

การวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริด
ที่มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน พลังงานความร้อนร่วม และระบบกักเก็บพลังงาน



นายชานนท์ ธรรมศร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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 University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

GENERATION UNIT COMMITMENT IN MICROGRID
WITH RENEWABLE ENERGY GENERATION COMBINED HEAT AND POWER
AND ENERGY STORAGE SYSTEM

Mr. Charnon Thammasorn



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 2014
Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดที่มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน พลังงานความร้อนร่วม และระบบกักเก็บพลังงาน
โดย	นายชานนท์ ธรรมศร
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษศ อุตมวงศ์เสรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษศ อุตมวงศ์เสรี)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.แนบบุญ หุนเจริญ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร.ประดิษฐ์ เฟื่องฟู)

ชานนท์ ธรรมศร : การวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดที่มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน พลังงานความร้อนร่วม และระบบกักเก็บพลังงาน (GENERATION UNIT COMMITMENT IN MICROGRID WITH RENEWABLE ENERGY GENERATION COMBINED HEAT AND POWER AND ENERGY STORAGE SYSTEM) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.กฤษศ อุดมวงศ์เสรี, 108 หน้า.

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สำคัญในอนาคต ดังนั้นการผสมผสานการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนอย่างเหมาะสมจึงควรได้รับการพิจารณาและแนวทางหนึ่งที่เป็นไปได้ คือ การพัฒนาระบบไฟฟ้าให้เกิดเป็นการเชื่อมต่อระหว่างกลุ่มผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กกับกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ไม่ไกลจากกันที่เรียกว่า ระบบไมโครกริด (Micro Grid) โดยมีทั้งความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าและความต้องการใช้พลังงานความร้อน นอกจากนี้ การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเข้าไปในไมโครกริดจำเป็นต้องติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าพร้อมทั้งทำงานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลขนาดเล็กเพื่อช่วยลดความไม่แน่นอนและความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้กระบวนการแก้ปัญหาค่าขีดสุด (Optimization) ด้วยขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เป็นเครื่องมือหลักเพื่อค้นหาคำตอบที่เหมาะสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดที่มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน พลังงานความร้อนร่วมและระบบกักเก็บพลังงาน โดยสามารถรองรับความต้องการทางไฟฟ้าและความร้อนได้อย่างเพียงพอ มีค่าใช้จ่ายต่ำสุดและพยายามให้ไมโครกริดประพุดิตินเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดหรือแหล่งความต้องการทางไฟฟ้าขนาดคงที่ค่าหนึ่ง (Virtual Power Plant) ณ ช่วงระยะเวลาที่มีข้อตกลงต่อกันล่วงหน้าได้ ซึ่งได้ทดสอบกับระบบทดสอบท่าทรายที่มีขนาด 34 บัส มีสายป้อน 34 เส้น มีจุดโหลด 18 จุด โดยได้ดัดแปลงระบบดังกล่าวให้เป็นไมโครกริดโดยทำการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนร่วม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และแบตเตอรี่ เข้าไปในระบบ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า สามารถนำวิธีการที่นำเสนอมาช่วยวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไมโครกริดได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2557

5470171921 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS: UNIT COMMITMENT / GENETIC ALGORITHM / RENEWABLE ENERGY / BATTERY / COMBINED HEAT AND POWER (CHP) / MICROGRID

CHARNON THAMMASORN: GENERATION UNIT COMMITMENT IN MICROGRID WITH RENEWABLE ENERGY GENERATION COMBINED HEAT AND POWER AND ENERGY STORAGE SYSTEM. ADVISOR: ASST. PROF. KULYOS AUDOMVONGSEREE, Ph.D., 108 pp.

Power generation from renewable energy is an important alternative in the future. Therefore, the combination of Power generation from fossil fuels and renewable energy should be considered accordingly. One possible approach is to develop a small interconnected system called Micro-grid. Demand in micro-grids may contain both electricity as well as heat. In addition, energy storage system is typically needed to be installed along with conventional fossil fuel generators to reduce the uncertainty and variability of the renewable energy power generation.

This thesis uses the genetic algorithm as the main tool for optimal generation planning. The proposed method is a generation unit commitment method in micro-grid with renewable energy generators, combined heat and power generators, and Energy Storage System to supply both electricity and heat demands at the lowest cost. At the same time, it tries to control the micro-grid as a virtual power plant that has constant power flowing-in or -out at the time of agreement in advance. This method has been tested with TahSai system, which has 34 buses, 34 feeders, and 18 load points. This system is modified by installing a PV generator, a wind generator, combined heat and power generators, diesel generator, and batteries. It can be seen that the proposed method can be used efficiently.

Department: Electrical Engineering Student's Signature

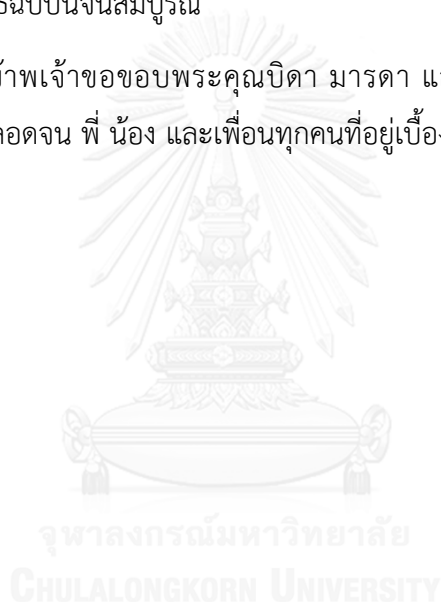
Field of Study: Electrical Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้า นายชานนท์ ธรรมศร ผู้เขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กุลยศ อุดมวงศ์เสรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษา ข้อคิดเห็นต่างๆ ที่มีความสำคัญและเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนช่วยตรวจสอบและแก้ไขเนื้อหา ข้อผิดพลาดในวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณ คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. แนนบุญ หุนเจริญ และดร.ประดิษฐ์ เพ็องฟู ที่ได้สละเวลาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสมบูรณ์

นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจมาโดยตลอด ตลอดจน พี่ น้อง และเพื่อนทุกคนที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จในครั้งนี้



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	3
1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	4
1.4 ขั้นตอนการศึกษาวิธีการดำเนินงาน	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์	5
1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์	5
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับ การวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริด	6
2.1 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมาก	6
2.1.1 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน	6
2.1.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนร่วม (Combined Heat and Power, CHP).....	22
2.1.3 ระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System)	28
2.2 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับไมโครกริด.....	37
2.2.1 ความหมายและความสำคัญของไมโครกริด	37
2.2.2 คุณสมบัติของไมโครกริด	38
2.2.3 ความแตกต่างระหว่างไมโครกริดกับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่	40

2.3 ทฤษฎีพื้นฐานการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	41
2.3.1 การวิเคราะห์ระบบด้วยการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า	41
2.3.2 การวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Unit Commitment).....	44
2.3.3 การจัดสรรกำลังการผลิต (Economic dispatch).....	46
2.3.4 วิธีการค้นหาคำตอบในการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	47
บทที่ 3 แนวทางที่นำเสนอสำหรับการวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริด ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนร่วม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานประเภทแบตเตอรี่.....	49
3.1 นิยามตัวแปร	49
3.2 รูปแบบปัญหา.....	50
3.3 ระเบียบวิธีในการแก้ปัญหา.....	53
3.3.1 การลงรหัสและการถอดรหัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	54
3.3.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น.....	55
3.3.3 การประเมินค่าความเหมาะสม	57
3.3.4 การคัดเลือกสายพันธุ์	61
3.3.5 การข้ามสายพันธุ์.....	62
3.3.6 การผ่าเหล่า (Mutation).....	64
3.3.7 การเลือกโครโมโซมที่โดดเด่นเพื่อรักษาไว้ในรุ่นถัดไป	67
3.3.8 เงื่อนไขการหยุด	67
3.4 ขั้นตอนการวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริด.....	69
บทที่ 4 ผลการทดสอบ.....	72
4.1 ระบบการทดสอบ	72
4.2 ผลการวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ	74
4.2.1 ผลการทดสอบพลังงานหมุนเวียน.....	74

4.2.2 ผลการทดสอบการวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริด ...	79
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	89
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	89
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	91
รายการอ้างอิง	92
ภาคผนวก.....	95
ภาคผนวก ก ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม.....	96
ภาคผนวก ข ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์.....	99
ภาคผนวก ค ข้อมูลแบตเตอรี่.....	101
ภาคผนวก ง ข้อมูลระบบทดสอบ	102
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	108

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแบตเตอรี่ประเภทต่างๆ	33
ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการลงรหัสโครโมโซมแสดงสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 และ 2... 54	54
ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการลงรหัสโครโมโซมแสดงสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยวิธี AFLC.....	56
ตารางที่ 3.3 สัดส่วนความเหมาะสมของโครโมโซม	61
ตารางที่ 4.1 แสดงตัวอย่างค่าความเหมาะสม (fitness) และค่าปรับโทษต่างๆ (Penalties) ด้วยวิธีทางพันธุกรรม.....	80
ตารางที่ ก.1 ความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมงในแต่ละฤดู	96
ตารางที่ ก.2 ความแปรปรวนของความเร็วลมในแต่ละฤดู	97
ตารางที่ ก.3 ความเร็วลมเฉลี่ยของแต่ละเดือนในปี 2005 วัดที่แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต	98
ตารางที่ ก.4 ระดับความเร็วลมในการผลิตกำลังไฟฟ้า.....	98
ตารางที่ ข.1 ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงในฤดูต่างๆ	99
ตารางที่ ข.2 อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยรายชั่วโมงในฤดูต่างๆ.....	99
ตารางที่ ข.3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละชั่วโมง	100
ตารางที่ ข.4 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมในแต่ละชั่วโมง.....	100
ตารางที่ ค.1 ค่าตัวแปรของแบตเตอรี่.....	101
ตารางที่ ค.2 ข้อมูลแหล่งเก็บพลังงานสำรอง	101
ตารางที่ ง.1 ข้อมูลบัส	103
ตารางที่ ง.2 ข้อมูลสายส่ง.....	104
ตารางที่ ง.3 ชนิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	105
ตารางที่ ง.4 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	105
ตารางที่ ง.5 ข้อมูลค่าพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมและคอนเวอร์เตอร์.....	106
ตารางที่ ง.6 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	106
ตารางที่ ง.7 ตารางแสดงปริมาณความต้องการทางความร้อนภายในไมโครกริด (kWth).....	107

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 ระดับความเร็วลมกับกำลังผลิตจากกังหันลม[9]	10
ภาพที่ 2.2 ฟังก์ชันการกระจายสะสมและการแจกแจงตามขอบ ระหว่างตัวแปรสุ่ม X และ Y ที่มีรูปแบบ Frank Copula.....	15
ภาพที่ 2.3 ฟังก์ชันการกระจายสะสมและการแจกแจงตามขอบ ระหว่างตัวแปรสุ่ม X และ Y ที่มีรูปแบบ Gumbel Copula.....	15
ภาพที่ 2.4 ฟังก์ชันการกระจายสะสมและการแจกแจงตามขอบ ระหว่างตัวแปรสุ่ม X และ Y ที่มีรูปแบบ Clayton Copula	16
ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างการแจกแจงสะสมร่วมของความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม	18
ภาพที่ 2.6 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	19
ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้ม แสง 1000 W/m ² กับ การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง [18].....	20
ภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 1000 W/m ² กับ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ [18]	20
ภาพที่ 2.9 การทำงานของกังหันไอน้ำ [22].....	23
ภาพที่ 2.10 การทำงานของกังหันก๊าซ [22]	24
ภาพที่ 2.11 การทำงานของกังหันก๊าซขนาดเล็ก [23].....	25
ภาพที่ 2.12 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง [23].....	26
ภาพที่ 2.13 การผลิตกำลังไฟฟ้าและความร้อนร่วม (CHP)	27
ภาพที่ 2.14 แบบจำลองการส่งความร้อนผ่านท่อส่งความร้อน	28
ภาพที่ 2.15 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบอนุกรม.....	34
ภาพที่ 2.16 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบขนาน	35
ภาพที่ 2.17 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบอนุกรมร่วมกับแบบขนาน.....	36
ภาพที่ 2.18 บัสในระบบไฟฟ้ากำลัง	41
ภาพที่ 3.1 ตัวอย่างการลงรหัสด้วยโครโมโซมเลขฐานสอง	55

ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างรหัสโครโมโซมแสดงสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	59
ภาพที่ 3.3 การคัดเลือกวิธีวงล้อสุ่ม.....	61
ภาพที่ 3.4 การข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์.....	63
ภาพที่ 3.5 การข้ามสายพันธุ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	63
ภาพที่ 3.6 ตัวอย่างการผ่าเหล่าของตัวแปร $U_i(t)$	64
ภาพที่ 3.7 ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนบิตโดยวิธี Swap-window operator.....	65
ภาพที่ 3.8 ตัวอย่างการกำหนดบิตโดยวิธี Window-mutation operator.....	66
ภาพที่ 3.9 ขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีพันธุกรรม.....	68
ภาพที่ 3.10 แผนผังแสดงขั้นตอนการวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริด.....	71
ภาพที่ 4.1 ภาพแสดงระบบท่าทรายที่มีการเปลี่ยนแปลงการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	72
ภาพที่ 4.2 ลักษณะความต้องการใช้ไฟฟ้าของไมโครกริด 1 สัปดาห์.....	73
ภาพที่ 4.3 ลักษณะความต้องการความร้อนทั้ง 4 บัส ของระบบทดสอบท่าทราย.....	73
ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างความเร็วลมภายใน 1 วันที่ทุก การสุ่ม 15 นาที.....	74
ภาพที่ 4.5 การกระจายตัวของความเร็วลมใน 1 สัปดาห์.....	75
ภาพที่ 4.6 กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมผลิตได้ใน 1 สัปดาห์ (bus 13).....	75
ภาพที่ 4.7 ระหว่างความแปรปรวนของความเข้มแสงและอุณหภูมิที่สุ่มได้ ในรูปแบบของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสะสม.....	76
ภาพที่ 4.8 ตัวอย่างความเข้มแสงอาทิตย์ที่สุ่มได้ของแต่ละวันในช่วงเวลา 7:00 – 18:00 น.....	76
ภาพที่ 4.9 ตัวอย่างอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่สุ่มได้ของแต่ละวันในช่วงเวลา 7:00 – 18:00 น.....	77
ภาพที่ 4.10 ตัวอย่างกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตได้ใน 1 วัน.....	77
ภาพที่ 4.11 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนรวมใน 1 สัปดาห์.....	78
ภาพที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบความต้องการใช้ไฟฟ้า กรณี มี/ไม่มีพลังงานหมุนเวียน.....	78
ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงตัวอย่างการสุ่มค่าตอบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์.....	79
ภาพที่ 4.14 แสดงค่าความน่าจะเป็นของการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง.....	81

ภาพที่ 4.15 แสดงกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจ่ายให้ความต้องการใช้ไฟฟ้ารวม.....	82
ภาพที่ 4.16 แสดงกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละประเภทในช่วงเวลาต่างๆ	83
ภาพที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบระหว่างความร้อนที่ผลิตได้และความต้องการความร้อน 4 บัส	84
ภาพที่ 4.18 ผลการทดสอบการควบคุมกำลังไฟฟ้า ที่ไหลเข้า-ออกจากไมโครกริดผ่านสายส่งหลักใน 1 สัปดาห์.....	85
ภาพที่ 4.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความต้องการใช้ไฟฟ้า กรณี มี/ไม่มีพลังงานหมุนเวียน และการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้า-ออกจากระบบไฟฟ้าหลัก (Tie Line) ไม่พิจารณาผลของแบตเตอรี่.....	86
ภาพที่ 4.20 กำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่รับ/จ่ายให้ไมโครกริดใน 1 สัปดาห์.....	87
ภาพที่ 4.21 ประจุไฟฟ้าภายในแบตเตอรี่เป็นเวลา 1 สัปดาห์.....	87
ภาพที่ 4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความต้องการใช้ไฟฟ้า กรณี มี/ไม่มีพลังงานหมุนเวียน และแบตเตอรี่ โดยทำการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้า-ออกจากไมโครกริดผ่านสายส่งหลักด้วย.....	88
ภาพที่ ง.1 ภาพแสดงระบบทดสอบทำทราจที่มีการดัดแปลงการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	102

บทที่ 1

บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง ที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนการศึกษาวิธีการดำเนินงาน ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ และเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยมีรายละเอียดดังแสดงต่อไปนี้

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานหลักที่ใช้เพื่อการผลิตไฟฟ้าในปัจจุบันสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท อันได้แก่ พลังงานฟอสซิล และพลังงานหมุนเวียน [1] ซึ่งความหมายและความสำคัญของพลังงานแต่ละประเภทสามารถอธิบายได้ดังนี้

พลังงานฟอสซิล คือ พลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงซึ่งเกิดจากการทับถมของซากพืชซากสัตว์ใต้พื้นโลกเป็นเวลานานหลายล้านปีโดยอยู่ภายใต้สภาวะจำเพาะจากความร้อนใต้ผิวโลกและแรงอัดของแผ่นเปลือกโลก พลังงานฟอสซิลมีสถานะได้ทั้งของแข็ง ของเหลว และก๊าซ ซึ่งพลังงานเหล่านี้สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้แล้วจะหมดไป เช่น ถ่านหิน หินน้ำมัน ทราชน้ำมัน น้ำมันดิบ น้ำมันเชื้อเพลิง และก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น การผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลจะมีความแน่นอนและมีความต่อเนื่องของการจัดหาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ทำให้ระบบผลิตไฟฟ้าประเภทดังกล่าวมีความเชื่อถือได้สูง แต่อย่างไรก็ตาม การผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมซึ่งเกิดจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิล โดยจะปล่อยก๊าซเรือนกระจกออกสู่ชั้นบรรยากาศของโลก เมื่อปริมาณการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลสูงขึ้น การสะสมของก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศจะยิ่งสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวได้ส่งผลให้เกิดปัญหาโลกร้อน (Global Warming) ขึ้นในปัจจุบัน จึงนำไปสู่การค้นคว้าหาพลังงานจากธรรมชาติที่สะอาด ไม่กระทบต่อสิ่งแวดล้อมมาใช้แทนพลังงานฟอสซิล ซึ่งก็คือ พลังงานหมุนเวียน นั่นเอง

พลังงานหมุนเวียน คือ พลังงานที่มีอยู่ในธรรมชาติ เกิดขึ้นอยู่อย่างต่อเนื่องไม่หมดไป สามารถนำมาทดแทนได้ในเวลาสั้นๆ โดยสามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ พลังงานชีวมวล เป็นต้น อย่างไรก็ตาม พลังงานหมุนเวียนมีความไม่แน่นอนของแหล่งพลังงานและมีความผันผวนของการผลิตพลังงานซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะตามธรรมชาติ การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเข้ามาในระบบในสัดส่วนสูง อาจส่งผลให้เกิดปัญหาคุณภาพไฟฟ้าและความมั่นคงของระบบไฟฟ้าได้ ตัวอย่างเช่น การผลิตไฟฟ้าจากพลังงาน

ลม ขณะที่ไม่มีลมหรือลมพัดไม่แรงเพียงพอก็จะไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ หรือพลังงานแสงอาทิตย์หากมีเมฆบังแสงแดดหรือในเวลากลางคืนก็จะไม่สามารถผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้ ทำให้ต้องอาศัยพลังงานจากระบบผลิตไฟฟ้าเชื้อเพลิงหลักอื่นๆ นอกจากนี้ ความไม่แน่นอนและความผันผวนของกำลังการผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน อาจส่งผลให้เกิดเกิดการแกว่งของแรงดันภายในระบบไฟฟ้า และปัญหาภาวะชัตการส่งกำลังไฟฟ้าเกินเกณฑ์พิกัดที่กำหนด เป็นต้น

อย่างไรก็ดี ในปัจจุบัน ความต้องการใช้ไฟฟ้ามีการเติบโตขึ้นในทุกๆปี ทำให้ต้องมีการก่อสร้างโรงไฟฟ้าให้เพียงพอต่อการรองรับปริมาณความต้องการทางไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น แต่การใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวจะทำให้ปริมาณเชื้อเพลิงที่มีอยู่จำกัดหมดไปอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้ ราคาของเชื้อเพลิงฟอสซิลก็มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนกลายเป็นทางเลือกเพื่อทดแทนการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่ไม่อาจหลีกเลี่ยงได้ [2] ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนการผลิตไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าที่ผสมผสานระหว่างการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนอย่างเหมาะสม ซึ่งแนวทางหนึ่งที่เป็นไปได้ คือ การพัฒนาระบบไฟฟ้าให้เกิดเป็นการเชื่อมต่อระหว่างกลุ่มผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็กกับกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ไม่ไกลจากกันที่เรียกว่า ระบบอิสระขนาดเล็กหรือไมโครกริด (Micro Grid) โดยความต้องการใช้พลังงานในไมโครกริดอาจประกอบด้วย ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าและความต้องการใช้พลังงานความร้อน การติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเข้าไปในไมโครกริดจำเป็นต้องติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานไฟฟ้าพร้อมทั้งทำงานร่วมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลขนาดเล็ก เพื่อทำงานร่วมกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนซึ่งมีความไม่แน่นอนและมีความผันผวน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะพิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน 2 ประเภท ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งติดตั้งพร้อมกับระบบกักเก็บพลังงานประเภทแบตเตอรี่ วัตถุประสงค์หลักของไมโครกริด คือ การสร้างสมดุลระหว่างการผลิตไฟฟ้าและความร้อนให้เพียงพอต่อความต้องการภายในไมโครกริดโดยที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด และไมโครกริดได้รับการอนุญาตให้ผู้ใช้หรือผู้ผลิตไฟฟ้าสามารถเชื่อมต่อกับไมโครกริดอื่นๆ หรือระบบไฟฟ้าหลักเพื่อซื้อขายไฟฟ้าได้ โดยไมโครกริดจะพยายามประพฤติตนเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าหรือแหล่งความต้องการทางไฟฟ้าที่มีขนาดคงที่ (Virtual Power Plant) ณ ช่วงขณะเวลาที่มีข้อตกลงต่อกันได้

เนื่องจากไมโครกริดมีความหลากหลายในการผลิตไฟฟ้า และอาจประกอบไปด้วยผู้ใช้ที่มีความต้องการทางไฟฟ้าเพียงอย่างเดียวหรือผู้ใช้ที่มีทั้งความต้องการทางไฟฟ้าและความร้อนด้วย ดังนั้น ภายในไมโครกริดจึงต้องมีศูนย์ควบคุมและสั่งการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดต่างๆ เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการผลิตพลังงานซึ่งเป็นประโยชน์ต่อผู้ผลิตและผู้ใช้พลังงานมากที่สุด

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอวิธีการวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดที่มีระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน พลังงานความร้อนร่วม และระบบกักเก็บพลังงาน [3-7] โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดโดยพยายามประพุดิตนเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าหรือแหล่งความต้องการทางไฟฟ้าที่มีขนาดคงที่ ณ ช่วงระยะเวลาที่มีข้อตกลงต่อกันได้ มีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำที่สุด และยังสามารถรองรับความต้องการทางไฟฟ้าและความร้อนภายในไมโครกริดได้อย่างเพียงพอ โดยหลักการและวิธีการวางแผนเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะใช้กระบวนการแก้ปัญหาค่าขีดสุด (Optimization) ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมกับระบบทดสอบทำทราจ ซึ่งถูกดัดแปลงโดยให้มีการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลักเพื่อซื้อขายไฟฟ้า และมีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดต่างๆ เข้าไปในระบบ ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนร่วม (CHP) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานประเภทแบตเตอรี่ นอกจากนี้ ความต้องการพลังงานภายในไมโครกริดยังประกอบไปด้วย ความต้องการทางไฟฟ้า และความต้องการทางความร้อนอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาวิธีการวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดที่มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน พลังงานความร้อนร่วม และระบบกักเก็บพลังงาน มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดโดยพยายามประพุดิตนเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าหรือแหล่งความต้องการทางไฟฟ้าที่มีขนาดคงที่ ณ ช่วงระยะเวลาที่มีข้อตกลงต่อกันได้ มีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำที่สุด และยังสามารถรองรับความต้องการทางไฟฟ้าและความร้อนภายในไมโครกริดได้อย่างเพียงพอ

2) เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของข้อมูลความเข้มแสงและอุณหภูมิ และความเร็วลมจากข้อมูลทางสถิติเพื่อนำมาวิเคราะห์และวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริดที่มีการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนร่วม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานประเภทแบตเตอรี่

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

- 1) พิจารณาระบบไฟฟ้าเป็นระบบสามเฟสสมดุล
- 2) พิจารณาระบบไฟฟ้าที่สภาวะอยู่ตัว
- 3) พิจารณาความต้องการไฟฟ้าและความร้อนของโหลดเป็นแบบกำลังคงที่
- 4) ไม่พิจารณาผลของฮาร์มอนิกส์ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน
- 5) ใช้ข้อมูลความเข้มแสงและอุณหภูมิ และความเร็วมจากข้อมูลทางสถิติของประเทศไทย
- 6) ไม่พิจารณาอัตราการขัดข้องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
- 7) ระบบกักเก็บพลังงานเป็นแบบแบตเตอรี่ลิเทียม (Lithium Battery)
- 8) ไม่พิจารณาผลของอุณหภูมิที่มีต่อระบบกักเก็บพลังงาน
- 9) ใช้โปรแกรม MATLAB ในการออกแบบและทดสอบกับระบบทดสอบทำทราาย

1.4 ขั้นตอนการศึกษาวิธีการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาคุณลักษณะ และผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากไมโครกริด
- 2) ศึกษาวิธีการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และการจัดสรรกำลังการผลิตในระบบผลิตไฟฟ้า
- 3) ศึกษาแบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ และแบบจำลองระบบกักเก็บพลังงาน
- 4) รวบรวมข้อมูลทางสถิติของความเข้มแสง อุณหภูมิ และความเร็วม เป็นเวลา 1 ปี
- 5) นำข้อมูลทางสถิติมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์โดยใช้เครื่องมือทางคณิตศาสตร์โดยวิธีคอปูลา เพื่อนำมาคำนวณหาค่ากำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน
- 6) พัฒนาโปรแกรมเพื่อศึกษาการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าและความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริด ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนร่วม และระบบกักเก็บพลังงานประเภทแบตเตอรี่ ตามวิธีการที่ได้ออกแบบไว้โดยอาศัยโปรแกรม MATLAB
- 7) ทดสอบสมรรถนะของโปรแกรมการที่ออกแบบไว้กับระบบทดสอบทำทราาย
- 8) วิเคราะห์ผล และสรุปงานวิจัย
- 9) เรียบเรียงงานวิจัย จัดพิมพ์ผลงานเพื่อทำการเสนอให้กับคณะกรรมการ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

1) วิธีการวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริดที่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนและระบบกักเก็บพลังงาน มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดโดยพยายามประพุดิตนเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าหรือแหล่งความต้องการทางไฟฟ้าที่มีขนาดคงที่ ณ ช่วงขณะเวลาที่มีข้อตกลงต่อกันได้ มีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำที่สุด และยังสามารถรองรับความต้องการทางไฟฟ้าและความร้อนภายในไมโครกริดได้อย่างเพียงพอ

2) โปรแกรมที่ใช้ในการวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริดที่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนและระบบกักเก็บพลังงาน มีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดโดยพยายามประพุดิตนเป็นแหล่งกำเนิดไฟฟ้าหรือแหล่งความต้องการทางไฟฟ้าที่มีขนาดคงที่ ณ ช่วงขณะเวลาที่มีข้อตกลงต่อกันได้ มีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำที่สุด และยังสามารถรองรับความต้องการทางไฟฟ้าและความร้อนภายในไมโครกริดได้อย่างเพียงพอ

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ที่นำเสนอได้ถูกจัดเรียงลำดับตามความเหมาะสมดังต่อไปนี้

บทที่ 1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขต ขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริดที่มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนและระบบกักเก็บพลังงาน

บทที่ 3 แนวทางที่นำเสนอสำหรับการวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนร่วม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานประเภทแบตเตอรี่

บทที่ 4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดที่มีการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนร่วม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานประเภทแบตเตอรี่ โดยควบคุมกำลังไฟฟ้าไม่ให้รบกวนระบบไฟฟ้าหลัก

บทที่ 5 สรุปผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัย วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับ การวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริด

ในบทนี้ จะนำเสนอหลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดที่ประกอบไปด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เครื่องกำเนิดพลังงานความร้อนร่วม และระบบกักเก็บพลังงานประเภทแบตเตอรี่ ที่จะใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

2.1 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมาก

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดต่างๆของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมากในระบบไมโครกริดอันได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน (เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบความร้อนร่วม และระบบกักเก็บพลังงานประเภทแบตเตอรี่

2.1.1 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนที่จะใช้ในการวิเคราะห์การวางแผนระบบไฟฟ้ากำลังในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มี 2 ประเภท ได้แก่

- 1) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม
- 2) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

สำหรับการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแต่ละประเภท มีองค์ประกอบหลักด้วยกัน 2 ส่วน คือ แบบจำลองพลังงานหมุนเวียน และแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้า

1. ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม

ลม คือ การเคลื่อนที่ของอากาศจากพื้นที่หนึ่งไปยังพื้นที่หนึ่ง ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิทั้งสองพื้นที่ ความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดจากพื้นผิวโลกได้รับแสงอาทิตย์ไม่เท่ากัน โดยพื้นที่ที่มีความเข้มแสงอาทิตย์สูงจะมีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่ที่มีความเข้มแสงอาทิตย์ต่ำกว่า อากาศบริเวณเหนือพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าอากาศบริเวณเหนือพื้นที่ที่อุณหภูมิต่ำ

กว่า เนื่องจากอากาศที่มีความหนาแน่นน้อยจะลอยตัวสูงขึ้น ขณะเดียวกันอากาศที่มีความหนาแน่นสูงกว่าได้เคลื่อนที่เข้ามาแทนที่ ดังนั้นลมจึงเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง

พลังงานลมที่เกิดจากการไหลของกระแสลมสามารถนำมาใช้ในกิจกรรมต่างๆ หลายประเภท เช่น นำพลังงานลมมาใช้ในการหมุนกังหันลมเพื่อสูบน้ำมาใช้ในงาน นำพลังงานลมใช้ในขับเคลื่อนเรือใบ นำพลังงานลมมาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยกังหันลมผลิตไฟฟ้า เป็นต้น ในปัจจุบันการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันลมได้รับความนิยมมากขึ้น เนื่องจากพลังงานลมเป็นพลังงานที่สะอาด ไม่ก่อให้เกิดมลพิษในกระบวนการผลิตไฟฟ้า อีกทั้งยังเป็นพลังงานที่สามารถนำไปใช้ได้โดยไม่จำกัด

การจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมจึงแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ แบบจำลองความเร็วลมและแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม ดังนี้

(1) แบบจำลองความเร็วลม

ในวิทยานิพนธ์นี้ทำการสร้างแบบจำลองความเร็วลม ($v_{k,t}$) โดยแบ่งความเร็วลมออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมง ($v_{trend,k}$) และส่วนที่ 2 คือความไม่แน่นอนของความเร็วม ($v_{noise,t}$) ซึ่งส่วนนี้จะเป็นตัวแทนของการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในช่วงเวลาสั้นๆ ของรอบความเร็วลมในส่วนแรก ดังแสดงในสมการที่ (2.1)

$$v_{k,t} = v_{trend,k} + v_{noise,t} \quad (2.1)$$

จากสมการที่ (2.1) กำหนดให้ $v_{trend,k}$ มีค่าคงที่ในแต่ละชั่วโมงและค่า $v_{noise,t}$ เป็นค่าที่เกิดจากกระบวนการเชิงสุ่ม (Stochastic Process) จากนั้นจึงใช้ Ito's Lemma ซึ่งเป็นทฤษฎีที่สามารถใช้หาอนุพันธ์ของฟังก์ชันในกระบวนการเชิงสุ่มได้กับสมการที่ (2.1) เพื่อหาค่าความเร็วลมของช่วงเวลาที่สนใจ

Ito's Lemma เป็นกฎที่ใช้สำหรับแคลคูลัสของกระบวนการเชิงสุ่ม (Stochastic Process) โดยจะใช้เพื่อหาอนุพันธ์ของฟังก์ชันที่เราสนใจได้ โดยกำหนดให้กระบวนการเชิงสุ่ม (x_t) มีค่าขึ้นกับเวลาและความไม่แน่นอนที่อธิบายได้ด้วยกระบวนการวีเนอร์ (Weiner Process) ดังสมการอนุพันธ์เชิงสุ่ม (Stochastic Differential Equation - SDE) ต่อไปนี้

$$dx = a(x, t)dt + b(x, t)dW_t \quad (2.2)$$

เมื่อให้ $f(x, t)$ เป็นสมการอนุพันธ์อันดับสองที่มีค่าต่อเนื่องของ x และ t จะได้ว่า

$$df(x, t) \approx \frac{\partial f}{\partial x} dx + \frac{\partial f}{\partial t} dt + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} dx^2 + \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial t} dx dt + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial t^2} dt^2 \quad (2.3)$$

แทนค่าสมการที่ (2.2) ลงไปในสมการที่ (2.3) จะทำให้สามารถแสดงอนุพันธ์ของฟังก์ชันที่ขึ้นกับตัวแปร x และ t หรือ $f(x, t)$ ได้ดังนี้

$$df(x, t) \approx \left(\frac{\partial f}{\partial x} a(x, t) + \frac{\partial f}{\partial t} + \frac{1}{2} b^2(x, t) \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right) dt + b(x, t) \frac{\partial f}{\partial x} dW_t \quad (2.4)$$

โดยที่ $f(x, t)$ คือ ฟังก์ชันที่มีค่าขึ้นกับตัวแปร x และ t
 W_t คือ กระบวนการสุ่มแบบวีเนอร์ (Wiener Process) ซึ่งอธิบายด้วยการกระจายแบบปกติที่มีความแปรปรวนเปลี่ยนแปลงตามเวลา
 $W_t \sim N(0, t)$ นั่นคือ $W_t = Z\sqrt{t}$

จากสมการที่ (2.2) - (2.4) สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับสมการที่ (2.1) เพื่อสร้างแบบจำลองความเร็วลม โดยสามารถหาอนุพันธ์ของฟังก์ชัน ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$dv_{k,t} = dv_{trend,k} + dv_{noise,t} \quad (2.5)$$

ทั้งนี้เนื่องจาก $v_{trend,k}$ เป็นค่าคงที่เพราะฉะนั้นพจน์ $dv_{trend,k}$ จึงมีค่าเป็น 0 ส่วน $dv_{noise,t}$ จะมีค่าตามกระบวนการสุ่มที่มีการกระจายแบบปกติโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และความแปรปรวนเปลี่ยนแปลงตามความเร็วลมและเวลา นั่นคือ $dv_{noise,t} \sim N(0, \sigma_k^2 v_{k,t}^2 dt)$ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$dv_{noise,t} = 0 + (\sigma_k v_{k,t} \sqrt{dt}) Z \quad (2.6)$$

$$dv_{noise,t} = \sigma_k v_{k,t} dW_t \quad (2.7)$$

จากสมการที่ (2.5) - (2.7) จะได้ว่า

$$dv_{k,t} = (0)dt + \sigma_k v_{k,t} dW_t \quad (2.8)$$

โดยที่ dW_t คือ กระบวนการสุ่มแบบวีเนอร์ (Wiener Process) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\sqrt{dt} Z$
 Z คือ กระบวนการสุ่มที่มีการกระจายแบบปกติโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และความแปรปรวนเท่ากับหนึ่ง นั่นคือ $Z \sim N(0,1)$

จาก Ito's Lemma ในสมการที่ (2.4) เมื่อ $a(x, t) = 0$ และ $b(x, t) = \sigma v_{k,t}$ จะสามารถหาอนุพันธ์ของสมการที่ (2.8) ได้ดังนี้

$$df(v_{k,t}, t) = \frac{\partial f}{\partial t} dt + \frac{1}{2}(\sigma_k v_{k,t})^2 \frac{\partial^2 f}{\partial v_{k,t}^2} dt + \sigma_k v_{k,t} \frac{\partial f}{\partial v_{k,t}} dW_t \quad (2.9)$$

และเมื่อกำหนดให้ $f(v_{k,t}, t) = \ln(v_{k,t})$ จะได้ว่า

$$d \ln(v_{k,t}) = \frac{1}{2}(\sigma_k v_{k,t})^2 \left(\frac{-1}{v_{k,t}^2}\right) dt + (\sigma_k v_{k,t}) \left(\frac{1}{v_{k,t}}\right) dW_t \quad (2.10)$$

$$\int_{v_{k,0}}^{v_{k,t}} d \ln(v_{k,t}) = \int_0^t \left(-\frac{1}{2}\sigma_k^2 dt + \sigma_k dW_t\right) \quad (2.11)$$

$$\frac{v_{k,t}}{v_{k,0}} = \exp\left(-\frac{1}{2}\sigma_k^2 t + \sigma_k Z\sqrt{t}\right) \quad (2.12)$$

$$v_{k,t} = v_{k,0} \exp\left(-\frac{1}{2}\sigma_k^2 t + \sigma_k Z\sqrt{t}\right) \quad (2.13)$$

และกำหนดให้ $v_{k,0} = v_{trend,k}$ ของแต่ละชั่วโมง จะได้ว่า

$$v_{k,t} = v_{trend,k} \exp\left(-\frac{1}{2}\sigma_k^2 t + \sigma_k Z\sqrt{t}\right) \quad (2.14)$$

โดยที่	$v_{k,t}$	คือ	ความเร็วลม ณ จุดเวลาที่ t นับจากต้นชั่วโมงที่ k
	$v_{trend,k}$	คือ	ความเร็วลมเฉลี่ยของชั่วโมงที่ k
	σ_k	คือ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลม ณ ชั่วโมงที่ k ซึ่งมาจากการประมาณด้วยวิธีความผิดพลาดกำลังสองน้อยสุด (Least Square Error)
	t	คือ	จุดเวลาที่พิจารณา เนื่องจากในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาการสุ่มค่าความเร็วลมทุก 15 นาที ดังนั้น t จะมีค่าเท่ากับ 1/4, 2/4, 3/4 และ 4/4 ตามลำดับ

(2) แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมมีหลักการการทำงาน คือ เปลี่ยนพลังงานจลน์ของลมที่พัดผ่านใบพัดเป็นพลังงานกล โดยใบพัดจะเชื่อมต่อกับชุดแกนหมุนและเพลาแกนหมุนซึ่งจะเป็นตัวรับแรงจากแกนหมุนใบพัดเพื่อป้อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจึงขึ้นกับความเร็วลมเป็นสำคัญ [8, 9]

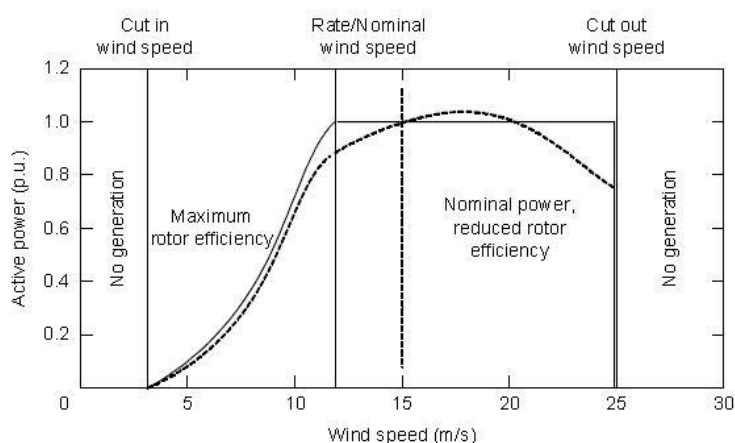
ระดับความเร็วลมที่พัดผ่านกังหันเพื่อใช้ในการผลิตไฟฟ้าถูกแบ่งได้เป็น 4 ระดับ มีดังนี้

ระดับที่ 1 ความเร็วลมเข้าระบบ (Cut - in Wind Speed) คือ ความเร็วลมที่กังหันลมสามารถเริ่มต้นทำงานและผลิตไฟฟ้าได้ โดยปกติแล้วจะมีค่าประมาณ 2.5 - 4 เมตรต่อวินาที ซึ่งถ้าความเร็วลมมีค่าน้อยกว่าค่านี้นี้ระบบจะไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้

ระดับที่ 2 ความเร็วลมที่ทำให้กังหันลมทำงานได้ประสิทธิภาพสูงสุด (Maximum Rotor Efficiency) คือ ความเร็วลมที่อยู่ในช่วงที่มากกว่าความเร็วเข้าระบบแต่น้อยกว่าความเร็วลมเต็มพิกัด โดยกำลังผลิตที่ได้จากความเร็วลมระดับนี้จะขึ้นกับมุมพิชและอัตราส่วนความเร็วยอด

ระดับที่ 3 ความเร็วลมเต็มพิกัด (Nominal or Rated Wind Speed) คือ ความเร็วลมที่กังหันลมสามารถผลิตไฟฟ้าได้เต็มพิกัดอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจะมีความเร็วประมาณ 8-15 เมตรต่อวินาที และเป็นระดับความเร็วลมที่กังหันลมทำงานอยู่บนพิกัดกำลังสูงสุดของตัวเอง

ระดับที่ 4 ความเร็วลมตัดออก (Cut-out Wind Speed) คือ ความเร็วลมสูงสุดที่อาจก่อให้เกิดความเสียหายกับกังหันลมได้ ระบบจึงต้องหยุดการทำงานที่ความเร็วลมระดับนี้ โดยทั่วไปจะมีค่าตั้งแต่ 25 เมตรต่อวินาที ขึ้นไป



ภาพที่ 2.1 ระดับความเร็วลมกับกำลังผลิตจากกังหันลม[9]

ที่มา: อัญชลี ประภัสสรพิทยา, “การหาขนาดที่เหมาะสมของแบตเตอรี่ในระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมเพื่อช่วยลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้า”

เนื่องจากในการคำนวณกำลังการผลิตของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนนั้นเป็นการพิจารณาการผลิตไฟฟ้าในสภาวะอยู่ตัว จึงใช้สมการในการคำนวณกำลังผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม [6] ดังสมการที่ (2.15)

$$P_w = \begin{cases} 0 & v < v_{ci}, v_{co} < v \\ \left(\frac{v^3 - v_{ci}^3}{v_r^3 - v_{ci}^3} \right) P_r & v_{ci} < v < v_r \\ P_r & v_r < v < v_{co} \end{cases} \quad (2.15)$$

โดยที่	P_w	คือ	กำลังไฟฟ้า (MW)
	P_r	คือ	กำลังไฟฟ้าพิกัด (MW)
	v_{ci}	คือ	ความเร็วลมเข้าระบบ (m/s)
	v_r	คือ	ความเร็วลมเต็มพิกัด (m/s)
	v_{co}	คือ	ความเร็วลมตัดออก (m/s)

และสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบได้ดังสมการ

$$P_{e,w} = P_w \times \eta_w \quad (2.16)$$

โดยที่	η_w	คือ	ประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์ที่เชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลมเข้าสู่ระบบไฟฟ้าหลัก
--------	----------	-----	--

2. ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ [10, 11] จะใช้พลังงานแสงอาทิตย์ในการผลิตไฟฟ้า ดังนั้น ในการจำลองระบบผลิตไฟฟ้าประเภทนี้ จะต้องพิจารณาทั้งความไม่แน่นอนของความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กัน และแบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์

(1) แบบจำลองความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

ความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมนั้นจะมีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาและสภาพภูมิอากาศ ซึ่งโดยปกติแล้วปัจจัยทั้งสองจะมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ในวันที่มีความเข้มแสงอาทิตย์มาก อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมก็มักจะสูงด้วย เป็นต้น ดังนั้น ในการสร้างแบบจำลองของความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมจึงไม่เหมาะสมนักที่จะสร้างโดยกำหนดให้ปัจจัยทั้งสองเป็นอิสระต่อกัน การจำลองสภาวะของทั้งสองปัจจัยดังกล่าวควรสร้างให้มีลักษณะที่มีความสัมพันธ์กันหรือขึ้นต่อกันด้วย แบบจำลองความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

i. แบบจำลองความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

แบบจำลองความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่แปรตามเวลาจะมีลักษณะคล้ายกันกับแบบจำลองความเร็วลม โดยจะประกอบไปด้วยส่วนที่เป็นค่าคงที่เฉลี่ยรายชั่วโมง $(G_{trend,k}, T_{trend,k})$ และส่วนของความไม่แน่นอนของปัจจัยดังกล่าว $(G_{noise,t}, T_{noise,t})$ ซึ่งอธิบายได้ด้วยกระบวนการสุ่มที่มีการกระจายแบบปกติโดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับศูนย์และมีความแปรปรวนเปลี่ยนแปลงตามค่าเฉลี่ยของปัจจัยและเวลา โดยสามารถแสดงเป็นสมการได้ดังต่อไปนี้

$$G_{k,t} = G_{trend,k} + G_{noise,t} \quad (2.17)$$

$$T_{k,t} = T_{trend,k} + T_{noise,t} \quad (2.18)$$

จากนั้น เมื่อทำการหาอนุพันธ์ของสมการข้างต้นและประยุกต์ใช้ Ito's Lemma เช่นเดียวกันกับแบบจำลองความเร็วลม จะได้ว่า

$$dG_{noise,t} = 0 + (\sigma_{G,k} G_{k,t} \sqrt{dt}) Z_G \quad (2.19)$$

$$dT_{noise,t} = 0 + (\sigma_{T,k} T_{k,t} \sqrt{dt}) Z_T \quad (2.20)$$

ดังนั้น แบบจำลองความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่เวลาใดๆ สามารถแสดงได้ ดังสมการที่ (2.21) และ (2.22)

$$G_{k,t} = G_{trend,k} \exp\left(-\frac{1}{2}\sigma_{G,k}^2 t + \sigma_{G,k} Z_G \sqrt{t}\right) \quad (2.21)$$

$$T_{k,t} = T_{trend,k} \exp\left(-\frac{1}{2}\sigma_{T,k}^2 t + \sigma_{T,k} Z_T \sqrt{t}\right) \quad (2.22)$$

โดยที่	$G_{k,t}$	คือ	ความเข้มแสงอาทิตย์ ณ จุดเวลาที่ t นับจากต้นชั่วโมงที่ k
	$T_{k,t}$	คือ	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ณ จุดเวลาที่ t นับจากต้นชั่วโมงที่ k
	$G_{trend,k}$	คือ	ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยของชั่วโมงที่ k
	$T_{trend,k}$	คือ	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยของชั่วโมงที่ k
	$\sigma_{G,k}$	คือ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มแสงอาทิตย์ของชั่วโมงที่ k ซึ่งมาจากการประมาณด้วยวิธีความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator; MLE)
	$\sigma_{T,k}$	คือ	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมของชั่วโมงที่ k ซึ่งมาจากการประมาณด้วยวิธีความน่าจะเป็นสูงสุด (Maximum Likelihood Estimator; MLE)
	Z_G	คือ	ตัวแปรสุ่มของความเข้มแสงอาทิตย์ที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมซึ่งจะอธิบายในส่วนตัวไป
	Z_T	คือ	ตัวแปรสุ่มของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่มีความสัมพันธ์กับความเข้มแสงอาทิตย์ซึ่งจะอธิบายในส่วนตัวไป
	t	คือ	จุดเวลาที่พิจารณา เนื่องจากในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาการสุ่มค่าความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิทุก 15 นาที ดังนั้น t จะมีค่าเท่ากับ 1/4, 2/4, 3/4 และ 4/4 ตามลำดับ

ii. แบบจำลองความสัมพันธ์ของความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

ในการสร้างแบบจำลองความสัมพันธ์ของตัวแปรสุ่ม 2 ตัวนั้น จำเป็นต้องรู้ถึงโครงสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองตัวซึ่งโดยทั่วไปสิ่งที่ใช้วัดความสัมพันธ์ดังกล่าวคือ สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation coefficient; ρ) โดยถ้า ρ มีค่าใกล้ 0 แสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์เชิงเส้นน้อย แต่ถ้ามีค่าใกล้ ± 1 แสดงว่ามีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันหรือตรงกันข้ามเป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตาม สัมประสิทธิ์ดังกล่าวก็บอกได้เพียงระดับและทิศทางของความสัมพันธ์เฉพาะแบบเชิงเส้นเท่านั้น [12]

คอปูลา (Copulas) เป็นทฤษฎีใช้อธิบายความสัมพันธ์ของตัวแปรสุ่ม โดยในทางคณิตศาสตร์ คอปูลาเป็นฟังก์ชันการแจกแจงร่วมของตัวแปรสุ่มโดยที่แต่ละตัวแปรสุ่มมีการแจกแจงตามขอบ (Marginal Distribution) แบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution) บนช่วง $[0, 1]$ ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการประยุกต์ใช้ทฤษฎีดังกล่าวในการสร้างแบบจำลองสำหรับการสุ่มความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่มีความสัมพันธ์เกี่ยวเนื่องกันซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ใช้การประเมินกำลังผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

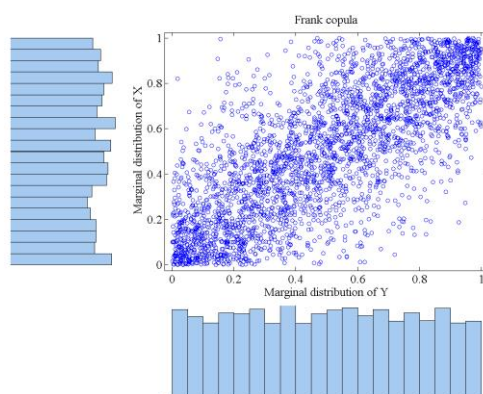
ทฤษฎีบทของสกลาร์ (Sklar's Theorem) เป็นทฤษฎีบทสำคัญในหลักการคอปูลา โดยที่ทฤษฎีบทนี้กล่าวว่า H จะเป็นฟังก์ชันการแจกแจงร่วมของตัวแปรสุ่มก็ต่อเมื่อมีคอปูลา (C) ที่ทำให้

$$H(x, y) = C(F(x), G(y)) \quad (2.23)$$

โดยที่ $x, y \in R$ และ $F(x), G(y)$ เป็นการแจกแจงตามขอบของ x และ y ตามลำดับ [12-16]

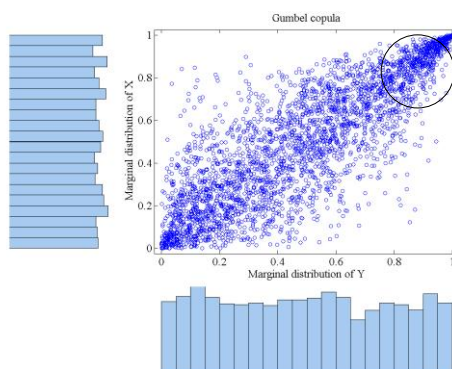
คอปูลาที่ใช้อธิบายลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรสุ่มมีหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น Gumbel Copula, Clayton Copula และ Frank Copula ดังแสดงในภาพที่ 2.2 - 2.4 เป็นต้น ซึ่งแต่ละรูปแบบของคอปูลานั้นมีรายละเอียดและลักษณะความสัมพันธ์ของตัวแปรสุ่มที่แตกต่างกันออกไป ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ใช้รูปแบบของคอปูลาเพื่ออธิบายรายละเอียดของความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม โดยสามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ ดังนี้

1) **Frank Copula** แสดงลักษณะความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีรูปแบบเพิ่มขึ้นหรือลดลงไปในทิศทางเดียวกันแบบไม่เกาะกลุ่มกันมากนัก สังเกตได้จากภาพที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าการแจกแจงร่วมของตัวแปรสุ่มมีการกระจายในแนวเส้นตรงเท่ากันทั้งบริเวณหัวและหาง



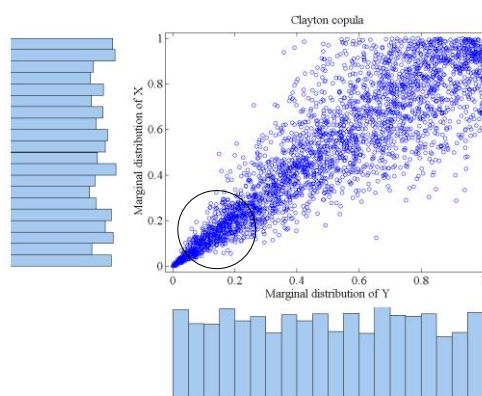
ภาพที่ 2.2 ฟังก์ชันการกระจายสะสมและการแจกแจงตามขอบระหว่างตัวแปรสุ่ม X และ Y ที่มีรูปแบบ Frank Copula

2) **Gumbel Copula** แสดงลักษณะความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันเช่นเดียวกับ Frank Copula แต่การกระจายตัวของข้อมูลจะมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันมากที่บริเวณปลายด้านที่มีค่าสูง (Upper Tail Dependence) กล่าวคือ ในช่วงเวลาที่ตัวแปร X มีค่าสูง ตัวแปร Y ก็จะมีค่าสูงตามไปด้วย แต่ในช่วงเวลาที่ตัวแปร X มีค่าต่ำนั้น ตัวแปร Y จะมีค่าเป็นอย่างไรก็ได้ ซึ่งสังเกตได้จากการกระจายตัวของข้อมูลดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ฟังก์ชันการกระจายสะสมและการแจกแจงตามขอบระหว่างตัวแปรสุ่ม X และ Y ที่มีรูปแบบ Gumbel Copula

3) **Clayton Copula** แสดงลักษณะความสัมพันธ์ของข้อมูลที่มีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันเช่นเดียวกับ Frank Copula และ Gumbel Copula แต่การกระจายตัวของข้อมูลจะมีความสัมพันธ์ไปในทิศทางเดียวกันมากที่บริเวณปลายด้านที่มีค่าต่ำ (Lower Tail Dependence) กล่าวคือ ในช่วงเวลาที่ตัวแปร X มีค่าต่ำ ตัวแปร Y ก็จะมีค่าต่ำตามไปด้วย แต่ในช่วงเวลาที่ตัวแปร X มีค่าต่ำนั้น ตัวแปร Y จะมีค่าเป็นอย่างไรก็ได้ ซึ่งสังเกตได้จากการกระจายตัวของข้อมูลดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 ฟังก์ชันการกระจายสะสมและการแจกแจงตามขอบระหว่างตัวแปรสุ่ม X และ Y ที่มีรูปแบบ Clayton Copula

กระบวนการในการหาค่าตัวแปรสุ่มที่มีความสัมพันธ์กัน อันได้แก่ ตัวแปรสุ่มที่สัมพันธ์กับการหาความเข้มแสงอาทิตย์ (Z_G) และตัวแปรสุ่มที่มีความสัมพันธ์กับการหาอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (Z_T) ซึ่งทั้งสองตัวแปรต่างก็มีการกระจายตัวแบบปกติมาตรฐาน อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสุ่มทั้งสองตัวนี้โดยอาศัยทฤษฎีคอปูลา ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

กำหนดให้ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่เวลาใดๆ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการ (2.24) และ (2.25)

$$G_{k,t} = G_{trend,k} + G_{noise,t} \quad (2.24)$$

$$T_{k,t} = T_{trend,k} + T_{noise,t} \quad (2.25)$$

โดยที่ $G_{trend,k}$ คือ ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงอาทิตย์ของชั่วโมงที่ k
 $T_{trend,k}$ คือ ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมของชั่วโมงที่ k

เมื่อเทียบเคียงสมการที่ (2.19) - (2.20) กับ (2.24) - (2.25) จะได้ว่า

$$G_k - G_{trend,k} \approx \sigma_{G,k} G_{trend,k} \sqrt{t} \times Z_G \quad (2.26)$$

$$T_k - T_{trend,k} \approx \sigma_{T,k} T_{trend,k} \sqrt{t} \times Z_T \quad (2.27)$$

เมื่อให้ t มีค่าเท่ากับระยะเวลา 1 ชั่วโมงแล้ว ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ $\sigma_{G,k}$ และ $\sigma_{T,k}$ จะสามารถหาได้จากการประมาณค่าความน่าจะเป็นสูงสุด (MLE) ของข้อมูลตามสมการที่ (2.28) และ (2.29) ซึ่งมีการแจกแจงแบบปกติที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0 และมีความแปรปรวนเท่ากับ $\sigma_{G,k}^2$ และ $\sigma_{T,k}^2$ ดังนี้

$$(G_k - G_{trend,k})/G_{trend,k} \sim N(0, \sigma_{G,k}^2) \quad (2.28)$$

$$(T_t - T_{trend,t})/T_{trend,k} \sim N(0, \sigma_{T,k}^2) \quad (2.29)$$

จากนั้น ทำการหาค่าการแจกแจงสะสมร่วมของข้อมูลจากสมการที่ (2.28) และ (2.29) เพื่อหารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม โดยรูปแบบคอปูลาที่เหมาะสมกับการแจกแจงของข้อมูลดังกล่าวนี้สามารถหาได้ ดังนี้

$$H(Z_G, Z_T) = C(\Phi(Z_G), \Phi(Z_T)) \quad (2.30)$$

โดยที่ $\Phi(Z_G) = u$ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบปกติมาตรฐาน (Standard Normal Distribution) ของ $Z_G = (G_k - G_{trend,k})/\sigma_{G,k} G_{trend,k}$

$\Phi(Z_T) = v$ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบปกติมาตรฐาน (Standard Normal Distribution) ของ $Z_T = (T_k - T_{trend,k})/\sigma_{T,k} T_{trend,k}$

$H(Z_G, Z_T)$ คือ ฟังก์ชันการแจกแจงร่วมระหว่าง Z_G, Z_T

$C(u, v)$ คือ ฟังก์ชันคอปูลาของตัวแปร u และ v

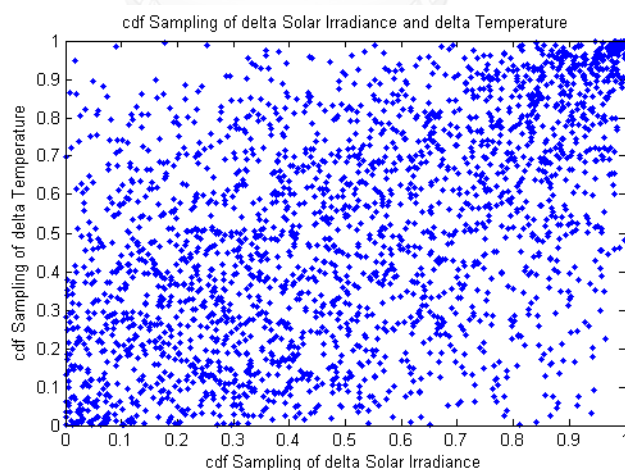
เมื่อได้คู่อันดับความสัมพันธ์ (u, v) จากการแทนค่า (Z_G, Z_T) ลงไปในฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแบบปกติมาตรฐานแล้ว จะทำการเลือกรูปแบบคอปูลา $C(u, v)$ ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสุ่มที่เหมาะสมโดยใช้วิธีประมาณค่าความน่าจะเป็นสูงสุด (MLE) ซึ่งสามารถทำได้โดยอาศัยกล่องเครื่องมือรูปแบบ คอปูลาใน MATLAB ชื่อ “copulafit”

เมื่อได้รูปแบบคอปูลาที่เหมาะสมจากรูปแบบคอปูลามาตรฐานแล้ว ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะทำการสุ่มตัวแปร (Z_G, Z_T) ที่มีความสัมพันธ์กันตามรูปแบบคอปูลาที่เลือกไว้กลับมาโดยอาศัยกล่องเครื่องมือรูปแบบคอปูลาใน MATLAB ชื่อ “copularnd” ซึ่งจะให้ค่าตัวแปร (u, v) ออกมาก่อน ส่วนค่าตัวแปรสุ่ม Z_G และ Z_T นั้นสามารถหาได้โดยทำการแปลงผ่านฟังก์ชันผกผันของการแจกแจงสะสมแบบปกติมาตรฐาน (Inverse Standard Normal cdf) ดังสมการต่อไปนี้

$$Z_G = \Phi^{-1}(u) \quad (2.31)$$

$$Z_T = \Phi^{-1}(v) \quad (2.32)$$

ตัวอย่างการแจกแจงสะสมร่วมของข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมรายชั่วโมงที่จังหวัดเชียงใหม่ เพื่อใช้ในการหารูปแบบคอปูลาที่เหมาะสม แสดงได้ดังภาพที่ 2.5

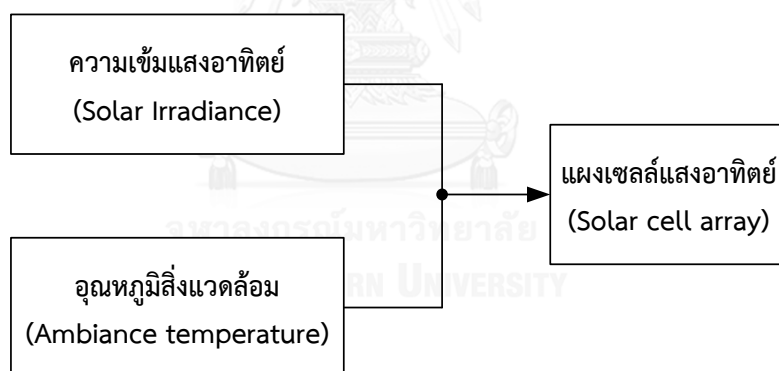


ภาพที่ 2.5 ตัวอย่างการแจกแจงสะสมร่วมของความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

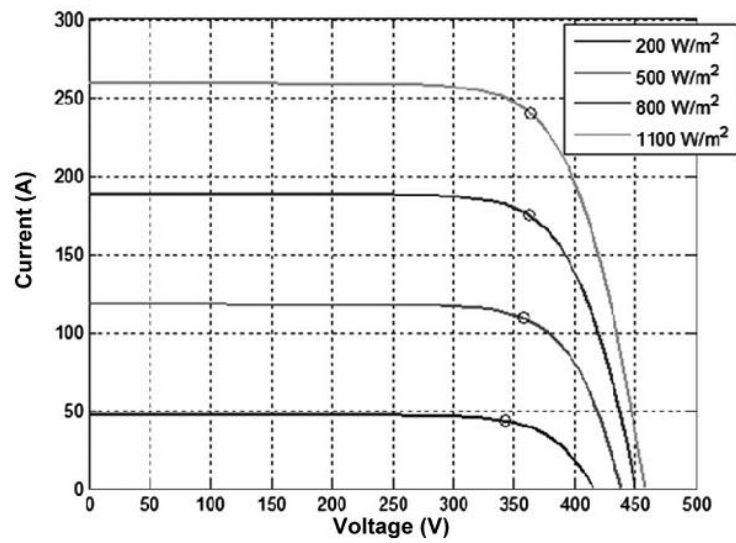
iii. แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์มีหลักการทำงานโดยทั่วไป คือ เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ จะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานดังกล่าวให้กลายเป็นพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ส่งผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีนี้ก็คือ ความเข้มแสงอาทิตย์ที่แผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับ กล่าวคือ ความเข้มแสงอาทิตย์จะส่งผลเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ในขณะที่แรงดันที่ได้จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ส่วนปัจจัยสำคัญรองลงมา คือ อุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม โดยเมื่ออุณหภูมิของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นจะทำให้แรงดันที่ได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ลดลงแต่กระแสไฟฟ้าที่ได้จะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก [17] แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สามารถแสดงได้ดัง

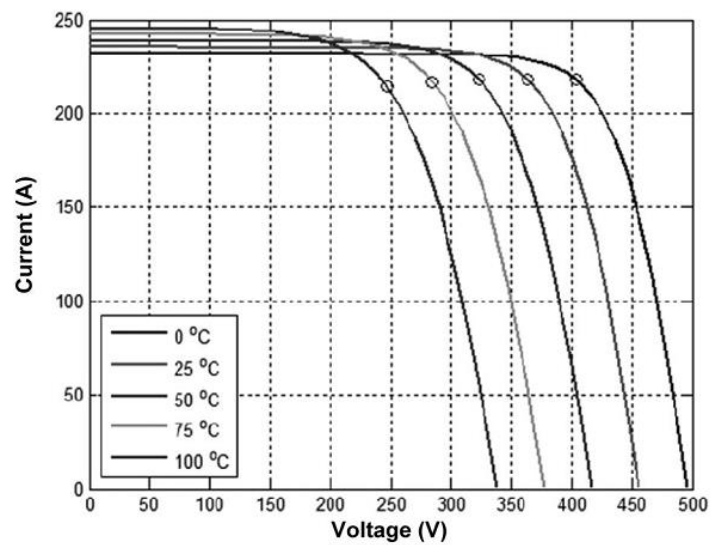
ภาพที่ 2.6 และความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตามการเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสงและอุณหภูมิ แสดงได้ดังภาพที่ 2.7 และภาพที่ 2.8 ตามลำดับ



ภาพที่ 2.6 แบบจำลองระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 2.7 ตัวอย่างความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2 กับ การเปลี่ยนแปลงของความเข้มแสง [18]
ที่มา: Abir Chatterjee, “Identification of Photovoltaic Source Models”



ภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันของอาร์เรย์เซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 1000 W/m^2 กับ การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ [18]
ที่มา: Abir Chatterjee, “Identification of Photovoltaic Source Models”

จากปัจจัยที่ส่งผลกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่กล่าวมาข้างต้น สมการในการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าแสงอาทิตย์ [5] และ [10] สามารถแสดงได้ดังนี้

$$P_{pv,t} = P_m \frac{G_t}{G_{STC}} (1 - \gamma(T_{cell,t} - T_{STC})) \quad (2.33)$$

โดยที่	P_m	คือ	กำลังไฟฟ้าพิกัด (W)
	G_t	คือ	ความเข้มแสงอาทิตย์ที่จุดเวลา t ใดๆ (W/m^2)
	G_{STC}	คือ	ความเข้มแสงที่สภาวะมาตรฐาน (Standard Test Condition; STC) มีค่าเท่ากับ $1000 W/m^2$
	γ	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิ (C^{-1}) มีค่าอยู่ในช่วง -0.005 ถึง -0.003
	T_{cell}	คือ	อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ (C)
	T_{STC}	คือ	อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ที่ STC มีค่าเท่ากับ $25 C$

ในส่วนของสมการที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมกับอุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์[11] สามารถแสดงได้ดังนี้

$$T_{cell} = T_{amb} + \left(\frac{NOCT - 20^\circ}{1000} \right) G_t \quad (2.34)$$

โดยที่	T_{amb}	คือ	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม (องศาเซลเซียส)
	$NOCT$	คือ	อุณหภูมิเซลล์แสงอาทิตย์ ณ จุดทำงาน ที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม 20 องศาเซลเซียส ความเข้มแสงเป็น $800 W/m^2$ และมีความเร็วลม $1 m/s$ (Nominal Operating Cell Temperature) ซึ่งมีค่าเป็น 46 องศาเซลเซียส

เนื่องจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้าในรูปแบบไฟฟ้ากระแสตรง ดังนั้นก่อนทำการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลักต้องมีการเชื่อมต่อกับคอนเวอร์เตอร์เพื่อแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับก่อน ซึ่งจะส่งผลให้มีกำลังสูญเสียในคอนเวอร์เตอร์บางส่วนด้วย ดังนั้นกำลังไฟฟ้าสุทธิจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์จึงมีค่าเท่ากับ

$$P_{e,pv} = P_{pv} \times \eta_s \quad (2.35)$$

โดยที่	η_s	คือ	ประสิทธิภาพของคอนเวอร์เตอร์ที่เชื่อมต่อกับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เข้าสู่ระบบไฟฟ้าหลัก
--------	----------	-----	--

2.1.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนร่วม (Combined Heat and Power, CHP)

1. นิยามของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม

ในกระบวนการผลิตพลังงานไฟฟ้า จะเริ่มจากการนำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลไปใช้ในการต้มน้ำ ซึ่งไอน้ำแรงดันสูงที่ได้จากการต้มน้ำนี้ได้ถูกนำไปใช้ในการขับเคลื่อนกังหันไอน้ำเพื่อเปลี่ยนพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้า หลังจากไอน้ำผ่านการขับเคลื่อนกังหันไอน้ำแล้ว ไอน้ำยังคงมีพลังงานความร้อนเหลืออยู่ โดยความร้อนส่วนนี้จะถูกปล่อยทิ้งไปถ้าหากใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไอน้ำแบบดั้งเดิม แต่หากใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนร่วม (Combined Heat and Power; CHP) [19-21] ความร้อนที่เหลือจากการผลิตพลังงานไฟฟ้านี้จะถูกนำไปใช้ประโยชน์ โดยอาจนำไปใช้ในกระบวนการที่ต้องการความร้อนในการผลิต เช่น การใช้ความร้อนในการแปรรูปผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม การนำความร้อนไปใช้ทำความสะอาดในโรงพยาบาล การนำความร้อนไปใช้ในการให้ความอบอุ่นในฤดูหนาว และการนำความร้อนไปใช้ในกระบวนการผลิตความเย็น เป็นต้น

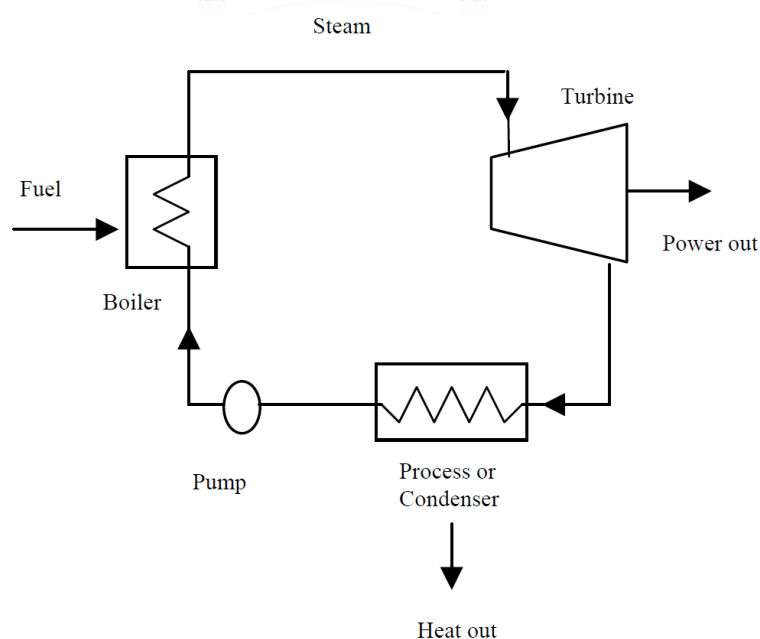
ระบบการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมมีข้อดีที่สำคัญ คือ กระบวนการผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมสามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงานในการผลิตไฟฟ้าและช่วยลดการใช้เชื้อเพลิงได้ กล่าวคือ การผลิตไฟฟ้าแบบดั้งเดิมมีการใช้พลังงานความร้อนในการผลิตไฟฟ้าเพียงส่วนหนึ่งในขณะที่ความร้อนที่เหลือจากการผลิตไฟฟ้าจะถูกปล่อยทิ้งไป แต่การผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมนี้จะนำความร้อนที่เหลือกลับมาใช้ประโยชน์ ซึ่งส่งผลให้สัดส่วนการนำพลังงานมาใช้ให้เกิดประโยชน์เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น ประสิทธิภาพของการใช้พลังงานปฐมภูมิของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมจึงสูงกว่าการผลิตไฟฟ้าแบบดั้งเดิม หรือในอีกทางหนึ่ง ระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมมีประโยชน์ต่อภาคอุตสาหกรรม กล่าวคือ โรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีการใช้ความต้องการทางไฟฟ้าและความต้องการทางความร้อนปริมาณมาก หากแหล่งผลิตพลังงานไฟฟ้าและแหล่งความต้องการความร้อนอยู่ห่างไกลกัน โรงงานอุตสาหกรรมจะรับซื้อพลังงานไฟฟ้าจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคหรือการไฟฟ้านครหลวง และผลิตความร้อนใช้ภายในโรงงานด้วยตนเองจากหม้อไอน้ำ (Boiler) ดังนั้น ความร้อนที่เหลือจากการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่จึงถูกกำจัดทิ้งไปโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์ อย่างไรก็ตาม ระบบผลิตไฟฟ้าขนาดใหญ่ถูกลดขนาดเป็นระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กและติดตั้งใกล้กับโรงงานที่มีความต้องการทางไฟฟ้าและความต้องการความร้อนด้วยขนาดที่เหมาะสมกับระบบผลิตไฟฟ้าแล้ว โรงงานไม่จำเป็นต้องมีหม้อไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำใช้ด้วยตนเอง โดยสามารถนำพลังงานความร้อนที่เหลือจากการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้ามาใช้ในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นการลดต้นทุนการใช้พลังงานอีกทางหนึ่งอีกด้วย

2. เทคโนโลยีของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงประเภทของเครื่องต้นกำลังของระบบผลิตไฟฟ้าความร้อนร่วม ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 5 ประเภท ได้แก่ กังหันไอน้ำ กังหันก๊าซ กังหันก๊าซขนาดเล็ก เครื่องยนต์สันดาปภายใน และเซลล์เชื้อเพลิง ดังนี้

(1) กังหันไอน้ำ (Steam Turbine)

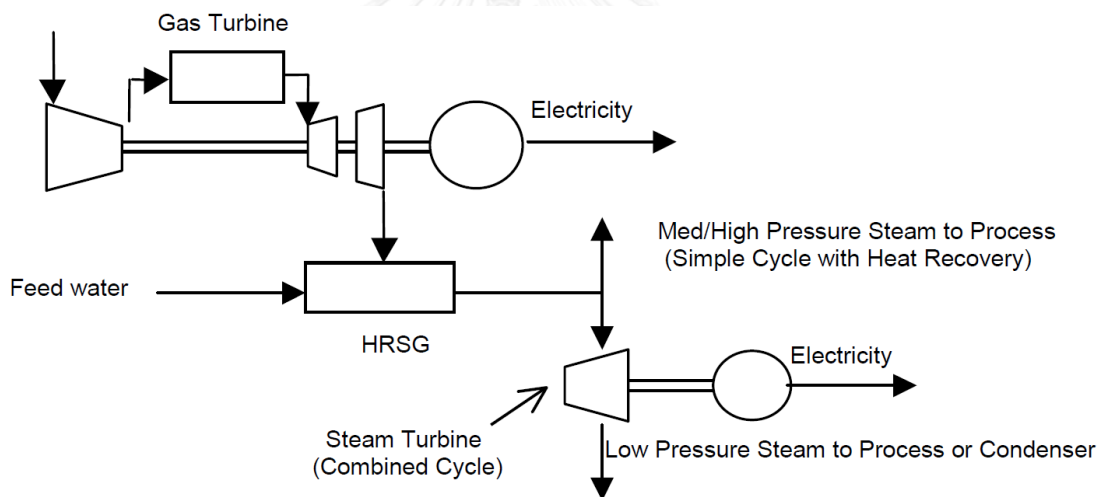
กระบวนการผลิตไฟฟ้าด้วยกังหันไอน้ำ จะเริ่มจากการปรับปรุงคุณภาพของน้ำดิบให้มีความบริสุทธิ์ จากนั้นส่งน้ำที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพไปยังหม้อผลิตไอน้ำเพื่อให้ได้ไอน้ำที่มีความร้อนและความดันที่ต้องการ ซึ่งความร้อนที่นำมาต้มน้ำนี้ผลิตได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นของแข็ง ของเหลว หรือก๊าซ เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน ก๊าซขยะ น้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น ไอน้ำที่มีความดันสูงนี้จะถูกส่งไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อไป ไอน้ำที่ผ่านการขับเคลื่อนจากกังหันไอน้ำแล้วจะเปลี่ยนสภาพเป็นไอน้ำความดันต่ำ ซึ่งอาจนำไปผ่านเครื่องควบแน่น เพื่อนำน้ำกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป หรือนำไอน้ำนี้ไปใช้ในกระบวนการผลิตที่มีการใช้น้ำในปริมาณมาก เช่น โรงงานผลิตน้ำตาล โรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม เป็นต้น



ภาพที่ 2.9 การทำงานของกังหันไอน้ำ [22]

(2) กังหันก๊าซ (Gas turbine)

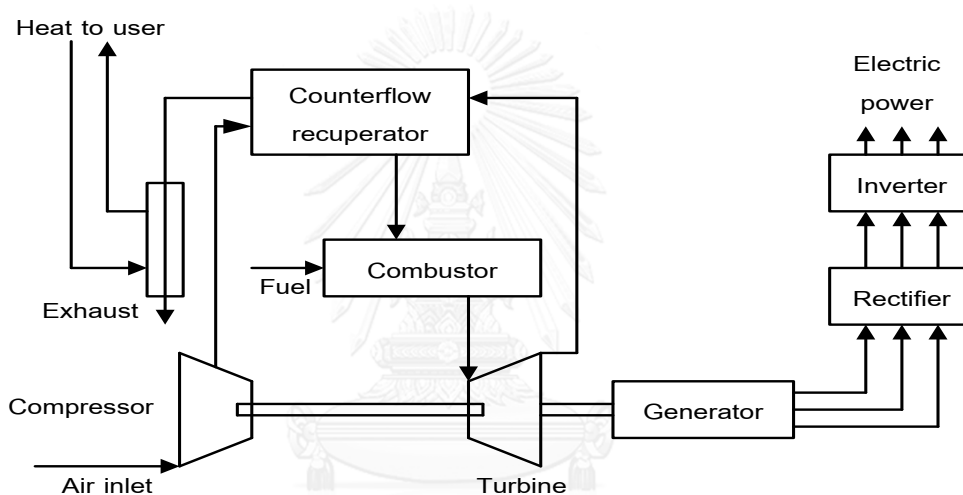
กังหันก๊าซ ประกอบด้วย เครื่องอัดอากาศ ห้องเผาไหม้ และกังหันก๊าซ กังหันก๊าซมีหลักการทำงานใกล้เคียงกับกังหันไอน้ำ โดยจะเริ่มจากการอัดอากาศด้วยเครื่องอัดอากาศเพื่อให้อากาศมีความดันสูง จากนั้นส่งอากาศความดันสูงนี้ไปผสมกับเชื้อเพลิงก๊าซภายในห้องเผาไหม้ ความร้อนจากการเผาไหม้ทำให้อากาศร้อนนี้มีอุณหภูมิและความดันสูง จากนั้นอากาศความดันสูงนี้จะถูกส่งไปหมุนเคลื่อนกังหันก๊าซเพื่อขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อไป หลังจากอากาศร้อนผ่านการขับกังหันก๊าซแล้วพลังงานของอากาศร้อนจะลดลง ซึ่งอากาศร้อนที่เหลือนี้จะนำไปใช้ในการผลิตไอน้ำความดันสูง ไอน้ำความดันต่ำ และน้ำร้อนตามลำดับ โดยไอน้ำความดันสูงสามารถนำกลับมาขับกังหันไอน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าเพิ่มเติม ส่วนไอน้ำแรงดันต่ำ น้ำร้อน และไอน้ำส่วนที่เหลือจากกังหันไอน้ำ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมที่มีการใช้ไอน้ำในปริมาณมากต่อไปได้



ภาพที่ 2.10 การทำงานของกังหันก๊าซ [22]

(3) กังหันก๊าซขนาดเล็ก (Micro Turbine)

กังหันก๊าซขนาดเล็กพัฒนามาจากกังหันก๊าซชนิดอัดอากาศเทอร์โบซึ่งใช้ในเครื่องบิน ขับเคลื่อนของเครื่องบิน และรถบรรทุก หลักการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดนี้โดยทั่วไปจะมีลักษณะเช่นเดียวกับกังหันก๊าซขนาดใหญ่ โดยอาศัยการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีสถานะเป็นก๊าซเพื่อใช้ในการขับเคลื่อนกังหันก๊าซซึ่งต่อยุ่กับแกนเดียวกับแกนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า รวมถึงมีการนำอากาศร้อนที่เหลือจากการขับเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาผลิตไอน้ำความดันต่ำและน้ำร้อนกลับมาใช้ประโยชน์ เช่นเดียวกับกังหันก๊าซ



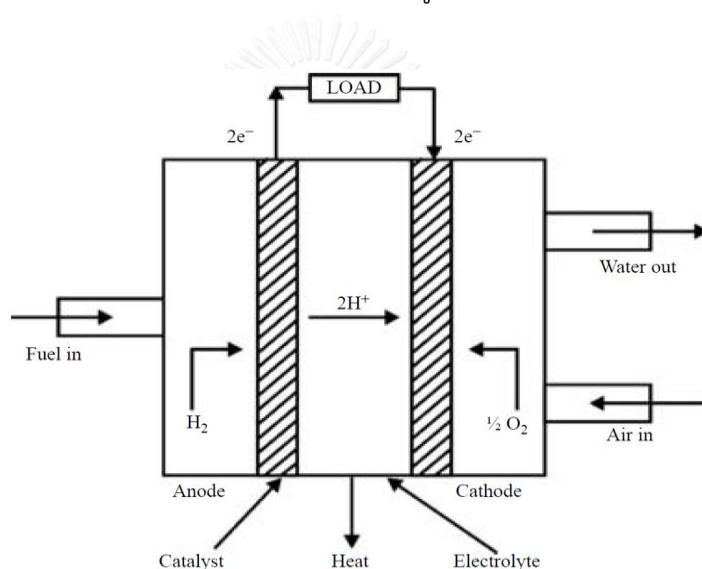
ภาพที่ 2.11 การทำงานของกังหันก๊าซขนาดเล็ก [23]

(4) เครื่องยนต์สันดาปภายใน (Internal Combustion Engine)

หลักการผลิตไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าความร้อนร่วมประเภทเครื่องยนต์สันดาปภายใน คือ การแปลงพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยกระบวนการผลิตไฟฟ้าเริ่มจากการผสมอากาศและเชื้อเพลิงในห้องเผาไหม้ เมื่อเกิดการจุดระเบิดภายในห้องเผาไหม้แล้วอากาศภายในจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น และเกิดการขยายตัวของอากาศไปขับเคลื่อนลูกสูบ จากนั้นลูกสูบจะส่งกำลังไปขับเคลื่อนแกนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยไอเสียหรือไอร้อนจากการเผาไหม้จะถูกปล่อยออกจากห้องเผาไหม้เพื่อเริ่มกระบวนการสันดาปภายในต่อไป ซึ่งไอร้อนที่เหลือจากการเผาไหม้สามารถนำไปผลิตไอน้ำความดันต่ำหรือน้ำร้อนเพื่อใช้ในกระบวนการผลิตด้านต่างๆ ต่อไป

(5) เซลล์เชื้อเพลิง (Fuel cell)

ระบบผลิตไฟฟ้าความร้อนร่วมประเภทเซลล์เชื้อเพลิงใช้กระบวนการเคมีไฟฟ้าในการผลิตไฟฟ้า โดยใช้พลังงานเคมีของไฮโดรเจนจากเชื้อเพลิงจำพวกสารประกอบไฮโดรคาร์บอน เช่น ก๊าซชีวภาพ ก๊าซธรรมชาติ เป็นต้น เนื่องจากกระบวนการผลิตไฟฟ้าจะได้ผลพลอยได้เป็นน้ำ ซึ่งน้ำและความร้อนสามารถนำไปใช้ในกระบวนการผลิตด้านต่างๆ ต่อไปได้ทันที ทำให้ประสิทธิภาพด้านการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตมีค่าสูงเมื่อเทียบกับกระบวนการแปรรูปพลังงานทั่วไป เนื่องจากเซลล์เชื้อเพลิงมีข้อแตกต่างในการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องต้นกำลังชนิดอื่นๆ ที่ได้กล่าวมาข้างต้น คือ เซลล์เชื้อเพลิงไม่มีชิ้นส่วนทางกลที่สามารถเคลื่อนที่ได้ จึงส่งผลให้ไม่มีการสูญเสียทางกลเกิดขึ้นในระบบผลิตไฟฟ้า



ภาพที่ 2.12 การทำงานของเซลล์เชื้อเพลิง [23]

3. แบบจำลองความร้อนของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองความร้อนของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม โดยแบบจำลองจะอธิบายถึงปริมาณความร้อนที่ระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมสามารถผลิตได้ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (F) รวมถึงอัตราส่วนของความร้อนที่ถูกนำไปใช้ในส่วนต่างๆ ของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมดัง

ภาพที่ 2.13 ได้แก่ พลังงานความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้เชื้อเพลิง (H_{in}) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ (Heat Rate Function) พลังงานความร้อนส่วนหนึ่งถูกเปลี่ยนไปเป็นพลังงานไฟฟ้าตามกระบวนการผลิตไฟฟ้า (H_{elec}) ซึ่งสัมพันธ์กับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ พลังงานส่วนที่

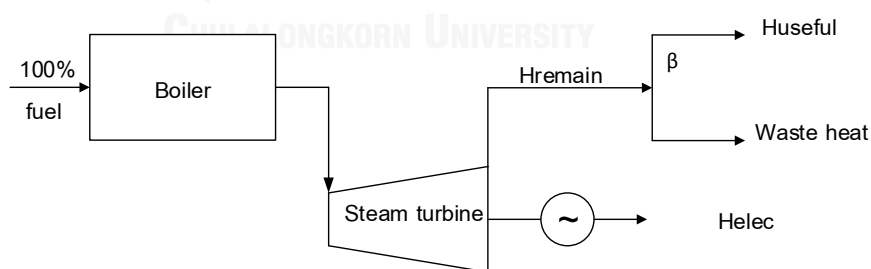
เหลือจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า (H_{remain}) จะมีทั้งส่วนที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ (H_{useful}) และส่วนที่นำมาใช้ประโยชน์ไม่ได้ (H_{waste}) ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$H_{in}(P) = \alpha_0 + \alpha_1 P + \alpha_2 P^2 \quad (2.36)$$

$$H_{remain} = H_{in} - H_{elec} \quad (2.37)$$

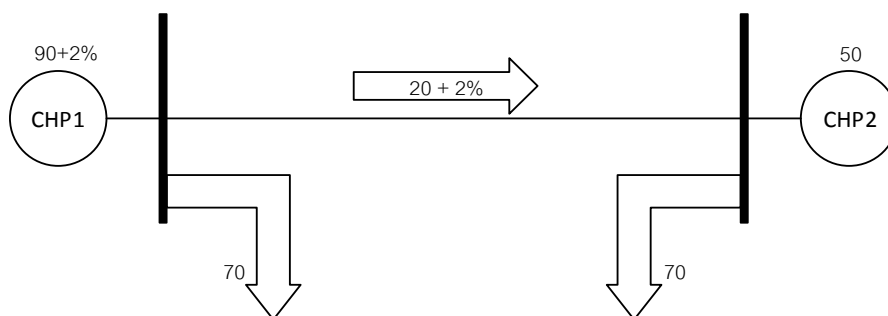
$$H_{useful} = \beta \cdot H_{remain} \quad (2.38)$$

โดยที่	$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$	คือ	ตัวแปรของฟังก์ชันต้นทุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
	P	คือ	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม (MW)
	β	คือ	อัตราส่วนของ H_{useful} ต่อ H_{remain}
	H_{in}	คือ	กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในหน่วยความร้อนที่ผลิตได้จากหม้อผลิตไอน้ำ (MBTU/hr)
	H_{elec}	คือ	กำลังไฟฟ้าในหน่วยของพลังงานความร้อน (MBTU/hr)
	H_{remain}	คือ	กำลังไฟฟ้าที่เหลือจากการผลิตไฟฟ้าในหน่วยของพลังงานความร้อน (MBTU/hr)
	H_{useful}	คือ	พลังงานความร้อนที่นำไปใช้ได้สูงสุดต่อชั่วโมง (MBTU/hr)



ภาพที่ 2.13 การผลิตกำลังไฟฟ้าและความร้อนร่วม (CHP)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะประมาณความร้อนสูญเสียให้เท่ากับ 2% ของความร้อนที่ส่งผ่านท่อส่งความร้อน โดยค่าความร้อนที่ส่งผ่านท่อส่งความร้อนสามารถพิจารณาได้ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 แบบจำลองการส่งความร้อนผ่านท่อส่งความร้อน

จากรูป อธิบายได้ว่าเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า CHP1 ผลิตความร้อนได้มากกว่าความต้องการทางความร้อนที่บัสที่ 1 จะส่งความร้อนที่เหลือผ่านท่อส่งความร้อนไปยังบัสที่ CHP2 ต่ออยู่ ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า CHP2 ต้องผลิตความร้อนอีกอย่างน้อยเท่ากับปริมาณความต้องการทางความร้อนที่ยังขาดอยู่

2.1.3 ระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System)

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ระบบกักเก็บพลังงานจะประกอบด้วยแบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์หลักในการกักเก็บพลังงาน ซึ่งอยู่ในรูปของไฟฟ้าเคมีที่นิยมใช้อย่างกว้างขวาง [24] โดยในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติของแบตเตอรี่ ชนิดของแบตเตอรี่ รวมถึงแบบจำลองของแบตเตอรี่ชนิดไอออนของลิเทียม (Li-ion) ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ชนิดที่ถูกเลือกมาใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

1. หลักการและทฤษฎีพื้นฐานของระบบกักเก็บพลังงาน

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติของแบตเตอรี่ คุณสมบัติทางเคมี แรงดัน ความจุของแบตเตอรี่ พลังงานจำเพาะและความหนาแน่นของพลังงาน กำลังจำเพาะ ซี-เรตและชนิดของแบตเตอรี่ เพื่อทำความเข้าใจหลักการและทฤษฎีพื้นฐานของระบบกักเก็บพลังงาน ก่อนจะวางแผนและออกแบบการใช้งานระบบกักเก็บพลังงาน

1) คุณสมบัติของแบตเตอรี่

โดยทั่วไปแบตเตอรี่สามารถจำแนกได้ด้วยคุณสมบัติหลายประการ เช่น คุณสมบัติทางเคมี, แรงดัน, ขนาด, พลังงานจำเพาะ หรือความจุของแบตเตอรี่, กำลังจำเพาะ (กำลังที่จ่ายออกไปจากแบตเตอรี่) เป็นต้น แบตเตอรี่ต่างชนิดกันก็จะมีคุณสมบัติเหล่านี้แตกต่างกันด้วย

2) คุณสมบัติทางเคมี

วัสดุทางเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่มีหลายชนิด แต่ชนิดที่เป็นที่รู้จักกันแพร่หลาย ได้แก่ ตะกั่ว, นิกเกิล และลิเธียม ซึ่งความแตกต่างของวัสดุทางเคมีนี้เอง ทำให้ลักษณะคุณสมบัติของแบตเตอรี่มีความแตกต่างกันไปรวมถึงวิธีการอัดประจุด้วย

3) แรงดัน

แรงดันในที่นี้หมายถึงแรงดันที่ขั้วของแบตเตอรี่ (Terminal battery voltage) ซึ่งค่าแรงดันนี้จะแปรตามวัสดุทางเคมีที่ใช้ทำแบตเตอรี่และจำนวนของเซลล์แบตเตอรี่ที่นำมาต่ออนุกรมกัน โดยแรงดันที่ขั้วขณะเปิดวงจรจะมีค่าสูงกว่าแรงดันที่ระบุ (Nominal battery voltage) เล็กน้อย ส่วนแรงดันที่ขั้วขณะครบวงจร นั่นคือ ขณะต่อโหลดหรืออัดประจุ จะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะการใช้งาน ณ ขณะนั้น

4) ความจุของแบตเตอรี่

ความจุของแบตเตอรี่ (Capacity) แสดงถึงค่าพลังงานจำเพาะในหน่วยแอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-hour; Ah) โดยทั่วไปผู้ผลิตแบตเตอรี่จะกำหนดค่าความจุแบตเตอรี่สูงกว่าขนาดที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายพลังงานได้ แบตเตอรี่ที่บอกค่าพิกัดความจุของแบตเตอรี่ค่าหนึ่งสามารถถูกใช้ในงานที่ต้องการความจุของแบตเตอรี่แตกต่างกันไปจากพิกัดนั้นได้ แต่ต้องไม่เกินค่าพิกัดความจุของแบตเตอรี่ลูกนั้น และต้องเข้ากับแรงดันที่ถูกต้องตามที่แบตเตอรี่ลูกนั้นกำหนด

5) พลังงานจำเพาะและความหนาแน่นของพลังงาน

พลังงานจำเพาะ (Specific energy) หมายถึง ความจุของแบตเตอรี่ต่อหน่วยน้ำหนักของแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น วัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม (Wh/kg) ส่วนความหนาแน่นของพลังงาน (energy density) หมายถึง ความจุของแบตเตอรี่ต่อหน่วยปริมาตรของแบตเตอรี่ มีหน่วยเป็น วัตต์-ชั่วโมงต่อลิตร (Wh/l)

6) กำลังจำเพาะ

กำลังจำเพาะ (Specific power) หมายถึง ความสามารถในการจ่ายโหลด หรือปริมาณกระแสไฟฟ้าที่แบตเตอรี่สามารถจ่ายได้ ซึ่งแสดงถึงค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่ กล่าวคือ หากกำลังจำเพาะสูง ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะมีค่าน้อย แต่ในทางตรงกันข้าม หากกำลังจำเพาะต่ำ ค่าความต้านทานภายในของแบตเตอรี่จะมีค่ามากด้วย

7) ซี-เรต (C-rates)

ซี-เรตเป็นค่าที่บอกอัตราส่วนระหว่างกระแสคายประจุเทียบกับขนาดความจุของแบตเตอรี่ ตัวอย่างเช่น ที่ 1C แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสคายประจุในปริมาณที่เท่ากับค่าพิกัดความจุของแบตเตอรี่ ได้นานติดต่อกันได้ 1 ชั่วโมง หรือที่ 0.5C แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสลดลงครึ่งหนึ่ง และที่ 0.1C แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสเป็น 0.1 เท่าของค่าพิกัดความจุของแบตเตอรี่ เป็นต้น ในขณะที่ถ้าเป็นการอัดประจุแล้ว 1C จะหมายถึง แบตเตอรี่จะถูกอัดประจุเต็มได้ภายใน 1 ชั่วโมง และ 0.5C หมายถึง การอัดประจุจนเต็มจะต้องใช้เวลา 2 ชั่วโมง เป็นต้น

8) ชนิดของแบตเตอรี่

โดยทั่วไปแบตเตอรี่สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ แบตเตอรี่ชนิดอัดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ และแบตเตอรี่ชนิดอัดประจุไฟฟ้าใหม่ไม่ได้ ในวิทยานิพนธ์นี้พิจารณาเฉพาะแบตเตอรี่ชนิดอัดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ เนื่องจากแบตเตอรี่ที่ใช้ในการลดการแกว่งของกำลังไฟฟ้าและความถี่จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม จำเป็นต้องทำหน้าที่ทั้งรับและจ่ายพลังงานได้ โดยแบตเตอรี่ชนิดอัดประจุไฟฟ้าใหม่ได้นี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามชนิดของวัสดุทางเคมีได้ดังนี้ [25, 26]

(1) แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด

แบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรด (Lead-acid battery; Pb-acid) [27, 28] เป็นแบตเตอรี่แบบอัดประจุไฟฟ้าใหม่ได้ชนิดแรกที่ถูกนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์ และเนื่องด้วยแบตเตอรี่ชนิดนี้มีการพัฒนามาก่อนแบตเตอรี่ชนิดอื่น ดังนั้นจึงเป็นที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน และอีกสาเหตุที่ทำให้แบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้คือ อัตราส่วนของประสิทธิภาพต่อราคามีค่าค่อนข้างสูง แม้ว่าแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดนี้จะมีความหนาแน่นของพลังงานต่อน้ำหนักและปริมาตรของแบตเตอรี่ต่ำก็ตาม ส่วนข้อเสียหลักของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือ น้ำหนักที่สูงกว่าและความทนทานต่ำกว่าแบตเตอรี่ชนิดที่ใช้ นิกเกิลและลิเทียมเป็นวัสดุ

(2) แบตเตอรี่ชนิดที่ใช้ นิกเกิลเป็นวัสดุ

แบตเตอรี่ชนิดนี้ประกอบไปด้วย 2 ชนิดหลักได้แก่ ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม (Nickel-Cadmium battery: NiCd) และชนิดนิกเกิล-โลหะไฮไดรด์ (Nickel-Metal Hydride battery: NiMH) ดังนี้

i. แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม (NiCd)

แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียมนี้มีข้อได้เปรียบเหนือแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดหลายประการ เช่น น้ำหนักเบากว่า มีรอบการคายประจุลึกมากกว่า และสามารถทนอุณหภูมิสูงได้มากกว่า เป็นต้น จึงได้มีการนำแบตเตอรี่ชนิดนี้ไปใช้งานอย่างแพร่หลาย เช่น อุปกรณ์ทางการแพทย์ กล้องวิดีโอ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม วัสดุที่ใช้ทำแบตเตอรี่ชนิดนี้มีราคาแพง และในปัจจุบัน สารแคดเมียมนั้นถูกจำกัดการนำไปใช้งานเนื่องจากเป็นสารเคมีที่เมื่อปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตและไม่สามารถกำจัดด้วยวิธีฝังกลบได้ นอกจากนี้ แบตเตอรี่ชนิดนี้ยังมีปัญหาเกี่ยวกับผลกระทบทางความจำ (Memory effect) กล่าวคือ เมื่อแบตเตอรี่ถูกใช้ประจุไฟฟ้าจนกระทั่งแรงดันที่ขั้วลดลงจนถึงค่าหนึ่ง แล้วไม่ได้ใช้เป็นระยะเวลาานาน จะทำให้แบตเตอรี่จำแรงดันค่านั้นเป็นแรงดันสูงสุดแทนและประพุดิตัวเหมือนแรงดัน ณ จุดนั้นเป็นค่าแรงดันขณะที่อัดประจุเต็ม ส่งผลให้ความจุของแบตเตอรี่มีค่าลดลงตามไปด้วย ดังนั้น ในปัจจุบัน จึงได้มีการพัฒนาแบตเตอรี่ชนิดอื่นมาใช้แทน

ii. แบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-โลหะไฮไดรด์ (NiMH)

แบตเตอรี่ชนิดนี้ถูกพัฒนาต่อจากแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม ซึ่งเพิ่มความหนาแน่นของพลังงานในแบตเตอรี่ และขั้วแอโนดที่ใช้โลหะไฮไดรด์แทนแคดเมียมยังช่วยลดปัญหาสารพิษปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมอีกด้วย นอกจากนี้ แบตเตอรี่ชนิดนี้ยังมีข้อได้เปรียบแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียมตรงที่สามารถลดปัญหาเกี่ยวกับผลกระทบทางความจำได้ แบตเตอรี่ชนิดนี้จึงถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในรถยนต์ประเภทไฮบริดจ์ อย่างไรก็ตาม ข้อเสียของแบตเตอรี่ชนิดนี้ คือ ความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดมีค่าน้อย, มีอัตราการคายประจุเอง (self-discharge) สูง, ไวต่อความเสียหายเมื่ออัดประจุมากเกินไป และยังมีราคาแพงเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดนิกเกิล-แคดเมียม

(3) แบตเตอรี่ชนิดที่ใช้ลิเทียมเป็นวัสดุ

แบตเตอรี่ชนิดนี้ประกอบไปด้วย 2 ชนิดหลักได้แก่ ชนิดลิเทียม-ไอออน (Lithium-Ion battery : Li-ion) และชนิดลิเทียม-โพลิเมอร์ (Lithium-Polymer battery : Li-poly)

i. แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน (Li-ion)

แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-ไอออน (Lithium-Ion battery; Li-ion) มีความหนาแน่นของพลังงานมากกว่าแบตเตอรี่ชนิดตะกั่วกรดถึง 3 เท่า และยังมีค่าแรงดันที่สูงถึง 3.5 โวลต์ต่อเซลล์ ดังนั้น ในการติดตั้งแบตเตอรี่ชนิดนี้จึงใช้จำนวนแบตเตอรี่น้อยในการต่ออนุกรมเพื่อให้ได้แรงดันตามที่ต้องการ แต่แบตเตอรี่ชนิดนี้ต้องใช้แผ่นขั้วไฟฟ้าที่มีความหนาทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตโดยรวมมีค่าสูง นอกจากนี้ แบตเตอรี่ชนิดนี้ยังไวต่อความเสียหายถ้ามีการอัดประจุที่มากเกินไปอีกด้วย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากในปัจจุบัน มีการนำแบตเตอรี่ชนิดนี้มาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมโทรศัพท์มือถือและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเริ่มมีการใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์ไฟฟ้า (EV) ทำให้ต้นทุนการผลิตมีแนวโน้มถูกลงอย่างมีนัยสำคัญในอนาคต ดังนั้น จึงเป็นที่คาดการณ์ว่าแบตเตอรี่ชนิดนี้ จะเป็นแบตเตอรี่ประเภทหลักที่จะใช้ในระบบไฟฟ้ากำลังในอนาคต

ii. แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม-โพลิเมอร์ (Li-poly)

แบตเตอรี่ชนิดนี้มีลิเทียมเป็นขั้วไฟฟ้าและนำโพลิเมอร์ที่อยู่ในรูปของแข็งมาทำเป็นอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งอิเล็กโทรไลต์ดังกล่าวนี้จะช่วยเพิ่มค่าพลังงานจำเพาะให้แก่เซลล์ของแบตเตอรี่ได้

จากชนิดของแบตเตอรี่ดังกล่าวข้างต้นทั้ง 3 ชนิด สามารถเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแบตเตอรี่แต่ละชนิดได้ดัง

ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของแบตเตอรี่ประเภทต่างๆ

ประเภทแบตเตอรี่	ข้อดี	ข้อเสีย
ชนิดตะกั่วกรด	<ul style="list-style-type: none"> - ราคาถูกและง่ายในการผลิต - ราคาต่อความจุ มีค่าไม่สูง - เป็นเทคโนโลยีที่รู้จักแพร่หลาย มีหลากหลายขนาดและบริษัทผู้ผลิต - มีอัตราการคายประจุเองต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดอื่น - ปลดปล่อยกระแสไฟฟ้าได้สูงในช่วงคายประจุ - สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงและต่ำได้ โดยที่ประสิทธิภาพยังดีอยู่ 	<ul style="list-style-type: none"> - มีค่าอัตราส่วนพลังงานต่อน้ำหนักต่ำ - ใช้เวลาในการอัดประจุให้เต็มนาน - มีจำนวนวัฏจักรการอัดและคายประจุจำกัด
ชนิดใช้นิกเกิลเป็นวัสดุ	<ul style="list-style-type: none"> - ใช้เวลาในการอัดประจุตึมน้อย ถึงแม้ว่าจะไม่ใช่แบตเตอรี่เป็นเวลานาน - มีจำนวนวัฏจักรการอัดและคายประจุสูง - มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน และสามารถเก็บไว้ในสภาวะที่แบตเตอรี่คายประจุหมดได้ - มีให้เลือกหลากหลายขนาดและประสิทธิภาพ 	<ul style="list-style-type: none"> - มีค่าพลังงานจำเพาะต่ำ - มีผลจากภาวะผลกระทบทางความจำ - มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ถ้าใช้แคดเมียมเป็นส่วนประกอบ - มีอัตราการคายประจุเองสูง - เกิดความร้อนเมื่ออัดประจุอย่างรวดเร็ว และคายประจุค่าสูง
ชนิดใช้ลิเทียมเป็นวัสดุ	<ul style="list-style-type: none"> - ความหนาแน่นของพลังงานมีค่าสูง - มีอัตราการคายประจุเองต่ำเมื่อเทียบกับแบตเตอรี่ชนิดที่ใช้นิกเกิลเป็นวัสดุ - ไม่ต้องบำรุงรักษาบ่อย - ไม่มีผลของผลกระทบทางความจำ 	<ul style="list-style-type: none"> - ต้องใช้วงจรการป้องกันเพื่อจำกัดแรงดันและกระแส

เมื่อพิจารณตารางเปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของแบตเตอรี่แต่ละชนิด วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน เนื่องจากพลังงานหมุนเวียนมีความไม่แน่นอนสูง จึงทำให้แบตเตอรี่ต้องมีความถี่ในการทำงานสูง เพื่อไม่ต้องบำรุงรักษาบ่อย มีอัตราการคายประจุเองต่ำ และมีจำนวนรอบการอัด-คายประจุสูง

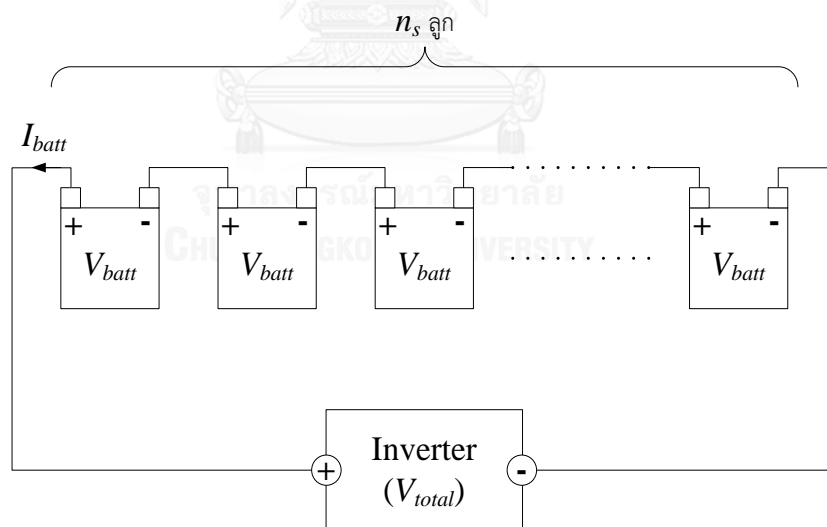
2. การต่อชุดแบตเตอรี่

การต่อชุดแบตเตอรี่ คือ การเชื่อมต่อแบตเตอรี่เพื่อให้ได้ขนาดแรงดัน กระแสและความจุรวมของชุดแบตเตอรี่ตามที่ต้องการ การต่อชุดแบตเตอรี่สามารถทำได้ 3 รูปแบบ ดังต่อไปนี้

(1) การต่อชุดแบตเตอรี่แบบอนุกรม

การต่อชุดแบตเตอรี่ในลักษณะนี้มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มแรงดันให้เพียงพอหรือเหมาะสมกับความต้องการในการใช้งาน ในขณะที่ความจุของแบตเตอรี่ในหน่วยแอมป์-ชั่วโมง (Ampere-hour; Ah) จะยังคงมีค่าเท่าเดิม โดยการต่อชุดแบตเตอรี่แบบอนุกรมนี้จะนำขั้วบวกของแบตเตอรี่ลูกหนึ่งเชื่อมต่อกับขั้วลบของแบตเตอรี่ลูกถัดไปในลักษณะดังภาพที่ 2.15 จนกระทั่งได้แรงดันรวมของชุดแบตเตอรี่ตามที่ต้องการ ซึ่งแรงดันรวมในที่นี้มีค่าเท่ากับผลรวมของแรงดันของแบตเตอรี่ทั้งหมดที่นำมาต่ออนุกรมกัน นั่นคือ หากนำแบตเตอรี่ที่มีขนาดแรงดันเท่ากับ V_{batt} มาเชื่อมต่อแบบอนุกรมกันทั้งสิ้น n_s ลูก จะสามารถคำนวณแรงดันรวม (V_{total}) ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$V_{total} = n_s \times V_{batt} \quad (2.39)$$

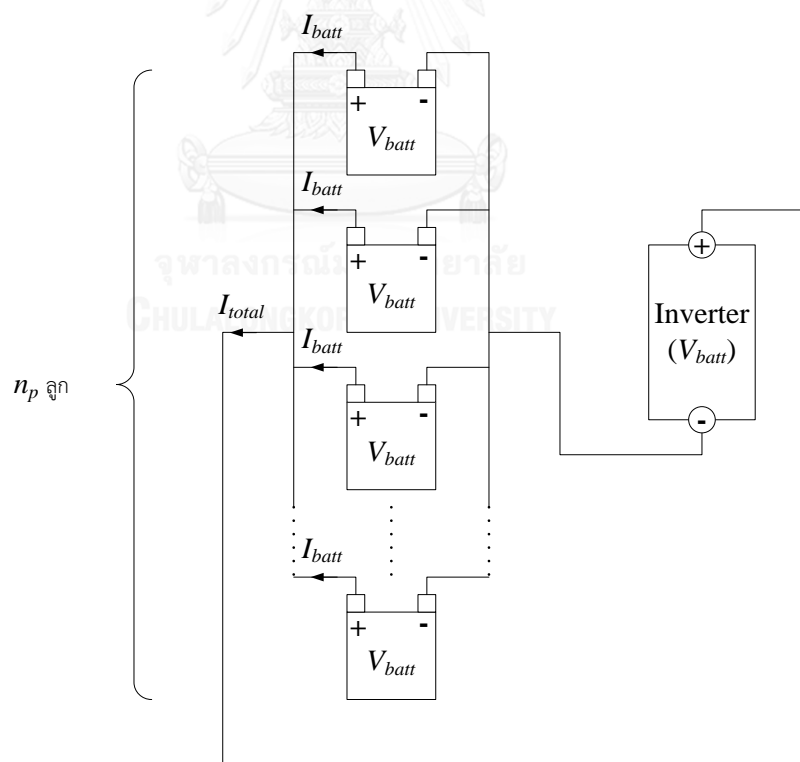


ภาพที่ 2.15 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบอนุกรม

(2) การต่อชุดแบตเตอรี่แบบขนาน

การต่อชุดแบตเตอรี่ในลักษณะนี้มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มความจุของชุดแบตเตอรี่ในหน่วยแอมแปร์-ชั่วโมง (Ampere-hour; Ah) ให้เพียงพอหรือเหมาะสมกับความต้องการในการใช้งาน ในขณะที่แรงดันของแบตเตอรี่จะยังคงมีค่าเท่าเดิม โดยการต่อชุดแบตเตอรี่แบบขนานนี้จะนำขั้วบวกของแบตเตอรี่ลูกหนึ่งเชื่อมต่อกับขั้วบวกของแบตเตอรี่ลูกถัดไป และนำขั้วลบของแบตเตอรี่ลูกนั้นเชื่อมต่อกับขั้วลบของแบตเตอรี่ลูกถัดไปเช่นกันในลักษณะดังภาพที่ 2.16 จนกระทั่งได้ความจุรวมของชุดแบตเตอรี่ตามที่ต้องการ ซึ่งความจุรวมในที่นี้มีค่าเท่ากับผลรวมของความจุของแบตเตอรี่ทั้งหมดที่นำมาต่อขนานกัน นั่นคือ หากนำแบตเตอรี่ที่มีขนาดความจุเท่ากับ I_{batt} แอมแปร์-ชั่วโมง มาเชื่อมต่อแบบขนานกันทั้งสิ้น n_p ลูก จะสามารถคำนวณขนาดความจุรวม (I_{total}) ได้ดังสมการต่อไปนี้

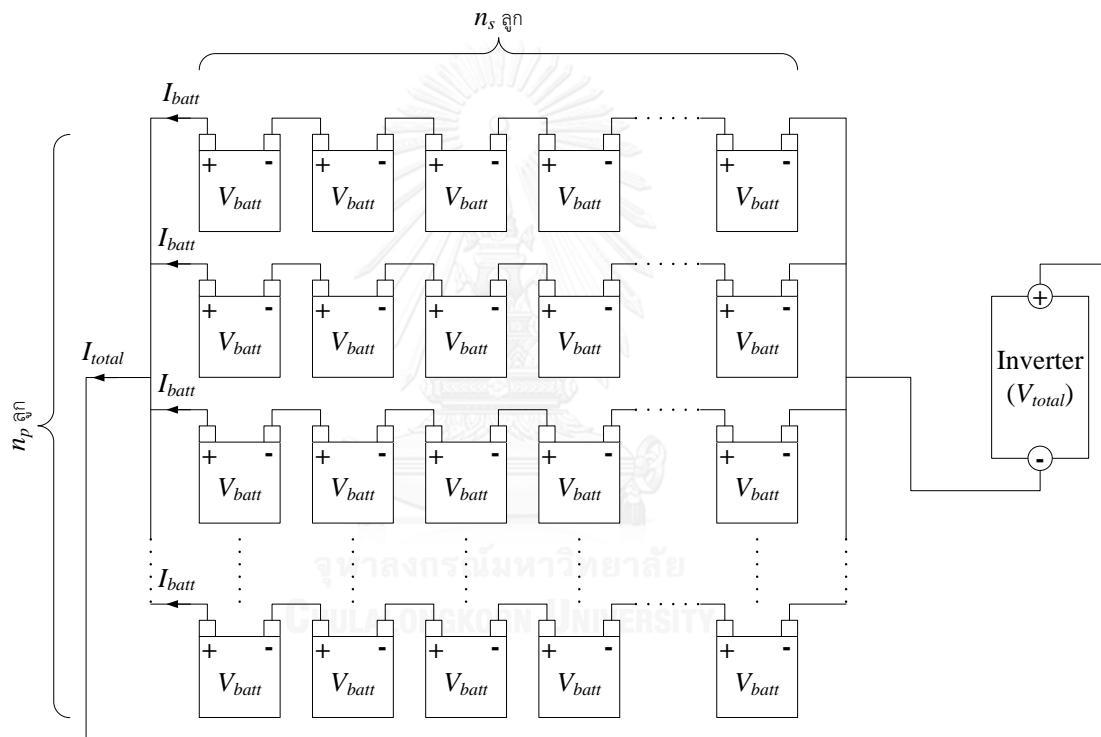
$$I_{total} = n_p \times I_{batt} \quad (2.40)$$



ภาพที่ 2.16 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบขนาน

(3) การต่อชุดแบตเตอรี่แบบอนุกรมร่วมกับแบบขนาน

การต่อชุดแบตเตอรี่ในลักษณะนี้มีจุดประสงค์เพื่อกำหนดทั้งแรงดันและความจุของชุดแบตเตอรี่ให้ได้ตามความต้องการในการใช้งาน โดยการต่อชุดแบตเตอรี่แบบอนุกรมร่วมกับแบบขนานนี้จะทำการเชื่อมต่อในลักษณะดังภาพที่ 2.17 จนกระทั่งได้แรงดันและความจุรวมของชุดแบตเตอรี่ตามที่ต้องการ ซึ่งแรงดันและความจุรวมนี้จะสามารถคำนวณได้จากผลรวมของแรงดันของแบตเตอรี่ทั้งหมดที่นำมาต่ออนุกรมกัน และผลรวมของความจุของแบตเตอรี่ทั้งหมดที่นำมาต่อขนานกัน ดังสมการที่ (2.39) และ (2.40) ตามลำดับ



ภาพที่ 2.17 การต่อชุดแบตเตอรี่แบบอนุกรมร่วมกับแบบขนาน

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ติดตั้งแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออนในไมโครกริด เพื่อลดความแปรปรวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน โดยจะใช้แบบจำลองของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออนในสถานะอยู่ตัว แบตเตอรี่ที่เลือกใช้จะมีขนาดเท่ากับ 100 kWh สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้สูงสุด 300 kW (คายประจุสูงสุดที่ระดับ 3C)

2.2 หลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับไมโครกริด

ในส่วนของหัวข้อนี้จะกล่าวถึงส่วนประกอบต่างๆ ของไมโครกริดที่สำคัญ อันได้แก่ ความหมายและความสำคัญของไมโครกริด คุณลักษณะของไมโครกริด และความแตกต่างระหว่างไมโครกริดกับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.2.1 ความหมายและความสำคัญของไมโครกริด

ไมโครกริด (Micro Grid) [29, 30] หมายถึงกลุ่มของระบบผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก กลุ่มของความต้องการทางไฟฟ้าและความต้องการทางความร้อนที่รวมอยู่ในพื้นที่หนึ่งๆ มีการจัดการภายในด้วยการควบคุมผ่านศูนย์กลางการควบคุม (Central Controller) เพื่อควบคุมการเชื่อมต่อระหว่างไมโครกริดกับระบบไฟฟ้าหลัก (Point of Common Coupling, PCC) เพื่อทำบริหารจัดการไมโครกริดได้อย่างเหมาะสม จากแนวคิดดังกล่าวจึงอนุญาตให้ผู้ใช้และผู้ผลิตไฟฟ้าภายในไมโครกริดสามารถผลิตและใช้ไฟฟ้าในขณะที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลัก (Main Grid) หรือไมโครกริดอื่นๆ ได้ ซึ่งไมโครกริดจะถูกมองเป็นกลุ่มของแหล่งกำเนิดหรือความต้องการทางไฟฟ้าเข้ามาเชื่อมต่อในระบบไฟฟ้าหลักเพิ่มเข้ามาอีกแหล่งหนึ่ง นอกจากนี้ ระบบไมโครกริดซึ่งเป็นระบบขนาดเล็กสามารถวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการทางไฟฟ้า พร้อมทั้งความต้องการทางความร้อนที่มีในระบบไมโครกริดได้พร้อมกัน และอาจยังสามารถนำเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับพลังงานหมุนเวียนเข้ามาเชื่อมต่อกับโครงข่ายระบบไฟฟ้าได้เพราะการพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronics) ทำให้สามารถปรับปรุงความไม่แน่นอนของแหล่งกำเนิดพลังงานหมุนเวียนให้สามารถต่อเข้ากับระบบโครงข่ายไฟฟ้ากระแสสลับได้ดีขึ้น ซึ่งการผลิตไฟฟ้าด้วยพลังงานหมุนเวียนมีข้อได้เปรียบการผลิตไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงฟอสซิลในด้านการลดปรากฏการณ์โลกร้อนและลดการปล่อยก๊าซมลภาวะ และมีความผันผวนของต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าต่ำ เทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าขนาดเล็กมากเหล่านี้สามารถทำให้เกิดไมโครกริด ซึ่งจะเชื่อมต่อกันระหว่างกลุ่มผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟารายเล็กเข้าด้วยกันได้

เนื่องจากไมโครกริดประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ซึ่งมีความไม่แน่นอนในการผลิตกำลังไฟฟ้าซึ่งหากมีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าประเภทนี้เพิ่มเข้ามาในระบบเป็นจำนวนมากอาจส่งผลกระทบต่อในแง่ลบทางด้านคุณภาพไฟฟ้าและความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวไมโครกริดจึงต้องประกอบด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นในการทำงานและทำการควบคุมสถานะการทำงานของระบบในขณะที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังหลักได้ เพื่อไม่ให้ไมโครกริดสร้างปัญหาเกี่ยวกับแรงดันกระแสเฟือง การแกว่งของกำลังไฟฟ้า เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อมุ่งเน้นให้ไมโครกริดสามารถผลิตและจำหน่ายไฟฟ้าในพื้นที่ของตัวเองให้เพียงพอต่อความต้องการโดยไม่รบกวนระบบไฟฟ้ากำลังหลัก จะสามารถ

ช่วยเพิ่มความมั่นคงในการส่งจ่ายไฟฟ้ารวมถึงสามารถช่วยเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าในพื้นที่ของไมโครกริดได้ อีกทั้งยังสามารถช่วยชะลอการก่อสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่แห่งใหม่ ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เกิดจากการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลในการผลิตพลังงานไฟฟ้า และอาจช่วยลดปัญหาการพึ่งพาเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าชนิดใดชนิดหนึ่งมากเกินไป จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปความสำคัญของไมโครกริดได้ดังนี้

- 1) ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- 2) ชะลอการก่อสร้างโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่
- 3) ลดค่าใช้จ่ายทางพลังงานหรือค่าเชื้อเพลิง
- 4) เพิ่มความมั่นคงทางด้านพลังงาน

2.2.2 คุณลักษณะของไมโครกริด

สิ่งต่างๆต่อไปนี้เป็นสิ่งที่ไมโครกริดหรือระบบไฟฟ้าอิสระขนาดเล็กแตกต่างจากระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ทั่วไป ซึ่งมีลักษณะดังต่อไปนี้

1. แหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมาก (Micro Sources)

แหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมาก คือ แหล่งกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้จำนวนหนึ่งเพื่อจำหน่ายให้แก่ผู้ใช้ในบริเวณใกล้เคียง โดยใช้วัตถุดิบจากแหล่งพลังงาน ได้แก่ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ก๊าซธรรมชาติ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ แหล่งกำเนิดไฟฟ้าเหล่านี้ผลิตกำลังไฟฟ้าสะอาด มีการปลดปล่อย CO₂ ต่ำ ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักอย่างหนึ่งของไมโครกริดที่คำนึงถึงสิ่งแวดล้อม ในระบบไมโครกริดบางแห่งอาจมีทั้งความต้องการทางไฟฟ้าและความต้องการทางความร้อน ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ทั้งกำลังไฟฟ้าและความร้อน (Combined Heat and Power; CHP) หรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนร่วม (Cogeneration) จึงเข้ามามีบทบาทสำคัญในระบบไมโครกริด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทนี้สามารถนำความร้อนที่เหลือจากการผลิตไฟฟ้ามาใช้งานต่อได้ซึ่งต่างจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่มักปล่อยความร้อนทิ้งไปโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์

2. ความต้องการทางความร้อน (Heat Loads)

ความต้องการของผู้บริโภคหรือความต้องการที่ระบบผลิตในไมโครกริดจะต้องตอบสนองแบ่งได้ 2 ประเภท ได้แก่ ความต้องการทางไฟฟ้า (Electrical Loads) และความต้องการความร้อน (Heat Loads) โดยความต้องการทางไฟฟ้าจะเป็นกลุ่มผู้ใช้ไฟฟ้าตามอาคารบ้านเรือนทั่วไป ส่วนความต้องการทางความร้อนจะเป็นกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการนำพลังงานทางด้านความร้อนมาใช้ในการแปรรูปวัตถุดิบต่างๆ ให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ตามที่ต้องการ ได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรมเกี่ยวกับเคมี โรงงานอุตสาหกรรมเกี่ยวกับอาหาร โรงงานผลิตเหล็ก โรงงานผลิตกระดาษ เป็นต้น หรือสถานประกอบการที่ต้องการใช้ความร้อนในการประกอบอาชีพหรือใช้ในชีวิตประจำวัน ได้แก่ โรงพยาบาล โรงแรม โรงเรียน ร้านซักอบรีด เป็นต้น กลุ่มผู้ใช้พลังงานความร้อนเหล่านี้สามารถรับพลังงานความร้อนจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนร่วม(CHP) มาทางท่อลำเลียงน้ำร้อน (Hot Water Pipe) หรือท่อลำเลียงไอน้ำร้อน (Hot Steam Pipe) ซึ่งพลังงานความร้อนที่ได้นี้ บางโรงงานอุตสาหกรรมสามารถนำไปใช้ได้เลย หรืออาจต้องนำไปเพิ่มอุณหภูมิก่อนเพื่อเข้าสู่กระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์ที่จะต้องใช้ความร้อนสูงมากๆ ต่อไป ทำให้ลดต้นทุนในด้านของการใช้เชื้อเพลิงได้

3. ระบบกักเก็บพลังงาน (Energy Storage System)

ไมโครกริดเป็นระบบไฟฟ้ากำลังที่ประกอบไปด้วยแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าง่ายๆ อาจไม่ตอบสนองความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในไมโครกริดได้เพียงพอโดยเฉพาะเมื่อเกิดเหตุขัดข้องขึ้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการกักเก็บพลังงานสำรองไว้เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถใช้ไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง หรือช่วยยืดระยะเวลาไม่ให้เกิดเหตุไฟฟ้าดับทันทีทันใดทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้ารับมือกับเหตุการณ์ฉุกเฉินได้ทัน แหล่งเก็บพลังงานสำรองที่นิยมใช้ในปัจจุบัน [19] ได้แก่ แบตเตอรี่ (Storage Batteries) ล้อตุ้มกำลัง (Flywheels) และตัวเก็บประจุไฟฟ้าชนิดอูลตรา (Ultra capacitors)

4. ระบบควบคุมการจัดการภายในไมโครกริด (Controller)

ระบบไฟฟ้ากำลังขนาดเล็กแบบไมโครกริดต้องมีระบบควบคุมการจัดการเพื่อตอบสนองระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ในสภาวะที่เกิดความผิดปกติขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลังหลัก ไมโครกริดจะต้องสามารถปลดตัวเองออกจากระบบไฟฟ้ากำลังหลัก และทำงานในแบบแยกตัวอิสระได้อย่างอัตโนมัติ และสามารถเชื่อมต่อกลับเข้าไปกับระบบไฟฟ้ากำลังหลักได้เมื่อความผิดปกติในระบบไฟฟ้ากำลังหลักได้รับการแก้ไขไปแล้ว นอกจากนี้ระบบควบคุมจะต้องมีการ

จัดสรรกำลังการผลิตของแหล่งกำเนิดไฟฟ้าต่างๆ อย่างเหมาะสมโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อไมโครกริดทำงานในสถานะแยกตัวอิสระ ระบบควบคุมการจัดการไมโครกริดแบ่งเป็นการควบคุม 2 ระบบ ดังนี้

(1) ระบบควบคุมแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมาก

ในไมโครกริดจะมีระบบควบคุมแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมาก(Micro-source Controller; MC) ติดตั้งกับแหล่งกำเนิดไฟฟ้าแต่ละแหล่ง เพื่อทำหน้าที่ในการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้า และรักษาระดับแรงดัน ณ จุดโหลดของแหล่งกำเนิดไฟฟ้านั้นๆ เมื่อเกิดการรบกวนขึ้นในระบบหรือความต้องการไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลง

(2) ระบบควบคุมศูนย์กลาง

ภายในไมโครกริดจะมีระบบควบคุมศูนย์กลาง(Central Controller; CC) อยู่ 1 แห่ง โดยจะเชื่อมต่อระหว่างระบบไฟฟ้ากำลังหลักและไมโครกริด มีหน้าที่ในการควบคุมการทำงานทั้งหมดในไมโครกริดผ่านระบบควบคุมแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กมาก ได้แก่ รักษาระดับแรงดัน ณ จุดโหลดต่างๆ ตามที่ได้กำหนดไว้ ควบคุมความถี่ของระบบไฟฟ้าภายในไมโครกริดให้อยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ ควบคุมการทำงานของระบบป้องกันภายในไมโครกริดให้ทำงานอย่างถูกต้อง และจัดสรรกำลังการผลิตจากแหล่งกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กต่างๆ ให้เหมาะสม

2.2.3 ความแตกต่างระหว่างไมโครกริดกับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่

เมื่อทราบถึงความหมายและคุณลักษณะของไมโครกริดดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น จะสามารถสรุปประเด็นสำคัญเกี่ยวกับความแตกต่างระหว่างไมโครกริดกับระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ทั่วไปได้ดังนี้

- 1) แหล่งกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดมีขนาดเล็กกว่าระบบไฟฟ้าโดยทั่วไปมาก
- 2) ไมโครกริดมีระบบควบคุมศูนย์กลางทำให้สามารถจัดการพลังงานได้ง่าย
- 3) ระบบไฟฟ้ามีเสถียรภาพการน้อยกว่าระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ โดยเฉพาะเมื่อเกิดเหตุขัดข้องขึ้น
- 4) ประสิทธิภาพการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าสูงกว่าระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่

2.3 ทฤษฎีพื้นฐานการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.3.1 การวิเคราะห์ระบบด้วยการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

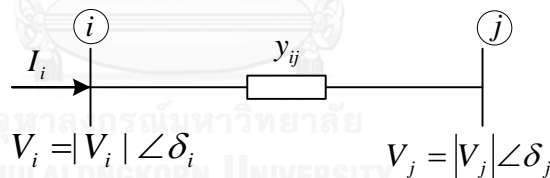
การวิเคราะห์ระบบด้วยการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้ามีความสำคัญอย่างยิ่งในการพิจารณาการละเมิดเงื่อนไขพิกัดต่างๆของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกจัดสรรกำลังการผลิตในระบบไฟฟ้าที่ชั่วสภาวะหนึ่งๆ วิธีที่ใช้ในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าคือวิธีของนิวตัน-ราฟสัน ซึ่งเป็นวิธีหาคำตอบที่รวดเร็ว มีประสิทธิภาพ น่าเชื่อถือและจำนวนรอบของการทำซ้ำไม่ขึ้นกับขนาดของระบบไฟฟ้า

เมื่อพิจารณาระบบไฟฟ้า N บัส ด้วยวิธีการตรวจพิจารณา (Inspection) สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่บัสกับกระแสที่ฉีดเข้าบัส (Bus injected current) ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & \dots & Y_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.41)$$

โดยที่

$$I_i = \sum_{j=1}^N Y_{ij} V_j = \sum_{j=1}^N |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.42)$$



ภาพที่ 2.18 บัสในระบบไฟฟ้ากำลัง

จากสมการที่ (2.42) กระแสที่ฉีดเข้าบัสที่ i ซึ่งเขียนในรูปของบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์ และจากภาพที่ 3.1 เราสามารถเขียนสมการของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน (Power flow equation) สู่ที่ไหลเข้าบัสที่ i ได้ดังนี้

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i = (|V_i| \angle -\delta_i) \sum_{j=1}^N |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.43)$$

เมื่อแยกพิจารณาส่วนจริงและส่วนจินตภาพของสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าจะได้

$$P_{i,calc} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.44)$$

$$Q_{i,calc} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.45)$$

กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกทีฟที่คำนวณได้ตามสมการที่ (2.44) และ (2.45) จะเท่ากับกำลังไฟฟารวมที่ได้รับการจัดสรรใช้ที่แต่ละบัส นั่นคือ

$$P_{i,calc}(|V|, \delta) - P_{i,sch} = 0 \quad (2.46)$$

$$Q_{i,calc}(|V|, \delta) - Q_{i,sch} = 0 \quad (2.47)$$

ผลเฉลยของสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าสามารถคำนวณได้ด้วยวิธีของนิวตัน-ราฟสัน โดยการจัดรูปแบบปัญหาดังสมการที่ (2.48)

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_1^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{1,calc}^{(k)}}{\partial P_1} & \dots & \frac{\partial P_{1,calc}^{(k)}}{\partial P_n} & \frac{\partial P_{1,calc}^{(k)}}{\partial |V_1|} & \dots & \frac{\partial P_{1,calc}^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_{n,calc}^{(k)}}{\partial P_1} & \dots & \frac{\partial P_{n,calc}^{(k)}}{\partial P_n} & \frac{\partial P_{n,calc}^{(k)}}{\partial |V_1|} & \dots & \frac{\partial P_{n,calc}^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_{1,calc}^{(k)}}{\partial P_1} & \dots & \frac{\partial Q_{1,calc}^{(k)}}{\partial P_n} & \frac{\partial Q_{1,calc}^{(k)}}{\partial |V_1|} & \dots & \frac{\partial Q_{1,calc}^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_{n,calc}^{(k)}}{\partial P_1} & \dots & \frac{\partial Q_{n,calc}^{(k)}}{\partial P_n} & \frac{\partial Q_{n,calc}^{(k)}}{\partial |V_1|} & \dots & \frac{\partial Q_{n,calc}^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_1^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta V_1^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta V_n^{(k)} \end{bmatrix} \quad (2.48)$$

จากเมตริกซ์ในสมการที่(2.48)สามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ย่อย ได้ดังสมการที่ (2.49)

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_i \\ \Delta |V_i| \end{bmatrix} \quad (2.49)$$

เราเรียกเมตริกซ์ $J = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix}$ ว่า เมตริกซ์จาโคเบียน (Jacobian Matrix) โดยสมาชิกในเมตริกซ์จาโคเบียน คือ อนุพันธ์ย่อยของสมการที่ (2.44) และ (2.45) ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังนี้ สมาชิกในแนวทแยงมุมและนอกทแยงมุมของ J_1 สามารถเขียนได้ดังสมการ (2.50) และ (2.51) ตามลำดับ

$$\frac{\partial P_{i,calc}}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.50)$$

$$\frac{\partial P_{i,calc}}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad ; \quad j \neq i \quad (2.51)$$

สมาชิกในแนวทแยงมุมและนอกทแยงมุมของ J_2 สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2.52) และ (2.53) ตามลำดับ

$$\frac{\partial P_{i,calc}}{\partial |V_i|} = 2|V_i||Y_{ij}| \cos \theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.52)$$

$$\frac{\partial P_{i,calc}}{\partial |V_j|} = |V_i||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad ; \quad j \neq i \quad (2.53)$$

สมาชิกในแนวทแยงมุมและนอกทแยงมุมของ J_3 สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2.54) และ (2.55) ตามลำดับ

$$\frac{\partial P_{i,calc}}{\partial |V_j|} = |V_i||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad ; \quad j \neq i \quad (2.54)$$

$$\frac{\partial Q_{i,calc}}{\partial \delta_j} = -|V_i||V_j||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad ; \quad j \neq i \quad (2.55)$$

สมาชิกในแนวทแยงมุมและนอกทแยงมุมของ J_4 สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2.56) และ (2.57) ตามลำดับ

$$\frac{\partial Q_{i,calc}}{\partial |V_i|} = -2|V_i||Y_{ij}| \sin \theta_{ii} - \sum_{j \neq i} |V_j||Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.56)$$

$$\frac{\partial Q_{i,calc}}{\partial |V_j|} = -|V_i||Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad ; \quad j \neq i \quad (2.57)$$

โดย $\Delta P_i^{(k)}$ และ $\Delta Q_i^{(k)}$ (Power mismatch) มีค่าดัง (2.58) และ (2.59) ตามลำดับ

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_{i,calc}^{(k)} \quad (2.58)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_{i,calc}^{(k)} \quad (2.59)$$

จากสมการต่างๆที่กล่าวมาข้างต้น สามารถแก้สมการเพื่อหาค่า $\Delta\delta_i$ และ $\Delta|V_i|$ ได้จากสมการที่ (2.60)

$$\begin{bmatrix} \Delta\delta_i \\ \Delta|V_i| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} \quad (2.60)$$

ค่าแรงดันที่ประมาณขึ้นใหม่จากวิธีนิวตัน-ราฟสันคือ

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)} \quad (2.61)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta|V_i^{(k)}| \quad (2.62)$$

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

2.3.2 การวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Unit Commitment)

การวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Unit commitment) ในระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ โดยทั่วไปจะวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างๆ ในระบบให้สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าเพียงพอต่อความต้องการทางไฟฟ้าในช่วงเวลาที่พิจารณา โดยจะต้องคำนึงถึงเงื่อนไขบังคับต่างๆ ของระบบไฟฟ้า เช่น พิกัดกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระยะเวลาการเดินหรือหยุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พิกัดแรงดันที่บัส และพิกัดกำลังไฟฟ้าในสายส่ง เป็นต้น การวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามักมีวิธีการหาค่าผลลัพธ์ของปัญหาด้วยวิธีการต่างๆ หลายวิธี ซึ่งสามารถสรุปพอสังเขปได้ดังนี้

1. วิธีเรียงตามลำดับ (Priority list)

การวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยวิธีนี้จะเลือกเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามลำดับที่กำหนดไว้ ซึ่งการเรียงลำดับนี้อาจทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับความต้องการของแต่ละระบบไฟฟ้า เช่น เรียงลำดับตามขนาดพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เรียงลำดับตามประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือเรียงลำดับตามราคาเชื้อเพลิงต่อหน่วยพลังงาน (THB/MWh) ฯลฯ การเรียงลำดับนี้อาจมีการตัดแปลงโดยคำนึงถึงลักษณะของโหลดความมั่นคงของระบบในพื้นที่ต่างๆ กำลังงานสูญเสียในสายส่ง ผลของของค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่อง เป็นต้น

2. วิธีโปรแกรมเชิงพลวัต (Dynamic programming)

วิธีโปรแกรมเชิงพลวัต (Dynamic programming) เป็นเทคนิคซึ่งแตกต่างจากวิธีโปรแกรมเชิงเส้น (Linear programming) วิธีนี้จะแบ่งการดำเนินงานนิคคอมมิตเมนต์ออกเป็นช่วงๆ แล้วหาคำตอบที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงการเปลี่ยนสถานะ (State) ในแต่ละเวลาด้วย วิธีโปรแกรมเชิงพลวัตมักให้คำตอบดีกว่าวิธีเรียงตามลำดับเพราะจำนวนสถานะที่วิธีนี้ตรวจสอบจะมีมากกว่า ยกตัวอย่างเช่น ระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 4 เครื่องจะมีสถานะที่เป็นไปได้ในการจ่ายโหลดที่เวลาหนึ่งๆ เท่ากับ $2^4 - 1 = 15$ และถ้าหากมีโหลดที่เวลาต่างๆ กันเป็นจำนวน 10 ช่วง จำนวนเส้นทาง (Strategy) ที่เป็นไปได้ทั้งหมดของการดำเนินงานนิคคอมมิตเมนต์จะมีค่าเท่ากับ $(2^4 - 1)^{10}$ ซึ่งเป็นค่าที่สูงมากทำให้การคำนวณหาต้นทุนการผลิตจากเส้นทางเหล่านี้ทั้งหมดเป็นไปได้ยาก โดยเฉพาะในระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายเครื่อง เนื่องจากต้องใช้เวลาในการคำนวณยาวนานมาก อย่างไรก็ตาม หากการค้นหาคำตอบนำเอาลำดับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมมาพิจารณาาร่วมด้วยก็จะช่วยลดขนาดของปัญหาลงไปได้มาก เพราะจำนวนสถานะที่เป็นไปได้จะลดลง เช่น

สถานะที่ 1 : เครื่องที่ 1

สถานะที่ 2 : เครื่องที่ 1 + เครื่องที่ 2

สถานะที่ 3 : เครื่องที่ 1 + เครื่องที่ 2 + เครื่องที่ 3

สถานะที่ 4 : เครื่องที่ 1 + เครื่องที่ 2 + เครื่องที่ 3 + เครื่องที่ 4

อย่างไรก็ตามการนำเอาวิธีเรียงตามลำดับมาใช้กับการทำโปรแกรมเชิงพลวัตมักจะทำให้ผลตอบที่ได้มีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าสูงกว่าการคำนวณตามเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดดังกล่าวข้างต้น

3. วิธีรีแลกเซชันแบบลากรองจ์ (Lagrangian relaxation)

วิธีนี้เป็นวิธีที่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ เนื่องจากสามารถแยกปัญหาชั้นต้นที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายเครื่องออกเป็นปัญหาย่อยๆ ได้ทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณลดลง พื้นฐานของวิธีรีแลกเซชันแบบลากรองจ์ (Lagrangian relaxation) มาจากเทคนิคการแก้ปัญหาแบบคู่ควบ (Dual optimization) โดยเทคนิคดังกล่าวจะเปลี่ยนรูปแบบของปัญหาพริมาล (Primal problem) ซึ่งเป็นปัญหาชั้นต้นให้เป็นรูปแบบของปัญหาคู่ควบ (Dual problem) ปัญหาทั้งสองนี้เป็นปัญหาที่สมมูลกัน การเปลี่ยนรูปแบบของปัญหาพริมาลให้เป็นแบบคู่ควบทำให้แยกปัญหาที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลายเครื่อง ออกเป็นปัญหาย่อยๆ ได้ในขณะที่รูปแบบของปัญหาพริมาลไม่สามารถกระทำได้ แต่เนื่องจากฟังก์ชันของปัญหายูนิตคอมมิตเมนต์ไม่เป็นคอนเวกซ์ฟังก์ชัน (Convex function) คำตอบที่ได้จากปัญหาคู่ควบจึงมีค่าแตกต่างจากคำตอบที่ได้จากปัญหาพริมาล เราสามารถพิสูจน์ได้ว่าคำตอบที่เหมาะสมของปัญหาคู่ควบจะเป็นขอบเขตล่างของปัญหาพริมาล การเบี่ยงเบนของค่าที่เหมาะสมของปัญหาคู่ควบจากผลลัพธ์ของปัญหาพริมาลเรียกว่าช่องว่างคู่ควบ (Duality gap) ซึ่งจะมีค่าน้อยลงเมื่อมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากขึ้น เราสามารถใช้ช่องว่างของคู่ควบตรวจสอบความสามารถในการเข้าสู่ของการแก้ปัญหาูนิตคอมมิตเมนต์ได้ และยังสามารถบอกได้ว่าคำตอบที่ได้มีแนวโน้มใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดเพียงใด

นอกจากวิธีการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างๆ ที่ได้กล่าวข้างต้นแล้ว ยังมีวิธีอื่นเช่น วิธีค้นหาตาบู อัลกอริทึมการรอบอ่อนจำลอง การหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยคโโลนิมด และเงินเนติก อัลกอริทึมหรือขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เป็นต้น

2.3.3 การจัดสรรกำลังการผลิต (Economic dispatch)

โดยปกติการทำยูนิตคอมมิตเมนต์จะต้องทำการจ่ายโหลดอย่างประหยัดหรือการจัดสรรกำลังผลิตควบคู่ไปด้วย เนื่องจากการจัดสรรกำลังผลิตเป็นปัญหาย่อย (Sub-problem) ของการทำยูนิตคอมมิตเมนต์ การจัดสรรกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างๆ ในระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ทั่วไปจะจัดสรรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เดินเครื่องอยู่ในระบบให้สามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอกับความต้องการทางไฟฟ้า โดยมีต้นทุนค่าเชื้อเพลิงน้อยที่สุด ซึ่งจะต้องอาศัยกระบวนการทางคณิตศาสตร์มาประยุกต์เพื่อหาคำตอบหรือกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างๆ

วิธีการหาคำตอบของปัญหาการจัดสรรกำลังผลิตมีด้วยกันหลายวิธีการ เช่น วิธี Lambda-iteration วิธี Gradient วิธี Newton วิธี Piecewise linear และ วิธี Quadratic programming [29, 31] เป็นต้น ซึ่งในการหาค่ากำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างๆ โดยอาศัยวิธีการเหล่านี้จะต้องพิจารณาเงื่อนไขบังคับในการจัดสรรกำลังผลิตด้วย เช่น กำลังผลิตสูงสุด-ต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขีดจำกัดการส่งกำลังงานในสายส่ง เสถียรภาพของระบบไฟฟ้า และการสูญเสียพลังงานในสายส่ง เป็นต้น

2.3.4 วิธีการค้นหาคำตอบในการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การแก้ปัญหาด้วยวิธีการค้นหาคำตอบ (Searching) เป็นเทคนิคทางปัญญาเชิงคำนวณ ซึ่งสามารถหาคำตอบของปัญหาหลายๆ อย่างได้ด้วยการค้นหา แทนที่จะเป็นการแก้ปัญหาโดยตรง วิธีการในการค้นหาคำตอบนั้นมีอยู่มากมายหลายวิธี แต่ละวิธีเหมาะสมและมีประสิทธิภาพกับระบบที่แตกต่างกันออกไป วิธีการค้นหาคำตอบแบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 2 กลุ่มได้แก่ การค้นหาแบบไม่ใช้ข้อมูลความรู้ (Uninformed search) และการค้นหาแบบใช้ข้อมูลความรู้ (Informed search)

การค้นหาแบบไม่ใช้ข้อมูลความรู้ นั้น เป็นกลยุทธ์การค้นหาที่ไม่มีการใช้ข้อมูลใดๆ มาช่วยในการค้นหาคำตอบ บางครั้งจะเรียกว่าการค้นหาแบบบอด (Blind search) ในขณะที่การค้นหาแบบใช้ข้อมูลความรู้จะมีลักษณะตรงกันข้ามกับการค้นหาแบบบอด กล่าวคือมีการนำเอาข้อมูลมาช่วยในการตัดสินใจว่าจะเลือกเส้นทางการค้นหาคำตอบอย่างไรให้ดีที่สุด ซึ่งหลักการในการค้นหาแบบนี้จะเรียกว่าการค้นหาแบบเชิงศึกษาสำนึก (Heuristic Search) ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนว่าการค้นหาแบบไม่ใช้ความรู้ นั้นมีประสิทธิภาพด้อยกว่าการค้นหาแบบใช้ความรู้ อย่างไรก็ตามการค้นหาแบบไม่ใช้ความรู้ก็ยังมีประโยชน์ในบางครั้ง โดยเฉพาะสำหรับหลายๆ ระบบที่ไม่มีข้อมูลใดๆ ให้ได้ใช้พิจารณาในขณะที่ทำการค้นหาคำตอบ

กลยุทธ์การค้นหาแบบใช้ความรู้เป็นกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพมากกว่าแบบไม่ใช้ความรู้ โดยการนำเอาข้อมูลซึ่งขึ้นอยู่กับรูปแบบของปัญหานั้นๆ มาพิจารณาในการค้นหาคำตอบ ทำให้เหมาะสมในการแก้ปัญหาหลายๆ อย่าง โดยเฉพาะปัญหาที่เป็นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งวิธีการค้นหาคำตอบเชิงศึกษาสำนึก ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหาที่ไม่เป็นโพลีโนเมียล (NP-Problem) เช่น ปัญหาการหาตำแหน่งที่เหมาะสม (Optimal location problem) ปัญหาการกำหนดเส้นทางการเดินทาง (Routing problem) หรือปัญหาการจัดตารางการผลิต (Production scheduling) ซึ่งเป็นการยากที่จะหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal solution) โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อปัญหานั้นเป็นปัญหาที่มีข้อมูลป้อนเข้าขนาดใหญ่ (NP-hard) การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดอาจใช้เวลาในการคำนวณนานมาก หรือเป็นไปได้ที่จะคำนวณหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นวิธีการค้นหาคำตอบเชิงศึกษาสำนึกจึงถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหาเพราะใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่ามาก ซึ่งวิธีการ

ค้นหาคำตอบเชิงศึกษาค้นคว้าที่นิยมใช้ในปัจจุบันได้แก่ วิธีค้นหาตาบู่ อัลกอริทึมการบออ่อนจำลอง การหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีอณาจักรมด ระเบียบวิธีทางพันธุกรรม เป็นต้น

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกใช้ระเบียบวิธีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm , GA) หรือ ขั้นตอนวิธีพันธุกรรม เป็นวิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบสุ่ม (Stochastic optimization) อย่างหนึ่งที่เลียนแบบหลักการถ่ายทอดทางพันธุกรรมทางธรรมชาติ (Natural genetics) เพื่อหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบวงกว้าง (Global optimum) โดยอาศัยการสมมติจุดคำตอบขึ้นมาหลายๆ จุดก่อน (Population of solutions) แล้วประยุกต์ใช้หลักการค้นหาจุดที่เหมาะสมที่สุดซึ่งมีโอกาที่จะอยู่รอดมากที่สุด (Survival of the fittest) เพื่อหาคำตอบที่ดียิ่งขึ้นในแต่ละรุ่นของการถ่ายทอด (Generation) สำหรับในแต่ละรุ่นของการถ่ายทอดจะมีการประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness) ของจุดคำตอบแต่ละจุด แล้วพิจารณาเลือกจุดคำตอบใหม่จากค่าความเหมาะสมนี้โดยอาศัยวิธีการคัดเลือกสายพันธุ์ วิธีการคัดเลือกดังกล่าวประกอบด้วย การคัดเลือก การข้ามสายพันธุ์และการผ่าเหล่า จุดคำตอบแต่ละจุดจะประกอบไปด้วยสตริง (String) ของตัวแปรที่ถูกเข้ารหัสไว้เรียกว่า โครโมโซม (Chromosomes) ซึ่งสามารถถอดรหัสเป็นค่าของตัวแปรจริงได้ โดยทั่วไปนิยมเข้ารหัสตัวแปรให้เป็นระบบเลขฐานสอง

ระเบียบวิธีทางพันธุกรรม [32] มีแนวคิดโดยสรุป คือ เมื่อนำโครโมโซมทั้งหมดมาประกอบกันจะเรียกว่า จีโนม (Genome) และเรียกกลุ่มของยีนในจีโนมนี้ว่า จีโนไทป์ (Genotype) หรือเรียกว่าแบบชนิด พันธุกรรม ซึ่งจีโนไทป์เหล่านี้จะแปลงไปเป็นอวัยวะของสิ่งมีชีวิตต่อไปเรียกว่า ฟิโนไทป์ (Phenotype) ตามทฤษฎีวิวัฒนาการสิ่งมีชีวิตที่แข็งแรงที่สุดจะมีโอกาสสืบทอดสายพันธุ์ที่แข็งแรงต่อไป การผสมยีนของพ่อและแม่จะทำให้เกิดลูกซึ่งคัดลอกยีนของพ่อแม่ที่ผสมกัน ทำให้เกิด สายพันธุ์ที่แข็งแรงยิ่งขึ้น บางครั้งการคัดลอกยีนของพ่อแม่ไม่สมบูรณ์ อาจทำให้เกิดการผ่าเหล่า (Mutation) ในรุ่นลูก การผ่าเหล่าทำให้สิ่งมีชีวิตมีโอกาสพัฒนาสายพันธุ์ใหม่ที่ยิ่งเข้มแข็งขึ้น หากการผ่าเหล่าทำให้เกิดสายพันธุ์ด้อย สายพันธุ์ด้อยจะไม่สืบทอดต่อไป

บทที่ 3

แนวทางที่นำเสนอสำหรับการวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริด ที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนร่วม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานประเภทแบตเตอรี่

แนวทางการวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยทั่วไป จะพิจารณาเพียงความสามารถในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดั้งเดิมให้เพียงพอต่อความต้องการทางไฟฟ้าเท่านั้น ซึ่งแนวทางดังกล่าวยังไม่เพียงพอต่อการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริด เนื่องด้วยไมโครกริดที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้ประกอบไปด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนร่วม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงานประเภทแบตเตอรี่ และพิจารณาความต้องการทางไฟฟ้าร่วมกับความต้องการทางความร้อน อีกทั้งควบคุมให้ไมโครกริดสามารถรักษาค่ากำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านเข้า-ออก ไมโครกริดให้ได้ตามที่กำหนดในแต่ละช่วงเวลาอีกด้วย แนวทางที่นำเสนอสำหรับการวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริด สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเด็นหลัก ได้แก่ (1) นิยามตัวแปร (2) ปัญหา และ (3) ระเบียบวิธีในการแก้ปัญหา ดังนี้

3.1 นิยามตัวแปร

$F_i(P_{G,i})$	คือ	ฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i (THB/hr)
a_i, b_i, c_i	คือ	สัมประสิทธิ์ค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า
$P_{G,i}$	คือ	กำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i (MW)
$Q_{G,i}$	คือ	กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่บัส i (MW)
U_i	คือ	ตรรกะที่แสดงสถานะ การใช้งานและไม่ใช้งานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีค่า 0, 1 ตามลำดับ
N_G	คือ	จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดในระบบ ($Unit$)
P_{set}	คือ	ระดับกำลังไฟฟ้าที่กำหนดเมื่อเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลัก (MW)
P_{tie}	คือ	กำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าหลักเมื่อมีการเชื่อมต่อ (MW)
α_i	คือ	ค่าถ่วงน้ำหนักของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ตัวที่ i
P_{batt}	คือ	กำลังไฟฟ้าที่ได้รับจากระบบกักเก็บพลังงาน (MW)
$P_{L,i}$	คือ	ความต้องการทางไฟฟ้าของบัสที่ i (MW)
N_L	คือ	จำนวนบัสที่มีความต้องการไฟฟ้าทั้งหมดในระบบ ($Unit$)

$P_{L,i}$	คือ	ความต้องการทางไฟฟ้าของบัสที่ i (MW)
$Q_{L,i}$	คือ	ความต้องการทางไฟฟ้าของบัสที่ i (MW)
N_{chp}	คือ	จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนรวม ($Unit$)
$H_{useful,i}$	คือ	ความร้อนที่เหลือจากการผลิตไฟฟ้า และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ ($MBtu / hr$)
$H_{L,j}$	คือ	ความต้องการทางความร้อนที่บัส j ($MBtu / hr$)
H_{losses}	คือ	ความร้อนสูญเสียเนื่องจากการส่งผ่านความร้อน ($MBtu / hr$)
$V_{min,k}$	คือ	ระดับแรงดันต่ำสุดของบัส k ($Volt$)
$V_{max,k}$	คือ	ระดับแรงดันสูงสุดของบัส k ($Volt$)
S_{ij}	คือ	กำลังไฟฟ้าปรากฏในสายส่งที่ไหลจากบัส i ไปยังบัส j
S_{ij}^{lim}	คือ	ขีดจำกัดการไหลของกำลังไฟฟ้าปรากฏในสายส่งที่ไหลจากบัส i ไปยังบัส j
τ	คือ	ค่าคงที่ทางเวลา (hr)
RU_i	คือ	กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถเพิ่มได้ในช่วงเวลาหนึ่ง (MW)
RD_i	คือ	กำลังไฟฟ้าต่ำสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถลดได้ในช่วงเวลาหนึ่ง (MW)
ΔE	คือ	ค่าพลังงานของระบบกักเก็บพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไป ($)$
E_{charge}^{max}	คือ	พิกัดพลังงานในการรับกำลังไฟฟ้าของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง i ($MWhr$)
$E_{discharge}^{max}$	คือ	พิกัดพลังงานในการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแหล่งเก็บพลังงานสำรอง i ($MWhr$)
SOC	คือ	ปริมาณประจุไฟฟ้าที่เหลืออยู่ต่อพิกัดประจุ ในระบบกักเก็บพลังงาน
a_i	คือ	สัมประสิทธิ์ค่าความร้อนในระบบผลิตความร้อน
$H_{load,j}$	คือ	ความต้องการทางความร้อนที่บัส j ($MBtu$)

3.2 รูปแบบปัญหา

วัตถุประสงค์ในการวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริด คือ การหาค่าใช้จ่ายต่ำสุดสำหรับการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละช่วงการพิจารณา โดยที่พิจารณาการเริ่ม/หยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อจัดสรรกำลังการผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการทางไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริด อีกทั้งยังต้องการให้ไมโครกริด สามารถควบคุมกำลังไฟฟ้าเข้า-ออกระหว่างไมโครกริดและระบบไฟฟ้าหลักให้เป็นไปตามที่กำหนดได้

ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถแบ่งได้ดังต่อไปนี้

- ค่าเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ เวลา t

$$F^t = \sum_{i=1}^{N_G} F_i(P_{G_i}^t) \cdot U_i^t \quad (3.1)$$

- ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ เวลา t

$$SU^t = \sum_{j=1}^{N_G} SU_j \cdot \max\{U_j^t - U_j^{t-1}, 0\} \quad (3.2)$$

- ค่าใช้จ่ายในการหยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ เวลา t

$$SD^t = \sum_{k=1}^{N_G} SD_k \cdot \max\{U_k^{t-1} - U_k^t, 0\} \quad (3.3)$$

- ค่าปรับโทษเนื่องจากการรบกวนระบบไฟฟ้าหลัก ณ เวลา t

$$PF^t = (P_{tie}^t - P_{set}^t)^2 \quad (3.4)$$

จากวัตถุประสงค์ในการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดและค่าใช้จ่ายดังกล่าวข้างต้น จึงสามารถสร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์ F_{all} ได้ดังนี้

$$\text{Min } F_{all} = \sum_t (\alpha_1 \cdot (F^t + SU^t + SD^t) + \alpha_2 \cdot PF^t) \quad (3.5)$$

โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ข้างต้นประกอบด้วยเงื่อนไขบังคับ (Constraints) ดังต่อไปนี้

- กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าร์แอกทีฟที่ผลิตได้ต้องสมดุลกับความต้องการทางไฟฟ้าในระบบ

$$\forall t \forall i, \quad P_{G_i}^t + P_{batt}^t + P_{tie}^t - P_{L_i}^t = \sum_{k=1}^{N_L} |V_i^t| |V_k^t| |Y_{ik}^t| \cos(\delta_i^t - \delta_k^t - \theta_{ik}) \quad (3.6)$$

$$\forall t \forall i, \quad Q_{G_i}^t - Q_{L_i}^t = \sum_{k=1}^{N_L} |V_i^t| |V_k^t| |Y_{ik}^t| \sin(\delta_i^t - \delta_k^t - \theta_{ik}) \quad (3.7)$$

โดยที่ $P_{batt}^t > 0$ หมายถึง แหล่งเก็บพลังงานสำรองจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบ ณ เวลา t

$P_{batt}^t < 0$ หมายถึง แหล่งเก็บพลังงานสำรองรับกำลังไฟฟ้าจากระบบ ณ เวลา t

ii. ขนาดของแรงดันที่แต่ละบัสต้องอยู่ในช่วงของพิกัดการทำงาน

$$\forall t \forall k, \quad V_{min,k} \leq V_k^t \leq V_{max,k} \quad (3.8)$$

iii. กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลในสายส่งจะต้องมีค่าไม่เกินพิกัดของสายส่งแต่ละเส้น

$$\forall t, \quad |S_{ij}^t| \leq S_{ij}^{lim} \quad (3.9)$$

iv. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะเพิ่ม-ลดกำลังการผลิตไฟฟ้าได้ไม่เกินพิกัดในช่วงเวลาหนึ่ง

$$\forall t \forall i, \quad P_i^t \leq \min(U_i^t \cdot P_i^{max}, U_i^{t-1} \cdot P_i^{t-1} + \tau \cdot RU_i) \quad (3.10)$$

$$\forall t \forall i, \quad P_i^t \geq \max(U_i^t \cdot P_i^{min}, U_i^{t-1} \cdot P_i^{t-1} - \tau \cdot RD_i) \quad (3.11)$$

v. ระบบกักเก็บพลังงานจะสามารถจ่ายหรือรับพลังงานได้สูงสุดไม่เกินค่าพิกัดของระบบกักเก็บพลังงานนั้น

$$\forall t, \quad 0.3 \cdot SOC_{max} \leq SOC^t \leq SOC_{max} \quad (3.12)$$

$$\forall t, \quad P_{batt}^t \cdot \frac{t}{T} \leq E_{Charge} \quad (3.13)$$

$$\forall t, \quad -P_{batt}^t \cdot \frac{t}{T} \leq E_{Discharge} \quad (3.14)$$

เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าความร้อนรวมจะอยู่ในรูปของ useful heat เพื่อนำไปจ่ายให้แหล่งความต้องการทางความร้อน หากมีการส่งผ่านความร้อนจากบัสหนึ่งไปยังอีกบัสหนึ่งจะเกิดการสูญเสียความร้อนไปเนื่องจากแรงเสียดทานและการพาความร้อน พลังงานความร้อนที่เหลือจากการผลิตไฟฟ้าสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังแสดงในหัวข้อที่ 2 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปอย่างง่าย ดังแสดงในสมการที่ (3.15) ดังนี้

$$\forall t, \quad H_{useful,i}^t = a_0 + a_1 P_i^t + a_2 P_i^{t^2} \quad (3.15)$$

โดยให้ H_{loss} มีค่าเท่ากับ 2% ของค่าความต้องการทางความร้อนที่ส่งผ่านท่อส่งความร้อน (H_{trans}) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\forall t, \quad H_{loss}^t = 0.02 \cdot H_{trans}^t \quad (3.16)$$

$$\forall t, \quad H_{trans_k}^t = \max\{H_{D_k}^t - H_{G_k}^t, 0\} \quad (3.17)$$

ดังนั้นเงื่อนไขในการจัดสรรพลังงานความร้อนในไมโครกริดสามารถจัดรูปได้ดังต่อไปนี้

$$\forall t, \quad \sum_{i=1}^{n_{CHP}} H_{useful,i}^t \geq \sum_{j=1}^{n_{Load}} H_{load,j}^t + H_{loss}^t \quad (3.18)$$

3.3 ระเบียบวิธีในการแก้ปัญหา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมร่วมกับวิธีแก้ปัญหาต่างๆ ได้แก่ วิธีเรียงตามลำดับ การแก้ปัญหาชนิดสุดแบบควอดราติกโดยละเอียดเงื่อนไขบังคับบางข้อเพื่อใช้ในการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งขั้นตอนวิธีดังกล่าวเรียกว่าขั้นตอนวิธีประเภทศึกษาสำนึก (Heuristic algorithm) อย่างหนึ่ง หลักการถ่ายทอดทางพันธุกรรมทางธรรมชาติ (Natural genetics) และหาค่าเหมาะสมโดยรวม (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

3.3.1 การลงรหัสและการถอดรหัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ในการหาคำตอบของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม การเลือกวิธีลงรหัสที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกการลงรหัสแบบเลขฐานสอง (Binary Code) ซึ่งจะประกอบด้วยเลข 0 และ 1 เท่านั้น อย่างไรก็ตามในการวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำเป็นต้องแบ่งชุดโครโมโซมออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ สถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และ กำลังไฟฟ้าที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การกำหนดสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะใช้ '0' แทนสถานะหยุดเดินเครื่องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และ '1' แทนสถานะเดินเครื่องของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตัวอย่างแสดงสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกๆ 15 นาทีเป็นเวลา 6 ชม. สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการลงรหัสโครโมโซมแสดงสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 และ 2

ชั่วโมงที่	1				2				3				4				5				6							
Gen 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Gen 2	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1

การกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายให้อยู่ในรูปเลขฐานสอง ต้องกำหนดความละเอียดของข้อมูล (*resolution: r*) ดังนั้นการพิจารณาจำนวนบิต (*nBit*) ที่ใช้สามารถพิจารณาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$2^{nBit_i} = (P_{max,i} - P_{min,i}) * 10^r \quad (3.19)$$

$$nBit_i = \lceil \log_2((P_{max,i} - P_{min,i}) * 10^r) \rceil + 1 \quad (3.20)$$

โดย $P_{max,i}$ คือ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i

$P_{min,i}$ คือ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i

ตัวอย่างการลงรหัสตัวแปรเป็นเลขจำนวนเต็มแล้วแปลงเป็นเลขฐานสองและตัวอย่างโครโมโซม หากเรามีตัวแปรต่อเนื่อง x ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง -1 ถึง 1 และตัวแปรต่อเนื่อง y ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 3 และต้องการความละเอียดถึงทศนิยมตำแหน่งที่ 2 ในการคำนวณ ตัวแปร x ในช่วง -1 ถึง 1 จึงควรถูกแบ่งออกเป็นอย่างน้อย $(1 - (-1)) * 100 = 200$ ช่วงย่อย และตัวแปร y ในช่วง

0 ถึง 3 จึงควรถูกแบ่งเป็นอย่างน้อย $(3 - 0) \cdot 100 = 300$ ช่วงย่อย นั่นหมายถึงตัวแปร x และ y ต้องใช้โครโมโซมที่มีความยาว 8 บิตและ 9 บิต ตามลำดับ เนื่องจาก

$$128 = 2^7 < 200 < 2^8 = 256 \text{ และ } 256 = 2^8 < 300 < 2^9 = 512$$

หลังจากกำหนดความยาวของโครโมโซมในแต่ละตัวแปรแล้วจึงนำมาลงรหัสด้วยโครโมโซมเลขฐานสอง ดังภาพที่ 3.

1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

ตัวแปร x

ตัวแปร y

ภาพที่ 3.1 ตัวอย่างการลงรหัสด้วยโครโมโซมเลขฐานสอง

3.3.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น

การสร้างประชากรเริ่มต้น คือ การหารูปแบบต่างๆที่เป็นไปได้ของโครโมโซม เพื่อให้กระบวนการทางพันธุกรรมสามารถดำเนินต่อไปได้ โดยชุดคำตอบที่ใช้ในการเริ่มต้นนี้จะต้องมีจำนวนมากเพียงพอเพื่อให้เกิดความหลากหลายของชุดคำตอบและครอบคลุมชุดคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตามวิธทางพันธุกรรมเป็นวิธีที่ใช้เวลาในการคำนวณนาน ดังนั้นการสร้างประชากรเริ่มต้นต้องมีจำนวนไม่มากเกินไป วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวิธีการสร้างประชากรเริ่มต้น 2 วิธี ดังนี้

1. วิธีเรียงลำดับ (Merit Order)

การสร้างชุดโครโมโซมเริ่มต้นของสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถแสดงได้ดังนี้

$$AFLC_i = F_i(P_{max,i})/P_{max,i} \quad (3.21)$$

โดย $AFLC_i$ คือ ค่าเฉลี่ยเพลิงในการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i ที่พิกัด (Baht/kW)

F_i คือ ค่าเฉลี่ยเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i (Baht)

$P_{max,i}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i

จากสมการที่ (3.21) นำค่า $AFLC$ ที่ได้มาโดยเรียงลำดับจากค่าน้อยไปหามาก จากนั้นนำความต้องการทางไฟฟ้าเมื่อหักกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมาพิจารณา ร่วมกับค่า $AFLC$ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการลงรหัสโครโมโซมแสดงสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยวิธี AFLC

Unit	P_{max}	$AFLC$	Order	P_{load}	1200	1500	1800	2000	2250
1	100	100	5	0	0	0	0	0	1
2	800	30	2	1	1	1	1	1	1
3	200	50	3	0	0	0	1	1	1
4	1000	20	1	1	1	1	1	1	1
5	200	60	4	0	0	0	1	1	1

เมื่อได้สถานะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องทุกๆช่วงเวลา เราจะหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องต้องจ่าย โดยอาศัยวิธีการดังนี้

1) สร้างประชากรเริ่มต้นของค่ากำลังไฟฟ้าใช้การสุ่มบิต '0' หรือ '1' ในแต่ละบิต (P_r) โดยใช้ค่าความน่าจะเป็นที่มีการกระจายตัวแบบสม่ำเสมอ (Unity Probability) ความน่าจะเป็นที่ตัวเลขแต่ละบิตจะเท่ากับ 1 มีค่าเท่ากับ P_{set} กล่าวคือ $P_r > P_{set}$ จะทำให้ค่าตัวเลขฐานสองนั้นมีค่าเท่ากับ 1

2) สร้างประชากรเริ่มต้นด้วยวิธี Quadratic programming โดยใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่มีสถานะการทำงานเป็น 'on' นำมาเข้า MATLAB tool 'Quadratic Programming' เพื่อจัดสรรกำลังการผลิตให้มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด โดยละเลยเงื่อนไขบังคับบางเงื่อนไขที่ไม่เป็นสมการเชิงเส้น คือ

- i. เงื่อนไขบังคับเกี่ยวกับความร้อน เนื่องจาก H_{losses}^t ไม่เป็นสมการเชิงเส้น
- ii. ขนาดของแรงดันที่แต่ละบัสต้องอยู่ในช่วงของพิกัดการทำงาน
- iii. กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลในสายส่งจะต้องมีค่าไม่เกินพิกัดของสายส่งแต่ละเส้น

2. วิธีการประยุกต์ใช้การหาค่าความเหมาะสมโดย Quadratic programming

วิธีการประยุกต์ใช้การหาค่าความเหมาะสมโดย Quadratic programming มีวิธีการดังต่อไปนี้

การสร้างสถานะการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยใช้ MATLAB tool ‘Quadratic Programming’ ทำได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) กำหนดค่า P_{min} ให้มีค่าเท่ากับ 0 และสถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกตัวเป็น ‘on’
- 2) หาค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องด้วยวิธี Quadratic Programming โดยมีเงื่อนไขบังคับเช่นเดียววิธีการ Merit order
- 3) พิจารณาค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจ่ายออกมาที่มีค่าน้อยกว่าค่า P_{min} ให้สถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าวมีค่าเป็น ‘off’
- 4) กำหนดค่า P_{min} ให้เท่ากับค่าเดิมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากนั้นจึงหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมด้วยวิธี Quadratic Programming อีกครั้งหนึ่ง

3.3.3 การประเมินค่าความเหมาะสม

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการการวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดโดยมีค่าใช้จ่ายในการใช้เชื้อเพลิงเพื่อเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าน้อยที่สุด และลดการรบกวนระบบไฟฟ้าหลักที่เกิดจากไมโครกริด การประมาณค่าความเหมาะสมสามารถประเมินได้จากการถอดรหัสทางพันธุกรรมของโครโมโซม เพื่อนำมาคำนวณค่าความเหมาะสมและค่าปรับโทษจากการละเมิดเงื่อนไขบังคับต่างๆ

การประเมินค่าความเหมาะสมได้ถูกปรับปรุงโดยมีค่าปรับโทษ (Penalty) มาช่วยในการคำนวณพร้อมกับค่าถ่วงน้ำหนักของแต่ละเงื่อนไข (w) เพื่อให้เงื่อนไขบังคับต่างๆ ในวิธีขั้นตอนทางพันธุกรรมเข้าสู่คำตอบได้อย่างถูกต้องและรวดเร็วมากยิ่งขึ้น ค่าความเหมาะสมสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$Fitness = -F_{all} - Penalty \quad (3.22)$$

โดยที่

$$Penalty = penPQ + penHD + penMC + penHC + penRU + penRD + penV + penSij + PenES \quad (3.23)$$

- 1) ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขความเพียงพอต่อภาระทางไฟฟ้าในระบบ (*penPQ*)

$$penPQ = w_{PQ} * \sum_{t=1}^{nT} \left(P_L^t - \sum_{i=1}^{nG} U_i^t * P_i^t \right) \quad (3.24)$$

- 2) ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขความเพียงพอต่อภาระทางความร้อนในระบบ (*penHD*)

$$penHD = w_{HD} * \sum_{t=1}^{nT} \left(H_L^t - \sum_{i=1}^{nC} U_i^t * H_{useful,i}^t \right) \quad (3.25)$$

- 3) ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขละเมิดกำลังผลิตต่ำสุด (*penMC*)

$$penMC = w_{MC} * \sum_{t=1}^{nT} \left(\sum_{i=1}^{nG} U_i^t * \max\{0, P_{min,i} - P_i^t\} \right) \quad (3.26)$$

- 4) ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขละเมิดกำลังผลิตสูงสุด (*penHC*)

$$penHC = w_{HC} * \sum_{t=1}^{nT} \left(\sum_{i=1}^{nG} U_i^t * \max\{0, P_i^t - P_{max,i}\} \right) \quad (3.27)$$

- 5) ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขพิกัดการเพิ่ม/ลดกำลังไฟฟ้า (*penRU, penRD*)

$$penRU = w_{RU} * \sum_{t=1}^{nT} \left(\sum_{i=1}^{nG} U_i^t * \max\{0, Ramp_i^t - RU_i\} \right) \quad (3.28)$$

$$penRD = w_{RD} * \sum_{t=1}^{nT} \left(\sum_{i=1}^{nG} U_i^t * \min\{0, Ramp_i^t + RD_i\} \right) \quad (3.29)$$

โดยที่ $Ramp_i^t = P_i^{t-1} - P_i^t$ (3.30)

- 6) ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขพิกัดแรงดันไฟฟ้าแต่ละบัส (*penV*)

$$penV = w_v * \sum_{t=1}^{nT} \left(\sum_{i=1}^{nBus} (\max\{0, v_i^t - v_{max,i}\}) + (\max\{0, v_{min,i} - v_i^t\}) \right) \quad (3.31)$$

7) ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขพิกัดกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่ง ($penSij$)

$$penSij = w_s * \sum_{t=1}^{nT} \left(\sum_{i=1}^{nLine} (\max\{0, S_i^t - S_{max,i}\}) + (\max\{0, S_{min,i} - S_i^t\}) \right) \quad (3.32)$$

8) ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขพิกัด minimum up/down time ($penMU, penMD$)

$$U_i^t = 1 \text{ ถ้า } 1 \leq x_i^t \leq MU_i \quad (3.33)$$

$$U_i^t = 0 \text{ ถ้า } -MD_i \leq x_i^t \leq -1 \quad (3.34)$$

$$penMU = \max\{0, MU_i - X_i^j\} \text{ เมื่อ } X_i^j > 0 \quad (3.35)$$

$$penMD = \max\{0, MD_i + X_i^j\} \text{ เมื่อ } X_i^j < 0 \quad (3.36)$$

โดยที่ X_i^j คือค่าสูงสุดของ x_i^t ในแต่ละรอบที่ j ก่อนการเปลี่ยนสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เครื่องที่ i แสดงได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

U_i	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0
-------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

ภาพที่ 3.2 ตัวอย่างรหัสโครโมโซมแสดงสถานะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากตารางเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 1 จะได้ค่า $X_1^1 = 4, X_1^2 = -2, X_1^3 = 6, X_1^4 = -3$ จากนั้น นำค่า X_i^j แต่ละค่ามาคำนวณหาค่าปรับโทษจากสมการที่ (3.33) - (3.36) ในลำดับถัดไป

9) ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขพิกัดพลังงานของระบบกักเก็บพลังงาน ($penES$)

$$penES = w_{ES} * \sum_{t=1}^{nT} (\max\{0, SOC^t - SOC_{max}\} + \min\{0, SOC^t - SOC_{min}\}) \quad (3.37)$$

ขั้นตอนการประเมินค่าความเหมาะสมเป็นกระบวนการหนึ่งที่อยู่ในขั้นตอนวิธีพันธุกรรม ซึ่งมีหน้าที่พิจารณาความเหมาะสมของการวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละชุดคำตอบ สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

- | | |
|---------------|--|
| ขั้นตอนที่ 1 | รับค่าชุดโครโมโซมที่ต้องการประเมินหาค่าความเหมาะสม |
| ขั้นตอนที่ 2 | คำนวณค่าวัตถุประสงค์ของแต่ละโครโมโซม |
| ขั้นตอนที่ 3 | ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขความเพียงพอต่อภาระทางไฟฟ้า |
| ขั้นตอนที่ 4 | คำนวณหาค่าพลังงานความร้อนที่ผลิตได้ และพิจารณาค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขความเพียงพอต่อภาระทางความร้อนในระบบ |
| ขั้นตอนที่ 5 | ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขละเมิดกำลังผลิตต่ำสุด |
| ขั้นตอนที่ 6 | ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขละเมิดกำลังผลิตสูงสุด |
| ขั้นตอนที่ 7 | ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขพิกัดการเพิ่ม/ลดกำลังไฟฟ้า |
| ขั้นตอนที่ 8 | ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขพิกัด minimum up/down time |
| ขั้นตอนที่ 9 | ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขพิกัดพลังงานของระบบกักเก็บพลังงาน |
| ขั้นตอนที่ 10 | ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขพิกัดแรงดันไฟฟ้าแต่ละบัส |
| ขั้นตอนที่ 11 | ค่าปรับโทษจากการพิจารณาเงื่อนไขพิกัดกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่ง |
| ขั้นตอนที่ 12 | คำนวณค่าความเหมาะสมของทุกโครโมโซมตามสมการที่ (3.22) - (3.37) |

3.3.4 การคัดเลือกสายพันธุ์

ขั้นตอนนี้จะเลือกโครโมโซมในกลุ่มประชากรโดยจะพิจารณาจากค่าความเหมาะสมของโครโมโซมแต่ละตัว ถ้าโครโมโซมใดมีค่าความเหมาะสมสูงก็มีโอกาสที่จะถูกเลือกมาก ส่วนโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมต่ำก็มีโอกาสถูกเลือกน้อย ซึ่งอธิบายได้ดังสมการที่ (3.38) ตารางที่ 3.3 แสดงตัวอย่างการสัดส่วนความเหมาะสมของโครโมโซมจำนวน 4 ตัว การเลือกโครโมโซมจะทำโดยสุ่มหาอันดับของโครโมโซมตามจำนวนโครโมโซม (4 ครั้ง) โครโมโซมอันดับที่ถูกสุ่มนั้นจะได้รับการคัดเลือกให้เป็นตัวแทนของประชากรทั้งหมดหลักการนี้เรียกว่า วิธีวงล้อรูเล็ตต์

$$P_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i} * 100 \quad (3.38)$$

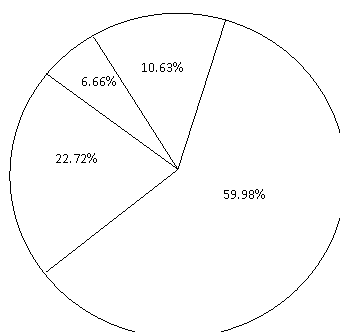
โดย f_i คือ ค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม

n คือ จำนวนประชากรโครโมโซมทั้งหมด (Population Size)

P_i คือ โอกาสของโครโมโซมที่ถูกเลือก (Probability of Selection)

ตารางที่ 3.3 สัดส่วนความเหมาะสมของโครโมโซม

ลำดับที่	โครโมโซม	ค่าความเหมาะสม	อันดับความเหมาะสม	โอกาสที่จะถูกเลือก
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



ภาพที่ 3.3 การคัดเลือกวิธีวงล้อรูเล็ตต์

3.3.5 การข้ามสายพันธุ์

การข้ามสายพันธุ์เป็นขั้นตอนหนึ่งในขั้นตอนวิธีพันธุกรรมเพื่อหาคำตอบ ในส่วนนี้จะกล่าวถึง การข้ามสายพันธุ์ของสถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1. การข้ามสายพันธุ์ของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โดยทั่วไปการข้ามสายพันธุ์ที่นิยมใช้จะเป็นการข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ อย่างไรก็ตาม การข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธีนี้อาจเกิดการละเมิดเงื่อนไขบังคับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ จึงต้องมีการปรับปรุงการข้ามสายพันธุ์ให้เหมาะสม ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ และการปรับปรุงการข้ามสายพันธุ์เพื่อประยุกต์ใช้กับปัญหาอย่างเหมาะสม

การข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์

การข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน โดยในขั้นแรก เรา จะสุ่มเลือกโครโมโซมที่จะข้ามสายพันธุ์ขึ้นมาคู่หนึ่งก่อนเรียกว่าโครโมโซมพ่อแม่ จากนั้นในขั้นตอนที่สอง จะทำการสุ่มเลขระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นมาโดยถ้าเลขสุ่มดังกล่าวมีค่าต่ำกว่าความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ก็จะไม่ทำการข้ามสายพันธุ์ แต่ถ้าเลขสุ่มดังกล่าวสูงกว่าความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ก็จะทำการข้ามสายพันธุ์ สรุปคือการข้ามสายพันธุ์จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขดังสมการที่ (3.39)

$$P_R > P_C \quad (3.39)$$

เมื่อ P_R คือ ความน่าจะเป็นที่ถูกสุ่มขึ้นมาในแต่ละคู่โครโมโซม

P_C คือ ความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์

ในกรณีที่ต้องมีการข้ามสายพันธุ์ ในขั้นตอนที่สาม จะทำการสุ่มบิตโครโมโซม 0 ถึง 1 ที่มี ความยาวเท่ากับความยาวบิตของโครโมโซมพ่อแม่ขึ้นมาชุดหนึ่ง จากนั้นถ้าตำแหน่งใดของบิตโครโมโซมที่สุ่มขึ้นมาเป็นค่าเป็น 1 ก็จะทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนบิตตำแหน่งนั้นระหว่างโครโมโซมพ่อแม่คู่นั้น ถ้าตำแหน่งใดของบิตสตริงที่สุ่มขึ้นมาเป็นค่าเป็น 0 ก็จะไม่แลกเปลี่ยนบิตตำแหน่งนั้นเหมือนเดิมดังแสดงในภาพที่ 3.4 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

ภาพที่ 3.4 การข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์

จากหลักการดังกล่าวจะเห็นว่าการทำงานยูนิฟอร์มครอสโอเวอร์เป็นการข้ามสายพันธุ์ที่ทุกบิตในโครโมโซมมีโอกาสที่จะแลกเปลี่ยนบิตกับโครโมโซมอื่นๆเท่าเทียมกัน ดังนั้นการข้ามสายพันธุ์วิธีนี้จะได้ผลลัพธ์ที่ไม่ขึ้นกับตำแหน่งข้ามสายพันธุ์หรือความยาวบิตของโครโมโซมพ่อแม่

2. การข้ามสายพันธุ์ของสถานะเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การปรับปรุงการข้ามสายพันธุ์เพื่อประยุกต์ใช้กับปัญหาอย่างเหมาะสม

จากที่ได้กล่าวไว้ปัญหาการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงเงื่อนไข Minimum UP และ Minimum DOWN ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หากใช้หลักการข้ามสายพันธุ์แบบทั่วไปหรือการข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์อาจทำให้มีการละเมิดเงื่อนไขดังกล่าวได้ ดังนั้นจึงต้องมีการประยุกต์การข้ามสายพันธุ์เพื่อใช้กับปัญหาการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนในการข้ามสายพันธุ์แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน เช่นเดียวกับการข้ามสายพันธุ์ด้วยวิธียูนิฟอร์มครอสโอเวอร์ อย่างไรก็ตาม ในกรณีที่ต้องมีการข้ามสายพันธุ์หรือขั้นตอนที่สามเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกเลือกให้ข้ามสายพันธุ์จะทำการแลกเปลี่ยนบิตทั้งหมดที่แทนรหัสตัวแปรของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระหว่างโครโมโซมพ่อแม่ ดังแสดงในภาพที่ 3.5

	Unit 1							Unit 2						
โครโมโซมพ่อแม่1	1	1	1	...	1	1	1	0	0	0	...	1	1	1
โครโมโซมพ่อแม่2	0	0	0	...	1	1	1	1	1	1	...	1	1	1
โครโมโซมสุ่ม	1							0						
โครโมโซมลูก1	0	0	0	...	1	1	1	0	0	0	...	1	1	1
โครโมโซมลูก2	1	1	1	...	1	1	1	1	1	1	...	1	1	1

ภาพที่ 3.5 การข้ามสายพันธุ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

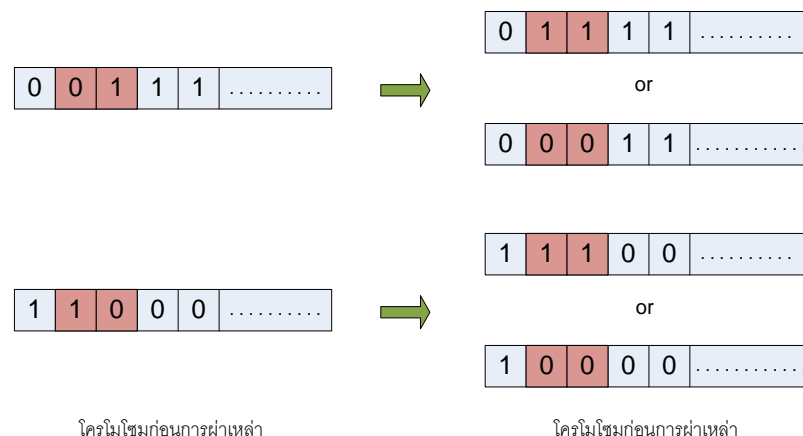
3.3.6 การผ่าเหล่า (Mutation)

เป็นกระบวนการที่ป้องกันการลู่เข้าก่อนกำหนดและไม่ให้สูญเสียข้อมูลที่สำคัญบางอย่างไป ในระหว่างกระบวนการถ่ายทอด สำหรับการผ่าเหล่าที่ใช้ในปัญหานี้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ การผ่าเหล่าสำหรับโครโมโซมตัวแปร $U_i(t)$ และการผ่าเหล่าสำหรับโครโมโซมตัวแปร $P_i(t)$

สำหรับการผ่าเหล่าของตัวแปร $U_i(t)$ มีขั้นตอนดังนี้

1. Single Point Mutation

- หาดำแหน่งของโครโมโซมที่มีบิต 0 1 หรือ 1 0
- สุ่มเลขในช่วง 0 ถึง 1 ขึ้นมาค่าหนึ่ง (P_r)
- เปรียบเทียบเลขที่สุ่มกับความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่า (P_m)
- ถ้าเลขที่สุ่มมีค่าต่ำกว่าความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่าบิตตำแหน่งนั้นก็จะไม่ผ่าเหล่า แต่ถ้าเลขที่สุ่มในบิตตำแหน่งใดมีค่าสูงกว่าความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่าก็จะผ่าเหล่าที่บิตนั้น โดยเปลี่ยนบิตที่ตำแหน่งนั้นจาก 0 1 หรือ 1 0 เป็น 0 0 หรือ 1 1 อย่างใดอย่างหนึ่ง
- ตัวอย่างการผ่าเหล่าของตัวแปร $U_i(t)$ แสดงดังภาพที่ 3.6



โครโมโซมก่อนการผ่าเหล่า

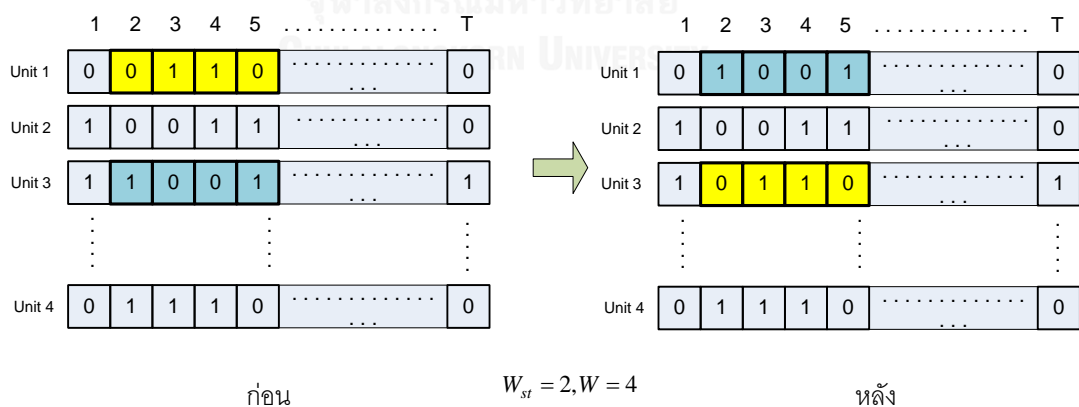
โครโมโซมก่อนการผ่าเหล่า

ภาพที่ 3.6 ตัวอย่างการผ่าเหล่าของตัวแปร $U_i(t)$

2. Swap-window operator

Swap-window operator เป็นวิธีการแลกเปลี่ยนบิตซึ่งเป็นกระบวนการทางพันธุกรรมที่ใช้สำหรับตัวแปร $U_i(t)$ โดยจะใช้กับประชากรทุกตัวในแต่ละรอบของกระบวนการทางพันธุกรรม มีขั้นตอนดังนี้

- i. สุ่มเลขในช่วง 0 ถึง 1 ขึ้นมาค่าหนึ่ง (P_r)
- ii. เปรียบเทียบเลขที่สุ่ม (P_r) กับค่าความน่าจะเป็นของการแลกเปลี่ยนบิต (P_{sw}) ถ้า $P_r \leq P_{sw}$ ก็จะไม่แลกเปลี่ยนบิต แต่ถ้า $P_r > P_{sw}$ ก็จะแลกเปลี่ยนบิตตามขั้นตอนข้อต่อไป
- iii. เลือกโครโมโซมสถานะการปฏิบัติงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขึ้นมา 2 ชุด (โครโมโซมแต่ละชุดประกอบด้วยตัวแปร $U_i(1) - U_i(T)$)
- iv. สุ่มขนาดความยาวบิต (W) ในช่วง 1 ถึง T มาหนึ่งค่า
- v. สุ่มตำแหน่งเริ่มต้น (W_{st}) ในช่วง 1 ถึง $T-W$
- vi. ทำการแลกเปลี่ยนบิตของโครโมโซมทั้งสองชุดโดยเริ่มแลกเปลี่ยนบิตตั้งแต่ตำแหน่งเริ่มต้น (W_{st}) ตลอดช่วงความยาวบิต (W)
- vii. ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนบิตโดยวิธี Swap-window operator แสดงดังภาพที่ 3.7

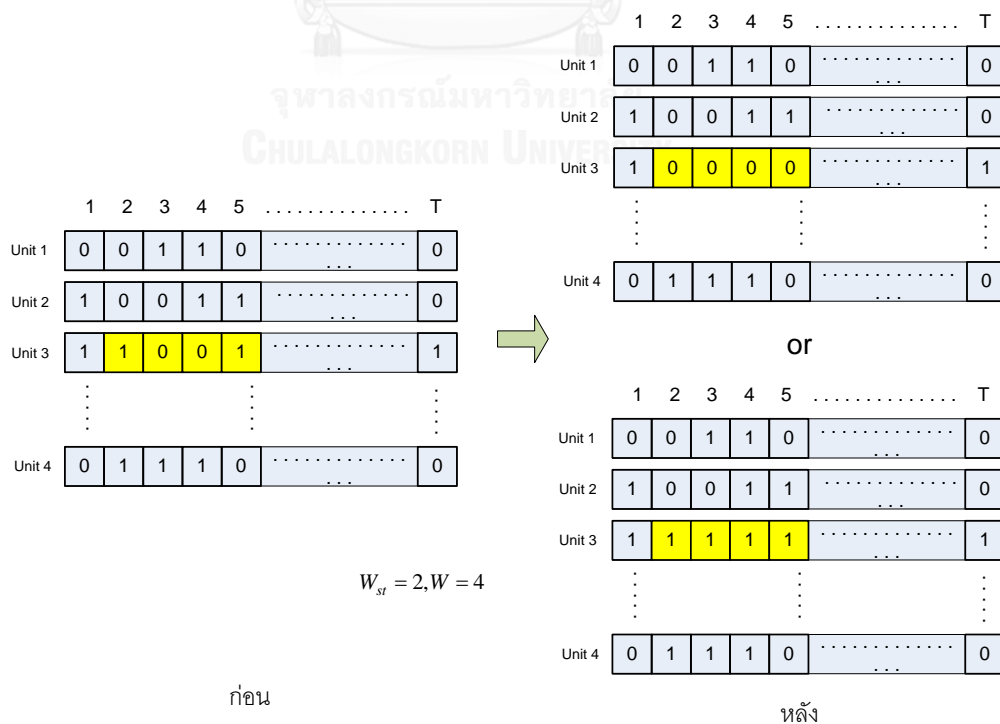


ภาพที่ 3.7 ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนบิตโดยวิธี Swap-window operator

3. Window-mutation operator

Window-mutation operator เป็นวิธีการกำหนดบิตซึ่งเป็นกระบวนการทางพันธุกรรมที่ใช้สำหรับตัวแปร $U_i(t)$ โดยจะใช้กับประชากรทุกตัวในแต่ละรอบของกระบวนการทางพันธุกรรม มีขั้นตอนดังนี้

- i. สุ่มเลขในช่วง 0 ถึง 1 ขึ้นมาค่าหนึ่ง (P_r)
- ii. เปรียบเทียบเลขที่สุ่ม (P_r) กับค่าความน่าจะเป็นของการกำหนดบิต (P_w) ถ้า $P_r \leq P_w$ ก็จะไม่กำหนดบิต แต่ถ้า $P_r > P_w$ ก็จะทำการกำหนดบิตตามขั้นตอนข้อต่อไป
- iii. เลือกโครโมโซมสถานะการปฏิบัติงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขึ้นมา 1 ชุด (โครโมโซมประกอบด้วยตัวแปร $U_i(1) - U_i(T)$)
- iv. สุ่มขนาดความยาวบิต (W) ในช่วง 1 ถึง T มาหนึ่งค่า
- v. สุ่มตำแหน่งเริ่มต้น (W_{st}) ในช่วง 1 ถึง $T-W$
- vi. กำหนดบิตของโครโมโซมให้เป็น 0 หรือ 1 เหมือนกันทั้งหมดตั้งแต่ตำแหน่งเริ่มต้น (W_{st}) ตลอดช่วงความยาวบิต (W)
- vii. ตัวอย่างการกำหนดบิตโดยวิธี Window-mutation operator แสดงดังภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 ตัวอย่างการกำหนดบิตโดยวิธี Window-mutation operator

4. Swap-mutation operator

Swap-mutation operator เป็นวิธีการผ่าเหล่าซึ่งเป็นกระบวนการทางพันธุกรรมที่ใช้สำหรับตัวแปร $U_i(t)$ โดยจะใช้กับประชากรตัวที่ดีที่สุดในแต่ละรุ่นของการถ่ายทอด โดยจะเลือกใช้วิธีการผ่าเหล่ารูปแบบใดรูปแบบหนึ่งจากสองรูปแบบดังนี้

1. เลือกโครโมโซมสถานะการปฏิบัติงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขึ้นมา 2 ชุด (โครโมโซมแต่ละชุดประกอบด้วยตัวแปร $U_i(1) - U_i(T)$) หลังจากนั้นทำการแลกเปลี่ยนบิตระหว่างโครโมโซมทั้งสองในหลายๆตำแหน่งบิต
2. เลือกโครโมโซมสถานะการปฏิบัติงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขึ้นมา 1 ชุด (ชุดโครโมโซมประกอบด้วยตัวแปร $U_i(1) - U_i(T)$) หลังจากนั้นทำการสลับบิตจาก 0 เป็น 1 หรือจาก 1 เป็น 0 ในทุกๆบิต

หลังจากทำการผ่าเหล่ารูปแบบใดรูปแบบหนึ่งจากสองรูปแบบดังกล่าวแล้วนำประชากรที่ได้ไปประเมินค่าความเหมาะสม โดยอาศัยหลักการที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.3.3 และอาศัยหลักการคัดเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุดตามที่กล่าวไว้ในหัวข้อ 3.3.7 โดยถ้าประชากรที่ได้มีค่าความเหมาะสมดีกว่าประชากรตั้งต้นก็จะเก็บประชากรตัวนี้ไว้ในรอบถัดไป แต่ถ้าประชากรที่ได้มีค่าความเหมาะสมแย่กว่าประชากรตั้งต้นก็จะเก็บประชากรตั้งต้นไว้ในรอบถัดไปแทน

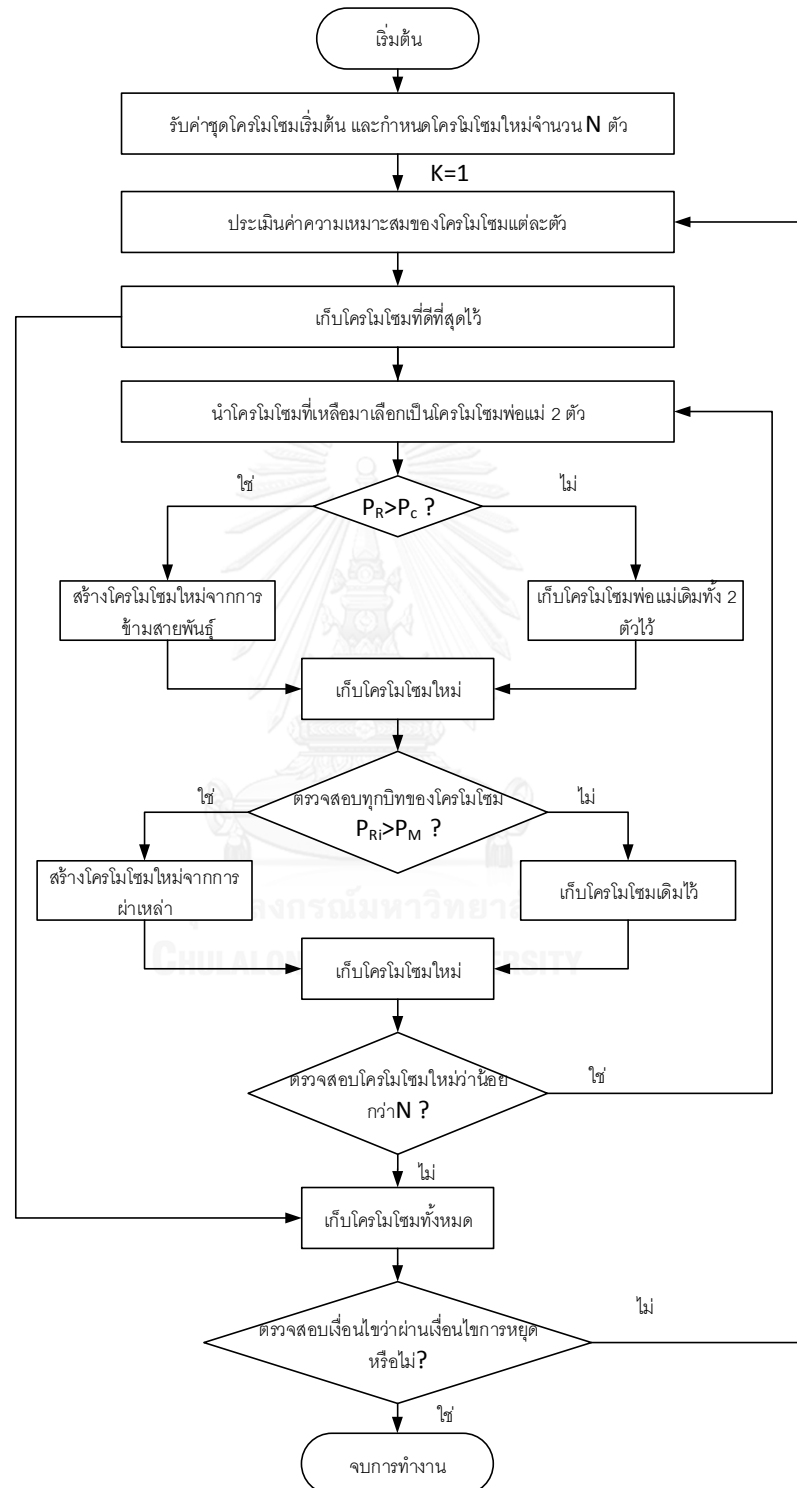
3.3.7 การเลือกโครโมโซมที่โดดเด่นเพื่อรักษาไว้ในรุ่นถัดไป

การดำเนินการทางพันธุศาสตร์เป็นกระบวนการที่อาศัยความน่าจะเป็นในการถ่ายทอดประชากรจากรุ่นหนึ่งไปยังอีกรุ่นหนึ่ง ซึ่งไม่มีหลักประกันว่าในรอบถัดไปจะมีประชากรที่ดีกว่ารุ่นแรก และในบางครั้งก็อาจจะสูญเสียโครโมโซมที่ดีที่สุดไปในระหว่างการถ่ายทอด จากปัญหานี้เองจึงได้เกิดแนวคิดที่ว่าควรจะเก็บโครโมโซมที่ดีที่สุดในแต่ละรอบของการถ่ายทอดเอาไว้ในรอบถัดไป เพื่อเป็นหลักประกันว่าโครโมโซมที่ดีที่สุดในรอบถัดไปจะดีกว่าในรอบก่อนหน้านั้นเสมอ โดยในแต่ละรอบจะเก็บโครโมโซมตัวที่ดีที่สุด 1000 ตัวแรก ตัวที่มีค่าความเหมาะสมน้อยจะไม่ถูกเก็บเอาไว้ ซึ่งหลักการนี้เรียกว่า อีลิทิสซึม (Elitism)

3.3.8 เงื่อนไขการหยุด

ในวิทยานิพนธ์นี้เงื่อนไขการหยุดของขั้นตอนวิธีพันธุกรรม คือหยุดหาคำตอบเมื่อค่าฟังก์ชันเป้าหมายในแต่ละรุ่นไม่มีการเปลี่ยนแปลงครบจำนวนครั้งที่กำหนดไว้

จากขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีพันธุกรรมที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถสรุปให้อยู่ในรูปแบบผังการทำงานได้ดังภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 ขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีพันธุกรรม

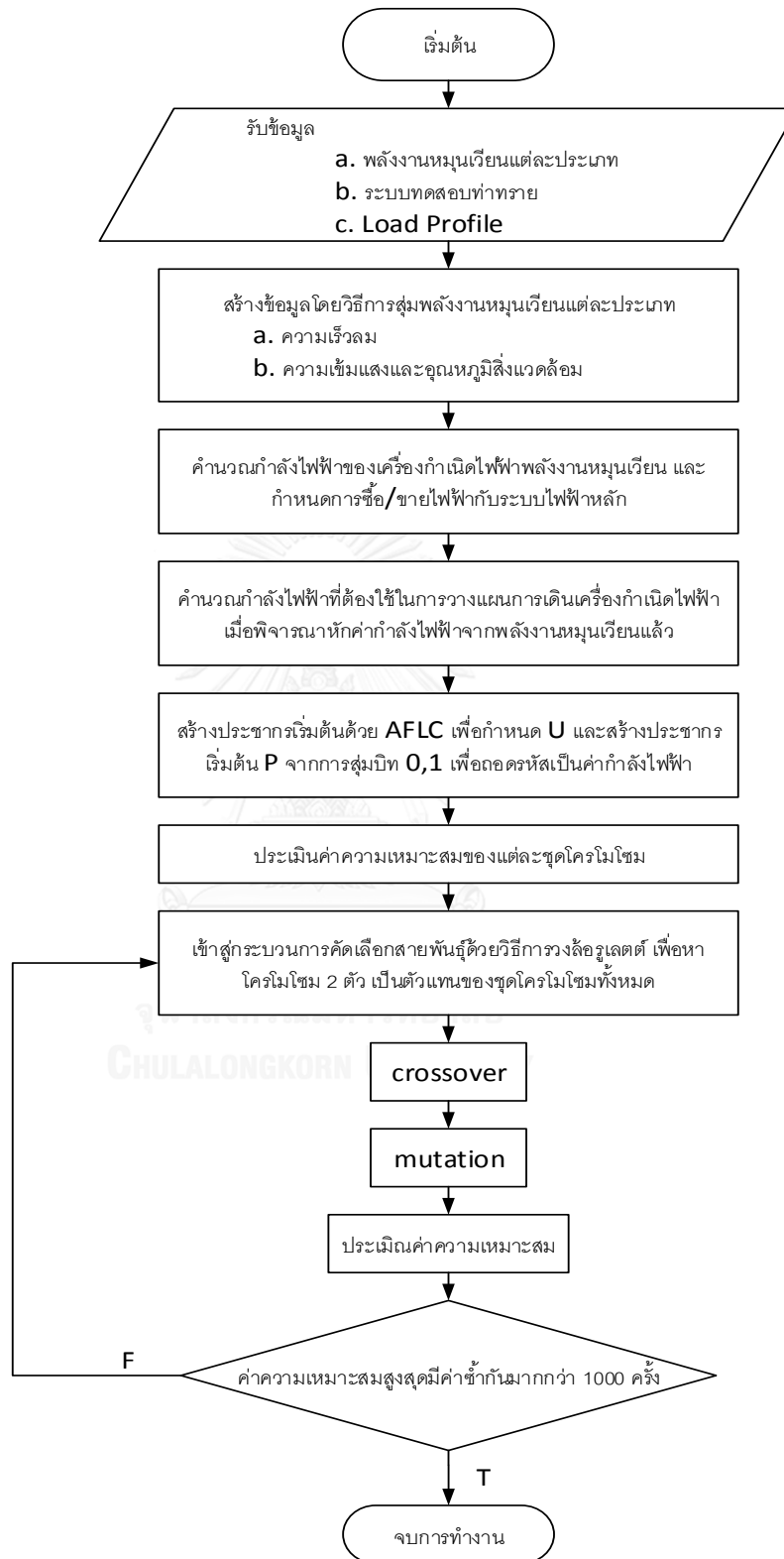
3.4 ขั้นตอนการวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริด

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อน โดยสมมติให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องในระบบต้องได้รับการจัดสรรกำลังการผลิต และกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าต่ำสุดเท่ากับศูนย์ นอกจากนี้ในการจัดสรรกำลังการผลิตจะกำหนดให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน และแบตเตอรี่ไม่มีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้า และพยายามจัดสรรกำลังการผลิตภายในระบบโดยทำการรับกวนการรับหรือจ่ายไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าหลักน้อยที่สุด ดังนั้นขั้นตอนการจัดสรรกำลังการผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้าระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในภาพที่ 3.10 สามารถสรุปได้ดังนี้

1. รับข้อมูล

- a. พารามิเตอร์ของพลังงานหมุนเวียนแต่ละประเภทที่เกี่ยวข้อง ได้แก่
 - i. พลังงานลม
 - ii. พลังงานแสงอาทิตย์
- b. ระบบท่าทราย : ซึ่งถูกดัดแปลงโดยการติดตั้งอุปกรณ์เข้าไปในระบบ ได้แก่
 - i. Tie line
 - ii. Wind turbine
 - iii. Photovoltaic
 - iv. Combine heat and power
 - v. Diesel generator
 - vi. Energy storage system (Battery)
- c. ลักษณะความต้องการ (Load Profile)
 - i. ความต้องการทางไฟฟ้า แบ่งออกเป็น 5 ประเภทดังนี้
 - คริวเรือนขนาดน้อยกว่า 150 unit
 - คริวเรือนขนาดมากกว่า 150 unit
 - โรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก
 - โรงงานอุตสาหกรรมขนาดกลาง
 - โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่
 - ii. ความต้องการทางความร้อน

2. สร้างข้อมูลพลังงานหมุนเวียนใน 1 สัปดาห์ โดยกระบวนการสุ่มตามแต่ละประเภทของพลังงานดังนี้
 - a. การสุ่มความเร็วลม โดยวิธี Ito's Lemma
 - b. การสุ่มความเข้มแสงและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม โดยวิธี Copula ร่วมกับ Ito's Lemma
3. คำนวณกำลังไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนแต่ละประเภท โดยอาศัยแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน และกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการให้ระบบไฟฟ้าหลักรับหรือจ่ายให้แก่ไมโครกริด
4. คำนวณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบดั้งเดิมเพื่อใช้วางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยให้เพียงพอต่อภาระทางไฟฟ้าที่เหลือจากการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน โดยให้ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหล่านี้มีค่าต่ำสุดตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังสมการที่ (3.5) และมีเงื่อนไขบังคับดังสมการที่ (3.6)-(3.13) โดยอาศัย Genetic Algorithm ในการแก้ปัญหาขั้นตอนดังต่อไปนี้
 - a. การลงรหัส (Encoding) และการถอดรหัส (Decoding)
 - b. การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initialization)
 - c. การประเมินค่าความเหมาะสม (Fitness Value)
 - d. การคัดเลือก (Reproduction)
 - e. การข้ามสายพันธุ์ (Crossover)
 - f. การผ่าเหล่า (Mutation)
 - g. การเลือกโครโมโซมที่โดดเด่นเพื่อรักษาไว้ในรุ่นถัดไป
5. ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุดโดยหาค่าสูงสุดของการประเมินค่าความเหมาะสมมีค่าซ้ำกันเป็นจำนวน 1000 ครั้ง หากยังไม่ครบให้ทำขั้นตอนที่ 4 จนครบตามจำนวนรอบที่กำหนด จึงหยุดการคำนวณ



ภาพที่ 3.10 แผนผังแสดงขั้นตอนการวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริด

บทที่ 4

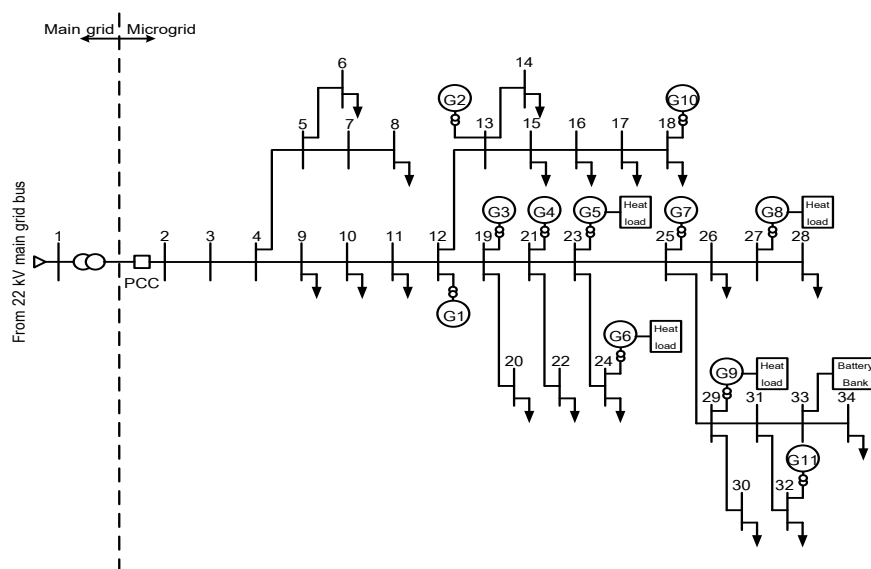
ผลการทดสอบ

ในบทนี้ จะนำเสนอผลลัพธ์ที่ได้จากการวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไมโครกริดที่ประกอบไปด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนร่วม และแบตเตอรี่ ด้วยวิธีการที่นำเสนอ โดยมีจุดประสงค์เพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้า-ออกจากไมโครกริดผ่านสายส่งหลัก (Tie-line) ให้มีค่าคงที่ตามที่กำหนดและมีต้นทุนต่ำที่สุด

ระบบทดสอบที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คือ ระบบท่าทรายซึ่งดัดแปลงโดยการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดต่างๆ เพิ่มเติมเข้าไปในระบบ แต่ยังคงคุณสมบัติเดิมต่างๆ ของระบบเอาไว้ ผลการทดสอบแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ (1) การทดสอบผลการส่งความเร็วลม (2) การทดสอบผลการส่งความเข้มแสงและอุณหภูมิ (3) ผลการวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดที่ประกอบไปด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนร่วม และแบตเตอรี่

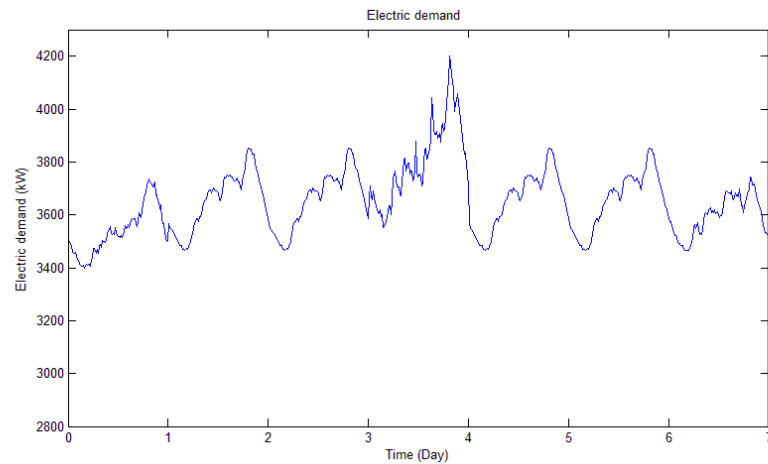
4.1 ระบบการทดสอบ

ระบบท่าทรายเป็นระบบทดสอบซึ่งเป็นเขตอุตสาหกรรมที่มีขนาด 34 บัส มีสายป้อน 34 เส้น มีจุดโหลด 18 จุด โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการดัดแปลงระบบดังกล่าวให้เป็นระบบไมโครกริดโดยทำการติดตั้ง เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนร่วม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และแบตเตอรี่ เพิ่มเติมเข้าไปในระบบ ดังรายละเอียดในภาคผนวก ง แผนภาพเส้นเดียวของระบบท่าทรายที่ถูกดัดแปลง แสดงดังภาพที่ 4.1



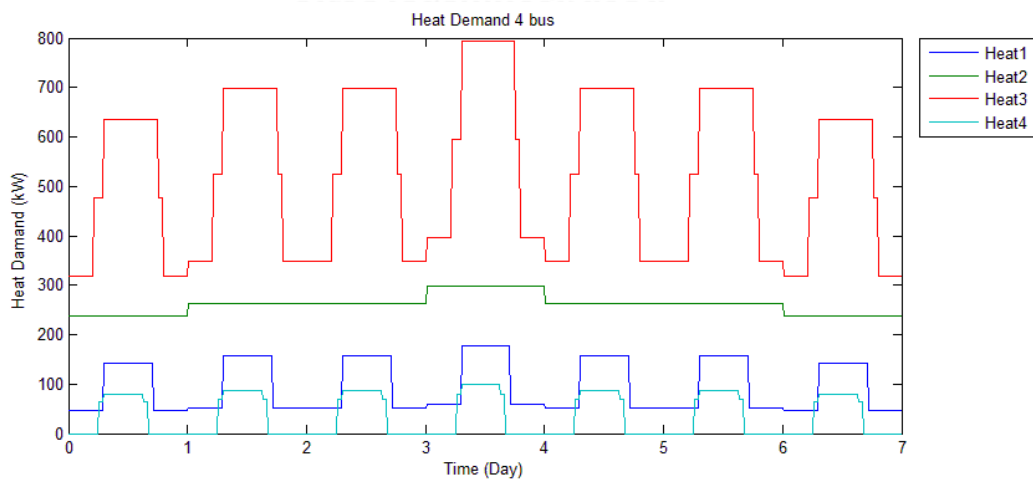
ภาพที่ 4.1 ภาพแสดงระบบท่าทรายที่มีการเปลี่ยนแปลงการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ลักษณะการใช้ไฟฟ้าของระบบไมโครกริดนี้ จะมีขนาดการใช้ไฟฟ้ารวมสูงสุดในวันพุธ ซึ่งมี โหลดสูงสุดขนาด 4200 kW ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 4.2 ทั้งนี้ ค่าความต้องการไฟฟ้าของแต่ละ巴士ทุก 15 นาที จะมีรายละเอียดของข้อมูลดังแสดงในภาคผนวก ง



ภาพที่ 4.2 ลักษณะความต้องการใช้ไฟฟ้าของไมโครกริด 1 สัปดาห์

สำหรับความต้องการความร้อนของระบบไมโครกริด จะมีรายละเอียดดังแสดงในภาคผนวก ง ตัวอย่างของลักษณะความต้องการทางความร้อนในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 ลักษณะความต้องการความร้อนทั้ง 4巴士 ของระบบทดสอบท่าทราย

4.2 ผลการวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ

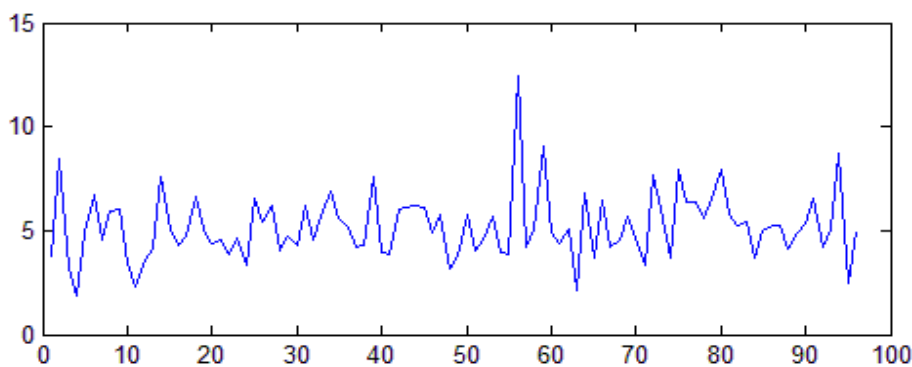
ในหัวข้อนี้ จะนำเสนอผลการทดสอบโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ (1) ผลการทดสอบการจำลองการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน และ (2) ผลการทดสอบการวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดที่ประกอบไปด้วย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนร่วม และแบตเตอรี่ ด้วยวิธีการที่นำเสนอ โดยมีจุดประสงค์เพื่อควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้า-ออกจากไมโครกริดผ่านสายส่งหลัก (Tie-line) ให้มีค่าคงที่ตามที่กำหนด

4.2.1 ผลการทดสอบพลังงานหมุนเวียน

ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คือ ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งข้อมูลที่ใช้ทดสอบจะอาศัยข้อมูลความเร็วลมเฉลี่ยพร้อมทั้งค่าความแปรปรวนเฉลี่ยรายชั่วโมงของ แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต ส่วนข้อมูลความเข้มแสงและอุณหภูมิจะเป็นข้อมูลเฉลี่ยพร้อมทั้งค่าความแปรปรวนเฉลี่ยรายชั่วโมงของ จังหวัดเชียงใหม่

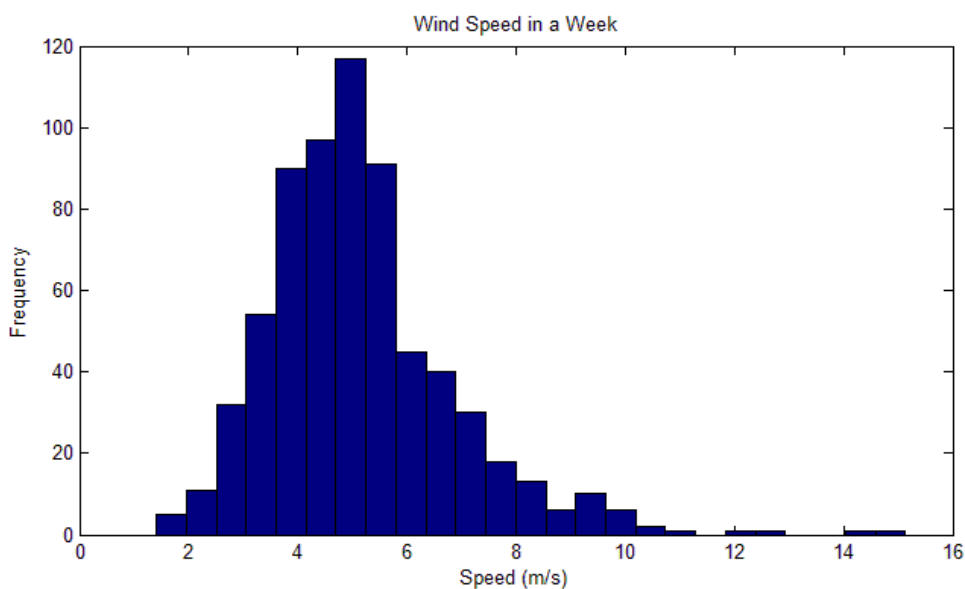
1. ผลการทดสอบการจำลองการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม

จากแบบจำลองความเร็วลมที่กล่าวถึงในบทที่ 3 เมื่อกำหนดให้ความเร็วลมเฉลี่ย ($v_{trend,t}$) และความแปรปรวนของความเร็วลมในแต่ละชั่วโมง ($\sigma_{trend,t}$) เป็นไปตามข้อมูลที่ได้จากการวัดที่ แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต จะสามารถจำลองความเร็วลมที่เวลาต่างๆ ทุก 15 นาที ตลอดระยะเวลา 1 สัปดาห์ ได้ดังแสดงในภาพที่ 4.4



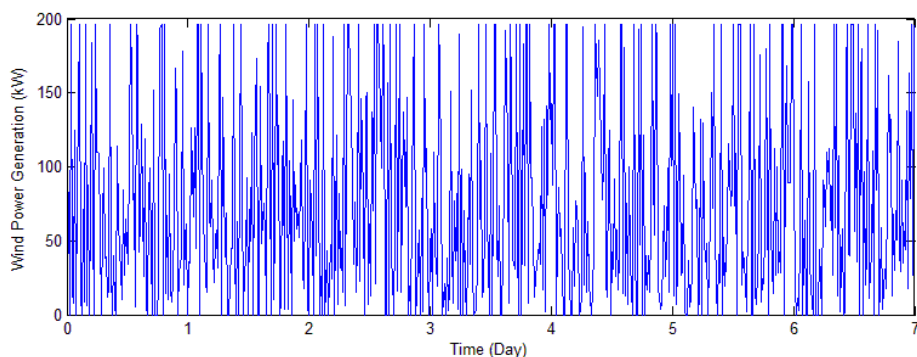
ภาพที่ 4.4 ตัวอย่างความเร็วลมภายใน 1 วันที่ทุก การสุ่ม 15 นาที

ความเร็วลมที่ได้จากการสุ่มตามแบบจำลองในเวลา 1 สัปดาห์ สามารถแสดงเป็นกราฟการกระจายตัวของความเร็วลมได้ดังนี้



ภาพที่ 4.5 การกระจายตัวของความเร็วลมใน 1 สัปดาห์

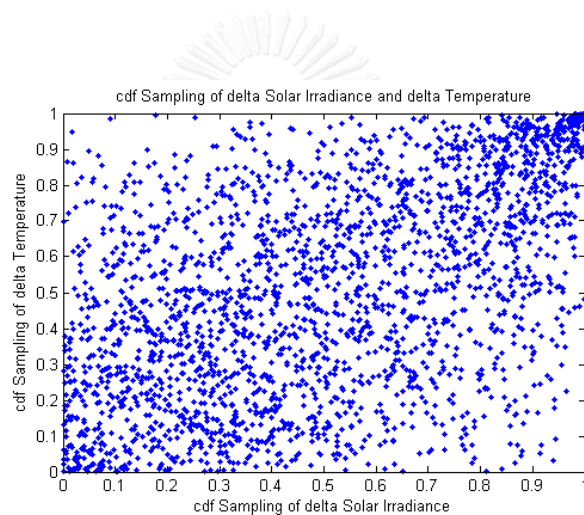
ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้ความเร็วลมเข้าระบบ (Cut-in speed) มีค่าเท่ากับ 3.5 เมตรต่อวินาที ซึ่งจากภาพที่ 4.5 จะเห็นว่าความเร็วลมส่วนใหญ่ที่สุ่มได้จากแบบจำลองที่นำเสนอ มีค่าสูงกว่าความเร็วลมเข้าระบบ ดังนั้นศักยภาพความเร็วลมที่สุ่มได้นี้ จึงเพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้า เมื่อนำความเร็วลมที่สุ่มได้ไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม จะสามารถนำเสนอผลลัพธ์ในรูปแบบของกราฟได้ดังภาพที่ 4.6



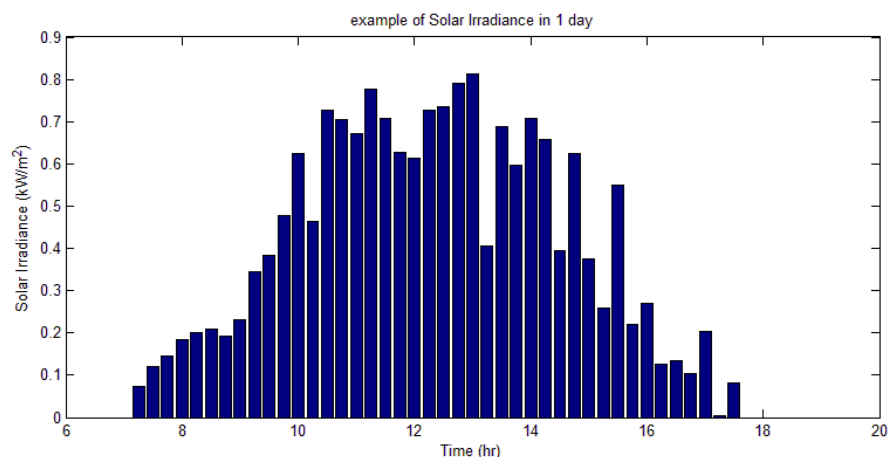
ภาพที่ 4.6 กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมผลิตได้ใน 1 สัปดาห์ (bus 13)

2. ผลการทดสอบการจำลองการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

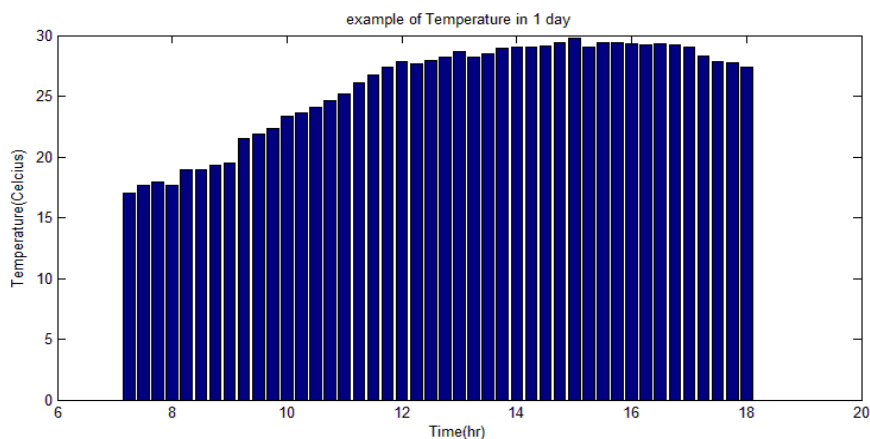
สำหรับการทดสอบการจำลองการทำงานของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จะทำการทดสอบการสุ่มความเข้มแสงและอุณหภูมิราย 15 นาที ตลอด 1 สัปดาห์ โดยอาศัยข้อมูลความเข้มแสงและอุณหภูมิรายชั่วโมงพร้อมทั้งค่าความแปรปรวนเฉลี่ยรายชั่วโมงที่วัดได้จากจังหวัดเชียงใหม่ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความเข้มแสงและอุณหภูมิไม่ได้เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้น จะต้องพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและอุณหภูมิตามแบบจำลองการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม (Joint probability distribution) ดังแสดงในภาพที่ 4.7 ทั้งนี้ ตัวอย่างของความเข้มแสงและอุณหภูมิที่สุ่มได้ใน 1 วันแสดงได้ดังภาพที่ 4.8 และภาพที่ 4.9 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความแปรปรวนของความเข้มแสงและอุณหภูมิที่สุ่มได้ในรูปแบบของฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสะสม

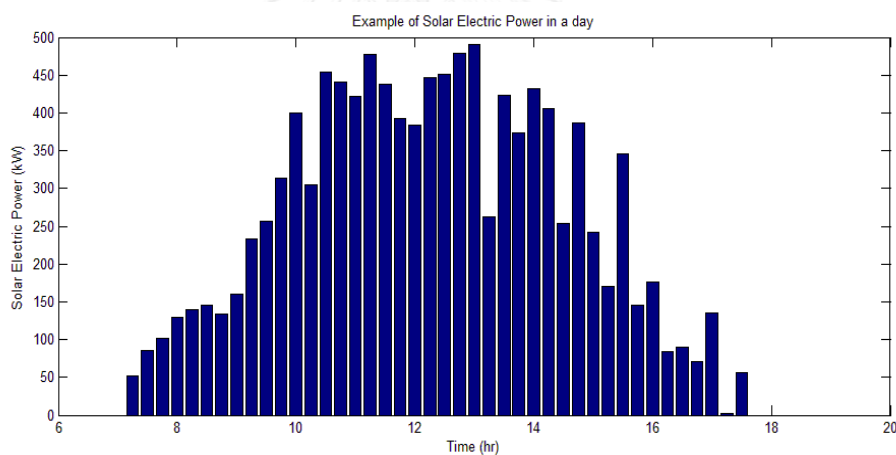


ภาพที่ 4.8 ตัวอย่างความเข้มแสงอาทิตย์ที่สุ่มได้ของแต่ละวันในช่วงเวลา 7:00 – 18:00 น.



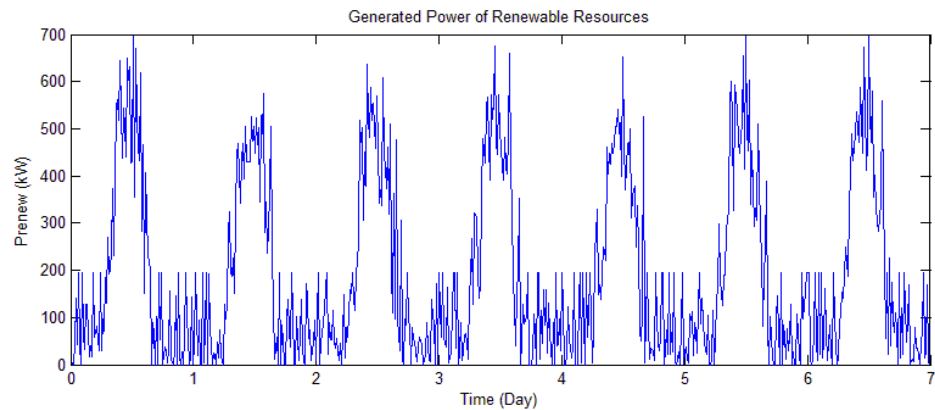
ภาพที่ 4.9 ตัวอย่างอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมที่สุ่มได้ของแต่ละวันในช่วงเวลา 7:00 – 18:00 น.

เมื่อนำความเข้มแสงและอุณหภูมิที่สุ่มได้ไปคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ จะสามารถนำเสนอผลลัพธ์ในรูปแบบของกราฟได้ดังภาพที่ 4.10

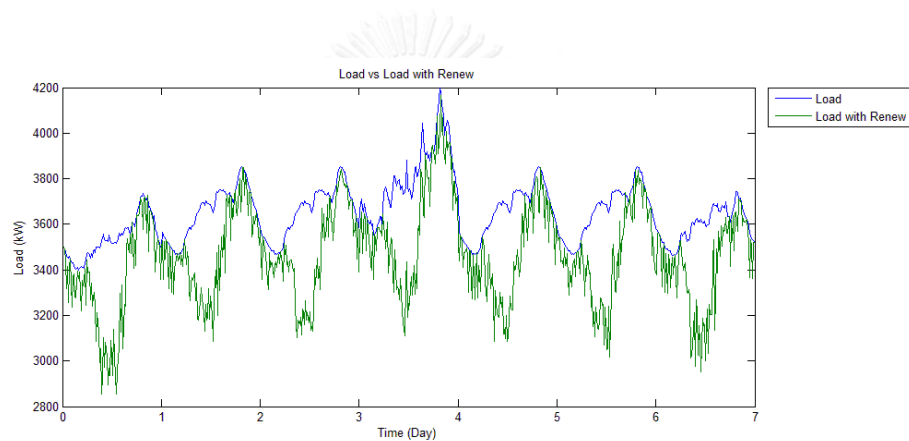


ภาพที่ 4.10 ตัวอย่างกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ผลิตได้ใน 1 วัน

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเมื่อนำมาวิเคราะห์ร่วมกันจะสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.11 และเนื่องจากไฟฟ้าที่ผลิตได้ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนเป็นส่วนที่การไฟฟ้าฯ ต้องรับซื้อเป็นลำดับแรก จึงสามารถนำไปจ่ายให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าทั้งหมดก่อนได้ เมื่อนำพลังงานหมุนเวียนมาพิจารณาพร้อมกับความต้องการใช้ไฟฟ้า จะสามารถแสดงผลได้ดังภาพที่ 4.12



ภาพที่ 4.11 กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนรวมใน 1 สัปดาห์



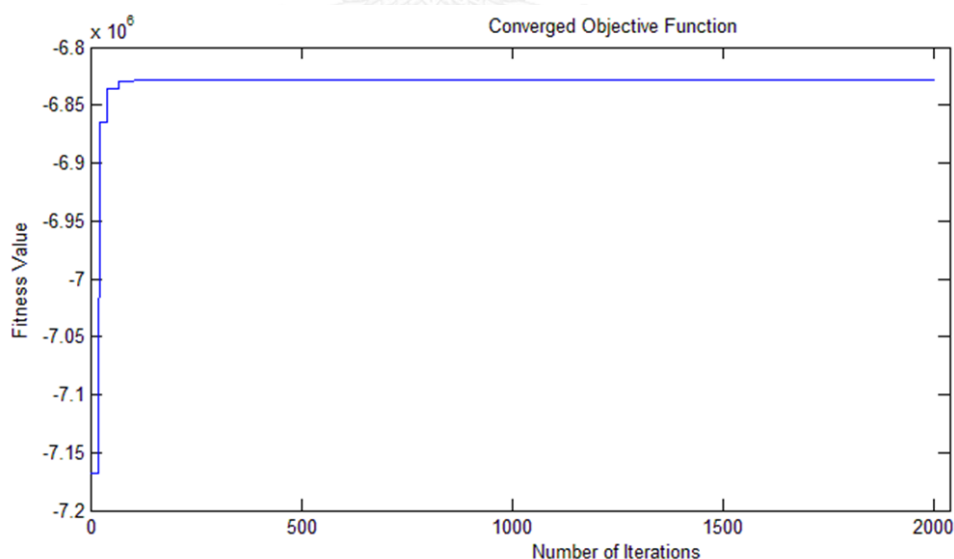
ภาพที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบความต้องการใช้ไฟฟ้า กรณี มี/ไม่มีพลังงานหมุนเวียน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากผลการทดสอบการจำลองการสู่มกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้มีความผันผวนอยู่มาก ดังนั้น เพื่อให้สามารถบริหารจัดการและควบคุมระบบไฟฟ้าได้อย่างยืดหยุ่น จึงทำการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานประเภทแบตเตอรี่ให้ทำงานควบคู่กับระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนด้วย ซึ่งจะช่วยลดความผันผวนของกำลังไฟฟ้าในระบบไม่โครกริดได้

4.2.2 ผลการทดสอบการวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริด

หัวข้อนี้ จะนำเสนอผลการทดสอบการวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เพื่อทำการจ่ายโหลดไฟฟ้าและความร้อนภายในไมโครกริด ซึ่งมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และระบบกักเก็บพลังงาน โดยทำการเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลัก (Main Grid) ซึ่งมีการควบคุมกำลังไฟฟ้าเข้า-ออกระหว่างไมโครกริดกับระบบไฟฟ้าหลักให้คงที่ในแต่ละช่วงเวลา วิธีการวางแผนการเดินทางเครื่องที่นำเสนอจะอาศัยเทคนิควิธีทางพันธุกรรมในการแก้ปัญหา โดยพัฒนาขึ้นบนโปรแกรม MATLAB ซึ่งเป็นเครื่องมือหลักที่ใช้ในการทดสอบผล ทั้งนี้ จะทำการวิเคราะห์โดยรันโปรแกรมบนคอมพิวเตอร์หลายเครื่องพร้อมกันเพื่อพิจารณาผลของความไม่แน่นอนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน และความไม่แน่นอนของความต้องการใช้ไฟฟ้า ทั้งนี้ การจำลองผลด้วยคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องจะมีความแตกต่างในเรื่องการสุ่มค่าต่างๆ อันได้แก่ ตัวแปรต่างๆ ของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ความต้องการใช้ไฟฟารวมทั้งการทำครอสโอเวอร์-มิวเทชันระหว่างขั้นตอนการแก้ปัญหาด้วยเทคนิควิธีทางพันธุกรรม ระยะเวลาที่ใช้ในแก้ปัญหาโดยเฉลี่ยสำหรับแต่ละเครื่องเฉลี่ยเป็น 40 ชั่วโมง โดยได้ทำการจำลองการวางแผนการเดินทางเครื่องทั้งหมดจำนวน 10 ครั้ง โดยตัวอย่างผลการลู่เข้าของค่าตอบหนึ่ง เป็นดังตัวอย่างภาพที่ 4.13



ภาพที่ 4.13 กราฟแสดงตัวอย่างการลู่เข้าคำตอบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ตารางที่ 4.1 แสดงตัวอย่างค่าความเหมาะสม (fitness) และค่าปรับโทษต่างๆ (Penalties) ด้วยวิธีทางพันธุกรรม

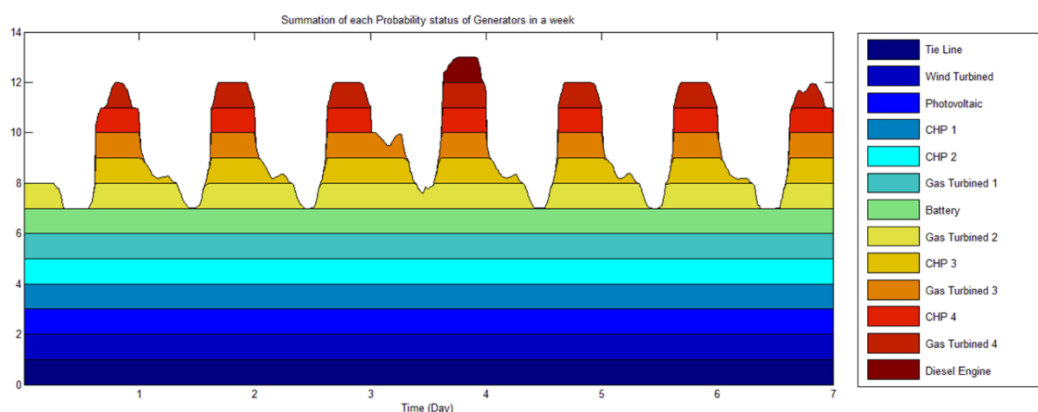
num	count	Fitness	Pbal	Heat	RU	RD	MU/MD	SOC	Plim	Vlim	Sij
1	0	-7168459.08	0	0	340000	0	0	0	0	0	0
2	1	-7168459.08	0	0	340000	0	0	0	0	0	0
.
20	19	-7168459.08	0	0	340000	0	0	0	0	0	0
21	0	-6864526.96	0	0	0	0	0	35500	0	0	0
22	1	-6864526.96	0	0	0	0	0	35500	0	0	0
.
39	18	-6864526.96	0	0	0	0	0	35500	0	0	0
40	0	-6836026.47	0	0	0	0	0	7700	0	0	0
41	1	-6836026.47	0	0	0	0	0	7700	0	0	0
.
66	26	-6836026.47	0	0	0	0	0	7700	0	0	0
67	0	-6829541.72	0	0	0	0	0	1000	0	0	0
68	1	-6829541.72	0	0	0	0	0	1000	0	0	0
.
105	38	-6829541.72	0	0	0	0	0	1000	0	0	0
106	0	-6828424.40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
107	1	-6828424.40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.
114	8	-6828424.40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
115	9	-6828424.40	0	0	0	0	0	0	0	0	0
116	0	-6828355.54	0	0	0	0	0	0	0	0	0
117	1	-6828355.54	0	0	0	0	0	0	0	0	0
118	2	-6828355.54	0	0	0	0	0	0	0	0	0
119	3	-6828355.54	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	4	-6828355.54	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1003	0	-6828337.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1004	1	-6828337.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1005	2	-6828337.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1006	3	-6828337.18	0	0	0	0	0	0	0	0	0
.
2002	999	-6828337.17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2003	1000	-6828337.17	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.1 และภาพที่ 4.13 เป็นตัวอย่างการลู่เข้าของค่าตอบด้วยวิธีทางพันธุกรรมซึ่งสามารถปรับปรุงค่าความเหมาะสม (fitness) ให้มีค่าไม่น้อยกว่ารอบก่อนหน้าได้เสมอโดยค่าความเหมาะสมสุดท้ายคือ ค่าใช้จ่ายที่ถูกที่สุดในการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั่นเอง

1. การวิเคราะห์ผลการวางแผนเดินเครื่องที่มีต่อการรองรับความต้องการใช้ไฟฟ้า

ในการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าล่วงหน้า จะต้องคำนึงถึงผลของความไม่แน่นอนหลายประการ ทั้งความไม่แน่นอนของการพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าในอนาคต และความไม่แน่นอนของไฟฟ้าที่จะผลิตได้จากแหล่งพลังงานหมุนเวียน ไม่ว่าขั้นตอนการวางแผนจะซับซ้อน หรือละเอียดรอบคอบเพียงใดก็ตาม หากสิ่งที่คาดการณ์ไว้มีการเปลี่ยนแปลง แผนการเดินเครื่องที่ได้วางไว้ก็อาจไม่ได้เป็นแผนที่ดีที่สุดเสมอไป ดังนั้น ในการวางแผนล่วงหน้า จะต้องทำการพิจารณาถึงความคงทน (Robustness) ของแผนฯ ควบคู่ไปกับโอกาสหรือความน่าจะเป็นของการทำตามแผนฯ เสมอ

ผลการทดสอบในส่วนแรก จะนำเสนอผลของความน่าจะเป็นที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะต้องเดินเครื่องในแต่ละเวลาตลอด 1 สัปดาห์ โดยคำนวณมาจากการทดสอบการวางแผนการเดินเครื่องทั้งหมดจำนวน 10 ครั้ง โดยผลลัพธ์ของความน่าจะเป็นดังกล่าว จะถูกแสดงดังภาพที่ 4.14



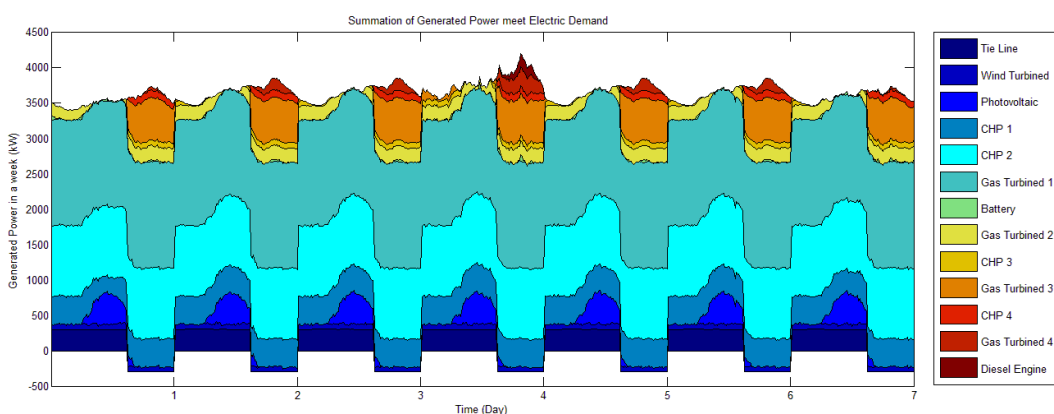
ภาพที่ 4.14 แสดงค่าความน่าจะเป็นของการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง

ภาพที่ 4.14 แสดงความน่าจะเป็นของการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องโดยเรียงลำดับตามช่วงเวลา que เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานจากมากไปน้อย (ล่างขึ้นบน) ซึ่งสามารถอธิบายผลได้ดังนี้

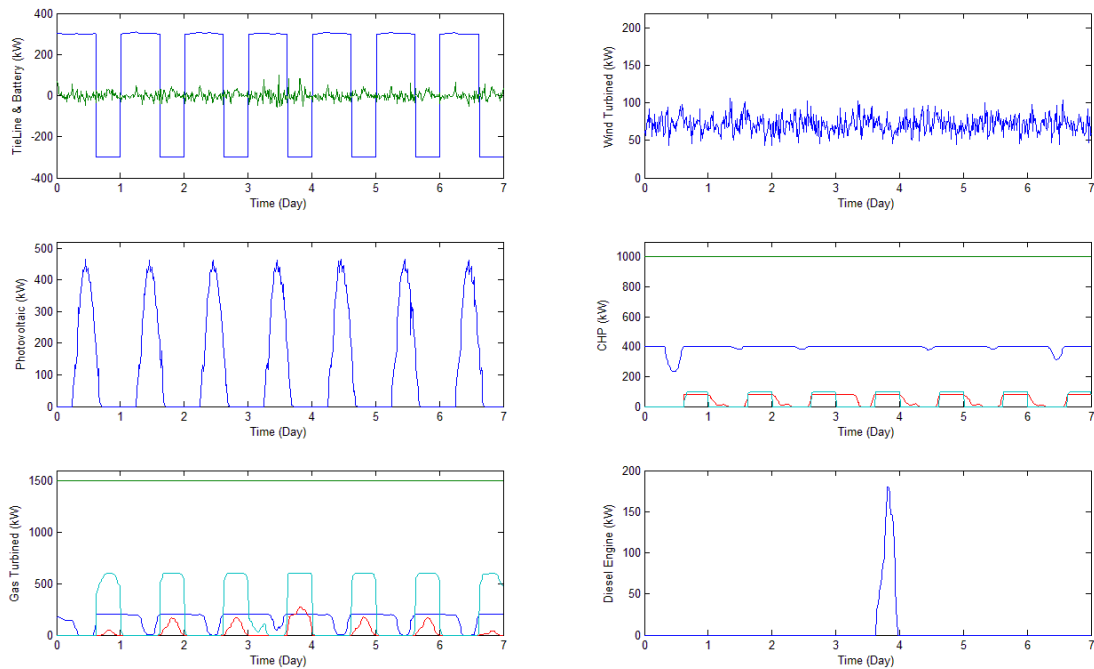
1. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีโอกาสจะต้องทำงานแน่นอนตลอดเวลาทั้ง 1 สัปดาห์ (ความน่าจะเป็นในการเดินเครื่องเท่ากับ 1 ตลอดทั้งสัปดาห์) ประกอบด้วย ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม, พลังงานแสงอาทิตย์, เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนจำนวน 2 เครื่อง จากทั้งหมด 4 เครื่อง, เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันแก๊ส 1 เครื่องจากทั้งหมด 4 เครื่อง และแบตเตอรี่ นอกจากนี้ ระบบไมโครกริดนี้ จะต้องรับไฟจากระบบไฟฟ้าหลักผ่านทางสายส่งหลัก (Tie line) ตลอดเวลา

2. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าส่วนหนึ่งมีโอกาสที่จะไม่ได้ทำงานแน่นอนในบางเวลา (ความน่าจะเป็นในการเดินเครื่องเท่ากับศูนย์) ซึ่งมักจะเป็นเวลาที่ระบบไมโครกริดมีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหล่านี้ มักจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีต้นทุนเชื้อเพลิงแพง เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนจำนวน 2 เครื่อง จากทั้งหมด 4 เครื่อง, เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันแก๊ส 3 เครื่องจากทั้งหมด 4 เครื่อง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล
3. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางส่วนในบางเวลามีโอกาสที่จะถูกสั่งให้เดินเครื่องแต่ไม่แน่นอน 100% (ความน่าจะเป็นในการเดินเครื่องมากกว่า 0 แต่น้อยกว่า 1) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสถานะความต้องการใช้ไฟฟ้าหรือความสามารถในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน ณ ขณะนั้น เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อน และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันแก๊ส บางเครื่อง เป็นต้น
4. ในช่วงเวลาที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกเครื่องจะต้องทำงานอย่างแน่นอน (ความน่าจะเป็นในการเดินเครื่องเท่ากับ 1 ทุกเครื่อง)

นอกจากผลลัพธ์ที่แสดงความน่าจะเป็นของการถูกสั่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องแล้ว ผลลัพธ์ที่แสดงปริมาณกำลังผลิตไฟฟ้าโดยเฉลี่ยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องเพื่อให้รองรับกับความต้องการใช้พลังงาน (ไฟฟ้าและความร้อน) ของระบบไมโครกริดในแต่ละช่วงเวลา สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.15 – ภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.15 แสดงกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจ่ายให้ความต้องการใช้ไฟฟารวม



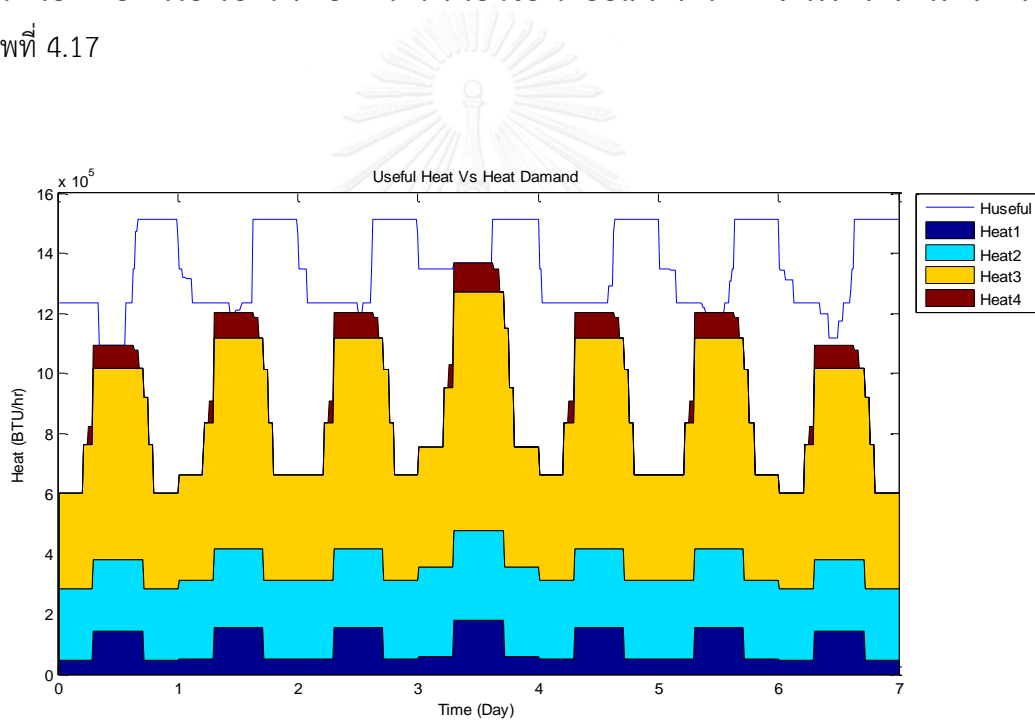
ภาพที่ 4.16 แสดงกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละประเภทในช่วงเวลาต่างๆ

จากภาพที่ 4.15 และภาพที่ 4.16 จะสามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการทดสอบได้ดังนี้

1. วิธีการวางแผนการเดินทางเครื่องที่นำเสนอ สามารถควบคุมให้กำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้า-ออกจากระบบไมโครกริดผ่านสายส่งหลัก (Tie-line) มีค่าคงที่ตามที่กำหนดได้
2. ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมเครื่องที่ 2 และเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันแก๊สเครื่องที่ 1 จะต้องเดินเครื่องเต็มพิกัดตลอดเวลา เนื่องจากมีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าต่ำที่สุด
3. สามารถควบคุมแบตเตอรี่ให้รับและจ่ายกำลังไฟฟ้าตลอดเวลา เพื่อลดความผันผวนของระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน และในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้ามากที่สุด แบตเตอรี่จะทำหน้าที่ช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับไมโครกริดเพื่อรักษาให้กำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้า-ออกจากระบบไมโครกริดผ่านสายส่งหลัก (Tie-line) มีค่าคงที่ตามที่กำหนดได้
4. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องยนต์ดีเซลซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุดจะถูกสั่งให้เดินเครื่องเฉพาะช่วงความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุดของสัปดาห์เท่านั้น

2. การวิเคราะห์ผลการวางแผนเดินเครื่องที่มีต่อการรองรับความต้องการทางความร้อน

ในระบบไมโครกริดที่พิจารณา จะมีความต้องการความร้อนโดยเฉพาะไอน้ำรวมอยู่ด้วย โดยความร้อนในรูปแบบไอน้ำส่วนนี้ จะถูกจ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อน (CHP) ที่ติดตั้งในระบบ อย่างไรก็ตาม การผลิตไอน้ำเพื่อรองรับความต้องการทางความร้อนในส่วนนี้ จะแตกต่างจากการผลิตไฟฟ้าเพื่อรองรับความต้องการใช้ไฟฟ้า เนื่องจากการผลิตและความต้องการความร้อนอาจไม่จำเป็นต้องสมดุลกันตลอดเวลาก็ได้ เนื่องจากสามารถปล่อยไอน้ำที่ผลิตได้ส่วนเกินออกสู่บรรยากาศ หรือนำกลับเข้ามาควบแน่นเป็นน้ำที่อยู่ใน วัฏจักรความร้อนของโรงไฟฟ้าได้ ผลลัพธ์จากการวางแผนเดินเครื่องที่ต่อการรองรับความต้องการความร้อนของระบบไมโครกริดที่พิจารณา สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.17



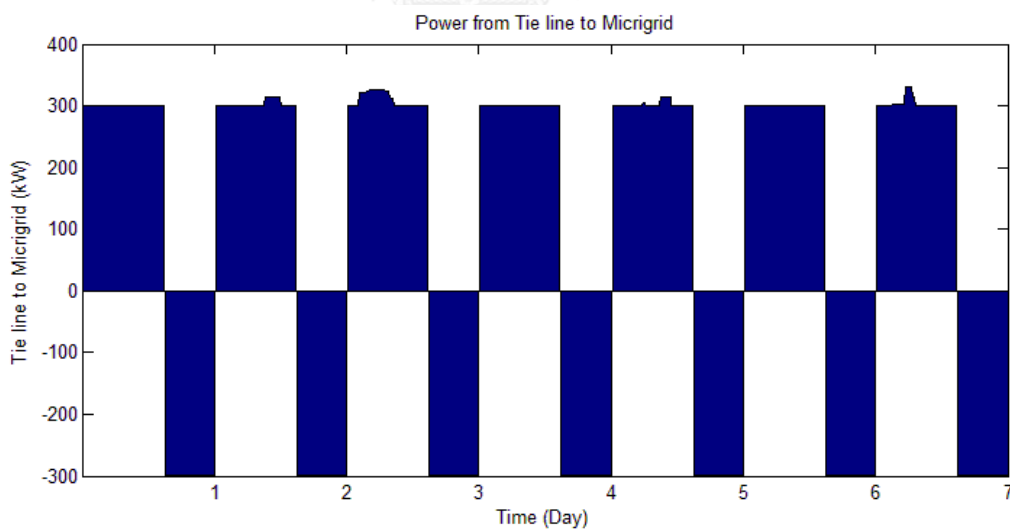
ภาพที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบระหว่างความร้อนที่ผลิตได้และความต้องการความร้อน 4 บัส

จากผลการทดสอบพบว่า การวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดด้วยวิธีทางพันธุกรรมที่นำเสนอ สามารถวางแผนผลิตความร้อนเพียงพอต่อความต้องการตลอดทั้งสัปดาห์ได้

3. การวิเคราะห์การควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้า-ออกจากไมโครกริดผ่านสายส่งหลัก (Tie-line)

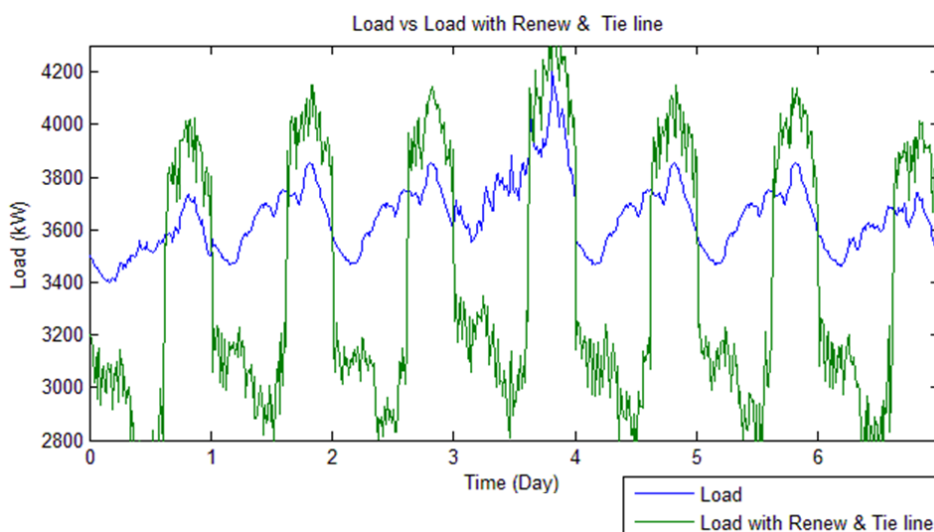
จุดประสงค์หลักของการวางแผนการเดินเครื่องฯ ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คือ การพยายามควบคุมให้กำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้า-ออกจากไมโครกริดผ่านสายส่งหลัก (Tie-line) มีค่าคงที่ตามที่กำหนดและมีต้นทุนต่ำที่สุด ทั้งนี้ ในระบบไมโครกริดที่พิจารณา ณ บัสที่เชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้าหลัก (Main Grid) จะถูกควบคุมโดยกำหนดให้ในช่วงเวลา 0:00 – 15:00 น. ไมโครกริดจะรับกำลังไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าหลัก และช่วงเวลา 15:00 – 24:00 น. ไมโครกริดจะจ่ายกำลังไฟฟ้ากลับสู่ระบบไฟฟ้าหลัก ด้วยเหตุผลที่ว่าช่วงเวลา 0:00-15:00 น. เป็นช่วงเวลาที่ระบบไฟฟ้าหลักมีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ ไมโครกริดจะทำหน้าที่ช่วยรับไฟฟ้าจากระบบไฟฟ้าหลักเข้ามา แต่ในช่วงเวลา 15:00-24:00 น. ระบบไฟฟ้าหลักมีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง ดังนั้น ไมโครกริดจะจ่ายกำลังไฟฟ้าออกไปเพื่อช่วยลดภาระของระบบไฟฟ้าหลักได้

จากผลการวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดด้วยวิธีทางพันธุกรรมที่นำเสนอ จะพบว่า สามารถควบคุมให้กำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้า-ออกจากไมโครกริดผ่านสายส่งหลัก (Tie-line) มีค่าประมาณคงที่ตามที่กำหนดและมีต้นทุนต่ำที่สุดตลอดทั้งสัปดาห์ได้



ภาพที่ 4.18 ผลการทดสอบการควบคุมกำลังไฟฟ้า
ที่ไหลเข้า-ออกจากไมโครกริดผ่านสายส่งหลัก ใน 1 สัปดาห์

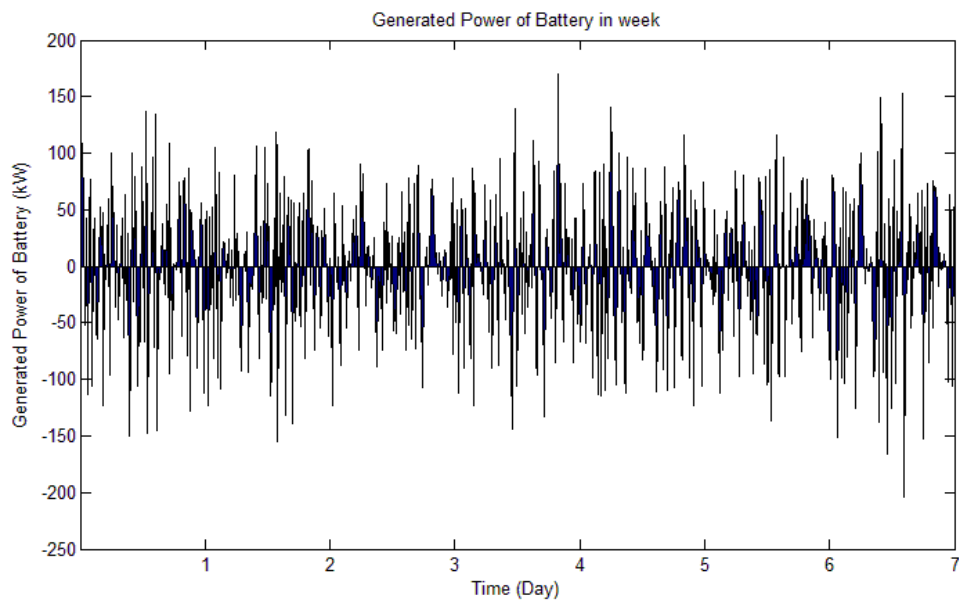
หากไม่พิจารณาผลของแบตเตอรี่ เมื่อพิจารณาเฉพาะผลของการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้า-ออกจากระบบไมโครกริดผ่านทางสายส่งหลักที่มีต่อภาพรวมความต้องการใช้ไฟฟ้าของระบบ จะพบว่า ความต้องการไฟฟ้าโดยรวมของไมโครกริดจะสูงขึ้นประมาณ 300 MW ในช่วงเวลา 15:00 – 24:00 น. เนื่องจากต้องส่งกำลังไฟฟ้าออกไปช่วยระบบหลัก และความต้องการใช้ไฟฟ้าโดยรวมจะเสมือนลดต่ำลงประมาณ 300 MW ในช่วงเวลา 0:00 – 15:00 น. เนื่องจาก ระบบไฟฟ้าหลักส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามาช่วยในระบบไมโครกริด นอกจากนี้ ผลของการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน จะทำให้ความต้องการทางไฟฟ้าในภาพรวมมีความผันผวนมากขึ้น ซึ่งผลกระทบทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.19



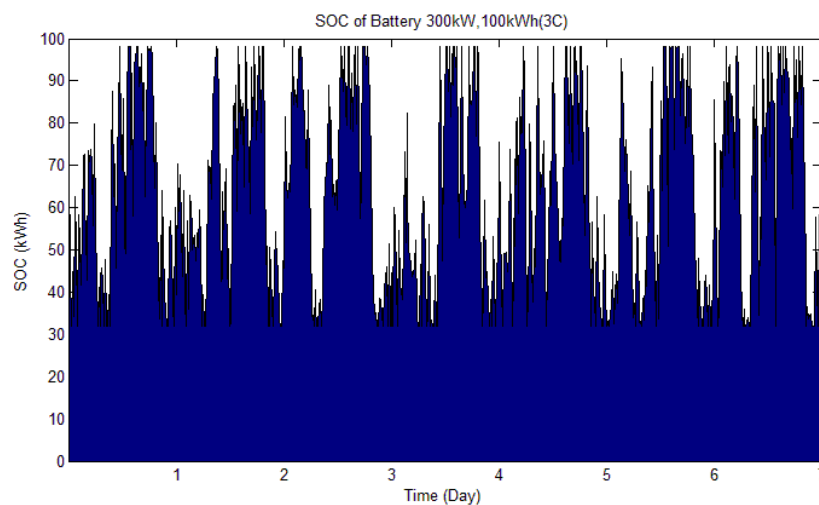
ภาพที่ 4.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความต้องการใช้ไฟฟ้า กรณี มี/ไม่มีพลังงานหมุนเวียนและการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้า-ออกจากระบบไฟฟ้าหลัก (Tie Line) ไม่พิจารณาผลของแบตเตอรี่

4. การวิเคราะห์การทำงานของระบบกักเก็บพลังงาน

ในระบบไมโครกริดที่พิจารณานี้ ได้ทำการทดสอบการติดตั้งแบตเตอรี่ขนาด 300 kW, 100kWh โดยติดตั้งเข้ากับบัส 33 ผลการทดสอบการทำงานของแบตเตอรี่ดังกล่าว สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.20 -ภาพที่ 4.21

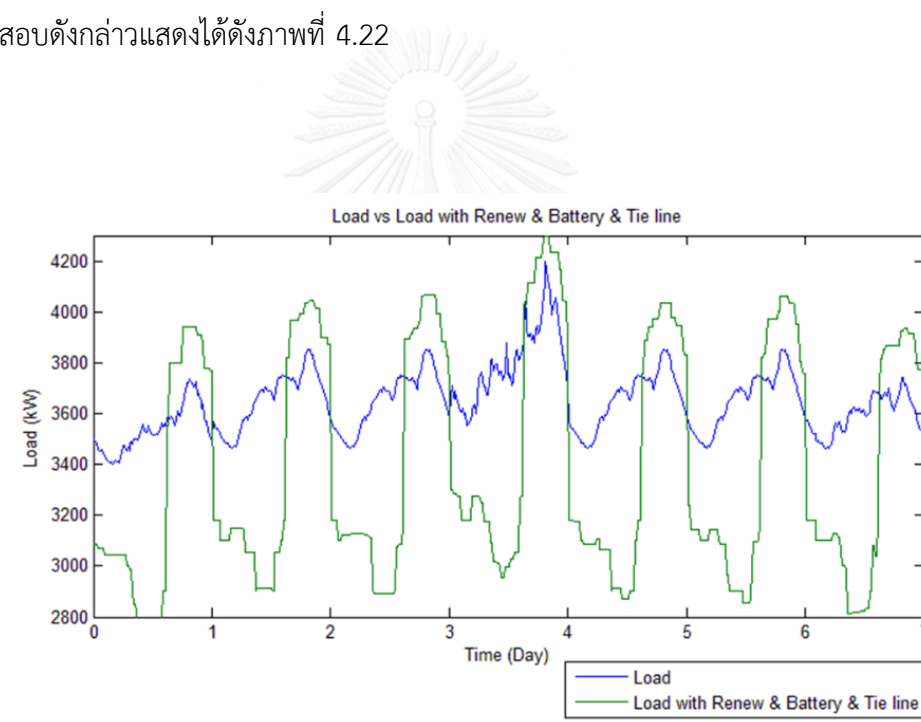


ภาพที่ 4.20 กำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่รับ/จ่ายให้ไมโครกริดใน 1 สัปดาห์



ภาพที่ 4.21 ประจุไฟฟ้าภายในแบตเตอรี่เป็นเวลา 1 สัปดาห์

จากผลการทดสอบในภาพที่ 4.21 จะเห็นว่าแบตเตอรี่จะถูกควบคุมให้ทำงานอยู่ในช่วง 30%-100% ของค่าประจุไฟฟ้าพิกัดของแบตเตอรี่ (SOC) โดยในภาพที่ 4.20 จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ออกจากแบตเตอรี่มีทั้งกรณีที่เป็นบวกและเป็นลบ ทั้งนี้ กำลังไฟฟ้าที่เป็นบวกหมายความว่าแบตเตอรี่กำลังจ่ายกำลังไฟฟ้า (Discharge) และกำลังไฟฟ้าเป็นลบหมายความว่าแบตเตอรี่กำลังกักเก็บไฟฟ้า (Charge) ซึ่งจะเห็นว่า แบตเตอรี่มีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าอย่างรวดเร็วมาก จากภาพที่ 4.19 ซึ่งจะเห็นว่าเนื่องจากกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานหมุนเวียนมีความผันผวนสูง ทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าในภาพรวมมีความผันผวนสูงตามไปด้วย แต่เมื่อมีการติดตั้งแบตเตอรี่เข้าไปในไมโครกริด แบตเตอรี่จะทำหน้าที่รับและจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างรวดเร็วเพื่อชดเชยความผันผวนดังกล่าว ทำให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าในภาพรวมของระบบ ไมโครกริดมีความผันผวนลดลงอย่างมาก ซึ่งผลการทดสอบดังกล่าวแสดงได้ดังภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.22 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความต้องการใช้ไฟฟ้า กรณี มี/ไม่มีพลังงานหมุนเวียน และแบตเตอรี่ โดยทำการควบคุมกำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้า-ออกจากไมโครกริดผ่านสายส่งหลักด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอวิธีการวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วม ระบบกักเก็บพลังงานประเภทแบตเตอรี่ โดยใช้วิธีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เป็นเครื่องมือหลักในการแก้ปัญหาการวางแผนเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการจัดสรรกำลังการผลิต วิธีการที่นำเสนอประยุกต์ใช้วิธีการผสมผสานการวางแผนเดินทางเครื่องแบบเรียงลำดับ (Merit Order) และกระบวนการแก้ปัญหาชนิดสุดแบบโปรแกรมควอดราติก (Quadratic Program) เพื่อสร้างชุดคำตอบเบื้องต้นก่อนทำการแก้ปัญหาด้วยวิธีทางพันธุกรรม

ในการทดสอบ ได้ใช้ระบบทำทราายเป็นระบบทดสอบซึ่งทำการดัดแปลงโดยการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อน เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล และแบตเตอรี่ เพิ่มเติมเข้าไปในระบบ และเพิ่มความต้องการทางความร้อนเข้าไปอีกด้วย จากผลการทดสอบการวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยวิธีการที่นำเสนอสามารถสรุปผลและวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

1) พิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม เนื่องจากโดยปกติเมื่อความเข้มแสงมีค่ามาก อุณหภูมิจะมีค่ามากตามไป แต่เมื่ออุณหภูมิน้อย ความเข้มแสงไม่จำเป็นต้องน้อยตามไปด้วย ดังนั้น ความเข้มแสงและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมมีความสัมพันธ์กัน ไม่สามารถแยกพิจารณาได้ จึงต้องอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างและสามารถพิจารณาความสัมพันธ์ของข้อมูลได้ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ “คอปปุลา” จึงถูกนำมาพิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

2) ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนไม่สามารถควบคุมกำลังการผลิตที่ต้องการได้ อีกทั้งยังมีความผันผวนในการผลิตไฟฟ้าสูง ดังนั้น ในไมโครกริดที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน จำเป็นต้องมีการติดตั้งระบบกักเก็บพลังงานควบคู่กันไปด้วยเพื่อลดผลกระทบต่อคุณภาพไฟฟ้า

3) ไมโครกริดเป็นระบบไฟฟ้าขนาดเล็กที่อาจมีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมเอาไว้ใกล้กับแหล่งความต้องการความร้อน ดังนั้น ระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนร่วมจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานปฐมภูมิให้สูงขึ้นได้

4) เพื่อช่วยลดภาระความต้องการใช้ไฟฟ้าให้กับระบบหลัก วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะควบคุมให้ไมโครกริดช่วยรับกำลังไฟฟ้าจากระบบหลักในช่วงเวลาที่มีความต้องการทางไฟฟ้าต่ำ และจะช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้แก่ระบบหลักในช่วงเวลาที่มีความต้องการทางไฟฟ้าสูง ซึ่งจากวิธีการที่นำเสนอ จะพบว่า สามารถควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เข้า-ออกจากระบบไมโครกริดให้มีค่าประมาณคงที่ได้

5) การวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในไมโครกริดจะทำให้ศูนย์กลางการควบคุมของระบบไมโครกริดสามารถวางแผนการเดินทางเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

6) เนื่องจากการวางแผนล่วงหน้าจะมีความไม่แน่นอนสูง ทั้งความไม่แน่นอนของการพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้าในอนาคต และความไม่แน่นอนของไฟฟ้าที่จะผลิตได้จากแหล่งพลังงานหมุนเวียน ไม่ว่าจะขั้นตอนการวางแผนจะซับซ้อน หรือละเอียดรอบคอบเพียงใดก็ตาม หากสิ่งที่ไม่คาดการณ์ไว้มีการเปลี่ยนแปลง แผนการเดินทางเครื่องที่ได้วางไว้ก็อาจไม่ได้เป็นแผนที่ดีที่สุดเสมอไป ดังนั้น ในการวางแผนล่วงหน้า จะต้องทำการพิจารณาถึงความคงทน (Robustness) ของแผนฯ ควบคู่ไปกับโอกาสหรือความน่าจะเป็นของการทำตามแผนฯ เสมอ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1). วิธีการวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริดที่มีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียน ระบบผลิตไฟฟ้าความร้อนร่วม และระบบกักเก็บพลังงานที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ใช้วิธีทางพันธุกรรมในการการแก้ปัญหาซึ่งใช้เวลานาน เนื่องจากการพิจารณา ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานหมุนเวียนมีอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ค่อนข้างรวดเร็ว จึงจำเป็นต้องกำหนดช่วงเวลาสุ่มกำลังไฟฟ้าให้มีความละเอียดเพียงพอ ทำให้จำนวนตัวแปรที่ใช้ในการแก้ปัญหามีค่ามากตามไปด้วย ซึ่งวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวทำได้ดังนี้

- (1) การหาค่าตอบตั้งต้นโดยการลดความละเอียดของข้อมูลให้ได้มากที่สุดเพื่อลดขนาดของตัวแปร จะส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณลดลงเป็นอย่างมาก และทราบช่วงคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะสมโดยรวมที่สุด (Global optima)
- (2) การสร้างชุดคำตอบตั้งต้นด้วยกระบวนการแก้ปัญหาชนิดสุดแบบโปรแกรมควอดราติก (Quadratic Programming) จะใช้ได้เฉพาะเงื่อนไขเชิงเส้นเท่านั้น จึงมีเงื่อนไขบางอย่างที่ไม่ถูกพิจารณา หากเงื่อนไขเหล่านั้นสามารถประมาณเป็นสมการเชิงเส้น (Linear Function) ได้ ด้วยวิธีดังกล่าวจะสามารถสร้างชุดคำตอบตั้งต้นได้ใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะสมโดยรวมที่สุด(Global optima)มากยิ่งขึ้น
- (3) การใช้คอมพิวเตอร์เซิร์ฟเวอร์ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงกว่าคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลมากในการคำนวณ จะลดระยะเวลาคำนวณได้อย่างมาก

2). ผลการทดสอบที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นเพียงคำตอบที่ดีที่สุดภายใต้ประชากรของคำตอบทั้งหมดเท่านั้น ไม่สามารถรับประกันได้ว่าเป็นคำตอบที่เหมาะสมโดยรวมที่สุด(Global optima)ได้

3). ผลการทดสอบไม่ได้พิจารณาความไม่แน่นอนของค่าความต้องการทางความร้อน ซึ่งอาจส่งผลต่อการวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความร้อนในระบบได้

4). การพิจารณาความร้อนที่ไหลผ่านท่อส่งความร้อน การหาความร้อนสูญเสียในท่อส่งความร้อน ใช้การประมาณแทนการคำนวณ อาจส่งผลต่อการจัดสรรความร้อนในระบบ

5). การติดตั้งแบตเตอรี่ในวิทยานิพนธ์นี้ติดตั้งเพื่อลดความผันผวนของการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนจึงใช้แบตเตอรี่ขนาดเล็ก แต่หากต้องการใช้แบตเตอรี่ในการสำรองไฟฟ้าเพื่อนำมาจ่าย ณ ช่วงความต้องการทางไฟฟ้าสูงเพื่อลดการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีราคาแพง จำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่ขนาดใหญ่ การประเมินค่าการลงทุนเพื่อติดตั้งแบตเตอรี่ทดแทนการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากเชื้อเพลิงที่มีราคาแพง เป็นสิ่งที่น่าสนใจ

รายการอ้างอิง

- [1] E. Energy Policy and Planning Office (EPPO), "Energy Efficiency And Management Professional," ed, 2011.
- [2] E. Energy Policy and Planning Office (EPPO), "Renewable Energy," ed, 2011.
- [3] H. Z. Liang and H. B. Gooi, "Unit commitment in microgrids by improved genetic algorithm," in *IPEC, 2010 Conference Proceedings*, 2010, pp. 842-847.
- [4] X. Liu, M. Ding, J. Han, P. Han, and Y. Peng, "Dynamic economic dispatch for microgrids including battery energy storage," in *Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG), 2010 2nd IEEE International Symposium on*, 2010, pp. 914-917.
- [5] F. A. Mohamed and H. N. Koivo, "Online Management of MicroGrid with Battery Storage Using Multiobjective Optimization," in *Power Engineering, Energy and Electrical Drives, 2007. POWERENG 2007. International Conference on*, 2007, pp. 231-236.
- [6] R. Chedid, H. Akiki, and S. Rahman, "A decision support technique for the design of hybrid solar-wind power systems," *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, vol. 13, pp. 76-83, 1998.
- [7] N. M. M. Razali and A. H. Hashim, "Profit-based optimal generation scheduling of a microgrid," in *Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), 2010 4th International*, 2010, pp. 232-237.
- [8] A. Prapassornpittaya and K. Audomvongseeree, "Determining optimal battery capacity of wind generator with power fluctuation consideration," in *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2011 8th International Conference on*, 2011, pp. 820-824.
- [9] A. Prapatsornpittaya, "Determining optimal battery capacity of wind generator with power fluctuation consideration," Master, Electrical Engineering, Chulalongkorn, 2010.

- [10] M. Fuentes, G. Nofuentes, J. Aguilera, D. L. Talavera, and M. Castro, "Application and validation of algebraic methods to predict the behaviour of crystalline silicon PV modules in Mediterranean climates," *Solar Energy*, vol. 81, pp. 1396-1408, 11// 2007.
- [11] J. Machacek, Z. Prochazka, and J. Drapela, "The Temperature Dependant Efficiency of Photovoltaic Modules - a Long Term Evaluation of Experimental Measurements," 2009.
- [12] M. S. Faculty of Science, Chulalongkorn University. (2010) Copula of Random Variable. Available: <https://theboymath.wordpress.com/copulas/%E0%B8%84%E0%B8%AD%E0%B8%9B%E0%B8%B9%E0%B8%A5%E0%B8%B2/>
- [13] P. Embrechts, "Copulas: A personal view," 2009.
- [14] A. GordonWilson and Z. Ghahramani, "Copula Process," 2010.
- [15] Wikipidia. (2012). *Copula (Probability Theory)*. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Copula_\(probability_theory\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Copula_(probability_theory))
- [16] C. Schölzel and P. Friederichs, "Multivariate non-normally distributed random variables in climate research – introduction to the copula approach," p. 12, 2008.
- [17] R. E. D. D. Power Plant Development Planning Division, Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT) (2011). *Photovoltaic Generation System*. Available: http://www3.egat.co.th/re/solarcell/solarcell_pg5.htm
- [18] A. Chatterjee, A. Keyhani, and D. Kapoor, "Identification of Photovoltaic Source Models," *Energy Conversion, IEEE Transactions on*, vol. 26, pp. 883-889, 2011.
- [19] S. Chowdhury and P. Crossley, *Microgrids and Active Distribution Networks*. London, United Kingdom: The Institution of Engineering and Technology, 2009.
- [20] E. R. I. Energy Research Institute, Chulalongkorn University, "The research of Combined Cooling Heat and Power (CCHP)," 2011.
- [21] U. S. Environmental Protection Agency Combined Heat and Power Partnership, *Catalog of CHP Technologies*. Virginia: Energy Nexus Group, 2002.

- [22] U. S. E. P. Agency, C. H. a. P. Partnership, and (September 2007) Biomass Combined Heat and Power Catalog of Technologies.
- [23] S. Chowdhury, and Crossley, P. , *Microgrids and ActiveDistribution Networks*.
- [24] M. R. Patel, *Wind and Solar Power Systems*. United States of America: CRC Press LLC, 2000.
- [25] I. Buchmann. (2012). *Battery Definitions*. Available: : <http://www.batteryuniversity.com>
- [26] M. E. V. Team. (2012). *A Guide to Understanding Battery Specifications* Available: http://mit.edu/evt/summary_battery_specifications.pdf
- [27] O. Tremblay and L.-A. Dessaint, "Experimental Validation of a Battery Dynamic Model for EV Applications," *World Electric Vehicle Journal* 3, May 13 - 16, 2009 2009.
- [28] R. U. Europe. *Battery Model*. Available: <http://www.rolls-battery.com/pdf/S12-290AGM.pdf>
- [29] G. F. Reid and L. Hasdorff, "Economic Dispatch Using Quadratic Programming," *Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on*, vol. PAS-92, pp. 2015-2023, 1973.
- [30] P. Vallikul, "Microgrid with Generation and Distribution," ed, 2008.
- [31] S. X. Chen, H. B. Gooi, and M. Q. Wang, "Sizing of Energy Storage for Microgrids," *Smart Grid, IEEE Transactions on*, vol. 3, pp. 142-151, 2012.
- [32] I. G. Damousis, A. G. Bakirtzis, and P. S. Dokopoulos, "A solution to the unit-commitment problem using integer-coded genetic algorithm," *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol. 19, pp. 1165-1172, 2004.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานลม

ตารางที่ ก.1 ความเร็วลมเฉลี่ยรายชั่วโมงในแต่ละฤดู

ชั่วโมง	ความเร็วลมในแต่ละฤดู (m/s)		
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน
1	5.023097	5.361823	6.114633
2	5.333031	5.107254	6.230987
3	5.021410	5.380161	5.665252
4	5.191660	5.411383	6.046494
5	5.002902	5.040668	6.354089
6	5.235122	5.393733	6.280955
7	5.291449	5.528281	6.035546
8	5.085919	5.365979	6.286418
9	5.652379	5.101217	6.325065
10	4.775389	5.56653	6.429313
11	5.317346	5.255554	6.083991
12	5.075287	5.178833	6.753120
13	5.273727	5.328746	6.135622
14	5.708895	5.183230	6.521348
15	5.356315	5.382313	6.146731
16	5.289101	5.634856	6.340065
17	5.087979	5.004967	6.417576
18	5.130245	5.495877	5.953362
19	5.069434	5.347554	6.536653
20	5.235235	5.169870	5.987508
21	5.197467	5.354199	6.219599
22	4.733282	5.349153	6.357155
23	5.177131	5.494930	6.298403
24	4.965493	5.367475	6.398169

ตารางที่ ก.2 ความแปรปรวนของความเร็วลมในแต่ละฤดู

ชั่วโมง	ค่าความแปรปรวนของความเร็วลมในแต่ละฤดู (σ)		
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน
1	0.4897	0.3848	0.4146
2	0.4383	0.6100	0.3080
3	0.5660	0.4014	0.7183
4	0.3901	0.4270	0.3830
5	0.3637	0.5427	0.4772
6	0.3878	0.4755	0.3912
7	0.3592	0.5085	0.4656
8	0.3467	0.6257	0.6816
9	0.3730	0.6010	0.4750
10	0.4434	0.4117	0.5054
11	0.3493	0.6001	0.4955
12	0.4023	0.4127	0.4614
13	0.4813	0.3702	0.4942
14	0.6104	0.5100	0.4396
15	0.4114	0.4248	0.3482
16	0.4757	0.5020	0.5979
17	0.5290	0.5447	0.4980
18	0.6145	0.3896	0.5367
19	0.4470	0.5317	0.4762
20	0.4488	0.3183	0.4649
21	0.3591	0.4012	0.4854
22	0.3625	0.4062	0.4509
23	0.3127	0.3101	0.4903
24	0.5269	0.4359	0.4398

ตารางที่ ก.3 ความเร็วลมเฉลี่ยของแต่ละเดือนในปี 2005 วัดที่แหลมพรหมเทพ จังหวัดภูเก็ต

เดือน	ความเร็วลม (m/s)	เดือน	ความเร็วลม (m/s)
มกราคม	6.03	กรกฎาคม	7.38
กุมภาพันธ์	4.80	สิงหาคม	6.39
มีนาคม	5.22	กันยายน	6.48
เมษายน	4.00	ตุลาคม	4.74
พฤษภาคม	5.24	พฤศจิกายน	4.21
มิถุนายน	7.08	ธันวาคม	5.64

ตารางที่ ก.4 ระดับความเร็วลมในการผลิตกำลังไฟฟ้า

ระดับความเร็วลม	ความเร็วลม (m/s)
ความเร็วลมเข้าระบบ (Cut-in Speed)	3.5
ความเร็วลมเต็มพิกัด (Nominal or Rated Wind Speed)	7.5
ความเร็วลมตัดออก (Cut-out Wind Speed)	25

ภาคผนวก ข
ระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

ตารางที่ ข.1 ความเข้มแสงอาทิตย์เฉลี่ยรายชั่วโมงในฤดูต่างๆ

ชั่วโมง	ความเข้มแสง G_{avg} (W/m ²)		
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน
07:00 – 08:00	35.32	81.35	131.62
08:00 – 09:00	152.91	240.66	288.10
09:00 – 10:00	358.89	441.68	473.29
10:00 – 11:00	549.29	610.79	613.53
11:00 – 12:00	667.65	740.97	732.30
12:00 – 13:00	703.96	779.50	722.82
13:00 – 14:00	673.86	731.92	656.90
14:00 – 15:00	583.48	632.51	595.83
15:00 – 16:00	433.77	494.78	494.55
16:00 – 17:00	231.75	308.52	366.11
17:00 – 18:00	61.69	134.64	192.90

ตารางที่ ข.2 อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยรายชั่วโมงในฤดูต่างๆ

ชั่วโมง	อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม T_{avg} (°C)		
	ฤดูหนาว	ฤดูร้อน	ฤดูฝน
07:00 – 08:00	17.87	22.13	25.14
08:00 – 09:00	19.61	24.59	26.29
09:00 – 10:00	21.88	26.99	27.38
10:00 – 11:00	24.24	29.11	28.55
11:00 – 12:00	26.28	20.98	29.62
12:00 – 13:00	27.55	32.43	30.33
13:00 – 14:00	28.42	33.53	30.71
14:00 – 15:00	28.99	34.15	30.87
15:00 – 16:00	29.19	34.28	30.91
16:00 – 17:00	28.79	34.04	30.73
17:00 – 18:00	26.91	32.93	30.08

ข้อมูลค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มแสงและอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม

วิทยานิพนธ์นี้ นำข้อมูลความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเฉลี่ยรายชั่วโมงในแต่ละฤดูกาลมาคำนวณหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงอาทิตย์และอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมในแต่ละชั่วโมงด้วยวิธีการคำนวณที่กล่าวถึงในบทที่ 2 ซึ่งแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ข.3 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเข้มแสงอาทิตย์ในแต่ละชั่วโมง

ชั่วโมง	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ_G)		
	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว
07:00 – 08:00	0.9599	0.7503	0.5056
08:00 – 09:00	0.7154	0.7435	0.7321
09:00 – 10:00	0.6271	0.6320	0.6898
10:00 – 11:00	0.4522	0.4267	0.7047
11:00 – 12:00	0.3887	0.5420	0.4999
12:00 – 13:00	0.6614	0.6510	0.4704
13:00 – 14:00	0.5861	0.7537	0.6396
14:00 – 15:00	0.6378	0.7844	0.6882
15:00 – 16:00	0.5114	0.7740	0.8241
16:00 – 17:00	0.5434	0.5467	1.2463
17:00 – 18:00	0.6477	1.0306	1.0935

ตารางที่ ข.4 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอุณหภูมิสิ่งแวดล้อมในแต่ละชั่วโมง

ชั่วโมง	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (σ_T)		
	ฤดูร้อน	ฤดูฝน	ฤดูหนาว
07:00 – 08:00	0.1804	0.0431	0.1852
08:00 – 09:00	0.1494	0.0523	0.1557
09:00 – 10:00	0.1177	0.0596	0.1259
10:00 – 11:00	0.0988	0.0658	0.0987
11:00 – 12:00	0.0933	0.0685	0.0818
12:00 – 13:00	0.0942	0.0703	0.0786
13:00 – 14:00	0.0977	0.0739	0.0773
14:00 – 15:00	0.0997	0.0797	0.0772
15:00 – 16:00	0.1053	0.0837	0.0820
16:00 – 17:00	0.1105	0.0778	0.0884
17:00 – 18:00	0.1118	0.0765	0.0875

ภาคผนวก ค
ข้อมูลแบตเตอรี่

ภาคผนวกนี้จะนำเสนอตัวแปรต่างๆของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียมไอออน ที่ใช้กับแบบจำลองแบตเตอรี่ นำมาต่อแบตเตอรี่ในรูปแบบอนุกรม-ขนานเพื่อให้สามารถเชื่อมต่อกับคอนเวอร์เตอร์ได้ตามขนาดต้องการ โดยตัวแปรต่างๆสามารถแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ข้อมูลแหล่งเก็บพลังงานสำรอง

ตารางที่ ค.1 ค่าตัวแปรของแบตเตอรี่

ตัวแปรของแบตเตอรี่	ค่าของตัวแปร	หน่วย
E_0	12	V
Q	260	Ah

ตารางที่ ค.2 ข้อมูลแหล่งเก็บพลังงานสำรอง

Size	Charge max (kW)	Discharge max (kW)
100 kWh	300	300

ภาคผนวก ง

ข้อมูลระบบทดสอบ

ระบบทดสอบที่นำมาใช้ทดสอบกับวิธีการวางแผนเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบผลิตไฟฟ้าและความร้อนในไมโครกริดที่ได้นำเสนอไว้ในวิทยานิพนธ์ คือ ระบบท่าทราย โดยการทดสอบจะติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัว แหล่งเก็บพลังงานสำรอง และความต้องการทางความร้อนเพิ่มเข้าไปซึ่งรายละเอียดมีดังต่อไปนี้

ข้อมูลทั่วไปของการระบบไฟฟ้า

กำลังฐานของระบบคือ 100 MVA

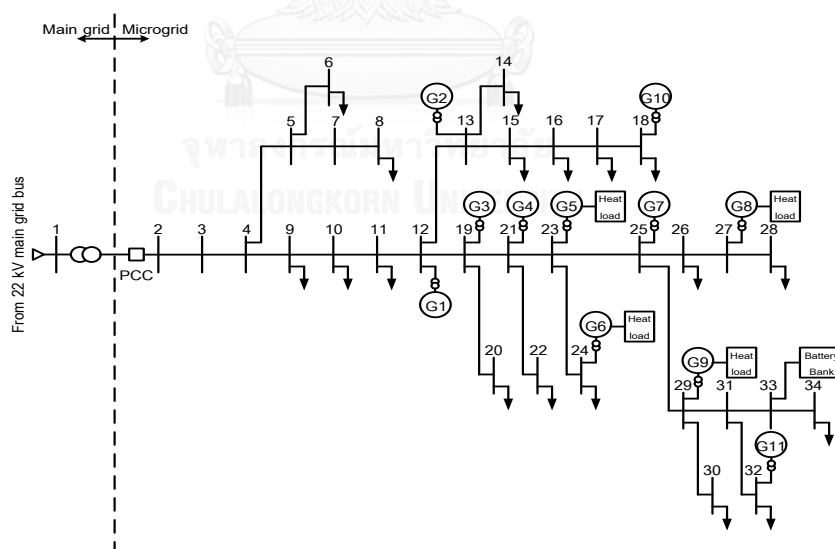
แรงดันฐานของระบบคือ 22 kV

ขีดจำกัดบนของระดับแรงดันเท่ากับ 1.1 p.u.

ขีดจำกัดล่างของระดับแรงดันเท่ากับ 0.9 p.u.

แรงดันที่บัสแหล่งจ่ายเท่ากับ 1.05 p.u. ค่าตัวประกอบกำลังของแต่ละบัสมีค่าเท่ากับ 0.85

แผนภาพเส้นเดียวของระบบท่าทรายที่ถูกดัดแปลง



ภาพที่ ง.1 ภาพแสดงระบบทดสอบท่าทรายที่มีการดัดแปลงการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ข้อมูลของระบบทำทราย

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลบัส

บัส	ขนาดของหม้อแปลงที่ต่ออยู่ (kVA)	ประเภทของผู้ใช้	บัส	ขนาดของหม้อแปลงที่ต่ออยู่ (kVA)	ประเภทของผู้ใช้
1	บัสแหล่งจ่าย		18	1,000	กิจการขนาดกลาง
2	-	-	19	-	-
3	-	-	20	100	กิจการขนาดกลาง
4	-	-	21	-	-
5	-	-	22	500	กิจการขนาดกลาง
6	800	กิจการขนาดกลาง	23	-	-
7	-	-	24	2,500	กิจการขนาดกลาง
8	1,000	กิจการขนาดกลาง	25	-	-
9	100	กิจการขนาดกลาง	26	160	กิจการขนาดกลาง
10	500	กิจการขนาดกลาง	27	-	-
11	800	กิจการขนาดกลาง	28	50	กิจการขนาดกลาง
12	-	-	29	-	-
13	-	-	30	1,500	กิจการขนาดกลาง
14	1,000	กิจการขนาดกลาง	31	-	-
15	250	กิจการขนาดกลาง	32	500	กิจการขนาดกลาง
16	945	กิจการขนาดกลาง	33	-	-
17	1,500	กิจการขนาดกลาง	34	250	กิจการขนาดกลาง

ค่าตัวประกอบกำลังของแต่ละบัสมีค่าเท่ากับ 0.85

ตารางที่ ง.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
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+0.3472li	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+0.3472li	0.50
25	25	26	0.17571+0.3472li	0.32
26	26	27	0.17571+0.3472li	3.12
27	27	28	0.66668+0.38899i	0.32
28	25	29	0.17571+0.3472li	0.54
29	29	30	0.17571+0.33444i	0.04
30	29	31	0.17571+0.3472li	0.58
31	31	32	0.66668+0.38899i	0.08
32	31	33	0.17571+0.3472li	0.62
33	33	34	0.66668+0.38899i	0.04

ตารางที่ ง.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
7	Diesel engine	Diesel
8	CHP - Internal combustion engine	Diesel
9	CHP - Internal combustion engine	Diesel
10	PV	-
11	WIND	-
12	Tie line	-
13	Battery	-

ตารางที่ ง.4 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Unit	Fuel consumption ($a+b*P+c*P^2$: ฿/hr)			Pmin (kW)	Pmax (kW)	MU (hr)	MD (hr)	RRU (kW/min)	RRD (kW/min)	Startup 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

ตารางที่ ง.5 ข้อมูลค่าพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานลมและคอนเวอร์เตอร์

กำลังไฟฟ้าพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	200 kW
แรงดันพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	22 kV
กระแสไฟฟ้ามากที่สุดของคอนเวอร์เตอร์	50 A

ตารางที่ ง.6 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์

พิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์	500 kW
ความเข้มแสง ณ จุดทดสอบมาตรฐาน (W/m^2)	1000
Temperature coefficient of power	-0.0045
อุณหภูมิอ้างอิง (C°)	25

แบบจำลองความต้องการไฟฟ้าและความร้อน

ในโครงร่างวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้แบบจำลองความต้องการไฟฟ้าจากข้อมูลการศึกษาลักษณะการใช้ไฟฟ้า (Load Profile) ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยความต้องการไฟฟ้าที่พิจารณาเป็นภาพรวมของข้อมูลที่ใช้การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเก็บข้อมูลไว้ในเดือนเมษายน พ.ศ.2555

แบบจำลองของความต้องการทางไฟฟ้าใน 1 สัปดาห์

ประเภทของความต้องการไฟฟ้าที่พิจารณาประกอบไปด้วย 5 ประเภท คือ บ้านอยู่อาศัยที่มีการใช้ไฟฟ้าขนาดน้อยกว่า 150 หน่วย บ้านอยู่อาศัยที่มีการใช้ไฟฟ้าขนาดมากกว่า 150 หน่วย กิจการขนาดเล็ก กิจการขนาดกลางและกิจการขนาดใหญ่

ข้อมูลความต้องการทางไฟฟ้านำมาจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค แต่ละประเภทเป็นข้อมูลความต้องการไฟฟ้าที่เก็บค่าทุกๆ 15 นาทีประกอบด้วยข้อมูลความต้องการไฟฟ้าในวันทำงาน (Work Day) วันเสาร์(Saturday) วันอาทิตย์ (Sunday) และวันที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak Day)

แบบจำลองความต้องการทางไฟฟ้าในโครงร่างวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นแบบจำลองในช่วงเวลา 1 สัปดาห์ โดยประกอบด้วยความต้องการทางไฟฟ้าในวันเสาร์-อาทิตย์ วันจันทร์-ศุกร์เป็นความต้องการทางไฟฟ้าในวันทำงาน ยกเว้นวันพุธให้เป็นวันที่มีความต้องการทางไฟฟ้าสูงสุด มีค่าสูงสุด 4200 kW

แบบจำลองความต้องการทางความร้อนใน 1 สัปดาห์

โครงร่างวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีการพิจารณาความต้องการทางความร้อนทั้งหมด 4 บัส โดยเป็นการพิจารณาความต้องการทางความร้อนเป็นรายชั่วโมง มีรายละเอียดของความต้องการทางความร้อนดังนี้

ตารางที่ ง.7 ตารางแสดงปริมาณความต้องการทางความร้อนภายในไมโครกริด (kWth)

Time	Bus1	Bus2	Bus3	Bus4
1	30	150	0	1
2	30	150	0	2
3	30	150	0	3
4	30	150	0	4
5	30	150	0	5
6	30	150	0	6
7	30	150	40	7
8	90	150	50	8
9	90	150	50	9
10	90	150	50	10
11	90	150	50	11
12	90	150	50	12
13	90	150	400	50
14	90	150	400	50
15	90	150	400	50
16	90	150	400	40
17	90	150	400	0
18	30	150	400	0
19	30	150	300	0
20	30	150	200	0
21	30	150	200	0
22	30	150	200	0
23	30	150	200	0
24	30	150	200	0

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายชานนท์ ธรรมศร เกิดเมื่อวันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ.2532 ที่จังหวัดจันทบุรี สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ.2554 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พ.ศ. 2554

