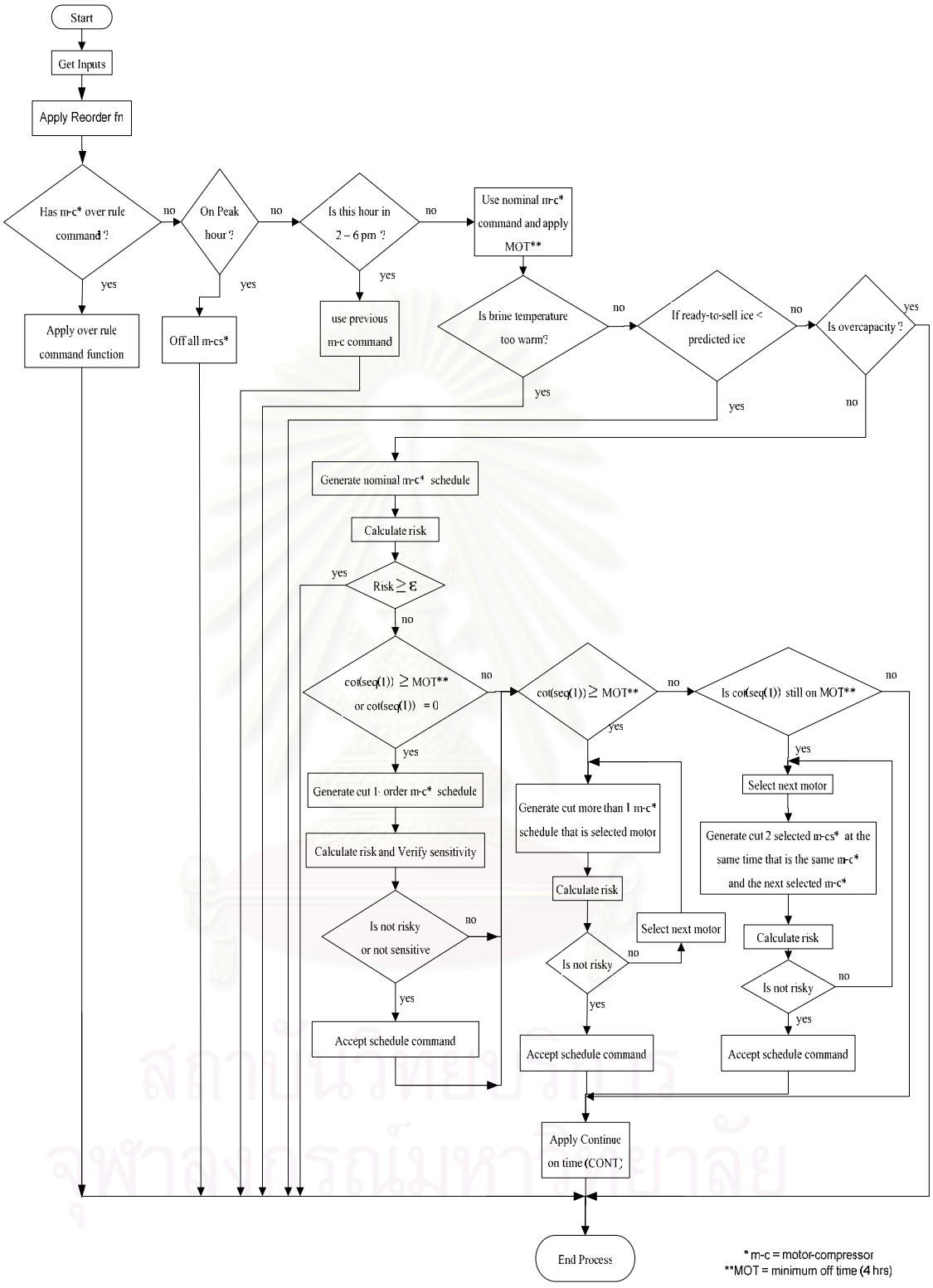
4. ตรวจสอบช่วงเวลา On Peak กล่าวคือหากเวลาปัจจุบันอยู่ในช่วงเวลา 18:00 – 22:00 น. กำหนดคำสั่งให้ปิดคอมเพรสเซอร์ทุกตัว แล้วไปข้อที่ 19 ถ้าไม่ใช่จะไปข้อที่ 5
5. หากเวลาปัจจุบันอยู่ในช่วงเวลา 15:00 – 18:00 น. (MOT-1 ชั่วโมง ก่อนเข้าสู่ช่วงเวลา On Peak) กำหนดคำสั่งให้สถานะของคอมเพรสเซอร์แต่ละตัวมีสถานะเดียวกับสถานะของชั่วโมงที่แล้ว เพื่อไม่ให้การเปลี่ยนสถานะการทำงานของคอมเพรสเซอร์แต่ละตัวน้อยกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้คือระยะเวลาที่น้อยที่สุดในการปิดและเปิดคอมเพรสเซอร์ แล้วเข้าสู่ข้อที่ 19 ถ้าไม่ใช่จะเข้าสู่ข้อที่ 6
6. กำหนดค่าเริ่มต้นให้คอมเพรสเซอร์ทุกตัวเปิดหมดก่อน ยกเว้นตัวที่ปิดมาแล้วไม่ถึง 4 ชั่วโมงซึ่งจะต้องปิดต่อไปให้ครบ
7. หากเวลาปัจจุบันอยู่ในชั่วโมงที่ 14:00 น. จะชดเชยอุณหภูมิบ่อน้ำเกลือให้ร้อนขึ้น 3˚C เพื่อไม่ให้อุณหภูมิในบ่อร้อนเกินไประหว่างการปิดคอมเพรสเซอร์หมดทุกตัวนาน 4 ชั่วโมงในช่วงเวลา On Peak
8. หากอุณหภูมิน้ำเกลือมีค่าสูงเกินค่าที่ต้องการควบคุมคือ TbReg จะไม่สั่งให้มีการปิดคอมเพรสเซอร์เพิ่ม แล้วเข้าสู่ข้อที่ 19 ถ้าไม่ใช่จะเข้าสู่ข้อที่ 9
9. หากจำนวนน้ำแข็งพร้อมขายในเวลาปัจจุบันมีจำนวนน้อยกว่าผลรวมของความต้องการน้ำแข็งที่พยากรณ์ได้สำหรับชั่วโมงปัจจุบันและปริมาณน้ำแข็งสำรองที่ต้องการ จะไม่สั่งให้มีการปิดคอมเพรสเซอร์เพิ่มแล้วเข้าสู่ข้อที่ 19 ถ้าไม่ใช่จะเข้าสู่ข้อที่ 10
10. หากมีจำนวนน้ำแข็งพร้อมขายเพียงพอ จะคำนวณพลังงานรวมที่ต้องใช้ในการขึ้นรูปน้ำแข็งที่พยากรณ์ในอีก 72 ชั่วโมงข้างหน้า และคำนวณพลังงานที่สามารถป้อนเข้าคอมเพรสเซอร์ได้มากที่สุดนั่นคือพลังงานที่เกิดจากการเปิดคอมเพรสเซอร์ทุกตัว ซึ่งหากพลังงานที่ต้องการใช้ในการขึ้นรูปน้ำแข็งที่พยากรณ์มีค่ามากกว่า หรือเท่ากับพลังงานที่มากที่สุด จะไม่สั่งให้มีการปิดคอมเพรสเซอร์เพิ่มแล้วเข้าสู่ข้อที่ 19 ถ้าไม่ใช่จะเข้าสู่ข้อที่ 11
11. หากพลังงานที่ต้องการใช้ในการขึ้นรูปน้ำแข็งที่พยากรณ์ไปในอนาคต มีค่าน้อยกว่าพลังงานที่มากที่สุดที่สามารถป้อนให้คอมเพรสเซอร์ได้ในช่วงเวลาดังกล่าว จะสร้างตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในกรณีปกติใน 72 ชั่วโมงข้างหน้านับจากเวลาปัจจุบัน โดยฟังก์ชันสร้างตารางการทำงานประเภทศูนย์ (ดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.3.6)

12. จำลองพฤติกรรมเชิงพลวัตของกระบวนการผลิตและจำหน่ายน้ำแข็งไปข้างหน้าเท่ากับ 72 ชั่วโมง แล้วคำนวณค่าความเสี่ยง โดยคำนวณจากค่าความผิดพลาดแบบต่อเนื่องที่เกิดจากอุณหภูมิในบ่อร้อนเกินไป และจำนวนน้ำแข็งพร้อมขายไม่เพียงพอต่อความต้องการด้วยฟังก์ชันหาค่าความเสี่ยง (ดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.3.8) หากค่าความเสี่ยงมีค่ามากกว่าค่า epsilon ที่กำหนดไว้ จะไม่มีการสั่งให้ปิดคอมเพรสเซอร์เพิ่มแล้วเข้าสู่ข้อที่ 19 ถ้าไม่ใช่จะเข้าสู่ข้อที่ 13
13. หากคอมเพรสเซอร์ในลำดับที่ 1 ยังไม่มีการปิดมาก่อน หรือปิดมาแล้วมากกว่าหรือเท่ากับ 4 ชั่วโมง จะสร้างคำสั่งให้มีการปิดคอมเพรสเซอร์ตัวนั้น และสร้างตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์ใน 72 ชั่วโมงข้างหน้านับจากเวลาปัจจุบัน โดยฟังก์ชันสร้างตารางการทำงานประเภทหนึ่ง (ดูรายละเอียดในหัวข้อที่ 4.3.6)
14. ทำซ้ำในหัวข้อที่ 12 ข้างต้นโดยใช้ตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่ได้ในข้อ 12 นอกจากนี้หากตรวจสอบพบว่าภายใน 24 ชั่วโมงข้างหน้า คาดว่าจะไม่มีความผิดพลาดใด ๆ เกิดขึ้นทั้งในส่วนของอุณหภูมิบ่อและจำนวนน้ำแข็งพร้อมขาย จะทำการเปรียบเทียบความเสี่ยงในชั่วโมงอนาคตคือชั่วโมงที่ 25 ถึงชั่วโมงที่ 72 ระหว่างการเปิดคอมเพรสเซอร์ทุกตัวกับปิดคอมเพรสเซอร์ 1 ตัว หากความเสี่ยงไม่แตกต่างกันจะอนุญาตให้ปิดคอมเพรสเซอร์ 1 ตัวได้
15. เมื่อผ่านเงื่อนไขในข้อที่ 14 ซึ่งเป็นการสั่งปิดคอมเพรสเซอร์เป็นจำนวน 1 ตัวมาแล้ว จะเริ่มเข้าสู่การคำนวณเพื่อสั่งปิดคอมเพรสเซอร์เพิ่มมากกว่า 1 ตัว ซึ่งแบ่งได้เป็นสองเส้นทางหลักในข้อ 16 และ 17 ตามลำดับ
16. หากคอมเพรสเซอร์ในลำดับที่พิจารณา มีการปิดการทำงานมาแล้วมากกว่าหรือเท่ากับ MOT ชั่วโมง ในกรณีนี้ต้องการปิดคอมเพรสเซอร์ลำดับถัดไปเพิ่ม (ถ้าไม่ใช่ให้ไปข้อที่17) ทำซ้ำในหัวข้อที่ 12 หากค่าความเสี่ยงยังคงมีค่าน้อยกว่าค่าที่กำหนด และจำนวนคอมเพรสเซอร์ที่ปิดการทำงานยังคงน้อยกกว่าจำนวนคอมเพรสเซอร์ที่สามารถปิดได้ ให้พิจารณาปิดคอมเพรสเซอร์ลำดับถัดไปตามเงื่อนไขที่ว่า หากคอมเพรสเซอร์ลำดับก่อนหน้านี้มีการปิดการทำงานมาแล้วมากกว่าหรือเท่ากับ MOT ชั่วโมง และหากจะปิดคอมเพรสเซอร์ทุกตัวได้ อุณหภูมิบ่อต้องไม่ร้อนเกินค่าที่กำหนดคือ -5 ˚C และค่าความเสี่ยงมีค่าเท่ากับศูนย์ เพื่อให้มั่นใจว่าสามารถปิดคอมเพรสเซอร์ทุกตัวได้ในระยะเวลาที่เหมาะสมจริง ๆ
17. หากคอมเพรสเซอร์ในลำดับที่พิจารณา มีการปิดการทำงานมาแล้วไม่ถึง 4 ชั่วโมง ในกรณีนี้จะปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์เพิ่มขึ้นอีกทีละตัว ก็ต่อเมื่อคอมเพรสเซอร์

ลำดับถัดไปมีการปิดการทำงานมาแล้วมากกว่า MOT ชั่วโมง โดยในแต่ละรอบของการพิจารณาปิดคอมเพรสเซอร์เพิ่ม ให้ทำซ้ำข้อที่ 12

18. เมื่อผ่านการคำนวณข้างต้นทั้งหมดมาแล้ว นำเงื่อนไขจำนวนชั่วโมงต่ำสุดในการเปิดคอมเพรสเซอร์ต่อเนื่องมารวมพิจารณาด้วย กล่าวคือหากคอมเพรสเซอร์ตัวใดเปิดทำงานมาแล้วไม่ถึง MOT ชั่วโมงจะต้องเปิดการทำงานต่อไปก่อนจนกว่าจะครบ
19. จบขั้นตอนการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนในการคำนวณการควบคุมมอเตอร์คอมเพรสเซอร์
ตามช่วงเวลาของอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD

4.3.4 การควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์สำหรับโรงงานน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU

จากหลักการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ตามช่วงเวลาแบบ TOD ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น ได้พัฒนาต่อยอดมาเป็นขั้นตอนการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์สำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU ซึ่งมีความซับซ้อนมากขึ้น กล่าวคือขั้นตอนการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ตามช่วงเวลาแบบ TOD นั้นจะกำหนดให้ปิดคอมเพรสเซอร์ทุกตัวในช่วงเวลา On-Peak (18.00 – 22.00 น. ของทุกวัน) และจะคำนวณการสั่งเปิด-ปิดคอมเพรสเซอร์ในช่วงเวลาอื่น ๆ ว่าควรปิดการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์เป็นจำนวนกี่ตัว และเป็นระยะเวลานานเท่าใด โดยที่ยังมีน้ำแข็งพร้อมขายเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ทำให้น้ำหนักในการคำนวณการสั่งปิดคอมเพรสเซอร์ของระบบมีความสำคัญเท่ากันตลอดทุกวันของสัปดาห์

สำหรับขั้นตอนการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ตามช่วงเวลาแบบ TOU นั้นไม่สามารถกำหนดให้ปิดคอมเพรสเซอร์ทุกตัวในช่วงเวลา On Peak ได้เนื่องจากช่วงเวลา On Peak ของอัตราการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU มีช่วงเวลายาวนานถึง 13 ชั่วโมง คือ 9:00 น. – 22:00 น. ของวันจันทร์ถึงวันศุกร์ซึ่งเป็นช่วงเวลาการทำงานปกติ ทำให้คุณค่าหรือมูลค่าไม่เท่ากันตลอดทุกวัน หลักการที่นำมาประยุกต์ใช้กับขั้นตอนการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ตามช่วงเวลาแบบ TOU นั้น จะเน้นไปที่การถ่วงน้ำหนักให้มีการเปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในช่วงเวลา Off-Peak ให้มากขึ้น เพื่อลดการเปิดการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ในช่วงเวลา On-Peak ทำให้มีข้อกำหนดที่สำคัญเพิ่มขึ้นจากการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ตามช่วงเวลาแบบ TOD ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

สมการฟังก์ชันจุดประสงค์ในการคำนวณในแต่ละชั่วโมงมีดังนี้

$$\max \sum_{t=t_{now}}^{t_{now}+Tw} \sum_{i=1}^{nmc} M(i,t_op) \times Pavg \times EC_OP + \ldots$$

$$\min \sum_{t=t_{now}}^{t_{now}+Tw} \sum_{i=1}^{nmc} M(i,t_p) \times Pavg \times EC_P \qquad (4.3)$$

โดยมีเงื่อนไขจำกัดของสถานะบ่อที่เวลาปัจจุบัน $t = t_{now}$ ดังนี้

$$tb(t) \leq TbReg$$

$$DF(t) + \frac{pcres}{100} \times \sum_{t=t_{now}}^{t_{now}+24} DF(t) \leq IR2S(t) \leq DF(t) + \frac{pcresMax}{100} \times \sum_{t=t_{now}}^{t_{now}+24} DF(t)$$

$$cot(i,t) \geq MOT \quad , \quad i = 1,2,\ldots,nmc$$

$$cont(i,t) \geq MOT \quad , \quad i = 1,2,\ldots,nmc$$

นอกจากนี้ยังคำนึงถึงเงื่อนไขจำกัดของสถานะบ่อที่เวลาในอนาคตเท่ากับช่วงชีวิตของบ่อ $t_{now} \leq t \leq t_{now} + Tw$ เพื่อใช้ในการพิจารณาความเสี่ยง เพื่อประกอบการตัดสินใจปิดคอมเพรสเซอร์ ดังนี้

$$tbc(t) \geq Tbmax \quad , \quad t_{now} \leq t \leq t_{now} + Tw$$

$$IR2S(t) \geq \sum_{n=t}^{t+Tlead} DF(n)$$

4.3.5 ขั้นตอนการหาคำตอบคำสั่งควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์กรณีเสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU

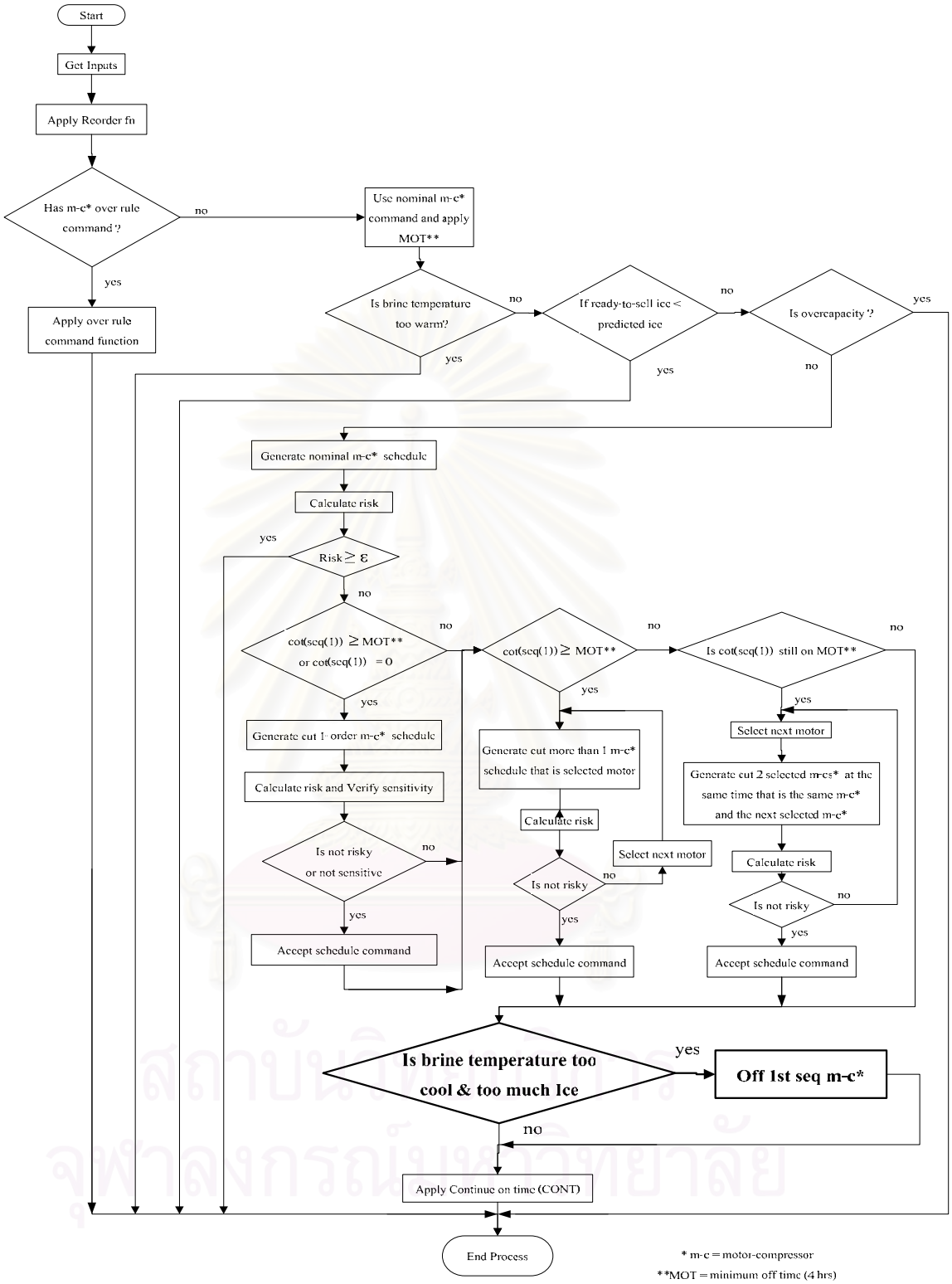
หลักการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์กรณีเสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU มีส่วนที่แตกต่างเพิ่มเติมจากขั้นตอนการควบคุมกรณีเสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD ดังต่อไปนี้

1. ส่วนที่ลดออกไปมี 2 ส่วนได้แก่
   - การตรวจสอบช่วงเวลา On-Peak กล่าวคือไม่มีการกำหนดคำสั่งให้ปิดคอมเพรสเซอร์ทุกตัว เมื่อเวลาปัจจุบันอยู่ในช่วงเวลา 18:00 – 22:00 น.
   - การตรวจสอบช่วงเวลา 15:00 – 18:00 น. นั่นคือ MOT-1 ชั่วโมง ก่อนเข้าสู่ช่วงเวลา On Peak ซึ่งเป็นการกำหนดคำสั่งให้สถานะของคอมเพรสเซอร์แต่ละตัวมีสถานะเดียวกับสถานะของชั่วโมงที่แล้ว
2. ส่วนที่เพิ่มเติมขึ้นมา คือการตรวจสอบค่าอุณหภูมิน้ำเกลือในบ่อและจำนวนน้ำแข็งพร้อมขาย ณ ปัจจุบัน กล่าวคือ หากค่าอุณหภูมิน้ำเกลือในบ่อต่ำเกินกว่าค่าอุณหภูมิต่ำสุดที่กำหนดไว้คือ Tbmin หรือจำนวนน้ำแข็งพร้อมขาย ณ ปัจจุบันมีมากกว่าผลรวมของความต้องการน้ำแข็งที่พยากรณ์ได้และน้ำแข็งสำรองที่มากที่สุดที่ต้องการ

จะสั่งให้ปิดการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ตัวที่อยู่ในลำดับการปิดที่ 1 ซึ่งการตรวจสอบดังกล่าวจะทำก่อนที่จะนำเงื่อนไขจำนวนชั่วโมงต่ำสุดในการเปิดคอมเพรสเซอร์ต่อเนื่องมาพิจารณา

โดยขั้นตอนการหาคำตอบคำสั่งควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์กรณีเสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 ขั้นตอนในการคำนวณการควบคุมมอเตอร์คอมเพรสเซอร์
ตามช่วงเวลาของอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU

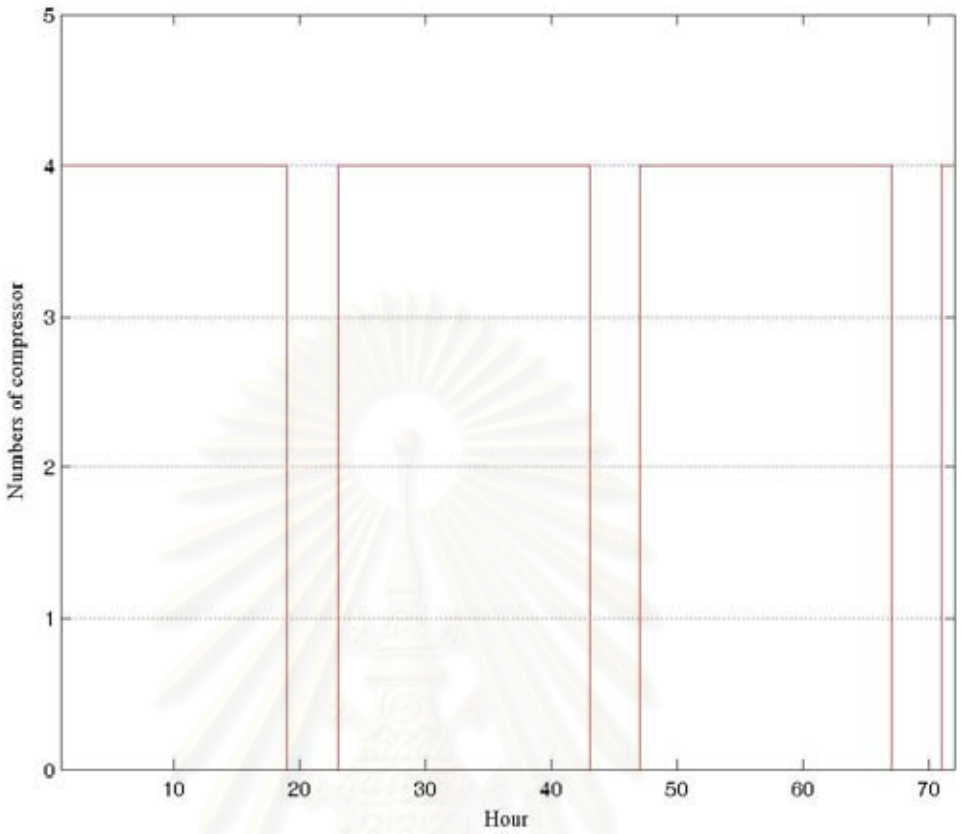
4.3.6 ฟังก์ชันสร้างตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์ล่วงหน้า 72 ชั่วโมง

เนื่องจากช่วงชีวิตของบ่อหรือระยะเวลาที่น้ำแข็ง 1 บ่อจะถูกนำออกขายจนหมดในแต่ละรอบ ใช้ระยะเวลาประมาณ 3 วันหรือ 72 ชั่วโมง ดังนั้นสถานะของคอมเพรสเซอร์ในชั่วโมงปัจจุบันจะมีผลต่ออุณหภูมิน้ำเกลือในบ่อและจำนวนน้ำแข็งพร้อมขายไปอีก 72 ชั่วโมงข้างหน้าโดยประมาณ ดังนั้นจึงได้สร้างฟังก์ชันที่มีหน้าที่ในการสร้างตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์ล่วงหน้า 72 ชั่วโมงเพื่อใช้ในการประมวลผลหาค่าความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นในอนาคตต่อความต้องการใน 72 ชั่วโมงข้างหน้า

แนวคิดในการสร้างฟังก์ชันสร้างตารางการทำงานเน้นการเพิ่มจำนวนชั่วโมงที่สามารถปิดคอมเพรสเซอร์บางตัวได้ มากกว่าการปิดคอมเพรสเซอร์หลายตัวในจำนวนชั่วโมงการปิดที่น้อยลงเพื่อ ให้อุณหภูมิในบ่อน้ำเกลือไม่แกว่งจนเกินไป ทั้งนี้จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขระยะเวลาที่น้อยที่สุดในการปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในแต่ละครั้งจะต้องไม่น้อยกว่า 4 ชั่วโมง

สำหรับขั้นตอนการควบคุมการทำงานการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ตามอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD จะเริ่มต้นการสร้างตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์ล่วงหน้า 72 ชั่วโมงด้วยการเปิดคอมเพรสเซอร์ทุกตัวยกเว้นเฉพาะชั่วโมง On-Peak (18.00 – 22.00 น.) ของแต่ละวัน จากนั้นจึงพิจารณาปิดคอมเพรสเซอร์ตามประเภทที่ของฟังก์ชันสร้างตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์ล่วงหน้าต่อไปดังแสดงในรูปที่ 4.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 ตารางการทำงานเริ่มต้นล่วงหน้า 72 ชั่วโมงสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD กรณีโรงงานมีคอมเพรสเซอร์ทั้งหมด 4 ตัวต่อบ่อผลิตน้ำแข็ง 1 บ่อ

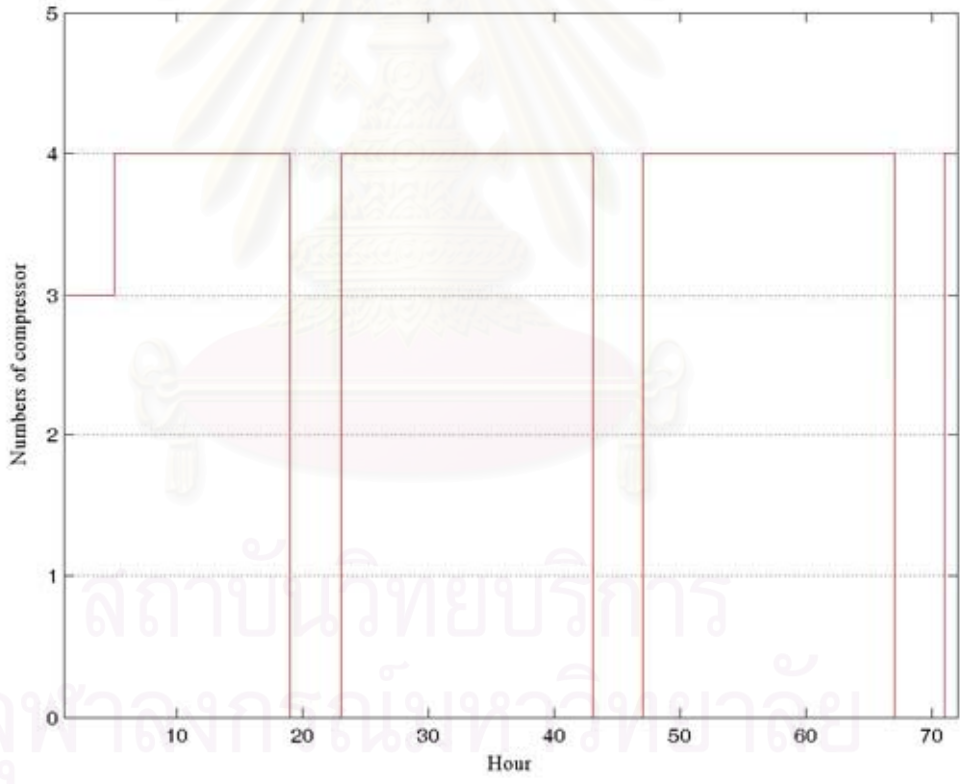
ประเภทของฟังก์ชันสร้างตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์ล่วงหน้า 72 ชั่วโมงมีรายละเอียดดังนี้

1. ประเภทศูนย์ (Nominal Schedule) หมายถึงตารางการทำงานเริ่มต้นของคอมเพรสเซอร์ดังอธิบายไว้แล้วข้างต้น และปิดเพิ่มเติมกรณีที่คอมเพรสเซอร์บางตัวยังปิดการทำงานมาไม่ครบ 4 ชั่วโมง หรือมีคำสั่งปิดคอมเพรสเซอร์เนื่องจากไฟฟ้าดับ หรือซ่อมบำรุงรายตัวภายในอีก 72 ชั่วโมงข้างหน้า
2. ประเภทหนึ่ง หมายถึงการสั่งปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์เป็นจำนวน 1 ตัว นอกเหนือจากประเภทศูนย์
3. ประเภทสอง หมายถึงการสั่งปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์เป็นจำนวน 2 ตัว
4. ประเภทสาม หมายถึงการสั่งปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์เป็นจำนวน 3 ตัว
5. ประเภทสี่ หมายถึงการสั่งปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์เป็นจำนวน 4 ตัว

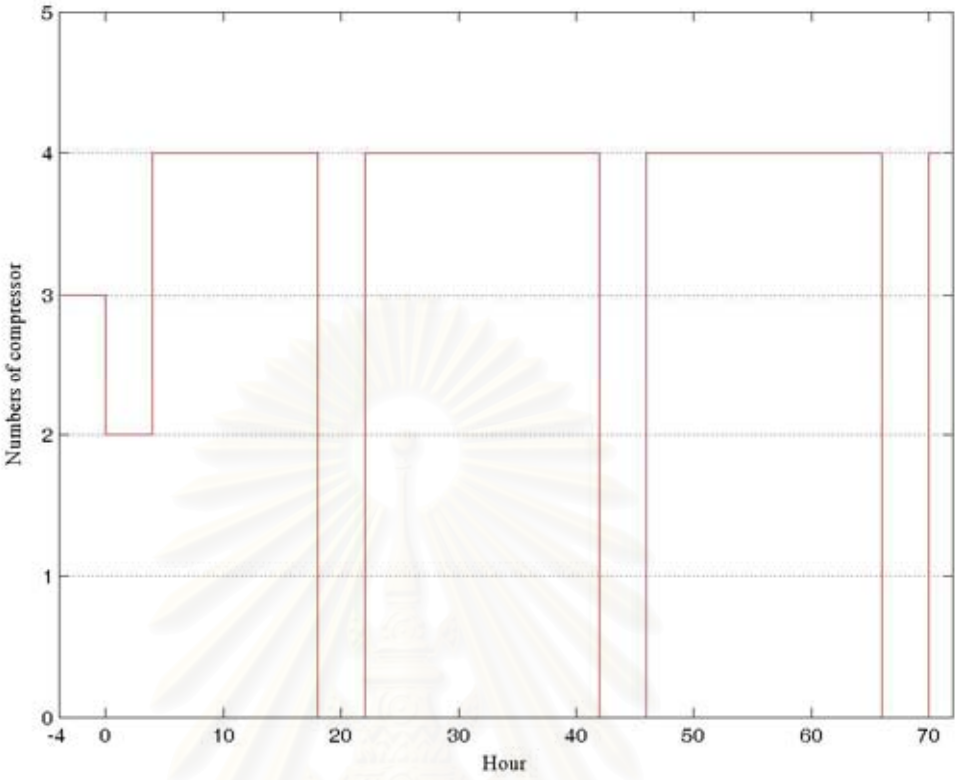
6. ประเภทห้า หมายถึงการสั่งปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์เป็นจำนวน 5 ตัว

ฟังก์ชันสร้างตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์สามารถสั่งการปิดคอมเพรสเซอร์ได้มากที่สุด 5 ตัว เนื่องจากการศึกษาพบว่าโรงงานผลิตน้ำแข็งส่วนใหญ่มีจำนวนคอมเพรสเซอร์สูงสุดที่สามารถสั่งการควบคุมได้ 5 ตัวในการทำความเย็นให้กับบ่อน้ำเกลือต่อบ่อ

เงื่อนไขสำคัญในการที่จะสามารถสั่งปิดคอมเพรสเซอร์ตัวต่อไปนั้น จะต้องมีการปิดคอมเพรสเซอร์ตัวก่อนหน้ามาแล้วมากกว่าหรือเท่ากับระยะเวลาที่น้อยที่สุดในการปิดคอมเพรสเซอร์นั่นคือ 4 ชั่วโมง และสามารถสั่งปิดคอมเพรสเซอร์ทั้งสองตัวพร้อมกันไปอีกตามเงื่อนไข Minimal down time ที่ยาวกว่าได้ รูปที่ 4.5 - 4.8 แสดงตัวอย่างตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์ล่วงหน้า 72 ชั่วโมงประเภทที่ 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ สำหรับโรงงานน้ำแข็งที่มีคอมเพรสเซอร์ทั้งหมด 4 ตัวต่อบ่อผลิตน้ำแข็ง 1 บ่อ

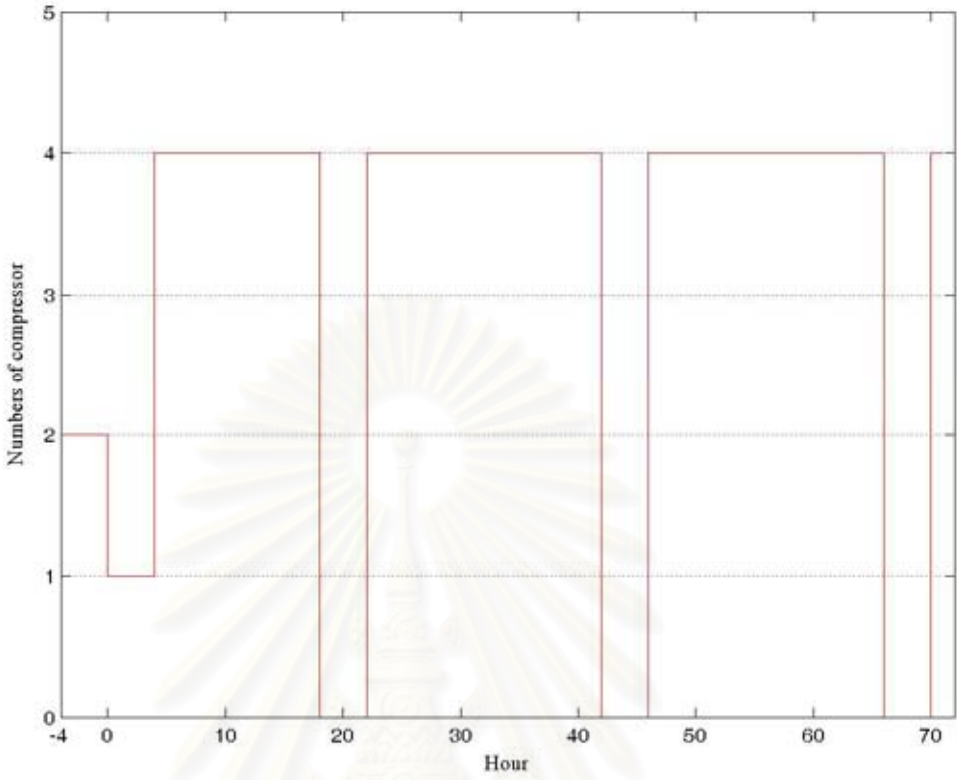


รูปที่ 4.5 ตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์ล่วงหน้า 72 ชั่วโมงประเภทที่ 1 สำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD



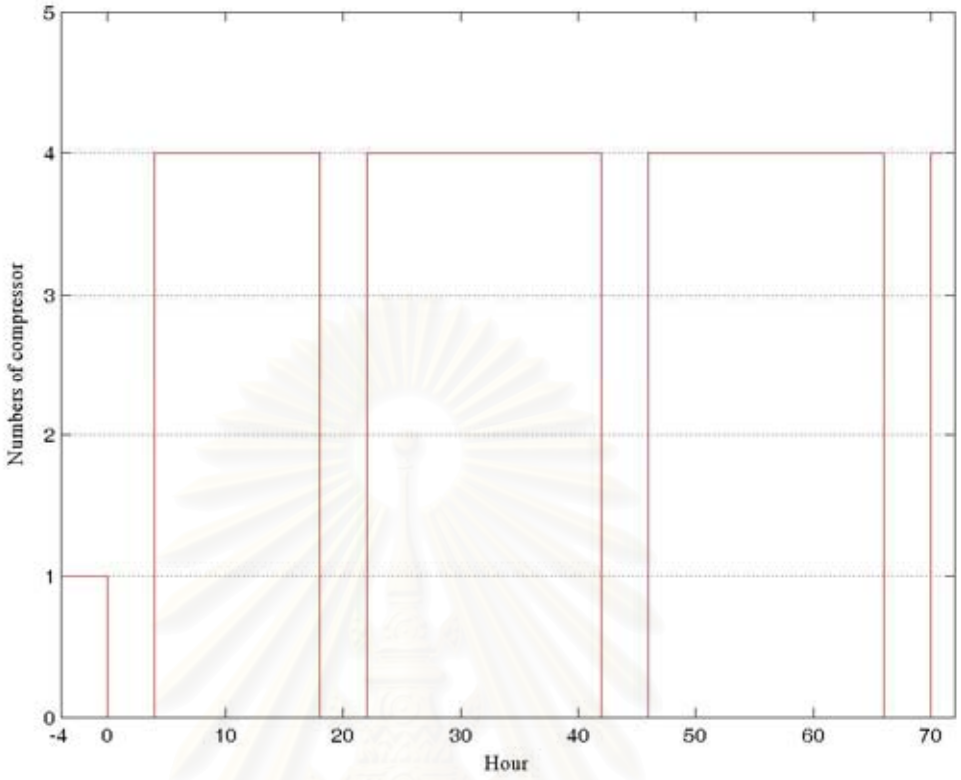
รูปที่ 4.6 ตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์ล่วงหน้า 72 ชั่วโมงประเภทที่ 2
สำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 ตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์ล่วงหน้า 72 ชั่วโมงประเภทที่ 3
สำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD

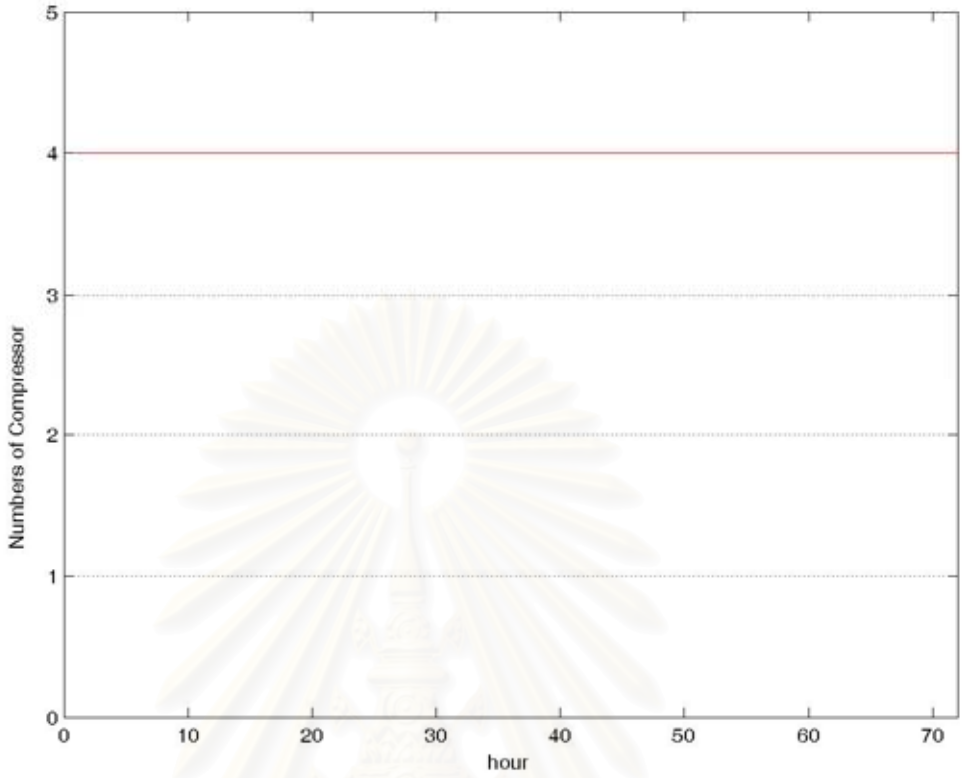
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8 ตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์ล่วงหน้า 72 ชั่วโมงประเภทที่ 4
สำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD

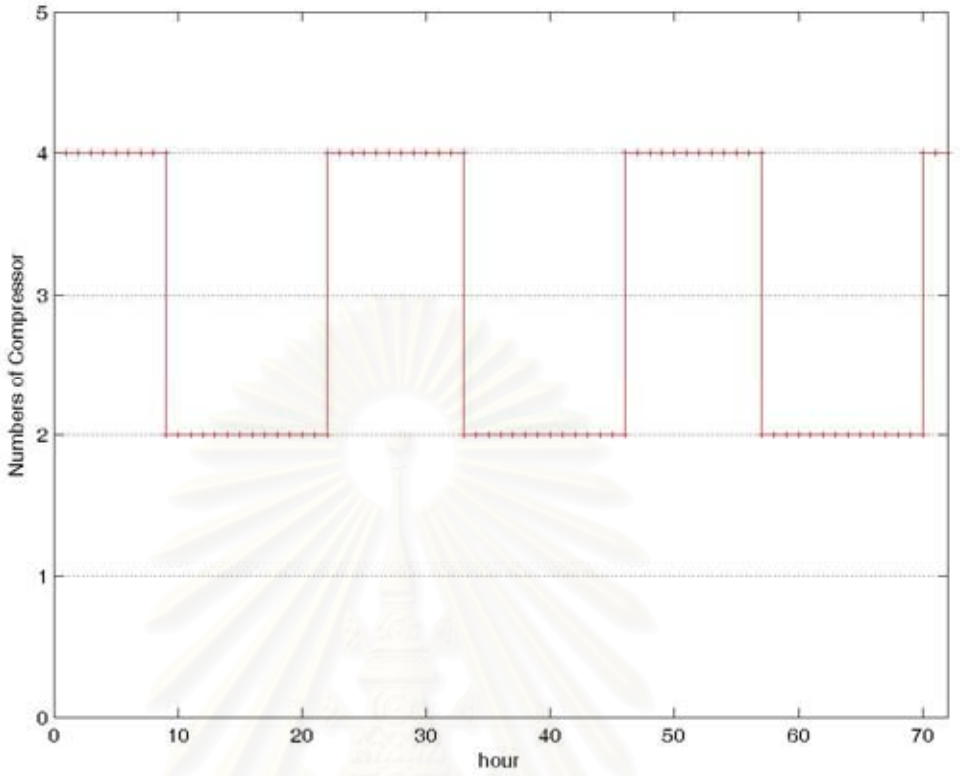
ในส่วนของขั้นตอนการควบคุมการทำงานการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ตามอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU จะเริ่มต้นด้วยการพิจารณาก่อนว่าชั่วโมงถัดไปเป็นช่วงเวลา On-Peak (9.00 – 22.00 น.) หรือช่วงเวลา Off-Peak (22.00-9.00 น.) เนื่องจากเราต้องการเปิดคอมเพรสเซอร์ให้มากขึ้นในช่วงเวลา Off-Peak เพื่อลดการเปิดคอมเพรสเซอร์ให้ได้มากที่สุดในช่วงเวลา On-Peak ดังนั้นการสร้างตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์ล่วงหน้า 72 ชั่วโมงเริ่มต้นมีลักษณะที่แตกต่างกัน กล่าวคือ

- หากชั่วโมงต่อไปอยู่ในช่วงเวลา On-Peak จะเริ่มต้นด้วยการสร้างตารางการทำงานของคอมเพรสเซอร์โดยเปิดคอมเพรสเซอร์ทุกตัวตลอด 72 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 4.9
- หากชั่วโมงต่อไปอยู่ในช่วงเวลา Off-Peak จะเริ่มต้นการสร้างตารางการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ โดยชั่วโมงที่อยู่ในช่วงเวลา Off-Peak จะเปิดคอมเพรสเซอร์หมดทุกตัว และชั่วโมงที่อยู่ในช่วงเวลา On-Peak จะเปิดคอมเพรสเซอร์เป็นจำนวนเท่ากับจำนวนคอมเพรสเซอร์น้อยที่สุดที่อนุญาตให้เปิดการทำงานได้เมื่อต้องมีการเปิดคอมเพรสเซอร์ ดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.9 ตารางการทำงานเริ่มต้นล่วงหน้า 72 ชั่วโมงสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU ในกรณีที่ชั่วโมงต่อไปอยู่ในช่วงเวลา On-Peak

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.10 ตารางการทำงานเริ่มต้นล่วงหน้า 72 ชั่วโมงสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU ในกรณีที่ชั่วโมงต่อไปอยู่ในช่วงเวลา Off-Peak

จากนั้นจึงนำตารางเริ่มต้นการทำงานของคอมเพรสเซอร์ล่วงหน้า 72 ชั่วโมงมาพิจารณาปิดคอมเพรสเซอร์เพิ่มเติมตามประเภทที่กล่าวถึงข้างต้นต่อไป

4.3.7 ฟังก์ชันเปลี่ยนลำดับคอมเพรสเซอร์

การควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในที่นี้ เพื่อให้คอมเพรสเซอร์ทุกตัวมีจำนวนชั่วโมงการทำงานประมาณเท่าเทียมกัน ดังนั้นฟังก์ชันเปลี่ยนลำดับคอมเพรสเซอร์ซึ่งมีหน้าที่ในการจัดเรียงลำดับการพิจารณาปิดคอมเพรสเซอร์แต่ละตัว มีขั้นตอนในการประมวลผลตามลำดับดังนี้

- ลำดับที่ 1 พิจารณาจากระยะเวลาที่คอมเพรสเซอร์เปิดการทำงานมาแล้วอย่างต่อเนื่อง โดยคอมเพรสเซอร์ตัวที่เปิดทำงานมาแล้วนานที่สุดจะอยู่ลำดับแรกที่จะถูกพิจารณาให้ปิดการทำงาน คอมเพรสเซอร์ตัวที่มีระยะเวลาในการเปิดทำงานน้อยที่สุดจะถูกจัดอยู่ในลำดับสุดท้ายที่จะถูกพิจารณาให้ปิดการทำงาน

- ลำดับที่ 2 หลังจากได้จัดเรียงคอมเพรสเซอร์ในลำดับที่ 1 แล้วจะพิจารณาระยะเวลาที่คอมเพรสเซอร์ปิดการทำงานอย่างต่อเนื่อง โดยเรียงคอมเพรสเซอร์ตามชั่วโมงที่ปิดการทำงานมาแล้วเป็นระยะเวลาที่น้อยที่สุด (ที่ไม่เท่ากับศูนย์) จัดอยู่ในลำดับแรกที่ส่วนคอมเพรสเซอร์ตัวที่ยังไม่มีการปิดทำงานจะถูกจัดอยู่ในลำดับสุดท้าย

4.3.8 ฟังก์ชันหาค่าความเสี่ยง

ฟังก์ชันนี้เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการคำนวณค่าความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นในอีก 72 ชั่วโมงข้างหน้า เมื่อมีการสั่งปิดคอมเพรสเซอร์ตามแต่ละประเภทของคำสั่งที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อก่อนหน้านี้

วิธีการประเมินความเสี่ยงจะทำโดยการจำลองพฤติกรรมเชิงพลวัตของกระบวนการผลิตและจำหน่ายน้ำแข็งไปข้างหน้าเท่ากับ 72 ชั่วโมงแล้วดูจำนวนชั่วโมงที่เกิดเหตุการณ์การขายน้ำแข็งไม่ทัน หรือมีน้ำแข็งไม่พอต่อความต้องการของลูกค้า และจำนวนชั่วโมงที่อุณหภูมิที่คำนวณได้มีค่ามากกว่า Tbmax นำผลที่ได้มาคำนวณค่าความเสี่ยงตามสมการที่ 4.5 ข้างล่างนี้

$$risk = 1.0 \times \left(\sum_{t=1}^{24} \widetilde{T}bErr(t) + \sum_{t=1}^{24} \widetilde{I}nvErr(t) \right) + 0.2 \times \left(\sum_{t=25}^{48} \widetilde{T}bErr(t) + \sum_{t=25}^{48} \widetilde{I}nvErr(t) \right) + 0.1 \times \left(\sum_{t=49}^{72} \widetilde{T}bErr(t) + \sum_{t=49}^{72} \widetilde{I}nvErr(t) \right) \quad (4.4)$$

โดยที่

$TbErr(t)$ = 1 เมื่อ $tbc(t) \geq Tb\max$

= 0 เมื่อเกิดกรณีอื่น ๆ

$InvErr(t)$ = 1 เมื่อ $IR2S(t) < \sum_{t=t_{now}}^{t_{now}+Tlead} DF(t)$

= 0 เมื่อเกิดกรณีอื่น ๆ

$\widetilde{T}bErr(t)$ คือจำนวนครั้งที่เกิด TbErr(t) ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา mcerr ชั่วโมงติดกันตั้งแต่ชั่วโมงที่ t

$\widetilde{I}nvErr(t)$ คือจำนวนครั้งที่เกิด TbErr(t) ต่อเนื่องเป็นระยะเวลา mcerr ชั่วโมงติดกันตั้งแต่ชั่วโมงที่ t

จากสมการที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นจะถูกถ่วงน้ำหนักให้มีความสำคัญต่างกัน กล่าวคือผลกระทบที่เกิดขึ้นในอีก 1 วันข้างหน้า จะถือว่ามีความสำคัญมากที่สุดดังนั้นตัวถ่วงน้ำหนังจึงมีค่ามากที่สุด และผลกระทบที่เกิดขึ้นในวันที่ 2 และ 3 ในอนาคตข้างหน้า จะให้มีความสำคัญรองลงมาจึงถ่วงน้ำหนักด้วยค่าที่น้อยลง ($W_1 = 1$, $W_2 = 0.2$ และ $W_3 = 0.1$) ตามลำดับ

ทั้งหมดที่กล่าวมานี้ คือ องค์ประกอบและการคำนวณหลักสำหรับระบบบริหารจัดการพลังงานสำหรับโรงงานน้ำแข็งซอง ในบทที่ 5 จะได้กล่าวถึงการทดสอบสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD เป็นลำดับถัดไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การทดสอบสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า สำหรับโรงงานน้ำแข็งซองที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD

ในบทที่ 5 นี้จะได้ทำการทดสอบสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานที่ได้นำเสนอไว้ในบทที่ 4 เพื่อวิเคราะห์ความสำคัญของแต่ละส่วนประกอบในระบบ ดัชนีที่ใช้ในการชี้วัดสมรรถนะของระบบมี 3 ประเภทคือ ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ต่อการจำหน่ายน้ำแข็ง 1 ซอง ปริมาณพลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ต่อการจำหน่ายน้ำแข็ง 1 ซอง และจำนวนน้ำแข็งที่ขายไม่ทันในช่วงเวลาที่ทดสอบ

ปริมาณพลังงานไฟฟ้า และต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าคำนวณจากค่าพลังงานที่ป้อนให้กับคอมเพรสเซอร์เท่านั้น ไม่รวมถึงอุปกรณ์อื่น ๆ ในระบบทำความเย็นและละเลยการคิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด เนื่องจากในช่วงเวลา On Peak ได้กำหนดให้ปิดการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ทุกตัวอยู่ก่อนแล้ว ส่วนช่วงเวลานอกเหนือจากนั้นมีความเป็นไปได้น้อยมากในการลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดให้ต่ำลงได้

5.1 นิยามพารามิเตอร์ในระบบควบคุม

ก่อนที่จะกล่าวถึงการทดสอบสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD จะได้กำหนดนิยามของพารามิเตอร์การควบคุมที่นำมาใช้ในการทดสอบดังนี้

TbReg : ค่าของอุณหภูมิน้ำเกลือสูงสุดที่ต้องการควบคุม เพื่อมิให้อุณหภูมิในบ่อร้อนเกินไป

Tlead : จำนวนชั่วโมงที่น้ำแข็งพร้อมขายแล้วจะต้องยังคงอยู่ในบ่อ ก่อนที่จะถูกนำออกจากบ่อเพื่อจำหน่าย เพื่อรองรับการสำรองน้ำแข็งให้เพียงพอต่อความผิดพลาดในการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็ง และช่วยรักษาอุณหภูมิเพื่อคงคุณภาพของน้ำแข็ง

epsilon : ค่าเกณฑ์ความเสี่ยงของผลกระทบในอีก 72 ชั่วโมงข้างหน้าเมื่อมีการสั่งปิดคอมเพรสเซอร์ในกรณีต่าง ๆ ที่สามารถยอมรับความเสี่ยงนั้นได้

pcres : เปอร์เซ็นต์ของจำนวนน้ำแข็งพร้อมขายสำรองต่ำสุด ที่ต้องการให้มีไว้ให้เพียงพอต่อความต้องการที่พยากรณ์ใน 24 ชั่วโมงข้างหน้า

5.2 การศึกษาผลของพารามิเตอร์ควบคุมในระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า

ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ ซึ่งในระบบควบคุมนี้มีพารามิเตอร์ที่มีผลสำคัญต่อระบบแตกต่างกัน การศึกษาผลของค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เหล่านี้จะทำโดยการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และทำให้ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตัวอย่างการทดสอบ

การศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าจะทำโดยนำชุดข้อมูลทดสอบที่แตกต่างกัน 2 ชุดคือ ข้อมูลการขายน้ำแข็งจริงเป็นระยะเวลา 15 วันจากบ่อน้ำแข็ง 1 บ่อ ของวันที่ 11 – 25 ธันวาคม พ.ศ. 2548 ซึ่งยอดขายน้ำแข็งซองรวมรายเดือนเท่ากับ 51,320 ซอง และวันที่ 11 – 25 มกราคม พ.ศ. 2549 ซึ่งยอดขายน้ำแข็งซองรวมรายเดือนเท่ากับ54,720 ซอง มาทดสอบโดยการปรับค่าพารามิเตอร์ที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 5.1 ครั้งละตัว แล้วกำหนดให้พารามิเตอร์ตัวอื่นมีค่าคงที่ตามค่าที่ปรับตั้งไว้สำหรับระบบจัดการพลังงานตามช่วงเวลาแบบ TOD ดังนี้

TbReg : -4 ˚C

Tlead : 10 ชั่วโมง

epsilon : 0.9

pcres : 30

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

การพิจารณาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะพิจารณาจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าและต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าเทียบกับค่าที่ปรับตั้งไว้ โดยยอมให้มีเหตุการณ์จำนวนน้ำแข็งพร้อมขายไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าไม่เกิน 100 ซอง

ตารางที่ 5.1 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ของระบบตามค่าที่ปรับตั้งไว้

December 2005			January 2006		
Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)	Energy (kWh /block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)
9.49	23.36	0	10.08	24.82	60

ตารางที่ 5.2 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD เมื่อ Tlead มีค่าต่าง ๆ

Tlead (hour)	December 2005			January 2006		
	Energy (kWh /block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)	Energy (kWh /block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)
0	9.40	23.13	0	9.71	23.90	2270
3	9.45	23.25	0	9.95	24.49	1270
5	9.48	23.33	0	9.99	24.58	530
7	9.51	23.40	0	10.04	24.73	120
9	9.50	23.38	0	10.08	24.82	100
11	9.50	23.38	0	10.11	24.89	0
13	9.50	23.38	0	10.15	24.98	40
15	9.53	23.46	0	10.15	24.98	0
17	9.47	23.30	0	10.21	25.13	0

พารามิเตอร์ตัวแรกที่ได้ทำการศึกษาคือค่า Tlead จากตารางที่ 5.2 ทำการปรับค่า Tlead ค่าต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสม จะเห็นว่าเมื่อค่า Tlead เพิ่มขึ้น ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ต่อการจำหน่ายน้ำแข็ง 1 ซอง และปริมาณพลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ต่อการจำหน่ายน้ำแข็ง 1 ซองจะมีค่าเพิ่มขึ้นตาม แต่จะทำให้จำนวนขายน้ำแข็งไม่ทันมีค่าลดลง จากข้อมูลของเดือนธันวาคมพบว่าที่ค่า Tlead เท่ากับ 0 – 13 ชั่วโมง ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในการผลิตน้ำแข็งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ปรับตั้งไว้ในตารางที่ 5.1 คือมีค่าประมาณ 9.40 – 9.50 kWh ต่อซอง และต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าประมาณ 23.13 – 23.38 บาทต่อซอง โดยไม่มีเหตุการณ์การขายน้ำแข็งไม่ทันเลย และจากข้อมูลเดือนมกราคมพบว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในการผลิตน้ำแข็งที่มีค่า

ใกล้เคียงกับค่าปรับตั้งไว้ในตารางที่ 5.1 โดยที่มีจำนวนน้ำแข็งพร้อมขายไม่พอเพียงต่อความต้องการของลูกค้าไม่เกิน 100 ซองมีค่า Tlead เท่ากับ 9 – 11 ชั่วโมงคือ 10.08 - 10.11 kWh ต่อซอง และต้นทุนค่าไฟฟ้าประมาณ 23.82 - 24.89 บาท

เมื่อนำผลที่ได้จากชุดข้อมูลทั้ง 2 ชุดมาวิเคราะห์ร่วมกันพบว่าค่า Tlead ที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นค่ากลางสำหรับระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD เพื่อให้ระบบสามารถนำไปใช้ได้กับทุกสภาวะโหลดมีค่าเท่ากับ 10 ชั่วโมง

ตารางที่ 5.3 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD เมื่อ epsilon มีค่าต่าง ๆ

epsilon	December 2005			January 2006		
	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)
0.0	9.73	23.96	0	10.16	25.00	40
0.4	9.61	23.66	0	10.10	24.86	0
0.8	9.48	23.33	0	10.08	24.82	60
1.2	9.50	23.38	0	10.05	24.75	0
1.6	9.44	23.23	0	10.04	24.73	20
2.0	9.52	23.43	0	10.07	24.79	430

พารามิเตอร์ตัวถัดมาที่ได้ทำการศึกษาคือค่า epsilon โดยทำการปรับค่า epsilon ค่าต่าง ๆ ดังตารางที่ 5.3 เพื่อวิเคราะห์หาค่า epsilon ที่เหมาะสม พบว่าเมื่อค่า epsilon มีค่าเพิ่มขึ้น การใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้ำแข็งลดลงเนื่องจากระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD จะทำการสั่งปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์มากขึ้น จากข้อมูลของเดือนธันวาคมที่ค่า epsilon เท่ากับ 0.8 – 1.6 จะได้ว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในการผลิตน้ำแข็งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากค่าปรับตั้งไว้ในตารางที่ 5.1 คือมีค่าประมาณ 9.44 – 9.50 kWh ต่อซอง และต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าประมาณ 23.33 – 23.38 บาทต่อซอง และไม่มีเหตุการณ์การขายน้ำแข็งไม่ทันเลย และจากข้อมูลเดือนมกราคมพบว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในการผลิตน้ำแข็งที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากค่าที่ปรับตั้งไว้ในตารางที่ 5.1 โดยที่มีจำนวนน้ำแข็งพร้อมขายไม่พอเพียงต่อความต้องการของลูกค้าไม่เกิน 100 ซอง คือ 10.04 - 10.05 kWh ต่อซอง และต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าประมาณ 24.73- 24.75 บาท จะมีค่า epsilon เท่ากับ 1.2 – 1.6

ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้านี้จะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุดคือใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้ำแข็ง และต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดเมื่อกำหนดให้ค่า epsilon มีค่าเท่ากับ 1.2 - 1.6 เมื่อนำผลที่ได้จากชุดข้อมูลทั้ง 2 ชุดมาวิเคราะห์ร่วมกัน ดังนั้นจึงนำค่า epsilon ที่ปรับได้นี้มาเฉลี่ยจะได้ค่า epsilon เท่ากับ 1.5 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นค่ากลางสำหรับระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD เพื่อให้ระบบสามารถนำไปใช้ได้กับทุกสภาวะโหลดให้ได้มากที่สุด

ตารางที่ 5.4 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD เมื่อ pcres มีค่าต่าง ๆ

pcres	December 2005			January 2006		
	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)
0	9.49	23.36	0	10.08	24.82	60
10	9.49	23.36	0	10.08	24.82	60
20	9.49	23.36	0	10.08	24.82	60
30	9.49	23.36	0	10.08	24.82	60
40	9.49	23.36	0	10.08	24.82	60
50	9.49	23.36	0	10.08	24.82	60
60	9.48	23.33	0	10.09	24.84	20
70	9.49	23.36	0	10.09	24.84	0

ตารางที่ 5.4 แสดงค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD เมื่อทำการปรับค่า pcres ค่าต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์หาค่า pcres ที่เหมาะสม จากข้อมูลของเดือนธันวาคมและเดือนมกราคมพบว่า ไม่ว่าจะทำการปรับค่า pcres ให้มีค่าเท่าใดก็ตาม ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในการผลิตน้ำแข็งและต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากค่าที่ปรับตั้งไว้ในตารางที่ 5.1 ทั้ง 2 ชุดข้อมูล ดังนั้นจะได้ว่าค่าพารามิเตอร์ pcres ไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อระบบเมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ตัวอื่น ๆ ไว้ตามปรับตั้งไว้

การที่ค่า pcres ไม่มีผลกระทบใด ๆ ต่อสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าอาจเกิดจากการกำหนดให้ค่า Tlead มีค่ามาก ซึ่งเป็นการสำรองน้ำแข็งไว้เพียงพอต่อความต้องการน้ำแข็ง

อยู่แล้ว ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบโดยกำหนดให้ Tlead มีค่าเท่ากับ 0 ชั่วโมง และกำหนดให้พารามิเตอร์ตัวอื่นมีค่าตามที่ปรับตั้งไว้คือ epsilon มีค่าเท่ากับ 0.9 และ TbReg มีค่าเท่ากับ -4 ˚C แล้วทำการปรับค่า pcres เพื่อวิเคราะห์ผลของ pcres ที่มีต่อระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD พบว่าสมรรถนะการทำงานของระบบไม่มีประสิทธิภาพ กล่าวคือมีจำนวนน้ำแข็งขายไม่ทันเป็นจำนวนมากดังแสดงในตารางที่ 5.5 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า pcres ไม่สามารถทำให้ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำรองน้ำแข็งพร้อมขายได้พอเพียงต่อความต้องการ

ตารางที่ 5.5 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD ของเดือนมกราคม พ.ศ. 2548 เมื่อกำหนดให้ Tlead มีค่าเท่ากับ 0 ชั่วโมง epsilon มีค่าเท่ากับ 0.9 TbReg มีค่าเท่ากับ -4 ˚C และ pcres มีค่าต่าง ๆ

pcres	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block/month)
0	9.7	23.87	2390
10	9.75	23.99	2390
20	9.69	23.85	2390
30	9.71	23.90	2270
40	9.78	24.09	1870
50	9.84	24.23	1450
60	9.9	24.37	1340
70	9.93	24.44	1310

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.6 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD เมื่อ TbReg มีค่าต่าง ๆ

TbReg (˚C)	December 2005			January 2006		
	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)
-7	9.67	23.81	0	10.1	24.86	0
-6	9.63	23.70	0	10.11	24.88	0
-5	9.57	23.55	0	10.07	24.79	0
-4	9.49	23.36	0	10.03	24.70	0
-3	9.44	23.23	0	10.01	24.65	220
-2	9.36	23.06	0	10	24.63	80

พารามิเตอร์ตัวสุดท้ายที่ได้ทำการศึกษาผลที่มีต่อสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าคือค่า TbReg จากตารางที่ 5.6 ได้ทำการปรับค่า TbReg ค่าต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์หาค่า TbReg ที่เหมาะสม พบว่าเมื่อค่า TbReg มีค่าเพิ่มขึ้น แนวโน้มการใช้พลังงานในการผลิตน้ำแข็งมีปริมาณลดลงเนื่องระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD ยอมให้บ่อน้ำเกลือมีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้มีการสั่งปิดคอมเพรสเซอร์มากขึ้น จากข้อมูลของเดือนธันวาคมที่ค่า TbReg เท่ากับ -4˚C ถึง -2˚C จะได้ว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในการผลิตน้ำแข็งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากค่าที่ปรับตั้งไว้ในตารางที่ 5.1 คือมีค่าประมาณ 9.36 – 9.49 kWh ต่อซอง ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าประมาณ 23.06 – 23.36 บาทต่อซองโดยที่ไม่มีเหตุการณ์การขายน้ำแข็งไม่ทันเลย และค่า TbReg ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับข้อมูลการขายน้ำแข็งของเดือนธันวาคมมีค่าเท่ากับ -4˚C และจากข้อมูลเดือนมกราคมพบว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในการผลิตน้ำแข็งที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากค่าที่ปรับตั้งไว้ในตารางที่ 5.1 โดยที่มีจำนวนน้ำแข็งพร้อมขายไม่พอเพียงต่อความต้องการของลูกค้าไม่เกิน 100 ซองมีค่า TbReg เท่ากับ-5 ˚C ถึง -4 ˚C ซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 10.03 - 10.11 kWh ต่อซอง ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าประมาณ 24.70- 24.79 บาทต่อซอง ดังนั้นค่า TbReg ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับข้อมูลการขายของเดือนมกราคมมีค่าเท่ากับ -4˚C

ระบบจัดการพลังงานจะสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด กล่าวคือใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้ำแข็ง และต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดเมื่อกำหนดให้ค่า TbReg มีค่าเท่ากับ -4 ˚C ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นค่ากลางสำหรับระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับ

โรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD เพื่อให้ระบบสามารถนำไปใช้ได้กับทุกสภาวะการผลิตและการจำหน่ายน้ำแข็งซอง

สรุปผลการวิเคราะห์

พารามิเตอร์ที่นำมาศึกษาแต่ละตัวมีผลต่อสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD ดังนี้คือเมื่อค่า Tlead เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ค่า epsilon และ TbReg เพิ่มขึ้น ทำให้ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง ส่วน pcres ไม่มีผลใด ๆ ต่อระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า

ส่วนค่ากลางที่เหมาะสมของพารามิเตอร์แต่ละตัวซึ่งสามารถนำไปใช้ได้กับทุกสภาวะโหลดของโรงงานน้ำแข็งซองคือ Tlead มีค่าเท่ากับ 10 ชั่วโมง epsilon มีค่าเท่ากับ 1.5 ค่า TbReg มีค่าเท่ากับ -4 ˚C และกำหนดให้ pcres มีค่าเท่ากับ 30

5.3 การทดสอบสมรรถนะของระบบควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์

การทดสอบนี้แบ่งเป็น 2 การทดสอบคือ 1 การทดสอบการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์จากการควบคุมของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD เพื่อตรวจสอบลักษณะการสั่งการเปิด-ปิดการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ว่าเป็นไปตามหลักการที่กำหนดไว้หรือไม่ และ2 การทดสอบสมรรถนะของระบบควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์โดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้ากับผลที่ได้จากการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์จริงโดยผู้ควบคุมการเดินเครื่องของทางโรงงาน เพื่อนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD ในการลดปริมาณพลังงานสูญเสียและพลังงานส่วนเกิน และความสามารถในการสำรองน้ำแข็งพร้อมขายได้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า

ตัวอย่างการทดสอบที่ 1 การทดสอบการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์จากการควบคุมของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า

ข้อมูลที่นำมาทดสอบคือข้อมูลการขายน้ำแข็งซองจริงของช่วงวันที่ 11 – 25 ธันวาคม พ.ศ. 2548 โดยจะนำข้อมูลการขายน้ำแข็งซองนี้มาป้อนให้กับระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าเพื่อคำนวณการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์

โดยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญไว้ตามที่ได้จากการศึกษาผลของพารามิเตอร์ในหัวข้อที่ 5.2 ดังนี้

TbReg : -4 ˚C

Tlead : 10 ชั่วโมง

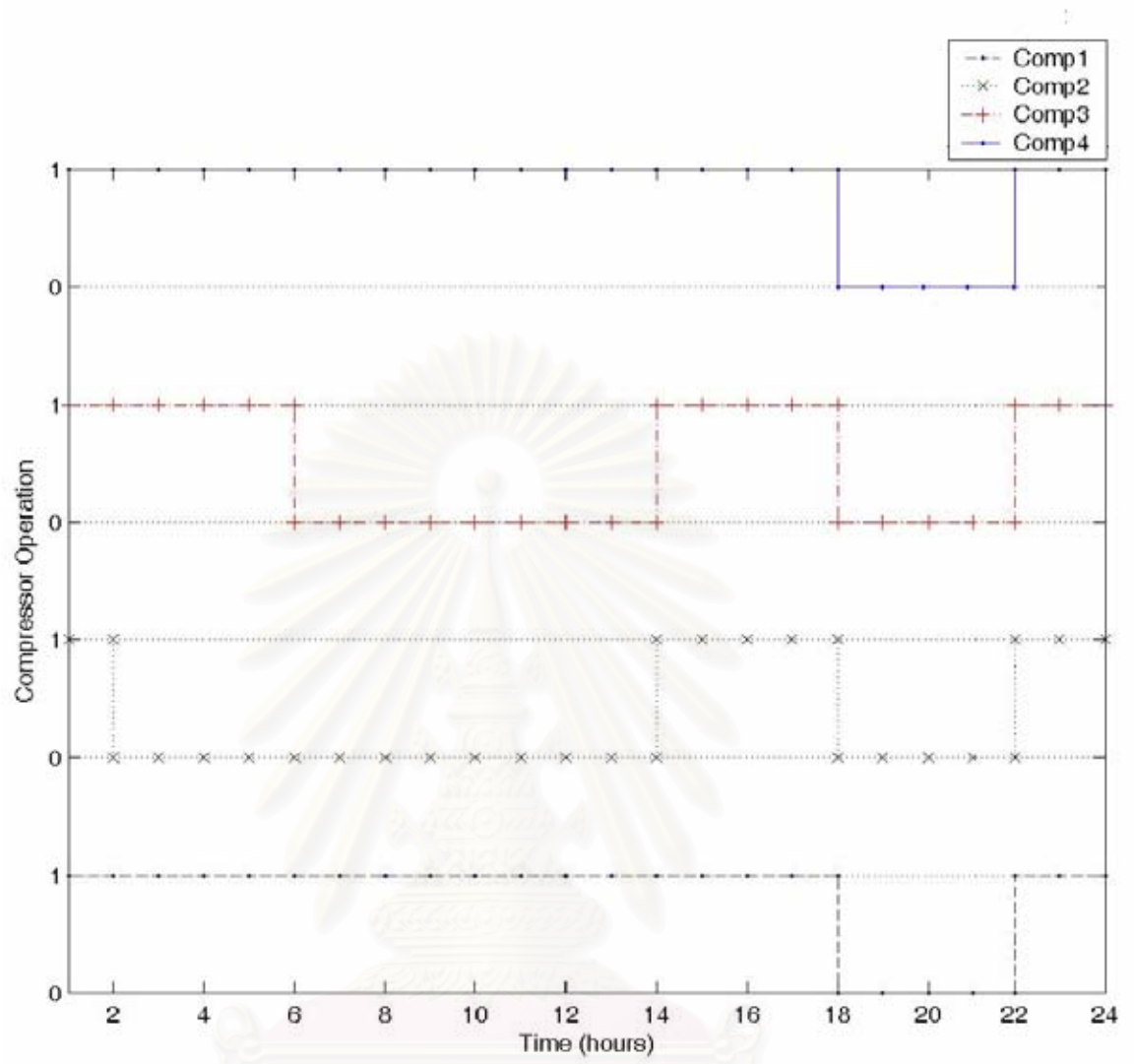
epsilon : 1.5

pcres : 30

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ 1

รูปที่ 5.1 เป็นผลการทดสอบการควบคุมการทำงานของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์สำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD วันที่ 12 ธันวาคม พ.ศ. 2548 โดย Comp1 – Comp4 คือ คอมเพรสเซอร์ตัวที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ ในส่วนของ Compressor Operation ค่า 1 และ 0 หมายถึง คอมเพรสเซอร์เปิดการทำงาน และ ปิดการทำงานตามลำดับ โดยจะเห็นว่าระยะเวลาที่น้อยที่สุดในการเปิดและปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์แต่ละตัวคือ 4 ชั่วโมงเพื่อป้องกันการเปิดและปิดคอมเพรสเซอร์บ่อยครั้งเกินไป และเพื่อรักษาอุณหภูมิน้ำเกลือในบ่อไม่ให้มีการแกว่งมากจนเกินไป และมีการสั่งปิดการทำงานในช่วงเวลา On-Peak คือ 18:00 – 22:00 น. เพื่อลดค่าพลังไฟฟ้าสูงสุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.1 ผลการทดสอบการควบคุมการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ตามช่วงเวลาแบบ TOD ในช่วงวันที่ 12 ธันวาคม พ.ศ. 2548

สรุปผลการวิเคราะห์การทดสอบที่ 1

ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานน้ำแข็งที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ได้เป็นไปตามหลักการที่กำหนดไว้ได้อย่างเหมาะสม

ตัวอย่างการทดสอบที่ 2 การทดสอบสมรรถนะของระบบควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์

ข้อมูลที่นำมาทดสอบคือข้อมูลการขายน้ำแข็งซอง และปริมาณพลังงานที่ได้จากการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์จริงของช่วงวันที่ 11 – 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549 โดยจะนำข้อมูลการขายน้ำแข็งซองนี้มาป้อนให้กับระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าเพื่อคำนวณการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์

เปรียบเทียบกับพลังงานที่ได้จากการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์จริงโดยผู้ควบคุมการเดินเครื่องของทางโรงงาน

โดยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญไว้ตามที่ได้จากการศึกษาผลของพารามิเตอร์ในหัวข้อที่ 5.2 ดังนี้

TbReg : -4 °C

Tlead : 10 ชั่วโมง

epsilon : 1.5

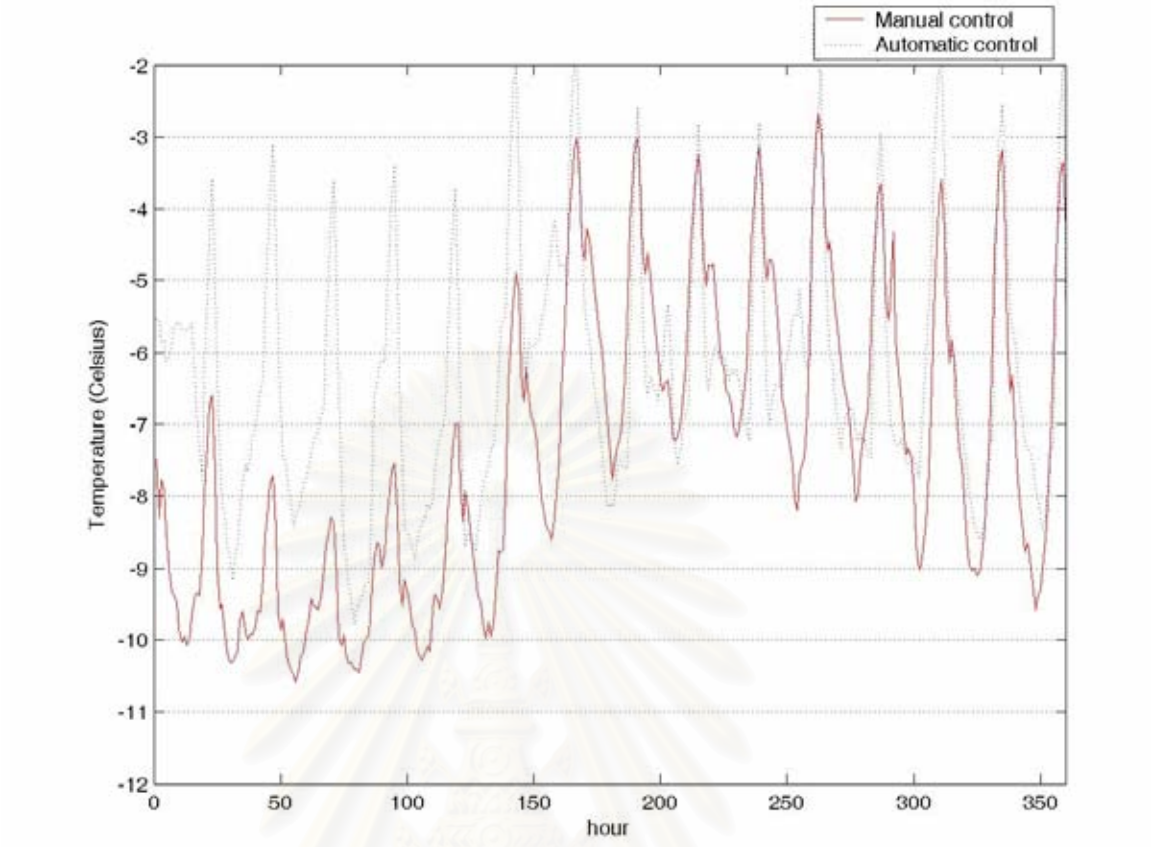
pcres : 30

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ 2

ตารางที่ 5.7 ผลการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ด้วยระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD เปรียบเทียบกับผลการควบคุมโดยผู้ควบคุมของโรงงาน

Data	Total Demand (block/month)	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)
Automatic Command	49,400	9.84	24.21	0
Manual Command	49,400	10.35	25.49	0

ตารางที่ 5.7 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานโดยการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ด้วยระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD เปรียบเทียบกับการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์โดยผู้ควบคุมการเดินเครื่องของทางโรงงาน จะเห็นได้ว่าระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD สามารถควบคุมการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า คือลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลงจากกรณีที่ควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ด้วยคน เป็นจำนวน 0.51 kWh ต่อซอง คิดเป็นต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 1.28 บาทต่อซอง และยังมีน้ำแข็งพร้อมขายเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าด้วย



รูปที่ 5.2 การเปรียบเทียบอุณหภูมิน้ำเกลือในกรณีที่ใช้ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามแบบ TOD กับกรณีที่ใช้คนในการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์

รูปที่ 5.1 จะให้เห็นว่ากรณีที่ใช้ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามแบบ TOD ค่าอุณหภูมิน้ำเกลือมีความสม่ำเสมอมากกว่าการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ด้วยผู้ควบคุม โดยอุณหภูมิน้ำเกลือจะมีค่าอยู่ระหว่าง -10 ˚C ถึง -2 ˚C ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ไม่ทำให้บ่อร้อนเกินไปจนทำให้มีน้ำแข็งไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าหรือบ่อเย็นเกินไปซึ่งเป็นพลังงานส่วนเกินสำหรับการผลิตน้ำแข็ง

สรุปผลการวิเคราะห์การทดสอบที่ 2

ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD สามารถควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในการผลิตน้ำแข็งซองได้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ลดปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนเกินลงจากการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ด้วยคน คิดเป็นต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงประมาณ 4.17% ของต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้ารวมรายเดือนในกรณีที่ค่าไฟฟ้าของโรงงานมีค่าประมาณ 1.5 ล้านบาท (ค่าไฟฟ้านี้ได้จากการนำข้อมูลของโรงงานมาทำการศึกษา)

และที่สำคัญยังเป็นการลดความไม่แน่นอนที่เกิดจากการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์โดยผู้ควบคุมอีกด้วย

5.4 การทดสอบสมรรถนะของการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็ง

การทดสอบสมรรถนะของการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งในระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD เพื่อวิเคราะห์หาผลของการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งว่ามีส่วนช่วยในการลดต้นทุนการผลิตของโรงงานหรือไม่ โดยทดสอบกรณีที่ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าใช้หลักการพยากรณ์ความต้องการแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่เปรียบเทียบกับกรณีที่ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าทราบความต้องการน้ำแข็งที่แน่นอนทุกชั่วโมง

ตัวอย่างการทดสอบ

ในการทดสอบได้นำข้อมูลยอดขายจริงมาเป็นข้อมูลขาเข้าสำหรับการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็ง โดยมีชุดข้อมูลทดสอบ 2 ชุด คือ ข้อมูลยอดขายรายชั่วโมงจริงเป็นระยะเวลา 15 วัน จากบ่อน้ำแข็ง 1 บ่อของวันที่ 11 – 25 ธันวาคม พ.ศ. 2548 และวันที่ 11 – 25 มกราคม พ.ศ. 2549 ส่วนการวิเคราะห์ผลการทดสอบจะพิจารณาเป็นข้อมูลรวมรายเดือนของโรงงาน

โดยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญไว้ตามที่ได้จากการศึกษาผลของพารามิเตอร์ในหัวข้อที่ 5.2 ดังนี้

TbReg	: -4 ˚C
Tlead	: 10 ชั่วโมง
epsilon	: 1.5
pcres	: 30

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ตารางที่ 5.8 ผลการทดสอบสมรรถนะของการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซอง
กรณีที่ใช้ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD

Load Pattern	Total Demand (block/month)	Prediction Accuracy	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block/month)
December 2005	51,320	100%	9.38	23.08	0
		Moving Average	9.38	23.08	0
January 2006	54,720	100%	10.08	24.82	3600
		Moving Average	10.10	24.87	2840

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบข้อมูลเดือนธันวาคม พ.ศ. 2548 ในตารางที่ 5.8 จะเห็นว่าผลการทดสอบที่ได้จากกรณีทราบความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมงล่วงหน้าและกรณีที่ใช้หลักการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ ใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าจากคอมเพรสเซอร์ต่อซอง และราคาต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าต่อซองเท่ากัน และไม่เกิดเหตุการณ์น้ำแข็งพร้อมขายไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ทั้งนี้พลังงานไฟฟ้ารวมรายเดือนที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งมีปริมาณเท่ากัน และมีลักษณะการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ที่ใกล้เคียงกัน คือมีการปิดและเปิดคอมเพรสเซอร์เหลื่อมเวลากัน ดังแสดงในรูปที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์เปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ใช้หลักการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซองแตกต่างจากกรณีทราบความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมงล่วงหน้าของวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2548 เพียง 3 ชั่วโมง

ในกรณีของการเปรียบเทียบผลการทดสอบข้อมูลเดือนมกราคม พ.ศ. 2549 ในตารางที่ 5.8 ผลที่ได้คือ เมื่อระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าใช้หลักการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่จะพลังงานไฟฟ้าจากการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ในปริมาณที่มากกว่ากรณีที่ทราบความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมงล่วงหน้าเป็นจำนวน 0.02 kWh ต่อซอง และต้องใช้ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าต่อซองมากกว่ากรณีที่ทราบความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมงล่วงหน้าเป็นจำนวน 0.05 บาทต่อซอง แต่เกิดเหตุการณ์น้ำแข็งพร้อมขายไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าน้อยกว่าเป็นจำนวน 760 ซอง ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าในกรณีใช้การพยากรณ์ความต้องการมีการสั่งปิดคอมเพรสเซอร์มากกว่าแต่รองรับต่อความต้องการน้ำแข็งมากกว่ากรณีที่ระบบจัดการทราบความต้องการไฟฟ้าล่วงหน้า กล่าวคือกรณีทราบความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมงล่วงหน้า

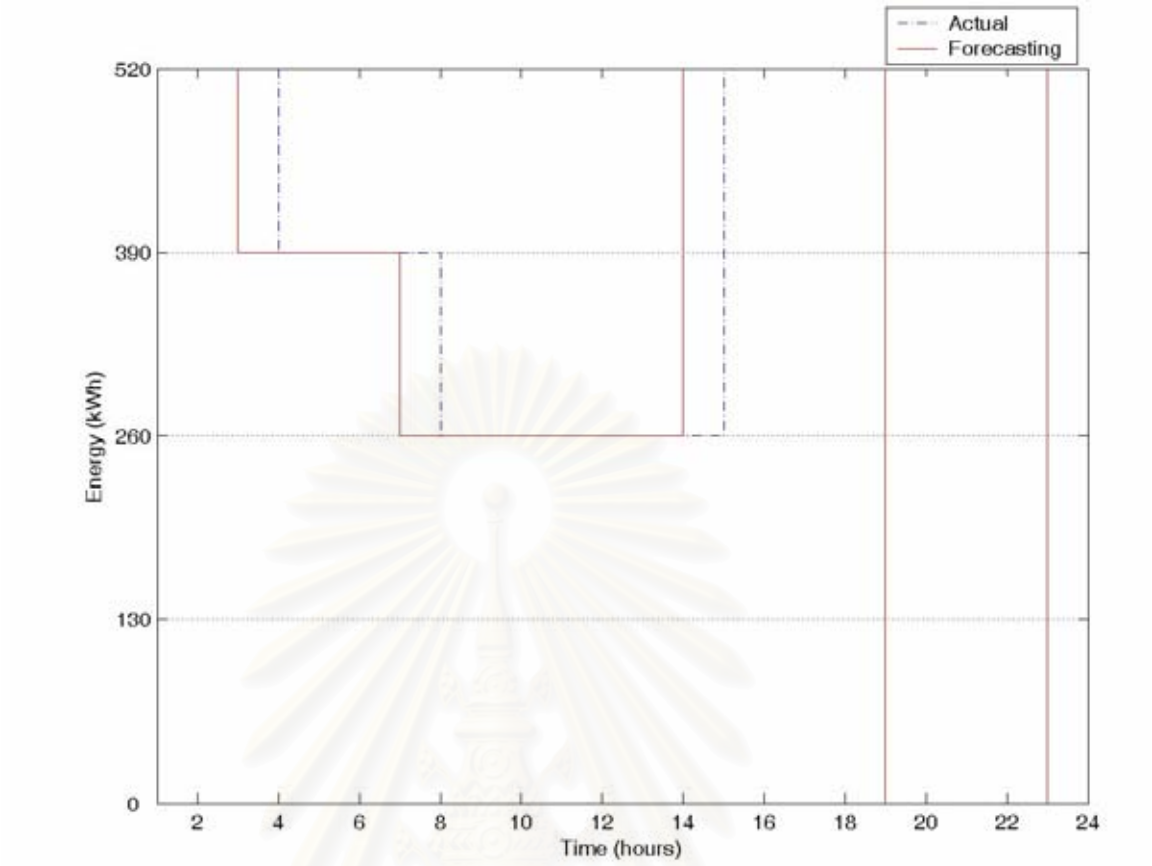
ไม่ได้ทำให้ระบบจัดการพลังงานควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าแต่อย่างใด

ผลที่ได้จากการนำข้อมูลของเดือนมกราคม พ.ศ. 2549 จะเห็นว่าเกิดเหตุการณ์การขายน้ำแข็งไม่ทันต่อความต้องการของลูกค้าเป็นจำนวนมาก แม้ในกรณีที่รู้ความต้องการล่วงหน้าแน่นอนดังแสดงในตารางที่ 5.8 ซึ่งเกิดจากการที่ยอดขายของเดือนมกราคมมีช่วงเวลาที่การขายน้ำแข็งมีปริมาณมาผิดปกติ ทำให้การพยากรณ์โดยใช้หลักการค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ไม่สามารถติดตามผลของข้อมูลการขายนี้ได้ ดังนั้นจึงนำฟังก์ชันที่ใช้สำหรับกรณีที่โรงงานเกิดเหตุการณ์ไม่ปกติมาทำการทดสอบ ซึ่งฟังก์ชันที่ใช้ในการกำหนดยอดขายล่วงหน้าเมื่อมีเหตุการณ์การขายน้ำแข็งที่มากหรือน้อยกว่าปกติเป็นจำนวนมาก ดังตารางที่ 5.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการกำหนดยอดขายที่มากกว่าปกติล่วงหน้าแล้ว ไม่เกิดเหตุการณ์การขายน้ำแข็งไม่ทันต่อความต้องการของลูกค้าเลย อีกทั้งยังใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้า และต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้ำแข็งซองน้อยลงอีกด้วย เมื่อเทียบกับผลที่ได้จากตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.9 ผลการทดสอบสมรรถนะของการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซอง
กรณีที่ใช้ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD และ
ใช้ฟังก์ชันกำหนดยอดขายล่วงหน้า

Load Pattern	Total Demand (block/month)	Prediction Accuracy	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block/month)
January 2006	54,720	Moving Average	9.92	24.42	0

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.3 การทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ตามช่วงเวลาแบบ TOD เปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ใช้หลักการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซองและกรณีทราบความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมงล่วงหน้าของวันที่ 24 ธันวาคม พ.ศ. 2548

สรุปผลการวิเคราะห์

การใช้หลักการเคลื่อนที่เฉลี่ยในการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซองในระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าทำให้ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่ากรณีที่ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าทราบความต้องการน้ำแข็งล่วงหน้า กล่าวคือมีการใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าและต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แต่กรณีที่ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าใช้หลักการเคลื่อนที่เฉลี่ยในการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งทำให้มีน้ำแข็งพร้อมขายเพียงพอต่อความต้องการของลูกค้ามากกว่า ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าแม้การพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซองด้วยหลักการเคลื่อนที่เฉลี่ยไม่ได้พยากรณ์แม่นยำแน่นอน แต่ก็ไม่ทำให้มีประสิทธิภาพการทำงานของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD ลดลงแต่อย่างใด

5.5 การเปรียบเทียบผลของแบบแผนการขายน้ำแข็งที่มีต่อระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า

ปัจจัยที่มีผลต่อค่าไฟฟ้าในโรงงานมีด้วยกันหลายปัจจัย แบบแผนและลักษณะการขายน้ำแข็งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลสำคัญต่อกระบวนการผลิตและการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ซึ่งเป็นตัวสะท้อนถึงต้นทุนค่าไฟฟ้าของโรงงาน ดังนั้นหากโรงงานผลิตน้ำแข็งซองมีแบบแผนการขายน้ำแข็งที่เหมาะสมจะช่วยลดการใช้พลังงานส่วนเกินและต้นทุนหลักในกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง

ตัวอย่างการทดสอบ

ในการวิเคราะห์ผลของแบบแผนการขายน้ำแข็งที่มีต่อระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าของโรงงานนั้น เราจะทำการเปรียบเทียบแบบแผนการขายน้ำแข็งจากชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน คือ ข้อมูลการขายน้ำแข็งจริงเป็นระยะเวลา 15 วันจากบ่อน้ำแข็ง 1 บ่อของวันที่ 11 – 25 ธันวาคม พ.ศ. 2548 วันที่ 11 – 25 มกราคม พ.ศ. 2549 และชุดข้อมูลที่มีแบบแผนการขายน้ำแข็งคงที่คือจำนวนการขายน้ำแข็งเท่ากันในทุกชั่วโมงที่โรงงานเปิดทำการ โดยชุดข้อมูลทุกชุดมีจำนวนน้ำแข็งขายออกจากบ่อรวมรายเดือนเท่ากันคือ 54,720 ซองต่อเดือน

โดยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญไว้ตามที่ได้จากการศึกษาผลของพารามิเตอร์ในหัวข้อที่ 5.2 ดังนี้

TbReg : -4 °C

Tlead : 10 ชั่วโมง

epsilon : 1.5

pcres : 30

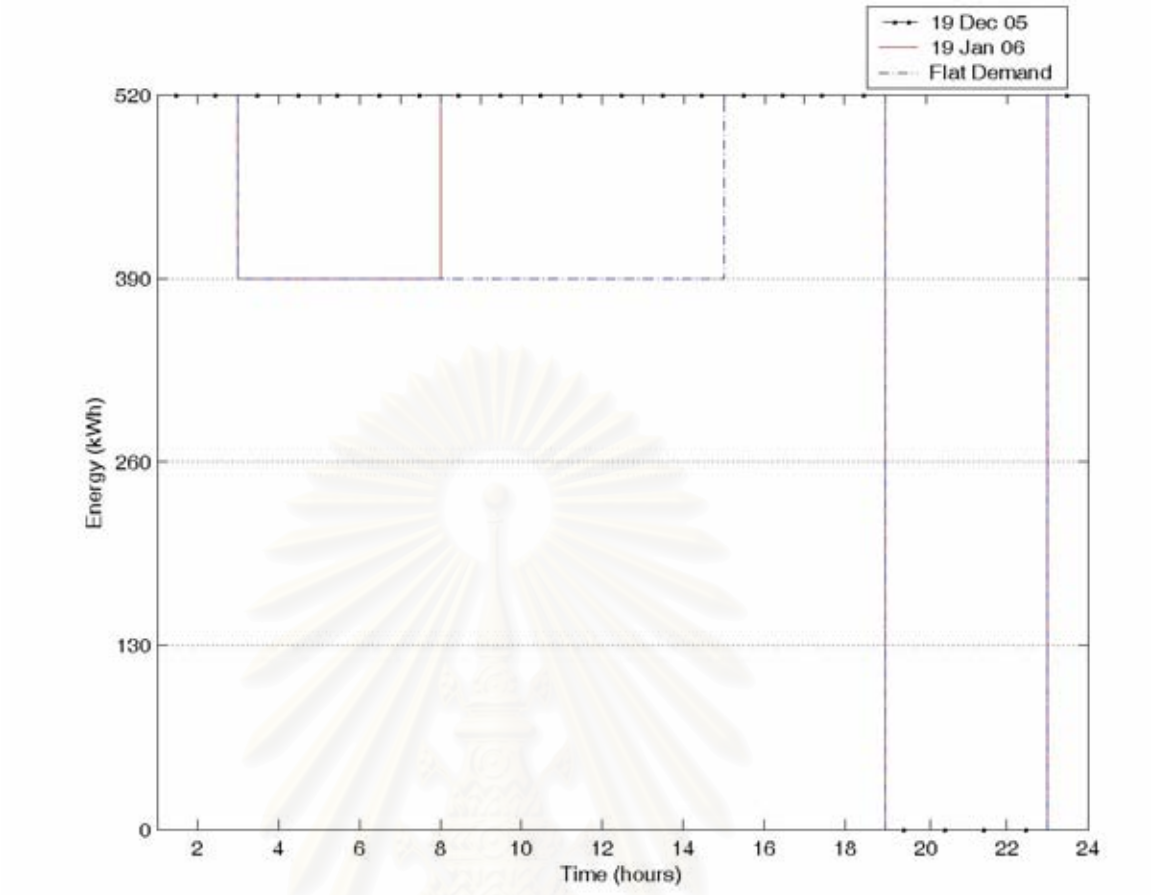
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบแบบแผนการขายน้ำแข็งลักษณะต่าง ๆ ที่มีต่อระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD

Load Pattern	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block/month)
December 2005	9.95	24.48	0
January 2006	10.10	24.87	2840
Flat Demand	9.83	24.19	0

การขายน้ำแข็งที่มีแบบแผนการขายน้ำแข็งรายชั่วโมงแตกต่างกัน ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้ำแข็งซองมีปริมาณไม่เท่ากัน ถึงแม้ว่าจำนวนน้ำแข็งรวมต่อเดือนจะเท่ากันก็ตาม พิจารณาได้จากตารางที่ 5.3 เมื่อนำข้อมูลเดือนธันวาคม พ.ศ. 2548 และข้อมูลเดือนมกราคม พ.ศ. 2549 มาเปรียบเทียบกันพบว่าพลังงานไฟฟ้าจากการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ที่ใช้ไปในการผลิตน้ำแข็งในเดือนธันวาคมมีปริมาณน้อยกว่าในเดือนมกราคมเป็นจำนวน 0.15 kWh ต่อซอง คิดเป็นราคาต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.39 บาทต่อซอง และในเดือนมกราคมยังเกิดเหตุการณ์น้ำแข็งพร้อมขายไม่เพียงพอต่อความต้องการเป็นจำนวนมากอีกด้วย ดังนั้นหากมีแบบแผนการขายน้ำแข็งที่เหมาะสม จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนเกินลงได้อีก ในกรณีนี้เราได้ทำการกำหนดแบบแผนการขายน้ำแข็งแบบคงที่คือจำนวนการขายน้ำแข็งเท่ากับ 47 ซองในทุกชั่วโมงที่โรงงานเปิดทำการ มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับแบบแผนการขายน้ำแข็ง 2 แบบแรก จากตารางที่ 5.10 จะเห็นว่าเมื่อแบบแผนการขายน้ำแข็งรายชั่วโมงคงที่จะทำให้การควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบจัดการพลังงานมีประสิทธิภาพมากขึ้นคือ พลังงานไฟฟ้าจากการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ที่ใช้ไปในการผลิตน้ำแข็งลดลงจากเดือนธันวาคม 0.12 kWh ต่อซอง และลดลงจากเดือนมกราคม 0.27 kWh ต่อซอง ซึ่งคิดเป็นต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.29 บาทต่อซอง และ 0.68 บาทต่อซองตามลำดับ และไม่มีการขายน้ำแข็งไม่ทันเกิดขึ้น เนื่องจากระบบจัดการสามารถควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ให้ผลิตน้ำแข็งได้ทันต่อความต้องการของลูกค้า ดังจะเห็นได้จากการพิจารณารูปที่ 5.4 แสดงตัวอย่างการเปรียบเทียบปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการที่ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าทำการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์เมื่อมีแบบแผนการขายน้ำแข็งในลักษณะแตกต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.4 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าจากการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์รายชั่วโมงตามช่วงเวลาแบบ TOD โดยมีแบบแผนการขายน้ำแข็งในลักษณะแตกต่างกัน

สรุปผลการวิเคราะห์

ต้นทุนค่าไฟฟ้าหลักของโรงงานผลิตน้ำแข็งซองมาจากการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ ดังนั้นหากเราสามารถกำหนดแบบแผนการขายน้ำแข็งให้คงที่ได้ทุกเดือน จะช่วยให้การควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์มีประสิทธิภาพมากขึ้น กล่าวคือเมื่อแบบแผนการขายน้ำแข็งคงที่ทำให้การพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งติดตามความต้องการน้ำแข็งของลูกค้าได้แม่นยำมากขึ้น ส่งผลให้การควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์มีประสิทธิภาพมากขึ้น จนกระทั่งการเปิด-ปิดคอมเพรสเซอร์เป็นไปอย่างมีแบบแผนที่คงที่ ซึ่งจะช่วยให้ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าของโรงงานคงที่ได้ทุกเดือน

5.6 สรุปผลการทดสอบ

การทดสอบสมรรถนะด้วยวิธีการต่าง ๆ ของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD ทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพในการจัดการกับพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินและพลังงานสูญเสียในระบบผลิตน้ำแข็งของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า จากการผลการทดสอบพบว่าระบบสามารถจัดการพลังงานไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพเพียงพอในการนำไปประยุกต์ใช้จริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

การทดสอบสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า สำหรับโรงงานน้ำแข็งซองที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU

จากการนำเสนอการทดสอบสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD ในบทที่ 5 โดยวิเคราะห์แต่ละส่วนประกอบในระบบจัดการพลังงานไฟฟ้ามีผลอย่างไรต่อค่าไฟฟ้าในโรงงานผลิตน้ำแข็งซอง เช่นเดียวกันในบทที่ 6 นี้เราจะได้ทำการทดสอบสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU โดยใช้ดัชนีที่ใช้ในการชี้วัดสมรรถนะของระบบประเภทเดียวกับที่ใช้วัดผลของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD คือ ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ต่อการจำหน่ายน้ำแข็ง 1 ซอง ปริมาณพลังงานไฟฟ้าของคอมเพรสเซอร์ต่อการจำหน่ายน้ำแข็ง 1 ซอง และจำนวนน้ำแข็งที่ขายไม่ทันช่วงเวลาที่ทดสอบ

ปริมาณพลังงานไฟฟ้า และต้นทุนค่าไฟฟ้าคำนวณจากค่าพลังงานของคอมเพรสเซอร์ในการผลิตน้ำแข็งเท่านั้น ไม่รวมถึงอุปกรณ์อื่น ๆ ในระบบทำความเย็น และไม่คิดค่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุด ส่วนที่แตกต่างจากการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOD คืออัตราค่าไฟฟ้าในช่วงเวลา On-Peak และช่วงเวลา Off-Peak ที่แตกต่างกัน ซึ่งเพิ่มความซับซ้อนในการคำนวณต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้

6.1 นิยามพารามิเตอร์ในระบบควบคุม

ก่อนที่จะกล่าวถึงการทดสอบสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU จะได้กำหนดนิยามของพารามิเตอร์ที่นำมาใช้ในการทดสอบ โดยพารามิเตอร์ที่จะทำการทดสอบประกอบไปด้วย TbReg Tlead epsilon และ pcresMax อนึ่งจากการศึกษาผลของค่าพารามิเตอร์ pcres ในระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD พบว่าค่า pcres ไม่ส่งผลใด ๆ ต่อระบบในกรณีที่ Tlead มีค่ามากกว่า 8 ชั่วโมง ดังนั้นจึงได้ทำการละเว้นการศึกษาค่า pcres ในบทนี้

นิยามของค่าพารามิเตอร์ TbReg Tlead และ epsilon ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 5 ส่วน pcresMax มีนิยามดังนี้

pcresMax: เปอร์เซ็นต์ของจำนวนน้ำแข็งสูงสุดเพื่อสำรองไว้ในบ่อให้เพียงพอต่อความต้องการน้ำแข็งที่พยากรณ์ได้ใน 24 ชั่วโมงข้างหน้า

6.2 การศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า

จากการวิเคราะห์ผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD ค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวมีผลต่อระบบแตกต่างกัน ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU โดยจะทำการปรับค่าพารามิเตอร์แต่ละตัวเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม และทำให้ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ตัวอย่างการทดสอบ

การศึกษาผลของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าจะทำโดยนำชุดข้อมูลทดสอบที่แตกต่างกัน 2 ชุดคือ ข้อมูลการขายน้ำแข็งจริงเป็นระยะเวลา 15 วันจากบ่อน้ำแข็ง 1 บ่อ ของวันที่ 11 – 25 ธันวาคม พ.ศ. 2548 ซึ่งยอดขายรวมรายเดือนมีจำนวนเท่ากับ 51,320 ซอง และวันที่ 11 – 25 มกราคม พ.ศ. 2549 ซึ่งยอดขายรวมรายเดือนมีจำนวน 54,720 ซอง มาทดสอบด้วยวิธีการเดียวกับการทดสอบผลของพารามิเตอร์ในหัวข้อ 5.2 ในบทที่ 5 โดยการปรับค่าพารามิเตอร์ตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 6.1 ครั้งละตัว แล้วกำหนดให้พารามิเตอร์ตัวอื่นมีค่าคงที่ตามค่าที่ปรับตั้งไว้สำหรับระบบจัดการพลังงานตามช่วงเวลาแบบ TOU ดังนี้

TbReg	: -5 ˚C
Tlead	: 10 ชั่วโมง
epsilon	: 0.9
pcresMax	: 80

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

การพิจารณาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะพิจารณาจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าและต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าเทียบกับค่าที่ปรับตั้งไว้ โดยยอมมีเหตุการณ์จำนวนน้ำแข็งพร้อมขายไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าไม่เกิน 100 ซอง

ตารางที่ 6.1 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ของระบบตามค่าที่ปรับตั้งไว้

December 2005			January 2006		
Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)
9.47	28.11	0	10.82	31.19	0

ตารางที่ 6.2 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOU เมื่อ Tlead มีค่าต่าง ๆ

Tlead (hour)	December 2005			January 2006		
	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)
0	9.55	28.00	0	10.04	28.78	0
3	9.55	28.23	0	10.04	29.03	0
5	9.44	27.89	0	10.05	29.23	0
7	9.44	28.06	0	10.07	29.52	0
9	9.44	28.06	0	10.06	29.45	0
11	9.48	28.17	0	10.82	31.22	0
13	9.44	27.88	0	10.91	31.61	0
15	9.53	28.27	0	10.89	31.43	0
17	9.44	28.29	0	10.95	31.66	0

เริ่มจากการศึกษาค่าพารามิเตอร์ Tlead จากตารางที่ 6.2 ทำการปรับค่า Tlead ค่าต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์หาค่า Tlead ที่เหมาะสม จากข้อมูลของเดือนธันวาคมพบว่าที่ค่า Tlead เท่ากับ 5 – 9 ชั่วโมง ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในการผลิตน้ำแข็งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ปรับตั้งไว้ในตารางที่ 6.1 คือมีค่าประมาณ 9.44 kWh ต่อซอง และต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าประมาณ 27.89 – 28.06 บาทต่อซอง โดยไม่มีเหตุการณ์การขายน้ำแข็งไม่ทันเลย และจากข้อมูลเดือนมกราคมพบว่าเมื่อค่า Tlead เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตน้ำแข็งและต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่าพลังงานที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ปรับตั้งไว้ในตารางที่ 6.1 มีค่า Tlead เท่ากับ 0 – 9 ชั่วโมง และไม่เกิดเหตุการณ์จำนวนน้ำแข็งพร้อมขายไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า ซึ่งมีต้นทุนค่า

พลังงานไฟฟ้าประมาณ 28.78 – 29.45 บาทต่อซอง เมื่อนำข้อมูลที่ได้จากทั้ง 2 เดือนมาวิเคราะห์ร่วมกันจะเห็นว่าที่ค่า Tlead เท่ากับ 9 ชั่วโมง เป็นว่าที่เหมาะสมในการนำไว้ในระบบจัดการพลังงานไฟฟ้ามากที่สุดเนื่องจากที่ค่า Tlead ค่านี้ทำให้ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ให้ใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้ำแข็งไม่มากจนเกินไปเมื่อเทียบกับที่ค่า Tlead เท่ากับ 11 ของทั้ง 2 เดือนซึ่งใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ในการผลิตน้ำแข็งต่างกันในปริมาณมาก ซึ่งส่งผลให้ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าสูงตามไปด้วย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าค่า Tlead เท่ากับ 9 ชั่วโมง เป็นค่าที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU

ตารางที่ 6.3 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOU เมื่อ epsilon มีค่าต่าง ๆ

epsilon	December 2005			January 2006		
	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)
0.0	13.98	40.65	0	12.92	36.99	0
0.4	9.69	28.34	0	10.74	30.96	0
0.8	9.55	28.00	0	10.82	31.19	0
1.2	9.50	27.83	0	10.06	29.50	0
1.6	9.51	27.59	0	10.67	30.70	0
2.0	9.51	27.59	0	10.06	29.23	0

พารามิเตอร์ตัวถัดมาที่ได้ทำการศึกษาคือค่า epsilon จากตารางที่ 6.3 ได้ทำการปรับค่า epsilon ค่าต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์หาค่า epsilon ที่เหมาะสม พบว่าเมื่อค่า epsilon มีค่าเพิ่มขึ้น การใช้พลังงานในการผลิตน้ำแข็งลดลงเนื่องจากระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU ทำการสั่งการปิดคอมเพรสเซอร์มากขึ้นซึ่งมีแนวโน้มเดียวกับระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD จากข้อมูลของเดือนธันวาคมที่ค่า epsilon เท่ากับ 1.2 – 2.0 จะเห็นได้ว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในการผลิตน้ำแข็งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ปรับตั้งไว้ในตารางที่ 5.1 คือมีค่าประมาณ 9.50 – 9.51 kWh ต่อซอง และต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าประมาณ 27.59 – 27.83 บาทต่อซอง และไม่มีเหตุการณ์การขายน้ำแข็งไม่ทันเลย ซึ่งที่ค่า epsilon เท่ากับ 1.6 - 2.0 ต้นทุนค่าไฟฟ้าน้อยที่สุด และจากข้อมูลเดือนมกราคมพบว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปใน

การผลิตน้ำแข็งที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ปรับตั้งไว้ในตารางที่ 5.1 มีค่า epsilon เท่ากับ 0.8 – 2.0 คือ 10.06 - 10.82 kWh ต่อซอง และต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าประมาณ 29.73- 31.75บาทต่อซอง และจะเห็นว่าที่ค่า epsilon เท่ากับ 2.0 ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ 29.23 บาทต่อซอง ซึ่งมีค่าน้อยที่สุดสำหรับข้อมูลเดือนมกราคม

ระบบจัดการพลังงานสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุดคือใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้ำแข็ง และต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าในปริมาณน้อยที่สุด เมื่อกำหนดให้ค่า epsilon มีค่าเท่ากับ 2.0 เมื่อนำผลที่ได้จากชุดข้อมูลทั้ง 2 ชุดมาวิเคราะห์ร่วมกัน ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นค่ากลางสำหรับระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU เพื่อให้ระบบสามารถนำไปใช้ได้กับทุกสภาวะโหลดของโรงงาน

ตารางที่ 6.4 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOU เมื่อ pcresMax มีค่าต่าง ๆ

pcresMax	December 2005			January 2006		
	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)
50	9.46	27.86	0	10.72	30.99	0
60	9.46	27.86	0	10.06	29.64	0
70	9.46	27.86	0	10.06	29.64	0
80	9.47	28.11	0	10.82	31.19	0
90	9.52	28.20	0	10.82	31.19	0
100	9.51	28.35	0	10.06	29.63	0

ตารางที่ 6.4 แสดงค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU โดยทำการปรับค่า pcresMax ค่าต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์หาค่า pcresMax ที่เหมาะสม จากข้อมูลของเดือนธันวาคมพบว่าเมื่อค่า pcresMax มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในการผลิตน้ำแข็งและต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น โดยค่า pcresMax ที่ทำให้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในการผลิตน้ำแข็งและต้นทุนค่าไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ปรับตั้งไว้ในตารางที่ 6.1 ทั้ง 2 ชุดข้อมูลมีค่าเท่ากับ 50 – 80 สำหรับข้อมูลเดือนมกราคม พบว่าเมื่อกำหนดค่า pcresMax ให้มีค่าเท่ากับ 60 -70 จะทำให้การใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าและต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้ามีค่าน้อยที่สุดคือ 10.06 kWh ต่อซอง และ 29.64 บาทต่อซอง ตามลำดับ

ดังนั้นจากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ pcresMax ร่วมกันทั้ง 2 ชุดข้อมูล จะได้ว่าเมื่อกำหนดค่า
pcresMax เท่ากับ 60 - 70 ซอง ซึ่งใช้พลังงานไฟฟ้าและต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากัน ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU สามารถจัดการพลังงานได้มีประสิทธิภาพที่สุด และเพื่อเป็นการสำรองน้ำแข็งไว้ในบ่อเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าโดยไม่กระทบต่อต้นทุนค่าไฟฟ้า จึงได้กำหนดให้ค่า pcresMax มีค่าเท่ากับ 70

ตารางที่ 6.5 ค่าดัชนีวัดสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOU เมื่อ TbReg มีค่าต่าง ๆ

TbReg (˚C)	December 2005			January 2006		
	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)
-7	9.68	28.35	0	10.82	30.82	0
-6	9.60	28.21	0	10.12	29.45	0
-5	9.47	28.11	0	10.82	31.19	0
-4	9.34	27.85	0	10.01	29.74	0
-3	9.33	28.48	0	10.72	31.30	0
-2	12.35	36.88	0	12.35	35.69	0

พารามิเตอร์ตัวสุดท้ายที่ได้ทำการศึกษาคือค่า TbReg จากตารางที่ 6.5 ได้ทำการปรับค่า TbReg ค่าต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์หาค่า TbReg ที่เหมาะสม พบว่าเมื่อค่า TbReg มีค่าเพิ่มขึ้น แนวโน้มการใช้พลังงานในการผลิตน้ำแข็งเนื่องระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU ยอมให้บ่อน้ำเกลือมีอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้มีการสั่งปิดคอมเพรสเซอร์มากขึ้นและเมื่อค่า TbReg เพิ่มขึ้นถึงจุดหนึ่งจะทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น จากข้อมูลของเดือนธันวาคมที่ค่า TbReg เท่ากับ -5˚C ถึง -3˚C จะได้ว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในการผลิตน้ำแข็งมีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ปรับตั้งไว้ในตารางที่ 6.1 คือมีค่าประมาณ 9.33– 9.47 kWh ต่อซอง ต้นทุนค่าไฟฟ้าประมาณ 28.11 – 28.48 บาทต่อซอง โดยไม่มีเหตุการณ์การขายน้ำแข็งไม่ทันเลย และจะเห็นว่าค่า TbReg ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับข้อมูลการขายของเดือนธันวาคมมีค่าเท่ากับ -4˚C เนื่องจากทำให้ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุด เช่นเดียวกันกับข้อมูลเดือนมกราคมพบว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปในการผลิตน้ำแข็งและต้นทุนค่าไฟฟ้าที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าที่ปรับตั้งไว้ในตารางที่ 6.1 มีค่า

TbReg เท่ากับ -7 ˚C ถึง -3 ˚C เช่นกัน ซึ่งมีการใช้พลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 10.01 - 10.82 ยูนิตต่อซอง ต้นทุนค่าไฟฟ้าประมาณ 29.45 – 31.19 บาท และค่า TbReg ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับข้อมูลการขายของเดือนมกราคมมีค่าเท่ากับ -4˚C ซึ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้ำแข็ง และต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้ามีค่าน้อยที่สุด

ดังนั้นระบบจัดการพลังงานสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุด คือใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้ำแข็ง และต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าน้อยที่สุดเมื่อกำหนดให้ค่า TbReg มีค่าเท่ากับ -4 ˚C ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมในการนำมาใช้เป็นค่ากลางสำหรับระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU เพื่อให้ระบบสามารถนำไปใช้ได้กับทุกสภาวะการผลิตและจำหน่ายของโรงงาน

สรุปผลการวิเคราะห์

พารามิเตอร์ที่นำมาศึกษาแต่ละตัวมีผลต่อระบบดังนี้คือเมื่อค่า Tlead เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ค่า epsilon และ TbReg เพิ่มขึ้น ทำให้ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง และสุดท้ายค่า pcresMax เพิ่มขึ้นส่งผลให้ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น

ส่วนค่ากลางที่เหมาะสมของพารามิเตอร์แต่ละตัวซึ่งสามารถนำไปใช้ได้กับทุกสภาวะโหลดคือ Tlead มีค่าเท่ากับ 9 ชั่วโมง epsilon มีค่าเท่ากับ 2.0 ค่า TbReg มีค่าเท่ากับ -4 ˚C และกำหนดให้ pcresMax มีค่าเท่ากับ 70

6.3 การทดสอบการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์จากการควบคุมของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า

การทดสอบนี้แบ่งเป็น 2 การทดสอบคือ 1 การทดสอบการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์จากการควบคุมของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU เพื่อตรวจสอบลักษณะการสั่งการเปิด-ปิดการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ว่าเป็นไปตามหลักการที่กำหนดไว้หรือไม่ และเพื่อวิเคราะห์ว่าระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU มีการสั่งการควบคุมการทำงานคอมเพรสเซอร์ในช่วงเวลา On-Peak และ On-Peak มากน้อยแตกต่างกันอย่างไร จุดประสงค์เพื่อเป็นการลดต้นทุนที่เกิดขึ้นในช่วงเวลา On-Peak ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ค่าไฟมีค่าสูง และไปเพิ่มต้นทุนค่าไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีค่าไฟฟ้าถูกคือช่วงเวลา On-Peak

ตัวอย่างการทดสอบ

ข้อมูลที่นำมาทดสอบคือข้อมูลการขายน้ำแข็งซองจริงของช่วงวันที่ 11 – 25 ธันวาคม พ.ศ. 11-25 มกราคม พ.ศ. 2549 และ 11-25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549 โดยจะนำข้อมูลการขายน้ำแข็งซองนี้มาป้อนให้กับระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าเพื่อคำนวณการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์

โดยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญไว้ตามที่ได้จากการศึกษาผลของพารามิเตอร์ในหัวข้อที่ 6.2 ดังนี้

TbReg : -4 °C

Tlead : 9 ชั่วโมง

epsilon : 2.0

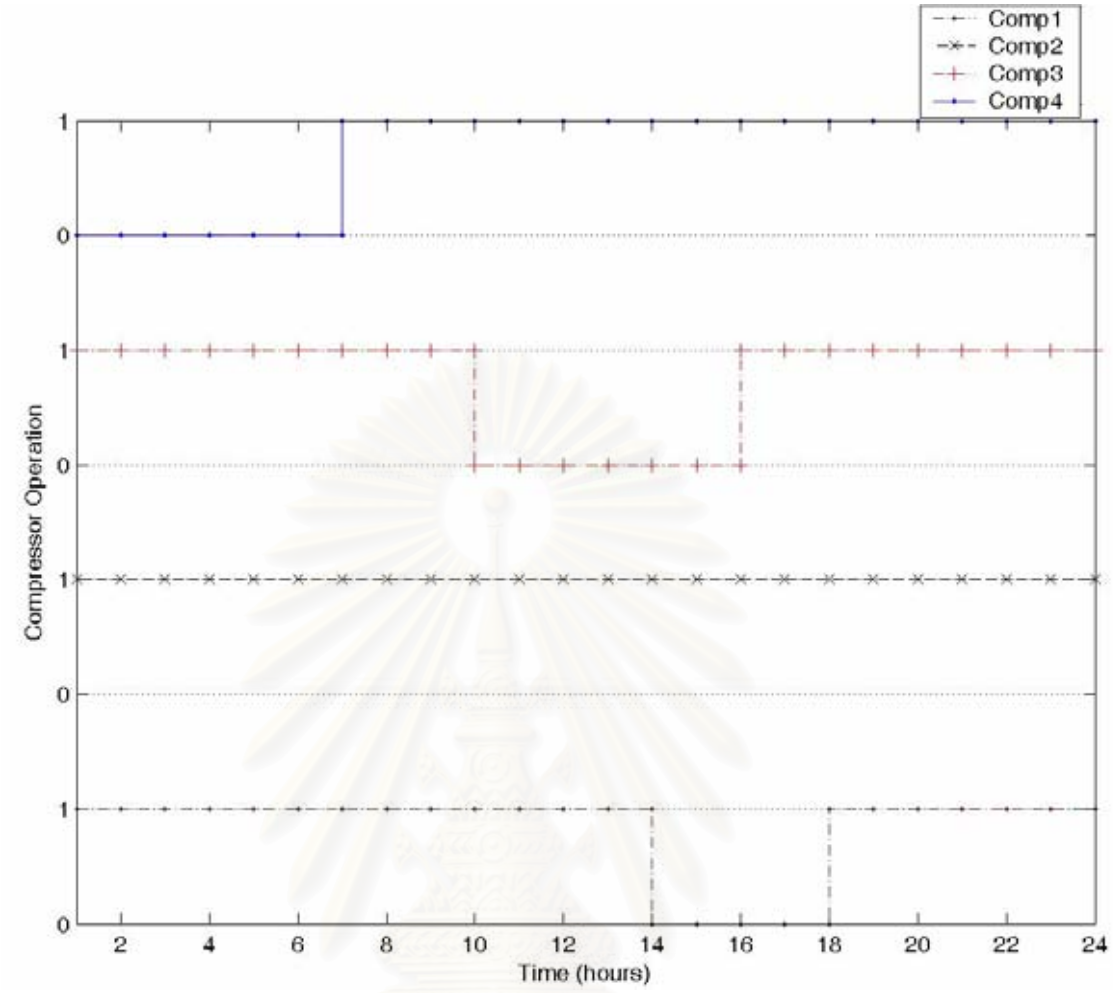
pcres : 30

pcresMax : 70

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

รูปที่ 6.1 เป็นผลการทดสอบการควบคุมการทำงานของมอเตอร์คอมเพรสเซอร์สำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU วันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2549 โดย Comp1 – Comp4 คือ คอมเพรสเซอร์ตัวที่ 1 ถึง 4 ตามลำดับ ในส่วนของ Compressor Operation ค่า 1 และ 0 หมายถึง คอมเพรสเซอร์เปิดการทำงาน และ ปิดการทำงานตามลำดับ ซึ่งเน้นการสั่งปิดการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ในช่วงเวลา On-Peak และเลื่อนการเปิดการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ไปในช่วงเวลา Off-Peak ให้มากขึ้น และระยะเวลาที่น้อยที่สุดในการเปิดและปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์แต่ละตัวคือ 4 ชั่วโมง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

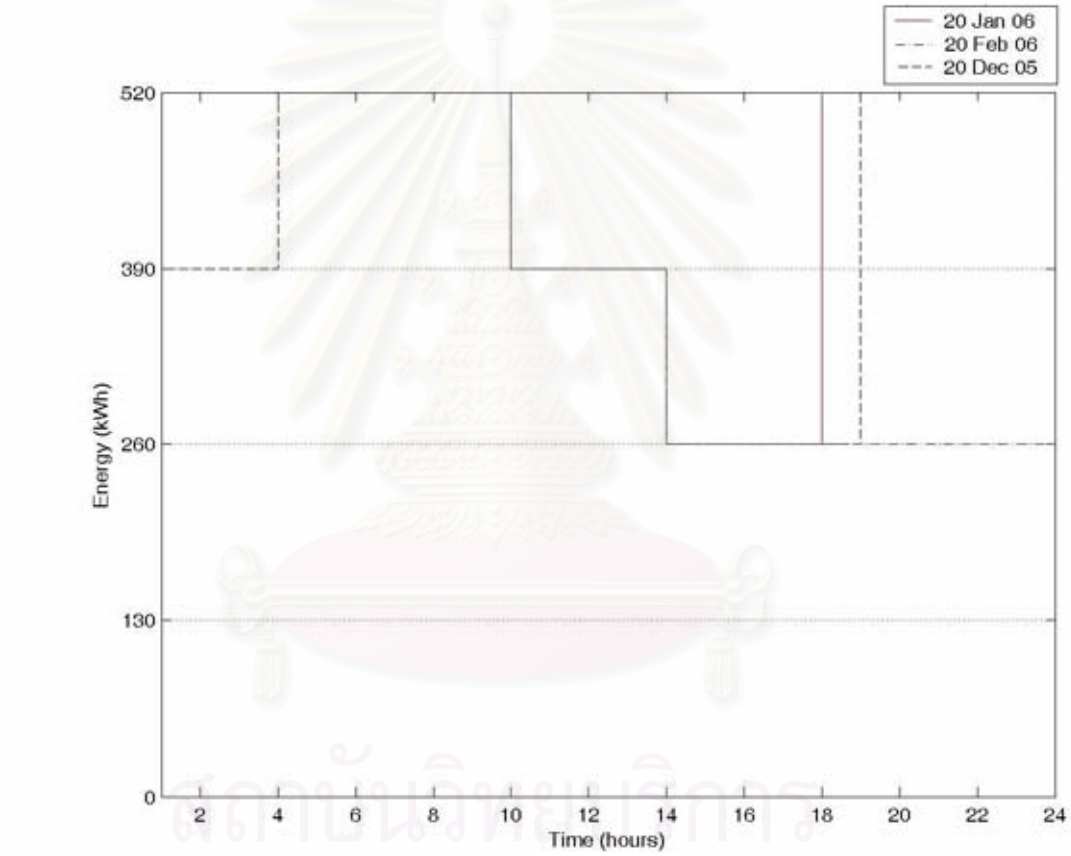


รูปที่ 6.1 ผลการทดสอบการควบคุมการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ตามช่วงเวลาแบบ TOU ในช่วงวันที่ 25 มกราคม พ.ศ. 2549

จากตารางที่ 6.6 แสดงผลการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOU พบว่าระบบมีการสั่งเปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในช่วงเวลา Off Peak มากกว่าในช่วงเวลา On Peak ซึ่งจะเห็นได้จากการพิจารณารูปที่ 6.2 ระบบมีการหลีกเลี่ยงการสั่งให้คอมเพรสเซอร์ทำงานในช่วงเวลา 09:00 – 22:00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ค่าไฟฟ้าแพง

ตารางที่ 6.6 ผลการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOU

Load Pattern	Energy of Compressor (kWh)			Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)
	Off Peak	On Peak	Total		
December 2005	78818	42510	121328	9.42	27.98
January 2006	85975	50700	136675	9.93	29.74
February 2006	83635	40040	123675	10.01	29.71



รูปที่ 6.2 ลักษณะการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์รายชั่วโมงตามช่วงเวลาแบบ TOU

สรุปผลการวิเคราะห์การทดสอบ

ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานน้ำแข็งที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ได้เป็นไปตามหลักการที่กำหนดไว้ได้อย่างเหมาะสม

6.4 การทดสอบสมรรถนะของการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็ง

จุดประสงค์ในการทดสอบสมรรถนะของการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งเพื่อทดสอบผลของการพยากรณ์ความต้องการที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU หรืออีกนัยหนึ่งคือ ส่วนการพยากรณ์ความต้องการนี้มีส่วนช่วยในการลดพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ และต้นทุนค่าไฟฟ้าหรือไม่ เมื่อเทียบกับกรณีที่ทราบปริมาณความต้องการน้ำแข็งที่แน่นอนทุกชั่วโมง

ตัวอย่างการทดสอบ

ในการทดสอบได้นำข้อมูลยอดขายจริงมาเป็นข้อมูลขาเข้าสำหรับการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็ง โดยมีชุดข้อมูลทดสอบ 2 ชุด คือ ข้อมูลยอดขายรายชั่วโมงจริงเป็นระยะเวลา 15 วัน จากบ่อน้ำแข็ง 1 บ่อของวันที่ 11 – 25 ธันวาคม พ.ศ. 2548 และวันที่ 11 – 25 มกราคม พ.ศ. 2549 ส่วนการวิเคราะห์ผลการทดสอบจะพิจารณาเป็นข้อมูลรวมรายเดือนของโรงงานเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากกรณีที่ระบบทราบความต้องการน้ำแข็งที่แน่นอนทุกชั่วโมง

โดยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญไว้ตามที่ได้จากการศึกษาผลของพารามิเตอร์ในหัวข้อที่ 6.2 ดังนี้

TbReg : -4 °C

Tlead : 9 ชั่วโมง

epsilon : 2.0

pcres : 30

pcresMax : 70

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ตารางที่ 6.7 ผลการทดสอบสมรรถนะของการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซอง
กรณีที่ใช้ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOU

Load Patten	Total Demand (block/month)	Prediction Accuracy	Demand Type	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block/month)
December 2005	51,320	100%	Actual	9.35	26.92	0
		Moving Average	Forecasting	9.42	27.98	0
January 2006	54,720	100%	Actual	9.91	28.53	0
		Moving Average	Forecasting	10.02	29.39	0

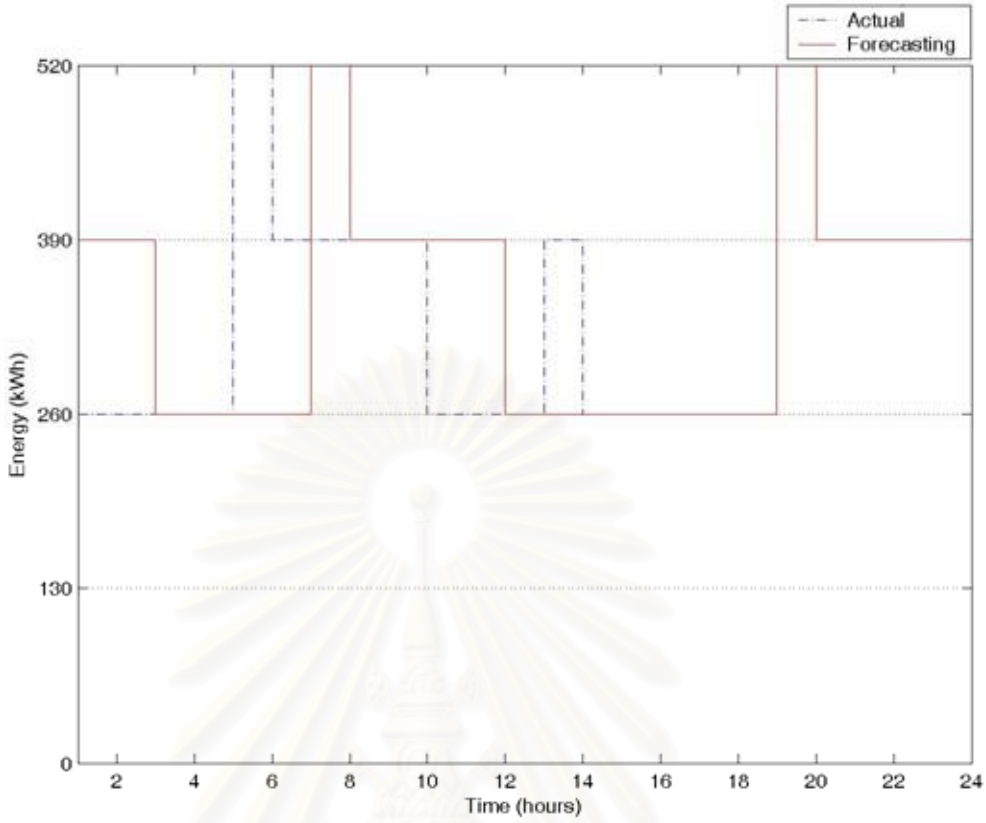
จากการเปรียบเทียบผลการทดสอบของข้อมูลเดือนธันวาคม พ.ศ. 2548 ในตารางที่ 6.7 จะเห็นว่าผลการทดสอบที่ได้จากกรณีที่ใช้หลักการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจากคอมเพรสเซอร์ต่อซองมากกว่ากรณีทราบความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมงล่วงหน้าเป็นจำนวน 0.07 kWh ต่อซอง และราคาต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าต่อซองมากกว่ากรณีทราบความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมงล่วงหน้าเป็นจำนวน 1.06 บาทต่อซอง และทั้งสองกรณีไม่เกิดเหตุการณ์น้ำแข็งพร้อมขายไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้า จะเห็นได้จากรูปที่ 6.3 แสดงตัวอย่างการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์เปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ใช้หลักการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซองและกรณีทราบความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมงล่วงหน้าของวันที่ 17 ธันวาคม พ.ศ. 2548 จะได้ว่ากรณีที่ระบบทราบความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมงล่วงหน้าใช้พลังงานรวมทั้งหมดในการผลิตน้ำแข็งน้อยกว่าและสั่งการปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในช่วงเวลา On-Peak มากกว่า โดยเลื่อนไปเปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในช่วงเวลา Off-Peak แทนทำให้ต้นทุนค่าไฟฟ้าในกรณีนี้มีค่าน้อยกว่ากรณีที่ใช้หลักการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซอง และยังคงมีน้ำแข็งพร้อมขายเพียงพอ

ในกรณีของการเปรียบเทียบผลการทดสอบของข้อมูลเดือนมกราคม พ.ศ. 2549 ในตารางที่ 6.7 ผลที่ได้มีแนวโน้มเหมือนกับผลการทดสอบที่ได้จากข้อมูลเดือนธันวาคมคือ เมื่อระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าใช้หลักการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่จะใช้พลังงานไฟฟ้าจากการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์มากกว่ากรณีที่ทราบความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมงล่วงหน้าเป็นจำนวน 0.11 kWh ต่อซอง ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าต่อซองมากกว่ากรณีที่ทราบ

ความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมงล่วงหน้าเป็นจำนวน 0.88 บาทต่อซอง โดยไม่เกิดเหตุการณ์น้ำแข็งพร้อมขายไม่เพียงพอต่อความต้องการเลย ดังจะเห็นได้จากการที่ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าที่ใช้หลักการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่สั่งการเปิดการทำงานคอมเพรสเซอร์มากกว่าในรูปที่ 6.4 ซึ่งแสดงตัวอย่างลักษณะการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์เปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ใช้หลักการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซอง และกรณีทราบความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมงล่วงหน้าของวันที่ 17 มกราคม พ.ศ. 2549 กล่าวคือกรณีที่ทราบความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมงล่วงหน้าจะทำให้ระบบจัดการพลังงานควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า

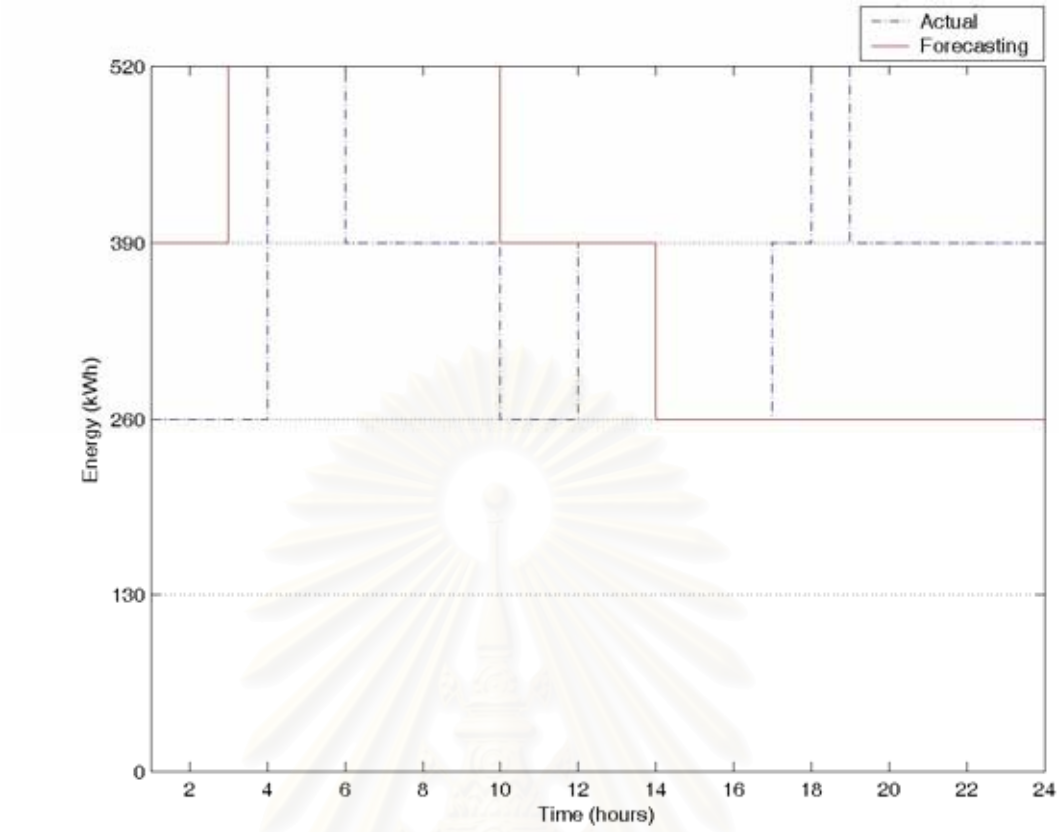
เมื่อประมาณค่าไฟฟ้ารวมรายเดือนเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.5 ล้านบาทซึ่งได้จากการศึกษาข้อมูลค่าไฟฟ้าในอดีตของโรงงานผลิตน้ำแข็ง ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าที่คำนวณได้จากการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ของระบบควบคุมโดยใช้หลักการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซองแบบค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่จะใช้พลังงานไฟฟ้าจากการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ มากกว่ากรณีที่ทราบความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมงล่วงหน้าสำหรับเดือนมกราคม พ.ศ. 2549คิดเป็น 3.63 % ของค่าไฟฟ้ารวมรายเดือน ส่วนของเดือนธันวาคมมากกว่าประมาณ 3.14 % ของค่าไฟฟ้ารวมรายเดือน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.3 ตัวอย่างลักษณะการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ตามช่วงเวลาแบบ TOU เปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ใช้หลักการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซองและกรณีทราบความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมงล่วงหน้าของวันที่ 17 ธันวาคม พ.ศ. 2548

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.4 ตัวอย่างลักษณะการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ตามช่วงเวลาแบบ TOU เปรียบเทียบระหว่างกรณีที่ใช้หลักการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซองและกรณีทราบความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมงล่วงหน้าของวันที่ 17 มกราคม พ.ศ. 2549

สรุปผลการวิเคราะห์

จากผลการวิเคราะห์พบว่าการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซองด้วยหลักการเคลื่อนที่เฉลี่ยมีผลทำให้ค่าไฟฟ้ารวมรายเดือนมีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นปริมาณที่น้อยเมื่อเทียบกับค่าไฟฟ้ารวมรายเดือนของโรงงาน ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าความคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งซองด้วยหลักการเคลื่อนที่เฉลี่ยไม่ได้ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOU ลดลงมากนัก ซึ่งประสิทธิภาพการทำงานของระบบยังอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

6.5 การเปรียบเทียบผลของแบบแผนการขายน้ำแข็งที่มีต่อระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า

เนื่องจากแบบแผนและลักษณะการขายน้ำแข็งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลสำคัญต่อการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ซึ่งเป็นตัวสะท้อนถึงค่าไฟฟ้าของโรงงาน ดังนั้นหากระบบจำหน่ายน้ำแข็งในโรงงานผลิตน้ำแข็งซองมีแบบแผนการขายน้ำแข็งที่เหมาะสมจะช่วยลดการใช้พลังงานส่วนเกินและต้นทุนหลักในกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองได้ จึงได้ทำวิเคราะห์แบบแผนการขายน้ำแข็งซองเบื้องต้นที่สามารถจำกัดต้นทุนการผลิตเฉลี่ยให้คงที่ได้ในแต่ละเดือน

ตัวอย่างการทดสอบ

ในการวิเคราะห์ผลของแบบแผนการขายน้ำแข็งที่มีต่อระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าและค่าไฟฟ้าของโรงงานนั้น เราจะทำการเปรียบเทียบแบบแผนการขายน้ำแข็งจากชุดข้อมูลที่แตกต่างกัน คือ ข้อมูลการขายน้ำแข็งจริงเป็นระยะเวลา 15 วันจากบ่อน้ำแข็ง 1 บ่อของวันที่ 11 – 25 ธันวาคม พ.ศ. 2548 วันที่ 11 – 25 มกราคม พ.ศ. 2549 และชุดข้อมูลที่มีแบบแผนการขายน้ำแข็งคงที่คือจำนวนการขายน้ำแข็งเท่ากันในทุกชั่วโมงที่โรงงานเปิดทำการ โดยชุดข้อมูลทุกชุดมีจำนวนน้ำแข็งขายออกจากบ่อรวมรายเดือนเท่ากันคือ 54,720 ซองต่อเดือน

โดยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญไว้ตามที่ได้จากการศึกษาผลของพารามิเตอร์ในหัวข้อที่ 6.2 ดังนี้

TbReg	: -4 ˚C
Tlead	: 9 ชั่วโมง
epsilon	: 2.0
pcres	: 30
pcresMax	: 70

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

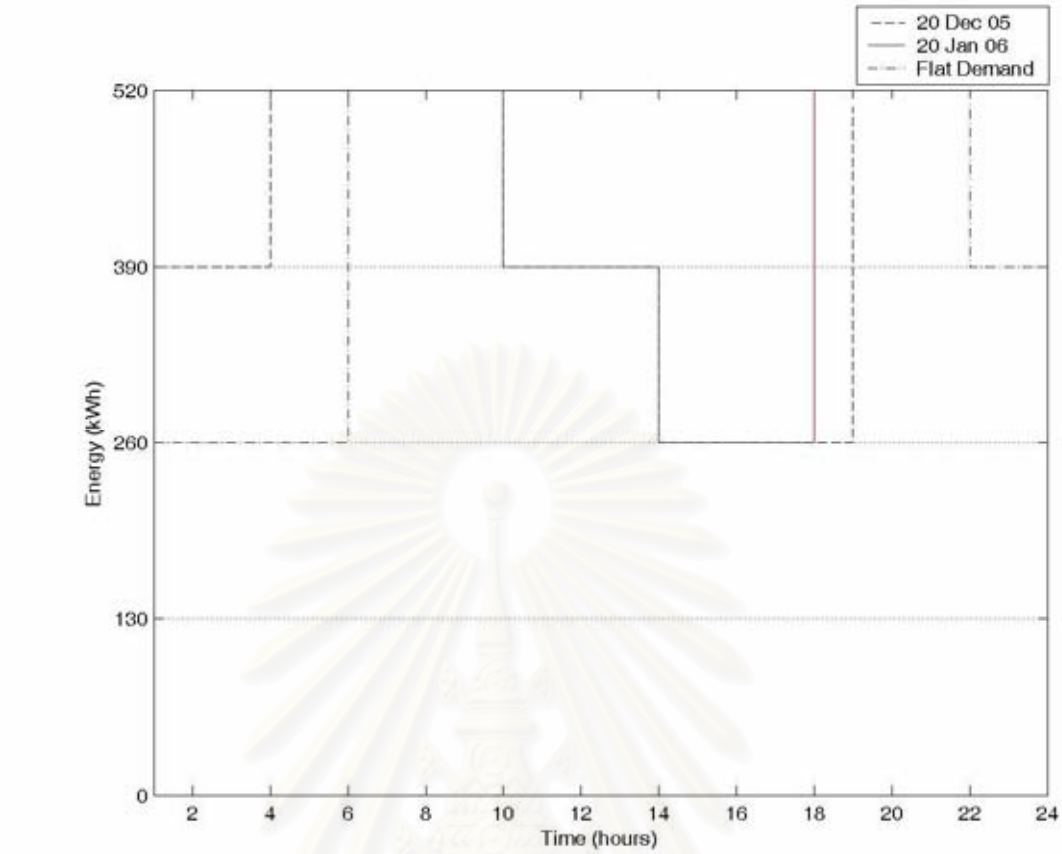
ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดสอบ

ตารางที่ 6.8 ผลการทดสอบแบบแผนการขายน้ำแข็งลักษณะต่าง ๆ ที่มีต่อระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า

ตามช่วงเวลาแบบ TOU

Load Pattern	Total Demand (block/month)	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block/month)
December 2005	54,720	10.02	29.39	0
January 2006	54,720	9.93	29.74	0
Flat Demand	54,720	9.96	29.30	0

การขายน้ำแข็งที่มีแบบแผนการขายน้ำแข็งรายชั่วโมงแตกต่างกัน ทำให้ระบบสั่งการควบคุมการทำงานคอมเพรสเซอร์แตกต่างกัน การใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้ำแข็งซองจึงไม่เท่ากัน ถึงแม้ว่าจำนวนน้ำแข็งรวมต่อเดือนจะเท่ากันก็ตาม พิจารณาได้จากตารางที่ 6.8 เมื่อนำข้อมูลเดือนธันวาคม พ.ศ. 2548 และข้อมูลเดือนมกราคม พ.ศ. 2549 มาเปรียบเทียบกันพบว่าพลังงานไฟฟ้าจากการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ที่ใช้ไปในการผลิตน้ำแข็งในเดือนธันวาคมมีปริมาณมากกว่าเดือนมกราคมเป็นจำนวน 0.09 kWh ต่อซอง คิดเป็นราคาต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.35 บาทต่อซอง โดยไม่เกิดเหตุการณ์น้ำแข็งพร้อมขายไม่เพียงพอต่อความต้องการของลูกค้าเลย ต่อมาได้ทำการทดสอบโดยการกำหนดแบบแผนการขายน้ำแข็งให้คงที่ คือจำนวนการขายน้ำแข็งเท่ากับ 47 ซองในทุกชั่วโมงที่โรงงานเปิดทำการและวิเคราะห์เปรียบเทียบกับแบบแผนการขายน้ำแข็งทั้ง 2 แบบ จากตารางที่ 6.8 จะเห็นว่าเมื่อแบบแผนการขายน้ำแข็งรายชั่วโมงคงที่ ทำให้การควบคุมการใช้พลังงานไฟฟ้าของระบบจัดการพลังงานฟ้ามีประสิทธิภาพมากขึ้นคือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าจากการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ที่ใช้ไปในการผลิตน้ำแข็งลดลงจากเดือนธันวาคม 0.06 kWh ต่อซอง ซึ่งคิดเป็นต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าเท่ากับ 0.09 บาทต่อซอง และเพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคม 0.03 kWh ต่อซองแต่ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง 0.44 บาทต่อซอง ตามลำดับ และไม่มีการขายน้ำแข็งไม่ทัน เนื่องจากระบบจัดการสามารถควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ให้ผลิตน้ำแข็งได้ทันต่อความต้องการของลูกค้า จากรูปที่ 6.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบจัดการพลังงานควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ จะเห็นได้ว่าแบบแผนการขายน้ำแข็งของเดือนมกราคมเมื่อใช้การจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU จะใช้พลังงานในการผลิตน้ำแข็งมากที่สุด รองลงมาคือแบบแผนการขายน้ำแข็งของเดือนธันวาคม และแบบแผนการขายน้ำแข็งแบบคงที่ทุกชั่วโมงจะใช้พลังงานในการผลิตน้ำแข็งน้อยที่สุด



รูปที่ 6.5 เปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าจากการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์รายชั่วโมงตามช่วงเวลาแบบ TOUโดยมีแบบแผนการขายน้ำแข็งในลักษณะแตกต่างกัน

สรุปผลการวิเคราะห์

จากการเปรียบเทียบผลของแบบแผนการขายน้ำแข็งที่มีต่อระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU หากเราสามารถกำหนดแบบแผนการขายน้ำแข็งให้คงที่ได้ทุกเดือน จะช่วยให้การควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์มีประสิทธิภาพมากขึ้น กล่าวคือจากผลการทดสอบ ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าลดลงจากแบบแผนการขายน้ำแข็งของเดือนธันวาคมและเดือนมกราคม และยังช่วยให้แบบแผนการเปิด-ปิดคอมเพรสเซอร์คงที่ด้วยเนื่องจากการพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งสามารถติดตามความต้องการน้ำแข็งได้อย่างแม่นยำนั่นคือความต้องการน้ำแข็งที่พยากรณ์ได้ก็จะเริ่มคงที่เช่นเดียวกัน

6.6 การเปรียบเทียบผลระหว่างระบบควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์สำหรับโรงงานน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD กับ TOU

สำหรับการเปรียบเทียบผลระหว่างระบบควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์สำหรับโรงงานน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD กับ TOU นี้ ได้นำข้อมูลมาทดสอบ 3 ชุดคือข้อมูลการขายน้ำแข็งรายชั่วโมงของวันที่ 11 – 25 ธันวาคม พ.ศ. 2548 วันที่ 11 – 25 มกราคม พ.ศ. 2549 และวันที่ 11 – 25 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2549

ตารางที่ 6.9 ผลการเปรียบเทียบผลระหว่างระบบควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์สำหรับโรงงานน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD กับ TOU

Load Pattern	Tariff	Total Demand (block/month)	Energy (kWh/block)	Energy Cost (Baht/block)	Short Sales (block)
February 2006	TOU	49,400	10.01	29.71	0
	TOD	49,400	9.835	24.21	0
January 2006	TOU	54,720	9.93	29.74	0
	TOD	54,720	10.10	24.87	2840
December 2005	TOU	51,320	9.46	27.68	0
	TOD	51,320	9.38	23.08	0

ตารางที่ 6.9 พบว่าจากข้อมูลทั้ง 3 ชุดระบบควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์สำหรับโรงงานน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU และ TOD ใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้ำแข็งใกล้เคียงกันของ แต่ต้นทุนค่าไฟฟ้าระบบควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์สำหรับโรงงานน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU มากกว่าประมาณ 4 – 5 บาทต่อซอง ซึ่งเป็นผลต่างที่สูงมาก

สรุปผลการวิเคราะห์

เนื่องจากการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU มีอัตราการคิดค่าไฟฟ้า 2 อัตราคือในช่วง On-Peak และ ช่วงเวลา Off-Peak แต่สำหรับโรงงานที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD จะทำการปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในช่วงเวลา On-Peak ซึ่งเป็นการลดต้นทุนค่าไฟฟ้าในช่วงค่าไฟแพงเป็นเหตุในต้นทุนในการผลิตน้ำแข็งน้อยกว่าเป็นจำนวนมาก ดังนั้นหากสามารถปรับปรุงขั้นตอนการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์สำหรับการคิดอัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU ให้มีสั่งการทำงานในช่วงเวลา Off-Peak เพิ่มขึ้นอีกและลดการสั่งการทำงานของคอมเพรสเซอร์ลงในช่วงเวลา On-Peak ได้ จะทำให้ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสามารถลดต้นทุนค่าไฟฟ้าลงได้อีก

6.7 สรุปผลการทดสอบ

การทดสอบสมรรถนะด้วยวิธีการต่าง ๆ ของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU ทำให้ทราบถึงลักษณะการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์กล่าวคือในช่วงเวลา On-Peak ระบบจะทำการสั่งให้มีการเปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์มากกว่าในช่วงเวลา Off-Peak ซึ่งเป็นผลการทดสอบที่ได้จากห้องทดลองและระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOU นี้ยังไม่มีการนำไปทดสอบเปรียบเทียบกับการควบคุมการทำงานด้วยคนของทางโรงงาน ดังนั้นจึงยังไม่ทราบแน่ชัดว่าระบบนี้สามารถมีประสิทธิภาพเพียงพอในการประหยัดพลังงานและต้นทุนค่าไฟฟ้าได้มากกว่าที่โรงงานผลิตน้ำแข็งซองควบคุมอยู่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำการพัฒนาระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง โดยเริ่มจากการนำเสนอแบบจำลองเชิงพลวัตของกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองที่มีความถูกต้องในระดับที่ยอมรับได้ การพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งรายชั่วโมง และการประมาณค่าพารามิเตอร์ของระบบผลิตน้ำแข็ง จากนั้นจึงออกแบบการขั้นตอนการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในโรงงานผลิตน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD และทำการพัฒนาต่อยอดมาใช้ในโรงงานผลิตน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU

เมื่อนำขั้นตอนการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ที่พัฒนาขึ้นมาทดสอบสมรรถนะการทำงานของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าโดยใช้ข้อมูลทดสอบส่วนหนึ่งของโรงงานผลิตน้ำแข็งซองจริง สรุปผลการวิจัยดังนี้

1. แบบจำลองกระบวนการผลิตน้ำแข็งซองนั้นเป็นแบบจำลองเชิงพลวัตไม่เชิงเส้นโดยใช้หลักการประมาณระยะเวลาการขึ้นรูปน้ำแข็งแต่ละซองด้วยระเบียบวิธี Finite Volume [3], [4] ในแบบจำลองการขึ้นรูปน้ำแข็ง และใช้สมการการอนุรักษ์พลังงานเฉลี่ยภายในหน้าต่างเวลาที่เหมาะสมมาใช้ในการสร้างแบบจำลองสถานะของบ่อและจำนวนน้ำแข็งพร้อมขาย เมื่อตรวจสอบกับข้อมูลจริงที่ได้จากโรงงานตัวอย่าง พบว่ามีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้
2. ขั้นตอนการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในโรงงานผลิตน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD และ TOU ทำโดยคำนวณความเป็นไปได้การปรับตารางเวลาการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ให้สอดคล้องกับกลไกการคิดราคาค่าไฟฟ้าและพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งของลูกค้าเพื่อลดพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินและต้นทุนค่าไฟฟ้าของโรงงาน
3. ศึกษาผลที่ได้จากระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าในโรงงานผลิตน้ำแข็งซองโดยการทดสอบสมรรถนะการทำงานด้วยวิธีการต่าง ๆ พบว่าขั้นตอนการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์สำหรับโรงงานผลิตน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD ช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนเกินและต้นทุนการผลิตที่เกิดจากการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ได้ในกรณีที่ยอดจำหน่ายน้ำแข็งมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดกำลังการผลิตเต็มพิกัดของโรงงาน

4. ศึกษาผลของพารามิเตอร์ที่มีต่อระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าในการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์สำหรับทั้งโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD และ TOU โดยการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เพื่อให้ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งผลที่ได้จากระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าในการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์สำหรับทั้งโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOD และ TOU มีแนวโน้มไปในทางเดียวกันคือ เมื่อค่า Tlead เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ค่า epsilon และ TbReg เพิ่มขึ้น ทำให้ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าลดลง ส่วน pcres ไม่มีผลใด ๆ ต่อระบบจัดการพลังงานไฟฟ้า และสุดท้ายค่า pcresMax เพิ่มขึ้นส่งผลให้ต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้น
5. ศึกษาแบบแผนและลักษณะการขายน้ำแข็งซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลสำคัญต่อกระบวนการผลิตและการควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์ ดังนั้นหากโรงงานผลิตน้ำแข็งซองมีแบบแผนการขายน้ำแข็งที่เหมาะสมจะช่วยลดการใช้พลังงานส่วนเกินและต้นทุนหลักในกระบวนการผลิตน้ำแข็งซอง การขายน้ำแข็งที่มีแบบแผนการขายน้ำแข็งรายชั่วโมงแตกต่างกัน ทำให้การใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้ำแข็งซองมีปริมาณไม่เท่ากัน จากการศึกษาพบว่าเมื่อกำหนดให้แบบแผนการขายน้ำแข็งรายชั่วโมงคงที่ทำให้การพยากรณ์ความต้องการน้ำแข็งติดตามความต้องการน้ำแข็งของลูกค้าได้แม่นยำ ส่งผลให้การควบคุมการเดินเครื่องคอมเพรสเซอร์มีประสิทธิภาพมากขึ้น
6. ขั้นตอนการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์สำหรับโรงงานผลิตน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU นั้นได้มีการทดสอบการสั่งควบคุมคอมเพรสเซอร์ซึ่งเป็นไปตามแนวทางที่กำหนดไว้กล่าวคือมีการสั่งปิดการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ในช่วงเวลา On-Peak มาก โดยเลื่อนการเปิดการทำงานของเครื่องคอมเพรสเซอร์ไปในช่วงเวลา Off-Peak ให้มากขึ้น และระยะเวลาที่น้อยที่สุดในการเปิดและปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์แต่ละตัวคือ 4 ชั่วโมง แต่เนื่องจากยังไม่มีการทดสอบเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าใช้ในการผลิตน้ำแข็งระหว่างระบบจัดการพลังงานกับผู้ควบคุมของโรงงานจริง จึงต้องมีการทดสอบการทำงาน ในส่วนนี้ต่อไป
7. วิเคราะห์สมรรถนะของระบบในกรณีที่ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOD เปรียบเทียบกับกรณีที่ระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าตามช่วงเวลาแบบ TOU เมื่อใช้สมรรถนะการผลิต และลักษณะความต้องการน้ำแข็งเดียวกัน ทั้งสองวิธีใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตน้ำแข็งใกล้เคียงกัน แต่ต้นทุนค่าไฟฟ้าระบบควบคุมการเดินเครื่อง

คอมเพรสเซอร์สำหรับโรงงานน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU มากกว่า เนื่องจากการคิดค่าไฟฟ้าแบบ TOU มีอัตราการคิดค่าไฟฟ้า 2 อัตราคือในช่วง On-Peak และช่วงเวลา Off-Peak แต่สำหรับโรงงานที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOD จะทำการปิดการทำงานของคอมเพรสเซอร์ในช่วงเวลา On-Peak ซึ่งเป็นการลดต้นทุนค่าพลังงานไฟฟ้าในช่วงค่าไฟแพง ทำให้ต้นทุนในการผลิตน้ำแข็งมีค่าน้อยกว่าเป็นจำนวนมาก

7.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการศึกษาวิจัยที่ต่อเนื่องในลำดับถัดไป ผู้เขียนมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. จากการนำข้อมูลต่าง ๆ มาทดสอบสมรรถนะการทำงานของระบบจัดการพลังงาน พบว่าค่าสัมประสิทธิสมรรถนะของระบบผลิตน้ำแข็งของโรงงานมีค่าเปลี่ยนแปลงตามภาวะการดำเนินการของโรงงานซึ่งมีค่าโดยประมาณเท่ากับส่วนกลับของค่าพารามิเตอร์ α ที่ได้จากส่วนที่คำนวณค่าพารามิเตอร์ของระบบ โดยค่าพารามิเตอร์นี้มีผลต่อสมรรถนะระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าในการควบคุมการทำงานของคอมเพรสเซอร์เป็นอย่างมาก ดังนั้นควรมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากค่าสัมประสิทธิสมรรถนะที่เปลี่ยนไป และปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อค่าพารามิเตอร์ α เพื่อให้สามารถปรับปรุงระบบบริหารจัดการพลังงานไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้ในอนาคต
2. ทำการทดสอบสมรรถนะระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าสำหรับโรงงานผลิตน้ำแข็งที่ใช้อัตราค่าไฟฟ้าแบบ TOU ที่พัฒนาขึ้น โดยทำการเปรียบเทียบกับค่าสมรรถนะในโรงงานผลิตน้ำแข็งจริง เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์และปรับปรุงสมรรถนะของระบบจัดการพลังงานในการนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานที่เสียค่าไฟฟ้าแบบ TOU ต่อไป
3. พิจารณาปัญหาระบบจัดการพลังงานในโรงงานน้ำแข็งซองที่มีห้องเก็บน้ำแข็ง ซึ่งประเด็นสำคัญได้แก่ การกำหนดขนาดห้องเก็บน้ำแข็งที่เหมาะสม และต้นทุนค่าไฟฟ้าที่ประหยัดได้จากการเพิ่มห้องเก็บน้ำแข็งในโรงงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. กรมโรงงานอุตสาหกรรม. http://www.diw.go.th, 2547
2. สมาน เสนงาม. http://classroom.psu.ac.th/users/ssmarn/pplant/P0f.htm. ระบบสารสนเทศนักศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2546
3. Rotchana Prapainop and Kuntinee Maneeratana. Simulation of ice formation by the finite volume method. Songklanakarin Journal. vol. 26, no.1, Jan - Feb 2004: pp. 55-70.
4. Kuntinee Maneeratana. Simulation of ice formation by the unstructured finite volume method. Preceedings of E-NETT 1, Chonburi, May 2005: pp. 1-6.
5. ชูชัย ต.ศิริวัฒนา. การทำความเย็นและการปรับอากาศ. พิมพ์ครั้งที่ 4. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), มิถุนายน 2547: หน้า 39-41
6. Morf, M. and Kailath, T. Square root algorithm for least squares estimation. IEEE Transactions on Automatic Control, vol. 20, 1975: pp. 487-497.
7. Ljung, L. Recursive techniques for identifying dynamic systems. Kompass, E.J. and Williams, T.J. editors. On-line Process Simulation Techniques in Industrial Control. Proceedings of the 11th Annual Advanced Control Conference, West Lafayette IN, 30 Sep – 2 Oct 1985: pp. 1-10.
8. Lalo Magni and Riccardo Scattolini. Model Predictive Control of Continuous-Time Nonlinear Systems With Piecewise Constant Control. IEEE Transactions on Automatic Control. vol. 49, no.6, June 2004: pp. 900-906.
9. สิริภา จุลกาญจน์, แนบบุญ หุนเจริญ, เดวิด บรรเจิดพงศ์ชัย. การพยากรณ์ความต้องการและสมรรถนะของระบบควบคุมการผลิตน้ำแข็งซอง. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 28 , ตุลาคม 2548: หน้า 1325-1328.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวธิติมา เลิศปิยะ เกิดวันที่ 4 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2525 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2546 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2547

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย