

การวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริด

นายณัฐดนัย มีแสง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)

เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)

are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

GENERATION UNIT COMMITMENT OF COMBINED HEAT AND POWER
IN MICROGRID

Mr. Natdhanai Meesaeng

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 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้า
และความร้อนในไมโครกริด

โดย

นายณัฐดนัย มีแสง

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

อาจารย์ ดร. สุรัชย์ ชัยทัศน์ีย์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศธีรวัฒน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แนบบุญ หุ่นเจริญ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(อาจารย์ ดร.สุรัชย์ ชัยทัศน์ีย์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลยศ อุดมวงศ์เสวี)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ฐิติพร สังข์เพชร)

ณัฐดนัย มีแสง : การวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริด (GENERATION UNIT COMMITMENT OF COMBINED HEAT AND POWER IN MICROGRID) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อ.ดร.สุรัชย์ ชัยทัศนีย์, 142 หน้า.

ในปัจจุบันได้เกิดแนวคิดระบบไมโครกริดมากขึ้นและมีการส่งเสริมเทคโนโลยีระบบผลิตไฟฟ้าให้ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นกล่าวคือ นอกจากผลิตไฟฟ้าแล้วยังต้องนำพลังงานความร้อนที่เหลือจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าไปใช้ประโยชน์ เทคโนโลยีดังกล่าวคือ เทคโนโลยีระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน ซึ่งได้ถูกนำมาใช้ในระบบไมโครกริดมากขึ้น อย่างไรก็ตาม เมื่อมีการนำเทคโนโลยีระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนมาใช้ จะต้องมีการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนให้เหมาะสม วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอวิธีการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริดโดยใช้วิธีขั้นตอนทางพันธุกรรมในการแก้ปัญหา โดยได้ทำการทดสอบวิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์กับระบบทดสอบไมโครกริดที่ดัดแปลงจากระบบจริงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ผลลัพธ์ที่ได้เป็นที่น่าพอใจ

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา.....2554.....

5270668321 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS : MICROGRID / CHP / HEAT LOAD / UNIT COMMITMENT / ECONOMIC
DISPATCH / GENETIC ALGORITHM / QUADRATIC PROGRAMMING

NATDHANAI MEESAENG: GENERATION UNIT COMMITMENT OF COMBINED
HEAT AND POWER IN MICROGRID. ADVISOR: SURACHAI CHAITUSANEY,
Ph.D., 142 pp.

At present, the concept of microgrid has come up and power generation technologies to use energy more efficiently has been promoted. The heat generated from the production of electricity can be used to produce electricity or to supply directly to the users. This technology is called combined heat and power (CHP). Suitable planning to commit generators can make benefits to power producers and users. Therefore, this thesis presents generation unit commitment of combined heat and power in microgrid using genetic algorithm. The proposed method has been demonstrated with a modified microgrid system of the Provincial Electricity Authority (PEA). Satisfactory results have been obtained.

Department : Electrical Engineering

Student's Signature

Field of Study : Electrical Engineering

Advisor's Signature

Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร.สุรชัย ชัยทัศนีย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบ แก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จเรียบร้อย และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แนบบุญ หุนเจริญ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลยศ อุดมวงศ์เสรี และ ดร.ฐิติพร สังข์เพชร ที่ได้เสียสละเวลาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี รวมทั้งขอขอบคุณ สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ช่วยสนับสนุนทุนในการทำวิจัย และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์นี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้กำลังใจตลอดมารวมถึง พี่ น้อง ญาติๆ และเพื่อนๆ ทุกคน ที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฐ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	4
1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	4
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์.....	5
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	5
บทที่ 2 ไมโครกริด.....	6
2.1 ความหมายและความสำคัญของไมโครกริด.....	6
2.2 คุณลักษณะของไมโครกริด.....	8
2.2.1 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมาก.....	8
2.2.2 ภาระทางความร้อน.....	8
2.2.3 แหล่งเก็บพลังงานสำรอง.....	9
2.2.4 ระบบควบคุมการจัดการไมโครกริด.....	9
2.3 ความแตกต่างระหว่างไมโครกริดกับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่.....	10
2.4 ไมโครกริดในปัจจุบัน.....	10
บทที่ 3 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมาก.....	12
3.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน.....	12
3.1.1 นิยามของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน.....	12

	หน้า
3.1.2 เทคโนโลยีระบบของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน.....	13
3.1.3 การผลิตความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความ ร้อน.....	17
3.1.4 ความร้อนสูญเสียในท่อส่งความร้อน.....	18
3.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	19
3.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม.....	20
บทที่ 4 ทฤษฎีพื้นฐานการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	20
4.1 การวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	20
4.2 การจัดสรรกำลังการผลิต.....	21
4.3 วิธีการค้นหาคำตอบในการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	22
บทที่ 5 การจัดสรรกำลังผลิตในไมโครกริดที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความ ร้อน.....	24
5.1 การวิเคราะห์ระบบด้วยการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า.....	24
5.2 การจัดสรรกำลังผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน.....	27
5.2.1 นิยามตัวแปร.....	28
5.2.2 การประมาณฟังก์ชันแบบเชิงเส้น.....	30
5.2.3 รูปแบบฟังก์ชันในการแก้ปัญหาการจัดสรรกำลังการผลิต.....	35
บทที่ 6 การวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนใน ไมโครกริด.....	36
6.1 นิยามตัวแปร.....	36
6.2 ปัญหา.....	37
6.3 ระเบียบวิธีในการแก้ปัญหา.....	39
บทที่ 7 การทดสอบวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนใน ไมโครกริด.....	53
7.1 การทดสอบวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบท่าทรายในช่วงวันหยุด.....	55
7.1.1 กรณีระบบไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองและภาวะทางความร้อน.....	56

7.1.2 กรณีระบบไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองแต่มีภาระทางความร้อน.....	60
7.1.3 กรณีระบบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองและภาระทางความร้อน.....	67
7.1.4 กรณีระบบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาดต่างๆ และภาระทางความร้อน.....	75
7.2 การทดสอบวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบทำทราย์ในช่วงวันทำงาน.....	88
7.2.1 กรณีระบบไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองและภาระทางความร้อน.....	89
7.2.2 กรณีระบบไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองแต่มีภาระทางความร้อน.....	93
7.2.3 กรณีระบบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองและภาระทางความร้อน.....	100
7.2.4 กรณีระบบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาดต่างๆ และภาระทางความร้อน.....	108
บทที่ 8 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	121
8.1 สรุปผลการวิจัย.....	121
8.2 ข้อเสนอแนะ.....	122
รายการอ้างอิง.....	123
ภาคผนวก.....	125
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	142

สารบัญญัตราสาร

ตารางที่		หน้า
2.1	วัตถุประสงค์ของไมโครกริดในแต่ละประเทศ.....	11
3.1	สัดส่วนในการผลิตไฟฟ้าและความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP.....	17
4.1	แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	20
6.1	ตัวอย่างสัดส่วนความเหมาะสมของโครโมโซม.....	46
7.1	ชนิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ.....	54
7.2	แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.1.....	56
7.3	กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.1.....	57
7.4	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.1.....	59
7.5	แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.2.....	60
7.6	กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.2.....	61
7.7	ความร้อนที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP กรณีทดสอบ 7.1.2.....	63
7.8	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.2.....	65
7.9	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.1 และ 7.1.2.....	66
7.10	แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.3.....	67
7.11	กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.3.....	68
7.12	การทำงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.1.3.....	69
7.13	ความร้อนที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP กรณีทดสอบ 7.1.3.....	71
7.14	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.3.....	72
7.15	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.2 และ 7.1.3.....	73
7.16	แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.4.1.....	75
7.17	กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.4.1.....	76
7.18	การทำงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.1.4.1.....	77
7.19	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.4.1.....	78
7.20	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.3 และ 7.1.4.1.....	80
7.21	แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.4.2.....	81
7.22	กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.4.2.....	82
7.23	การทำงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.1.4.2.....	83

ตารางที่		หน้า
7.24	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.4.2.....	84
7.25	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.4.1 และ 7.1.4.2.....	86
7.26	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.3 และ 7.1.4.....	87
7.27	แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.1.....	89
7.28	กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.1.....	90
7.29	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.1.....	92
7.30	แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.2.....	93
7.31	กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.2.....	94
7.32	ความร้อนที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP กรณีทดสอบ 7.2.2.....	96
7.33	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.2.....	98
7.34	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.1 และ 7.2.2.....	99
7.35	แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.3.....	100
7.36	กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.3.....	101
7.37	การทำงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.2.3.....	102
7.38	ความร้อนที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP กรณีทดสอบ 7.2.3.....	104
7.39	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.3.....	105
7.40	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.2 และ 7.2.3.....	106
7.41	แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.4.1.....	108
7.42	กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.4.1.....	109
7.43	การทำงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.2.4.1.....	110
7.44	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.4.1.....	111
7.45	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.3 และ 7.2.4.1.....	113
7.46	แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.4.2.....	114
7.47	กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.4.2.....	115
7.48	การทำงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.2.4.2.....	116
7.49	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.4.2.....	117
7.50	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.4.1 และ 7.2.4.2.....	118

ตารางที่		หน้า
7.51	ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.3 และ 7.2.4.....	120
ก.1	ข้อมูลบัส.....	127
ก.2	ข้อมูลสายส่ง.....	128
ก.3	ชนิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	129
ก.4	ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	130
ก.5	ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน (CHP).....	130
ก.6	ข้อมูลต่อส่งความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน.....	131
ก.7	ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	131
ก.8	ข้อมูลอุณหภูมิและความเข้มแสงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	132
ก.9	ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม.....	133
ก.10	ข้อมูลความเร็วลมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม.....	133
ก.11	ข้อมูลแหล่งเก็บพลังงานสำรอง.....	134
ก.12	ข้อมูลภาระทางไฟฟ้า.....	134
ก.13	ข้อมูลภาระทางความร้อน.....	135

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ไมโครกริดตัวอย่าง.....	10
3.1	การทำงานของกังหันไอน้ำ.....	14
3.2	การทำงานของกังหันแก๊ส.....	15
3.3	การทำงานของกังหันแก๊สขนาดเล็ก.....	15
3.4	การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง.....	16
3.5	การผลิตกำลังไฟฟ้าและความร้อนของ CHP.....	17
3.6	ท่อส่งความร้อน.....	18
4.1	ตัวอย่างระบบไฟฟ้ากำลังทั่วไป.....	20
4.2	ตัวอย่างระบบไฟฟ้ากำลังทั่วไป.....	21
5.1	บัสในระบบไฟฟ้ากำลัง.....	24
5.2	กำลังไฟฟ้าปรากฏในสายส่ง.....	32
6.1	การลงรหัสตัวแปรเป็นเลขจำนวนเต็มแล้วแปลงเป็นเลขฐานสอง.....	41
6.2	ตัวอย่างโครโมโซมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความยาว 48 บิต.....	41
6.3	ตัวอย่างโครโมโซมของแหล่งเก็บพลังงานสำรองความยาว 24 บิต.....	41
6.4	ขั้นตอนการประเมินค่าความเหมาะสม.....	45
6.5	การคัดเลือกวิธีวงล้อรูเล็ตต์.....	46
6.6	การข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์.....	48
6.7	การข้ามสายพันธุ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	48
6.8	การข้ามสายพันธุ์ของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง.....	49
6.9	การผ่าเหล่าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	50
6.10	การผ่าเหล่าของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง.....	51
6.11	ขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีพันธุกรรม.....	52
7.1	แผนภาพเส้นเดียวของระบบท่าทราย.....	53
7.2	ภาระทางไฟฟ้าในช่วงวันหยุด.....	55
7.3	ภาระทางความร้อนในช่วงวันหยุด.....	55
7.4	กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.1.....	58
7.5	กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.2.....	62

ภาพที่	หน้า
7.6 ความร้อนที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP กรณีทดสอบ 7.1.2.....	64
7.7 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.1.3.....	70
7.8 ความร้อนที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP กรณีทดสอบ 7.1.3.....	72
7.9 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.1.4.1.....	78
7.10 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.1.4.2.....	84
7.11 ภาระทางไฟฟ้าในช่วงวันทำงาน.....	88
7.12 ภาระทางความร้อนในช่วงวันทำงาน.....	88
7.13 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.1.....	91
7.14 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.2.....	95
7.15 ความร้อนที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP กรณีทดสอบ 7.2.2.....	97
7.16 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.1.3.....	103
7.17 ความร้อนที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP กรณีทดสอบ 7.2.3.....	105
7.18 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.2.4.1.....	111
7.19 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.2.4.2.....	116
ก.1 แผนภาพเส้นเดี่ยวของระบบท่าทราย.....	126
ข.1-1 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบกรณี 7.1.1.....	137
ข.1-2 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบกรณี 7.1.2.....	137
ข.1-3 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบกรณี 7.1.3.....	138
ข.1-4 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบกรณี 7.1.4.1.....	138
ข.1-5 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบกรณี 7.1.4.2.....	139
ข.2-1 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบกรณี 7.2.1.....	139
ข.2-2 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบกรณี 7.2.2.....	140
ข.2-3 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบกรณี 7.2.3.....	140

ภาพที่		หน้า
ข.2-4	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบกรณี 7.2.4.1.....	141
ข.2-5	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบกรณี 7.2.4.2.....	141

บทที่ 1

บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของการวิจัย ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ และในหัวข้อสุดท้ายจะเป็นการกล่าวถึงเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในแต่ละบทที่จะนำเสนอต่อไป

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การผลิตไฟฟ้าในประเทศไทยเป็นการผลิตแบบรวมศูนย์ (Centralized generation) โดยใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ถ่านหินและก๊าซธรรมชาติเป็นหลัก ถ้าไม่คำนึงถึงข้อเสียด้านมลภาวะจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ข้อดีของการผลิตไฟฟ้าแบบรวมศูนย์ จะเป็นการผลิตไฟฟ้าปริมาณมากจากโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ ทำให้มีความคุ้มทุนเชิงเศรษฐศาสตร์และมีเสถียรภาพการผลิตไฟฟ้าสูง การจ่ายไฟฟ้าไปสู่ผู้บริโภคนั้นจะส่งไฟฟ้าที่ผลิตได้ผ่านโครงข่ายไฟฟ้าที่แรงดันไฟฟ้าระดับต่างๆ คือโรงไฟฟ้ารวมศูนย์ขนาดใหญ่ผลิตไฟฟ้าแรงดันสูงส่งเข้าระบบสายส่งไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตสถานีไฟฟ้าย่อยทำการลดแรงดันไฟฟ้าลง เพื่อจ่ายเข้าระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคและระบบจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงในระดับแรงดันที่ต่ำลง และทำที่สุดผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าขนาดเล็กเพื่อลดแรงดันไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าขนาดเล็กที่สุดตามบ้านเรือนต่างๆ การผลิตและจ่ายไฟฟ้าแบบรวมศูนย์ ซึ่งเป็นการจ่ายไฟฟ้าแบบทางเดียวจากผู้ผลิตสู่ผู้บริโภคนั้น ปริมาณไฟฟ้าที่จะผลิตจะต้องสัมพันธ์กับภาระความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้ ซึ่งจะมีความหลากหลายทั้งในแง่ของช่วงเวลาของความต้องการไฟฟ้า หรือตำแหน่งที่อยู่ของผู้ใช้ซึ่งกระจายอยู่ทั่วประเทศ ดังนั้น ข้อเสียของการจ่ายไฟฟ้าผ่านเครือข่ายจากโรงจักรไฟฟ้าขนาดใหญ่ คือการสูญเสียพลังงานตามสายส่ง ในกรณีที่ผู้บริโภคอยู่ไกลจากโรงไฟฟ้าและเนื่องจากเป็นระบบผลิตขนาดใหญ่ จึงมีปัญหาด้านอัตราการตอบสนองต่อความต้องการกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงของผู้ใช้ ซึ่งโดยปกติแล้วจะมีลักษณะหลากหลายและบ่อยครั้งมักมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วในบางช่วงเวลา ระบบผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ไม่สามารถกักเก็บพลังงานไฟฟ้าได้ ดังนั้น ระบบส่งไฟฟ้าขนาดใหญ่ จึงไม่มีการบริหารจัดการด้านพลังงานสะสมเพื่อรองรับ หรือชดเชยอัตราการการเปลี่ยนแปลงภาระทางไฟฟ้าของผู้ใช้ และข้อเสียประการสุดท้ายที่เห็นได้ชัดคือข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพในการใช้เชื้อเพลิงเพื่อผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่จะไม่สูงนัก เนื่องจากพลังงานส่วนใหญ่ของเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า จะเปลี่ยนรูปไปเป็นความร้อนที่ปล่อยออกสู่อากาศ โดยไม่ได้นำกลับมาใช้แต่อย่างใด

อย่างไรก็ตามในปัจจุบันเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าได้พัฒนาให้มีการใช้เชื้อเพลิงอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นและมีราคาต่ำลงกว่าในอดีต โดยสามารถผลิตไฟฟ้าและผลิตความร้อนเพื่อส่งไปยังโรงงานอุตสาหกรรมหรือสถานที่ๆ ต้องการใช้พลังงานทางความร้อนไปใช้ประโยชน์ เทคโนโลยีดังกล่าวเรียกว่า ระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน (Combined heat and power) เครื่องต้นกำลังของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนที่ใช้ในปัจจุบันได้แก่ กังหันไอน้ำ กังหันแก๊ส กังหันแก๊สขนาดเล็ก เครื่องยนต์สันดาปภายใน และเซลล์เชื้อเพลิง โดยสามารถเลือกใช้เชื้อเพลิงได้หลากหลายในการผลิตไฟฟ้า และเนื่องจากเทคโนโลยีระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนมีขนาดเล็กมาก ทำให้ผู้ใช้มีอิสระที่จะเลือกตำแหน่งการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าที่ใกล้กับภาระทางไฟฟ้าและภาระทางความร้อน ซึ่งสามารถนำความร้อนทิ้งจากระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนนี้ไปใช้งานได้โดยตรง ทำให้สามารถใช้พลังงานจากแหล่งเชื้อเพลิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การพัฒนาเทคโนโลยีด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลังยังเปิดโอกาสในการนำเทคโนโลยีพลังงานหมุนเวียนให้สามารถเชื่อมต่อกับระบบกริดไฟฟ้าแบบกระจายศูนย์ได้ ซึ่งการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคโนโลยีที่ใช้พลังงานหมุนเวียนมีข้อได้เปรียบเหนือการผลิตไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในเชิงการลดสภาวะโลกร้อนและการปลดปล่อยก๊าซมลภาวะ เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าเหล่านี้ที่กล่าวมานั้นสามารถทำให้เกิดเป็นไมโครกริด (Micro Grid) ขึ้น ซึ่งหมายถึงการเชื่อมต่อระหว่างกลุ่มผู้ผลิตไฟฟ้าย่อยเล็กกับกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ไม่ไกลจากกันหรือเรียกว่าระบบอิสระขนาดเล็ก

หลักการสำคัญของการผลิตไฟฟ้าด้วยไมโครกริด คือการสร้างสมดุลระหว่างการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากดังกล่าวข้างต้นให้เพียงพอกับภาระทางไฟฟ้า หรือในกรณีที่ระบบไมโครกริดมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนและมีภาระทางความร้อนเป็นองค์ประกอบภายในไมโครกริดก็จะสร้างสมดุลระหว่างการผลิตไฟฟ้าและความร้อนจากระบบผลิตให้เพียงพอกับภาระทางไฟฟ้าและภาระทางความร้อน โดยขนาดของระบบผลิตไฟฟ้ามีขนาดใกล้เคียงกับภาระทางไฟฟ้าของไมโครกริดนั้นๆ แนวคิดดังกล่าว จะอนุญาตให้ผู้ใช้และผู้ผลิตไฟฟ้าภายในไมโครกริดใดๆ สามารถผลิตและใช้ไฟฟ้า ในขณะที่มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่หรือไมโครกริดอื่นๆ ได้ ซึ่งไมโครกริดจะมองเห็นการเชื่อมต่อนั้นๆ เป็นแหล่งกำเนิดหรือภาระไฟฟ้าอีกแหล่งหนึ่งที่เพิ่มเข้ามา หรือจ่ายออกไปนั่นเอง

เนื่องจากไมโครกริดเป็นระบบไฟฟ้าที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอิสระขนาดเล็กซึ่งมีลักษณะการผลิตไฟฟ้าที่แตกต่างกัน อีกทั้งผู้ใช้ในไมโครกริดอาจประกอบด้วยผู้ใช้ที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว หรือผู้ใช้ที่มีความต้องการใช้ทั้งไฟฟ้าและความร้อน จึงต้องมีศูนย์ควบคุมสั่งการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างๆ ในระบบ เพื่อให้เกิดประโยชน์ต่อผู้ผลิตและผู้ใช้มากที่สุด ดังนั้นศูนย์ควบคุมดังกล่าวจะต้องมีการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เหมาะสม การวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดจะแตกต่างจากการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าขนาด

ใหญ่ [1] ทั่วไป เนื่องจากระบบทั้งสองมีองค์ประกอบที่แตกต่างกันดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น มีนักวิจัยทำการศึกษาและนำเสนอบทความวิจัยเกี่ยวกับการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริด ได้แก่ H.Z.Liang [2] N.M.Muhamad Razali [3] T.Logenthiran [4] และ Bo Lu [5] อย่างไรก็ตาม บทความเหล่านี้ไม่ได้พิจารณาระบบไมโครกริดที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนและภาระทางความร้อนเป็นองค์ประกอบ

การวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดแต่ละช่วงเวลาจะอาศัยกระบวนการจัดสรรกำลังการผลิตเพื่อหาลำดับผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างๆ อย่างเหมาะสม มีนักวิจัยทำการศึกษาและนำเสนอบทความวิจัยเกี่ยวกับการจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าในไมโครกริด ได้แก่ X.Liu [6] F.Katiraei [7] Faisal A. Mohamed [8] และ H.S.V.S. Kumar Nunna [9] อย่างไรก็ตาม บทความเหล่านี้ไม่ได้พิจารณาระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนและภาระทางความร้อนเป็นองค์ประกอบเช่นบทความของ E.Alvarez [10] Carlos A. Hernandez-Aramburo [11] และ Nidul Sinha [12] เป็นต้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้นำเสนอการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริด ซึ่งมีวัตถุประสงค์คือหาแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไมโครกริดที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน ที่มีค่าใช้จ่ายในการผลิตของระบบผลิตน้อยที่สุด โดยที่กำลังไฟฟ้าและความร้อนที่ผลิตได้จะต้องเพียงพอต่อภาระทางใช้ไฟฟ้าและภาระทางความร้อนของภายในไมโครกริดนั้นๆ หลักการและวิธีการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะประยุกต์ใช้ขั้นตอนทางพันธุกรรม (Genetic algorithm) [13] ในการค้นหาคำตอบ ส่วนหลักการและวิธีการจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าซึ่งเป็นปัญหาภายในของการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะประยุกต์ใช้กระบวนการแก้ปัญหาค่าขีดสุดแบบควอดราติก (Quadratic programming) [14] ในการค้นหาคำตอบ ซึ่งได้ทำการทดสอบวิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์กับระบบไฟฟ้าจริงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ได้ทำการดัดแปลงระบบให้เป็นระบบไมโครกริด โดยในระบบทดสอบจะประกอบด้วยแหล่งผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ภาระทางความร้อน และแหล่งเก็บพลังงานสำรอง

1.2 วัตถุประสงค์

พัฒนาวิธีการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริด

1.3 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

1. พิจารณาระบบส่งไฟฟ้ากำลังในสถานะอยู่ตัว
2. พิจารณาเงื่อนไขการทำงานของระบบ เช่น พิกัดของแรงดันที่บัส พิกัดของสายส่ง และพิกัดการจ่ายกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
3. พิจารณาดันทุนที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเท่านั้น

4. ไม่พิจารณาอัตราการตัดช่องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
5. ไม่พิจารณาความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม และความคลาดเคลื่อนของภาระทางไฟฟ้า
6. ประยุกต์ใช้ขั้นตอนทางพันธุกรรมในการแก้ปัญหาการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และประยุกต์ใช้ Quadratic programming ในการแก้ปัญหาการจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริด
7. ออกแบบโปรแกรมโดยใช้โปรแกรม MATLAB สำหรับใช้ในการทดสอบกับระบบทดสอบ

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน

1. ศึกษาคุณลักษณะและผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากไมโครกริด
2. ศึกษาวิธีการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการจัดสรรกำลังการผลิตในระบบผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่
3. ศึกษาวิธีการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการจัดสรรกำลังการผลิตในระบบผลิตไฟฟ้าในไมโครกริด
4. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่และระบบผลิตไฟฟ้าในไมโครกริด
5. ศึกษาวิธีการประยุกต์ใช้วิธีขั้นตอนทางพันธุกรรมและ Quadratic programming ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด
6. พัฒนาระบบขั้นตอนทางพันธุกรรมในการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และ Quadratic programming ในการจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าจากระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากในไมโครกริด ตามวิธีการที่ได้ออกแบบไว้โดยอาศัยโปรแกรม MATLAB
7. ทดสอบสมรรถนะของโปรแกรมการที่ออกแบบไว้กับระบบทดสอบ
8. วิเคราะห์ผล และสรุปงานวิจัย
9. เรียบเรียงงานวิจัย จัดพิมพ์ผลงานเพื่อทำการเสนอให้กับคณะกรรมการ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

1. วิธีวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริด
2. สามารถนำวิธีวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้นำเสนอไปประยุกต์ใช้กับระบบไมโครกริดได้

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

บทที่ 1 กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขต ขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงความหมายและความสำคัญของไมโครกริด คุณลักษณะหรือองค์ประกอบของไมโครกริด และความแตกต่างระหว่างไมโครกริดกับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ทั่วไป

บทที่ 3 กล่าวถึงแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่เป็นองค์ประกอบภายในระบบไมโครกริด ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม

บทที่ 4 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าทั่วไป

บทที่ 5 กล่าวถึงการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังด้วยการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

บทที่ 6 กล่าวถึงหลักการและขั้นตอนการจัดสรรกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริด ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของปัญหาการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริด โดยประกอบด้วย นิยามตัวแปร การประมาณฟังก์ชันแบบเชิงเส้น และรูปแบบฟังก์ชันในการแก้ปัญหาการจัดสรรกำลังการผลิต

บทที่ 7 กล่าวถึงหลักการและขั้นตอนการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริด ซึ่งเป็นปัญหาหลักของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยประกอบด้วย นิยามตัวแปร ปัญหา และระเบียบวิธีในการแก้ปัญหาการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

บทที่ 8 กล่าวถึงการทดสอบวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริด โดยทำการทดสอบกับระบบจริงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคที่ได้ทำการดัดแปลงระบบให้เป็นระบบไมโครกริด โดยในระบบทดสอบจะประกอบด้วยแหล่งผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ภาระทางความร้อน และแหล่งเก็บพลังงานสำรอง

บทที่ 9 กล่าวถึงการสรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

บทที่ 2

ไมโครกริด (Micro Grid)

ในหัวข้อนี้จะแนะนำให้ทราบถึงนิยามของไมโครกริด ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่สำคัญ ได้แก่ ความหมายและความสำคัญของไมโครกริด คุณลักษณะของไมโครกริด ความแตกต่างระหว่างไมโครกริดกับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ และไมโครกริดในปัจจุบัน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ความหมายและความสำคัญของไมโครกริด

ในการพัฒนาประเทศ พลังงานไฟฟ้าถือเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญมาก จากความกดดันในด้านความผันผวนของราคาเชื้อเพลิงฟอสซิล ความสนใจในปัญหาสิ่งแวดล้อม เช่น จากพันธกรณีของพิธีสารเกียวโต [15] ซึ่งมีเนื้อหาเกี่ยวกับการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกเพื่อป้องกันและบรรเทาปัญหาโลกร้อน (Global warming) และแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการผลิตไฟฟ้าจากการเปิดเสรีทางพลังงาน (Energy deregulation) ทำให้ความสนใจเกี่ยวกับการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานธรรมชาติ หรือพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy resources) เช่น พลังงานชีวมวล พลังงานแสงอาทิตย์หรือพลังงานลม เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม อุปกรณ์ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานธรรมชาติเหล่านี้ โดยทั่วไปแล้วกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะมีปริมาณที่ผันผวนเป็นอย่างมาก จึงทำให้เกิดความกังวลเกี่ยวกับผลกระทบในแง่ลบทั้งในด้านของคุณภาพไฟฟ้าและความเชื่อถือได้ของระบบในกรณีที่มีการนำแหล่งกำเนิดไฟฟ้าเหล่านี้จำนวนมากเข้ามาต่อกับระบบไฟฟ้า (Grid connected distributed generation) จึงได้มีการนำเสนอแนวทางการผลิตและส่งจ่ายไฟฟ้าภายในพื้นที่สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดเล็กโดยใช้แหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก เช่น ไมโครเทอร์โบ หรือเซลล์เชื้อเพลิง รวมทั้ง การผลิตไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหมุนเวียน หรือรวมเรียกว่าแหล่งกำเนิดไฟฟ้า ณ จุดใช้งาน (Distributed energy resource, DER) เพื่อปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าและตอบสนองการเปลี่ยนแปลงที่ตามมาจากการเปิดเสรีด้านพลังงานไฟฟ้า เรียกว่าแนวคิดไมโครกริด หรือ Micro Grid Concept โดยถูกนำเสนอภายใต้โครงการ CERTS (Consortium for electric reliability technology solutions) ในสหรัฐอเมริกา ปี ค.ศ. 2002 ในยุโรป ปี ค.ศ. 2003 และในญี่ปุ่น ปี ค.ศ. 2003-2007 ภายใต้แนวคิดนี้ทั้งแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กและไหลดภายในพื้นที่จะถูกมองรวมเป็นระบบอิสระขนาดเล็กระบบหนึ่ง ซึ่งให้ทั้งกำลังไฟฟ้าและความร้อน

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นได้มีนักวิจัย [16] ให้คำจำกัดความของไมโครกริดไว้ว่า ไมโครกริดหมายถึง การเชื่อมต่อระหว่างกลุ่มผู้ผลิตไฟฟ้าย่อยเล็กมากกับกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ไม่ไกลจากกันในระบบจำหน่าย มีวัตถุประสงค์คือ ผลิตกำลังไฟฟ้าและความร้อนจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก

มากโดยใช้วัตถุดิบจากแหล่งพลังงานธรรมชาติ หรือพลังงานหมุนเวียน เพื่อตอบสนองภาระการใช้ไฟฟ้าและความร้อนของกลุ่มผู้ใช้ภายในบริเวณใกล้เคียงกับแหล่งผลิต เช่น โรงเรียน มหาวิทยาลัย โรงพยาบาล และโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

จากแนวคิดไมโครกริด แหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กส่วนใหญ่ในไมโครกริดนี้จะต้องประกอบขึ้นจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเพื่อความยืดหยุ่นในการทำงานและการควบคุม ในสภาวะที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังหลัก (Main grid) ไมโครกริดจะสามารถปลดตัวเองออกจากระบบไฟฟ้ากำลังหลัก และทำงานในแบบแยกตัวอิสระ (Island) ได้อย่างอัตโนมัติ และสามารถเชื่อมต่อกลับเข้าไปกับระบบไฟฟ้ากำลังหลักได้เมื่อความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังหลักได้รับการแก้ไขไปแล้ว ไมโครกริดจะถูกมองเป็นระบบควบคุมหน่วยหนึ่งจากระบบไฟฟ้ากำลังหลัก และจะไม่สร้างปัญหาเช่นการกระเพื่อมของแรงดันไฟฟ้า การแกว่งไกวของความถี่ไฟฟ้า เป็นต้น ให้กับระบบไฟฟ้ากำลังหลัก ไมโครกริดที่มีคุณสมบัตินี้ถูกนิยามให้เป็นพลเมืองดี (Good citizen) ของระบบกำลังไฟฟ้าหลัก ในขณะที่เดียวกันไมโครกริดยังสามารถช่วยสนับสนุนการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังหลักได้ในลักษณะของบริการเสริม (Ancillary service) เช่น การให้บริการคุณภาพไฟฟ้าชั้นเยี่ยม (Premium power) การรักษาระดับแรงดันไฟฟ้า (Voltage support) เป็นต้น ไมโครกริดที่มีคุณสมบัตินี้ถูกนิยามให้เป็นพลเมืองตัวอย่าง (Model citizen) ของระบบไฟฟ้ากำลังหลัก

เนื่องจากไมโครกริดไม่ได้มุ่งหมายเพื่อการขายไฟฟ้าเข้ากับระบบไฟฟ้ากำลังหลัก หากแต่มุ่งเน้นการผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าในพื้นที่ของตนเอง การเพิ่มขึ้นของไมโครกริด รวมถึง DER จะไม่ทำให้เกิดปัญหากับระบบไฟฟ้ากำลังหลัก ในขณะที่เดียวกันก็ช่วยเสริมความมั่นคงของการส่งจ่ายไฟฟ้า รวมทั้งความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าและคุณภาพไฟฟ้าในพื้นที่ของไมโครกริด ความต้องการเสริมความมั่นคงทางพลังงานของประเทศก็จะได้รับการตอบสนอง ขณะที่ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากการผลิตไฟฟ้านั้นก็ลดลงจากการใช้พลังงานหมุนเวียน และประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยรวมที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้เนื่องจาก DER มีขนาดเล็กการวางแผนและติดตั้งจึงใช้เวลาและค่าใช้จ่ายน้อยกว่าระบบการผลิตขนาดใหญ่ จึงมีส่วนช่วยกระจายความเสี่ยงของการลงทุนด้านการผลิตไฟฟ้าได้อีกทางหนึ่ง จากที่กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปความสำคัญของแนวคิดไมโครกริดได้ดังนี้

1. การลดค่าใช้จ่ายทางพลังงานหรือค่าเชื้อเพลิงลง
2. การรักษาความมั่นคงทางพลังงาน
3. การรักษาคุณภาพกำลังไฟฟ้าและความน่าเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า
4. การลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
5. การลดระยะเวลาและค่าใช้จ่ายในการติดตั้ง

2.2 คุณลักษณะของไมโครกริด

ไมโครกริดหรือระบบไฟฟ้าอิสระขนาดเล็กมีคุณลักษณะหรือองค์ประกอบที่แตกต่างจากระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ทั่วไปดังนี้ [17]

- 1) แหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Microsources)
- 2) ภาระทางความร้อน (Heat loads)
- 3) แหล่งเก็บพลังงานสำรอง (Storage devices)
- 4) ระบบควบคุมการจัดการภายในไมโครกริด (Controller)

2.2.1 แหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Microsources)

แหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมากหมายถึง แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ไม่มากเพื่อจำหน่ายให้แก่ผู้ใช้ในบริเวณใกล้เคียง โดยใช้วัตถุดิบจากแหล่งพลังงานธรรมชาติ หรือพลังงานหมุนเวียน ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้พลังงานลม และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แหล่งกำเนิดไฟฟ้าเหล่านี้ผลิตกำลังไฟฟ้าสะอาด มีปริมาณคาร์บอนต่ำ ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักอย่างหนึ่งของไมโครกริดที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม ระบบไฟฟ้ากำลังในไมโครกริดบางแห่งมีทั้งภาระทางไฟฟ้าและภาระทางความร้อน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ทั้งกำลังไฟฟ้าและความร้อน (Combined heat and power, CHP) หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (Co-generation) จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในระบบไมโครกริด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทนี้สามารถนำความร้อนจากการผลิตไฟฟ้ามาใช้ต่อได้ซึ่งต่างจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั่วไปที่ปล่อยความร้อนทิ้งไปโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์ ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับ แหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมากจะกล่าวในบทที่ 3

2.2.2 ภาระทางความร้อน (Heat loads)

ความต้องการของผู้บริโภคหรือภาระที่ระบบผลิตในไมโครกริดจะต้องตอบสนองแบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่ ภาระทางไฟฟ้า (Electrical loads) และภาระความร้อน (Heat loads) โดยภาระทางไฟฟ้าจะเป็นกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าตามอาคารบ้านเรือนทั่วไป ส่วนภาระความร้อนจะเป็นกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการนำพลังงานทางด้านความร้อนมาใช้ในการแปรรูปวัตถุดิบต่างๆ ให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมเกี่ยวกับเคมี โรงงานอุตสาหกรรมเกี่ยวกับอาหาร โรงงานผลิตเหล็ก โรงงานผลิตกระดาษ เป็นต้น หรือสถานที่ที่ต้องการใช้ความร้อนในการประกอบอาชีพหรือใช้ในชีวิตประจำวัน ได้แก่ โรงพยาบาล โรงแรม โรงเรียน ร้านซักอบรีด เป็นต้น กลุ่มผู้ใช้พลังงานความร้อนเหล่านี้สามารถรับพลังงานความร้อนจากโรงไฟฟ้า หรือ CHP มาทางท่อลำเลียงน้ำร้อน (Hot water pipe) หรือท่อลำเลียงไอน้ำร้อน (Hot steam pipe) ซึ่งพลังงานความร้อนที่ได้นี้บางโรงงานอุตสาหกรรมสามารถนำไปใช้ได้เลย หรือนำไปเพิ่มอุณหภูมิเพื่อเข้าสู่

กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่จะต้องใช้ความร้อนสูงมากๆ ต่อไป ทำให้ลดต้นทุนในด้านของเชื้อเพลิงเป็นอย่างมาก

2.2.3 แหล่งเก็บพลังงานสำรอง (Storage devices)

ไมโครกริดเป็นระบบไฟฟ้ากำลังที่ประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าง่ายๆ อาจไม่ตอบสนองความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในไมโครกริดได้เพียงพอเมื่อเกิดเหตุขัดข้องกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าได้ขึ้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการเก็บพลังงานสำรองไว้เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้ไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง หรือช่วยยืดระยะเวลาไม่ให้เกิดเหตุไฟฟ้าดับทันทีทันใดทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้ารับมือกับเหตุการณ์ดังกล่าวได้ทัน แหล่งเก็บพลังงานสำรองที่นิยมใช้ในปัจจุบัน [17] ได้แก่ แบตเตอรี่ (Storage batteries) ล้อตุ๊กกำลัง (Flywheels) และตัวเก็บประจุไฟฟ้าชนิดอูลตรา (Ultra capacitors)

2.2.4 ระบบควบคุมการจัดการไมโครกริด (Controller)

ระบบไฟฟ้ากำลังขนาดเล็กแบบไมโครกริดต้องมีระบบควบคุมการจัดการเพื่อตอบสนองระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ในสภาวะที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังหลัก ไมโครกริดจะต้องสามารถปลดตัวเองออกจากระบบไฟฟ้ากำลังหลัก และทำงานในแบบแยกตัวอิสระได้อย่างอัตโนมัติ และสามารถเชื่อมต่อกลับเข้าไปกับระบบไฟฟ้ากำลังหลักได้เมื่อความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังหลักได้รับการแก้ไขไปแล้ว นอกจากนี้ระบบควบคุมจะต้องมีการจัดสรรกำลังการผลิตของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าต่างๆ อย่างเหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อไมโครกริดทำงานในสภาวะแยกตัวอิสระ ระบบควบคุมการจัดการไมโครกริดแบ่งเป็นระบบควบคุม 2 ระบบ ดังนี้

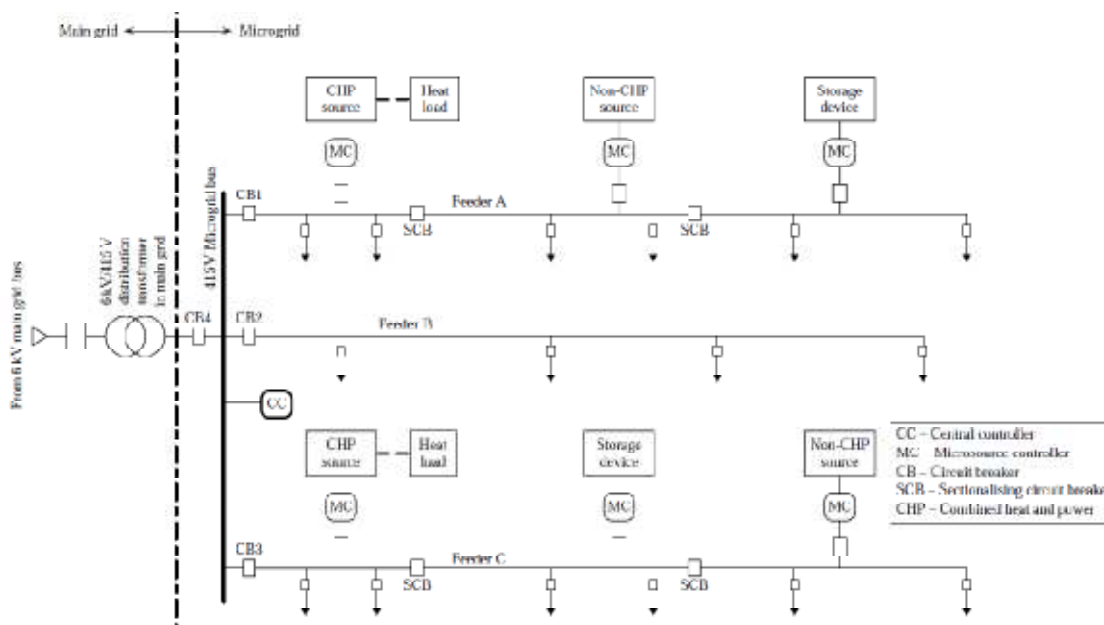
1) ระบบควบคุมแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Microsource controller, MC)

ในไมโครกริดจะมีระบบควบคุมแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมากเชื่อมต่อกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแต่ละแหล่ง เพื่อทำหน้าที่ในการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้า และรักษาระดับแรงดัน ณ จุดไหลของแหล่งกำเนิดไฟฟ้านั้นๆ เมื่อเกิดการรบกวนขึ้นในระบบ หรือภาวะไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง

2) ระบบควบคุมศูนย์กลาง (Central controller, CC)

ภายในไมโครกริดจะมีระบบควบคุมศูนย์กลางอยู่ 1 แห่ง โดยจะเชื่อมต่อระหว่างระบบไฟฟ้ากำลังหลักและไมโครกริด มีหน้าที่ในการควบคุมการทำงานทั้งหมดในไมโครกริดผ่านระบบควบคุมแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ได้แก่ รักษาระดับแรงดัน ณ จุดไหลต่างๆ ตามที่ได้กำหนดไว้ ควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้าภายในไมโครกริดให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ควบคุมการทำงานของระบบป้องกันภายในไมโครกริดให้ทำงานอย่างถูกต้อง และจัดสรรกำลังการผลิตแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กต่างๆ ให้เหมาะสม

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถแสดงตัวอย่างของไมโครกริดได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ไมโครกริดตัวอย่าง [17]

2.3 ความแตกต่างระหว่างไมโครกริดกับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่

เมื่อทราบถึงความหมายและคุณลักษณะของไมโครกริดดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น สามารถสรุปประเด็นสำคัญเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างไมโครกริดกับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ทั่วไปได้ดังนี้

- 1) แหล่งกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดมีขนาดเล็กกว่าระบบไฟฟ้าโดยทั่วไปมาก
- 2) กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กในไมโครกริดสามารถจำหน่ายไปยังระบบจำหน่ายได้โดยตรง
- 3) แหล่งกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดจะอยู่ใกล้ผู้ใช้ไฟฟ้าและความร้อนทำให้สามารถรักษาระดับแรงดัน ความถี่ และกำลังสูญเสียในระบบได้เป็นอย่างดี
- 4) สามารถกักเก็บพลังงานไฟฟ้าได้เนื่องจากมีแหล่งเก็บพลังงานไฟฟ้า
- 5) ระบบไฟฟ้ามีเสถียรภาพการน้อยกว่าระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่เมื่อเกิดเหตุขัดข้องในระบบขึ้น
- 6) ประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าสูงกว่าระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่

2.4 ไมโครกริดในปัจจุบัน

ในปัจจุบันได้มีการทดลองใช้ไมโครกริดในหลายประเทศได้แก่ สหรัฐอเมริกา สหภาพยุโรป และญี่ปุ่น โดยในแต่ละประเทศมีวัตถุประสงค์ของไมโครกริดแตกต่างกันดังต่อไปนี้ [22]

2.4.1 สหรัฐอเมริกา

เนื่องจากเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเป็นบริเวณกว้างทางฝั่งตะวันตกในปี ค.ศ. 1996 และฝั่งตะวันออกเฉียงเหนือในปี ค.ศ. 2003 ทำให้ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังและความมั่นคงในการส่งจ่ายไฟฟ้าอย่างมีเสถียรภาพเป็นหัวข้อที่สำคัญที่ได้รับความสนใจสูงมาก นอกจากนี้ ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ ระบบส่งกำลังไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ตลอดจนความต้องการในการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจุบันเหล่านี้ทำให้เกิดไมโครกริดขึ้นมา

2.4.2 สหภาพยุโรป

เนื่องจากความใส่ใจของประชาคมยุโรปต่อสิ่งแวดล้อมเพิ่มสูงขึ้น จึงส่งผลให้มีการติดตั้งแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียนในระบบไฟฟ้ากำลังเพิ่มขึ้นอย่างมาก นอกจากนี้ การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับเกาะ พื้นที่ห่างไกล เป็นต้น สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยทำให้เกิดไมโครกริดขึ้น

2.4.3 ญี่ปุ่น

การเพิ่มขึ้นของแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียนในระบบไฟฟ้ากำลัง ตลอดจนความต้องการในด้านการประหยัดพลังงาน การลดก๊าซเรือนกระจก และการนำศักยภาพของทรัพยากรในแต่ละท้องถิ่นโดยเฉพาะแหล่งพลังงานมาใช้ประโยชน์ให้เต็มที่ เป็นปัจจัยทำให้เกิดไมโครกริดขึ้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นว่า วัตถุประสงค์ของไมโครกริดในแต่ละประเทศนั้นแตกต่างกันไป ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.1 วัตถุประสงค์ของไมโครกริดในแต่ละประเทศ

ประเทศ	วัตถุประสงค์
สหรัฐอเมริกา	<ol style="list-style-type: none"> 1. เพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบให้สูงขึ้น 2. ลดการลงทุนของอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบไฟฟ้ากำลัง 3. ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของผู้ใช้ไฟฟ้า
สหภาพยุโรป	<ol style="list-style-type: none"> 1. การเพิ่มขึ้นของแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียน 2. การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับเกาะ พื้นที่ห่างไกล เป็นต้น
ญี่ปุ่น	<ol style="list-style-type: none"> 1. การเพิ่มขึ้นของแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียน 2. การประหยัดพลังงานและลดก๊าซเรือนกระจก 3. การใช้ประโยชน์ศักยภาพของทรัพยากรด้านพลังงานของแต่ละท้องถิ่น

บทที่ 3

แหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมาก

บทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมากที่เป็นองค์ประกอบในไมโครกริด โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น (1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน (2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และ (3) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม

3.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน

3.1.1 นิยามของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน [18]

ระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนหรือที่เรียกว่า ระบบ CHP มีชื่อย่อมาจาก Combined Heat and Power (ระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนรวม) มีหลักเกณฑ์สำคัญคือ นอกจากผลิตไฟฟ้าแล้วยังต้องนำพลังงานความร้อนที่เหลือจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าไปใช้ประโยชน์ อาจจะนำไปผลิตไฟฟ้าเพิ่มเติมโดยนำไปผลิตไอน้ำและผ่านไปในกังหันไอน้ำ หรือนำไปใช้เพื่อให้ความร้อนกับกระบวนการผลิตอื่น เช่น การนำความร้อนไปใช้ในกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ของโรงงานอุตสาหกรรม การนำความร้อนไปใช้ในกระบวนการทำอาหารหรือทำความสะอาด หรือนำไปใช้ในระบบทำความเย็นแทนการปล่อยทิ้งออกสู่บรรยากาศหรือแหล่งน้ำ

ประโยชน์ที่สำคัญของ CHP ก็คือ การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานนั่นเอง เมื่อนำเชื้อเพลิงจำนวนหนึ่งมาผลิตไฟฟ้า โดยปกติจะสามารถใช้ประโยชน์ของพลังงานจากเชื้อเพลิงนั้นได้เพียงจำนวนหนึ่งเท่านั้นส่วนที่เหลือจะถูกปล่อยทิ้งไปกับไอเสียของกังหันก๊าซเครื่องยนต์หรือหม้อไอน้ำ ดังนั้น ถ้าพลังงานที่เหลือนี้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ แม้จะเพียงบางส่วนก็ตาม ก็จะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้สูงขึ้น เป็นการประหยัดพลังงานซึ่งทำให้มีผลประโยชน์ตามมาอีกมากมาย ไม่ว่าจะเป็นผลทางเศรษฐกิจ ซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำลง เพื่อความสามารถในการแข่งขัน ลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ และในที่สุดก็เป็นผลดีกับระบบเศรษฐกิจ หรือผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เพราะเมื่อมีการลดการใช้พลังงาน ก็เป็นการลดการสร้างมลภาวะให้กับสิ่งแวดล้อม ลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ไนโตรเจนออกไซด์ ตลอดจนฝุ่นละอองที่จะถูกปล่อยออกสู่บรรยากาศ ประโยชน์ของ CHP ที่เห็นได้ง่ายๆ จากตัวอย่างของโรงงานอุตสาหกรรม โรงงานเหล่านี้มักใช้ไฟฟ้าจากระบบส่งและจำหน่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวง หรือการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และมักจะมีหม้อไอน้ำ (Boiler) ที่ใช้น้ำมันเตาเป็นเชื้อเพลิง โรงไฟฟ้าขนาดใหญ่หลายแห่งจะผลิตและส่งจำหน่ายมาตามระบบส่งและจำหน่าย โดยไม่มีการนำพลังงานความร้อนที่เหลือจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าไปใช้ประโยชน์ ทั้งนี้เป็นเพราะโรงงานไฟฟ้าอยู่ห่างจากแหล่งที่มีความต้องการพลังงานความร้อน พลังงานความร้อนเหลือเหล่านี้ก็กลับกลายเป็นภาระให้กับ

โรงไฟฟ้าที่ต้องกำจัดทิ้งถ้าแบ่งโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่นี้ออกเป็นโรงไฟฟ้าขนาดเล็กที่พอเหมาะกับความต้องการของโรงงานหนึ่งโรงงานใดหรือกลุ่มโรงงานแล้วย้ายโรงไฟฟ้านี้มาตั้งใกล้กับโรงงานนั้นเพื่อผลิตไฟฟ้าป้อนให้กับโรงงาน พลังงานความร้อนที่เหลือจากการผลิตไฟฟ้าก็ส่งให้โรงงานนั้นเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตของโรงงานนั้นต่อไปโรงงานนั้นก็ไม่จำเป็นต้องมีหม้อไอน้ำเป็นของตนเอง ไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงเพิ่ม ต้องการใช้น้ำเมื่อไรก็เปิดวาล์วบนท่อน้ำที่ต่อตรงมาจากโรงไฟฟ้าซึ่งอยู่ไม่ไกลจากโรงงานไม่ต้องเสียเวลาผลิตไอน้ำเอง เมื่อจะหยุดกระบวนการผลิต ก็เพียงแต่ปิดวาล์วไอน้ำ

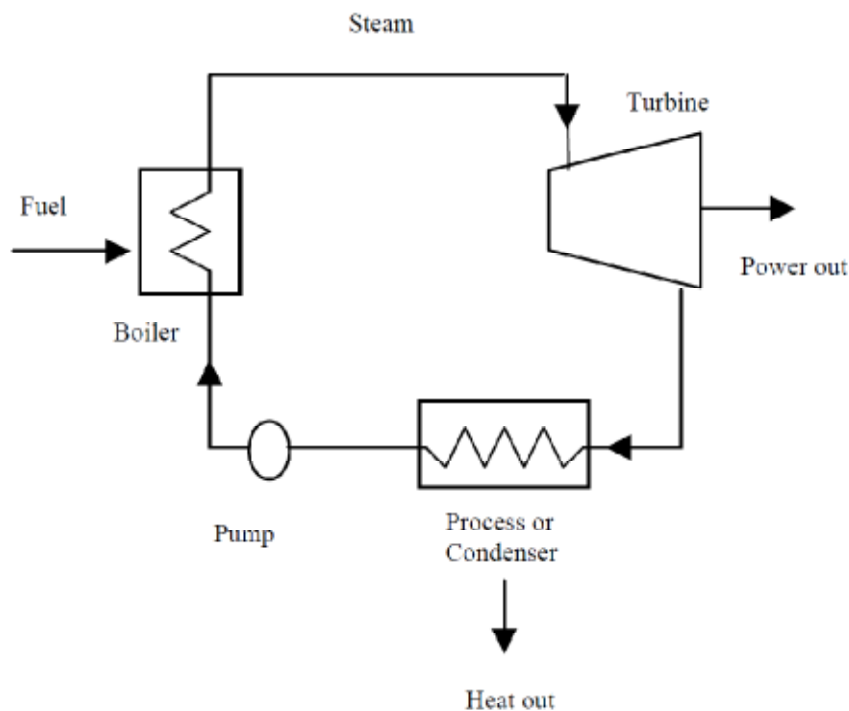
ไม่เพียงแต่โรงงานเท่านั้นที่ได้รับประโยชน์จาก CHP โรงแรม โรงพยาบาล อาคารสำนักงานก็สามารถใช้ประโยชน์จาก CHP ได้พลังงานความร้อนเหลือสามารถนำไปใช้โดยตรงในการทำความสะดวก ทำอาหารหรือนำไปใช้ในกระบวนการทำความเย็น ปัจจุบันมีการพัฒนาอุปกรณ์เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กลงและมีความคุ้มค่าทางการเงิน แต่เดิมโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่เท่านั้นที่จะมีความคุ้มค่าในเงินลงทุน โรงไฟฟ้าขนาดเล็กจะคุ้มค่ามากกว่า

3.1.2 เทคโนโลยีของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน [17, 18, 26]

เครื่องต้นกำลังของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนที่จะกล่าวถึงในที่นี้ ประกอบด้วย กังหันไอน้ำ กังหันแก๊ส กังหันแก๊สขนาดเล็ก เครื่องยนต์สันดาปภายใน และเซลล์เชื้อเพลิง ปัจจุบันเครื่องต้นกำลังทั้ง 5 ชนิด ดังกล่าว ได้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายทั้งในและต่างประเทศ เพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) กังหันไอน้ำ (Steam turbine)

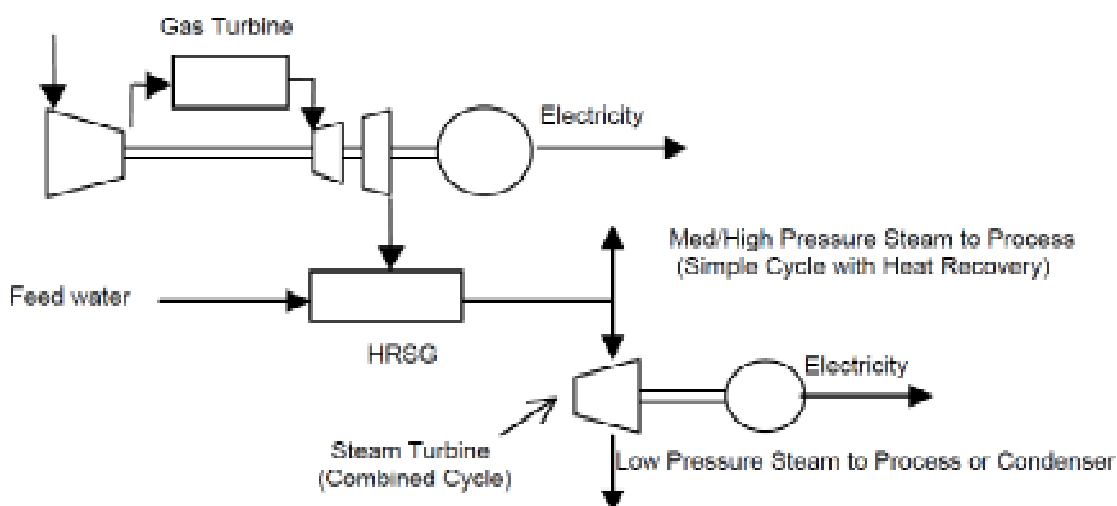
หลักการทำงานของกังหันไอน้ำจะเริ่มจากนำน้ำดิบมาบำบัดให้ได้คุณภาพตามที่กำหนด จากนั้นใช้ปั๊มน้ำส่งน้ำที่บำบัดแล้วเข้าในหม้อผลิตไอน้ำ ซึ่งจะถูกทำให้ร้อนโดยเชื้อเพลิงชีวมวล น้ำที่ร้อนจะเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอน้ำผ่านไปยังกังหันไอน้ำเพื่อให้เกิดการหมุนได้เป็นพลังงานไฟฟ้า ส่วนไอน้ำที่ออกจากกังหันไอน้ำอาจนำไปผ่านเครื่องควบแน่นเพื่อให้กลายเป็นน้ำแล้วกลับเข้าในหม้อผลิตไอน้ำอีกครั้งหรือนำไอน้ำไปใช้ในโรงงานหรือกิจการที่ต้องใช้น้ำจำนวนมากในกระบวนการผลิต เช่น โรงงานผลิตน้ำตาล และโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม เป็นต้น กังหันไอน้ำสามารถใช้เชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ก๊าซขยะ หรือน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น



รูปที่ 3.1 การทำงานของกังหันไอน้ำ [26]

2) กังหันแก๊ส (Gas turbine)

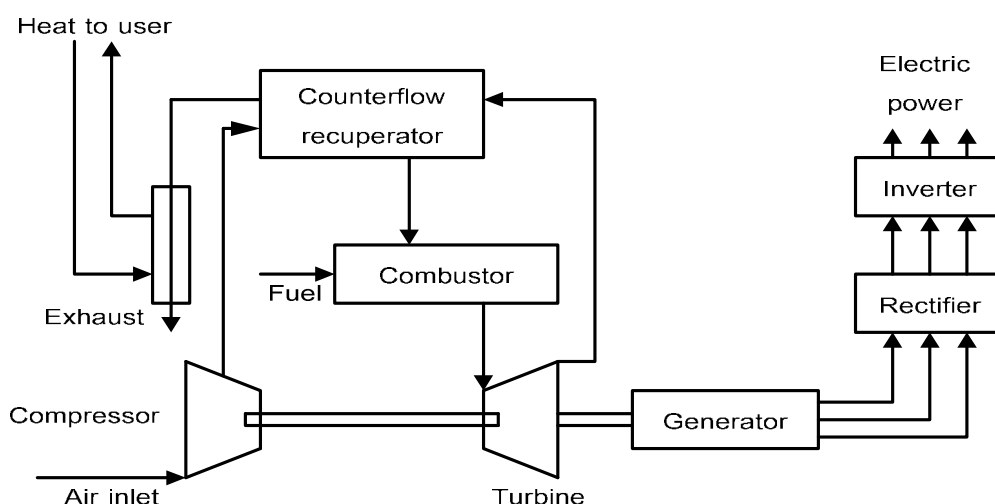
การทำงานของกังหันแก๊สประกอบด้วย เครื่องอัดอากาศ ห้องเผาไหม้ และกังหันแก๊ส หลักการทำงานเริ่มจากการอัดอากาศด้วยเครื่องอัดอากาศ จากนั้น อากาศอัดความดันสูงจะถูกส่งต่อเข้าไปยังห้องเผาไหม้ ภายในห้องเผาไหม้จะมีหัวฉีดเชื้อเพลิงทำหน้าที่ผสมเชื้อเพลิงกับอากาศอัดความดันสูง และเกิดการเผาไหม้ ทำให้ได้ก๊าซร้อนจากห้องเผาไหม้ซึ่งมีความดันและอุณหภูมิสูง แล้วเกิดการขยายตัวภายในกังหันแก๊ส ชับแกนของกังหันแก๊สที่ต่ออยู่กับเครื่องอัดอากาศ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า จากนั้น ก๊าซร้อนจะถูกปล่อยออกจากกังหันแก๊สผ่านเครื่องถ่ายเทความร้อนชนิดกำเนิดไอน้ำ หรือเครื่องถ่ายเทความร้อนทั่วไป ซึ่งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนทั้ง 2 ชนิดนี้ นำมาใช้เพื่อนำพลังงานความร้อนที่ยังคงมีเหลืออยู่ในก๊าซร้อนกลับมาใช้ประโยชน์ เพื่อผลิตไอน้ำความดันสูง และไอน้ำความดันต่ำ หรือน้ำร้อนตามลำดับ ไอน้ำความดันสูงสามารถนำมาใช้ขับกังหันไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มเติม ส่วนไอน้ำความดันต่ำหรือน้ำร้อน และไอน้ำส่วนที่เหลือจากกังหันไอน้ำ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการอบแห้ง หรือกระบวนการทางอุตสาหกรรมต่อไปได้ กังหันแก๊สสามารถใช้เชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซธรรมชาติ ก๊าซสังเคราะห์ ก๊าซขยะ ก๊าซเชื้อเพลิงจากแก๊สซิฟายเออร์ หรือน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น



รูปที่ 3.2 การทำงานของกังหันแก๊ส [26]

3) กังหันแก๊สขนาดเล็ก (Microturbine)

กังหันแก๊สขนาดเล็กพัฒนามาจากกังหันแก๊สชนิดตัวอัดบรจอากาศเทอร์โบ ที่มีใช้ในอุตสาหกรรมผลิตรถบรรทุก หรือเครื่องบิน นำมาใช้เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก โดยเผาไหม้เชื้อเพลิงที่เป็นก๊าซ เพื่อใช้ขับเคลื่อนของกังหันแก๊สซึ่งต่ออยู่กับแกนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หมุนด้วยความเร็วรอบสูงมาก โดยทั่วไปมีหลักการการทำงานคล้ายกับกังหันแก๊สขนาดใหญ่ ดังได้กล่าวมาแล้ว กังหันแก๊สขนาดเล็กสามารถนำมาใช้เป็นระบบผลิตพลังงานร่วมได้เช่นกัน พลังงานความร้อนจากก๊าซร้อนที่ปล่อยออกจากกังหันแก๊สขนาดเล็กนำมาใช้ผลิตไอน้ำความดันต่ำ หรือน้ำร้อน นำไปใช้อบแห้ง ระบบทำความเย็นในโรงพยาบาล การซักกรีด หรือใช้ในอาคารสูง เป็นต้น กังหันแก๊สขนาดเล็กสามารถใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ ก๊าซแอลพีจี ก๊าซชีวภาพ ก๊าซเปรี๊ยะ



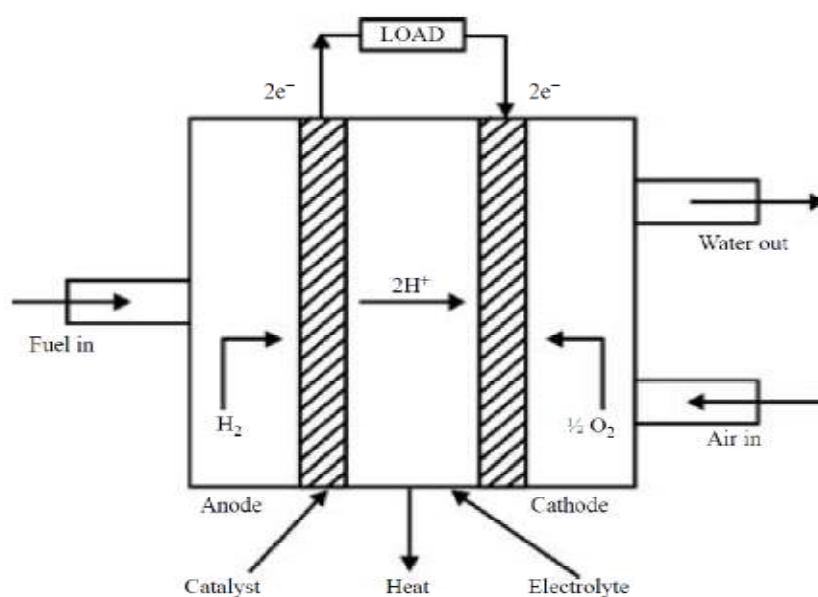
รูปที่ 3.3 การทำงานของกังหันแก๊สขนาดเล็ก [17]

4) เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine)

เครื่องยนต์สันดาปภายในสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องต้นกำลังชนิดหนึ่งของระบบผลิตพลังงานร่วมได้ โดยเครื่องยนต์สันดาปจะแปลงจากพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และพลังงานความร้อนโดยมีแหล่งกำเนิดจากความร้อนจากไอเสียเครื่องยนต์ ความร้อนที่ระบายออกจากระบบน้ำหล่อเย็นเครื่องยนต์ ระบบน้ำมันหล่อลื่น นำไปใช้ประโยชน์ในกระบวนการทางความร้อนต่อไปได้ เช่น ให้น้ำความดันต่ำ หรือน้ำร้อน ป้อนกระบวนการผลิตต่างๆ หรือนำไปใช้งานโดยตรงกับบ้านเรือน อุตสาหกรรม การอบแห้ง โรงพยาบาล อาคาร โรงเรียน และโรงงานกำจัดสิ่งปฏิกูล เป็นต้น เครื่องยนต์สันดาปภายในสามารถใช้เชื้อเพลิงที่เป็นเชื้อเพลิงเหลว เช่น น้ำมันเตา น้ำมันดีเซล หรือเชื้อเพลิงก๊าซ เช่น ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซชีวภาพ เป็นแหล่งพลังงาน

5) เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell)

เซลล์เชื้อเพลิงสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้ากระแสตรงผ่านกระบวนการทางเคมีไฟฟ้า โดยใช้พลังงานเคมีของไฮโดรเจนจากเชื้อเพลิงจำพวกไฮโดรคาร์บอน เช่น ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซชีวภาพ เป็นเชื้อเพลิง ทำให้มีประสิทธิภาพในการใช้เชื้อเพลิงสูงกว่ากระบวนการแปรรูปพลังงานทั่วไป ในกระบวนการของเซลล์เชื้อเพลิงจะให้พลังงานในรูปแบบไฟฟ้า ความร้อนและน้ำที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้เลย เซลล์เชื้อเพลิงมีความแตกต่างในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากเทคโนโลยีของเครื่องต้นกำลังอื่นที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงไม่มีชิ้นส่วนทางกลที่เคลื่อนที่ได้ มีหลักการทำงานเหมือนกันกับแบตเตอรี่ ซึ่งผลิตพลังงานไฟฟ้ากระแสตรง (DC) ผ่านกระบวนการทางเคมีไฟฟ้าโดยไม่มีการเผาไหม้ แตกต่างกันเพียงเซลล์เชื้อเพลิงใช้พลังงานเคมีของไฮโดรเจนจากเชื้อเพลิงจำพวกไฮโดรคาร์บอน เช่น ก๊าซธรรมชาติ ก๊าซชีวภาพ เป็นเชื้อเพลิง



รูปที่ 3.4 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง [17]

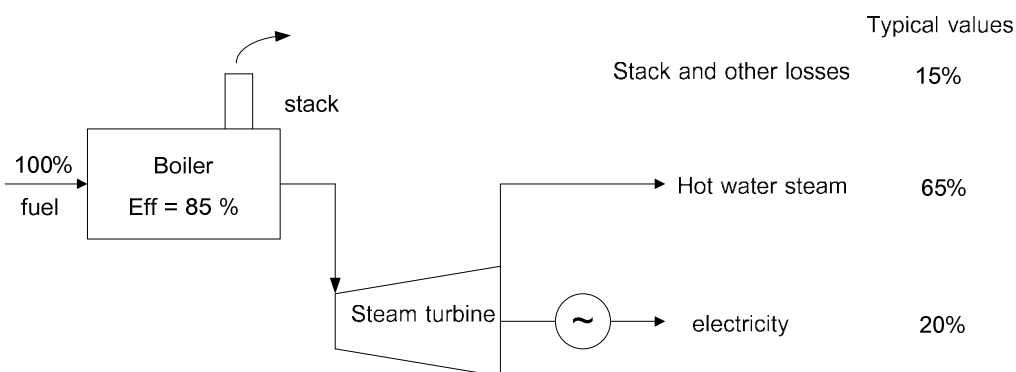
เทคโนโลยีของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนต่างๆ ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นจะมีสัดส่วนในการผลิตไฟฟ้าและความร้อน (Power to heat ratio) ที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สัดส่วนในการผลิตไฟฟ้าและความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP [26]

เทคโนโลยีของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน	ขนาดกำลังผลิต (MW)	Power to heat ratio
Steam turbine	0.2 - 800	0.1 - 0.3
Gas turbine	1 - 500	0.5 - 2.0
Microturbine	0.03 - 0.35	0.4 - 0.7
Internal Combustion Engine	0.05 - 5	0.5 - 1.0
Fuel cell	0.01 - 2	1.0 - 2.0

3.1.3 การผลิตความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน

ความร้อนที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน จะขึ้นกับสัดส่วนในการผลิตไฟฟ้าและความร้อนหรือสัดส่วนความร้อนต่อกำลังไฟฟ้า (Heat to electricity ratio, HE) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นๆ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การผลิตกำลังไฟฟ้าและความร้อนของ CHP [19]

จากรูปที่ 3.5 สัดส่วนความร้อนต่อกำลังไฟฟ้ามีค่าเท่ากับ $65/20=3.25$ ดังนั้นความร้อนที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.1)

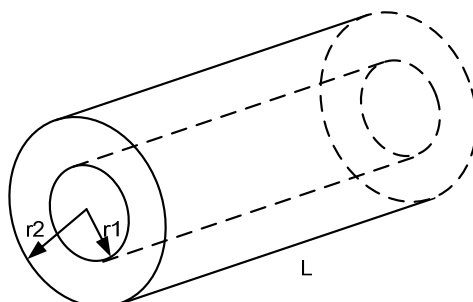
$$H = HE \times P \quad (3.1)$$

โดยที่

- H คือ ความร้อนที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน (kWth)
- HE คือ สัดส่วนความร้อนต่อกำลังไฟฟ้า
- P คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน (kW)

3.1.4 ความร้อนสูญเสียในท่อส่งความร้อน [25]

ความร้อนที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนจะถูกลำเลียงผ่านท่อส่งความร้อนไปยังผู้ใช้ ซึ่งในระหว่างการลำเลียงความร้อนดังกล่าวจะเกิดการสูญเสียความร้อนขึ้น โดยความร้อนสูญเสียในท่อส่งความร้อนดังรูปที่ 3.6 สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (3.2)



รูปที่ 3.6 ท่อส่งความร้อน

$$H_{L_s} = 2\pi * k * L * \frac{(T_1 - T_2)}{3.412 \ln(r_2 / r_1)} \quad (3.2)$$

โดยที่

H_{L_s}	คือ	ความร้อนสูญเสียในท่อส่งความร้อน (W/hr)
k	คือ	Thermal conductivity (BTU/hr-ft-F°)
L	คือ	ความยาวท่อส่งความร้อน (ft)
T_1	คือ	อุณหภูมิภายในท่อส่งความร้อนหรืออุณหภูมิความร้อนที่ถูกลำเลียง (F°)
T_2	คือ	อุณหภูมิภายนอกท่อส่งความร้อน (F°)
r_1	คือ	รัศมีภายในท่อส่งความร้อน (ft)
r_2	คือ	รัศมีภายนอกท่อส่งความร้อน (ft)

3.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ [8]

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตกำลังไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ โดยอาศัยเซลล์แสงอาทิตย์หรือที่เรียกว่า Solar cell ในการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะขึ้นกับความเข้มแสงและอุณหภูมิ ซึ่งสามารถคำนวณดังสมการที่ (3.3)

$$P_{PV} = P_{STC} \frac{G_{ING}}{G_{STC}} [1 + k(T_c - T_r)] \quad (3.3)$$

โดยที่

- P_{PV} คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (kW)
- P_{STC} คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (kW)
- G_{ING} คือ ความเข้มแสง ณ เวลาใดๆ (W/m^2)
- G_{STC} คือ ความเข้มแสง ณ จุดทดสอบมาตรฐาน (Standard test condition : STC) (W/m^2)
- k คือ Temperature coefficient of power
- T_c คือ อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ (C°)
- T_r คือ อุณหภูมิอ้างอิง (C°)

3.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม [27]

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมผลิตกำลังไฟฟ้าจากลม โดยใช้กังหันลมในการเปลี่ยนพลังงานจลน์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า โดยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากกังหันลมจะขึ้นกับความเร็วลม ซึ่งสามารถคำนวณดังสมการที่ (3.4)

$$P_{WIND} = \begin{cases} 0 & V < V_{ci} \\ \frac{V^3}{V_r^3 - V_{ci}^3} \cdot P_r - \frac{V_{ci}^3}{V_r^3 - V_{ci}^3} \cdot P_r & V_{ci} < V < V_r \\ P_r & V_r < V < V_{co} \\ 0 & V > V_{co} \end{cases} \quad (3.4)$$

โดยที่

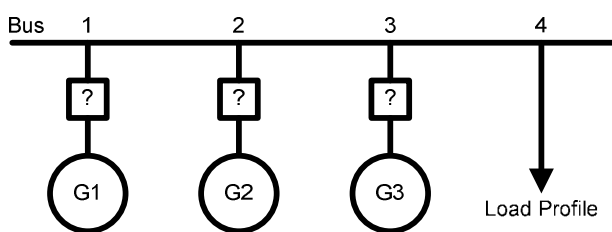
- P_{WIND} คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม (kW)
- P_r คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม (kW)
- V คือ ความเร็วลม ณ เวลาใดๆ (m/s)
- V_{ci} คือ cut in wind speed (m/s)
- V_{co} คือ cut out wind speed (m/s)
- V_r คือ rated wind speed (m/s)

บทที่ 4

ทฤษฎีพื้นฐานการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

4.1 การวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Unit commitment)

การวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือ ยูนิตคอมมิตเมนต์ (Unit commitment) คือ การกำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดในระบบไฟฟ้ากำลังเดินเครื่องหรือหยุดเครื่องอย่างเหมาะสมในช่วงเวลาที่พิจารณา ยกตัวอย่างการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าทั่วไปดังรูปที่ 4.1 ซึ่งประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เครื่อง ติดตั้งที่บัส 1, 2 และ 3 ตามลำดับ และภาระทางไฟฟ้าที่บัส 4 โดยกำหนดให้เวลาที่พิจารณาวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคือ 4 ชั่วโมง



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างระบบไฟฟ้ากำลังทั่วไป

การวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าดังรูปที่ 4.1 เราจะหาสถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 3 เครื่อง ใน 4 ชั่วโมง ดังตารางที่ 4.1 ว่าเครื่องใดจะเดินเครื่องหรือหยุดเครื่องในเวลาใด จึงจะมีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าทั้งหมด (ค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้า และค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า) ต่ำที่สุดและสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอต่อภาระทางไฟฟ้า โดยจะต้องคำนึงถึงเงื่อนไขบังคับต่างๆ ของระบบไฟฟ้า เช่น พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระยะเวลาการเดินหรือหยุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พิกัดแรงดันที่บัส และพิกัดกำลังไฟฟ้าในสายส่ง เป็นต้น

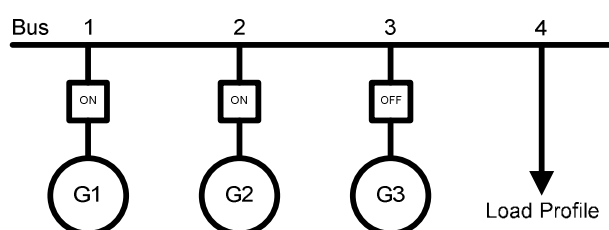
ตารางที่ 4.1 แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ชั่วโมงที่	สถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ($S_{G,t}$)		
	เครื่องที่ 1	เครื่องที่ 2	เครื่องที่ 3
1	$S_{1,1}$	$S_{2,1}$	$S_{3,1}$
2	$S_{1,2}$	$S_{2,2}$	$S_{3,2}$
3	$S_{1,3}$	$S_{2,3}$	$S_{3,3}$
4	$S_{1,4}$	$S_{2,4}$	$S_{3,4}$

การวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีวิธีการหาผลลัพธ์ของปัญหาด้วยวิธีการต่างๆ หลายวิธี [1, 20] ได้แก่ วิธีเรียงตามลำดับ (Priority list) วิธีโปรแกรมเชิงพลวัต (Dynamic programming) วิธีโปรแกรมเชิงพลวัต (Dynamic programming) และ วิธีรีแลกเซชันแบบลากรองจ์ (Lagrangian relaxation) นอกจากนี้วิธีการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างๆ ที่ได้กล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีวิธีอื่น เช่น วิธีค้นหาตาม อัลกอริทึมการอบอุ่นจำแลง การหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยคอลโลนีมด และ จีเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm) หรือขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เป็นต้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมในการแก้ปัญหาซึ่งจะนำเสนอรายละเอียดในบทที่ 6

4.2 การจัดสรรกำลังการผลิต (Economic dispatch)

โดยปกติการทำยูนิตคอมมิตเมนต์จะต้องทำการจ่ายโหลดอย่างประหยัดหรือการจัดสรรกำลังผลิตควบคู่ไปด้วย เนื่องจากการจัดสรรกำลังผลิตเป็นปัญหาย่อย (Subproblem) ของการทำยูนิตคอมมิตเมนต์ การจัดสรรกำลังผลิต คือ การกำหนดการจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกพิจารณาให้เดินเครื่อง ยกตัวอย่างการจัดสรรกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าทั่วไปดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างระบบไฟฟ้ากำลังทั่วไป

จากรูปที่ 4.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกพิจารณาให้เดินเครื่องได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 และ 2 ในการจัดสรรกำลังผลิตในสถานะเช่นนี้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองเครื่องนี้จะถูกกำหนดให้จ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อตอบสนองต่อภาระทางไฟฟ้าอย่างเพียงพอและมีค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าต่ำที่สุด โดยจะต้องคำนึงถึงเงื่อนไขบังคับต่างๆ ของระบบไฟฟ้า เช่น พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พิกัดแรงดันที่บัส และพิกัดกำลังไฟฟ้าในสายส่ง เป็นต้น ซึ่งการหาค่าตอบหรือกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างๆ จะต้องอาศัยกระบวนการทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์

วิธีการหาค่าตอบของปัญหาการจัดสรรกำลังผลิตมีด้วยกันหลายวิธีการ [1] เช่น วิธี Lambda-iteration วิธี Gradient วิธี Newton วิธี Piecewise linear และ วิธี Quadratic programming เป็นต้น ซึ่งในการหากำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างๆ โดยอาศัยวิธีการเหล่านี้

จะต้องพิจารณาเงื่อนไขบังคับในการจัดสรรกำลังผลิตด้วย เช่น กำลังผลิตสูงสุด-ต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขีดจำกัดการส่งกำลังงานในสายส่ง เสถียรภาพของระบบไฟฟ้า และการสูญเสียพลังงานในสายส่ง เป็นต้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธี Quadratic programming มาประยุกต์ในการแก้ปัญหาซึ่งจะนำเสนอรายละเอียดในบทที่ 5

4.3 วิธีการค้นหาคำตอบในการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 4.1 วิธีการหาคำตอบของการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีด้วยกันหลายวิธี อย่างไรก็ตาม ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหา โดยมีหลักการพอสังเขปดังนี้

จินเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm , GA) หรือขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เป็นวิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบสุ่ม (Stochastic optimization) อย่างหนึ่งที่เลียนแบบหลักการถ่ายทอดทางพันธุกรรมทางธรรมชาติ (Natural genetics) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวงกว้าง (Global optimum) โดยอาศัยการสมมติจุดคำตอบขึ้นมาหลายๆ จุดก่อน (Population of solutions) แล้วประยุกต์ใช้หลักการค้นหาจุดที่เหมาะสมที่สุดซึ่งมีโอกาสที่จะอยู่รอดมากที่สุด (Survival of the fittest) เพื่อหาคำตอบที่ดียิ่งขึ้นในแต่ละรุ่นของการถ่ายทอด (Generation) สำหรับในแต่ละรุ่นของการถ่ายทอดจะมีการประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness) ของจุดคำตอบแต่ละจุด แล้วพิจารณาเลือกจุดคำตอบใหม่จากค่าความเหมาะสมนี้โดยอาศัยวิธีการคัดเลือกสายพันธุ์ วิธีการคัดเลือกดังกล่าวประกอบด้วย การคัดเลือก การข้ามสายพันธุ์และการผ่าเหล่า จุดคำตอบแต่ละจุดจะประกอบไปด้วยสตริง (String) ของตัวแปรที่ถูกลงรหัสไว้เรียกว่าโครโมโซม (Chromosomes) ซึ่งสามารถถอดรหัสนี้เป็นค่าของตัวแปรจริงได้ โดยทั่วไปนิยมลงรหัสตัวแปรให้เป็นระบบเลขฐานสอง

ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมมีแนวคิดโดยสรุป คือ เมื่อนำโครโมโซมทั้งหมดมาประกอบกันจะเรียกว่า จีโนม (Genome) และเรียกกลุ่มของยีนส์ในจีโนมนี้ว่า จีโนไทป์ (Genotype) หรือเรียกว่าแบบชนิด พันธุกรรม ซึ่งจีโนไทป์เหล่านี้จะแปลงไปเป็นอวัยวะของสิ่งมีชีวิตต่อไปเรียกว่า ฟีนไทป์ (Phenotype) ตามทฤษฎีวิวัฒนาการสิ่งมีชีวิตที่แข็งแรงที่สุดจะมีโอกาสสืบทอดสายพันธุ์ที่แข็งแรงต่อไป การผสมยีนส์ของพ่อและแม่จะทำให้เกิดลูกซึ่งคัดลอกยีนส์ของพ่อแม่ที่ผสมกัน ทำให้เกิดสายพันธุ์ที่แข็งแรงยิ่งขึ้น บางครั้งการคัดลอกยีนส์ของพ่อแม่ไม่สมบูรณ์ อาจทำให้เกิดการผ่าเหล่า (Mutation) ในรุ่นลูก การผ่าเหล่าทำให้สิ่งมีชีวิตมีโอกาสพัฒนาสายพันธุ์ใหม่ที่ยิ่งเข้มแข็งขึ้น หากการผ่าเหล่าทำให้เกิดสายพันธุ์ด้อย สายพันธุ์ด้อยจะไม่สืบทอดต่อไป

จากงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต มีการนำขั้นตอนวิธีพันธุกรรมไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [13] ซึ่งขั้นตอนวิธีพันธุกรรมมีข้อแตกต่างกับวิธีการค้นหาอื่นๆ ดังนี้

1. ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม ใช้รหัสของตัวแปรเป็นเครื่องมือในการออปติไมซ์แทนที่จะใช้ค่าของตัวแปรโดยตรง ดังนั้นวิธีนี้จึงสะดวกในการแก้ปัญหาเกี่ยวกับตัวแปรชนิดใดก็ได้โดยไม่ต้องเป็นตัวแปรชนิดต่อเนื่อง

2. ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เป็นวิธีออปติไมซ์ที่หาจากจุดเริ่มต้นหลายๆ จุด เป็นการหาจุดเหมาะสมโดยรวมโดยรวมโดยเทคนิคการออปติไมซ์แบบขนาน ซึ่งทำให้คำตอบที่ได้เป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมโดยรวม

3. ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม ใช้ข้อมูลเพียงแค่ค่าฟังก์ชันเป้าหมายเท่านั้น ดังนั้นวิธีนี้สามารถใช้กับฟังก์ชันเป้าหมายได้ทุกชนิด ไม่จำเป็นต้องต่อเนื่องหรือหาอนุพันธ์ได้

4. ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม ใช้ทฤษฎีทางความน่าจะเป็นในการหาคำตอบ ในขณะที่วิธีการอื่นๆ ส่วนมากใช้วิธีการทางแคลคูลัสของเวกเตอร์

ด้วยจุดเด่นและข้อแตกต่างหลายๆ อย่าง ของขั้นตอนวิธีพันธุกรรมในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เลือกวิธีดังกล่าว มาทำการแก้ปัญหาค่าเหมาะสมที่สุด ซึ่งรายละเอียดของวิธีการค้นหาได้อธิบายในบทที่ 6

บทที่ 5

การจัดสรรกำลังผลิตในไมโครกริด ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการจัดสรรกำลังผลิตในไมโครกริดที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยแบ่งรายละเอียดออกเป็น (1) การวิเคราะห์ระบบด้วยการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า และ (2) การจัดสรรกำลังผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน

5.1 การวิเคราะห์ระบบด้วยการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

ในการจัดสรรกำลังผลิตจะต้องทำการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าเพื่อตรวจสอบว่า ณ สภาวะหนึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องถูกจัดสรรกำลังผลิต ระบบไฟฟ้ากำลังจะมีการละเมิดเงื่อนไขกีดต่าง ๆ ของระบบหรือไม่ ดังนั้น การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าจึงมีบทบาทสำคัญ

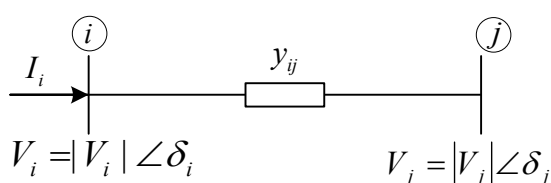
วิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีของนิวตัน-ราฟสัน เป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้มากที่สุด เนื่องจากเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ มีความน่าเชื่อถือ มีคุณสมบัติการลู่เข้าหาคำตอบที่รวดเร็วและจำนวนรอบของการทำซ้ำไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของระบบไฟฟ้า

เมื่อพิจารณาระบบไฟฟ้า N บัส ด้วยวิธีการตรวจพิจารณา (Inspection) แล้ว สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่บัส กับกระแสที่ฉีดเข้าบัส (Bus injected current) ได้ดังสมการที่ (5.1)

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & \cdots & Y_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

โดยที่

$$I_i = \sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j = \sum_{j=1}^N |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (5.2)$$



รูปที่ 5.1 บัสในระบบไฟฟ้ากำลัง

จากสมการที่ (5.2) กระแสที่ฉีดเข้าบัสที่ i ซึ่งเขียนในรูปของบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์ และจากรูปที่ 5.1 เราสามารถเขียนสมการของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน (Power flow equation) สุกที่ไหลเข้าบัสที่ i ได้ดังนี้

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i = (|V_i| \angle -\delta_i) \sum_{j=1}^N |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_{ij} \quad (5.3)$$

เมื่อแยกพิจารณาส่วนจริงและส่วนจินตภาพของสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าจะได้

$$P_{i,calc} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5.4)$$

$$Q_{i,calc} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5.5)$$

กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่คำนวณได้ตามสมการ (5.4) และ (5.5) จะเท่ากับกำลังไฟฟ้รวมที่ได้รับการจัดสรรใช้ที่แต่ละบัส นั่นคือ

$$P_{i,calc}(|V|, \delta) - P_{i,sch} = 0 \quad (5.6)$$

$$Q_{i,calc}(|V|, \delta) - Q_{i,sch} = 0 \quad (5.7)$$

เราสามารถหาผลเฉลยของสมการการไหลของกำลังไฟฟ้ได้ด้วยวิธีของนิวตัน-ราฟสัน โดยการจัดรูปแบบปัญหาดังสมการที่ (5.8)

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_1^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{1,calc}^{(k)}}{\partial \delta_1} & \dots & \frac{\partial P_{1,calc}^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_{1,calc}^{(k)}}{\partial |V_1|} & \dots & \frac{\partial P_{1,calc}^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_{n,calc}^{(k)}}{\partial \delta_1} & \dots & \frac{\partial P_{n,calc}^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_{n,calc}^{(k)}}{\partial |V_1|} & \dots & \frac{\partial P_{n,calc}^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \hline \frac{\partial Q_{1,calc}^{(k)}}{\partial \delta_1} & \dots & \frac{\partial Q_{1,calc}^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_{1,calc}^{(k)}}{\partial |V_1|} & \dots & \frac{\partial Q_{1,calc}^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_{n,calc}^{(k)}}{\partial \delta_1} & \dots & \frac{\partial Q_{n,calc}^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_{n,calc}^{(k)}}{\partial |V_1|} & \dots & \frac{\partial Q_{n,calc}^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_1^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta V_1^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta V_n^{(k)} \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

จากเมตริกซ์ข้างบนสามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ย่อย ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_i \\ \Delta V_i \end{bmatrix} \quad (5.9)$$

เราเรียกเมตริกซ์ $J = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix}$ ว่า เมตริกซ์จาโคเบียน (Jacobian Matrix) โดยสมาชิกในเมตริกซ์จาโคเบียน คือ อนุพันธ์ย่อยของสมการที่ (5.4) และ (5.5) ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังนี้

สมาชิกในแนวทแยงมุมและนอกทแยงมุมของ J_1 สามารถเขียนได้ดังสมการ (5.10) และ (5.11) ตามลำดับ

$$\frac{\partial P_{i,calc}}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5.10)$$

$$\frac{\partial P_{i,calc}}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad ; \quad j \neq i \quad (5.11)$$

สมาชิกในแนวทแยงมุมและนอกทแยงมุมของ J_2 สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (5.12) และ (5.13) ตามลำดับ

$$\frac{\partial P_{i,calc}}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ij}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5.12)$$

$$\frac{\partial P_{i,calc}}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad ; \quad j \neq i \quad (5.13)$$

สมาชิกในแนวทแยงมุมและนอกทแยงมุมของ J_3 สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (5.14) และ (5.15) ตามลำดับ

$$\frac{\partial Q_{i,calc}}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5.14)$$

$$\frac{\partial Q_{i,calc}}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad ; \quad j \neq i \quad (5.15)$$

สมาชิกในแนวทแยงมุมและนอกทแยงมุมของ J_4 สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (5.16) และ (5.17) ตามลำดับ

$$\frac{\partial Q_{i,calc}}{\partial |V_i|} = -2|V_i| |Y_{ij}| \sin \theta_{ii} - \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (5.16)$$

$$\frac{\partial Q_{i,calc}}{\partial |V_j|} = -|V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad ; \quad j \neq i \quad (5.17)$$

โดย $\Delta P_i^{(k)}$ และ $\Delta Q_i^{(k)}$ (Power mismatch) มีค่าดัง (5.18) และ (5.19) ตามลำดับ

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_{i,calc}^{(k)} \quad (5.18)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_{i,calc}^{(k)} \quad (5.19)$$

จากสมการต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น เราสามารถแก้สมการเพื่อหาค่า $\Delta\delta_i$ และ $\Delta|V_i|$ ได้จากสมการที่ (5.20)

$$\begin{bmatrix} \Delta\delta_i \\ \Delta|V_i| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} \quad (5.20)$$

$$= \begin{bmatrix} J_a & J_b \\ J_c & J_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} \quad (5.21)$$

ค่าแรงดันบัสที่ประมาณขึ้นใหม่จากวิธีนิวตัน-ราฟสันคือ

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)} \quad (5.22)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta|V_i^{(k)}| \quad (5.23)$$

กระบวนการจะดำเนินต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งค่า $\Delta P_i^{(k)}$ และ $\Delta Q_i^{(k)}$ (Power mismatch) น้อยกว่าค่าความละเอียดที่ยอมรับได้ (ϵ) นั่นคือ $|\Delta P_i^{(k)}| \leq \epsilon$ และ $|\Delta Q_i^{(k)}| \leq \epsilon$

5.2 การจัดการกำลังผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน

การจัดการกำลังผลิตในระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ทั่วไปจะจัดการกำลังผลิตให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่ในระบบสามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอกับภาระทางไฟฟ้า โดยมีต้นทุนค่าเชื้อเพลิงน้อยที่สุด อย่างไรก็ตาม ในระบบไมโครกริดมีองค์ประกอบที่แตกต่างจากระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ทั่วไป เช่น แหล่งกำเนิดไฟฟ้ามีความหลากหลาย ความต้องการของผู้บริโภคมีความต้องการทางไฟฟ้าและความร้อน เป็นต้น ดังนั้นในระบบไมโครกริดที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP และภาระทางความร้อนเป็นองค์ประกอบในระบบ การจัดการกำลังผลิตจะต้องจัดการกำลังผลิตให้ระบบผลิตสามารถผลิตไฟฟ้าและความร้อนได้อย่างเพียงพอกับภาระทางไฟฟ้าและภาระทางความร้อน

ในการจัดการกำลังการผลิตเราจะสามารถหาลำดับการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องได้ด้วยการแก้ปัญหาหาค่าขีดสุด โดยมีฟังก์ชันจุดประสงค์คือ การหาค่าที่ต่ำที่สุดของผลรวมของราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และการแก้ปัญหาหาค่าขีดสุดนี้จะต้องพิจารณาเงื่อนไขบังคับร่วมด้วย โดยเงื่อนไขบังคับที่ต้องพิจารณามีดังต่อไปนี้ กำลังไฟฟ้าและความร้อนที่ผลิตได้จะต้องเพียงพอต่อภาระทางไฟฟ้าและความร้อน ขีดจำกัดของสายส่ง ขีดจำกัดแรงดันที่บัส และขีดจำกัดกำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะอาศัยวิธี Quadratic programming มาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาคำตอบ [14, 24] เนื่องจากวิธีดังกล่าวเหมาะกับปัญหาที่เป็นสมการกำลังสองซึ่งสอดคล้องกับฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ โดยจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

5.2.1 นิยามตัวแปร

นิยามของตัวแปรที่ปรากฏอยู่ในสมการสามารถอธิบายได้ดังนี้

$F(P)$	คือ	ราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า
$F_i(P_i^G)$	คือ	ฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i (฿/hr)
a_i, b_i, c_i	คือ	สัมประสิทธิ์ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า
ΔP_i^G	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงที่เปลี่ยนไปที่บัส i (kW)
ΔQ_i^G	คือ	กำลังรีแอกทีฟที่เปลี่ยนไปที่บัส i (kVAR)
P_i^G	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i (kW)
Q_i^G	คือ	กำลังรีแอกทีฟที่บัส i (kVAR)
$P_{i,BAT}$	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง i (kW)
$E_{i,BAT}$	คือ	พลังงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง i (kWhr)
P_i^L	คือ	ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าที่บัส i (kW)
H_i^L	คือ	ปริมาณความต้องการใช้ความร้อนที่บัส i (kWth)
P_{Ls}	คือ	กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมทั้งระบบ (kW)
H_{Ls}	คือ	ความร้อนสูญเสียในท่อส่งความร้อน (kWth)
ΔP_{Ls}	คือ	กำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมทั้งระบบที่เปลี่ยนแปลง (kW)
S_{ij}	คือ	กำลังไฟฟ้าปรากฏในสายส่งจากบัส i ไปบัส j (kVA)
ΔS_{ij}	คือ	กำลังไฟฟ้าปรากฏในสายส่งที่เปลี่ยนแปลงจากบัส i ไปบัส j (kVA)
S_{ij}^{lim}	คือ	ข้อจำกัดกำลังไฟฟ้าปรากฏในสายส่งจากบัส i ไปบัส j (kVA)
V_i^{min}	คือ	ข้อจำกัดแรงดันต่ำสุดที่บัส i (kV)
V_i^{max}	คือ	ข้อจำกัดแรงดันสูงสุดที่บัส i (kV)
V_i	คือ	แรงดันที่บัส i (kV)
ΔV_i	คือ	แรงดันที่เปลี่ยนแปลงที่บัส i (kV)
$P_i^{G,max}$	คือ	ข้อจำกัดกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า i (kW)
$P_i^{G,min}$	คือ	ข้อจำกัดกำลังไฟฟ้าจริงต่ำสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า i (kW)
$Q_i^{G,max}$	คือ	ข้อจำกัดกำลังรีแอกทีฟสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า i (kVAR)
$Q_i^{G,min}$	คือ	ข้อจำกัดกำลังรีแอกทีฟต่ำสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า i (kVAR)
$P_{i,charge}^{max}$	คือ	พิกัดในการรับกำลังไฟฟ้าของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง i (kW)
$P_{i,discharge}^{max}$	คือ	พิกัดในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง i (kW)
$E_{i,charge}^{max}$	คือ	พิกัดพลังงานในการรับกำลังไฟฟ้าของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง i (kWhr)
$E_{i,discharge}^{max}$	คือ	พิกัดพลังงานในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง i (kWhr)

HE_i	คือ สัดส่วนของความร้อนต่อกำลังไฟฟ้า (heat to electricity ratio) ที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i
N_G	คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดในระบบที่ไม่ใช่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน (unit)
N_C	คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน (unit)
N_R	คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน (unit)
N_L	คือ จำนวนบัลที่มีความต้องการไฟฟ้าทั้งหมดในระบบ (unit)
N_H	คือ จำนวนบัลที่มีความต้องการความร้อนทั้งหมดในระบบ (unit)
N_B	คือ จำนวนแหล่งเก็บพลังงานสำรองทั้งหมดในระบบ (unit)

ฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$F_i(P_i^G) = a_i \cdot (P_i^G)^2 + b_i \cdot P_i^G + c_i \quad (5.24)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function)

$$\text{Min } F(P) = \sum_{i=1}^{N_G} F_i(P_i^G) \quad (5.25)$$

เงื่อนไขบังคับ (Constraints)

1) กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งเก็บพลังงานสำรองจะต้องสมดุลกับภาระทางไฟฟ้าในระบบ

$$\sum_{i=1}^{N_G} P_i^G + \sum_{i=1}^{N_R} P_i + \sum_{i=1}^{N_B} P_{i,BAT} - \sum_{i=1}^{N_L} P_i^L - P_{Ls} = 0 \quad (5.26)$$

โดยที่

$P_{i,BAT} > 0$ หมายถึง แหล่งเก็บพลังงานสำรอง i จ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ

$P_{i,BAT} < 0$ หมายถึง แหล่งเก็บพลังงานสำรอง i รับกำลังไฟฟ้าจากระบบ

2) ความร้อนที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องเพียงพอกับภาระทางความร้อนในระบบ

$$\sum_{i=1}^{N_C} (HE_i \cdot P_i^G) \geq \sum_{i=1}^{N_H} (H_i^L + H_{Ls}) \quad (5.27)$$

3) กำลังไฟฟ้าจริงที่แหล่งเก็บพลังงานสำรองจะสามารถจ่ายหรือรับกำลังได้จะต้องไม่เกินพิกัดในการจ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้าของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง

$$-P_{i,charge}^{\max} \leq P_{i,BAT} \leq P_{i,discharge}^{\max} \quad (5.28)$$

4) พลังงานที่แหล่งเก็บพลังงานสำรองจะสามารถจ่ายหรือรับกำลังได้จะต้องไม่เกินพิกัดของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง

$$-E_{i,charge}^{\max} \leq E_{i,BAT} \leq E_{i,discharge}^{\max} \quad (5.29)$$

5) กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลในสายส่งจะต้องมีค่าไม่เกินพิกัดของสายส่งแต่ละเส้น

$$|S_{ij}| \leq S_{ij}^{\lim} \quad (5.30)$$

6) ขนาดของแรงดันที่แต่ละบัสต้องอยู่ในช่วงของพิกัดการทำงาน

$$V_i^{\min} \leq |V_i| \leq V_i^{\max} \quad (5.31)$$

7) กำลังกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังรีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะต้องอยู่ในช่วงพิกัดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะสามารถจ่ายได้

$$P_i^{G,\min} \leq P_i^G \leq P_i^{G,\max} \quad (5.32)$$

$$Q_i^{G,\min} \leq Q_i^G \leq Q_i^{G,\max} \quad (5.33)$$

ในการประยุกต์ใช้วิธี Quadratic programming มาแก้ปัญหาที่สุด จะใช้วิธีการประมาณฟังก์ชันขีดจำกัดต่างๆ แบบเชิงเส้นให้อยู่ในรูปพหุนามิเตอร์ของระบบไฟฟ้ากำลังที่เราต้องทำการปรับค่า ก่อนนำเข้าสู่กระบวนการแก้ปัญหาค่าที่สุดแบบควอดราติก

5.2.2 การประมาณฟังก์ชันแบบเชิงเส้น

การประมาณเชิงเส้นคือ การประมาณระบบที่มีความสัมพันธ์กันแบบไม่เป็นเชิงเส้นให้เป็นระบบที่มีความสัมพันธ์แบบเป็นเชิงเส้น หลักการของการประมาณเชิงเส้นมาจากการประยุกต์ใช้อนุกรมเทเลอร์ซึ่งเป็นการหาค่าการเปลี่ยนแปลงรอบจุดทำงานตั้งต้น การประมาณฟังก์ชันแบบเชิงเส้นสามารถช่วยให้การแก้ปัญหาค่าที่สุดทำได้รวดเร็วขึ้น โดยเราจะทำการประมาณการเปลี่ยนแปลงของพหุนามิเตอร์ในระบบไฟฟ้ากำลังด้วยค่าน้อยๆ แล้วอาศัยการทำซ้ำหลายๆ รอบ

เพื่อให้ได้คำตอบที่แม่นยำมากขึ้น เมื่อพิจารณาปัญหาค่าขีดสุดจากสมการที่ (5.25) และเงื่อนไขบังคับต่างๆ จากสมการที่ (5.26)-(5.33) พบว่าฟังก์ชันที่สามารถใช้การประมาณแบบเชิงเส้นได้ คือ ฟังก์ชันกำลังไฟฟ้าปรากฏในสายส่ง ฟังก์ชันแรงดันที่บัส และฟังก์ชันกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมทั้งระบบ ด้วยการประมาณฟังก์ชันเหล่านี้ให้อยู่ในรูปพหุนามิเตอร์ของระบบไฟฟ้ากำลังที่เราต้องทำการปรับค่า นั่นคือ ปริมาณกำลังการผลิตที่ต้องการปรับเพิ่มหรือลดกำลังการผลิต ซึ่งการประมาณแบบเชิงเส้นของฟังก์ชันเหล่านี้สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

5.2.2.1 การประมาณเชิงเส้นของแรงดันไฟฟ้าที่บัส

จากสมการที่ (5.9) เนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสที่เปลี่ยนแปลงไปเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการเปลี่ยนแปลงของโหลด ณ บัสนั้นๆ ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (5.34)

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta P_i^G - \Delta P_i^L \\ \Delta Q_i^G - \Delta Q_i^L \end{bmatrix} \quad (5.34)$$

ดังนั้นจึงสามารถหาความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และการเปลี่ยนแปลงของโหลดได้ดังสมการที่ (5.35)

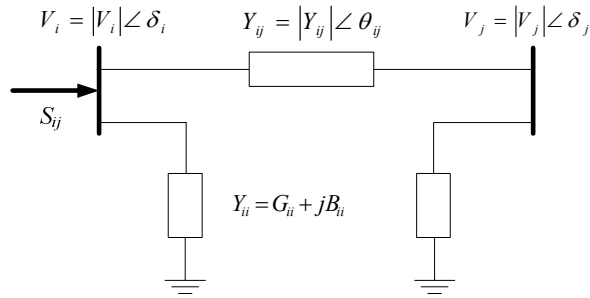
$$\begin{bmatrix} \Delta \delta_i \\ \Delta |V_i| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_a & J_b \\ J_c & J_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_i^G - \Delta P_i^L \\ \Delta Q_i^G - \Delta Q_i^L \end{bmatrix} \quad (5.35)$$

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้การจัดสรรกำลังผลิตไม่มีการปลดโหลด ดังนั้นเราสามารถเขียนความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่บัสที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่บัสได้ดังสมการที่ (5.36)

$$\Delta |V_i| = J_c \cdot \Delta P_i^G + J_d \cdot \Delta Q_i^G \quad (5.36)$$

5.2.2.2 การประมาณเชิงเส้นของของกำลังไฟฟ้าปรากฏในสายส่ง

กำลังไฟฟ้าปรากฏในสายส่งในรูปที่ 5.2 นั้นมีความสัมพันธ์กับกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกทีฟที่ไหลในสายส่งดังสมการที่ (5.37) ซึ่งกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกทีฟนี้มีความสัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าที่บัสต้นทางและบัสปลายทางดังสมการที่ (5.38) และ (5.39) ตามลำดับ



รูปที่ 5.2 กำลังไฟฟ้าปรากฏในสายส่ง

$$S_{ij} = \sqrt{p_{ij}^2 + q_{ij}^2} \quad (5.37)$$

โดยที่

$$p_{ij} = |V_i|^2 |y_{ij}| \cos \theta_{ij} + G_{ii} |V_i|^2 - |V_i| |V_j| |y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (5.38)$$

$$q_{ij} = -|V_i|^2 |y_{ij}| \sin \theta_{ij} - B_{ii} |V_i|^2 - |V_i| |V_j| |y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (5.39)$$

การประมาณเชิงเส้นของกำลังไฟฟ้าปรากฏในสายส่งเมื่อเทียบกับขนาดและมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้า สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (5.17), (5.20), (5.23) และ (5.26) ตามลำดับ

$$\frac{\partial S_{ij}}{\partial \delta_i} = \frac{1}{S_{ij}} \left(p_{ij} \frac{\partial p_{ij}}{\partial \delta_i} + q_{ij} \frac{\partial q_{ij}}{\partial \delta_i} \right) \quad (5.40)$$

โดยที่

$$\frac{\partial p_{ij}}{\partial \delta_i} = |V_i| |V_j| |y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (5.41)$$

$$\frac{\partial q_{ij}}{\partial \delta_i} = -|V_i| |V_j| |y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (5.42)$$

$$\frac{\partial S_{ij}}{\partial \delta_j} = \frac{1}{S_{ij}} \left(p_{ij} \frac{\partial p_{ij}}{\partial \delta_j} + q_{ij} \frac{\partial q_{ij}}{\partial \delta_j} \right) \quad (5.43)$$

โดยที่

$$\frac{\partial p_{ij}}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (5.44)$$

$$\frac{\partial q_{ij}}{\partial \delta_j} = |V_i| |V_j| |y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (5.45)$$

$$\frac{\partial S_{ij}}{\partial |V_i|} = \frac{1}{S_{ij}} \left(p_{ij} \frac{\partial p_{ij}}{\partial |V_i|} + q_{ij} \frac{\partial q_{ij}}{\partial |V_i|} \right) \quad (5.46)$$

โดยที่

$$\frac{\partial p_{ij}}{\partial |V_i|} = 2|V_i|(|y_{ij}| \cos \theta_{ij} + G_{ii}) - |V_j||y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (5.47)$$

$$\frac{\partial q_{ij}}{\partial |V_i|} = -2|V_i|(|y_{ij}| \sin \theta_{ij} + B_{ii}) - |V_j||y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (5.48)$$

$$\frac{\partial S_{ij}}{\partial |V_j|} = \frac{1}{S_{ij}} \left(p_{ij} \frac{\partial p_{ij}}{\partial |V_j|} + q_{ij} \frac{\partial q_{ij}}{\partial |V_j|} \right) \quad (5.49)$$

โดยที่

$$\frac{\partial p_{ij}}{\partial |V_j|} = -|V_i||y_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (5.50)$$

$$\frac{\partial q_{ij}}{\partial |V_j|} = -|V_i||y_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (5.51)$$

เราสามารถหาความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าในสายส่งที่เปลี่ยนแปลงไปจากการประมาณเชิงเส้นรอบจุดทำงานของระบบได้ดังนี้

$$[\Delta S_{ij}] = \begin{bmatrix} \frac{\partial S_{ij}}{\partial \delta} & \frac{\partial S_{ij}}{\partial |V|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta S_i \\ \Delta |V_i| \end{bmatrix} \quad (5.52)$$

แทนค่า (5.35) ลงใน (5.52) จะได้ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าของแต่ละบัสที่เปลี่ยนแปลงไปและกำลังไฟฟ้าปรากฏในสายส่งที่เปลี่ยนแปลงไปดังนี้

$$[\Delta S_{ij}] = \begin{bmatrix} \frac{\partial S_{ij}}{\partial \delta} & \frac{\partial S_{ij}}{\partial |V|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_a & J_b \\ J_c & J_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_i^G - \Delta P_i^L \\ \Delta Q_i^G - \Delta Q_i^L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_p & M_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_i^G - \Delta P_i^L \\ \Delta Q_i^G - \Delta Q_i^L \end{bmatrix} \quad (5.53)$$

โดยที่

$$M_p = \frac{\partial S_{ij}}{\partial \delta} (J_a) + \frac{\partial S_{ij}}{\partial |V|} (J_c)$$

$$M_q = \frac{\partial S_{ij}}{\partial \delta} (J_b) + \frac{\partial S_{ij}}{\partial |V|} (J_d)$$

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้การจัดสรรกำลังผลิตไม่มีการปลดโหลด เมื่อจัดรูปสมการ (5.53) จะได้ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าปรากฏในสายส่งที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่บัส ได้ดังสมการที่ (5.54)

$$\Delta S_{ij} = M_p \cdot \Delta P_i^G + M_q \cdot \Delta Q_i^G \quad (5.54)$$

5.2.2.3 การประมาณเชิงเส้นของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

กำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบนั้นสามารถคำนวณได้จากการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่บัสอ้างอิง (Slack bus) ตามสมการที่ (5.55)

$$\Delta P_{ref} = \Delta P_{Ls} \quad (5.55)$$

โดยที่

$$P_{ref} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \quad ; i \text{ คือ บัสอ้างอิง}$$

ดังนั้นเราสามารถหาความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เปลี่ยนแปลงไปจากการประมาณเชิงเส้นรอบจุดทำงานของระบบได้ดังนี้

$$[\Delta P_{Ls}] = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{Ls}}{\partial \delta} & \frac{\partial P_{Ls}}{\partial |V|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (5.56)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} \frac{\partial P_{Ls}}{\partial \delta} &= |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \\ \frac{\partial P_{Ls}}{\partial |V|} &= |V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \end{aligned}$$

แทนค่าสมการที่ (5.35) ลงใน (5.56) จะได้ (5.57)

$$[\Delta P_{Ls}] = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{Ls}}{\partial \delta} & \frac{\partial P_{Ls}}{\partial |V|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_a & J_b \\ J_c & J_d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_i^G - \Delta P_i^L \\ \Delta Q_i^G - \Delta Q_i^L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_p & M_q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P_i^G - \Delta P_i^L \\ \Delta Q_i^G - \Delta Q_i^L \end{bmatrix} \quad (5.57)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} M_p &= \frac{\partial P_{Ls}}{\partial \delta} (J_a) + \frac{\partial P_{Ls}}{\partial |V|} (J_c) \\ M_q &= \frac{\partial P_{Ls}}{\partial \delta} (J_b) + \frac{\partial P_{Ls}}{\partial |V|} (J_d) \end{aligned}$$

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้การจัดสรรกำลังผลิตไม่มีการปลดโหลด เมื่อจัดรูปสมการ (5.57) จะได้ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าปรากฏในสายส่งที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่บัส ได้ดังสมการที่ (5.58)

$$\Delta P_{Ls} = M_p \cdot \Delta P_i^G + M_q \cdot \Delta Q_i^G \quad (5.58)$$

5.2.3 รูปแบบฟังก์ชันในการแก้ปัญหาการจัดสรรกำลังการผลิต

ในหัวข้อนี้จะแสดงรูปแบบฟังก์ชันในการแก้ปัญหาการจัดสรรกำลังการผลิตที่ได้เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$\text{Min } F(P^0 + \Delta P) = \sum_{i=1}^{N_G} F_i(P_i^{G_0} + \Delta P_i^G) \quad (5.59)$$

เงื่อนไขบังคับ

$$\sum_{i=1}^{N_G} (P_i^{G_0} + \Delta P_i^G) + \sum_{i=1}^{N_R} P_i + \sum_{i=1}^{N_B} P_{i,BAT} - \sum_{i=1}^{N_L} P_i^L - (P_{Ls}^0 + \Delta P_{Ls}) = 0 \quad (5.60)$$

$$\sum_{i=1}^{N_C} HE_i \cdot (P_i^{G_0} + \Delta P_i^G) \geq \sum_{i=1}^{N_H} (H_i^L + H_{Ls}) \quad (5.61)$$

$$\Delta S_{ij} \leq S_{ij}^{\text{lim}} - |S_{ij}^0| \quad (5.62)$$

$$V_i^{\text{min}} - V_i^0 \leq \Delta V_i \leq V_i^{\text{max}} - V_i^0 \quad (5.63)$$

$$P_i^{G,\text{min}} - P_i^{G_0} \leq \Delta P_i^G \leq P_i^{G,\text{max}} - P_i^{G_0} \quad (5.64)$$

$$Q_i^{G,\text{min}} - Q_i^{G_0} \leq \Delta Q_i^G \leq Q_i^{G,\text{max}} - Q_i^{G_0} \quad (5.65)$$

$$-P_{i,\text{charge}}^{\text{max}} \leq P_{i,BAT} \leq P_{i,\text{discharge}}^{\text{max}} \quad (5.66)$$

$$-E_{i,\text{charge}}^{\text{max}} \leq E_{i,BAT} \leq E_{i,\text{discharge}}^{\text{max}} \quad (5.67)$$

บทที่ 6

การวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริด

การวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ทั่วไปที่ได้กล่าวในบทที่ 4 จะวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างๆ ในระบบให้สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าเพียงพอต่อภาระทางไฟฟ้าในช่วงเวลาที่พิจารณา อย่างไรก็ตาม ดังที่เคยกล่าวไว้ว่าในระบบไมโครกริดจะมีองค์ประกอบที่แตกต่างจากระบบไฟฟ้าโดยทั่วไป โดยเฉพาะระบบไมโครกริดที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนและภาระทางความร้อน จึงต้องวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าและความร้อนเพียงพอต่อภาระทางไฟฟ้าและความร้อนในระบบได้

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดที่น่าสนใจในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยแบ่งรายละเอียดออกเป็น (1) นิยามตัวแปร (2) ปัญหา และ (3) ระเบียบวิธีในการแก้ปัญหา

6.1 นิยามตัวแปร

นิยามของตัวแปรที่ปรากฏอยู่ในสมการสามารถอธิบายได้ดังนี้

N_D	คือ	จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถจัดสรรกำลังผลิตได้ (unit)
N_{UD}	คือ	จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ไม่สามารถจัดสรรกำลังผลิตได้ (unit)
T	คือ	ระยะเวลาในการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (hr)
t	คือ	เวลา t (hr)
$P_i^L(t)$	คือ	ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าที่บัส i ณ เวลา t (kW)
$H_i^L(t)$	คือ	ปริมาณความต้องการใช้ความร้อนที่บัส i ณ เวลา t (kWth)
$R(t)$	คือ	กำลังผลิตสำรอง ณ เวลา t (kW)
$P_i(t)$	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i ณ เวลา t (kW)
$P_{BAT}(t)$	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงของแบตเตอรี่ ณ เวลา t (kW)
$P_i^{\max}(t)$	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i ณ เวลา t เมื่อคำนึงถึงข้อจำกัด ramp rate (kW)
$P_i^{\min}(t)$	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงต่ำสุดที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i ณ เวลา t เมื่อคำนึงถึงข้อจำกัด ramp rate (kW)
F_T	คือ	ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในช่วงเวลา T (บาท)

$F_i(P_i(t))$	คือ	ฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i (฿/hr)
$u_i(t)$	คือ	สถานะในการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i ณ เวลา t
	คือ	โดยที่ 1 แทน สถานะทำงาน และ 0 แทน สถานะไม่ทำงาน
RU_i	คือ	อัตราการเพิ่มกำลังผลิต (Ramp up Rate) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i (kW/min)
RD_i	คือ	อัตราการลดกำลังผลิต (Ramp down Rate) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i (kW/min)
MU_i	คือ	จำนวนชั่วโมงเดินเครื่องต่ำสุด (Minimum up) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i (hr)
MD_i	คือ	จำนวนชั่วโมงหยุดเครื่องต่ำสุด (Minimum down) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i (hr)
SU_i	คือ	ค่าใช้จ่ายในการสตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i (บาท)
SD_i	คือ	ค่าใช้จ่ายในการหยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i (บาท)
L_{pk}	คือ	จำนวนความต้องการไฟฟ้าสูงสุดในช่วงเวลา T
\bar{C}_i	คือ	จำนวนรอบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i (cycles)
T_i^c	คือ	ระยะเวลาคงอยู่ในรอบการทำงาน c ของเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (hr)

6.2 ปัญหา

การวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับไมโครกริดมีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้ผลิตไฟฟ้าและความร้อนในช่วงเวลาที่พิจารณา โดยค่าใช้จ่ายดังกล่าวได้แก่ค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าและความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือค่าใช้จ่ายที่ได้จากการจัดสรรกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าง่ายที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 5 และค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าง่ายดังกล่าวที่ (6.1)

ค่าใช้จ่ายในการสตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$SU_T = \sum_{i=1}^{N_D} \sum_{c=2}^{\bar{C}_i} H(T_i^c) \cdot SU_i \quad (6.1ก)$$

ค่าใช้จ่ายในการหยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$SD_T = \sum_{i=1}^{N_D} \sum_{c=2}^{\bar{C}_i} [1 - H(T_i^c)] \cdot SD_i \quad (6.1ข)$$

โดยที่ $H(\cdot)$ คือ Unit step function

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function)

$$\text{Min } F_T = SU_T + SD_T + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{N_D} F_i(P_i(t)) \cdot u_i(t) \quad (6.2)$$

เงื่อนไขบังคับ (Constraints)

1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะผลิตกำลังไฟฟ้า ณ ช่วงเวลาหนึ่ง ได้ไม่เกินพิกัด Ramp Rate

$$P_i^{\max}(t) = \min\{P_i^{\max}, P_i(t-1) + \tau \cdot RU_i\} \quad (6.3)$$

$$P_i^{\min}(t) = \max\{P_i^{\min}, P_i(t-1) - \tau \cdot RD_i\} \quad (6.4)$$

โดยที่ $\tau = 60$ นาที

2) กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องสมดุลกับภาระทางไฟฟ้าในระบบ

$$\sum_{i=1}^{N_D} u_i(t)P_i(t) + \sum_{i=1}^{N_{UD}} u_i(t)P_i(t) + \sum_{i=1}^{N_B} P_{i,BAT}(t) = \sum_{i=1}^{N_L} P_i^L(t) + P_{L_s}(t), \quad t = 1, \dots, T \quad (6.5)$$

3) ความร้อนที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องเพียงพอกับภาระทางความร้อนในระบบ

$$\sum_{i=1}^{N_C} u_i(t) \cdot HE_i \cdot P_i(t) \geq \sum_{i=1}^{N_H} (H_i^L(t) + H_{L_s}(t)), \quad t = 1, \dots, T \quad (6.6)$$

4) พลังงานที่แหล่งเก็บพลังงานสำรองจะสามารถจ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้า ณ ช่วงเวลาหนึ่ง จะต้องไม่เกินพิกัดพลังงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง

$$-E_{i,charge}^{\max} \leq E_{i,BAT} \leq E_{i,discharge}^{\max} \quad (6.7)$$

โดยที่

$$E_{i,BAT} = \sum_{k=0}^t P_{i,BAT}(k) \cdot \tau$$

5) พลังงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง ณ จุดเริ่มต้น และพลังงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง ณ จุดสิ้นสุดของการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะต้องมามีค่าเท่ากัน

$$E_{i,0} = E_{i,T} = E_{i,0} + \sum_{t=1}^T P_{i,BAT}(t) \cdot \tau \quad (6.8)$$

โดยที่

$E_{i,0}$ คือ พลังงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง i ณ จุดเริ่มต้น (kWhr)

$E_{i,T}$ คือ พลังงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง i ณ จุดสิ้นสุด (kWhr)

6) กำลังผลิตสำรองในระบบ

$$\sum_{i=1}^{N_D} u_i(t) P_i^{\max}(t) + \sum_{i=1}^{N_{UD}} u_i(t) P_i(t) + \sum_{i=1}^{N_B} P_{i,BAT}(t) \geq \sum_{i=1}^{N_L} P_i^L(t) + R(t), \quad t = 1, \dots, T \quad (6.9)$$

6.3 ระเบียบวิธีในการแก้ปัญหา

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมในการค้นหาคำตอบ มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเป็นวิธีการออปติไมซ์แบบสุ่ม (Stochastic optimization) อย่างหนึ่งที่เลียนแบบหลักการถ่ายทอดทางพันธุกรรมทางธรรมชาติ (Natural genetics) เพื่อหาค่าเหมาะสมโดยรวม (Global optimum) โดยขั้นตอนวิธีพันธุกรรมประกอบไปด้วย 8 ขั้นตอน ดังนี้

- 1) การลงรหัส (Encoding) และการถอดรหัส (Decoding)
- 2) การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initialization)
- 3) การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Value)
- 4) การคัดเลือก (Reproduction)
- 5) การข้ามสายพันธุ์ (Crossover)
- 6) การผ่าเหล่า (Mutation)
- 7) การเลือกโครโมโซมที่โดดเด่นเพื่อรักษาไว้ในรุ่นถัดไป
- 8) เงื่อนไขการหยุด

6.3.1 การลงรหัสและการถอดรหัส

6.3.1.1 การลงรหัสและการถอดรหัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เนื่องจากขั้นตอนวิธีพันธุกรรมใช้รหัสของตัวแปรในการออปติไมซ์ ดังนั้นถ้าเราเลือกวิธีลงรหัสที่เหมาะสมย่อมทำให้ขั้นตอนวิธีพันธุกรรมมีประสิทธิภาพดีขึ้นด้วย การลงรหัสที่นิยมใช้โดยทั่วไปจะเป็นการลงรหัสโดยอาศัยระบบเลขฐานสอง (0 และ 1) เป็นส่วนประกอบของโครโมโซมในการลงรหัส อย่างไรก็ตาม ตัวแปรสำหรับปัญหาการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงเงื่อนไข Minimum UP และ Minimum DOWN ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วย ดังนั้นการลงรหัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าก่อนทำการลงรหัสตัวแปรเป็นเลขฐานสอง จะต้องลงรหัสตัวแปรเป็นเลขจำนวนเต็มก่อน (Integer-coded) [13] ซึ่งจะอธิบายดังต่อไปนี้

ในการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ผู้วางแผนจะทราบลักษณะการเดินเครื่องและจำนวนการสตาร์ท-หยุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือจำนวนรอบการทำงาน (cycles) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใน 1 วัน จากข้อมูลสถิติที่ผ่านมา ซึ่งจำนวนรอบ (\bar{C}_i) ดังกล่าวสามารถหาได้ดังสมการที่ (6.11)

$$\bar{C}_i = \min \left\{ [2 \cdot L_{pk} + 1], \left[\left(\frac{2 \cdot T}{MU_i + MD_i} \right) + 1 \right] \right\}, \quad i = 1, \dots, N \quad (6.11)$$

โดยระยะเวลาการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวมทุกรอบจะเท่ากับระยะเวลาในการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$\sum_{c=1}^{\bar{C}_i} |T_i^c| = T \quad (6.12)$$

ระยะเวลาการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละรอบ สามารถหาได้ต่อไปนี้

ระยะเวลาการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารอบที่ 1 (T_i^1)

$$\text{ถ้า } T_i^0 > 0 \quad T_i^1 = +\text{RAND} \{ \max(0, MU_i - T_i^0), T \} \quad (6.13)$$

$$\text{ถ้า } T_i^0 < 0 \quad T_i^1 = -\text{RAND} \{ \max(0, MD_i + T_i^0), T \} \quad (6.14)$$

โดยที่

T_i^0 คือ ระยะเวลาการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรอบสุดท้ายก่อนวันวางแผนการผลิต

ระยะเวลาการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารอบที่ c (T_i^c)

ถ้า $T_i^{c-1} < 0$

$$\text{ถ้า } RT_i^{c-1} > MU_i \quad T_i^c = +\text{RAND} \{ MU_i, RT_i^{c-1} \} \quad (6.15)$$

$$\text{ถ้า } RT_i^{c-1} \leq MU_i \quad T_i^c = +RT_i^{c-1} \quad (6.16)$$

ถ้า $T_i^{c-1} > 0$

$$\text{ถ้า } RT_i^{c-1} > MD_i \quad T_i^c = -\text{RAND} \{ MD_i, RT_i^{c-1} \} \quad (6.17)$$

$$\text{ถ้า } RT_i^{c-1} \leq MD_i \quad T_i^c = -RT_i^{c-1} \quad (6.18)$$

โดยที่

$$RT_i^{c-1} = T - \sum_{p=1}^{c-1} |T_i^p| \quad (6.19)$$

ระยะเวลาการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารอบสุดท้าย ($T_i^{\bar{C}_i}$)

$$T_i^{\bar{C}_i} = RT_i^{\bar{C}_i-1} \quad (6.20)$$

ตัวอย่างการลงรหัสตัวแปรเป็นเลขจำนวนเต็มแล้วแปลงเป็นเลขฐานสองและตัวอย่างโครโมโซมแสดงดังรูปที่ 6.1 และ รูปที่ 6.2

	Cycles		
Unit	1	2	3
1	24	0	0
2	-7	15	-2



Hourly schedule																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0

รูปที่ 6.1 การลงรหัสตัวแปรเป็นเลขจำนวนเต็มแล้วแปลงเป็นเลขฐานสอง

Unit 1										Unit 2												
1	1	1	...							1	1	1	0	0	0	...				1	0	0

รูปที่ 6.2 ตัวอย่างโครโมโซมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความยาว 48 บิต

6.3.1.2 การลงรหัสและการถอดรหัสของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง

ในการลงรหัสของแหล่งเก็บพลังงานสำรองจะเป็นการลงรหัสโดยอาศัยระบบเลขฐานสองเป็นส่วนประกอบของโครโมโซม ดังรูปที่ 6.3

โดยที่

- 1 หมายถึง แหล่งเก็บพลังงานสำรองรับกำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้า
- 0 หมายถึง แหล่งเก็บพลังงานสำรองไม่มีการจ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้า
- 1 หมายถึง แหล่งเก็บพลังงานสำรองจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ระบบไฟฟ้า

Battery								
0	-1	-1	...			1	1	0

รูปที่ 6.3 ตัวอย่างโครโมโซมของแหล่งเก็บพลังงานสำรองความยาว 24 บิต

6.3.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น

การสร้างประชากรเริ่มต้น หมายถึง การหารูปแบบของคำตอบในรูปแบบของโครโมโซมขึ้นมาจำนวนหนึ่งโดยการสุ่ม เพื่อให้กระบวนการทางพันธุกรรมสามารถดำเนินต่อไปได้ การหาปริมาณคำตอบเริ่มต้นนั้นจะต้องคำนึงถึงเวลาในการคำนวณซึ่งจะแปรผันโดยตรงกับจำนวนรูปแบบที่ต้องทำการวิเคราะห์ จากเหตุผลดังกล่าวการกำหนดประชากรเริ่มต้นที่ดีจึงต้องมีค่าไม่มากจนทำให้เสียเวลาในการคำนวณเริ่มต้นมาก แต่ก็ต้องไม่น้อยจนเกินไปเพื่อให้มีการผสมสายพันธุ์ที่หลากหลาย

6.3.3 การประเมินค่าความเหมาะสม

โครโมโซมที่ผ่านการถอดรหัสในขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมจะถูกประเมินความเหมาะสมโดยทั่วไปค่าความเหมาะสมนี้จะขึ้นอยู่กับค่าของฟังก์ชันเป้าหมาย สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ต้องการหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะสามารถผลิตได้ โดยที่ระบบผลิตไฟฟ้าจะต้องใช้เชื้อเพลิงน้อยที่สุด ดังสมการที่ (6.2) นั่นคือ ต้องการให้ค่าของฟังก์ชันเป้าหมายมีค่าน้อยๆ จึงกำหนดให้ค่าความเหมาะสมมีค่าเท่ากับส่วนกลับของค่าฟังก์ชันเป้าหมายรวมกับค่าปรับโทษจากการละเมิดเงื่อนไขบังคับต่างๆ

ค่าความเหมาะสมได้มีการปรับปรุงโดยมีค่าปรับโทษ (Penalty) มาช่วยในการคำนวณเพื่อให้เงื่อนไขบังคับต่างๆ ในวิธีขั้นตอนทางพันธุกรรม มีบทบาทในการค้นหาค่าตอบมากขึ้น คือนอกจากพิจารณาเพียงละเมิดหรือไม่ละเมิดเงื่อนไขบังคับเท่านั้น แต่ได้มีการให้ค่าความเหมาะสมของคำตอบที่ละเมิดหรือไม่ละเมิด เงื่อนไขบังคับใดๆ ที่แตกต่างกันไปด้วย โดยสามารถแสดงค่าความเหมาะสมของคำตอบได้ดังสมการที่ (6.21)

$$\text{fitness} = \frac{1}{F_T + \text{penalty}} \quad (6.21)$$

โดยที่

$$\text{penalty} = \text{penHD} + \text{penRS} + \text{penMC} + \text{penC} + \text{penDC} \quad (6.22)$$

1) ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขความเพียงพอต่อภาระทางความร้อนในระบบ (penHD)

$$\text{penHD} = F_T^{\max} \cdot \sum_{t=1}^T \frac{1}{H^L(t)} \cdot \left(H^L(t) - \sum_{i=1}^{N_C} u_i(t) \cdot HE_i \cdot P_i^{\max}(t) \right) \quad (6.23)$$

2) ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขกำลังผลิตสำรองในระบบ (penRS)

$$\text{penRS} = F_T^{\max} \cdot \sum_{t=1}^T \frac{1}{P^L(t)} \cdot \left(P^L(t) + R(t) - \sum_{i=1}^{N_D} u_i(t) P_i^{\max}(t) - \sum_{i=1}^{N_{UD}} u_i(t) P_i^{\max}(t) \right) \quad (6.24)$$

3) ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขกำลังผลิตต่ำสุดในระบบ (penMC)

$$\text{penMC} = F_T^{\max} \cdot \sum_{t=1}^T \frac{1}{P^L(t)} \cdot \left(\sum_{i=1}^{N_D} u_i(t) P_i^{\min}(t) + \sum_{i=1}^{N_{UD}} u_i(t) P_i^{\min}(t) - P^L(t) \right) \quad (6.25)$$

4) ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขแหล่งเก็บพลังงานสำรองรับกำลังไฟฟ้าเกินพิกัด (penC)

$$\text{penC} = F_T^{\max} \cdot \frac{n_{oc}}{T} \quad (6.26)$$

โดยที่

n_{oc} คือ จำนวนชั่วโมงที่แหล่งเก็บพลังงานสำรองรับกำลังไฟฟ้าเกินพิกัด (hr)

5) ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขแหล่งเก็บพลังงานสำรองจ่ายกำลังไฟฟ้าเกินพิกัด (penDC)

$$\text{penDC} = F_T^{\max} \cdot \frac{n_{odc}}{T} \quad (6.27)$$

โดยที่

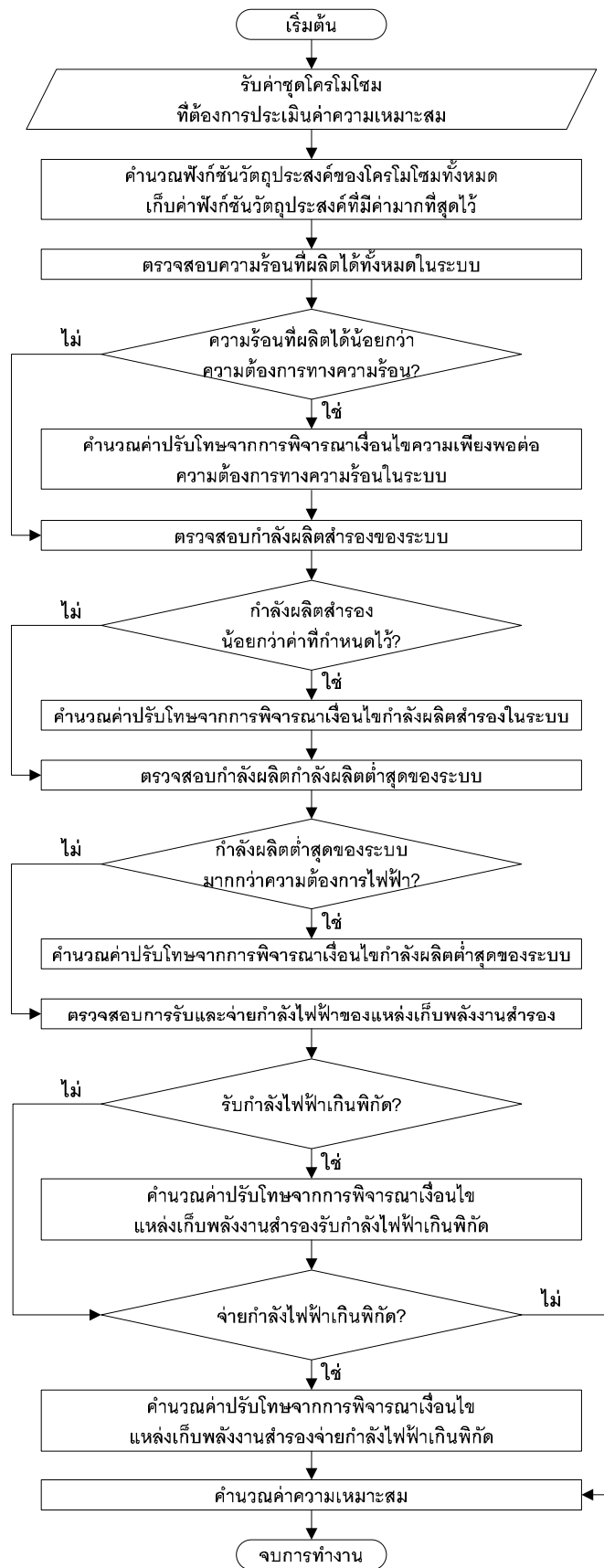
n_{odc} คือ จำนวนชั่วโมงที่แหล่งเก็บพลังงานสำรองจ่ายกำลังไฟฟ้าเกินพิกัด (hr)

ขั้นตอนการประเมินค่าความเหมาะสมเป็นกระบวนการหนึ่งที่อยู่ในขั้นตอนวิธีพันธุกรรม ซึ่งมีหน้าที่พิจารณาความเหมาะสมของการจัดสรรกำลังผลิตแต่ละชุดคำตอบ สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

- 1) ขั้นตอนที่ 1 รับค่าชุดโครโมโซมที่ต้องการประเมินค่าความเหมาะสม
- 2) ขั้นตอนที่ 2 คำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์ตามสมการที่ (6.2) ของโครโมโซมทั้งหมด และเก็บค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีค่ามากที่สุดไว้
- 3) ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบปริมาณความร้อนที่ผลิตได้ทั้งหมดในระบบ คำนวณค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขความเพียงพอต่อภาระทางความร้อนในระบบเมื่อความร้อนที่ผลิตได้น้อยกว่าภาระทางความร้อน

- 4) ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบกำลังผลิตสำรองทั้งหมดในระบบ คำนวณค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขกำลังผลิตสำรองในระบบ
- 5) ขั้นตอนที่ 5 ตรวจสอบกำลังผลิตกำลังผลิตต่ำสุดในระบบ คำนวณค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขกำลังผลิตต่ำสุดในระบบ
- 6) ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบการรับและจ่ายกำลังไฟฟ้าของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง คำนวณค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขแหล่งเก็บพลังงานสำรองรับและจ่ายกำลังไฟฟ้าเกินพิกัด
- 7) ขั้นตอนที่ 7 คำนวณค่าความเหมาะสมตามสมการที่ (6.21)

จากขั้นตอนการประเมินค่าความเหมาะสมของโครโมโซมที่ได้อธิบายมาทั้ง 7 ขั้นตอน สามารถสรุปให้อยู่ในรูปแบบผังการทำงานได้ดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 ขั้นตอนการประเมินค่าความเหมาะสม

6.3.4 การคัดเลือก

การคัดเลือกเป็นขั้นตอนที่จะเลือกว่าใครโมไซมแต่ละตัวในกลุ่มประชากรนั้นควรจะอยู่รอดในรุ่นต่อไปหรือไม่ โดยจะพิจารณาจากค่าความเหมาะสมของใครโมไซมแต่ละตัว ถ้าใครโมไซมใดมีค่าความเหมาะสมสูงก็มีโอกาสที่จะอยู่รอดมาก ส่วนใครโมไซมที่มีค่าความเหมาะสมต่ำก็มีโอกาสอยู่รอดน้อย ซึ่งอธิบายได้ดังสมการที่ (6.28) ตารางที่ 6.1 แสดงตัวอย่างการสัดส่วนความเหมาะสมของใครโมไซมจำนวน 4 ตัว การเลือกใครโมไซมจะทำโดยสุ่มหาอันดับของใครโมไซมตามจำนวนใครโมไซม (4 ครั้ง) ใครโมไซมอันดับที่ถูกสุ่มนั้นจะได้รับการคัดเลือกให้อยู่รอดต่อไป หลักการนี้เรียกว่า วิธีวงล้อรูเล็ตต์

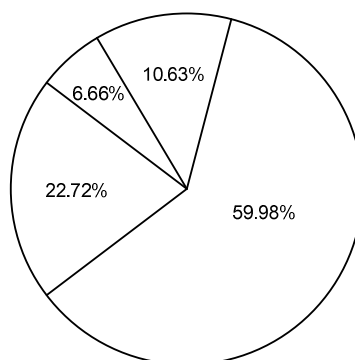
$$P_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} * 100 \quad (6.28)$$

โดยที่

- f_i คือ ค่าความเหมาะสมของแต่ละใครโมไซม
 n คือ จำนวนประชากรใครโมไซมทั้งหมด (Population Size)
 P_i คือ โอกาสของใครโมไซมที่ถูกเลือก (Probability of Selection)

ตารางที่ 6.1 สัดส่วนความเหมาะสมของใครโมไซม

ลำดับที่	ใครโมไซม	ค่าความเหมาะสม	อันดับความเหมาะสม	โอกาสใครโมไซมจะถูกเลือก
1	11010	0.005917	2	22.72
2	11000	0.001736	4	6.66
3	10000	0.015625	1	59.98
4	10011	0.00277	3	10.63
ผลรวม		0.026048	ผลรวม	100



รูปที่ 6.5 การคัดเลือกวิธีวงล้อรูเล็ตต์

6.3.5 การข้ามสายพันธุ์

การข้ามสายพันธุ์เป็นขั้นตอนหนึ่งในขั้นตอนวิธีพันธุกรรมซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง การข้ามสายพันธุ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และการข้ามสายพันธุ์ของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง

6.3.5.1 การข้ามสายพันธุ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โดยทั่วไปการข้ามสายพันธุ์ที่นิยมใช้จะเป็นการข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ อย่างไรก็ตาม การข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธีนี้อาจเกิดการละเมิดเงื่อนไขบังคับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ จึงต้องมีการปรับปรุงการข้ามสายพันธุ์ให้เหมาะสม ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ และการปรับปรุงการข้ามสายพันธุ์เพื่อประยุกต์ใช้กับปัญหาอย่างเหมาะสม

1) การข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์

การข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน โดยในขั้นแรก เราจะสุ่มเลือกโครโมโซมที่จะข้ามสายพันธุ์ขึ้นมาคู่หนึ่งก่อนเรียกว่าโครโมโซมพ่อแม่ จากนั้นในขั้นตอนที่สอง จะทำการสุ่มเลขระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นมาโดยถ้าเลขสุ่มดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ก็จะไม่ทำการข้ามสายพันธุ์ แต่ถ้าเลขสุ่มดังกล่าวสูงกว่าความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ก็จะทำการข้ามสายพันธุ์ สรุปคือการข้ามสายพันธุ์จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขดังสมการที่ (6.29)

$$P_R > P_C \quad (6.29)$$

โดยที่

P_R คือ ความน่าจะเป็นที่ถูกสุ่มขึ้นมาในแต่ละคู่โครโมโซม

P_C คือ ความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์

ในกรณีที่ต้องมีการข้ามสายพันธุ์ ในขั้นตอนที่สาม จะทำการสุ่มบิตโครโมโซม 0 ถึง 1 ที่มีความยาวเท่ากับความยาวบิตของโครโมโซมพ่อแม่ขึ้นมาชุดหนึ่ง จากนั้นถ้าตำแหน่งใดของบิตโครโมโซมที่สุ่มขึ้นมาเป็น 1 ก็ทำการแลกเปลี่ยนบิตตำแหน่งนั้นระหว่างโครโมโซมพ่อแม่คู่นั้น ถ้าตำแหน่งใดของบิตสตริงที่สุ่มขึ้นมาเป็น 0 ก็ยังคงบิตตำแหน่งนั้นเหมือนเดิมดังแสดงในรูปที่ 6.6 ซึ่งหลักการปรับปรุงการข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธีการดังกล่าวเรียกว่าการทำยูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ (Uniform Crossover)

โครโมโซมพ่อแม่ 1	1	1	0	1	0
โครโมโซมพ่อแม่ 2	0	1	0	0	1
โครโมโซมสุ่ม	1	1	0	0	1
โครโมโซมลูก 1	0	1	0	1	1
โครโมโซมลูก 2	1	1	0	0	0

รูปที่ 6.6 การข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์

จากหลักการดังกล่าวจะเห็นว่าการทำงานนิฟอร์มครอสโอเวอร์เป็นการข้ามสายพันธุ์ที่ทุกบิตในโครโมโซมมีโอกาสที่จะแลกเปลี่ยนบิตกับโครโมโซมอื่นๆเท่าเทียมกัน ดังนั้นการข้ามสายพันธุ์วิธีนี้จะได้ผลลัพธ์ที่ไม่ขึ้นกับตำแหน่งข้ามสายพันธุ์หรือความยาวบิตของโครโมโซมพ่อแม่

2) การปรับปรุงการข้ามสายพันธุ์เพื่อประยุกต์ใช้กับปัญหาอย่างเหมาะสม

จากที่ได้กล่าวไว้ปัญหาการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงเงื่อนไข Minimum UP และ Minimum DOWN ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หากใช้หลักการข้ามสายพันธุ์แบบทั่วไปหรือการข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์อาจทำให้มีการละเมิดเงื่อนไขดังกล่าวได้ ดังนั้นจึงต้องมีการประยุกต์การข้ามสายพันธุ์เพื่อใช้กับปัญหาการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนในการข้ามสายพันธุ์แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน เช่นเดียวกับการข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ต้องการข้ามสายพันธุ์หรือขั้นตอนที่สามเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกเลือกให้ข้ามสายพันธุ์จะทำการแลกเปลี่ยนบิตทั้งหมดที่แทนรหัสตัวแปรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระหว่างโครโมโซมพ่อแม่ ดังแสดงในรูปที่ 6.7

	Unit 1							Unit 2						
โครโมโซมพ่อแม่ 1	1	1	1	...	1	1	1	0	0	0	...	1	1	1
โครโมโซมพ่อแม่ 2	0	0	0	...	1	1	1	1	1	1	...	1	1	1
โครโมโซมสุ่ม	1							0						
	Unit 1							Unit 2						
โครโมโซมลูก 1	0	0	0	...	1	1	1	0	0	0	...	1	1	1
โครโมโซมลูก 2	1	1	1	...	1	1	1	1	1	1	...	1	1	1

รูปที่ 6.7 การข้ามสายพันธุ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

6.3.5.2 การข้ามสายพันธุ์ของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง

ในการข้ามสายพันธุ์ของแหล่งเก็บพลังงานสำรองจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน เช่นเดียวกับ การข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ดังรูปที่ 6.8

โครโมโซมพ่อแม่ 1	0	-1	0	1	0
โครโมโซมพ่อแม่ 2	-1	1	0	-1	1
โครโมโซมผสม	1	1	0	0	1
โครโมโซมลูก 1	-1	1	0	1	1
โครโมโซมลูก 2	0	-1	0	-1	0

รูปที่ 6.8 การข้ามสายพันธุ์ของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง

6.3.6 การผ่าเหล่า

การผ่าเหล่าเป็นกระบวนการที่ป้องกันการลู่เข้าก่อนกำหนดและไม่ให้สูญเสียข้อมูลที่สำคัญ บางอย่างไประหว่างกระบวนการถ่ายทอด ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึง การผ่าเหล่าของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้า และการผ่าเหล่าของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง

6.3.6.1 การผ่าเหล่าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในการผ่าเหล่าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะคำนึงถึงเงื่อนไข Minimum UP และ Minimum DOWN ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเช่นเดียวกับการข้ามสายพันธุ์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

เราจะกำหนดความน่าจะเป็นค่าหนึ่งซึ่งเรียกว่า ความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่า โดยในขั้น แรกจะสุ่มเลขในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 ที่ทุก ๆ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า แล้วเปรียบเทียบเลขที่สุ่มกับความ น่าจะเป็นของการผ่าเหล่า ถ้าเลขที่สุ่มในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใดมีค่าต่ำกว่าความน่าจะเป็นของการผ่า เหล่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นก็จะไม่ผ่าเหล่า แต่ถ้าเลขที่สุ่มในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใดมีค่าสูงกว่าความ น่าจะเป็นของการผ่าเหล่าก็จะผ่าเหล่าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น สรุปคือการผ่าเหล่า (Mutation) จะ เกิดขึ้นก็ต่อเมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขดังสมการที่ (6.30)

$$P_{Ri} > P_M \quad (6.30)$$

โดยที่

P_{Ri} คือ ความน่าจะเป็นที่ถูกสุ่มขึ้นมาในแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

P_M คือ ความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่า

ในขั้นตอนที่สองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกเลือกให้ทำการผ่าเหล่าแล้ว จะสุ่มเลือกกรอบการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อจะทำการผ่าเหล่า ในขั้นตอนที่สามจะทำการสุ่มระยะเวลาคงอยู่ในรอบการทำงาน T_i^c ของเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามสมการที่ (6.26) - สมการที่ (6.31) โดยตัวอย่างการผ่าเหล่าสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.9

ถ้า $RAND=0$

ถ้า $T_i^{c-1} > 0$

$$T_i^{c,mu} = T_i^c + RAND\{1, RT_i^{c-1}\} \quad (6.31)$$

ถ้า $T_i^{c-1} < 0$

$$T_i^{c,mu} = T_i^c - RAND\{1, RT_i^{c-1}\} \quad (6.32)$$

ถ้า $RAND=1$

ถ้า $T_i^{c-1} > 0$

$$T_i^{c,mu} = T_i^c - RAND\{0, \min(T_i^{c-1}, (T_i^c + T_i^0) - MU_i)\} \quad , c = 1 \quad (6.33)$$

$$T_i^{c,mu} = T_i^c - RAND\{0, T_i^c - MU_i\} \quad , 1 < c < \bar{C}_i \quad (6.34)$$

ถ้า $T_i^{c-1} < 0$

$$T_i^{c,mu} = T_i^c - RAND\{0, \min(|T_i^{c-1}|, |T_i^c + T_i^0| - MD_i)\} \quad , c = 1 \quad (6.35)$$

$$T_i^{c,mu} = T_i^c - RAND\{0, |T_i^c| - MD_i\} \quad , 1 < c < \bar{C}_i \quad (6.36)$$

โครโมโซม	Unit 1			Unit 2		
	Cycles			Cycles		
	1	2	3	1	2	3
โครโมโซมก่อนการผ่าเหล่า	24	0	0	-7	15	-2
โครโมโซมหลังการผ่าเหล่า	24	0	0	-7	10	-7

รูปที่ 6.9 การผ่าเหล่าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กรณี $i = 2$ และ $c = 2$

6.3.5.2 การผ่าเหล่าของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง

การผ่าเหล่าของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง ในขั้นแรกจะสุ่มเลขในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 ที่ทุก ๆ บิตของเบตเตอรี แล้วเปรียบเทียบเลขที่สุ่มกับความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่า ถ้าเลขที่สุ่มในบิตใดมีค่าต่ำกว่าความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่าบิตนั้นก็จะไม่ผ่าเหล่า แต่ถ้าเลขที่สุ่มในบิตใดมีค่าสูงกว่าความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่าก็ผ่าเหล่าที่บิตนั้น สรุปคือการผ่าเหล่าจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขดังสมการที่ (6.37)

$$P_{Ri} > P_M \quad (6.37)$$

โดยที่

P_{Ri} คือ ความน่าจะเป็นที่ถูกสุ่มขึ้นมาในแต่ละบิตของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง

P_M คือ ความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่า

ในขั้นตอนที่สองบิตที่ถูกเลือกให้ทำการผ่าเหล่าแล้ว จะสุ่มสถานะการทำงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรองใหม่จากชุดตัวเลข $[-1, 0, 1]$ ดังแสดงในรูปที่ 6.10

โครโมโซมก่อนการผ่าเหล่า	0	-1	0	1	0
โครโมโซมสุ่ม	1	1	0	0	1
โครโมโซมหลังการผ่าเหล่า	-1	-1	0	1	1

รูปที่ 6.10 การผ่าเหล่าของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง

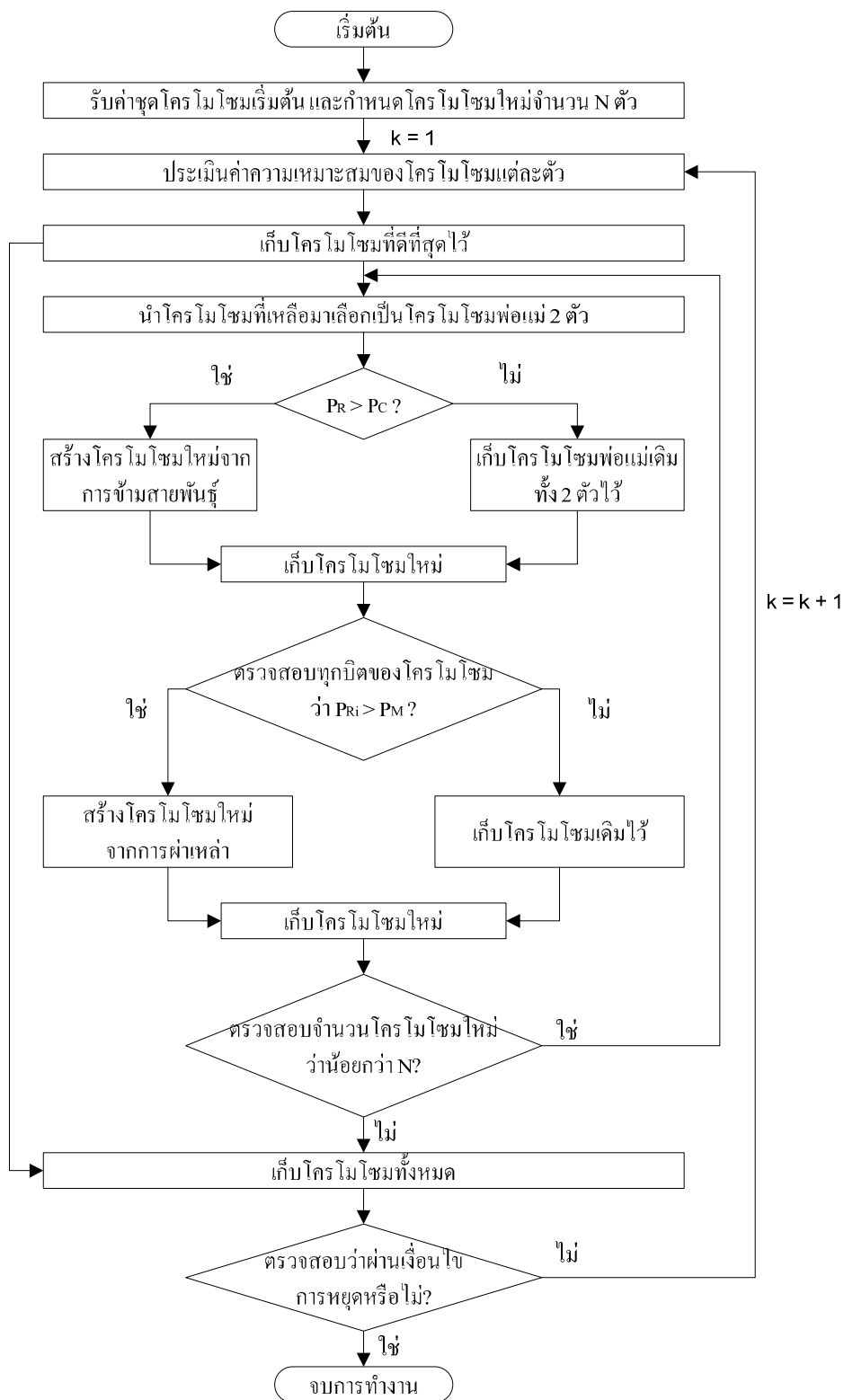
6.3.7 การเลือกโครโมโซมที่โดดเด่นเพื่อรักษาไว้ในรุ่นถัดไป

การดำเนินการทางพันธุศาสตร์เป็นกระบวนการที่อาศัยความน่าจะเป็นในการถ่ายทอดประชากรจากรุ่นหนึ่งไปยังอีกรุ่นหนึ่ง ซึ่งไม่มีหลักประกันว่าในรอบถัดไปจะมีประชากรที่ดีกว่ารุ่นแรก และในบางครั้งก็อาจจะสูญเสียโครโมโซมที่ดีที่สุดไปในระหว่างการถ่ายทอด จากปัญหานี้เองจึงได้เกิดแนวคิดที่ว่าควรจะเก็บโครโมโซมที่ดีที่สุดในแต่ละรอบของการถ่ายทอดเอาไว้ในรอบถัดไป เพื่อเป็นหลักประกันว่าโครโมโซมที่ดีที่สุดในรอบถัดไปจะดีกว่าในรอบก่อนหน้านั้นเสมอ ซึ่งหลักการนี้เรียกว่า อีลิทิสซึม (Elitism)

6.3.8 เงื่อนไขการหยุด

ในวิทยานิพนธ์นี้เงื่อนไขการหยุดของขั้นตอนวิธีพันธุกรรม คือหยุดหาคำตอบเมื่อค่าฟังก์ชันเป้าหมายในแต่ละรุ่นไม่มีการเปลี่ยนแปลงครบจำนวนครั้งที่กำหนดไว้

จากขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีพันธุกรรมที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปให้อยู่ในรูปแผนผังการทำงานได้ดังรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.11 ขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

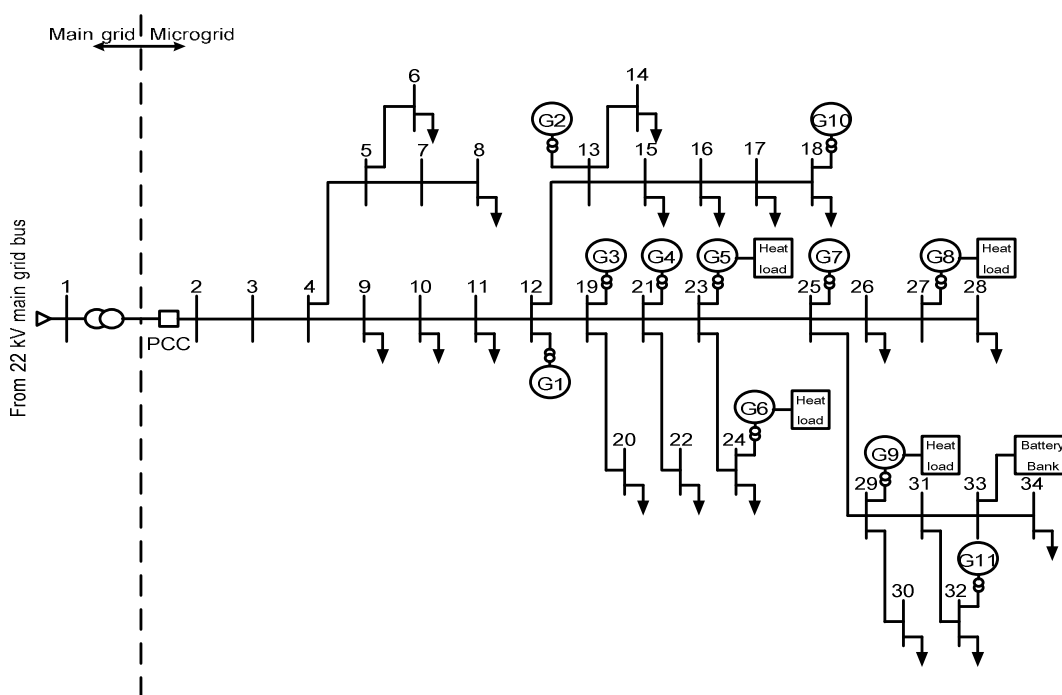
บทที่ 7

การทดสอบวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริด

ในบทนี้จะแสดงผลการวิเคราะห์หาแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริด โดยจะทำการวิเคราะห์กับระบบจริงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) คือ ระบบท่าทราย ที่ได้ทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว (Distributed Generation, DG) แหล่งเก็บพลังงานสำรอง และภาระทางความร้อนเพิ่มเข้าไป

การทดสอบกับระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (ระบบท่าทราย)

เนื่องจากระบบไฟฟ้าของประเทศไทยยังไม่มีระบบไฟฟ้าที่เป็นระบบไมโครกริด ดังนั้นการทดสอบวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยวิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์กับระบบทดสอบจริงจึงได้เลือกทดสอบกับระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค คือ ระบบท่าทราย ซึ่งได้ทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว แหล่งเก็บพลังงานสำรอง และภาระทางความร้อนเพิ่มเข้าไป ระบบทดสอบท่าทรายประกอบด้วยจำนวนบัสทั้งหมด 34 บัส จำนวนสายส่งทั้งหมด 33 เส้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 11 เครื่อง กำลังผลิตรวมสูงสุด 6,730 kW โดยมีแผนภาพเส้นเดี่ยวของระบบท่าทรายและชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้างบรูปที่ 7.1 และตารางที่ 7.1 ตามลำดับ ส่วนรายละเอียดอื่นของระบบทดสอบจะแสดงในภาคผนวก



รูปที่ 7.1 แผนภาพเส้นเดี่ยวของระบบท่าทราย

ตารางที่ 7.1 ชนิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ

Unit	Type	Fuel
1	Gas turbine	Gas
2	Gas turbine	Gas
3	Gas turbine	Gas
4	Gas turbine	Gas
5	CHP - Microturbine	Gas
6	CHP - Microturbine	Gas
7	Diesel engine	Diesel
8	CHP - Internal combustion engine	Diesel
9	CHP - Internal combustion engine	Diesel
10	PV	-
11	WIND	-

ในการทดสอบจะทำการทดสอบวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวันทำงานและวันหยุด เพื่อเปรียบเทียบแผนการเดินเครื่องที่ได้จากการทดสอบเนื่องจากลักษณะและปริมาณการใช้ไฟฟ้าและความร้อนของผู้ใช้จะแตกต่างกัน โดยได้เลือกวันที่มีความเข้มแสงอาทิตย์มากที่สุดมาใช้ในการทดสอบ คือ วันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2553 (วันหยุด) และวันที่ 21 เมษายน พ.ศ. 2553 (วันทำงาน)

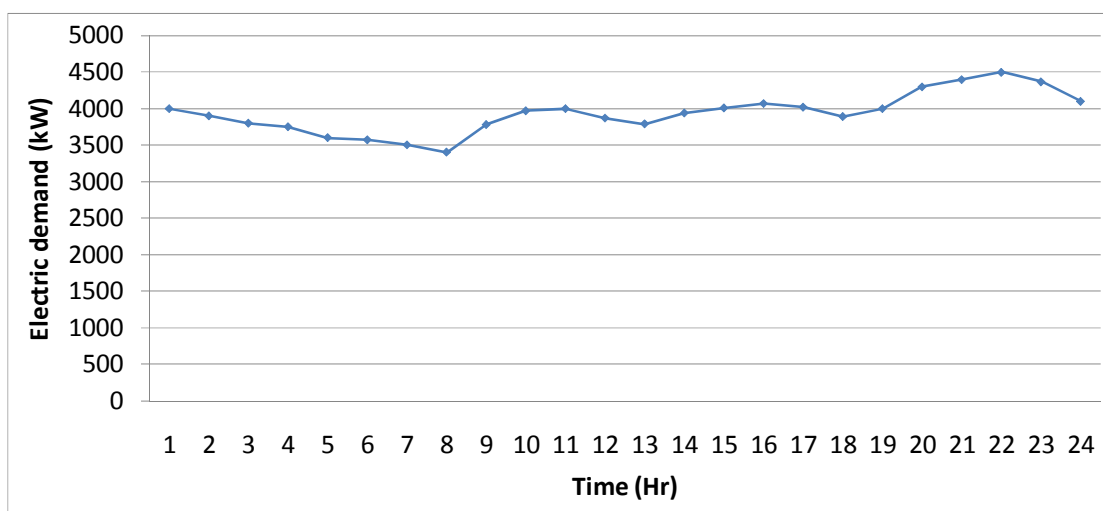
ซึ่งการทดสอบในแต่ละวันจะแบ่งการทดสอบเป็น 4 กรณี ดังนี้

- 1) กรณีระบบไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองและภาระทางความร้อน
- 2) กรณีระบบไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองแต่มีภาระทางความร้อน
- 3) กรณีระบบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองและภาระทางความร้อน
- 4) กรณีระบบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาดต่างๆ และภาระทางความร้อน

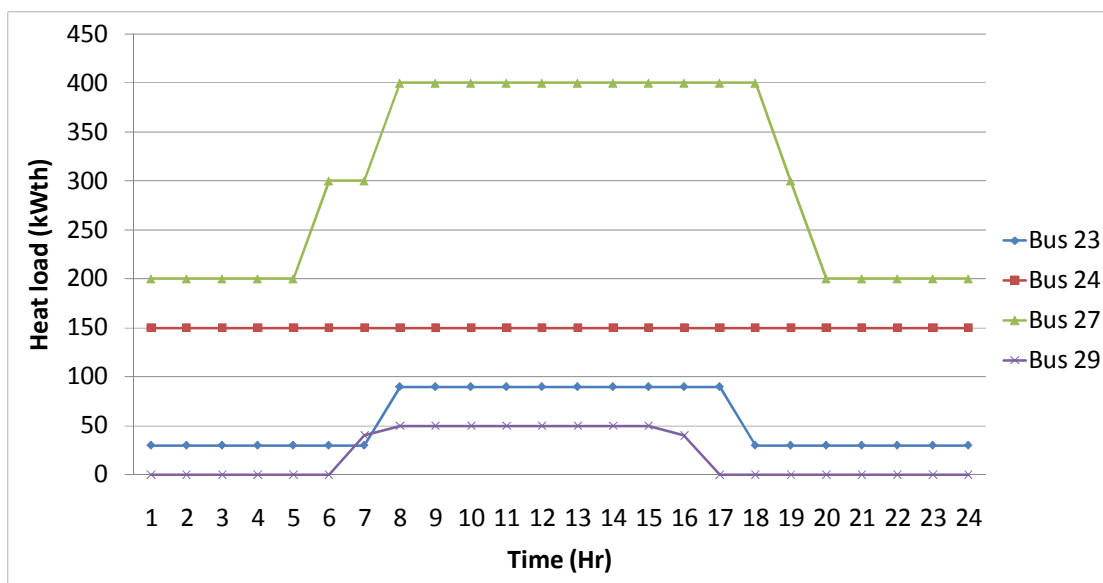
การทดสอบในแต่ละกรณีจะพิจารณาระบบในสถานะที่สถานีจ่ายไฟฟ้า (กฟภ.) ที่บัส 1 ไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ หรือระบบทำงานในแบบไอส์แลนด์ (ผลิตและส่งกำลังไฟฟ้าภายในพื้นที่)

7.1 การทดสอบวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบท่าทรายในช่วงวันหยุด

จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นได้เลือกวันที่ 4 เมษายน พ.ศ. 2553 ซึ่งเป็นวันหยุดมาใช้ในการทดสอบ โดยมีภาระทางไฟฟ้าทั้งระบบดังรูปที่ 7.2 และภาระทางความร้อนที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนดังรูปที่ 7.3 ตามลำดับ



รูปที่ 7.2 ภาระทางไฟฟ้าในช่วงวันหยุด



รูปที่ 7.3 ภาระทางความร้อนในช่วงวันหยุด

จากรูปที่ 7.2 และรูปที่ 7.3 พบว่า ภาระทางไฟฟ้าจะมีค่ามากในช่วงกลางวันและมีค่าสูงสุดที่เวลา 22.00 น. โดยมีขนาดเท่ากับ 4,500 kW ส่วนภาระทางความร้อนซึ่งเป็นโรงงานอุตสาหกรรม จะกำหนดให้มีการใช้ความร้อนตามปกติในช่วงวันหยุด

7.1.1 กรณีระบบไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองและภาระทางความร้อน

ในการทดสอบกรณีนี้เป็นการทดสอบวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อใช้เปรียบเทียบกับกรณีทดสอบอื่นที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น โดยกำหนดให้ระบบทดสอบไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองและภาระทางความร้อน ผลการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้จากการทดสอบสามารถแสดงดังตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.2 แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.1

Time (Hr)	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10	Unit 11
1.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
2.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
3.00	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1
4.00	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0
5.00	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1
6.00	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1
7.00	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0
8.00	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0
9.00	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0
10.00	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0
11.00	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0
12.00	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0
13.00	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1
14.00	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0
15.00	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1
16.00	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1
17.00	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1
18.00	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1
19.00	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1
20.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
21.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1

ตารางที่ 7.2 แผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.1 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10	Unit 11
22.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
23.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
24.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1

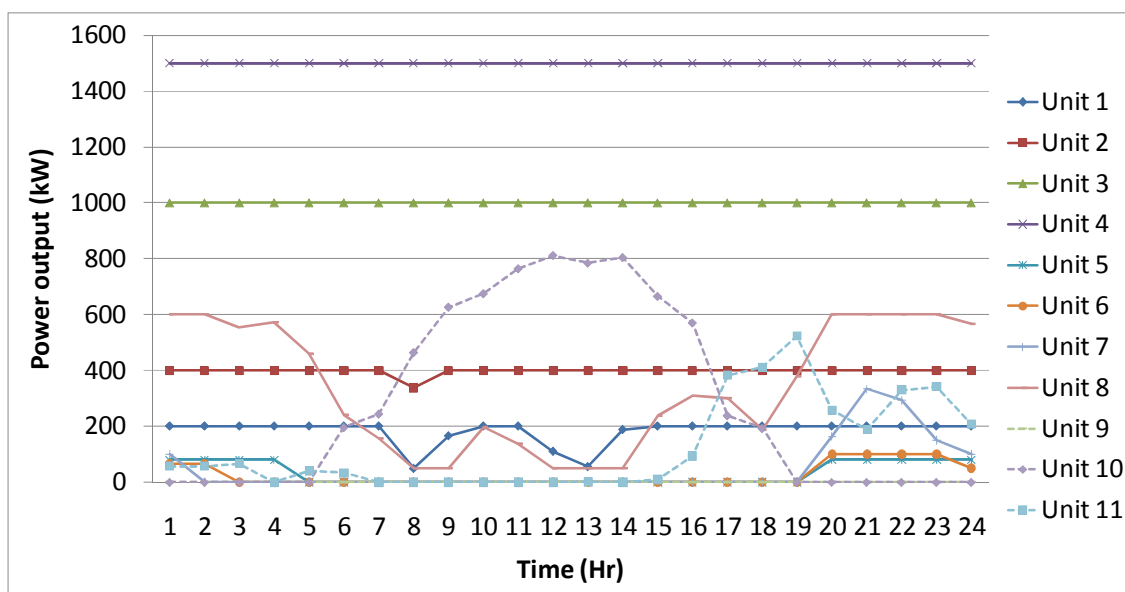
จากแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 7.2 สามารถแสดงกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ดังตารางที่ 7.3 และรูปที่ 7.4

ตารางที่ 7.3 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.1

Time (Hr)	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)	Unit 6 (kW)	Unit 7 (kW)	Unit 8 (kW)	Unit 9 (kW)	Unit 10 (kW)	Unit 11 (kW)
1.00	200	400	1000	1500	80	66	100	600	0	0	57
2.00	200	400	1000	1500	80	66	0	600	0	0	57
3.00	200	400	1000	1500	80	0	0	555	0	0	67
4.00	200	400	1000	1500	80	0	0	572	0	0	0
5.00	200	400	1000	1500	0	0	0	461	0	0	41
6.00	200	400	1000	1500	0	0	0	242	0	196	34
7.00	200	400	1000	1500	0	0	0	158	0	244	0
8.00	50	338	1000	1500	0	0	0	50	0	464	0
9.00	166	400	1000	1500	0	0	0	50	0	627	0
10.00	200	400	1000	1500	0	0	0	197	0	675	0
11.00	200	400	1000	1500	0	0	0	138	0	764	0
12.00	110	400	1000	1500	0	0	0	50	0	812	0
13.00	56	400	1000	1500	0	0	0	50	0	784	2
14.00	188	400	1000	1500	0	0	0	50	0	804	0
15.00	200	400	1000	1500	0	0	0	238	0	665	9
16.00	200	400	1000	1500	0	0	0	308	0	570	93

ตารางที่ 7.3 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.1 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)	Unit 6 (kW)	Unit 7 (kW)	Unit 8 (kW)	Unit 9 (kW)	Unit 10 (kW)	Unit 11 (kW)
17.00	200	400	1000	1500	0	0	0	300	0	239	383
18.00	200	400	1000	1500	0	0	0	187	0	193	412
19.00	200	400	1000	1500	0	0	0	380	0	0	523
20.00	200	400	1000	1500	80	100	164	600	0	0	259
21.00	200	400	1000	1500	80	100	334	600	0	0	189
22.00	200	400	1000	1500	80	100	293	600	0	0	330
23.00	200	400	1000	1500	80	100	150	600	0	0	343
24.00	200	400	1000	1500	80	50	100	565	0	0	208



รูปที่ 7.4 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.1

จากแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 7.2 และ 7.3 พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 5 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 5.00 น. ถึง 19.00 น. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 6 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 3.00 น. ถึง 19.00 น. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 7 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 2.00 น. ถึง 19.00 น. และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 9 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 1.00 น. ถึง 24.00 น. โดยค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงและการสตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 7.4

ตารางที่ 7.4 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.1

Time (Hr)	Fuel cost (บาท)	Start up cost (บาท)	Total cost (บาท)
1.00	1,396,387	-	1,396,387
2.00	1,327,129	-	1,327,129
3.00	1,261,799	-	1,261,799
4.00	1,271,928	-	1,271,928
5.00	1,164,329	-	1,164,329
6.00	1,039,090	-	1,039,090
7.00	993,213	-	993,213
8.00	834,070	-	834,070
9.00	919,180	-	919,180
10.00	1,014,735	-	1,014,735
11.00	982,848	-	982,848
12.00	892,092	-	892,092
13.00	865,801	-	865,801
14.00	930,442	-	930,442
15.00	1,036,836	-	1,036,836
16.00	1,076,187	-	1,076,187
17.00	1,071,607	-	1,071,607
18.00	1,009,309	-	1,009,309
19.00	1,117,123	-	1,117,123
20.00	1,462,757	37,400	1,500,157
21.00	1,588,338	-	1,588,338
22.00	1,557,869	-	1,557,869
23.00	1,452,899	-	1,452,899
24.00	1,366,184	-	1,366,184
Total	27,632,151	37,400	27,669,551

จากตารางที่ 7.4 พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 27,669,551 บาท โดยมีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดในเวลา 1.00 น.

7.1.2 กรณีระบบไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองแต่มีภาระทางความร้อน

ในการทดสอบกรณีนี้เป็นการทดสอบวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยกำหนดให้ระบบทดสอบไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองแต่มีภาระทางความร้อน ผลการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถแสดงดังตารางที่ 7.5

ตารางที่ 7.5 แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.2

Time (Hr)	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10	Unit 11
1.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
2.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
3.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
4.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0
5.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
6.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
7.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
8.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
9.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
10.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
11.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
12.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
13.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
14.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0
15.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
16.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
17.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
18.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
19.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
20.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
21.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
22.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1

ตารางที่ 7.5 แผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.2 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10	Unit 11
23.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
24.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1

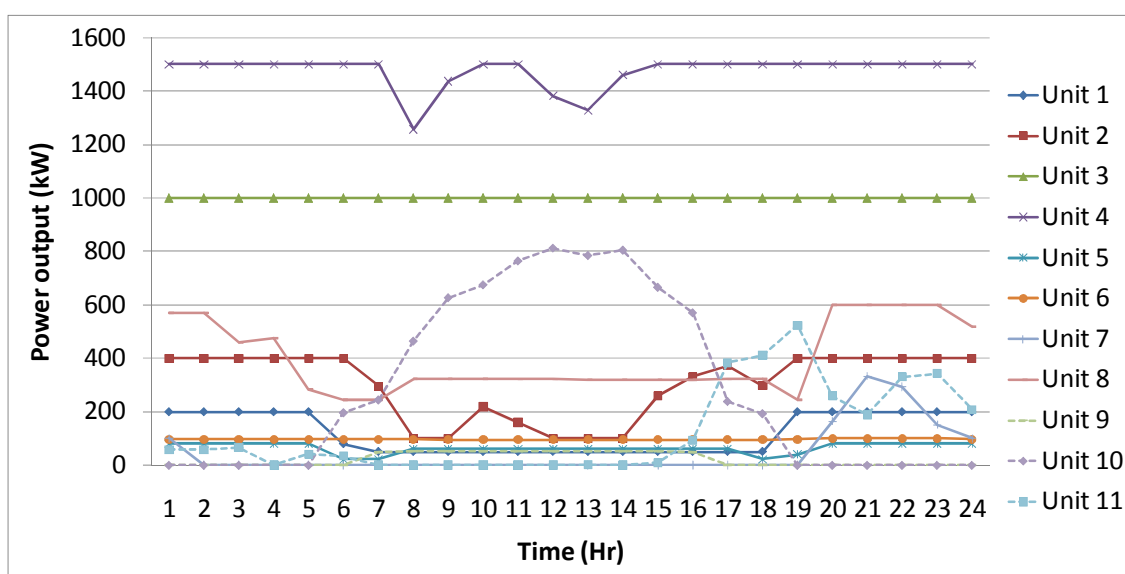
จากแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 7.5 สามารถแสดงกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ดังตารางที่ 7.6 และรูปที่ 7.5

ตารางที่ 7.6 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.2

Time (Hr)	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)	Unit 6 (kW)	Unit 7 (kW)	Unit 8 (kW)	Unit 9 (kW)	Unit 10 (kW)	Unit 11 (kW)
1.00	200	400	1000	1500	80	96	100	569	0	0	57
2.00	200	400	1000	1500	80	96	0	569	0	0	57
3.00	200	400	1000	1500	80	96	0	459	0	0	67
4.00	200	400	1000	1500	80	96	0	476	0	0	0
5.00	200	400	1000	1500	80	96	0	285	0	0	41
6.00	80	400	1000	1500	22	96	0	244	0	196	34
7.00	50	296	1000	1500	22	96	0	244	50	244	0
8.00	50	100	1000	1257	61	96	0	322	51	464	0
9.00	50	100	1000	1436	61	96	0	321	51	627	0
10.00	50	218	1000	1500	61	96	0	321	51	675	0
11.00	50	159	1000	1500	61	96	0	321	51	764	0
12.00	50	100	1000	1382	61	96	0	321	51	812	0
13.00	50	100	1000	1328	61	96	0	321	51	784	2
14.00	50	100	1000	1460	61	96	0	321	51	804	0
15.00	50	259	1000	1500	61	96	0	321	51	665	9
16.00	50	331	1000	1500	61	96	0	321	50	570	93
17.00	50	372	1000	1500	61	96	0	321	0	239	383

ตารางที่ 7.6 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.2 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)	Unit 6 (kW)	Unit 7 (kW)	Unit 8 (kW)	Unit 9 (kW)	Unit 10 (kW)	Unit 11 (kW)
18.00	50	298	1000	1500	22	96	0	321	0	193	412
19.00	200	400	1000	1500	40	96	0	243	0	0	523
20.00	200	400	1000	1500	80	100	164	600	0	0	259
21.00	200	400	1000	1500	80	100	334	600	0	0	189
22.00	200	400	1000	1500	80	100	293	600	0	0	330
23.00	200	400	1000	1500	80	100	150	600	0	0	343
24.00	200	400	1000	1500	80	96	100	519	0	0	208



รูปที่ 7.5 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.2

จากแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 7.5 และ 7.6 พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 7 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 2.00 น. ถึง 19.00 น. และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 9 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 1.00 น. ถึง 6.00 น. และช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 24.00 น. เมื่อเปรียบเทียบแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกรณีไม่มีภาระทางความร้อนในระบบ พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 6 และ 9 จะต้องเดินเครื่องเพิ่มในช่วงเวลา 3.00 น. ถึง 19.00 น. และช่วงเวลา 7.00 น. ถึง 16.00 น.

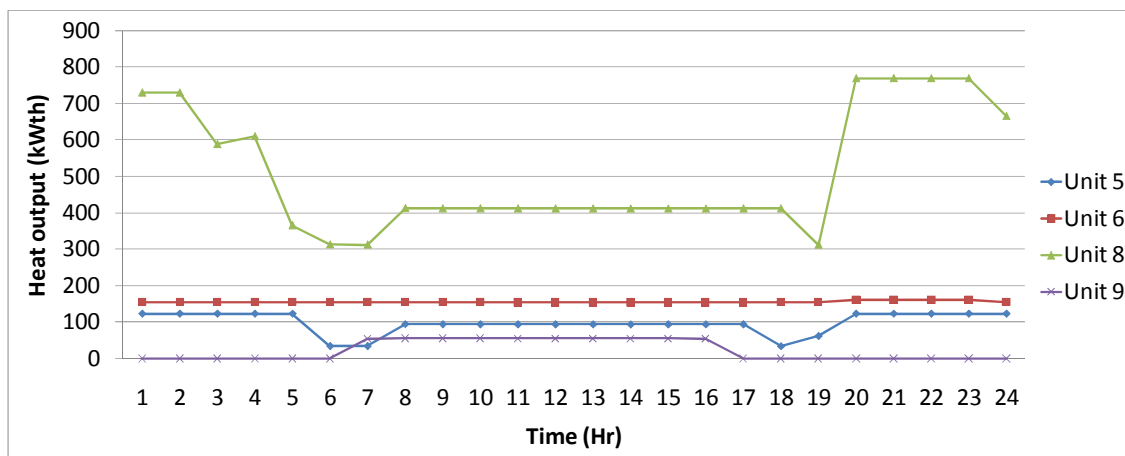
ตามลำดับ เพื่อจ่ายความร้อนให้กับภาระทางความร้อนในระบบ โดยความร้อนที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนสามารถแสดงดังตารางที่ 7.7 และรูปที่ 7.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 7.7 ความร้อนที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP กรณีทดสอบ 7.1.2

Time (Hr)	Unit 5 (kWth)		Unit 6 (kWth)		Unit 8 (kWth)		Unit 9 (kWth)	
	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat
1.00	123	34	155	155	730	212	0	0
2.00	123	34	155	155	730	212	0	0
3.00	123	34	155	155	588	212	0	0
4.00	123	34	155	155	610	212	0	0
5.00	123	34	155	155	365	212	0	0
6.00	34	34	155	155	312	312	0	0
7.00	34	34	155	155	312	312	54	46
8.00	94	94	155	155	412	412	56	56
9.00	94	94	155	155	412	412	56	56
10.00	94	94	155	155	412	412	56	56
11.00	94	94	155	155	411	411	55	55
12.00	94	94	155	155	411	411	55	55
13.00	94	94	155	155	411	411	55	55
14.00	94	94	154	154	411	411	55	55
15.00	94	94	155	155	411	411	55	55
16.00	94	94	155	155	411	411	54	45
17.00	94	94	155	155	411	411	0	0
18.00	34	34	155	155	412	412	0	0
19.00	62	34	155	155	312	312	0	0
20.00	123	34	161	155	769	212	0	0
21.00	123	34	161	155	769	212	0	0
22.00	123	34	161	155	769	212	0	0
23.00	123	34	161	155	769	212	0	0

ตารางที่ 7.7 ความร้อนที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP กรณีทดสอบ 7.1.2 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 5 (kWth)		Unit 6 (kWth)		Unit 8 (kWth)		Unit 9 (kWth)	
	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat
24.00	123	34	155	155	665	212	0	0



รูปที่ 7.6 ความร้อนที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP กรณีทดสอบ 7.1.2

จากความร้อนที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในตารางที่ 7.7 พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 6 และ 9 จะพยายามผลิตความร้อนให้พอดีกับภาระทางความร้อน เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้างดงกล่าวมีค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงสูงจึงไม่มีความจำเป็นที่จะผลิตความร้อนเกินภาระทางความร้อน อย่างไรก็ตาม ในช่วงที่กำลังผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องอื่นไม่เพียงพอต่อภาระทางไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 9 ก็จะมีผลิตไฟฟ้าเพิ่มในช่วงเวลา 20.00 น. ถึง 23.00 น. ตามลำดับ ส่งผลให้ความร้อนที่ผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

ค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงและการสตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 7.8

ตารางที่ 7.8 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.2

Time (Hr)	Fuel cost (บาท)	Start up cost (บาท)	Total cost (บาท)
1.00	1,396,387	-	1,396,387
2.00	1,327,129	-	1,327,129
3.00	1,260,734	-	1,260,734

ตารางที่ 7.8 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.2 (ต่อ)

Time (Hr)	Fuel cost (บาท)	Start up cost (บาท)	Total cost (บาท)
4.00	1,270,721	-	1,270,721
5.00	1,159,222	-	1,159,222
6.00	1,038,878	-	1,038,878
7.00	1,005,275	6,800	1,012,075
8.00	855,646	-	855,646
9.00	935,701	-	935,701
10.00	1,025,752	-	1,025,752
11.00	995,647	-	995,647
12.00	910,475	-	910,475
13.00	886,103	-	886,103
14.00	946,585	-	946,585
15.00	1,046,640	-	1,046,640
16.00	1,083,566	-	1,083,566
17.00	1,070,085	-	1,070,085
18.00	1,010,306	-	1,010,306
19.00	1,113,813	-	1,113,813
20.00	1,462,757	10,200	1,472,957
21.00	1,588,338	-	1,588,338
22.00	1,557,869	-	1,557,869
23.00	1,452,899	-	1,452,899
24.00	1,366,184	-	1,366,184
Total	27,766,711	17,000	27,783,711

จากตารางที่ 7.8 พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 27,783,711 บาท โดยมีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดในเวลา 21.00 น. เมื่อเปรียบเทียบ ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากับกรณีไม่มีภาระทางความร้อนในระบบ พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น 114,160 บาท ดังตารางที่ 7.9

ตารางที่ 7.9 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.1 และ 7.1.2

Time (Hr)	Total cost (บาท)	
	กรณีที่ 7.1.1 ไม่มีภาระทางความร้อน	กรณีที่ 7.1.2 มีภาระทางความร้อน
1.00	1,396,387	1,396,387
2.00	1,327,129	1,327,129
3.00	1,261,799	1,260,734
4.00	1,271,928	1,270,721
5.00	1,164,329	1,159,222
6.00	1,039,090	1,038,878
7.00	993,213	1,012,075
8.00	834,070	855,646
9.00	919,180	935,701
10.00	1,014,735	1,025,752
11.00	982,848	995,647
12.00	892,092	910,475
13.00	865,801	886,103
14.00	930,442	946,585
15.00	1,036,836	1,046,640
16.00	1,076,187	1,083,566
17.00	1,071,607	1,070,085
18.00	1,009,309	1,010,306
19.00	1,117,123	1,113,813
20.00	1,500,157	1,472,957
21.00	1,588,338	1,588,338
22.00	1,557,869	1,557,869
23.00	1,452,899	1,452,899
24.00	1,366,184	1,366,184
Total	27,669,551	27,783,711

7.1.3 กรณีระบบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองและภาระทางความร้อน

ในการทดสอบกรณีนี้เป็นการทดสอบวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยกำหนดให้ระบบทดสอบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 1,220 kWh และภาระทางความร้อน ผลการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถแสดงดังตารางที่ 7.10

ตารางที่ 7.10 แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.3

Time (Hr)	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10	Unit 11	Battery bank
1.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
2.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
3.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
4.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	-1
5.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
6.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	-1
7.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	-1
8.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
9.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
10.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
11.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
12.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
13.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
14.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
15.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
16.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
17.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
18.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
19.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0
20.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
21.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
22.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1

ตารางที่ 7.10 แผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.3 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10	Unit 11	Battery bank
23.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
24.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0

จากแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 7.10 สามารถแสดงกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งเก็บพลังงานสำรองได้ดังตารางที่ 7.11, 7.12 และรูปที่ 7.7

ตารางที่ 7.11 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.3

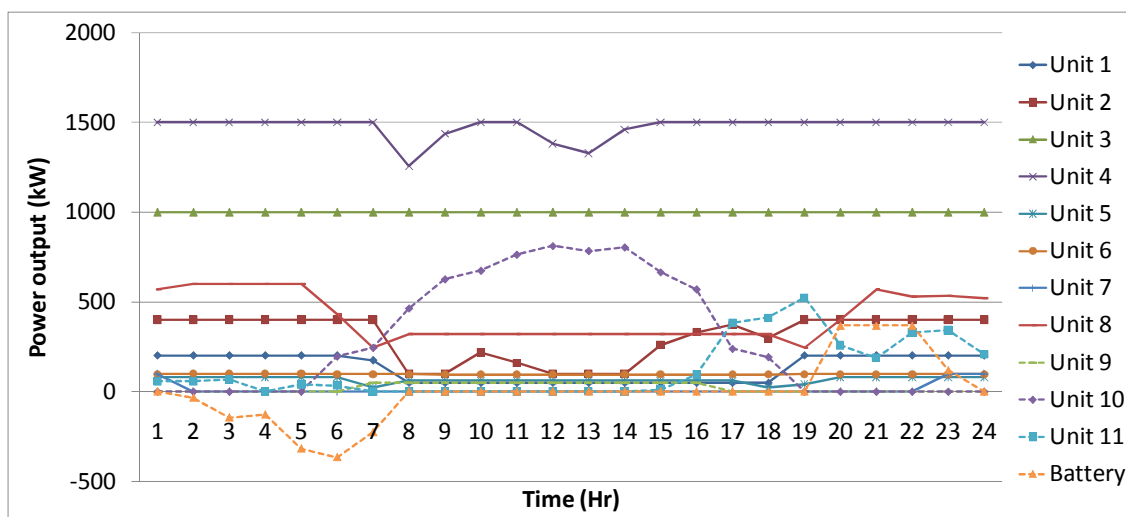
Time (Hr)	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)	Unit 6 (kW)	Unit 7 (kW)	Unit 8 (kW)	Unit 9 (kW)	Unit 10 (kW)	Unit 11 (kW)
1.00	200	400	1000	1500	80	96	100	569	0	0	57
2.00	200	400	1000	1500	80	100	0	600	0	0	57
3.00	200	400	1000	1500	80	100	0	600	0	0	67
4.00	200	400	1000	1500	80	100	0	600	0	0	0
5.00	200	400	1000	1500	80	100	0	600	0	0	41
6.00	200	400	1000	1500	80	96	0	433	0	196	34
7.00	173	400	1000	1500	22	96	0	244	50	244	0
8.00	50	100	1000	1257	61	96	0	322	51	464	0
9.00	50	100	1000	1436	61	96	0	321	51	627	0
10.00	50	218	1000	1500	61	96	0	321	51	675	0
11.00	50	159	1000	1500	61	96	0	321	51	764	0
12.00	50	100	1000	1382	61	96	0	321	51	812	0
13.00	50	100	1000	1328	61	96	0	321	51	784	2
14.00	50	100	1000	1460	61	96	0	321	51	804	0
15.00	50	259	1000	1500	61	96	0	321	51	665	9
16.00	50	331	1000	1500	61	96	0	321	50	570	93
17.00	50	372	1000	1500	61	96	0	321	0	239	383

ตารางที่ 7.11 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.3 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)	Unit 6 (kW)	Unit 7 (kW)	Unit 8 (kW)	Unit 9 (kW)	Unit 10 (kW)	Unit 11 (kW)
18.00	50	298	1000	1500	22	96	0	321	0	193	412
19.00	200	400	1000	1500	40	96	0	243	0	0	523
20.00	200	400	1000	1500	80	96	0	401	0	0	259
21.00	200	400	1000	1500	80	96	0	571	0	0	189
22.00	200	400	1000	1500	80	96	0	530	0	0	330
23.00	200	400	1000	1500	80	96	100	535	0	0	343
24.00	200	400	1000	1500	80	96	100	519	0	0	208

ตารางที่ 7.12 การทำงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.1.3

Time (Hr)	Battery bank (kW)	Time (Hr)	Battery bank (kW)	Time (Hr)	Battery bank (kW)
1.00	0	9.00	0	17.00	0
2.00	-34	10.00	0	18.00	0
3.00	-145	11.00	0	19.00	0
4.00	-128	12.00	0	20.00	367
5.00	-319	13.00	0	21.00	367
6.00	-367	14.00	0	22.00	367
7.00	-228	15.00	0	23.00	119
8.00	0	16.00	0	24.00	0



รูปที่ 7.7 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.1.3

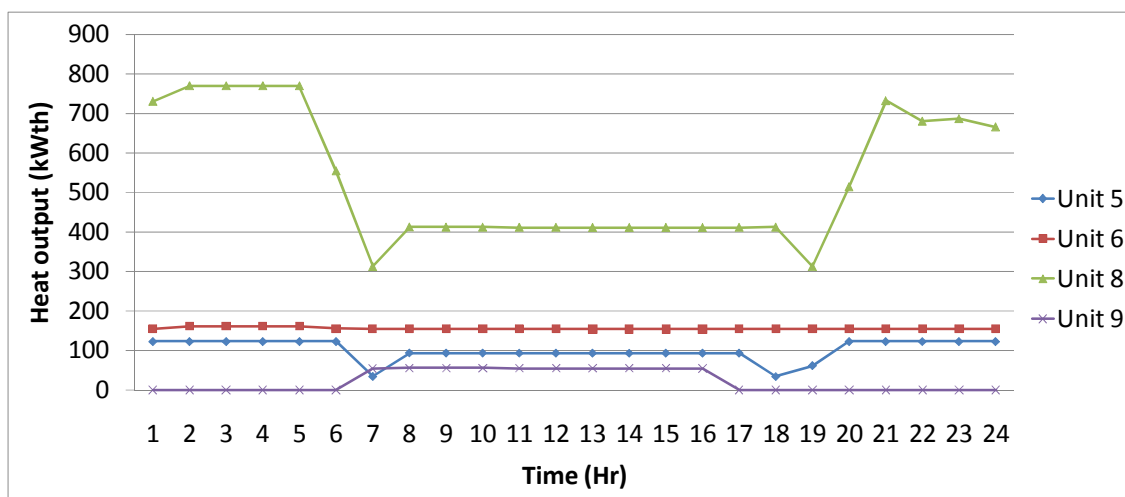
จากแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 7.10 และ 7.11 พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 7 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 2.00 น. ถึง 22.00 น. และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 9 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 1.00 น. ถึง 6.00 น. และในช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 24.00 น. ส่วนแหล่งเก็บพลังงานสำรองจะรับกำลังไฟฟ้าจากระบบในช่วงเวลา 2.00 น. ถึง 7.00 น. และจะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ระบบในช่วงเวลา 20.00 น. ถึง 23.00 น. เมื่อเปรียบเทียบแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกรณี 7.1.2 ซึ่งไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองในระบบ พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 7 จะไม่ต้องเดินเครื่องในช่วงเวลา 20.00 น. ถึง 22.00 น. ส่วนความร้อนที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนสามารถแสดงดังตารางที่ 7.13 และรูปที่ 7.8 ตามลำดับ

ตารางที่ 7.13 ความร้อนที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP กรณีทดสอบ 7.1.3

Time (Hr)	Unit 5 (kWth)		Unit 6 (kWth)		Unit 8 (kWth)		Unit 9 (kWth)	
	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat
1.00	123	34	155	155	730	212	0	0
2.00	123	34	161	155	769	212	0	0
3.00	123	34	161	155	769	212	0	0
4.00	123	34	161	155	769	212	0	0
5.00	123	34	161	155	769	212	0	0
6.00	123	34	155	155	555	312	0	0

ตารางที่ 7.13 ความร้อนที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP กรณีทดสอบ 7.1.3 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 5 (kWth)		Unit 6 (kWth)		Unit 8 (kWth)		Unit 9 (kWth)	
	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat
7.00	34	34	155	155	312	312	54	46
8.00	94	94	155	155	412	412	56	56
9.00	94	94	155	155	412	412	56	56
10.00	94	94	155	155	412	412	56	56
11.00	94	94	155	155	411	411	55	55
12.00	94	94	155	155	411	411	55	55
13.00	94	94	155	155	411	411	55	55
14.00	94	94	154	154	411	411	55	55
15.00	94	94	155	155	411	411	55	55
16.00	94	94	155	155	411	411	54	45
17.00	94	94	155	155	411	411	0	0
18.00	34	34	155	155	412	412	0	0
19.00	62	34	155	155	312	312	0	0
20.00	123	34	155	155	514	212	0	0
21.00	123	34	155	155	732	212	0	0
22.00	123	34	155	155	680	212	0	0
23.00	123	34	155	155	686	212	0	0
24.00	123	34	155	155	665	212	0	0



รูปที่ 7.8 ความร้อนที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP กรณีทดสอบ 7.1.3

ค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงและการสตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 7.14

ตารางที่ 7.14 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.3

Time (Hr)	Fuel cost (บาท)	Start up cost (บาท)	Total cost (บาท)
1.00	1,396,387	-	1,396,387
2.00	1,345,641	-	1,345,641
3.00	1,345,641	-	1,345,641
4.00	1,345,641	-	1,345,641
5.00	1,345,641	-	1,345,641
6.00	1,244,959	-	1,244,959
7.00	1,124,970	6,800	1,131,770
8.00	855,646	-	855,646
9.00	935,701	-	935,701
10.00	1,025,752	-	1,025,752
11.00	995,647	-	995,647
12.00	910,475	-	910,475
13.00	886,103	-	886,103
14.00	946,585	-	946,585

ตารางที่ 7.14 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.3 (ต่อ)

Time (Hr)	Fuel cost (บาท)	Start up cost (บาท)	Total cost (บาท)
15.00	1,046,640	-	1,046,640
16.00	1,083,566	-	1,083,566
17.00	1,070,085	-	1,070,085
18.00	1,010,306	-	1,010,306
19.00	1,113,813	-	1,113,813
20.00	1,226,282	-	1,226,282
21.00	1,327,722	-	1,327,722
22.00	1,303,602	-	1,303,602
23.00	1,376,006	10,200	1,386,206
24.00	1,366,184	-	1,366,184
Total	27,628,995	17,000	27,645,995

จากตารางที่ 7.14 พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 27,645,995 บาท โดยมีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดในเวลา 1.00 น. เมื่อเปรียบเทียบแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกรณี 7.1.2 ซึ่งไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองในระบบ พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าจะลดลง 137,716 บาท ดังตารางที่ 7.15 เนื่องจากแหล่งเก็บพลังงานสำรองจะช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลา 20.00 น. ถึง 23.00 น. แทนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 7 ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าแพง

ตารางที่ 7.15 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.2 และ 7.1.3

Time (Hr)	Total cost (บาท)	
	กรณีที่ 7.1.2 ไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรอง	กรณีที่ 7.1.3 มีแหล่งเก็บพลังงานสำรอง 1,220 kWh
1.00	1,396,387	1,396,387
2.00	1,327,129	1,345,641
3.00	1,260,734	1,345,641
4.00	1,270,721	1,345,641
5.00	1,159,222	1,345,641

ตารางที่ 7.15 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.2 และ 7.1.3 (ต่อ)

Time (Hr)	Total cost (บาท)	
	กรณีที่ 7.1.2 ไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรอง	กรณีที่ 7.1.3 มีแหล่งเก็บพลังงานสำรอง 1,220 kWh
6.00	1,038,878	1,244,959
7.00	1,012,075	1,131,770
8.00	855,646	855,646
9.00	935,701	935,701
10.00	1,025,752	1,025,752
11.00	995,647	995,647
12.00	910,475	910,475
13.00	886,103	886,103
14.00	946,585	946,585
15.00	1,046,640	1,046,640
16.00	1,083,566	1,083,566
17.00	1,070,085	1,070,085
18.00	1,010,306	1,010,306
19.00	1,113,813	1,113,813
20.00	1,472,957	1,226,282
21.00	1,588,338	1,327,722
22.00	1,557,869	1,303,602
23.00	1,452,899	1,386,206
24.00	1,366,184	1,366,184
Total	27,783,711	27,645,995

จากตารางที่ 7.15 พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในกรณีมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 1,220 kWh จะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 2.00 น. ถึง 7.00 น. และจะลดลงในช่วงเวลา 20.00 น. ถึง 23.00 น. เนื่องจากแหล่งเก็บพลังงานสำรองจะช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ระบบ

7.1.4 กรณีระบบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาดต่างๆ และภาระทางความร้อน

ในการทดสอบกรณีนี้เป็นการทดสอบวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับระบบที่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาดต่างๆ อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบของระบบทดสอบยังคงเหมือนกับการทดสอบหัวข้อ 7.1.3 ผลการทดสอบมีดังนี้

7.1.4.1 แหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 1,920 kWh

ผลการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถแสดงดังตารางที่ 7.16

ตารางที่ 7.16 แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.4.1

Time (Hr)	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10	Unit 11	Battery bank
1.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
2.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
3.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
4.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	-1
5.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
6.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	-1
7.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	-1
8.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	-1
9.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	-1
10.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
11.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
12.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
13.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
14.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
15.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
16.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
17.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
18.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
19.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1

ตารางที่ 7.16 แผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.4.1 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10	Unit 11	Battery bank
20.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
21.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
22.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
23.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
24.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1

จากแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 7.16 สามารถแสดงกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งเก็บพลังงานสำรองได้ดังตารางที่ 7.17, 7.18 และรูปที่ 7.9

ตารางที่ 7.17 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.4.1

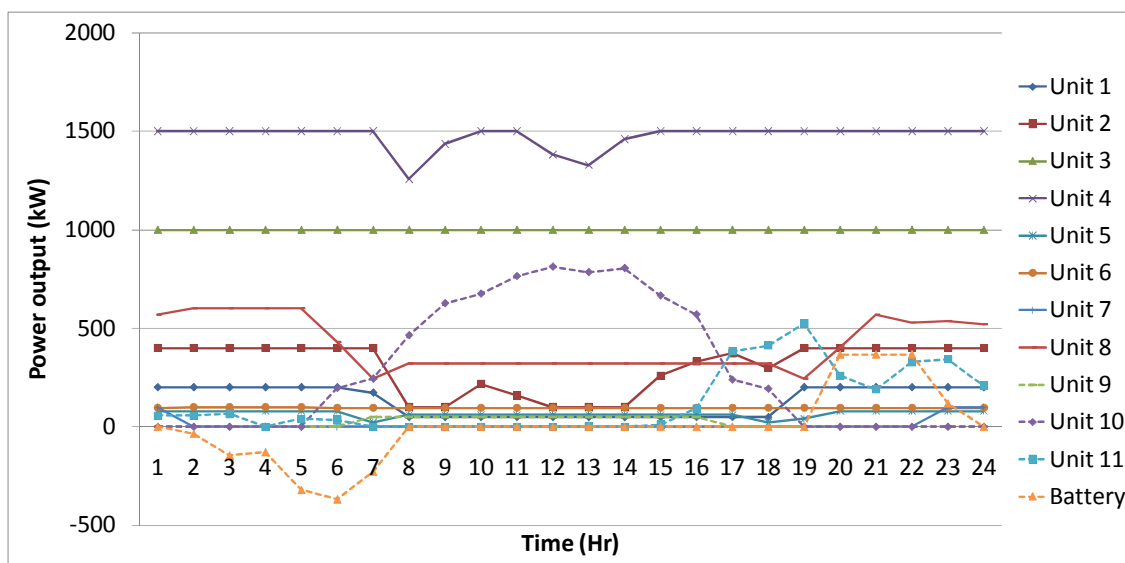
Time (Hr)	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)	Unit 6 (kW)	Unit 7 (kW)	Unit 8 (kW)	Unit 9 (kW)	Unit 10 (kW)	Unit 11 (kW)
1.00	200	400	1000	1500	80	96	100	569	0	0	57
2.00	200	400	1000	1500	80	100	0	600	0	0	57
3.00	200	400	1000	1500	80	100	0	600	0	0	67
4.00	200	400	1000	1500	80	100	0	600	0	0	0
5.00	200	400	1000	1500	80	100	0	600	0	0	41
6.00	200	400	1000	1500	80	96	0	433	0	196	34
7.00	200	400	1000	1500	80	96	0	298	50	244	0
8.00	50	224	1000	1500	61	96	0	322	51	464	0
9.00	50	230	1000	1500	61	96	0	321	51	627	0
10.00	50	218	1000	1500	61	96	0	321	51	675	0
11.00	50	159	1000	1500	61	96	0	321	51	764	0
12.00	50	100	1000	1382	61	96	0	321	51	812	0
13.00	50	100	1000	1328	61	96	0	321	51	784	2
14.00	50	100	1000	1460	61	96	0	321	51	804	0

ตารางที่ 7.17 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.4.1 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)	Unit 6 (kW)	Unit 7 (kW)	Unit 8 (kW)	Unit 9 (kW)	Unit 10 (kW)	Unit 11 (kW)
15.00	50	259	1000	1500	61	96	0	321	51	665	9
16.00	50	331	1000	1500	61	96	0	321	50	570	93
17.00	50	372	1000	1500	61	96	0	321	0	239	383
18.00	50	298	1000	1500	22	96	0	321	0	193	412
19.00	50	201	1000	1500	22	96	0	243	0	0	523
20.00	200	400	1000	1500	80	96	0	401	0	0	259
21.00	200	400	1000	1500	80	96	0	571	0	0	189
22.00	200	400	1000	1500	80	96	0	530	0	0	330
23.00	200	400	1000	1500	80	96	0	387	0	0	343
24.00	200	400	1000	1500	80	96	0	534	0	0	208

ตารางที่ 7.18 การทำงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.1.4.1

Time (Hr)	Battery bank (kW)	Time (Hr)	Battery bank (kW)	Time (Hr)	Battery bank (kW)
1.00	0	9.00	-194	17.00	0
2.00	-34	10.00	0	18.00	0
3.00	-145	11.00	0	19.00	367
4.00	-128	12.00	0	20.00	367
5.00	-319	13.00	0	21.00	367
6.00	-367	14.00	0	22.00	367
7.00	-367	15.00	0	23.00	367
8.00	-367	16.00	0	24.00	85



รูปที่ 7.9 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.1.4.1

จากแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 7.16 และ 7.17 พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 7 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 2.00 น. ถึง 24.00 น. และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 9 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 1.00 น. ถึง 6.00 น. และในช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 24.00 น. ส่วนแหล่งเก็บพลังงานสำรองจะรับกำลังไฟฟ้าจากระบบในช่วงเวลา 2.00 น. ถึง 9.00 น. และจะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ระบบในช่วงเวลา 19.00 น. ถึง 24.00 น. เมื่อเปรียบเทียบแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกรณี 7.1.3 ซึ่งมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 1,220 kWh พบว่า แหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 1,920 kWh สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าช่วยระบบได้มากกว่า ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 7 ไม่ต้องเดินเครื่องในเวลา 23.00 น. และ 24.00 น. โดยมีค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงและการสตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 7.19

ตารางที่ 7.19 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.4.1

Time (Hr)	Fuel cost (บาท)	Start up cost (บาท)	Total cost (บาท)
1.00	1,396,387	-	1,396,387
2.00	1,345,641	-	1,345,641
3.00	1,345,641	-	1,345,641
4.00	1,345,641	-	1,345,641
5.00	1,345,641	-	1,345,641
6.00	1,244,959	-	1,244,959
7.00	1,202,817	6,800	1,209,617

ตารางที่ 7.19 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.4.1 (ต่อ)

Time (Hr)	Fuel cost (บาท)	Start up cost (บาท)	Total cost (บาท)
8.00	1,029,483	-	1,029,483
9.00	1,031,753	-	1,031,753
10.00	1,025,752	-	1,025,752
11.00	995,647	-	995,647
12.00	910,475	-	910,475
13.00	886,103	-	886,103
14.00	946,585	-	946,585
15.00	1,046,640	-	1,046,640
16.00	1,083,566	-	1,083,566
17.00	1,070,085	-	1,070,085
18.00	1,010,306	-	1,010,306
19.00	922,698	-	922,698
20.00	1,226,282	-	1,226,282
21.00	1,327,722	-	1,327,722
22.00	1,303,602	-	1,303,602
23.00	1,218,227	-	1,218,227
24.00	1,305,969	-	1,305,969
Total	27,567,623	6,800	27,574,423

จากตารางที่ 7.19 พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 27,574,423 บาท โดยมีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดในเวลา 1.00 น. เมื่อเปรียบเทียบแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกรณี 7.1.3 ซึ่งมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 1,220 kWh พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าจะลดลง 71,573 บาท ดังตารางที่ 7.20 เนื่องจากแหล่งเก็บพลังงานสำรองจะช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในเวลา 23.00 น. และ 24.00 น.

ตารางที่ 7.20 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.3 และ 7.1.4.1

Time (Hr)	Total cost (บาท)	
	กรณี 7.1.3 มีแหล่งเก็บพลังงานสำรอง 1,220 kWh	กรณี 7.1.4.1 มีแหล่งเก็บพลังงานสำรอง 1,920 kWh
1.00	1,396,387	1,396,387
2.00	1,345,641	1,345,641
3.00	1,345,641	1,345,641
4.00	1,345,641	1,345,641
5.00	1,345,641	1,345,641
6.00	1,244,959	1,244,959
7.00	1,131,770	1,209,617
8.00	855,646	1,029,483
9.00	935,701	1,031,753
10.00	1,025,752	1,025,752
11.00	995,647	995,647
12.00	910,475	910,475
13.00	886,103	886,103
14.00	946,585	946,585
15.00	1,046,640	1,046,640
16.00	1,083,566	1,083,566
17.00	1,070,085	1,070,085
18.00	1,010,306	1,010,306
19.00	1,113,813	922,698
20.00	1,226,282	1,226,282
21.00	1,327,722	1,327,722
22.00	1,303,602	1,303,602
23.00	1,386,206	1,218,227
24.00	1,366,184	1,305,969
Total	27,645,995	27,574,423

จากตารางที่ 7.20 พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในกรณีมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 1,920 kWh จะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 7.00 น. ถึง 9.00 น. และจะลดลงในเวลา 19.00 น. 23.00 น. และ 24.00 น. เนื่องจากแหล่งเก็บพลังงานสำรองจะช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นให้ระบบ

7.1.4.2 แหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 2,620 kWh

ผลการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถแสดงดังตารางที่ 7.21

ตารางที่ 7.21 แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.4.2

Time (Hr)	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10	Unit 11	Battery bank
1.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
2.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
3.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
4.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	-1
5.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
6.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	-1
7.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	-1
8.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	-1
9.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
10.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
11.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
12.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
13.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	-1
14.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0
15.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
16.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
17.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
18.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
19.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1

ตารางที่ 7.21 แผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.4.2 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10	Unit 11	Battery bank
20.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
21.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
22.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
23.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
24.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1

จากแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 7.21 สามารถแสดงกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งเก็บพลังงานสำรองได้ดังตารางที่ 7.22, 7.23 และรูปที่ 7.10

ตารางที่ 7.22 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.4.2

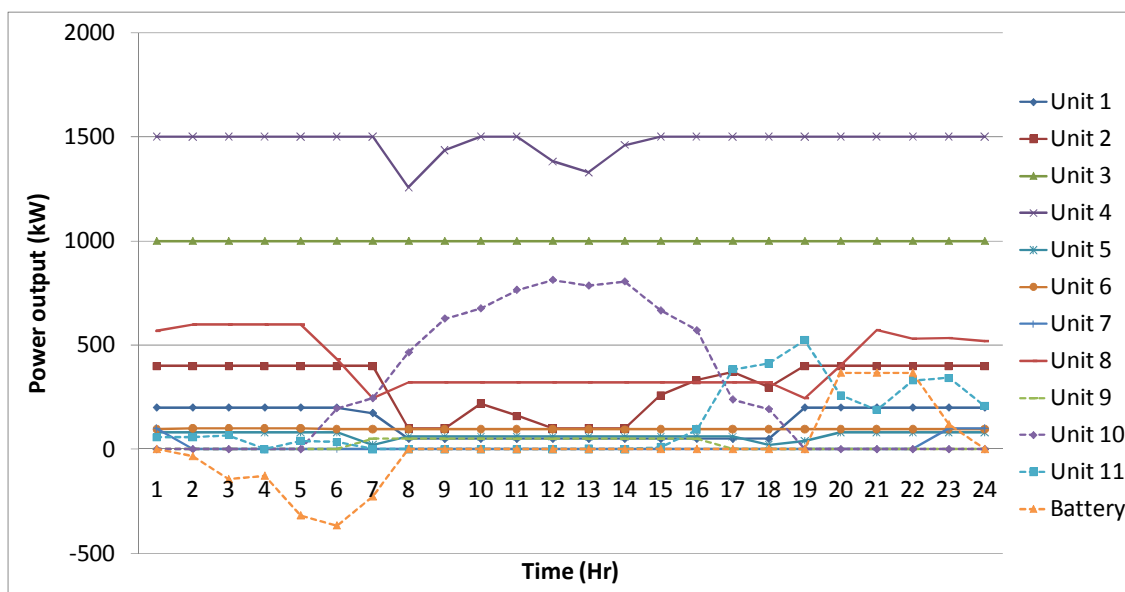
Time (Hr)	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)	Unit 6 (kW)	Unit 7 (kW)	Unit 8 (kW)	Unit 9 (kW)	Unit 10 (kW)	Unit 11 (kW)
1.00	200	400	1000	1500	80	96	100	569	0	0	57
2.00	200	400	1000	1500	80	100	0	600	0	0	57
3.00	200	400	1000	1500	80	100	0	600	0	0	67
4.00	200	400	1000	1500	80	100	0	600	0	0	0
5.00	200	400	1000	1500	80	100	0	600	0	0	41
6.00	200	400	1000	1500	80	96	0	433	0	196	34
7.00	200	400	1000	1500	80	96	0	298	50	244	0
8.00	50	224	1000	1500	61	96	0	322	51	464	0
9.00	50	100	1000	1436	61	96	0	321	51	627	0
10.00	50	218	1000	1500	61	96	0	321	51	675	0
11.00	50	159	1000	1500	61	96	0	321	51	764	0
12.00	50	100	1000	1382	61	96	0	321	51	812	0
13.00	50	295	1000	1500	61	96	0	321	51	784	2
14.00	50	100	1000	1460	61	96	0	321	51	804	0

ตารางที่ 7.22 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.4.2 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)	Unit 6 (kW)	Unit 7 (kW)	Unit 8 (kW)	Unit 9 (kW)	Unit 10 (kW)	Unit 11 (kW)
15.00	50	259	1000	1500	61	96	0	321	51	665	9
16.00	50	331	1000	1500	61	96	0	321	50	570	93
17.00	50	372	1000	1500	61	96	0	321	0	239	383
18.00	50	298	1000	1500	22	96	0	321	0	193	412
19.00	50	201	1000	1500	22	96	0	243	0	0	523
20.00	200	400	1000	1500	80	96	0	401	0	0	259
21.00	200	400	1000	1500	80	96	0	571	0	0	189
22.00	200	400	1000	1500	80	96	0	530	0	0	330
23.00	200	400	1000	1500	80	96	0	387	0	0	343
24.00	200	400	1000	1500	80	96	0	361	0	0	208

ตารางที่ 7.23 การทำงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.1.4.2

Time (Hr)	Battery bank (kW)	Time (Hr)	Battery bank (kW)	Time (Hr)	Battery bank (kW)
1.00	0	9.00	0	17.00	0
2.00	-34	10.00	0	18.00	0
3.00	-145	11.00	0	19.00	367
4.00	-128	12.00	0	20.00	367
5.00	-319	13.00	-367	21.00	367
6.00	-367	14.00	0	22.00	367
7.00	-367	15.00	0	23.00	367
8.00	-367	16.00	0	24.00	258



รูปที่ 7.10 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.1.4.2

จากแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 7.21 และ 7.22 พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 7 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 2.00 น. ถึง 24.00 น. และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 9 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 1.00 น. ถึง 6.00 น. และในช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 24.00 น. ส่วนแหล่งเก็บพลังงานสำรองจะรับกำลังไฟฟ้าจากระบบในช่วงเวลา 2.00 น. ถึง 8.00 น. และ 13.00 น. และจะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ระบบในช่วงเวลา 19.00 น. ถึง 24.00 น. เมื่อเปรียบเทียบแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกรณี 7.1.4.1 ซึ่งมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 1,920 kWh พบว่า แหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 2,620 kWh สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าช่วยระบบได้มากกว่า โดยมีค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงและการสตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 7.24

ตารางที่ 7.24 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.4.2

Time (Hr)	Fuel cost (บาท)	Start up cost (บาท)	Total cost (บาท)
1.00	1,396,387	-	1,396,387
2.00	1,345,641	-	1,345,641
3.00	1,345,641	-	1,345,641
4.00	1,345,641	-	1,345,641
5.00	1,345,641	-	1,345,641
6.00	1,244,959	-	1,244,959
7.00	1,202,817	6,800	1,209,617

ตารางที่ 7.24 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.4.2 (ต่อ)

Time (Hr)	Fuel cost (บาท)	Start up cost (บาท)	Total cost (บาท)
8.00	1,029,483	-	1,029,483
9.00	935,701	-	935,701
10.00	1,025,752	-	1,025,752
11.00	995,647	-	995,647
12.00	910,475	-	910,475
13.00	1,065,007	-	1,065,007
14.00	946,585	-	946,585
15.00	1,046,640	-	1,046,640
16.00	1,083,566	-	1,083,566
17.00	1,070,085	-	1,070,085
18.00	1,010,306	-	1,010,306
19.00	922,698	-	922,698
20.00	1,226,282	-	1,226,282
21.00	1,327,722	-	1,327,722
22.00	1,303,602	-	1,303,602
23.00	1,218,227	-	1,218,227
24.00	1,202,633	-	1,202,633
Total	27,547,139	6,800	27,553,939

จากตารางที่ 7.24 พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 27,553,939 บาท โดยมีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดในเวลา 1.00 น. เมื่อเปรียบเทียบแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกรณี 7.1.4.1 ซึ่งมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 1,920 kWh พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าจะลดลง 20,483 บาท ดังตารางที่ 7.25 เนื่องจากแหล่งเก็บพลังงานสำรองจะช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นในเวลา 24.00 น.

ตารางที่ 7.25 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.4.1 และ 7.1.4.2

Time (Hr)	Total cost (บาท)	
	กรณีที่ 7.1.4.1 มีแหล่งเก็บพลังงานสำรอง 1,920 kWh	กรณีที่ 7.1.4.2 มีแหล่งเก็บพลังงานสำรอง 2,620 kW
1.00	1,396,387	1,396,387
2.00	1,345,641	1,345,641
3.00	1,345,641	1,345,641
4.00	1,345,641	1,345,641
5.00	1,345,641	1,345,641
6.00	1,244,959	1,244,959
7.00	1,209,617	1,209,617
8.00	1,029,483	1,029,483
9.00	1,031,753	935,701
10.00	1,025,752	1,025,752
11.00	995,647	995,647
12.00	910,475	910,475
13.00	886,103	1,065,007
14.00	946,585	946,585
15.00	1,046,640	1,046,640
16.00	1,083,566	1,083,566
17.00	1,070,085	1,070,085
18.00	1,010,306	1,010,306
19.00	922,698	922,698
20.00	1,226,282	1,226,282
21.00	1,327,722	1,327,722
22.00	1,303,602	1,303,602
23.00	1,218,227	1,218,227
24.00	1,305,969	1,202,633
Total	27,574,423	27,553,939

จากตารางที่ 7.25 พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในกรณีมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 2,620 kWh จะเพิ่มขึ้นในช่วงเวลา 13.00 น. และจะลดลงในช่วงเวลา 24.00 น. เนื่องจากแหล่งเก็บพลังงานสำรองจะช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นให้ระบบ

เปรียบเทียบผลการทดสอบในกรณี 7.1.3 และกรณี 7.1.4 จะพบว่า เมื่อแหล่งเก็บพลังงานสำรองมีขนาดมากขึ้น ค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าและความร้อนของระบบผลิตก็จะมีค่าลดลง ดังแสดงในตารางที่ 7.26

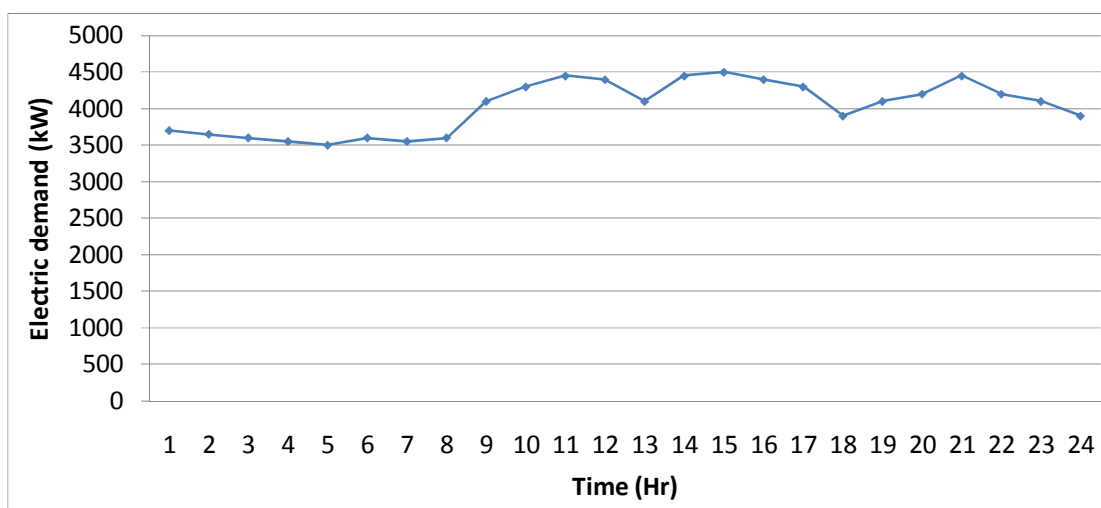
ตารางที่ 7.26 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.1.3 และ 7.1.4

Total cost (บาท)			
Without Battery	With Battery 1,220 kWh	With Battery 1,920 kWh	With Battery 2,620 kWh
27,783,711	27,645,995	27,574,423	27,553,939

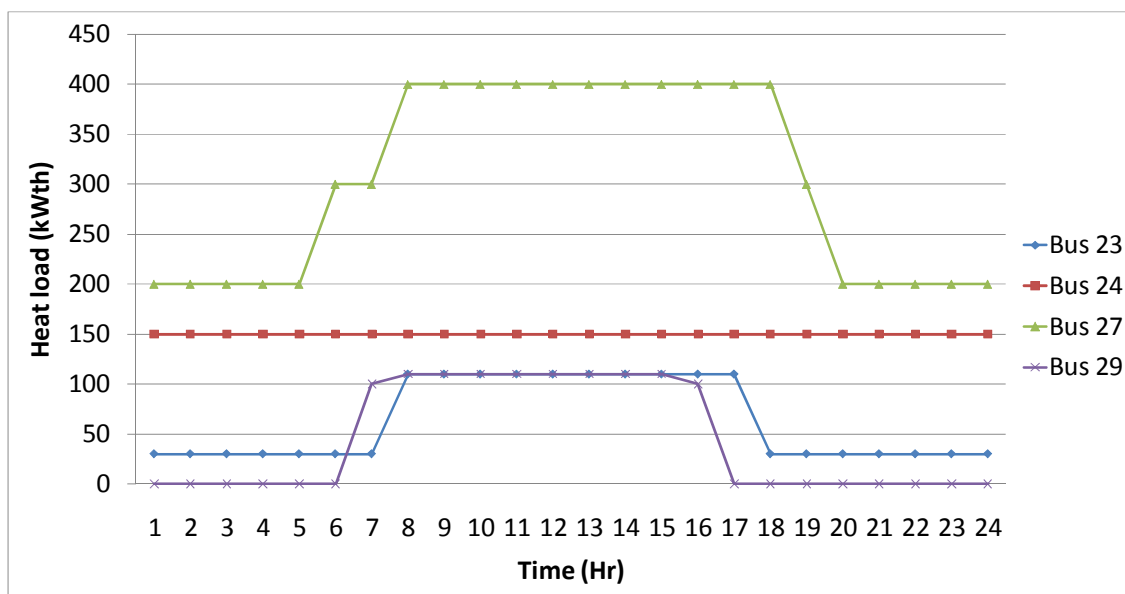
จากตารางที่ 7.26 กรณีที่ระบบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 2,620 kWh มีค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าและความร้อนน้อยกว่าแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 1,220 kWh และ 1,920 kWh โดยจะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าและความร้อนของระบบผลิตจากกรณีที่ระบบไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองได้ 229,772 บาท หรือคิดเป็น 0.83 เปอร์เซ็นต์

7.2 การทดสอบวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบท่าทรายในช่วงวันทำงาน

จากที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นได้เลือกวันที่ 21 เมษายน พ.ศ. 2553 ซึ่งเป็นวันทำงานมาใช้ในการทดสอบ โดยมีภาระทางไฟฟ้าทั้งระบบดังรูปที่ 7.11 และภาระทางความร้อนที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนดังรูปที่ 7.12 ตามลำดับ



รูปที่ 7.11 ภาระทางไฟฟ้าในช่วงวันทำงาน



รูปที่ 7.12 ภาระทางความร้อนในช่วงวันทำงาน

จากรูปที่ 7.11 และรูปที่ 7.12 พบว่า ภาระทางไฟฟ้าจะมีค่ามากในช่วงกลางวันและกลางคืนซึ่งมีค่าสูงสุดที่เวลา 11.00 น. 14.00 น. และ 21.00 น. โดยมีขนาดเท่ากับ 4,450 kW ส่วนภาระทางความร้อนซึ่งเป็นโรงงานอุตสาหกรรมจะกำหนดให้มีการใช้ความร้อนมากกว่าในช่วงวันหยุด

ตารางที่ 7.27 แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.1 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10	Unit 11
22.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
23.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
24.00	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1

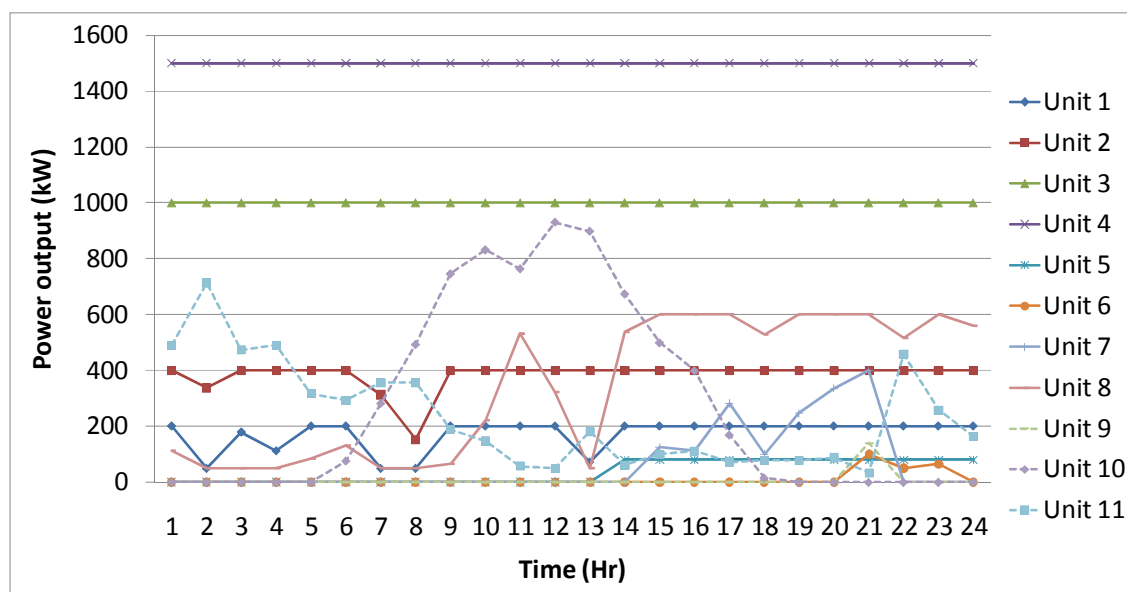
จากแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 7.27 สามารถแสดงกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ดังตารางที่ 7.28 และรูปที่ 7.13

ตารางที่ 7.28 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.1

Time (Hr)	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)	Unit 6 (kW)	Unit 7 (kW)	Unit 8 (kW)	Unit 9 (kW)	Unit 10 (kW)	Unit 11 (kW)
1.00	200	400	1000	1500	0	0	0	112	0	0	490
2.00	50	338	1000	1500	0	0	0	50	0	0	714
3.00	179	400	1000	1500	0	0	0	50	0	0	474
4.00	112	400	1000	1500	0	0	0	50	0	0	490
5.00	200	400	1000	1500	0	0	0	85	0	0	317
6.00	200	400	1000	1500	0	0	0	133	0	77	293
7.00	50	313	1000	1500	0	0	0	50	0	283	356
8.00	50	153	1000	1500	0	0	0	50	0	493	356
9.00	200	400	1000	1500	0	0	0	66	0	746	189
10.00	200	400	1000	1500	0	0	0	223	0	832	148
11.00	200	400	1000	1500	0	0	0	531	0	764	57
12.00	200	400	1000	1500	0	0	0	322	0	931	49
13.00	73	400	1000	1500	0	0	0	50	0	899	180
14.00	200	400	1000	1500	80	0	0	537	0	674	62
15.00	200	400	1000	1500	80	0	124	600	0	500	99
16.00	200	400	1000	1500	80	0	111	600	0	400	112

ตารางที่ 7.28 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.1 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)	Unit 6 (kW)	Unit 7 (kW)	Unit 8 (kW)	Unit 9 (kW)	Unit 10 (kW)	Unit 11 (kW)
17.00	200	400	1000	1500	80	0	282	600	0	169	72
18.00	200	400	1000	1500	80	0	100	530	0	16	77
19.00	200	400	1000	1500	80	0	246	600	0	0	77
20.00	200	400	1000	1500	80	0	335	600	0	0	88
21.00	200	400	1000	1500	80	100	400	600	139	0	34
22.00	200	400	1000	1500	80	50	0	515	0	0	458
23.00	200	400	1000	1500	80	64	0	600	0	0	259
24.00	200	400	1000	1500	80	0	0	560	0	0	164



รูปที่ 7.13 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.1

จากแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 7.27 และ 7.28 พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 5 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 1.00 น. ถึง 13.00 น. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 6 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 1.00 น. ถึง 20.00 น. และ 24.00 น. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 7 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 1.00 น. ถึง 14.00 น. และช่วงเวลา 22.00 น. ถึง 24.00 น. และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 9 จะไม่

เดินเครื่องในช่วงเวลา 1.00 น. ถึง 20.00 น. และช่วงเวลา 22.00 น. ถึง 24.00 น. โดยค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงและการสตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 7.29

ตารางที่ 7.29 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.1

Time (Hr)	Fuel cost (บาท)	Start up cost (บาท)	Total cost (บาท)
1.00	969,195	-	969,195
2.00	834,544	-	834,544
3.00	925,765	-	925,765
4.00	893,073	-	893,073
5.00	954,652	-	954,652
6.00	979,829	-	979,829
7.00	823,103	-	823,103
8.00	752,377	-	752,377
9.00	944,959	-	944,959
10.00	1,028,621	-	1,028,621
11.00	1,206,254	-	1,206,254
12.00	1,084,283	-	1,084,283
13.00	873,810	-	873,810
14.00	1,250,578	13,600	1,264,178
15.00	1,375,485	10,200	1,385,685
16.00	1,366,435	-	1,366,435
17.00	1,490,718	-	1,490,718
18.00	1,315,372	-	1,315,372
19.00	1,464,258	-	1,464,258
20.00	1,531,166	-	1,531,166
21.00	1,740,282	20,400	1,760,682
22.00	1,267,008	-	1,267,008
23.00	1,326,382	-	1,326,382
24.00	1,264,371	-	1,264,371
Total	27,662,521	44,200	27,706,721

จากตารางที่ 7.29 พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 27,706,721 บาท โดยมีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดในเวลา 21.00 น.

7.2.2 กรณีระบบไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองแต่มีภาระทางความร้อน

ในการทดสอบกรณีนี้เป็นการทดสอบวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยกำหนดให้ระบบทดสอบไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองแต่มีภาระทางความร้อน ผลการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถแสดงดังตารางที่ 7.30

ตารางที่ 7.30 แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.2

Time (Hr)	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10	Unit 11
1.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
2.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
3.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
4.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
5.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
6.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1
7.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
8.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
9.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
10.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
11.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
12.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
13.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
14.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
15.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
16.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
17.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
18.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
19.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1

ตารางที่ 7.30 แผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.2 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10	Unit 11
20.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
21.00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
22.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
23.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1
24.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1

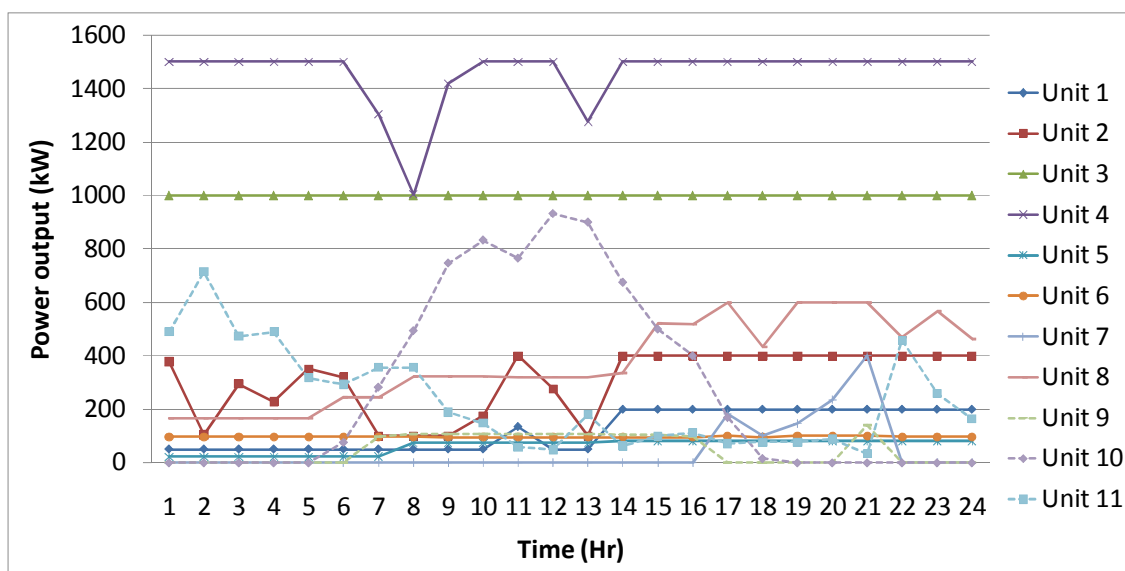
จากแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 7.30 สามารถแสดงกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ดังตารางที่ 7.31 และรูปที่ 7.14

ตารางที่ 7.31 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.2

Time (Hr)	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)	Unit 6 (kW)	Unit 7 (kW)	Unit 8 (kW)	Unit 9 (kW)	Unit 10 (kW)	Unit 11 (kW)
1.00	50	378	1000	1500	22	96	0	166	0	0	490
2.00	50	104	1000	1500	22	96	0	166	0	0	714
3.00	50	294	1000	1500	22	96	0	166	0	0	474
4.00	50	228	1000	1500	22	96	0	166	0	0	490
5.00	50	351	1000	1500	22	96	0	166	0	0	317
6.00	50	320	1000	1500	22	96	0	244	0	77	293
7.00	50	100	1000	1303	22	96	0	244	98	283	356
8.00	50	100	1000	1004	74	96	0	322	107	493	356
9.00	50	100	1000	1419	74	96	0	321	106	746	189
10.00	50	175	1000	1500	74	96	0	321	106	832	148
11.00	135	400	1000	1500	74	96	0	321	106	764	57
12.00	50	276	1000	1500	74	96	0	321	106	931	49
13.00	50	100	1000	1276	74	96	0	321	106	899	180
14.00	200	400	1000	1500	80	96	0	335	106	674	62

ตารางที่ 7.31 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.2 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)	Unit 6 (kW)	Unit 7 (kW)	Unit 8 (kW)	Unit 9 (kW)	Unit 10 (kW)	Unit 11 (kW)
15.00	200	400	1000	1500	80	96	0	523	106	500	99
16.00	200	400	1000	1500	80	96	0	519	97	400	112
17.00	200	400	1000	1500	80	100	182	600	0	169	72
18.00	200	400	1000	1500	80	96	100	434	0	16	77
19.00	200	400	1000	1500	80	100	146	600	0	0	77
20.00	200	400	1000	1500	80	100	235	600	0	0	88
21.00	200	400	1000	1500	80	100	400	600	139	0	34
22.00	200	400	1000	1500	80	96	0	469	0	0	458
23.00	200	400	1000	1500	80	96	0	568	0	0	259
24.00	200	400	1000	1500	80	96	0	463	0	0	164



รูปที่ 7.14 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.2

จากแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 7.30 และ 7.31 พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 7 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 1.00 น. ถึง 16.00 น. และช่วงเวลา 22.00 น. ถึง 24.00 น. และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 9 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 1.00 น. ถึง 6.00 น. และช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 24.00

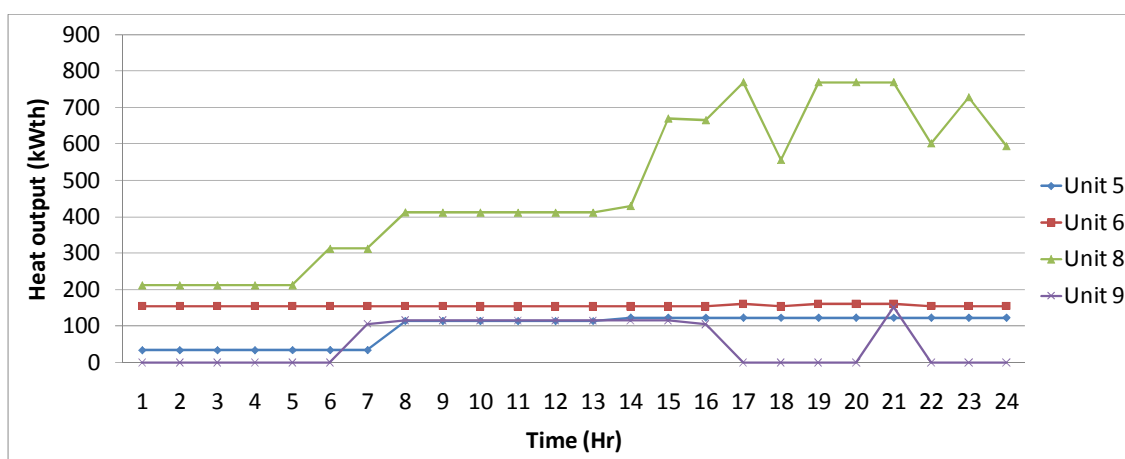
น. เมื่อเปรียบเทียบแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกรณีไม่มีภาระทางความร้อนในระบบ พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 5 จะต้องเดินเครื่องเพิ่มในช่วงเวลา 1.00 น. ถึง 13.00 น. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 6 จะต้องเดินเครื่องเพิ่มในช่วงเวลา 1.00 น. ถึง 20.00 น. และ 24.00 น. และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 6 จะต้องเดินเครื่องเพิ่มในช่วงเวลา 7.00 น. ถึง 16.00 น. เพื่อจ่ายความร้อนให้กับภาระทางความร้อนในระบบ โดยความร้อนที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนสามารถแสดง ดังตารางที่ 7.32 และรูปที่ 7.15 ตามลำดับ

ตารางที่ 7.32 ความร้อนที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP กรณีทดสอบ 7.2.2

Time (Hr)	Unit 5 (kWth)		Unit 6 (kWth)		Unit 8 (kWth)		Unit 9 (kWth)	
	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat
1.00	34	34	155	155	212	212	0	0
2.00	34	34	155	155	212	212	0	0
3.00	34	34	155	155	212	212	0	0
4.00	34	34	155	155	212	212	0	0
5.00	34	34	155	155	212	212	0	0
6.00	34	34	156	156	313	313	0	0
7.00	34	34	156	156	313	313	106	106
8.00	114	114	155	155	412	412	116	116
9.00	114	114	155	155	412	412	116	116
10.00	114	114	155	155	412	412	116	116
11.00	114	114	155	155	411	411	115	115
12.00	114	114	155	155	411	411	115	115
13.00	114	114	155	155	411	411	115	115
14.00	123	113	154	154	430	411	115	115
15.00	123	113	154	154	670	411	115	115
16.00	123	114	154	154	665	411	105	105
17.00	123	114	161	154	769	411	0	0
18.00	123	34	155	155	556	411	0	0
19.00	123	34	161	155	769	312	0	0

ตารางที่ 7.32 ความร้อนที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP กรณีทดสอบ 7.2.2

Time (Hr)	Unit 5 (kWth)		Unit 6 (kWth)		Unit 8 (kWth)		Unit 9 (kWth)	
	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat
20.00	123	34	161	155	769	212	0	0
21.00	123	34	161	155	769	212	152	0
22.00	123	34	155	155	602	212	0	0
23.00	123	34	155	155	728	212	0	0
24.00	123	34	155	155	594	212	0	0



รูปที่ 7.15 ความร้อนที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP กรณีทดสอบ 7.2.2

จากความร้อนที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในตารางที่ 7.32 พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 6 และ 9 จะพยายามผลิตความร้อนให้พอดีกับภาระทางความร้อน เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้างดงกล่าวมีค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงสูงจึงไม่มีความจำเป็นที่จะผลิตความร้อนเกินภาระทางความร้อน อย่างไรก็ตาม ในช่วงที่กำลังผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องอื่นไม่เพียงพอต่อภาระทางไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 6 และ 9 ก็จะมีผลผลิตไฟฟ้าเพิ่มส่งผลให้ความร้อนที่ผลิตได้มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

ค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงและการสตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 7.33

ตารางที่ 7.33 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.2

Time (Hr)	Fuel cost (บาท)	Start up cost (บาท)	Total cost (บาท)
1.00	971,862	-	971,862
2.00	842,296	-	842,296
3.00	930,474	-	930,474
4.00	898,434	-	898,434
5.00	958,156	-	958,156
6.00	982,077	-	982,077
7.00	845,105	6,800	851,905
8.00	777,889	-	777,889
9.00	960,377	-	960,377
10.00	1,038,870	-	1,038,870
11.00	1,206,732	-	1,206,732
12.00	1,091,217	-	1,091,217
13.00	893,526	-	893,526
14.00	1,256,101	-	1,256,101
15.00	1,367,888	-	1,367,888
16.00	1,360,434	-	1,360,434
17.00	1,475,326	10,200	1,485,526
18.00	1,314,530	-	1,314,530
19.00	1,449,713	-	1,449,713
20.00	1,514,495	-	1,514,495
21.00	1,740,282	6,800	1,747,082
22.00	1,267,008	-	1,267,008
23.00	1,326,382	-	1,326,382
24.00	1,263,269	-	1,263,269
Total	27,732,445	23,800	27,756,245

จากตารางที่ 7.33 พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 27,756,245 บาท โดยมีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดในเวลา 21.00 น. เมื่อเปรียบเทียบ

ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากับกรณีไม่มีภาระทางความร้อนในระบบ พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น 49,524 บาท ดังตารางที่ 7.34

ตารางที่ 7.34 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.1 และ 7.2.2

Time (Hr)	Total cost (บาท)	
	กรณีที่ 7.2.1 ไม่มีภาระทางความร้อน	กรณีที่ 7.2.2 มีภาระทางความร้อน
1.00	969,195	971,862
2.00	834,544	842,296
3.00	925,765	930,474
4.00	893,073	898,434
5.00	954,652	958,156
6.00	979,829	982,077
7.00	823,103	851,905
8.00	752,377	777,889
9.00	944,959	960,377
10.00	1,028,621	1,038,870
11.00	1,206,254	1,206,732
12.00	1,084,283	1,091,217
13.00	873,810	893,526
14.00	1,264,178	1,256,101
15.00	1,385,685	1,367,888
16.00	1,366,435	1,360,434
17.00	1,490,718	1,485,526
18.00	1,315,372	1,314,530
19.00	1,464,258	1,449,713
20.00	1,531,166	1,514,495
21.00	1,760,682	1,747,082
22.00	1,267,008	1,267,008
23.00	1,326,382	1,326,382

ตารางที่ 7.34 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.1 และ 7.2.2 (ต่อ)

Time (Hr)	Total cost (บาท)	
	กรณีที่ 7.2.1 ไม่มีภาระทางความร้อน	กรณีที่ 7.2.2 มีภาระทางความร้อน
24.00	1,264,371	1,263,269
Total	27,706,721	27,756,245

7.2.3 กรณีระบบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองและภาระทางความร้อน

ในการทดสอบกรณีนี้เป็นการทดสอบวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยกำหนดให้ระบบทดสอบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 1,220 kWh และภาระทางความร้อน ผลการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถแสดงดังตารางที่ 7.35

ตารางที่ 7.35 แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.3

Time (Hr)	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10	Unit 11	Battery bank
1.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0
2.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
3.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0
4.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
5.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
6.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
7.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	-1
8.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
9.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
10.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
11.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
12.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
13.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
14.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
15.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
16.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1

ตารางที่ 7.35 แผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.3 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10	Unit 11	Battery bank
17.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1
18.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	-1
19.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	-1
20.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	-1
21.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
22.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
23.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0
24.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0

จากแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 7.35 สามารถแสดงกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งเก็บพลังงานสำรองได้ดังตารางที่ 7.36, 7.37 และรูปที่ 7.16

ตารางที่ 7.36 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.3

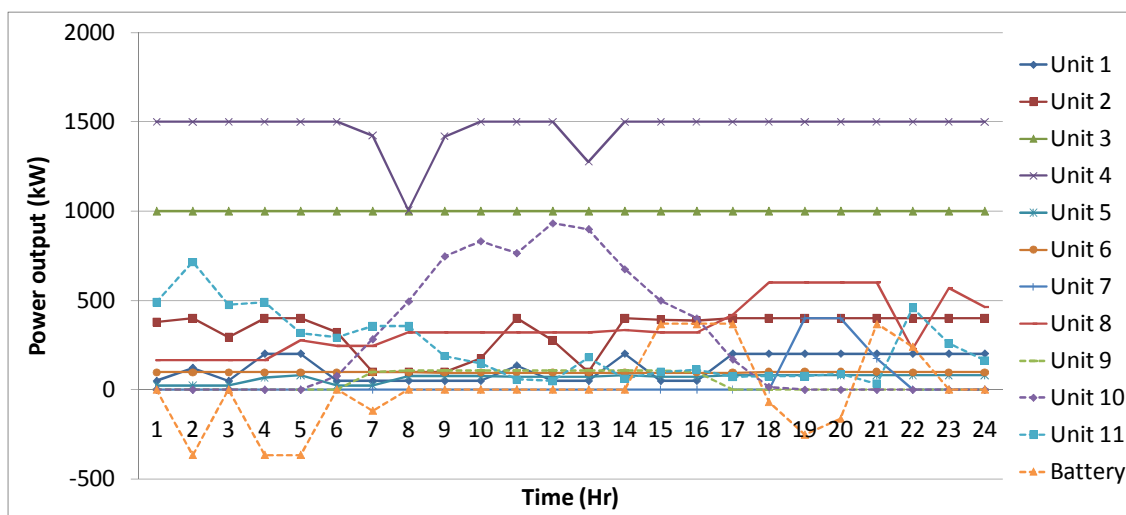
Time (Hr)	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)	Unit 6 (kW)	Unit 7 (kW)	Unit 8 (kW)	Unit 9 (kW)	Unit 10 (kW)	Unit 11 (kW)
1.00	50	378	1000	1500	22	96	0	166	0	0	490
2.00	121	400	1000	1500	22	96	0	166	0	0	714
3.00	50	294	1000	1500	22	96	0	166	0	0	474
4.00	200	400	1000	1500	67	96	0	166	0	0	490
5.00	200	400	1000	1500	80	96	0	276	0	0	317
6.00	50	320	1000	1500	22	96	0	244	0	77	293
7.00	50	100	1000	1422	22	96	0	244	98	283	356
8.00	50	100	1000	1004	74	96	0	322	107	493	356
9.00	50	100	1000	1419	74	96	0	321	106	746	189
10.00	50	175	1000	1500	74	96	0	321	106	832	148
11.00	135	400	1000	1500	74	96	0	321	106	764	57

ตารางที่ 7.36 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.3 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)	Unit 6 (kW)	Unit 7 (kW)	Unit 8 (kW)	Unit 9 (kW)	Unit 10 (kW)	Unit 11 (kW)
12.00	50	276	1000	1500	74	96	0	321	106	931	49
13.00	50	100	1000	1276	74	96	0	321	106	899	180
14.00	200	400	1000	1500	80	96	0	335	106	674	62
15.00	50	391	1000	1500	74	96	0	321	106	500	99
16.00	50	387	1000	1500	74	96	0	321	97	400	112
17.00	200	400	1000	1500	80	96	0	419	0	169	72
18.00	200	400	1000	1500	80	100	0	600	0	16	77
19.00	200	400	1000	1500	80	100	400	600	0	0	77
20.00	200	400	1000	1500	80	100	400	600	0	0	88
21.00	200	400	1000	1500	80	100	172	600	0	0	34
22.00	200	400	1000	1500	80	96	0	229	0	0	458
23.00	200	400	1000	1500	80	96	0	568	0	0	259
24.00	200	400	1000	1500	80	96	0	463	0	0	164

ตารางที่ 7.37 การทำงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.2.3

Time (Hr)	Battery bank (kW)	Time (Hr)	Battery bank (kW)	Time (Hr)	Battery bank (kW)
1.00	0	9.00	0	17.00	367
2.00	-367	10.00	0	18.00	-70
3.00	0	11.00	0	19.00	-254
4.00	-367	12.00	0	20.00	-165
5.00	-367	13.00	0	21.00	367
6.00	0	14.00	0	22.00	241
7.00	-119	15.00	367	23.00	0
8.00	0	16.00	367	24.00	0



รูปที่ 7.16 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.2.3

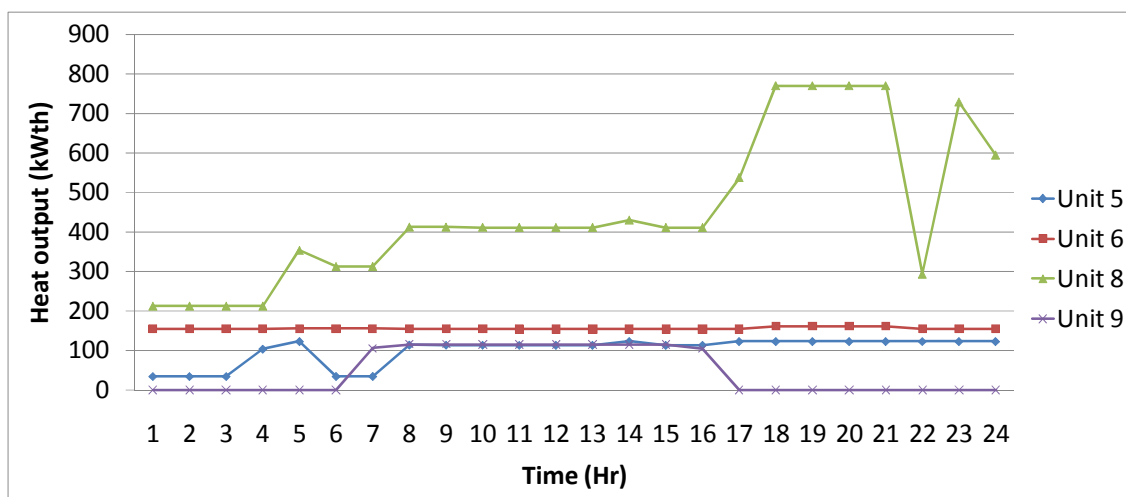
จากแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 7.35 และ 7.36 พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 7 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 1.00 น. ถึง 18.00 น. และในช่วงเวลา 22.00 น. ถึง 24.00 น. และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 9 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 1.00 น. ถึง 6.00 น. และในช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 24.00 น. เมื่อเปรียบเทียบแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกรณี 7.2.2 ซึ่งไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองในระบบ พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 7 จะไม่ต้องเดินเครื่องในช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 18.00 น. และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 9 จะไม่ต้องเดินเครื่องในเวลา 21.00 น. ส่วนความร้อนที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนสามารถแสดงดังตารางที่ 7.38 และรูปที่ 7.17 ตามลำดับ

ตารางที่ 7.38 ความร้อนที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP กรณีทดสอบ 7.2.3

Time (Hr)	Unit 5 (kWth)		Unit 6 (kWth)		Unit 8 (kWth)		Unit 9 (kWth)	
	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat
1.00	34	34	155	155	212	212	0	0
2.00	34	34	155	155	212	212	0	0
3.00	34	34	155	155	212	212	0	0
4.00	104	34	155	155	212	212	0	0
5.00	123	34	155	155	353	212	0	0
6.00	34	34	156	156	313	313	0	0

ตารางที่ 7.38 ความร้อนที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP กรณีทดสอบ 7.2.3 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 5 (kWth)		Unit 6 (kWth)		Unit 8 (kWth)		Unit 9 (kWth)	
	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat	Heat output	Useful heat
7.00	34	34	156	156	313	313	106	106
8.00	114	114	155	155	412	412	116	116
9.00	114	114	155	155	412	412	116	116
10.00	114	114	155	155	412	412	116	116
11.00	114	114	155	155	411	411	115	115
12.00	114	114	155	155	411	411	115	115
13.00	114	114	155	155	411	411	115	115
14.00	123	113	154	154	430	411	115	115
15.00	113	113	154	154	411	411	115	115
16.00	114	114	154	154	411	411	105	105
17.00	123	114	154	154	538	411	0	0
18.00	123	34	161	155	769	411	0	0
19.00	123	34	161	155	769	312	0	0
20.00	123	34	161	155	769	212	0	0
21.00	123	34	161	155	769	212	0	0
22.00	123	34	155	155	293	212	0	0
23.00	123	34	155	155	728	212	0	0
24.00	34	34	155	155	212	212	0	0



รูปที่ 7.17 ความร้อนที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบ CHP กรณีทดสอบ 7.2.3

ค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงและการสตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 7.39

ตารางที่ 7.39 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.3

Time (Hr)	Fuel cost (บาท)	Start up cost (บาท)	Total cost (บาท)
1.00	971,862	-	971,862
2.00	1,020,131	-	1,020,131
3.00	930,474	-	930,474
4.00	1,086,281	-	1,086,281
5.00	1,154,299	-	1,154,299
6.00	982,077	-	982,077
7.00	897,813	6,800	904,613
8.00	777,889	-	777,889
9.00	960,377	-	960,377
10.00	1,038,870	-	1,038,870
11.00	1,206,732	-	1,206,732
12.00	1,091,217	-	1,091,217
13.00	893,526	-	893,526
14.00	1,256,101	-	1,256,101

ตารางที่ 7.39 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.3 (ต่อ)

Time (Hr)	Fuel cost (บาท)	Start up cost (บาท)	Total cost (บาท)
15.00	1,153,685	-	1,153,685
16.00	1,146,587	-	1,146,587
17.00	1,236,699	-	1,236,699
18.00	1,345,641	-	1,345,641
19.00	1,636,681	10,200	1,646,881
20.00	1,636,681	-	1,636,681
21.00	1,468,302	-	1,468,302
22.00	1,127,617	-	1,127,617
23.00	1,326,382	-	1,326,382
24.00	1,263,269	-	1,263,269
Total	27,609,194	17,000	27,626,194

จากตารางที่ 7.39 พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 27,626,194 บาท โดยมีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดในเวลา 19.00 น. เมื่อเปรียบเทียบกับแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกรณี 7.2.2 ซึ่งไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองในระบบ พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าจะลดลง 130,051 บาท ดังตารางที่ 7.40

ตารางที่ 7.40 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.2 และ 7.2.3

Time (Hr)	Total cost (บาท)	
	กรณีที่ 7.1.2 ไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรอง	กรณีที่ 7.1.3 มีแหล่งเก็บพลังงานสำรอง 1,220 kWh
1.00	971,862	971,862
2.00	842,296	1,020,131
3.00	930,474	930,474
4.00	898,434	1,086,281
5.00	958,156	1,154,299
6.00	982,077	982,077
7.00	851,905	904,613

ตารางที่ 7.40 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.2 และ 7.2.3 (ต่อ)

Time (Hr)	Total cost (บาท)	
	กรณีที่ 7.1.2 ไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรอง	กรณีที่ 7.1.3 มีแหล่งเก็บพลังงานสำรอง 1,220 kWh
8.00	777,889	777,889
9.00	960,377	960,377
10.00	1,038,870	1,038,870
11.00	1,206,732	1,206,732
12.00	1,091,217	1,091,217
13.00	893,526	893,526
14.00	1,256,101	1,256,101
15.00	1,367,888	1,153,685
16.00	1,360,434	1,146,587
17.00	1,485,526	1,236,699
18.00	1,314,530	1,345,641
19.00	1,449,713	1,646,881
20.00	1,514,495	1,636,681
21.00	1,747,082	1,468,302
22.00	1,267,008	1,127,617
23.00	1,326,382	1,326,382
24.00	1,263,269	1,263,269
Total	27,756,245	27,626,194

7.2.4 กรณีระบบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาดต่างๆ และภาระทางความร้อน

ในการทดสอบกรณีนี้เป็นการทดสอบวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับระบบที่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาดต่างๆ อย่างไรก็ตาม องค์ประกอบของระบบทดสอบยังคงเหมือนกับการทดสอบหัวข้อ 7.2.3 ผลการทดสอบมีดังนี้

7.2.4.1 แหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 1,920 kWh

ผลการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถแสดงดังตารางที่ 7.41

ตารางที่ 7.41 แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.4.1

Time (Hr)	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10	Unit 11	Battery bank
1.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	0
2.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
3.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
4.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
5.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
6.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
7.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	-1
8.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	-1
9.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
10.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
11.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
12.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
13.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
14.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
15.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
16.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
17.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1
18.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	-1
19.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1

ตารางที่ 7.41 แผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.4.1 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10	Unit 11	Battery bank
20.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	-1
21.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
22.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
23.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
24.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1

จากแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 7.41 สามารถแสดงกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งเก็บพลังงานสำรองได้ดังตารางที่ 7.42, 7.43 และรูปที่ 7.18

ตารางที่ 7.42 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.4.1

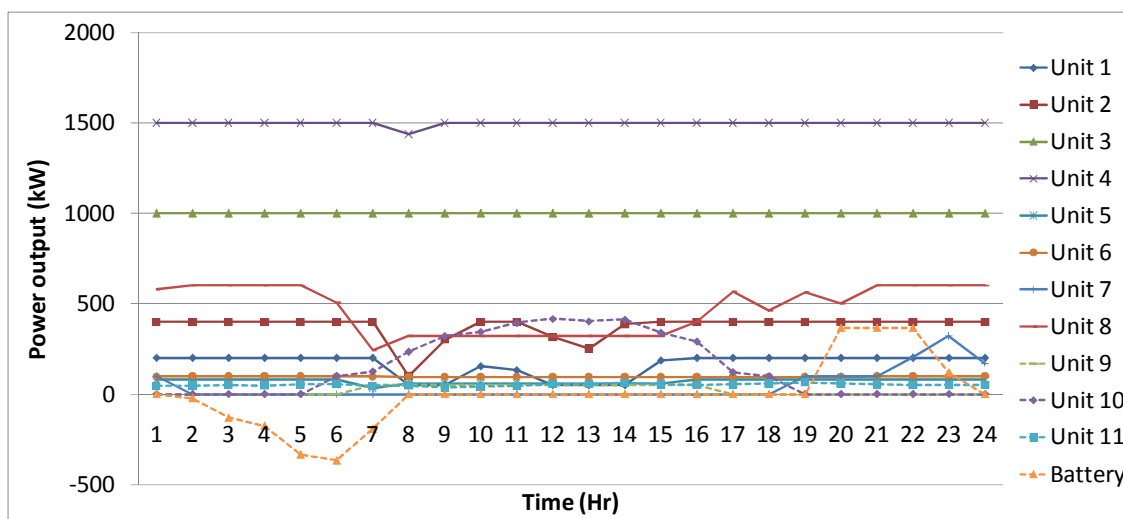
Time (Hr)	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)	Unit 6 (kW)	Unit 7 (kW)	Unit 8 (kW)	Unit 9 (kW)	Unit 10 (kW)	Unit 11 (kW)
1.00	50	378	1000	1500	22	96	0	166	0	0	490
2.00	121	400	1000	1500	22	96	0	166	0	0	714
3.00	200	400	1000	1500	80	96	0	219	0	0	474
4.00	200	400	1000	1500	67	96	0	166	0	0	490
5.00	200	400	1000	1500	80	96	0	276	0	0	317
6.00	50	320	1000	1500	22	96	0	244	0	77	293
7.00	50	270	1000	1500	22	96	0	244	98	283	356
8.00	50	100	1000	1089	74	96	0	322	107	493	356
9.00	50	100	1000	1419	74	96	0	321	106	746	189
10.00	50	175	1000	1500	74	96	0	321	106	832	148
11.00	135	400	1000	1500	74	96	0	321	106	764	57
12.00	50	276	1000	1500	74	96	0	321	106	931	49
13.00	50	100	1000	1276	74	96	0	321	106	899	180
14.00	200	400	1000	1500	80	96	0	335	106	674	62

ตารางที่ 7.42 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.4.1 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)	Unit 6 (kW)	Unit 7 (kW)	Unit 8 (kW)	Unit 9 (kW)	Unit 10 (kW)	Unit 11 (kW)
15.00	50	391	1000	1500	74	96	0	321	106	500	99
16.00	50	387	1000	1500	74	96	0	321	97	400	112
17.00	200	400	1000	1500	80	96	0	419	0	169	72
18.00	200	400	1000	1500	80	100	0	600	0	16	77
19.00	200	400	1000	1500	80	96	0	383	0	0	77
20.00	200	400	1000	1500	80	100	400	600	0	0	88
21.00	200	400	1000	1500	80	100	172	600	0	0	34
22.00	200	400	1000	1500	80	100	0	600	0	0	458
23.00	200	400	1000	1500	80	96	0	201	0	0	259
24.00	200	400	1000	1500	80	96	0	376	0	0	164

ตารางที่ 7.43 การทำงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.2.4.1

Time (Hr)	Battery bank (kW)	Time (Hr)	Battery bank (kW)	Time (Hr)	Battery bank (kW)
1.00	0	9.00	0	17.00	367
2.00	-367	10.00	0	18.00	-70
3.00	-367	11.00	0	19.00	367
4.00	-367	12.00	0	20.00	-165
5.00	-367	13.00	0	21.00	367
6.00	0	14.00	0	22.00	-135
7.00	-367	15.00	367	23.00	367
8.00	-85	16.00	367	24.00	88



รูปที่ 7.18 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.2.4.1

จากแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 7.41 และ 7.42 พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 7 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 1.00 น. ถึง 19.00 น. และในช่วงเวลา 22.00 น. ถึง 24.00 น. และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 9 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 1.00 น. ถึง 6.00 น. และในช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 24.00 น. เมื่อเปรียบเทียบแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกรณี 7.2.3 ซึ่งมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 1,220 kWh พบว่า แหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 1,920 kWh สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าช่วยระบบได้มากกว่า ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 7 ไม่ต้องเดินเครื่องในเวลา 19.00 น. โดยมีความใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงและการสตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 7.44

ตารางที่ 7.44 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.4.1

Time (Hr)	Fuel cost (บาท)	Start up cost (บาท)	Total cost (บาท)
1.00	971,862	-	971,862
2.00	1,020,131	-	1,020,131
3.00	1,122,771	-	1,122,771
4.00	1,086,281	-	1,086,281
5.00	1,154,299	-	1,154,299
6.00	982,077	-	982,077
7.00	1,016,940	6,800	1,023,740
8.00	812,582	-	812,582

ตารางที่ 7.44 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.4.1 (ต่อ)

Time (Hr)	Fuel cost (บาท)	Start up cost (บาท)	Total cost (บาท)
9.00	960,377	-	960,377
10.00	1,038,870	-	1,038,870
11.00	1,206,732	-	1,206,732
12.00	1,091,217	-	1,091,217
13.00	893,526	-	893,526
14.00	1,256,101	-	1,256,101
15.00	1,153,685	-	1,153,685
16.00	1,146,587	-	1,146,587
17.00	1,236,699	-	1,236,699
18.00	1,345,641	-	1,345,641
19.00	1,215,687	-	1,215,687
20.00	1,636,681	10,200	1,646,881
21.00	1,468,302	-	1,468,302
22.00	1,345,641	-	1,345,641
23.00	1,112,216	-	1,112,216
24.00	1,211,490	-	1,211,490
Total	27,486,395	17,000	27,503,395

จากตารางที่ 7.44 พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 27,503,395 บาท โดยมีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดในเวลา 20.00 น. เมื่อเปรียบเทียบกับแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกรณี 7.2.3 ซึ่งมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 1,220 kWh พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าจะลดลง 122,799 บาท ดังตารางที่ 7.45

ตารางที่ 7.45 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.3 และ 7.2.4.1

Time (Hr)	Total cost (บาท)	
	กรณี 7.2.3 มีแหล่งเก็บพลังงานสำรอง 1,220 kWh	กรณี 7.2.4.1 มีแหล่งเก็บพลังงานสำรอง 1,920 kWh
1.00	971,862	971,862
2.00	1,020,131	1,020,131
3.00	930,474	1,122,771
4.00	1,086,281	1,086,281
5.00	1,154,299	1,154,299
6.00	982,077	982,077
7.00	904,613	1,023,740
8.00	777,889	812,582
9.00	960,377	960,377
10.00	1,038,870	1,038,870
11.00	1,206,732	1,206,732
12.00	1,091,217	1,091,217
13.00	893,526	893,526
14.00	1,256,101	1,256,101
15.00	1,153,685	1,153,685
16.00	1,146,587	1,146,587
17.00	1,236,699	1,236,699
18.00	1,345,641	1,345,641
19.00	1,646,881	1,215,687
20.00	1,636,681	1,646,881
21.00	1,468,302	1,468,302
22.00	1,127,617	1,345,641
23.00	1,326,382	1,112,216
24.00	1,263,269	1,211,490
Total	27,626,194	27,503,395

7.2.4.2 แหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 2,620 kWh

ผลการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถแสดงดังตารางที่ 7.46

ตารางที่ 7.46 แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.4.2

Time (Hr)	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10	Unit 11	Battery bank
1.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
2.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
3.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
4.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
5.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
6.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	-1
7.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	-1
8.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	-1
9.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
10.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
11.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
12.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
13.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
14.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0
15.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
16.00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
17.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1
18.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	-1
19.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
20.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
21.00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
22.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	-1
23.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
24.00	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1

จากแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 7.46 สามารถแสดงกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งเก็บพลังงานสำรองได้ดังตารางที่ 7.47, 7.48 และรูปที่ 7.19

ตารางที่ 7.47 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.4.2

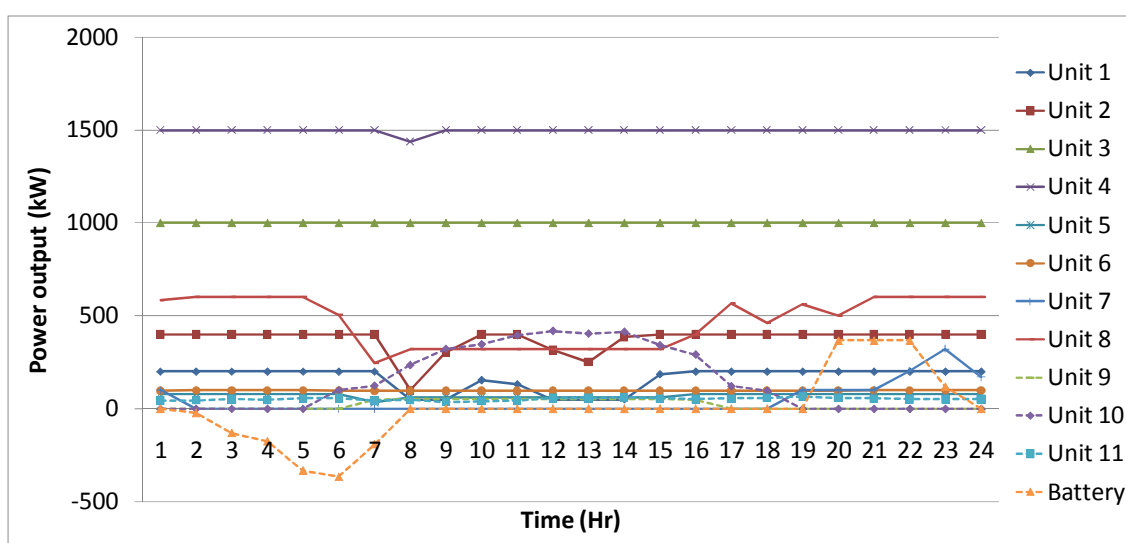
Time (Hr)	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)	Unit 6 (kW)	Unit 7 (kW)	Unit 8 (kW)	Unit 9 (kW)	Unit 10 (kW)	Unit 11 (kW)
1.00	200	400	1000	1500	80	96	0	303	0	0	490
2.00	121	400	1000	1500	22	96	0	166	0	0	714
3.00	200	400	1000	1500	80	96	0	219	0	0	474
4.00	200	400	1000	1500	67	96	0	166	0	0	490
5.00	200	400	1000	1500	80	96	0	276	0	0	317
6.00	200	400	1000	1500	80	96	0	323	0	77	293
7.00	50	270	1000	1500	22	96	0	244	98	283	356
8.00	50	100	1000	1055	74	96	0	322	107	493	356
9.00	50	100	1000	1419	74	96	0	321	106	746	189
10.00	50	175	1000	1500	74	96	0	321	106	832	148
11.00	135	400	1000	1500	74	96	0	321	106	764	57
12.00	50	276	1000	1500	74	96	0	321	106	931	49
13.00	50	100	1000	1276	74	96	0	321	106	899	180
14.00	200	400	1000	1500	80	96	0	335	106	674	62
15.00	50	391	1000	1500	74	96	0	321	106	500	99
16.00	50	387	1000	1500	74	96	0	321	97	400	112
17.00	200	400	1000	1500	80	96	0	419	0	169	72
18.00	200	400	1000	1500	80	100	0	600	0	16	77
19.00	200	400	1000	1500	80	96	0	383	0	0	77
20.00	200	400	1000	1500	80	96	0	472	0	0	88
21.00	200	400	1000	1500	80	100	172	600	0	0	34
22.00	200	400	1000	1500	80	100	0	600	0	0	458

ตารางที่ 7.47 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.4.2 (ต่อ)

Time (Hr)	Unit 1 (kW)	Unit 2 (kW)	Unit 3 (kW)	Unit 4 (kW)	Unit 5 (kW)	Unit 6 (kW)	Unit 7 (kW)	Unit 8 (kW)	Unit 9 (kW)	Unit 10 (kW)	Unit 11 (kW)
23.00	200	400	1000	1500	80	96	0	201	0	0	259
24.00	200	400	1000	1500	80	96	0	207	0	0	164

ตารางที่ 7.48 การทำงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.2.4.2

Time (Hr)	Battery bank (kW)	Time (Hr)	Battery bank (kW)	Time (Hr)	Battery bank (kW)
1.00	-367	9.00	0	17.00	367
2.00	-367	10.00	0	18.00	-70
3.00	-367	11.00	0	19.00	367
4.00	-367	12.00	0	20.00	367
5.00	-367	13.00	0	21.00	367
6.00	-367	14.00	0	22.00	-135
7.00	-367	15.00	367	23.00	367
8.00	-51	16.00	367	24.00	256



รูปที่ 7.19 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและแหล่งเก็บพลังงานสำรองกรณีทดสอบ 7.2.4.2

จากแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในตารางที่ 7.46 และ 7.47 พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 7 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 1.00 น. ถึง 20.00 น. และในช่วงเวลา 22.00 น. ถึง 24.00 น. และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 9 จะไม่เดินเครื่องในช่วงเวลา 1.00 น. ถึง 6.00 น. และในช่วงเวลา 17.00 น. ถึง 24.00 น. เมื่อเปรียบเทียบแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกรณี 7.2.4.1 ซึ่งมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 1,920 kWh พบว่า แหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 2,620 kWh สามารถช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ระบบได้มากกว่า โดยมีค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงและการสตาร์ทเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 7.49

ตารางที่ 7.49 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.4.2

Time (Hr)	Fuel cost (บาท)	Start up cost (บาท)	Total cost (บาท)
1.00	1,170,001	-	1,170,001
2.00	1,020,131	-	1,020,131
3.00	1,122,771	-	1,122,771
4.00	1,086,281	-	1,086,281
5.00	1,154,299	-	1,154,299
6.00	1,181,319	-	1,181,319
7.00	1,016,940	6,800	1,023,740
8.00	798,431	-	798,431
9.00	960,377	-	960,377
10.00	1,038,870	-	1,038,870
11.00	1,206,732	-	1,206,732
12.00	1,091,217	-	1,091,217
13.00	893,526	-	893,526
14.00	1,256,101	-	1,256,101
15.00	1,153,685	-	1,153,685
16.00	1,146,587	-	1,146,587
17.00	1,236,699	-	1,236,699
18.00	1,345,641	-	1,345,641
19.00	1,215,687	-	1,215,687
20.00	1,268,436	-	1,268,436

ตารางที่ 7.49 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.4.2 (ต่อ)

Time (Hr)	Fuel cost (บาท)	Start up cost (บาท)	Total cost (บาท)
21.00	1,468,302	10,200	1,478,502
22.00	1,345,641	-	1,345,641
23.00	1,112,216	-	1,112,216
24.00	1,115,697	-	1,115,697
Total	27,405,587	17,000	27,422,587

จากตารางที่ 7.49 พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 27,422,587 บาท โดยมีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ามากที่สุดในเวลา 21.00 น. เมื่อเปรียบเทียบกับแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับกรณี 7.2.4.1 ซึ่งมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 1,920 kWh พบว่า ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าจะลดลง 80,808 บาท ดังตารางที่ 7.50

ตารางที่ 7.50 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.4.1 และ 7.2.4.2

Time (Hr)	Total cost (บาท)	
	กรณีที่ 7.2.4.1 มีแหล่งเก็บพลังงานสำรอง 1,920 kWh	กรณีที่ 7.2.4.2 มีแหล่งเก็บพลังงานสำรอง 2,620 kW
1.00	971,862	1,170,001
2.00	1,020,131	1,020,131
3.00	1,122,771	1,122,771
4.00	1,086,281	1,086,281
5.00	1,154,299	1,154,299
6.00	982,077	1,181,319
7.00	1,023,740	1,023,740
8.00	812,582	798,431
9.00	960,377	960,377
10.00	1,038,870	1,038,870
11.00	1,206,732	1,206,732
12.00	1,091,217	1,091,217

ตารางที่ 7.50 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.4.1 และ 7.2.4.2 (ต่อ)

Time (Hr)	Total cost (บาท)	
	กรณี 7.2.4.1 มีแหล่งเก็บพลังงานสำรอง 1,920 kWh	กรณี 7.2.4.2 มีแหล่งเก็บพลังงานสำรอง 2,620 kW
13.00	893,526	893,526
14.00	1,256,101	1,256,101
15.00	1,153,685	1,153,685
16.00	1,146,587	1,146,587
17.00	1,236,699	1,236,699
18.00	1,345,641	1,345,641
19.00	1,215,687	1,215,687
20.00	1,646,881	1,268,436
21.00	1,468,302	1,478,502
22.00	1,345,641	1,345,641
23.00	1,112,216	1,112,216
24.00	1,211,490	1,115,697
Total	27,503,395	27,422,587

เปรียบเทียบผลการทดสอบในกรณี 7.2.3 และกรณี 7.2.4 จะพบว่า เมื่อแหล่งเก็บพลังงานสำรองมีขนาดมากขึ้น ค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าและความร้อนของระบบผลิตก็จะมีค่าลดลง ดังแสดงในตารางที่ 7.51

ตารางที่ 7.51 ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีทดสอบ 7.2.3 และ 7.2.4

Total cost (บาท)			
Without Battery	With Battery 1,220 kWh	With Battery 1,920 kWh	With Battery 2,620 kWh
27,756,245	27,626,194	27,503,395	27,422,587

จากตารางที่ 7.51 กรณีที่ระบบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 2,620 kWh มีค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าและความร้อนน้อยกว่าแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 1,220 kWh และ 1,920 kWh โดยจะสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าและความร้อนของระบบผลิตจากกรณี que ระบบไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองได้ 333,658 บาท หรือคิดเป็น 1.20 เปอร์เซ็นต์

บทที่ 8

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

8.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริด โดยประยุกต์ใช้ขั้นตอนทางพันธุกรรมและกระบวนการแก้ปัญหาค่าขีดสุดแบบควอดราติกในการแก้ปัญหาวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจัดสรรกำลังผลิต ซึ่งได้ทำการทดสอบกับระบบจริงของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค คือ ระบบท่าทราย ที่ได้ทำการปรับเปลี่ยนระบบให้เป็นระบบโครกริด โดยติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว แหล่งเก็บพลังงานสำรอง และภาระทางความร้อนเพิ่มเข้าไป จากผลการทดสอบสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ได้ดังนี้

1) การวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าโดยทั่วไปจะวางแผนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงเวลาที่พิจารณาให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอต่อภาระทางไฟฟ้าของระบบ ซึ่งจะต่างการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไมโครกริดที่มีภาระทางความร้อน โดยจะวางแผนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงเวลาที่พิจารณาให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าและความร้อนให้เพียงพอต่อภาระทางไฟฟ้าและภาระทางความร้อน

2) การติดตั้งแหล่งเก็บพลังงานสำรองจะมีผลต่อการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กล่าวคือ แหล่งเก็บพลังงานสำรองที่มีการจ่ายหรือรับกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาที่พิจารณาอย่างเหมาะสมจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ระบบไม่มีการติดตั้งแหล่งเก็บพลังงานสำรอง

3) ขนาดของแหล่งเก็บพลังงานสำรองจะมีผลต่อการลดค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กล่าวคือ ยิ่งขนาดของแหล่งเก็บพลังงานสำรองมีขนาดใหญ่ก็จะทำให้สามารถลดค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลงได้มากขึ้น อย่างไรก็ตาม ก็จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนติดตั้งแหล่งเก็บพลังงานสำรองเพิ่มขึ้น

4) ลักษณะของภาระทางไฟฟ้าและภาระทางความร้อนที่แตกต่างกันในแต่ละวันจะมีผลต่อการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการทำงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง เนื่องจากในแต่ละวันจะมีช่วงที่ภาระทางไฟฟ้าและภาระทางความร้อนสูงสุดแตกต่างกัน กล่าวคือ ในวันหยุดภาระทางไฟฟ้าสูงสุดจะอยู่ช่วงเวลากลางคืน ส่วนในวันทำงานภาระทางไฟฟ้าสูงสุดจะอยู่ช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ทำให้แผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการทำงานของแหล่งเก็บพลังงานสำรองมีความแตกต่างกัน

8.2 ข้อเสนอแนะ

1) วิธีการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริดที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่ได้พิจารณาความไม่แน่นอนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม และความคลาดเคลื่อนของภาระทางไฟฟ้า ทำให้ผลตอบการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้นั้นมีความคลาดเคลื่อนได้ ถ้าหากพลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม และภาระทางไฟฟ้ามีความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากการพยากรณ์ ดังนั้นหากต้องการผลตอบที่ถูกต้องในการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าควรพิจารณาความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากปัจจัยดังกล่าวด้วย

2) ระบบไมโครกริดที่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรอง 2 ตัวขึ้นไป การวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริดจะต้องพิจารณาความสำคัญของแหล่งเก็บพลังงานสำรองในการที่ระบบผลิตจะจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แหล่งเก็บพลังงานสำรองตัวไหนก่อน

รายการอ้างอิง

- [1] Allen, J., and Bruce, F. Power Generation Operation and Control. A John Wiley & Sons, 1996.
- [2] Liang, H.Z., and Gooi, H.B. Unit Commitment in Microgrids by Improved Genetic Algorithm. Power Engineering Conference, 2010.
- [3] Muhamad Razali, N. M. Profit-based Optimal Generation Scheduling of a Microgrid. Power Engineering and Optimization Conference, 2010.
- [4] Logenthiran, T., and Dipti, S. Short Term Generation Scheduling of a Microgrid. TENCON, 2009.
- [5] Bo Lu, and Shahidehpour, M. Short-Term Scheduling of Battery in a Grid-Connected PV/Battery System. IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, 2005.
- [6] Liu, X., Ding, M., Han, J., Han, P., and Peng, Y. Dynamic Economic Dispatch for Microgrids Including Battery Energy Storage. Power Electronics for Distributed Generation Systems, 2010.
- [7] Katiraei, F. Power Management Strategies for a Microgrid With Multiple Distributed Generation Units. IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, 2006.
- [8] Faisal, A., and Heikki, N. Online Management of MicroGrid with Battery Storage Using Multiobjective Optimization. POWERENG International Conference, 2007.
- [9] Nunna, H., and Ashok, S. Optimal Management of Microgrids. Innovative Technologies for an Efficient and Reliable Electricity Supply (CITRES) Conference on, 2010.
- [10] Alvarez, E. Algorithm for Microgrid On-Line Central Dispatch Of Electrical Power and Heat. Universities Power Engineering Conference, 2009.
- [11] Carlos, A. Fuel Consumption Minimization of a Microgrid. IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, 2005.
- [12] Nidul, S. Optimal Solution for Non-Convex Combined Heat and Power Dispatch Problems using Differential Evolution. Computational Intelligence and Computing Research IEEE International Conference, 2010.
- [13] Ioannis, G., and Anastasios, G. A Solution to the Unit-Commitment Problem Using Integer-Coded Genetic Algorithm. IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, 2004.

- [14] Gerald, F. Economic Dispatch using Quadratic Programming. IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, 1973.
- [15] นิรมล สุธรรมกิจ. การซื้อขายคาร์บอนเครดิต. ใน รายงานผลการศึกษาแนวทางการจัดการก๊าซเรือนกระจกในภาคสมัครใจ, 2551 ณ คณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- [16] ปฐมยศ วังลิกุล. ไมโครกริดกับการผลิตและจ่ายไฟฟ้า. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ภายใต้ความร่วมมือกับบัณฑิตวิทยาลัยร่วมด้านพลังงานสิ่งแวดล้อม, 2551.
- [17] Chowdhury, S, and Crossley, P. Microgrids and Active Distribution Networks. The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2009.
- [18] สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. ผลการศึกษาศักยภาพและมาตรการสนับสนุน CCHP, 2554.
- [19] Mahi, P. Environmental assessment of combined heat and power projects. IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, 1993.
- [20] Shahidehpour, S.M., and Tong, S.K. An Overview of Power Generation Scheduling in The Optimal Operation of a Large Scale Power System. Electric Machines and Power Systems (n.p.): Hemisphere Publishing Corporation, 1991.
- [21] Song, Y. H., and Irving, M. R. Optimization techniques for electrical power systems part 2 Heuristic optimization methods. Power Engineering journal, 2001.
- [22] อิศระชัย งามหุ. สมาร์ทไมโครกริด. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- [23] Hadi Saadat. Power System Analysis, 2004.
- [24] Charoenphan, B., and Audomvongseree, K. Optimal Load Shedding Scheme Under Contingency Condition Considering Voltage Stability Problem. Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON) International Conference on, 2010.
- [25] Engineering Edge. Heat transfer. [ออนไลน์]. แหล่งที่มา http://www.engineersedge.com/heat_transfer/conduction_cylindrical_coor.htm [2554, เมษายน 30]
- [26] U.S. Environmental Protection Agency Combined Heat and Power Partnership. Catalog of CHP Technologies. Virginia: Energy Nexus Group, 2002.
- [27] Chedid, R., Akiki, H., and Rahman, S. A decision support technique for the design of hybrid solar-wind power systems. IEEE Trans. Energy Conversion, 1998.

ภาคผนวก

ข้อมูลระบบทดสอบ

ระบบทดสอบที่นำมาใช้ทดสอบกับวิธีการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริดที่ได้นำเสนอไว้ในวิทยานิพนธ์ คือ ระบบท่าทราย ซึ่งเป็นระบบที่อยู่ในเขตความรับผิดชอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขตภาคกลาง อย่างไรก็ตาม เนื่องจากระบบไฟฟ้าของประเทศไทยยังไม่มีระบบไฟฟ้าที่เป็นระบบไมโครกริด ดังนั้นการทดสอบจึงทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว แหล่งเก็บพลังงานสำรอง และภาระทางความร้อนเพิ่มเข้าไปซึ่งรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

ก.1. ข้อมูลทั่วไปของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

กำลังฐานของระบบคือ 100 MVA

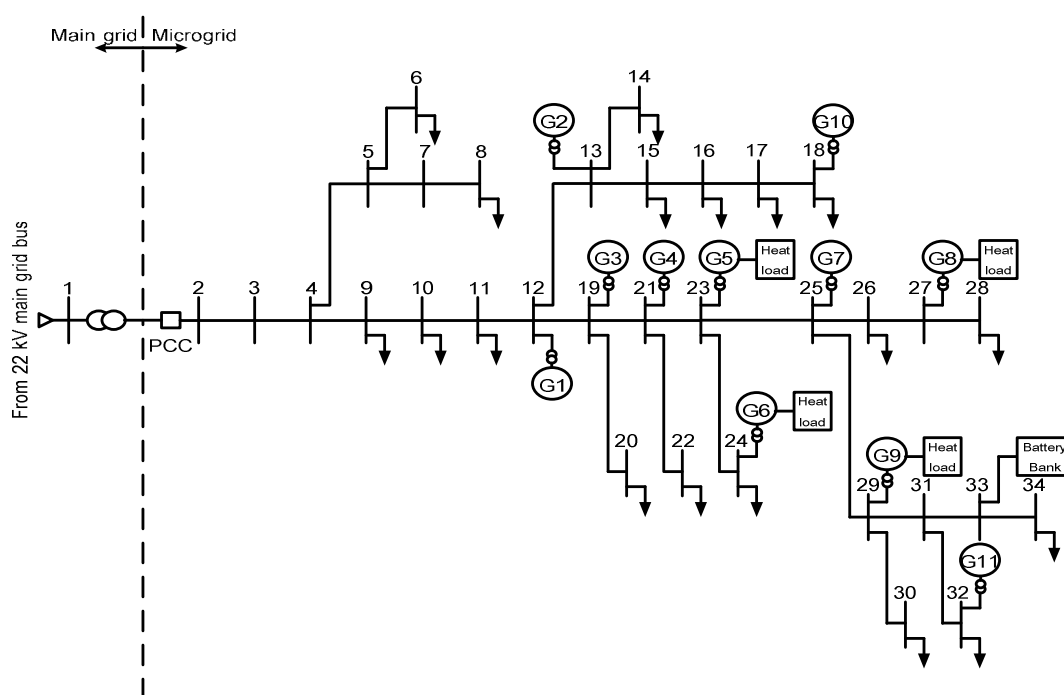
แรงดันฐานของระบบคือ 22 kV

ขีดจำกัดบนของระดับแรงดันเท่ากับ 1.05 p.u.

ขีดจำกัดล่างของระดับแรงดันเท่ากับ 0.95 p.u.

แรงดันที่บัสแหล่งจ่ายเท่ากับ 1.0455 p.u.

ก.2 แผนภาพเส้นเดี่ยวของระบบท่าทราย



รูปที่ ก.1 แผนภาพเส้นเดี่ยวของระบบท่าทราย

ก.3 ข้อมูลของระบบจำหน่าย

ก.3.1 ข้อมูลบัส

ตาราง ก.1 ข้อมูลบัส

บัส	ขนาดของหม้อแปลงที่ต่ออยู่ (kVA)	ประเภทของผู้ใช้
1	บัสแหล่งจ่าย	
2	-	-
3	-	-
4	-	-
5	-	-
6	800	กิจการขนาดกลาง
7	-	-
8	1,000	กิจการขนาดกลาง
9	100	กิจการขนาดกลาง
10	500	กิจการขนาดกลาง
11	800	กิจการขนาดกลาง
12	-	-
13	-	-
14	1,000	กิจการขนาดกลาง
15	250	กิจการขนาดกลาง
16	945	กิจการขนาดกลาง
17	1,500	กิจการขนาดกลาง
18	1,000	กิจการขนาดกลาง
19	-	-
20	100	กิจการขนาดกลาง
21	-	-
22	500	กิจการขนาดกลาง
23	-	-
24	2,500	กิจการขนาดกลาง
25	-	-
26	160	กิจการขนาดกลาง

ตาราง ก.1 ข้อมูลบัส (ต่อ)

บัส	ขนาดของหม้อแปลงที่ต่ออยู่ (kVA)	ประเภทของผู้ใช้
27	-	-
28	50	กิจการขนาดกลาง
29	-	-
30	1,500	กิจการขนาดกลาง
31	-	-
32	500	กิจการขนาดกลาง
33	-	-
34	250	กิจการขนาดกลาง

ค่าตัวประกอบกำลังของแต่ละบัสมีค่าเท่ากับ 0.85

ก.3.2 ข้อมูลสายส่ง

ตาราง ก.2 ข้อมูลสายส่ง

Line No.	From bus	To bus	Line Impedance (Ohms / km)	Line Length (km)
1	1	2	0.17571+0.33444i	0.15
2	2	3	0.17571+0.34721i	0.60
3	3	4	0.17571+0.34721i	0.80
4	4	5	0.17571+0.34721i	0.90
5	5	6	0.64015+0.37985i	0.04
6	5	7	0.17571+0.34721i	0.94
7	7	8	0.64015+0.37985i	0.08
8	4	9	0.17571+0.34721i	0.04
9	9	10	0.17571+0.34721i	0.08
10	10	11	0.17571+0.34721i	0.16
11	11	12	0.17571+0.34721i	3.30
12	12	13	0.17571+0.34721i	0.44
13	13	14	0.17571+0.33444i	0.04
14	13	15	0.17571+0.34721i	0.60
15	15	16	0.17571+0.34721i	0.62

ตาราง ก.2 ข้อมูลสายส่ง (ต่อ)

Line No.	From bus	To bus	Line Impedance (Ohms / km)	Line Length (km)
16	16	17	0.17571+0.34721i	0.66
17	17	18	0.17571+0.34721i	0.70
18	12	19	0.17571+0.34721i	0.04
19	19	20	0.66668+0.38899i	0.02
20	19	21	0.17571+0.34721i	0.34
21	21	22	0.66668+0.38899i	0.04
22	21	23	0.17571+0.34721i	0.34
23	23	24	0.17571+0.33444i	0.16
24	23	25	0.17571+0.34721i	0.50
25	25	26	0.17571+0.34721i	0.32
26	26	27	0.17571+0.34721i	3.12
27	27	28	0.66668+0.38899i	0.32
28	25	29	0.17571+0.34721i	0.54
29	29	30	0.17571+0.33444i	0.04
30	29	31	0.17571+0.34721i	0.58
31	31	32	0.66668+0.38899i	0.08
32	31	33	0.17571+0.34721i	0.62
33	33	34	0.66668+0.38899i	0.04

ก.3.3 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ตาราง ก.3 ชนิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Unit	Type	Fuel
1	Gas turbine	Gas
2	Gas turbine	Gas
3	Gas turbine	Gas
4	Gas turbine	Gas
5	CHP - Microturbine	Gas
6	CHP - Microturbine	Gas

ตาราง ก.3 ชนิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ต่อ)

Unit	Type	Fuel
7	Diesel engine	Diesel
8	CHP - Internal combustion engine	Diesel
9	CHP - Internal combustion engine	Diesel
10	PV	-
11	WIND	-

ตาราง ก.4 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Unit	Fuel consumption ($a+bP+cP^2$: ฿/hr)			Pmin (kW)	Pmax (kW)	MU (hr)	MD (hr)	RRU (kW/min)	RRD (kW/min)	Start up cost (฿)
	a	b	c							
1	850	476	0.0578	50	200	8	8	15	15	27,200
2	1,020	408	0.0680	100	400	8	8	15	15	15,640
3	170	136	0.0340	100	1,000	12	12	50	50	18,700
4	170	204	0.0680	100	1,500	12	12	50	50	17,000
5	1,870	510	0.0408	20	80	2	2	15	15	13,600
6	1,870	578	0.0408	50	100	2	2	15	15	13,600
7	1,190	680	0.1190	100	400	1	1	25	25	10,200
8	680	510	0.0850	50	600	1	1	25	25	15,300
9	1,360	714	0.0850	50	200	1	1	15	15	6,800

ตาราง ก.5 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน (CHP)

Unit	Heat to Electricity ratio (HE)	อุณหภูมิความร้อนที่ผลิตได้ (F°)
5	1.54	130
6	1.61	131
8	1.28	200
9	1.09	160

ตาราง ก.6 ข้อมูลท่อส่งความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อน

Unit	5	6	8	9
Type	metal pipe with fiber glass insulation	metal pipe with fiber glass insulation	metal pipe with fiber glass insulation	metal pipe with fiber glass insulation
Size (ft)	0.833	0.833	0.833	0.833
Insulation thickness (ft)	0.262	0.262	0.262	0.262
Thermal conductivity (BTU/hr-ft-F°)	0.023	0.023	0.023	0.023
The length of pipe (ft)	656	820	984	656
The inside temperature of the pipe (F°) , T1	130	131	200	160
The outside temperature of the pipe (F°) , T2	Depending on the time	Depending on the time	Depending on the time	Depending on the time
Inner radius of the pipe (ft) , r1	0.154	0.154	0.154	0.154
Outer radius of the pipe (ft) , r2	0.416	0.416	0.416	0.416

ตาราง ก.7 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

พิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ (kW)	1,000
ความเข้มแสง ณ จุดทดสอบมาตรฐาน (W/m ²)	1,000
Temperature coefficient of power	-0.0045
อุณหภูมิอ้างอิง (C°)	25

ตาราง ก.8 ข้อมูลอุณหภูมิและความเข้มแสงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

Time (Hr)	วันหยุด (4 เมษายน พ.ศ. 2553)		วันทำงาน (21 เมษายน พ.ศ. 2553)	
	อุณหภูมิ (C)	ความเข้มแสง (W/m ²)	อุณหภูมิ (C)	ความเข้มแสง (W/m ²)
1	30.0	0	30.0	0
2	30.0	0	30.0	0
3	29.0	0	30.0	0
4	30.0	0	30.0	0
5	29.0	0	29.0	0
6	29.0	200	28.0	78
7	30.0	250	28.0	287
8	30.0	475	30.0	505
9	33.0	650	33.0	774
10	33.0	700	34.0	867
11	35.0	800	36.0	804
12	35.0	850	36.0	979
13	36.0	825	36.0	946
14	37.0	850	38.0	716
15	36.0	700	38.0	531
16	36.0	600	37.0	423
17	35.0	250	37.0	179
18	33.0	200	35.0	17
19	32.0	0	33.0	0
20	31.0	0	32.0	0
21	31.0	0	31.0	0
22	31.0	0	31.0	0
23	30.0	0	31.0	0
24	30.0	0	30.0	0

หมายเหตุ ในตาราง ก.8 ข้อมูลอุณหภูมิได้มาจาก <http://thai.wunderground.com> ส่วนความเข้มแสงได้มาจากโปรแกรม Homer

ตาราง ก.9 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม

พิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม (kW)	1,250
cut in wind speed (m/s)	2.8
cut out wind speed (m/s)	25
rated wind speed (m/s)	12.5

ตาราง ก.10 ข้อมูลความเร็วลมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม

Time (Hr)	วันหยุด (4 เมษายน พ.ศ. 2553)	วันทำงาน (21 เมษายน พ.ศ. 2553)
	wind speed (m/s)	wind speed (m/s)
1	4.80	9.20
2	4.80	10.40
3	5.00	9.10
4	1.90	9.20
5	4.40	8.00
6	4.20	7.80
7	1.50	8.30
8	0.10	8.30
9	1.10	6.80
10	2.80	6.30
11	1.50	4.80
12	0.80	4.60
13	2.90	6.70
14	2.70	4.90
15	3.30	5.60
16	5.50	5.80
17	8.50	5.10
18	8.70	5.20
19	9.40	5.20
20	7.50	5.40
21	6.80	4.20

ตาราง ก.10 ข้อมูลความเร็วลมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม (ต่อ)

Time (Hr)	วันหยุด (4 เมษายน พ.ศ. 2553)	วันทำงาน (21 เมษายน พ.ศ. 2553)
	wind speed (m/s)	wind speed (m/s)
22	8.10	9.00
23	8.20	7.50
24	7.00	6.50

ก.3.4 ข้อมูลแหล่งเก็บพลังงานสำรอง

ตาราง ก.11 ข้อมูลแหล่งเก็บพลังงานสำรอง

Size	Charge max (kW)	Discharge max (kW)	Energy limit (kWhr)
1,220 kWh	367	367	1,220
1,920 kWh	367	367	1,920
2,620 kWh	367	367	2,620

ก.3.5 ข้อมูลภาระทางไฟฟ้าและภาระทางความร้อน

ตาราง ก.12 ข้อมูลภาระทางไฟฟ้า

Time (Hr)	วันหยุด (4 เมษายน พ.ศ. 2553) (kW)	วันทำงาน (21 เมษายน พ.ศ. 2553) (kW)
1	4,000	3,700
2	3,900	3,650
3	3,800	3,600
4	3,750	3,550
5	3,600	3,500
6	3,570	3,600
7	3,500	3,550
8	3,400	3,600
9	3,780	4,100
10	3,970	4,300
11	4,000	4,450

ตาราง ก.12 ข้อมูลภาระทางไฟฟ้า (ต่อ)

Time (Hr)	วันหยุด (4 เมษายน พ.ศ. 2553)		วันทำงาน (21 เมษายน พ.ศ. 2553)	
	(kW)		(kW)	
12	3,870		4,400	
13	3,790		4,100	
14	3,940		4,450	
15	4,010		4,500	
16	4,070		4,400	
17	4,020		4,300	
18	3,890		3,900	
19	4,000		4,100	
20	4,300		4,200	
21	4,400		4,450	
22	4,500		4,200	
23	4,370		4,100	
24	4,100		3,900	

ตาราง ก.13 ข้อมูลภาระทางความร้อน

Time (Hr)	วันหยุด (4 เมษายน พ.ศ. 2553)				วันทำงาน (21 เมษายน พ.ศ. 2553)			
	(kWth)				(kWth)			
	Bus 23	Bus 24	Bus 27	Bus 29	Bus 23	Bus 24	Bus 27	Bus 29
1	30	150	200	0	30	150	200	0
2	30	150	200	0	30	150	200	0
3	30	150	200	0	30	150	200	0
4	30	150	200	0	30	150	200	0
5	30	150	200	0	30	150	200	0
6	30	150	300	0	30	150	300	0
7	30	150	300	40	30	150	300	100
8	90	150	400	50	110	150	400	110
9	90	150	400	50	110	150	400	110

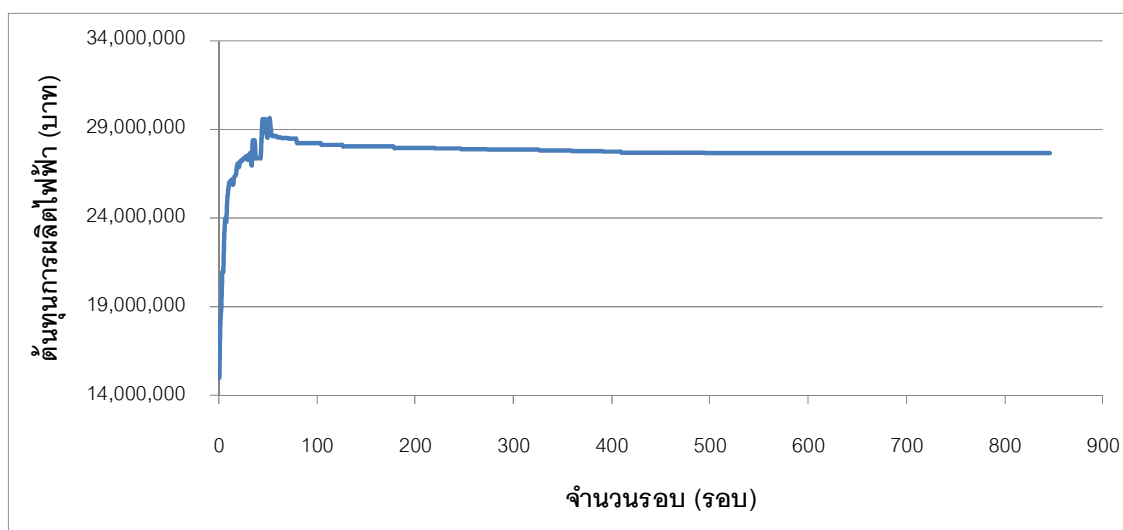
ตาราง ก.13 ข้อมูลภาระทางความร้อน (ต่อ)

Time (Hr)	วันหยุด (4 เมษายน พ.ศ. 2553) (kWth)				วันทำงาน (21 เมษายน พ.ศ. 2553) (kWth)			
	Bus 23	Bus 24	Bus 27	Bus 29	Bus 23	Bus 24	Bus 27	Bus 29
10	90	150	400	50	110	150	400	110
11	90	150	400	50	110	150	400	110
12	90	150	400	50	110	150	400	110
13	90	150	400	50	110	150	400	110
14	90	150	400	50	110	150	400	110
15	90	150	400	50	110	150	400	110
16	90	150	400	40	110	150	400	100
17	90	150	400	0	110	150	400	0
18	30	150	400	0	30	150	400	0
19	30	150	300	0	30	150	300	0
20	30	150	200	0	30	150	200	0
21	30	150	200	0	30	150	200	0
22	30	150	200	0	30	150	200	0
23	30	150	200	0	30	150	200	0
24	30	150	200	0	30	150	200	0

ภาคผนวก ข การลู่เข้าของคำตอบ

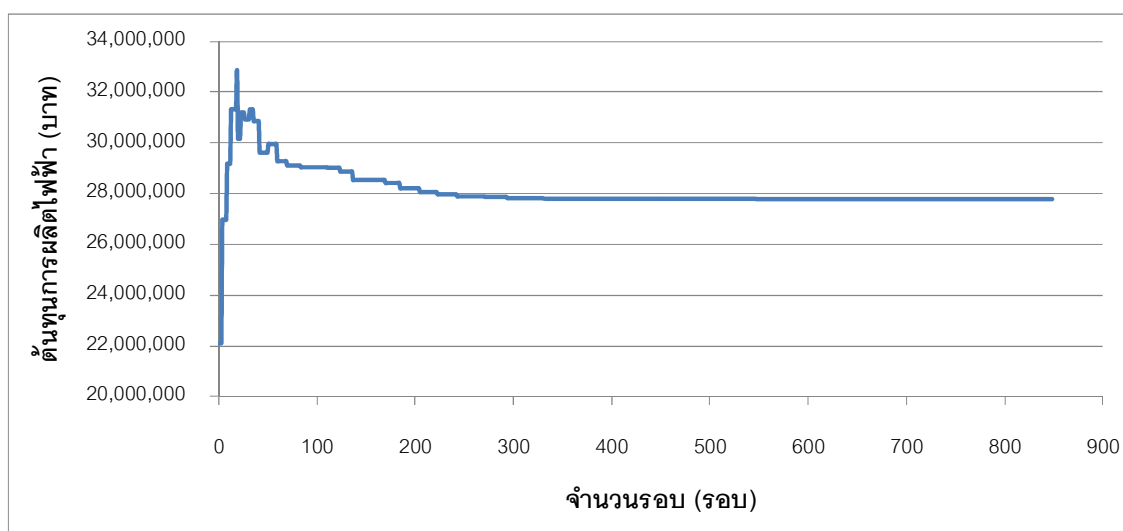
ข.1 การทดสอบวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบท่าทรายในช่วงวันหยุด

ข.1.1 กรณีระบบไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองและภาวะทางความร้อน



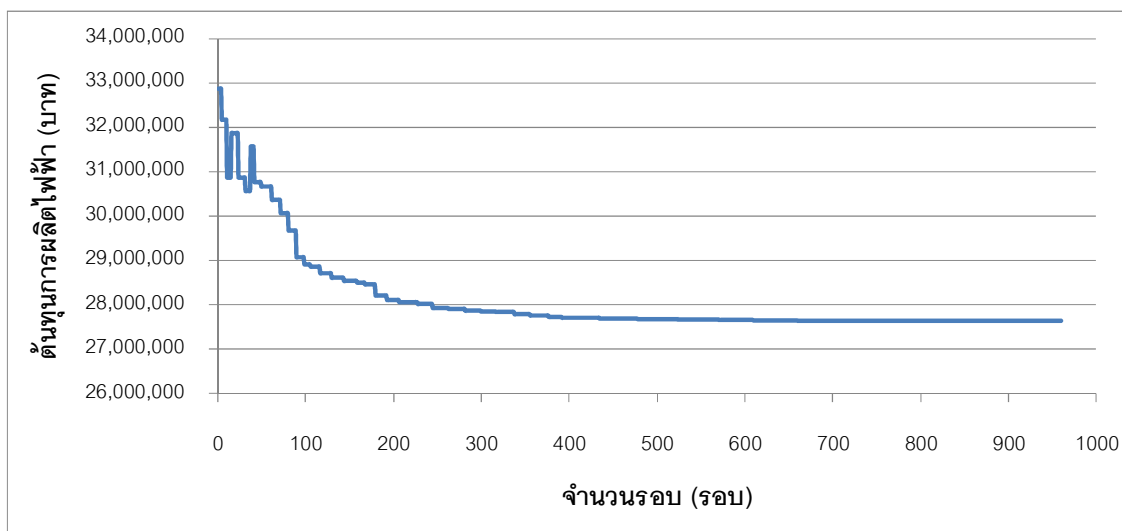
รูปที่ ข.1-1 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบกรณี 7.1.1

ข.1.2 กรณีระบบไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองแต่มีภาวะทางความร้อน



รูปที่ ข.1-2 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบกรณี 7.1.2

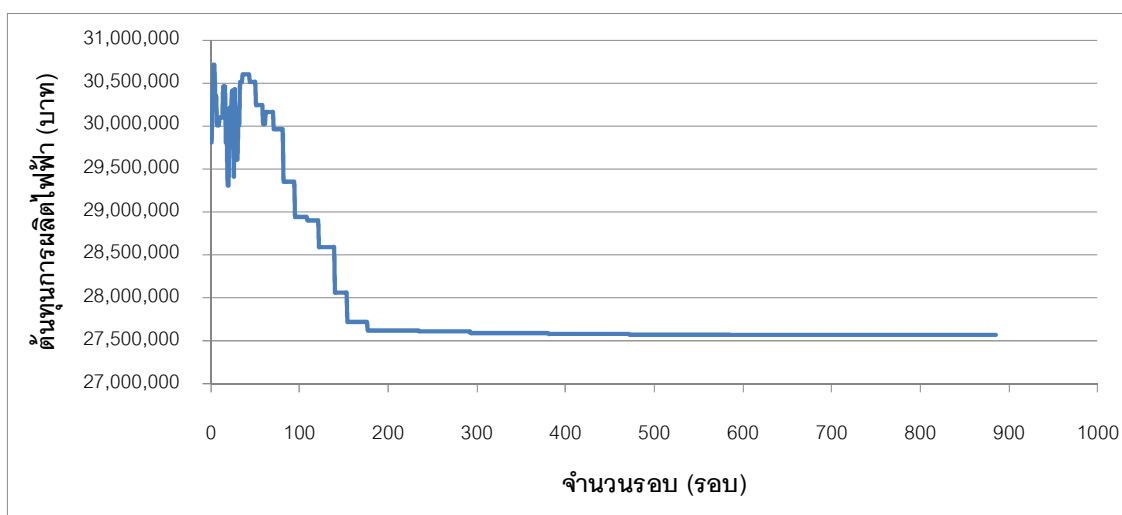
ข.1.3 กรณีระบบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองและภาวะทางความร้อน



รูปที่ ข.1-3 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบกรณี 7.1.3

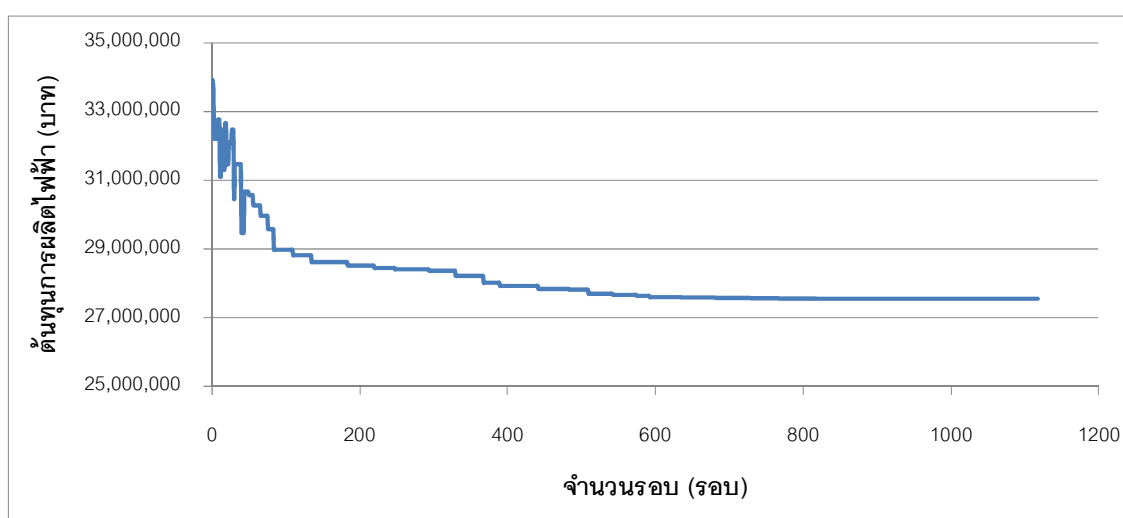
ข.1.4 กรณีระบบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาดต่างๆ และภาวะทางความร้อน

ข.1.4.1 กรณีระบบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 1,920 kWh



รูปที่ ข.1-4 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบกรณี 7.1.4.1

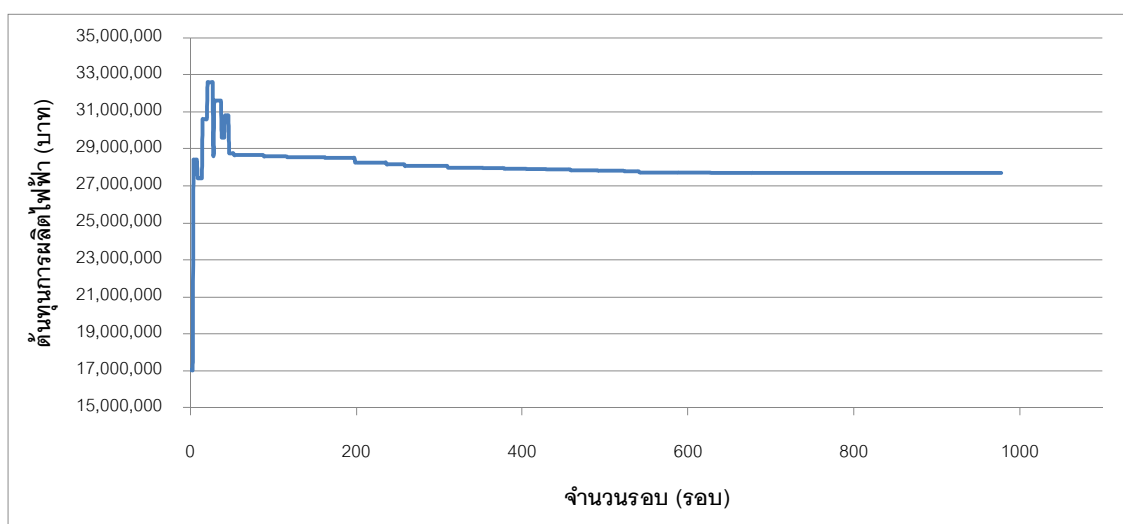
ข.1.4.2 กรณีระบบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 2,620 kWh



รูปที่ ข.1-5 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบกรณี 7.1.4.2

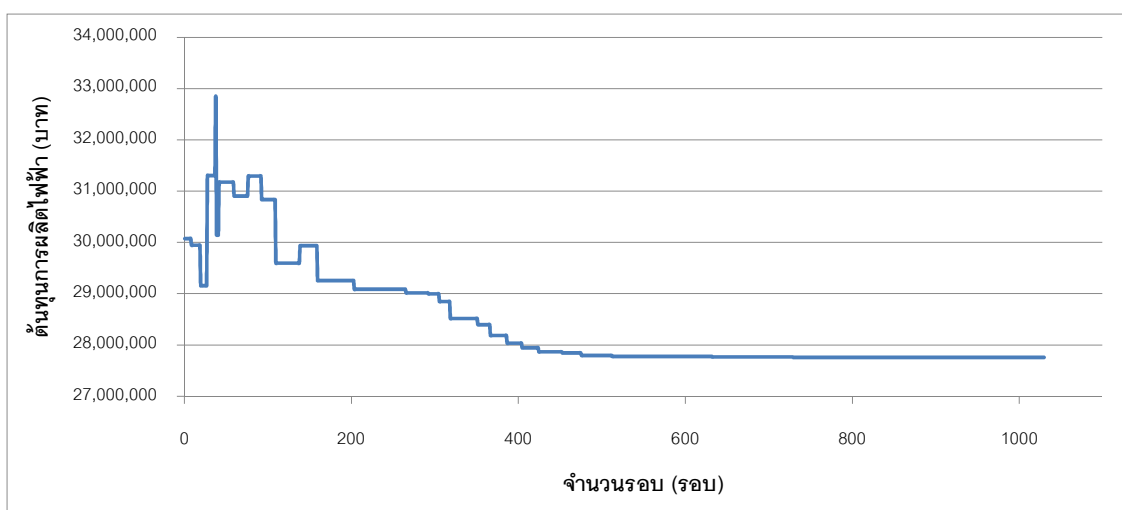
ข.2 การทดสอบวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบท่าทรายในช่วงวันหยุด

ข.2.1 กรณีระบบไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองและภาระทางความร้อน



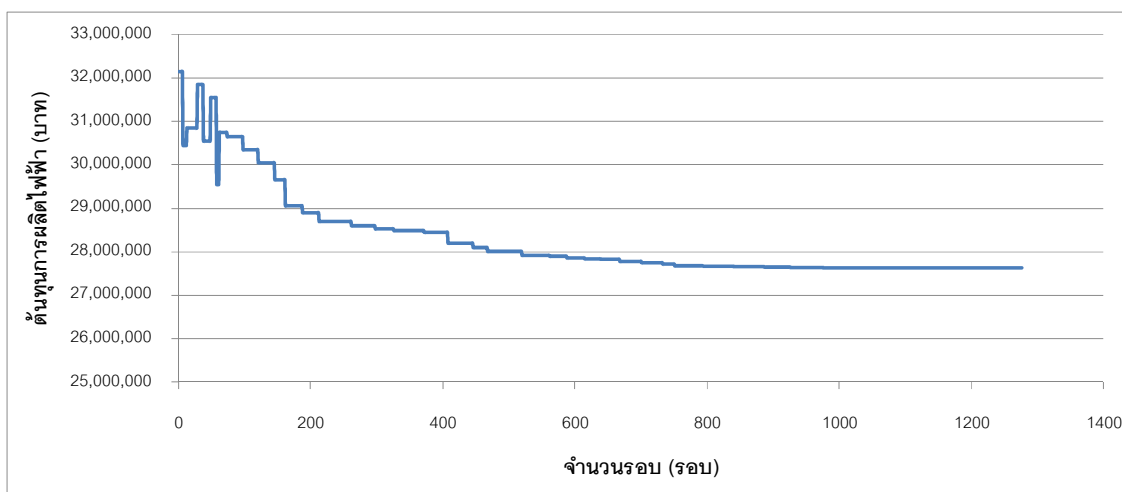
รูปที่ ข.2-1 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบกรณี 7.2.1

ข.2.2 กรณีระบบไม่มีแหล่งเก็บพลังงานสำรองแต่มีภาระทางความร้อน



รูปที่ ข.2-2 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบกรณี 7.2.2

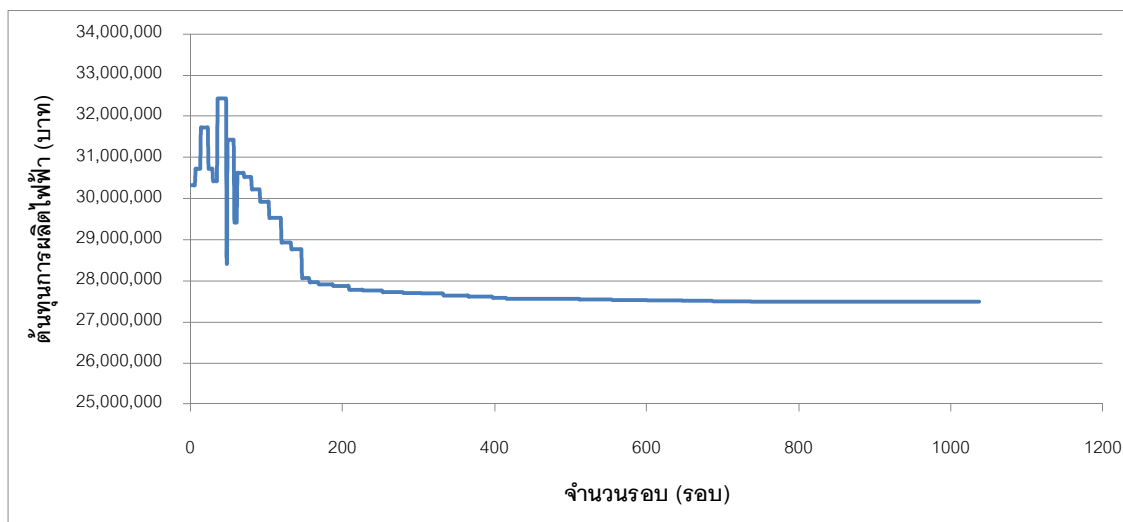
ข.2.3 กรณีระบบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองและภาระทางความร้อน



รูปที่ ข.2-3 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบกรณี 7.2.3

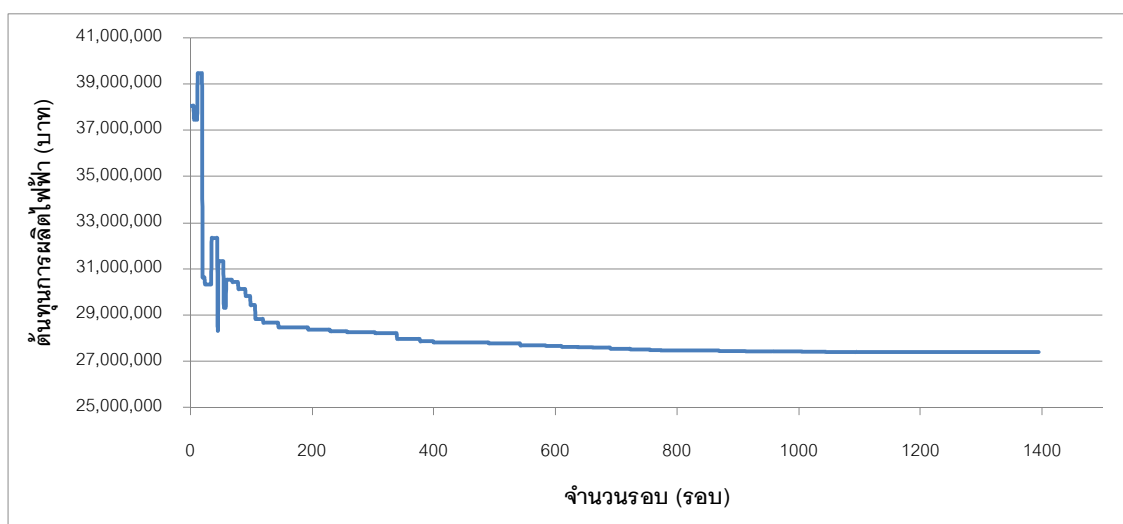
ข.2.4 กรณีระบบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาดต่างๆ และภาระทางความร้อน

ข.2.4.1 กรณีระบบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 1,920 kWh



รูปที่ ข.2-4 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบกรณี 7.2.4.1

ข.2.4.2 กรณีระบบมีแหล่งเก็บพลังงานสำรองขนาด 2,620 kWh



รูปที่ ข.2-5 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในแต่ละรอบกรณี 7.2.4.2

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายณัฐดนัย มีแสง เกิดวันที่ 4 สิงหาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดขอนแก่น สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปี พ.ศ. 2551 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2552