

การหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล
และโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายด้วยเทคนิคความ
เหมาะสมแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์

OPTIMAL SIZING AND LOCATION OF DIESEL GENERATOR AND
SOLAR FARM IN POWER DISTRIBUTION SYSTEM USING
MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION TECHNIQUE

ชัยมงคล เฟื่องเต็ม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล
และโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายด้วยเทคนิคความ
เหมาะสมแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์

ชัยมงคล เฟื่องเต็ม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2566

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในระบบ จำหน่ายด้วยเทคนิคความเหมาะสมแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ Optimal sizing and location of diesel generator and solar farm in power distribution system using multi-objective optimization technique
ชื่อ - นามสกุล	นายชัยมงคล เฟื่องเต็ม
วิชาเอก	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, D.Eng.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศีลวัต ร่มโพธิ์ชัย, วศ.ด.
ปีการศึกษา	2567

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์รัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ, ประ.ด.)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ศิริชัย แดงเอม, วศ.ด.)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์มนทล นาวงษ์, วศ.ด.)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์, D.Eng.)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศีลวัต ร่มโพธิ์ชัย, วศ. ด.)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี อนุมัติวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์สรพงษ์ ภาวสุปรีดิ์, Ph.D.)

วันที่ เดือน มีนาคม พ.ศ. 2567

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายด้วยเทคนิคความเหมาะสมแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์
ชื่อ - นามสกุล	นายชัยมงคล เฟื่องเต็ม
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ฤกษ์ชัย ภูมิภิตติพิชญ์, D.Eng.
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศีลวัต รมโพธิ์ชัย, วศ.ด.
ปีการศึกษา	2566

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายด้วยเทคนิคความเหมาะสมแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ เนื่องจากการเจริญเติบโตของอุตสาหกรรมได้เพิ่มขึ้นทำให้มีความต้องการกำลังไฟฟ้ามากขึ้น การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเข้าสู่ระบบจำหน่ายเป็นแนวทางการแก้ปัญหาอย่างหนึ่ง เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง

แนวทางการหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มทำโดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์ทุกชนิดในระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อนำไปออกแบบในโปรแกรม MATLAB วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าใช้เทคนิคฟอร์เวิร์ด-แบคเวิร์ดสวิต และหาความเหมาะสมโดยใช้วิธีเกรย์วูล์ฟออฟติไมเซชันด้วยเทคนิคความเหมาะสมหลายวัตถุประสงค์ที่กำหนด คือ การลดค่าใช้จ่าย การลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และทดสอบอัลกอริทึมในแบบจำลองระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส และระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกล

ผลลัพธ์ของวิทยานิพนธ์พบว่าในระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส สามารถติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลขนาด 570 kW จำนวน 3 ชุด และโซลาร์ฟาร์มขนาด 100 kWp จำนวน 3 กลุ่ม การสูญเสียกำลังไฟฟ้าลดลง 74.984 kW คิดเป็น 47% ลดค่าใช้จ่าย 125 \$/h คิดเป็น 65% การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดร้ออกไซด์ลดลง 411.391 tCO₂ คิดเป็น 87% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีฐาน ขนาดแรงดันบัสที่ต่ำสุดอยู่ที่บัส 18 ขนาดแรงดันบัส 0.95 p.u. และระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกลติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลขนาด 938 kW จำนวน 3 ชุด และโซลาร์ฟาร์มขนาด 100 kWp จำนวน 1 กลุ่ม การสูญเสียกำลังไฟฟ้าลดลง 129.8 kW คิดเป็น 8% ลดค่าใช้จ่าย 334 \$/h คิดเป็น 5% และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดร้ออกไซด์ลดลง 10.89 tCO₂ คิดเป็น 4% เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีฐาน แรงดันบัสต่ำสุดอยู่ที่บัส 9 ขนาดแรงดันบัส 0.954 p.u. การศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สามารถยืนยันความถูกต้องและเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ในครั้งถัดไป

คำสำคัญ : หลายวัตถุประสงค์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล โซลาร์ฟาร์ม เกรย์วูล์ฟออฟติไมเซชัน

Thesis Title	Optimal Sizing and Location of Diesel Generator and Solar Farm in Power Distribution System Using Multi-Objective Optimization Technique
Name – Surname	Mr. Chaimongkol Pengtem
Program	Electrical Engineering
Thesis Advisor	Associate Professor Krischonme Bhumkittipich, D.Eng.
Thesis Co-Advisor	Assistant Professor Sillawat Romphochai, D.Eng.
Academic Year	2023

ABSTRACT

This thesis aimed to propose the optimal sizing and location of diesel generator and solar farm in power distribution system using multi-objective optimization technique. The need of power supply has recently been increasing as a result of the growth of industrial zones. Installation of distributed generator in power distribution systems is one of the methods to solve this problem as well as improving the power system stability.

The optimal solution of sizing and location of diesel generators and solar farms were developed by using mathematical models of all devices in power systems in order to design on the MATLAB program environment. The forward-backward sweep technique was deployed to compute power flow in the proposed power system. The optimal sizing and location of diesel generator and solar farm was calculated using multi-objective optimization technique based on Grey Wolf Optimizer. The objective function aims to minimize the total cost reduction, total power loss reduction, and reduction of carbon dioxide emission. This proposed algorithm was tested in IEEE 33 bus test system and the remote area distribution system.

The thesis results revealed that the IEEE 33 bus test system could be installed with three sets of 570 kW diesel generator and three groups of 100 kWp solar farm. The total power loss was reduced to 74.984 kW or 47%, the total cost was reduced to 125 \$/h. or 65%, the total carbon dioxide emission was reduced to 411.391 tCO_2 or 87% compared to the base case, respectively. The lowest bus voltage was 0.95 p.u. at bus 18. In contrast, the remote area installed with three sets of 938 kW diesel generator and one group of 100 kWp solar farm yielded different results. The total power loss was reduced to 129.8 kW or 8%, the total cost was reduced to 334 \$/h. or 5%, the total carbon dioxide emission was reduced to 10.89 tCO_2 or 4% compared to the base case, respectively. The lowest bus voltage was 0.954 p.u. at bus 9. Therefore, this study can be verified the validity of the analysis.

Keywords: multi-objective, diesel generators, solar farm, grey wolf optimizer

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ไปได้ด้วยดี เพราะได้รับความอนุเคราะห์ ความช่วยเหลือและคำแนะนำจากท่านอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ คือ รองศาสตราจารย์ ดร. กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์ ที่กรุณาให้ความรู้ที่คอยเป็นห่วงเอาใจใส่ ให้คำแนะนำและให้ความรู้ทั้ง ทางด้านทฤษฎีทางด้านการปฏิบัติ ในการทำวิทยานิพนธ์นี้สำเร็จไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่าน อาจารย์เป็นอย่างสูงและกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ ประธาน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ศิริชัย แดงเอม และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนทล นาวงษ์ กรรมการควบคุมการสอบ ที่กรุณาให้คำแนะนำ และแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์

ขอขอบพระคุณครูอาจารย์ผู้สอนวิทยาการแก่ผู้วิจัยทุกท่านทุกระดับชั้นการศึกษา ขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศีลวัต รมโพธิ์ชัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่กรุณา ให้คำปรึกษาการจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสาขาอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย ที่มอบข้อมูลในพื้นที่ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย เพื่อนำมาวิจัยทำ ให้เกิดผลการทดลองและนำมาจัดทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดาให้การสนับสนุนแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณอาจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความรู้เพื่อนำไปใช้ในงานวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ รวมทั้งพี่ๆ และทีมงานวิจัย ห้องปฏิบัติการระบบกำลังไฟฟ้า ขอขอบคุณ ศูนย์วิจัยระบบไฟฟ้ากำลังและ พลังงาน ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ให้ใช้ สถานที่ในการศึกษาค้นคว้าและตลอดจนการใช้ชีวิตร่วมกันของพี่ๆ น้อง ๆ PSRC Lab ทุกท่าน

ชัยมงคล เพ็งเต็ม

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญรูป.....	(8)
สารบัญตาราง.....	(10)
คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ.....	(11)
บทที่ 1 บทนำ.....	14
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	14
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	17
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	17
1.4 สมมติฐานของวิทยานิพนธ์.....	17
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน.....	18
1.6 องค์ประกอบของวิทยานิพนธ์.....	18
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	19
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
2.1 บทนำ.....	20
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
2.3 พื้นฐานระบบไฟฟ้ากำลัง.....	23
2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย.....	24
2.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายชนิดเชื้อเพลิงดีเซล.....	26
2.6 โซลาร์ฟาร์ม.....	27
2.7 อัลกอริทึมการหาค่าที่เหมาะสม.....	30
2.8 ระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย.....	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิทยานิพนธ์.....	42
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิทยานิพนธ์.....	43
3.2 กรณีศึกษาที่ 1 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า.....	44
3.3 กรณีศึกษาที่ 2 การค้นหาขนาดและตำแหน่งด้วยวิธี GWO แบบหลายวัตถุประสงค์	50
3.4 กรณีศึกษาที่ 3 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย	50
3.5 กรณีศึกษาที่ 4 ค้นหาขนาดและตำแหน่งด้วยวิธี GWO แบบหลายวัตถุประสงค์ ในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย.....	51
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	53
4.1 กรณีศึกษาที่ 1 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า.....	53
4.2 กรณีศึกษาที่ 2 ค้นหาขนาดและตำแหน่งด้วยวิธี GWO แบบหลายวัตถุประสงค์....	54
4.3 กรณีศึกษาที่ 3 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย	60
4.4 กรณีศึกษาที่ 4 กรณีศึกษาที่ 4 ค้นหาขนาดและตำแหน่งด้วยวิธี GWO แบบหลาย วัตถุประสงค์ในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย.....	61
4.5 บทสรุป.....	66
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	67
5.1 สรุปผล.....	67
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	68
บรรณานุกรม.....	70
ภาคผนวก.....	74
บรรณานุกรม ก ผลงานตีพิมพ์.....	75
ประวัติผู้เขียน.....	95

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง.....	14
รูปที่ 1.2 ระบบไฟฟ้าแบบบูรณาการ.....	16
รูปที่ 2.1 ระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบัน.....	23
รูปที่ 2.2 แรงดันไฟฟ้าแต่ละพื้นที่ของประเทศไทย.....	24
รูปที่ 2.3 การต่อร่วมของแผ่นโซลาร์เซลล์ลักษณะอนุกรมและขนาน.....	28
รูปที่ 2.4 การต่อร่วมของแผ่นโซลาร์เซลล์หลายชุด.....	29
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการสุมประชากรต้นกำเนิด จำนวน 4 โครโมโซม.....	31
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการข้ามสายพันธุ์.....	32
รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการกลายพันธุ์.....	32
รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนตำแหน่งของกลุ่มอนุภาค.....	33
รูปที่ 2.9 ลำดับชั้นของหมาป่าสีเทา.....	34
รูปที่ 2.10 การโจมตีเกี่ยวกับการค้นหาเหยื่อ.....	36
รูปที่ 2.11 แผนที่จังหวัดเชียงราย.....	37
รูปที่ 2.12 แผนที่อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย.....	38
รูปที่ 2.13 สถิติการใช้กำลังไฟฟ้าอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย.....	40
รูปที่ 2.14 ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย.....	41
รูปที่ 2.15 พื้นที่กำลังไฟฟ้าส่งไม่ถึงอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย.....	41
รูปที่ 3.1 ระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส.....	43
รูปที่ 3.2 แบบจำลองด้านโหลดตามเวลาจริงของระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส.....	45
รูปที่ 3.3 แบบจำลองการผลิตกำลังไฟฟ้าจากโซลาร์ฟาร์มตามเวลาจริง.....	45
รูปที่ 3.4 ระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย.....	50
รูปที่ 3.5 กระบวนการหาขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมด้วยวิธี GWO ตามเวลา.....	52

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.1	กำลังไฟฟ้าแอกทีฟในระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบ IEEE 33 บัส..... 53
รูปที่ 4.2	กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบ IEEE 33 บัส..... 53
รูปที่ 4.3	ระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบ IEEE 33 บัส..... 54
รูปที่ 4.4	แรงดันไฟฟ้าบัสหลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เวลา 06:00 – 13:00 น..... 56
รูปที่ 4.5	แรงดันไฟฟ้าบัสหลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เวลา 14:00 – 21:00 น..... 57
รูปที่ 4.6	แรงดันไฟฟ้าบัสหลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เวลา 22:00 – 05:00 น..... 57
รูปที่ 4.7	ผลรวมกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 ชนิด ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง..... 58
รูปที่ 4.8	กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบ IEEE 33 บัส ตามช่วงเวลา..... 58
รูปที่ 4.9	ค่าใช้จ่ายบัสตั้งต้นในระบบไฟฟ้ากำลังตามช่วงเวลา 24 ชั่วโมง..... 59
รูปที่ 4.10	การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามช่วงเวลา 24 ชั่วโมง..... 59
รูปที่ 4.11	กำลังไฟฟ้าสูญเสียแอกทีฟในระบบจำหน่ายในพื้นที่ท่าอากาศยานจังหวัดเชียงราย..... 60
รูปที่ 4.12	กำลังไฟฟ้าสูญเสียรีแอกทีฟในระบบจำหน่ายในพื้นที่ท่าอากาศยานจังหวัดเชียงราย..... 60
รูปที่ 4.13	แรงดันไฟฟ้าในจำหน่ายในพื้นที่ท่าอากาศยานจังหวัดเชียงราย..... 60
รูปที่ 4.14	แรงดันไฟฟ้าบัส จ.เชียงราย หลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เวลา 06:00 – 13:00 น. 63
รูปที่ 4.15	แรงดันไฟฟ้าบัส จ.เชียงราย หลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เวลา 14:00 – 21:00 น. 63
รูปที่ 4.16	แรงดันไฟฟ้าบัส จ.เชียงราย หลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เวลา 22:00 – 05:00 น. 64
รูปที่ 4.17	ผลรวมกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 ชนิด และบัสตั้งต้นช่วงเวลา 24 ชั่วโมง 64
รูปที่ 4.18	ผลเปรียบเทียบก่อนและหลังของกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลัง..... 65
รูปที่ 4.19	ค่าใช้จ่ายบัสตั้งต้นในระบบไฟฟ้ากำลัง อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย..... 65
รูปที่ 4.20	การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบไฟฟ้ากำลัง อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย..... 66

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
ตารางที่ 2.2 อัตราการเพิ่มจำนวนประชากรของในอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย.....	39
ตารางที่ 2.3 อัตราการใช้กำลังไฟฟ้าของในอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย.....	39
ตารางที่ 2.4 สถิติจำนวนนักท่องเที่ยว จังหวัดเชียงราย.....	40
ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม.....	50
ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม.....	52
ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้ากรณีฐานในช่วงเวลา 11:00 น.....	54
ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์หลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงเวลา 11:00 น.....	55
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้ากรณีฐานในช่วงเวลา 19:00 น.....	55
ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์หลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงเวลา 19:00 น.....	56
ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์กรณีฐานก่อนติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงเวลา 11:00 น.....	61
ตารางที่ 4.6 ผลลัพธ์กรณีฐานหลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงเวลา 11:00 น.....	61
ตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์กรณีฐานก่อนติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงเวลา 19:00 น.....	62
ตารางที่ 4.8 ผลลัพธ์กรณีฐานหลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงเวลา 19:00 น.....	62

คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ

P_{DGi}	กำลังไฟฟ้าแอคทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (W)
P_j	กำลังไฟฟ้าแอคทีฟ (W)
Q_j	กำลังไฟฟารีแอคทีฟ (VAR)
A_{ij}	ค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังไฟฟ้าแอคทีฟ (W)
B_{ij}	ค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังไฟฟารีแอคทีฟ (VAR)
P_{Di}	ความต้องการกำลังไฟฟ้าแอคทีฟ (W)
δ	มุมทางไฟฟ้า (องศาเรเดียน)
R	ความต้านทาน (Ω)
Q_{DGi}	กำลังไฟฟารีแอคทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (VAR)
Q_{Di}	ความต้องการกำลังไฟฟารีแอคทีฟ (VAR)
P_{pv}	กำลังไฟฟ้าด้านออกแอคทีฟจากระบบโซลาร์ฟาร์ม (W)
$P_{R,PV}$	กำลังไฟฟ้าด้านออกแอคทีฟจากระบบโซลาร์เซลล์ (W)
R_{SUN}	ความเข้มการแผ่รังสี (W / m^2)
R_{ref}	ความเข้มการแผ่รังสีอ้างอิง (W / m^2)
N_T	จำนวนนับของช่วงเวลา (Hour)
T_C	อุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์ช่วงเวลานั้น ($^{\circ}C$)
T_{ref}	อุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์อ้างอิง ($^{\circ}C$)
T_{NOCT}	อุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ช่วงปกติ ($^{\circ}C$)
T_{air}	อุณหภูมิสภาพแวดล้อมรอบแผงโซลาร์เซลล์ ($^{\circ}C$)
H	ตำแหน่งของคำตอบตามวัตถุประสงค์
C	องค์ประกอบการค้นหา
X_p	จุดปลายทางหมาป่า
X	จุดเริ่มต้นหมาป่า
A	ขอบเขตการค้นหา
a	พื้นที่ค่าดการณ
m	ระยะทาง
d	มิติการค้นหา
D_{α}	ตำแหน่งที่ดีที่สุด

คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ (ต่อ)

X_α	จุดปลายทางหมาป่าที่ดีที่สุด
D_β	ตำแหน่งที่ดี
X_β	จุดปลายทางหมาป่าที่ดี
D_δ	ตำแหน่งที่พอดี
X_δ	จุดปลายทางหมาป่าที่พอดี
H_1	การใช้กำลังไฟฟ้าแอกทีฟ (W)
NP_0	จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเริ่มต้น
$P_{t,load}$	กำลังไฟฟ้าแอกทีฟของโหลด (W)
P_t	กำลังไฟฟ้าแอกทีฟรวมทั้งระบบ (W)
P_0	กำลังอ้างอิงที่ใช้งานอยู่ (W)
$F(x)$	ฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์
$f_1(x)$	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 การลดค่าใช้จ่าย
$f_2(x)$	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 การลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า
$f_3(x)$	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 3 การลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
C_{total}	ค่าใช้จ่ายรวมทั้งระบบ (\$)
a_i, b_i, c_i	ค่าสัมประสิทธิ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
CCA	ค่าใช้จ่ายการผลิตกำลังไฟฟ้า (\$)
COM	ค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษา (\$/Year)
$C_{in}^{SolarFarm}$	ต้นทุนการติดตั้งโซลาร์ฟาร์ม (\$)
P_{rated}	กำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่ผลิตได้สูงสุดของระบบโซลาร์ฟาร์ม (W)
$T_{SolarFarm}$	ระยะเวลาการใช้แผงโซลาร์ฟาร์มตั้งแต่ติดตั้ง (Day)
P_{Gi}	กำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่ใช้งานซึ่งผลิตโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (W)
P_{DR}	กำลังไฟฟ้าที่แอกทีฟใช้งานอยู่ในระบบไฟฟ้า (W)
N_B	จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
Q_{Gi}	กำลังไฟฟ้านิวเคลียร์ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตได้ (VAR)
Q_{DR}	ความต้องการกำลังไฟฟ้านิวเคลียร์ (VAR)
P_{loss}	กำลังไฟฟ้าสูญเสียไปในระบบไฟฟ้า (W)
d_i, e_i, f_i	ค่าสัมประสิทธิ์การเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

คำอธิบายสัญลักษณ์และตัวย่อ (ต่อ)

P_{t_i}	กำลังไฟฟ้าแอมป์ที่ผลิตอยู่ในระบบไฟฟ้า (W)
Q_{Boil}	จุดเดือดสูงสุดของเชื้อเพลิง (J/L)
Q_{CO_2}	จุดเดือดเชื้อเพลิงที่เปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (J/L)
Q	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (J/W)
C_{oilc}	ปริมาณเชื้อเพลิง (J/L)

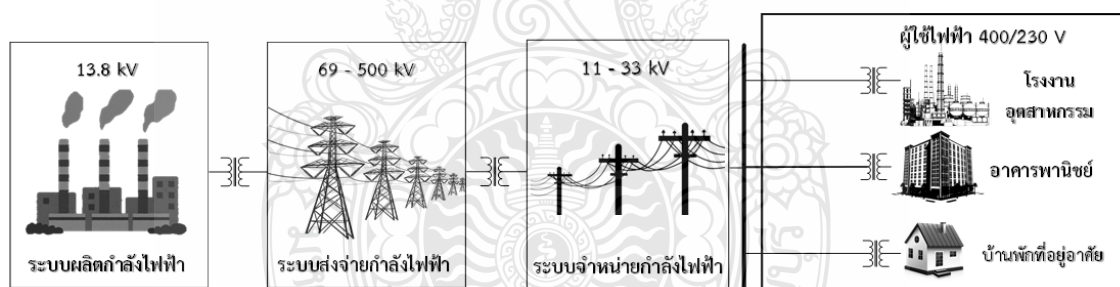


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันมีการใช้กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลังในภาพรวมทั้งระบบผลิต ระบบส่ง และระบบจำหน่าย ล้วนแต่ได้รับอิทธิพลจากการใช้กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนี้ อย่างไรก็ตามการใช้กำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นยังแสดงถึงผลดีที่ตามมา เช่น การเติบโตทางเทคโนโลยี การขยายตัวของเศรษฐกิจ การยกระดับคุณภาพชีวิตของประชากร สิ่งเหล่านี้เป็นปัจจัยสำคัญในการพัฒนาระบบไฟฟ้ากำลังให้มีการตอบสนองความต้องการ การขาดแคลนกำลังไฟฟ้าหรือการผลิตกำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการเป็นปัญหาสำคัญมายาวนาน ในอดีตถึงปัจจุบันมีการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องทำให้ปัญหาการขาดแคลนกำลังไฟฟ้าได้ถูกแก้ไขอยู่บ้างในบางพื้นที่ ทางออกสำหรับปัญหานี้อย่างถาวร คือ ควรมีการแก้ปัญหาแบบบูรณาการไปตามยุคสมัยใหม่เพื่อให้สอดคล้องกับนวัตกรรมและเทคโนโลยีที่จะเข้ามาในอนาคต [1]

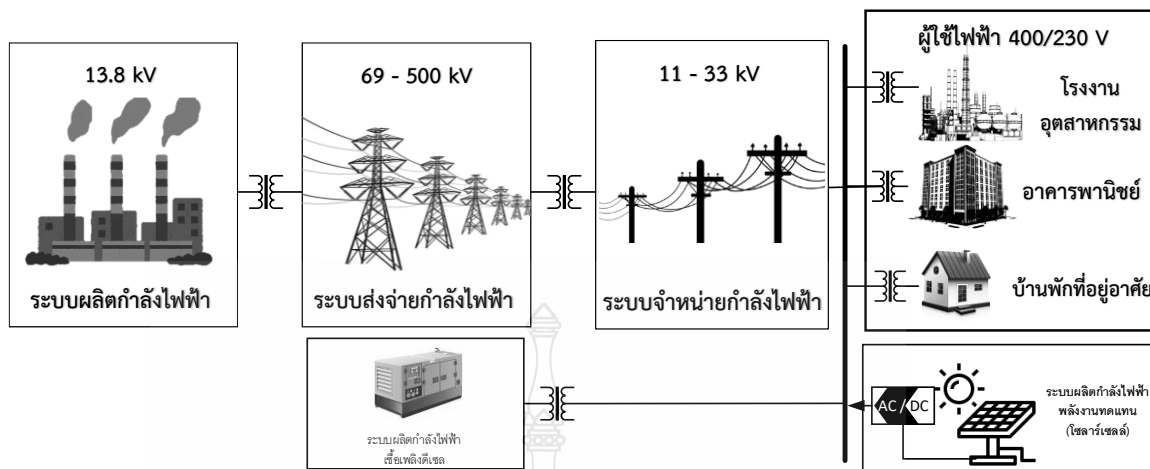


รูปที่ 1.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง

จากรูปที่ 1.1 แสดงระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบันที่มีระบบผลิตกำลังไฟฟ้าชนิดเดียวในการผลิตกำลังไฟฟ้า ระบบผลิตกำลังไฟฟ้าส่วนใหญ่ใช้เชื้อเพลิงพลังงานจากซากพืชซากสัตว์ในการผลิตกำลังไฟฟ้า เช่น น้ำมัน และถ่านหิน โดยการเปลี่ยนพลังงานกลเป็นกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จะถูกแปลงแรงดันไฟฟ้าขึ้นผ่านหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อส่งเข้าสู่ระบบส่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ถูกแปลงขึ้นจะมีขนาดแรงดันไฟฟ้า 230-1,000 kV จะถูกส่งไปยังพื้นที่ต่าง ๆ เข้าสู่หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าลงในระบบจำหน่าย 22-24 kV เพื่อจำหน่ายไฟฟ้าให้แก่พื้นที่ผู้ใช้ไฟฟ้า โดยผู้ใช้ไฟฟ้าหรือ โหลดกำลังไฟฟ้า สามารถแบ่งได้ 3 ประเภท คือ โรงงานอุตสาหกรรม, อาคารพาณิชย์ และบ้านพักที่อยู่อาศัย โหลดกำลังไฟฟ้าทั้ง 3 ประเภทนี้จะได้รับกำลังไฟฟ้าจากระบบจำหน่ายหลังหม้อแปลงไฟฟ้าแปลงแรงดันไฟฟ้าลงในระบบจำหน่าย 230-400 V ก่อนเข้าสู่ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงต่ำก่อนจำหน่ายแก่พื้นที่ โหลดกำลังไฟฟ้า ระบบไฟฟ้ากำลังลักษณะนี้หากมีความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจะสามารถแก้ปัญหาได้ 2

วิธี คือ การเพิ่มกำลังไฟฟ้าในการผลิตเพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการการใช้ไฟฟ้า และอีกวิธีคือ การรับกำลังไฟฟ้าจากแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าจากที่อื่น ซึ่งวิธีที่กล่าวมาทั้งสั้่นนั้นล้วนแล้วแต่เพิ่มภาระแก่ระบบผลิตกำลังไฟฟ้าทั้งสิ้น

ด้วยแนวคิดนี้ทำให้ในปัจจุบันมีการแก้ปัญหาต่าง ๆ และการแก้ปัญหาแบบบูรณาการเกิดขึ้นมากมายเข้ามาในระบบไฟฟ้ากำลัง ทั้งระบบการผลิตมีการนำแนวคิดการนำพลังงานธรรมชาติหรือพลังงานทดแทน (Renewable Energy) เข้ามาแก้ปัญหา การคำนวณปริมาณการผลิตกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมตามความต้องการ การค้นหาเชื้อเพลิงรูปแบบใหม่ที่ลดต้นทุนลงแทนเชื้อเพลิงรูปแบบเดิม การผลิตพลังงานไฟฟ้าสมัยใหม่ เช่น พลังงานจากกากนิวเคลียร์ (Nuclear Waste Power) พลังงานฟิวชั่น (Fusion Power) พลังงานไฮโดรเจน (Hydrogen Power) การพัฒนาสายส่งด้วยวัสดุนำไฟฟ้าในระบบส่งกำลังไฟฟ้า การลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียลงระหว่างส่งกำลังไฟฟ้า ติดตั้งอุปกรณ์ขยายกำลังส่งกำลังไฟฟ้า และการค้นหาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งสถานีจำหน่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อครอบคลุมพื้นที่การใช้งาน การแก้ปัญหาที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในตอนนี้คือการนำพลังงานทดแทนเข้ามาแก้ปัญหา เนื่องจากการอนุรักษ์พลังงานกับพลังงานสะอาดเป็นที่สนใจมากในสังคม ทำให้การแก้ปัญหาโดยมีพลังงานทดแทนเข้ามามีบทบาทเป็นสิ่งที่ได้รับความนิยมจากนักวิชาการด้วยพลังงานทดแทนเป็นพลังงานที่มีอยู่บนโลก เป็นพลังงานที่ไม่มีจำกัดเป็นพลังงานสะอาดไม่ก่อให้เกิดมลพิษต่อโลกจึงสอดคล้องกับกระแสที่เกิดขึ้นในยุคปัจจุบัน [2] พลังงานทดแทนที่มีอยู่บนโลกนั้นมีอยู่มากมายหลายชนิดแต่มีเพียงบางชนิดที่ได้รับความนิยม เนื่องจากการผลิตพลังงานไม่มีความซับซ้อนและลงทุนไม่เยอะจึงมีพลังงานทดแทนบางชนิดที่สามารถนำมาใช้งานจริงได้ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) พลังงานที่เกิดจากการนำรังสีดวงอาทิตย์นำมาใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยใช้หลักการการแลกเปลี่ยนความเข้มแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าผ่านสารกึ่งตัวนำในแผงเซลล์แสงอาทิตย์ พลังงานลม (Wind Energy) เป็นพลังงานที่ใช้ความเร็วกระแสลมในการผลิตพลังงานโดยการผลักกังหันลมที่ต่อเข้ากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อทำการผลิตพลังงานไฟฟ้าในขณะที่กระแสลมพัด พลังงานน้ำ (Hydro Energy) หลักการผลิตพลังงานคล้ายกับพลังงานลมแต่เปลี่ยนจากความเร็วของกระแสลมเป็นกระแสน้ำโดยใช้หลักการปล่อยน้ำจากที่สูงสู่กังหันน้ำด้านล่างเพื่อสร้างพลังงาน การผลิตพลังงานที่กล่าวมาสามารถนำมาบูรณาการในระบบผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อตอบสนองสถานะการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นในปัจจุบันอีกด้วย [3] ทั้งนี้พลังงานทดแทนนั้นยังไม่เพียงพอต่อการตอบสนองความต้องการพลังงานที่เพิ่มขึ้น อีกทางเลือกหนึ่งได้รับความนิยมคือ ระบบไฟฟ้าแบบผสมผสาน (Hybrid Energy Systems) ด้วยการผสมผสานการผลิตพลังงานแบบเดิมรวมกับการผลิตพลังงานทดแทนสามารถลดข้อเสียของการผลิตพลังงานทั้งสองรูปแบบได้ อีกทั้งสอดคล้องตามนโยบายการพัฒนาพลังงานอย่างยั่งยืนในประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าในพื้นที่ชนบทห่างไกลที่มีปัญหาการขาดแคลนพลังงานและการสูญเสียกำลังไฟฟ้าระหว่างส่งอีกด้วย การนำระบบไฟฟ้าแบบผสมผสานเข้ามามีบทบาทในระบบไฟฟ้ากำลังดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1.2 ระบบไฟฟ้าแบบบูรณาการ

การบูรณาการด้านการปรับปรุงด้วยวิธีที่เหมาะสมที่สุด เช่น การหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดในของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และอื่นๆ เป็นต้น การบูรณาการเหล่านี้ก่อให้เกิดวิธีการต่าง ๆ เข้ามาปรับปรุงกระบวนการกันเพื่อค้นหาคำตอบได้ดีที่สุด หนึ่งในนั้นคือการนำอัลกอริทึมเข้ามาค้นหาคำตอบอย่างการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization, PSO) การเพิ่มประสิทธิภาพอัลกอริทึมวิวัฒนาการของพาเรโตที่แข็งแกร่ง (Strength Pareto Evolutionary Algorithm, SPEA2) [3] วิธีการวนซ้ำเพื่อเอาชนะความไม่เชิงเส้น [4] อัลกอริทึมทางพันธุกรรม (Genetic Algorithms, GA) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่เหมาะสมได้ดียิ่งขึ้น [5] จึงมีการบูรณาการอย่างต่อเนื่องจนนำไปสู่วิธีการหาคำตอบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ที่ทำให้ขอบเขตการหาคำตอบแคบลงและตอบสนองกับปัญหาที่ต้องแก้มากขึ้น ตัวอย่างอัลกอริทึมที่ปรับใช้ คือ อัลกอริทึมทางพันธุกรรมของเวกเตอร์วิวัฒนาการ (Vector Evolution Genetic Algorithm, VEGA) และอัลกอริทึมทางพันธุกรรมหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Genetic Algorithm, MOGA) อย่างไรก็ตามวิธีการหาคำตอบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ยังมีข้อจำกัดเล็กน้อย จนไม่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างเหมาะสม ด้วยการกำหนดวัตถุประสงค์ที่เกินขอบเขตการค้นหาคำตอบการแก้ปัญหาของอัลกอริทึมทำให้ในบางครั้งคำตอบที่ได้มีความผิดพลาด และการใช้อัลกอริทึมที่มีกลไกการหาการแก้ปัญหาเพียงฟังก์ชันวัตถุประสงค์เดียว ไม่สามารถที่จะแก้ไขปัญหาตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอแนวทางการแก้ไขปัญหาการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังพร้อมเพิ่มเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า ด้วยเทคนิคฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์เข้ามาช่วยแก้ปัญหา โดยมีการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์หาขนาดและตำแหน่งในการติดตั้งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลร่วมกับโซลาร์ฟาร์ม เพื่อลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังพร้อมเพิ่มเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1.2.1 เพื่อศึกษาปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าตามความต้องการของโหลดและการเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในช่วงเวลาของระบบจำหน่าย

1.2.2 เพื่อประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ในการแก้ไขปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าในตามความต้องการของโหลดและการเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในช่วงเวลาของระบบจำหน่ายในพื้นที่ทางไกลจังหวัดเชียงราย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 สามารถแก้ปัญหการไหลของกำลังไฟฟ้าตามความต้องการของโหลดและการเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในช่วงเวลาของระบบจำหน่าย

1.3.2 สามารถประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ในการแก้ไขปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าในตามความต้องการของโหลดและการเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในช่วงเวลาของระบบจำหน่ายจังหวัดเชียงราย

1.4 สมมติฐานของวิทยานิพนธ์

การหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายและโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายที่เหมาะสมด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์สามารถเป็นแนวทางการออกแบบระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อเพิ่มเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังในเงื่อนไขของโหลดสามเฟสสมดุลได้

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.5.1 ศึกษาปัญหาการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและเพิ่มเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย

1.5.2 ศึกษาทฤษฎีเบื้องต้นของการวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง

1) ศึกษาทฤษฎีการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย

2) ศึกษาการเกิดปัญหาการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและเพิ่มความเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย

3) ศึกษาวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่นำมาวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าและการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าและเพิ่มเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย

1.5.3 การดำเนินงานวิจัย

1) เก็บข้อมูลการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายเพื่อนำมาวิเคราะห์

2) วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายโดยใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม MATLAB

3) หาวิธีแก้ปัญหการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและเพิ่มเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสม

1.5.4 วิเคราะห์ผลการวิจัย

1) เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายเมื่อติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม

2) การสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายเมื่อติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม

1.5.5 สรุปผลการวิจัย

1.6 องค์ประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายด้วยเทคนิคความเหมาะสมแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ โดยได้นำเสนอเป็นลำดับดังนี้

บทที่ 2 นำเสนอทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง, พื้นฐานระบบไฟฟ้ากำลังและประเภทเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย, เนื้อหาเกี่ยวกับโซลาร์เซลล์ที่เป็นส่วนประกอบของโซลาร์ฟาร์มพร้อมสมการการคำนวณกำลังไฟฟ้าจากโซลาร์ฟาร์ม, ข้อมูลที่ควรทราบก่อนการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายพร้อมวิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีต่าง ๆ ความสำคัญของเสถียรภาพทางระบบไฟฟ้ากำลัง เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดและข้อมูลเบื้องต้นของพื้นที่สำหรับการวิเคราะห์ระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย

บทที่ 3 นำเสนอขั้นตอนการดำเนินการวิทยานิพนธ์ ประกอบไปด้วยการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย ค้นหาพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคฟอร์เวิร์ด-แบคเวิร์ดสวีป (Backward - Forward Sweep) พร้อมแสดงเป็นแผนผังการวิเคราะห์ ทฤษฎีและสมการของการผลิตกำลังไฟฟ้าของโซลาร์ฟาร์มเวลาจริงสรุปเป็นรูปกราฟ ทฤษฎีและสมการสำหรับจำลองความต้องการตามช่วงเวลาของระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส และฟังก์ชันการขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม แสดงถึงวัตถุประสงค์หลายฟังก์ชันในการวิเคราะห์ทั้ง การลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายและการเพิ่มขนาดแรงดันไฟฟ้าสูงสุดให้แก่ระบบจำหน่าย

บทที่ 4 นำเสนอผลลัพธ์การดำเนินการวิทยานิพนธ์ แสดงใน 2 กรณีด้วยกัน คือ กรณีที่ 1 แสดงผลลัพธ์การจำลองบนแบบจำลองระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส หลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มด้วยขนาดที่เหมาะสมด้วยวิธีเกรย์วูล์ฟออฟติไมเซอร์ หลายวัตถุประสงค์

(Multi-Objective Grey Wolf Optimizer, MOGWO) กรณีที่ 2 แสดงผลลัพธ์การจำลองบนระบบจำหน่ายในพื้นที่ห้วยโกส จังหวัดเชียงราย หลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มด้วยขนาดที่เหมาะสมด้วยวิธี MOGWO

และบทที่ 5 ได้นำเสนอบทสรุปการหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายที่เหมาะสมด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์บนระบบจำหน่ายในพื้นที่ห้วยโกส จังหวัดเชียงราย หลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มด้วยขนาดที่เหมาะสมด้วยวิธี MOGWO และข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิทยานิพนธ์นี้

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 สามารถศึกษาและหาวิธีแก้ไขปัญหาการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและเพิ่มเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายในพื้นที่ห้วยโกส จังหวัดเชียงราย

1.7.2 สามารถศึกษาวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์

1.7.3 สามารถหาขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มเพื่อลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและเพิ่มเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย

1.7.4 สามารถแก้ปัญหการจำหน่ายกำลังไฟฟ้าในพื้นที่ห้วยโกสได้ โดยที่เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าอยู่ในระดับที่เหมาะสม

1.7.5 สามารถประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหการสูญเสียกำลังไฟฟ้าและเพิ่มเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่าย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

บทนี้กล่าวเกี่ยวกับทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายด้วยเทคนิคความเหมาะสมแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ โดยมีรายละเอียดหัวข้อดังนี้

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาการปรับปรุงเสถียรภาพในระบบจำหน่ายมีอยู่หลายวิธี เช่น การปรับเสถียรภาพในระบบจำหน่ายด้วยวิธีการติดตามปาดิเตอร์ แบงค์ เข้าสู่ระบบ การปรับปรุงกำลังผลิตที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กในแต่ละพื้นที่หรือการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายเพิ่มเข้า ระบบจำหน่ายวิธีการที่กล่าวมานั้นจะมีกระบวนการเพื่อช่วยวิเคราะห์ปัญหาให้เกิดความเหมาะสมที่สุดทั้งการใช้สมการคณิตศาสตร์ อัลกอริทึม หรืออุปกรณ์ที่ในการช่วยวิเคราะห์ สิ่งสำคัญ คือ การกำหนดวัตถุประสงค์ของความต้องการเพื่อสร้างขอบเขตในการค้นหาคำตอบเพื่อบรรลุวัตถุประสงค์และมีความเหมาะสมที่สุด สิ่งเหล่านี้ที่กล่าวมามีความเกี่ยวข้องกับการหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคความเหมาะสมแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

ชื่อผู้เขียนบทความ	สาระสำคัญ
दनय तोगरुव. (2553).	นำเสนอการวางแผนเพื่อยกระดับเสถียรภาพแรงดันสำหรับระบบจำหน่ายในพื้นที่จังหวัดจันทบุรี โดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาคในการคำนวณหาขนาดและตำแหน่งติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก
Chandrasekhar Yammani, Sydulu Maheswarapu & Sailajakumari Matam. (2012).	นำเสนอการวางตำแหน่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายมากกว่าหนึ่งเครื่องในระบบจำหน่ายอย่างเหมาะสมโดยคำนึงถึงขีดจำกัดที่มีอยู่ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลที่ติดตั้งเข้าแต่ละบัส โดยพิจารณาถึงปัญหาทางเทคนิคของระบบเพื่อแก้ไขปัญหาการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่าย

ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

ชื่อผู้เขียนบทความ	สาระสำคัญ
Weerachai Phuangpornpitak & Krischonme Bhumkittipich. (2013).	นำเสนอการวางตำแหน่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายหนึ่งเครื่องในระบบจำหน่ายอย่างเหมาะสมโดยใช้วิธี PSO เพื่อลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้ากับระบบจำหน่ายแวนรศมี 26 บัสซึ่งดัดแปลงมาจากระบบการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในประเทศไทย
Seyedali Mirjalili, Seyed Mohammad Mirjalili & Andrew Lewis. (2014).	นำเสนอวิธีการหาค่าที่เหมาะสมตามพฤติกรรมการออกล่าอาหารของหมาป่าสีเทา อธิบายลักษณะการปกครองและหน้าที่แต่ละชนชั้น การปกครอง แสดงในรูปสมการเปรียบเทียบจากโจทย์ที่กำหนดทั้ง 30 โจทย์ พร้อมแสดงผลลัพธ์ทั้งในรูปแบบคำตอบและกราฟ
Pramodini N, M, M, Rajan Singaravel & Niveditha, N. (2017).	นำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพหลายวัตถุประสงค์ของระบบพลังงานหมุนเวียนแบบผสมผสานระหว่างโซลาร์เซลล์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันลมสำหรับพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ด้วยวิธี SPEA2 ในการคำนวณ ระหว่าง ต้นทุน และ การสูญเสียความน่าจะเป็นของแหล่งพลังงาน
Salah Kamel, Said Abdel Fatah, Mohamed Ebeed, Juan Yu, Kaigui Xie & Chenyu Zhao. (2019).	นำเสนอการแก้ปัญหาการส่งกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่เหมาะสมที่สุดโดยพิจารณาถึงความไม่แน่นอนของโหลด ด้วยการแก้ปัญหาการส่งกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่เหมาะสมที่สุด (ORPD) โดยใช้เครื่องมือวิธีเพิ่มประสิทธิภาพด้วยหมาป่าสีเทาที่ได้รับการปรับปรุง
Zhidong Ding, Yaping Li & Kaifeng Zhang. (2020).	นำเสนอโซลูชันใหม่โดยใช้ทรัพยากรความต้องการแบบไดนามิกเพื่อลดผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงโหลดที่คาดการณ์ ในงานวิจัยการตอบสนองความต้องการแบบไดนามิกต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดอย่างกะทันหันที่คาดการณ์ได้ด้วยอัลกอริทึมทางพันธุกรรม ด้วยการสร้างแบบจำลองที่เคยเกิดขึ้นในอดีตร่วมกับผลลัพธ์กับพลังงานตลอดวันเพื่อลดค่าใช้จ่ายในขณะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงโหลด

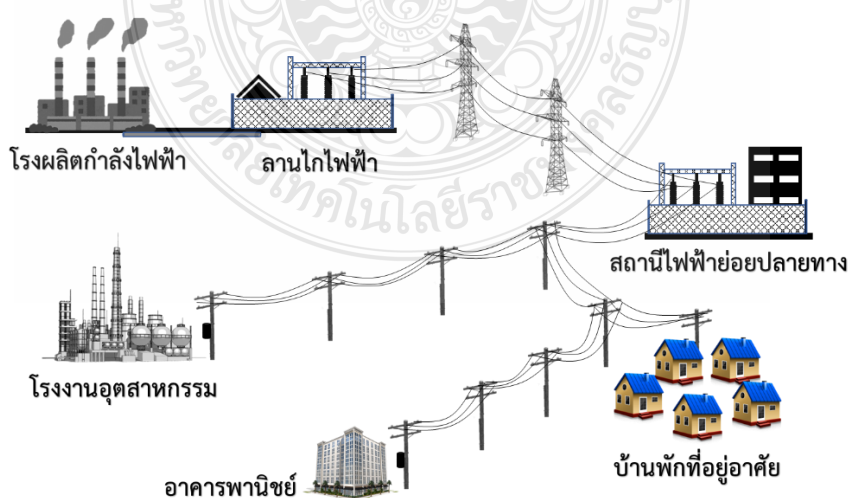
ตารางที่ 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ (ต่อ)

ชื่อผู้เขียนบทความ	สาระสำคัญ
Ramadhan Faris Hakiim, Wardaniawan, Veby Riska Afrina, Lesnanto Multa Putranto & Tiyono. (2020).	นำเสนอการปรับตำแหน่งและขนาดของโซลาร์ฟาร์มให้เหมาะสมโดยใช้วิธี PSO เพื่อลดการสูญเสียและแรงดันไฟฟ้า รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยหลังจากติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลเข้าสู่ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า
Xu Zhong, Peng Heping, Mo Wenxiong, Wang Yong & Luan Le. (2021).	นำเสนอการลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบจำหน่ายด้วยวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพฝูงอนุภาคความโกลาหล (CPSO) ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันก๊าซ ร่วมกับระบบไฟฟ้ากำลัง (Grid system)
Ehsan Haghi, Behzad Farshidian & Yadollah Saboohi. (2022).	นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองสำหรับการปรับขนาดที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก/พลังงานแสงอาทิตย์แบบไฮบริดสำหรับการผลิตไฟฟ้า โดยใช้วิธีคำนวณเชิงเส้นทางคณิตศาสตร์ในการวิจัยได้เลือกใช้พื้นที่จังหวัดมาฮานดารัน ประเทศอิหร่าน
Mahesh Kumar, Amir Mahmood Soomro, Waqar Uddin & Laveet Kumar. (2022)	นำเสนอการหาความเหมาะสมอย่างละเอียด ในเรื่องการวางตำแหน่งหลายวัตถุประสงค์ที่เหมาะสมที่สุดและขนาดและการวางแบบกระจายตัวประเภทของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายในระบบจำหน่ายในการแก้ปัญหา
ชัยมงคล เพ็งเต็ม, ศักดิ์สิทธิ์ ดีอ่า, ณฑุณ จันทรจรัส, ศีลวัต ร่มโพธิ์ชัย และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์. (2023)	นำเสนอการหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายร่วมกับฟาร์มพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่ายด้วยเทคนิควิธีกลุ่มอนุภาค โดยการปรับการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายให้สอดคล้องกับกำลังไฟฟ้าของโซลาร์ฟาร์มเพื่อลดกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้า เพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้น
ศักดิ์สิทธิ์ ดีอ่า, ณฑุณ จันทรจรัส, ศีลวัต ร่มโพธิ์ชัย, พิมพ์นภัส ภูมิภิตติพิชญ์ และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์. (2023)	นำเสนอการออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ต่อร่วมกับระบบสะสมพลังงานสำหรับชุมชนห่างไกลที่เหมาะสมด้วยเทคนิคเชิงพันธุกรรมแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า เพื่อลดค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียและเพิ่มระดับแรงดัน

ตารางที่ 2.1 แสดงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์นี้ อธิบายพื้นฐานระบบจำหน่าย การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าและการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่าย การกำหนด วัตถุประสงค์หนึ่งอย่าง เช่น การลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า การลดค่าใช้จ่าย การเพิ่มขนาดแรงดันไฟฟ้า และการตอบสนองความต้องการที่เพิ่มขึ้นในระบบจำหน่าย แต่วัตถุประสงค์ที่กำหนดขึ้นอาจไม่สามารถ แก้ไขปัญหาอย่างเหมาะสมที่สุดได้ เนื่องจากวัตถุประสงค์ที่กำหนดไม่ครอบคลุมปัญหาที่เกิดขึ้น วิทยานิพนธ์ นี้นำเสนอการกำหนดวัตถุประสงค์หลายประการสำหรับการหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิด ไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มอย่างเหมาะสม เพื่อลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้า ลดค่าใช้จ่าย เพิ่มระดับ แรงดันไฟฟ้าและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ของระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกลจังหวัด เชียงราย

2.3 พื้นฐานระบบไฟฟ้ากำลัง

ระบบไฟฟ้ากำลัง คือ ระบบขนาดใหญ่ที่ประกอบด้วย ระบบผลิต ระบบส่งและระบบจำหน่าย โดยระบบผลิตกำลังไฟฟ้ามีหน้าที่ผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยการเปลี่ยนพลังงานรูปแบบต่าง ๆ เป็นพลังงาน ไฟฟ้าและส่งกำลังไฟฟ้าที่ผลิตไปยังระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าผ่านลานไกลไฟฟ้า (Switchyard) เพื่อยกระดับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นจาก 20 kV เป็น 230 kV ผ่านเสาส่งและสายส่งแรงสูงที่รับแรงดันจาก ลานไกลไฟฟ้าส่งต่อไปยังระบบจำหน่ายที่เป็นระบบสุดท้ายก่อนถึงผู้ใช้ ระบบจำหน่ายจะเชื่อมต่อกับ ระบบส่งเพื่อรองรับแรงดันที่ส่ง โดยจะมีหม้อแปลงสำหรับลดแรงดันไฟฟ้าลงเพื่อจำหน่ายเข้าสู่ระบบ ไฟฟ้าแรงต่ำและจำหน่ายแก่ผู้ใช้ [6]



รูปที่ 2.1 ระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบัน

ระบบจำหน่ายในประเทศไทยมีหน่วยงานที่รับผิดชอบ คือ การไฟฟ้านครหลวง ซึ่งรับผิดชอบการจำหน่ายกำลังไฟฟ้าในเขตกรุงเทพและปริมณฑล มีระดับแรงดันจำหน่าย 12, 24 kV ส่วนอีกหน่วยงาน คือ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ซึ่งรับผิดชอบการจำหน่ายกำลังไฟฟ้าในต่างจังหวัด มีระดับแรงดันจำหน่าย 22, 33 kV [7] ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แรงดันไฟฟ้าแต่ละพื้นที่ของประเทศไทย

2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (Distributed Generation)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย คือ แหล่งผลิตไฟฟ้าในการติดตั้งตามความเหมาะสมแต่ละพื้นที่ที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่อตอบสนองต่อความต้องการในช่วงโมเมนต์และปรับปรุงเสถียรภาพในพื้นที่นั้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็ก โซลาร์รูฟท็อป โซลาร์ฟาร์ม กังหันลม เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่ติดตั้งเพิ่มเติมเข้าสู่ระบบไฟฟ้ากำลังนั้นจะถูกเรียกว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย ตามมาตรฐาน IEEE1547-2003 สามารถจัดหมวดหมู่ได้ตามนี้ [8]

2.4.1 เทคโนโลยีที่ใช้เชื้อเพลิง

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายมีหลายประเภท หนึ่งในนั้นส่วนใหญ่ใช้เทคโนโลยีที่ใช้เชื้อเพลิง เช่น เครื่องยนต์สันดาป เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันแก๊ส เซลล์เชื้อเพลิง และชีวมวล [9]

2.4.1.1 เครื่องยนต์สันดาป (Internal Combustion Engine)

เครื่องยนต์สันดาป ที่ใช้เชื้อเพลิงและออกซิโดซ์ทำปฏิกิริยาและเผาไหม้ในห้องเผาไหม้แบบปิด ในกระบวนการเผาไหม้จะเกิดก๊าซร้อนที่อุณหภูมิและความดันสูง เนื่องจากการขยายตัวของก๊าซที่มีความร้อน ชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวของเครื่องยนต์จะเคลื่อนที่และทำงานทางกล แม้ว่าวัตถุประสงค์ของการใช้เครื่องยนต์แบบธรรมดาจะมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เครื่องยนต์สันดาปในรถยนต์ แต่เครื่องยนต์เหล่านี้ยังสามารถนำไปใช้เพื่อการผลิตไฟฟ้าได้ เช่น

1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายขนาดเล็กที่สามารถรักษาระดับแรงดันบัสจะติดได้ที่บัสโหลด (Load Bus) เพื่อรักษาระดับแรงดันให้เสถียรภาพต่อระบบ การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Load Flow) ในระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อหากำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสดงสมการที่ (2.1)

$$P_i = P_{DGi} - P_{Di} - \frac{1}{A_i} \sum_{j=1}^n (A_{ij}P_j - B_{ij}Q_j) \quad (2.1)$$

โดยที่ $A_{ij} = \frac{R_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j)}{V_i V_j}$ และ $B_{ij} = \frac{R_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j)}{V_i V_j}$

2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายขนาดเล็กที่สามารถจ่ายได้เฉพาะกำลังไฟฟารีแอกทีฟ (Reactive Power) เช่น ซิงโครนัสคอนเดนเซอร์ (Synchronous Condenser) โดยมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ดังแสดงในสมการที่ (2.2)

$$Q_{DGi} = Q_{Di} - \frac{1}{A_i} \sum_{j=1}^n (A_{ij}Q_j - B_{ij}P_j) \quad (2.2)$$

เมื่อ	P_{DGi}	คือ	กำลังไฟฟ้าแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจาย (W)
	P_j	คือ	กำลังไฟฟ้าแอกทีฟ (W)
	Q_j	คือ	กำลังไฟฟารีแอกทีฟ (var)
	A_{ij}	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ
	B_{ij}	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ของกำลังไฟฟารีแอกทีฟ

2.4.1.2 เทคโนโลยีที่ใช้พลังงานหมุนเวียน (Renewable Energy) คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายประเภทนี้ขึ้นอยู่กับพลังงานที่ได้รับตามธรรมชาติที่เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน เทคโนโลยีที่ใช้พลังงานหมุนเวียนมีอยู่ด้วยกันหลายชนิด เช่น กังหันลม โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก และโซลาร์เซลล์ จัดอยู่ในประเภทนี้ โดยส่วนใหญ่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ ดังนี้

1) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กที่สามารถจ่ายได้เฉพาะกำลังไฟฟ้าแอคทีฟ (Active Power) เช่น การผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยโซลาร์เซลล์ โดยมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ผลิต ดังแสดงในสมการที่ (2.3)

$$P_{DGi} = P_{Di} - \frac{1}{A_{ii}} \sum_{j=1}^n (A_{ij}P_j - B_{ij}Q_j) \quad (2.3)$$

2.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายชนิดเชื้อเพลิงดีเซล (Diesel Generation, DG)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายที่จะอยู่ในประเภทเทคโนโลยีที่ใช้เชื้อเพลิง เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความนิยมในการจ่ายกำลังไฟฟ้าในชั่วโมงฉุกเฉินเพื่อรักษาความเสถียรภาพในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า [10]

2.5.1 หลักการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายชนิดเชื้อเพลิงดีเซล

การผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดเชื้อเพลิงดีเซล มี 2 ส่วนในการผลิตกำลังไฟฟ้า ได้แก่

1) เครื่องยนต์สันดาป

อุปกรณ์ที่เปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นพลังงานกล โดยทำปฏิกิริยาเคมีการเผาไหม้เชื้อเพลิงในห้องแบบปิด การเปลี่ยนสภาพของเชื้อเพลิงมีการขยายตัวจนขับเคลื่อนอุปกรณ์ทางกลสำหรับผลิตกำลังไฟฟ้า

2) เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ หรือที่เรียกว่า เจินเฮดด์ (Gen Head) เป็นส่วนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ผลิตไฟฟ้าจากขาเข้าเชิงกลที่ติดกับเครื่องยนต์สันดาป ประกอบด้วยการประกอบชิ้นส่วนที่อยู่กับที่และเคลื่อนที่ได้ซึ่งห่อหุ้มอยู่ในตัวเครื่อง ส่วนประกอบทำงานร่วมกันเพื่อทำให้เกิดการเคลื่อนที่สัมพันธ์ระหว่างสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าซึ่งจะทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า

โครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่สำคัญมีทั้งหมด 3 ส่วนหลักด้วยกัน ได้แก่

2.1) ขดลวดโรเตอร์ (Rotor) เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการสร้างสนามแม่เหล็ก ซึ่งมีส่วนประกอบอยู่ด้วยกัน 3 ส่วนคือ

ขดลวดไฟฟ้า ซึ่งจะพันสวมอยู่ภายในแกนเพลารอเตอร์ขดลวดนี้จะได้รับกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ทำให้เหล็กอ่อนเป็นแม่เหล็ก

ขั้วแม่เหล็ก ขั้วเหนือและขั้วใต้จะทำด้วยเหล็กอ่อนซึ่งทำเป็นก้ามจำนวน 6 ถึง 8 ก้ามจำนวน 2 ส่วนประกอบขดลวดเข้าด้วยกันโดยปลายสายของขดลวดทั้งสองจะต่อเข้าที่วงแหวนสลีปริง

วงแหวนสลีปริง จะทำหน้าที่รับกระแสไฟฟ้าจากแบตเตอรี่โดยการส่งผ่านทางแปรงถ่าน เพื่อให้เหล็กอ่อน 6 ถึง 8 คู่เกิดเป็นสนามแม่เหล็ก

2.2) ขดลวดสเตเตอร์ (Stator) มีหน้าที่ในการผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาโดยการเหนี่ยวนำจากสนามแม่เหล็กของขดลวดโรเตอร์ การที่ผลิตกระแสไฟฟ้าออกมามากนั้นจะต้องประกอบไปด้วย ความเร็วรอบของขดลวดโรเตอร์ที่หมุนตัดขดลวดสเตเตอร์, ความเข้มของสนามแม่เหล็กที่ขดลวดโรเตอร์ และ จำนวนรอบและขนาดของขดลวดที่พันอยู่ในสเตเตอร์

เมื่อขดลวดตัวนำหมุนตัวกับสนามแม่เหล็ก หรือ ให้สนามแม่เหล็กหมุนตัดกับขดลวดจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำของกระแสไฟฟ้าขึ้นภายในขดลวดนั้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีส่วนประกอบขดลวดฟิลด์คอยล์หรือขดลวดโรเตอร์ (ขั้ว N และขั้ว S) และขดลวดตัวนำทางไฟฟ้าหรือขดลวดสเตเตอร์ เมื่อตัวโรเตอร์หมุนตัวตัดขดลวดสเตเตอร์ครบ 1 รอบ จะมีแรงเคลื่อนไฟฟ้าเกิดขึ้นทั้งคลื่นบวกและคลื่นลบ กระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเรียกว่าไฟฟ้ากระแสสลับ [11]

2.6 โซลาร์ฟาร์ม (Solar Farm)

โซลาร์ฟาร์มอยู่ในประเภทเทคโนโลยีที่ใช้พลังงานหมุนเวียนที่ได้รับความสนใจในการผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยการนำพลังงานธรรมชาติผลิตเป็นกำลังไฟฟ้าและไม่ผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในกระบวนการผลิต โซลาร์ฟาร์มมีพื้นฐานจากการนำแผ่นโซลาร์เซลล์มาต่อรวมเป็นกลุ่มขนาดใหญ่เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้น [12]

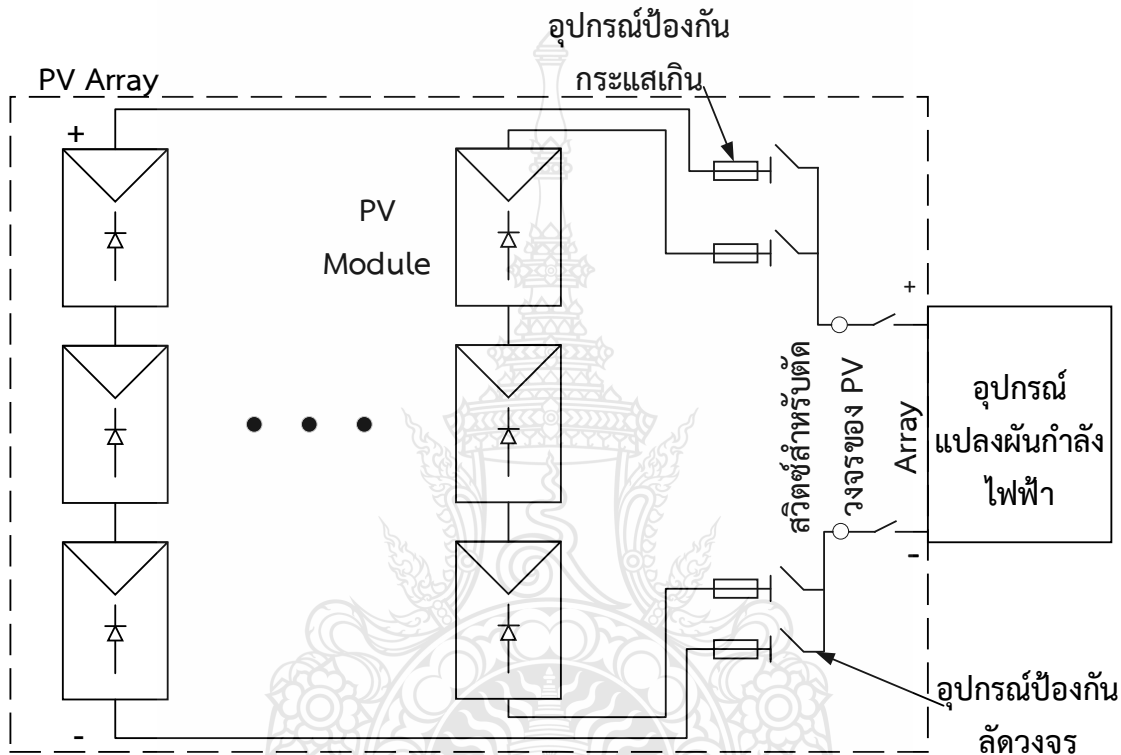
2.6.1 หลักการทำงานของโซลาร์เซลล์

การทำงานของโซลาร์เซลล์ เป็นกระบวนการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นกระแสไฟฟ้าได้โดยตรง โดยเมื่อแสงซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและมีพลังงานกระทบกับสารกึ่งตัวนำ จะเกิดการถ่ายทอดพลังงานระหว่างกัน พลังงานจากแสงจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้า (อิเล็กตรอน) ขึ้นในสารกึ่งตัวนำ จึงสามารถต่อกระแสไฟฟ้าดังกล่าวไปใช้งานได้

2.6.2 ลักษณะการต่อร่วมของแผ่นโซลาร์เซลล์

การต่อแผ่นโซลาร์เซลล์จำนวนมากต้องขึ้นอยู่กับมาตรฐานและข้อกำหนดของแต่ละพื้นที่ เพื่อความปลอดภัยในการผลิตพลังงาน โดยการเชื่อมต่อแผ่นโซลาร์เซลล์ แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ [13] ดังนี้

1) PV String

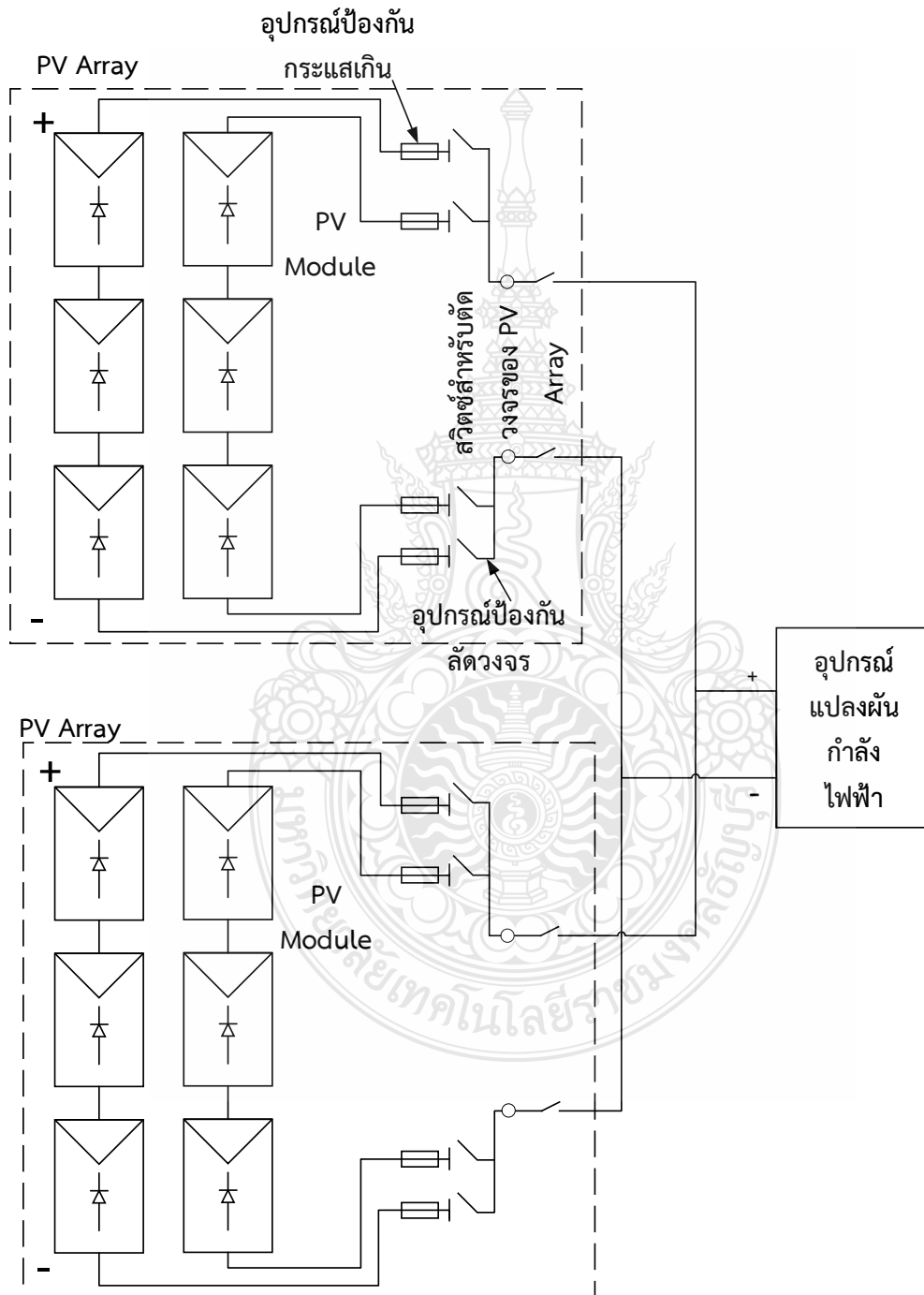


รูปที่ 2.3 การต่อร่วมของแผ่นโซลาร์เซลล์ลักษณะอนุกรมและขนาน

รูปที่ 2.3 แสดงการต่อโซลาร์ฟาร์มในลักษณะอนุกรม เพื่อยกระดับขนาดแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นก่อนส่งเข้าอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้า โดยการต่อลักษณะนี้จะต่อในรูปแบบขั้วบวกต่อเข้ากับขั้วลบ (+ ต่อ -) โดยแรงดันไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับจำนวนแผงโซลาร์เซลล์ที่ต่อ การต่อลักษณะนี้สามารถทำได้หลายแผงแต่ต้องคำนึงถึงจำนวนแผงสุดท้ายให้ลงจำนวนเลขคี่ เพื่อกำหนดความสมดุลของแผงที่ต่อร่วมทั้งระบบ และการต่อร่วมแผงโซลาร์เซลล์หนึ่งแถวสามารถประยุกต์ใช้การต่อในลักษณะต่อขนานได้ ผลลัพธ์ของการต่อแบบขนาดจะเพิ่มระดับกระแสไฟฟ้าให้สูงขึ้นก่อนส่งเข้าอุปกรณ์แปลงผันกำลังไฟฟ้า โดยการต่อลักษณะนี้จะต่อในรูปแบบขั้วบวกต่อเข้ากับขั้วลบ (+ ต่อ -) แต่ปลายสายจะต่อร่วมกับการต่อร่วมของแผ่นโซลาร์เซลล์หนึ่งแถวของแถวอื่น

2) PV Sub-array หลายชุด

รูปที่ 2.4 แสดงการต่อร่วมของแผ่นโซลาร์เซลล์หลายชุด โดยจะมีการต่อคล้ายกับข้อ 1) ที่กล่าวมา แต่จะเพิ่มอีกหนึ่งชุดส่งเข้าอุปกรณ์แปลงผกผันกำลังไฟฟ้าในลักษณะการต่อแบบขนานสามารถแสดงโดยมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [6, 7] ดังแสดงในสมการที่ (2.4 - 2.5)



รูปที่ 2.4 การต่อร่วมของแผ่นโซลาร์เซลล์หลายชุด

$$P_{PV}(t) = P_{R,PV} \times \frac{R_{SUN}}{R_{ref}} \times [1 + N_T(T_C - T_{ref})] \quad (2.4)$$

เมื่อ

$$T_C = T_{air} + \left(\frac{T_{NOCT} - 20}{80} \right) \times R_{SUN}$$

กำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่ผลิตได้ทั้งหมดจากโซลาร์ฟาร์ม

$$P_{PV}(t) = N_{PV} \times P_{PV}(t) \quad (2.5)$$

เมื่อ	$P_{PV}(t)$	คือ	กำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่ด้านออกจากระบบโซลาร์ฟาร์ม (W)
	R_{SUN}	คือ	ความเข้มการแผ่รังสี (W / m^2)
	R_{ref}	คือ	ความเข้มการแผ่รังสีอ้างอิง (W / m^2)
	T_C	คือ	อุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์ในช่วงเวลานั้น ($^{\circ}C$)
	T_{ref}	คือ	อุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์อ้างอิง ($^{\circ}C$)
	T_{NOCT}	คือ	อุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ช่วงปกติ ($^{\circ}C$)
	T_{air}	คือ	อุณหภูมิสภาพแวดล้อมรอบแผงโซลาร์ฟาร์ม ($^{\circ}C$)

2.7 อัลกอริทึมการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization Algorithm)

กระบวนการหรือการกระทำที่มุ่งเน้นการค้นหาค่าหรือสิ่งที่เหมาะสมที่สุด การใช้วิธีการเครื่องมือทางคณิตศาสตร์หรือการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเชิงคุณภาพ ประสิทธิภาพ หรือเชิงปริมาณตามเป้าหมายหรือเงื่อนไขที่กำหนด ในทางระบบไฟฟ้ากำลังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าที่เหมาะสมมากมายและแพร่หลาย โดยการหาค่าความเหมาะสมของระบบไฟฟ้ากำลังจำเป็นต้องมีกระบวนการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าเพื่อเข้าสู่กระบวนการหาค่าความเหมาะสม วิทยานิพนธ์นี้ใช้วิธีฟอร์เวิร์ด-แบคเวิร์ดสวEEP (Forward - Backward Sweep) ในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า [1] การหาค่าที่เหมาะสมสามารถจัดหมวดหมู่โดยหลักเป็นสองวิธีสำหรับการแก้ปัญหาการปรับให้เหมาะสม คือ วิธีการวิเคราะห์ (The Analytical Methods) และวิธีการเชิงตัวเลข (The Numerical Methods) ในหัวข้อนี้ยกตัวอย่างเพียงสามวิธีของวิธีการเชิงตัวเลข คือ อัลกอริทึมทางพันธุกรรม (GA), วิธีกลุ่มอนุภาค (PSO) [14] และวิธีหมาป่าสีเทา (GWO)

2.7.1 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithms, GA)

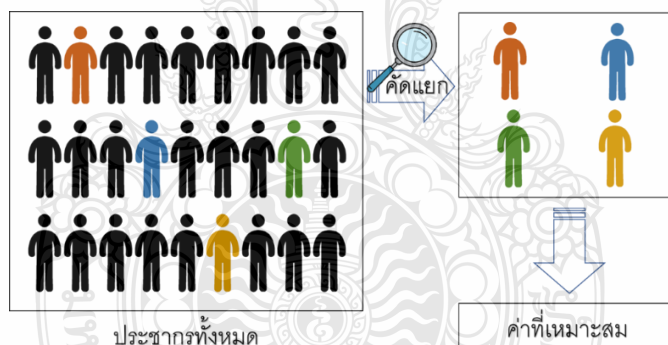
วิธีพันธุกรรม (GA) เป็นอัลกอริธึมการปรับให้เหมาะสมเมตาฮีวิสติกที่ได้รับแรงบันดาลใจจากวิวัฒนาการตามธรรมชาติ มันทำงานบนหลักการพื้นฐาน 3 ประการของการเลือก การผสมข้าม และการกลายพันธุ์

2.7.1.1 องค์ประกอบของวิธีพันธุกรรม

องค์ประกอบที่สำคัญของวิธีพันธุกรรม มีทั้งหมด 4 ส่วน รูปแบบโครโมโซม (Chromosome Encoding) ประชากรต้นกำเนิด (Initial Population) ค่าฟังก์ชันความเหมาะสมที่สุด (Fitness Function) และ การดำเนินการทางพันธุกรรม (Genetic Operator)

1) รูปแบบโครโมโซม คือ การถอดรหัส หรือการได้มาซึ่งโครโมโซม คือ ขั้นตอนแรกที่จะเริ่มแก้ปัญหาโดยใช้วิธีพันธุกรรม ในการถอดรหัสนั้นจะขึ้นอยู่กับปัญหา

2) ประชากรต้นกำเนิดเป็นการดำเนินการอันดับแรกก่อนที่จะเข้ากระบวนการของวิธีพันธุกรรม ประชากรที่เกิดจากการสุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 2.5 การสุ่มจะต้องสุ่มมิติให้ได้จำนวนเท่ากับขนาดของรุ่นที่ได้กำหนดไว้



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการสุ่มประชากรต้นกำเนิด จำนวน 4 โครโมโซม

3) ค่าฟังก์ชันความเหมาะสมที่สุด โดยโครโมโซมทุกตัวจะต้องมีค่าซึ่งบ่งบอกถึงความเหมาะสมที่สุดที่จะพิจารณาว่าสมควรนำไปสืบสายพันธุ์ต่อหรือไม่ ดังนั้นจึงต้องมีการให้ค่าความเหมาะสมที่สุดกับแต่ละโครโมโซมเพื่อนำค่าความเหมาะสมที่สุดไปพิจารณาโดยใช้สมการหาค่าฟังก์ชันความเหมาะสมที่สุดคล้อยกับปัญหา

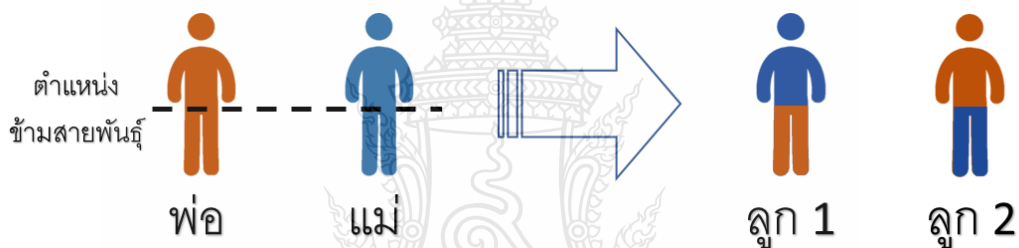
4) การดำเนินการทางพันธุกรรม เป็นหัวใจหลักที่สำคัญที่สุดของวิธีพันธุกรรม ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการพื้นฐาน 3 ส่วน ได้แก่ การคัดเลือก (Selection) การข้ามสายพันธุ์ (Crossover) และ การกลายพันธุ์ (Mutation)

4.1) การคัดเลือก คือ การคัดเลือกโครโมโซมเพื่อที่ใช้เป็นพ่อ-แม่ (Parent) ในการสืบสายพันธุ์

$$\phi(g_i^{(t)}) = \frac{2r_i}{P(P+1)} \quad (2.6)$$

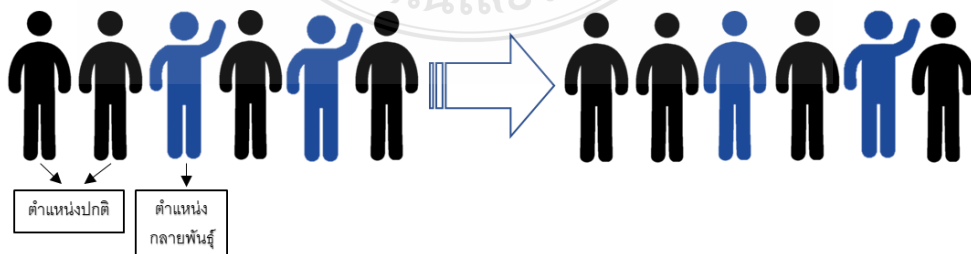
เมื่อ r_i คือ ลำดับของ $f(\theta_i^{(t)})$ ในรุ่นที่ t
 P คือ ขนาดของแจ้ละรุ่น

4.2) การข้ามสายพันธุ์เป็นกระบวนการที่สำคัญของวิวัฒนาการ ซึ่งเมื่อเกิดการข้ามสายพันธุ์ขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการข้ามสายพันธุ์

4.3) การกลายพันธุ์เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากการข้ามสายพันธุ์เสร็จสิ้น โดยรุ่นลูกที่เกิดจากผสมจากการรุ่นพ่อแม่แล้วเข้าสู่การกลายพันธุ์ ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือเกิดโครโมโซมลักษณะใหม่เกิดขึ้น ขั้นตอนการกลายพันธุ์จะเริ่มจากการสุ่มเลือกตำแหน่งของโครโมโซมเพื่อการกลายพันธุ์ เมื่อได้ตำแหน่งการกลายพันธุ์แล้วทำการเปลี่ยนแปลง ณ ตำแหน่งนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการกลายพันธุ์

2.7.2 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization, PSO)

วิธีกลุ่มอนุภาคนั้นเกิดจากแนวคิดที่ต้องการศึกษาและเลียนแบบการเคลื่อนที่ในการหาอาหารและการอยู่รวมกันเป็นกลุ่มของฝูงนก ฝูงปลาและฝูงแมลง

2.7.2.1 หลักการพื้นฐานของวิธีกลุ่มอนุภาค

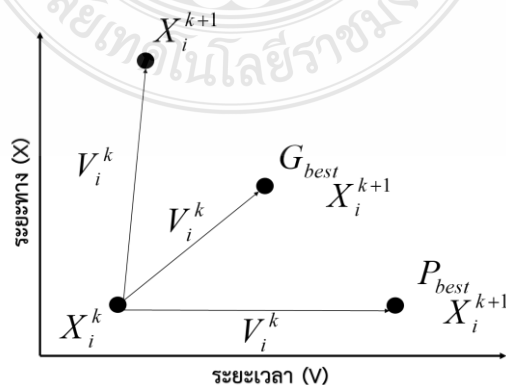
จากที่กล่าวมาข้างต้นหลักการพื้นฐานของวิธีกลุ่มอนุภาคนั้นคือการอาศัยการเรียนรู้ของการเคลื่อนที่ในการหาอาหารและอยู่รวมกันเป็นกลุ่มของฝูงนก ฝูงปลาและฝูงแมลง ซึ่งต่อไปจะเรียกว่า กลุ่มอนุภาค (Swam) อนุภาคเหล่านี้จะเรียนรู้และเคลื่อนที่ปรับเปลี่ยนตำแหน่งของตัวเองไปตามอนุภาคแวดล้อมที่อยู่ในตำแหน่งที่ดีและเหมาะสมกว่า เมื่อปรับเปลี่ยนตำแหน่งจนทุกอนุภาคอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมและมีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันแล้วก็จะหยุดการปรับเปลี่ยนทิศทางจึงจะเห็นได้จากตัวอย่าง การบินของฝูงนก การว่ายน้ำของฝูงปลาและการบินของฝูงแมลง

2.7.2.2 อัลกอริทึมในการปรับตำแหน่งของวิธีกลุ่มอนุภาค

อัลกอริทึมของวิธีกลุ่มอนุภาคเป็นอัลกอริทึมที่ปรับตัวเองบนพื้นฐานของการเรียนรู้สถานการณ์และใช้ข้อมูลร่วมกัน อนุภาคที่อยู่ภายในกลุ่มจะปรับเปลี่ยนตำแหน่งโดยการอาศัยการเรียนรู้จากอนุภาคข้างเคียงที่อยู่ในตำแหน่งที่ให้ค่าที่ดีกว่าการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคแสดงในสมการที่ 2.7

$$v_i^{t+1} = wv_i^t + c_1r_1(pbest_i^t - p_i^t) + c_2r_2(gbest_i^t - p_i^t) \quad (2.7)$$

X_i^k คือ ตำแหน่งจุดเริ่มต้น X_i^{k+1} คือ ตำแหน่งถัดไปจากจุดเริ่มต้น V_i^k คือ ระยะเวลาหรืออัตราเร่งจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายทาง G_{best} คือ ตำแหน่งอัตราเร่งที่ดีที่สุด V_{best} คือ ตำแหน่งระยะทางที่ดีที่สุดแสดงดังแสดงในรูปที่ 2.9



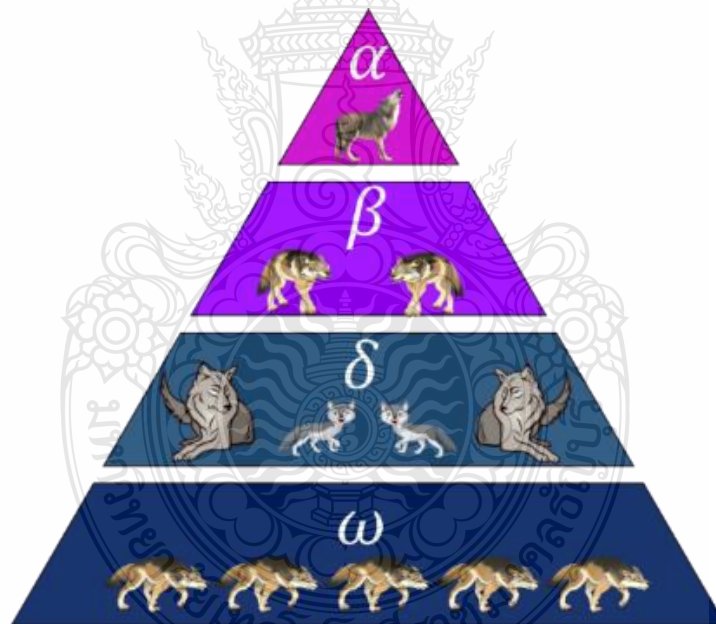
รูปที่ 2.8 การเปลี่ยนตำแหน่งของกลุ่มอนุภาค

2.7.3 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเกรย์วูล์ฟออพติไมเซอร์ (Gray Wolf Optimizer, GWO)

เกรย์วูล์ฟออพติไมเซอร์ หรือ วิธีหมาป่าสีเทา แบ่งออกเป็น 4 กลุ่มโดยผู้นำในฝูงจะแบ่งออกเป็นสี่ระดับ ได้แก่ อัลฟา (α), เบต้า (β), เดลต้า (δ) และโอเมก้า (ω) อัลฟาเป็นผู้นำสูงสุดและบังคับให้หมาป่าตัวอื่นติดตามคำสั่งนั้น เบต้าถือเป็นผู้นำอันดับสองและสามารถช่วยหมาป่าอัลฟาในการจัดการการเคลื่อนไหวของฝูงได้ เดลต้าถือเป็นระดับที่สามในลำดับชั้นและติดตามหมาป่าอัลฟาและเบต้า หมาป่าตัวอื่นๆ หมาป่าโอเมก้า และพวกมันจะอัปเดตตำแหน่งตามตำแหน่งของหมาป่าอัลฟาและหมาป่าเบต้า [15] ขั้นตอนมีดังนี้ 1) ค้นหา ติดตาม และเข้าใกล้เหยื่อ 2) ล้อมรอบและก่อกวนเหยื่อ 3) การล่าเหยื่อ

2.7.3.1 ลำดับชั้นทางสังคม

α เป็นคำตอบที่ดีที่สุด โดยถือว่า β และ δ เป็นคำตอบที่สองและสามที่ดีที่สุด และคำตอบอื่น ๆ สามารถปฏิบัติได้เหมือนกับ ω หมาป่า ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยคำตอบที่ได้เรียงตามความเด่นลดลงจากบนลงล่าง



รูปที่ 2.9 ลำดับชั้นของหมาป่าสีเทา

2.7.3.2 ล้อมรอบเหยื่อ

ตามที่กล่าวไว้ข้างต้น หมาป่าสีเทาล้อมรอบเหยื่อระหว่างการล่า เพื่อที่จะจำลองพฤติกรรมการล้อมรอบทางคณิตศาสตร์ ดังแสดงในสมการที่ (2.8 – 2.11)

$$H = |C \times X_p(t) - X(t)| \quad (2.8)$$

$$X(t+1) = X_p(t) - A \times H \quad (2.9)$$

โดยที่ t หมายถึงการทำซ้ำในปัจจุบัน X_p หมายถึงเวกเตอร์ตำแหน่งเหยื่อ และ X หมายถึงเวกเตอร์ตำแหน่งของหมาป่า A และ C เป็นค่าสัมประสิทธิ์ที่สามารถกำหนดเป็น

$$A = 2a \times m_1 - d \quad (2.10)$$

$$C = 2 \times m_2 \quad (2.11)$$

โดยที่ส่วนประกอบของ a จะลดลงเชิงเส้นจาก 2 เป็น 0 ในช่วงเวลาของการวนซ้ำ r_1 และ r_2 เป็นเวกเตอร์แบบสุ่มใน $[0,1]$

2.7.3.3 การล่าเหยื่อ

หมาป่าสีเทามีความสามารถในการรับรู้ตำแหน่งของเหยื่อและล้อมรอบเหยื่อ โดยปกติแล้วการล่าจะถูกนำทางโดยอัลฟา เบต้าและเดลต้าอาจเข้าร่วมการล่าเป็นครั้งคราว อย่างไรก็ตามในพื้นที่ค้นหาเชิงนามธรรม เราไม่มีความคิดเกี่ยวกับตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด (เหยื่อ) ในการจำลองพฤติกรรมการล่าของหมาป่าสีเทาในทางคณิตศาสตร์อัลฟา (วิธีแก้ปัญหาที่เป็นตัวเลือกที่ดีที่สุด) เบต้าและเดลต้ามีความรู้ที่ดีกว่าเกี่ยวกับตำแหน่งที่เป็นไปได้ของเหยื่อ ดังนั้นวิธีแก้ปัญหาที่ดีที่สุดสามรายการแรกที่ได้รับมา และบังคับให้ตัวแทนการค้นหาค้นหาอื่นๆ (รวมถึงโอเมก้า) อัปเดตตำแหน่งของหมาป่าตามตำแหน่งของตัวแทนการค้นหาค้นหาที่ดีที่สุด ดังแสดงในสมการที่ (2.12– 2.14)

$$D_\alpha = |C_1 \times X_\alpha - X|, D_\beta = |C_2 \times X_\beta - X|, D_\delta = |C_3 \times X_\delta - X| \quad (2.12)$$

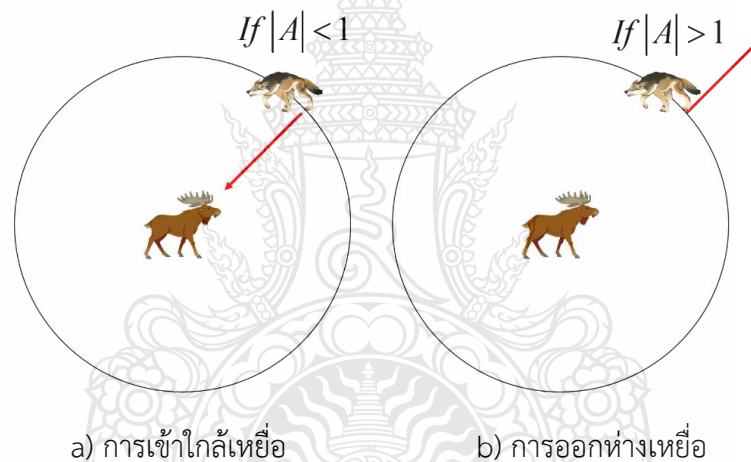
$$X_1 = X_\alpha - A_1 \times (D_\alpha), X_2 = X_\beta - A_2 \times (D_\beta), X_3 = X_\delta - A_3 \times (D_\delta) \quad (2.13)$$

$$X(t+1) = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3} \quad (2.14)$$

วิธีที่ตัวแทนการค้นหาค้นหาตำแหน่งตามอัลฟา เบต้า และเดลตาในพื้นที่การค้นหาค้นหา 2 มิติ ตำแหน่งสุดท้ายจะอยู่ในตำแหน่งสุ่มภายในวงกลมซึ่งกำหนดโดยตำแหน่งของอัลฟา เบตา และเดลตาในพื้นที่การค้นหาค้นหา กล่าวอีกนัยหนึ่งคืออัลฟา เบต้า และเดลต้าประเมินตำแหน่งของเหยื่อ และหมาป่าตัวอื่นๆ จะอัปเดตตำแหน่งแบบสุ่มรอบๆ เหยื่อ

2.7.3.4 โจมตีเหยื่อ (แสงประโยชน์)

หมาป่าสี่เทาเสร็จสิ้นการล่าโดยโจมตีเหยื่อเมื่อมันหยุดเคลื่อนไหว การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เมื่อเข้าใกล้เหยื่อ เราจะลดค่าของ a เรียกว่าช่วงความผันผวนและของ $\bar{A}$ จะลดลงด้วย กล่าวอีกนัยหนึ่ง $\bar{A}$ เป็นค่าสุ่มในช่วง $[-a, a]$ โดยที่ $\bar{a}$ ลดลงจาก 2 เป็น 0 ตลอดช่วงเวลาของการร่อนล่า เมื่อค่าสุ่มของ $\bar{A}$ อยู่ใน $[-1, 1]$ ตำแหน่งถัดไปของตัวแทนการค้นหาค้นหาสามารถอยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ระหว่างตำแหน่งปัจจุบันกับตำแหน่งของเหยื่อ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 แสดงให้เห็นว่า $|A| < 1$ บังคับให้โจมตีเหยื่อ



รูปที่ 2.10 การโจมตีเหยื่อกับการค้นหาค้นหาเหยื่อ

ด้วยวิธีการที่เสนออัลกอริทึม GWO ช่วยให้ตัวแทนการค้นหาค้นหาอัปเดตตำแหน่งตามตำแหน่งของอัลฟา เบต้า และเดลต้า และโจมตีเหยื่อ

2.7.3.5 การค้นหาค้นหาเหยื่อครั้งถัดไป (สำรวจ)

หมาป่าสี่เทาส่วนใหญ่ค้นหาตามตำแหน่งของอัลฟา เบต้า และเดลต้า กลุ่มหมาป่าแยกออกจากกันเพื่อค้นหาเหยื่อและรวมตัวเพื่อโจมตีเหยื่อ ในการจำลองความแตกต่างทางคณิตศาสตร์ใช้ค่าสุ่มมากกว่า 1 หรือน้อยกว่า -1 เพื่อบังคับการค้นหาค้นหาให้แยกออกจากเหยื่อ สิ่งนี้เน้นการสำรวจและอนุญาตให้อัลกอริทึม GWO ค้นหาทั่วพื้นที่ รูปที่ 2.10 (b) ยังแสดงให้เห็นว่า $|A| > 1$ บังคับให้หมาป่าสี่เทาแยกตัวออกจากเหยื่อเพื่อหวังว่าจะพบเหยื่อที่เหมาะสมกว่า องค์ประกอบอื่นของ GWO ที่

ขอบการสำรวจคือ C ดังที่เห็นในสมการ (2.11) เวกเตอร์มีค่าสุมใน $[0, 2]$ องค์ประกอบนี้ให้น้ำหนักสุมสำหรับเหยื่อเพื่อเน้นสุม ($C > 1$) หรือเน้นล่า ($C < 1$) ผลกระทบของเหยื่อในการกำหนดระยะทางในสมการที่ (2.12) สิ่งนี้ช่วยให้ GWO แสดงพฤติกรรมแบบสุมมากขึ้นตลอดการเพิ่มประสิทธิภาพโดยสนับสนุนการสำรวจและการหลีกเลี่ยงการปรับให้เหมาะสมในพื้นที่

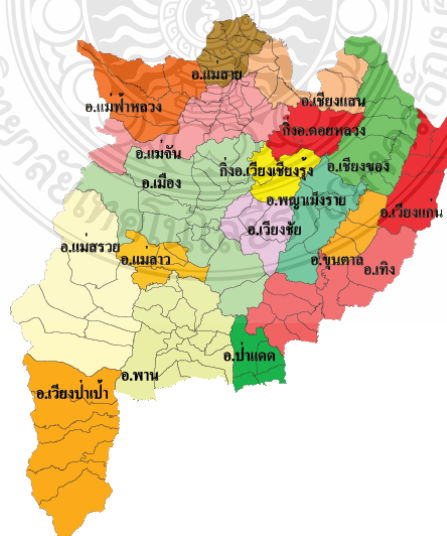
สรุปแล้ว กระบวนการค้นหาเริ่มต้นด้วยการสร้างประชากรหมาป่าสี่เทาแบบสุม (ตามวัตถุประสงค์) ในอัลกอริทึม GWO ในระหว่างการวนซ้ำ หมาป่าอัลฟา เบต้า และเดลต้าจะประเมินตำแหน่งที่เป็นไปได้ของเหยื่อ โซลูชันตามวัตถุประสงค์แต่ละกลุ่มจะอัปเดตระยะห่างจากเหยื่อ พารามิเตอร์ a ลดลงจาก 2 เป็น 0 เพื่อเน้นการสำรวจและประโยชน์ตามลำดับ คำตอบตามวัตถุประสงค์มีแนวโน้มที่จะแตกต่างจากเหยื่อเมื่อ $|A| > 1$ และเข้าหาเหยื่อเมื่อ $|A| < 1$ ในที่สุด อัลกอริทึม GWO จะถูกยกเลิกโดยความพึงพอใจตามวัตถุประสงค์

2.8 ระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย

2.8.1 ลักษณะทางกายภาพจังหวัดเชียงราย

จังหวัดเชียงราย ตั้งอยู่ภาคเหนือของประเทศไทย ห่างจากกรุงเทพฯ 785 ก.ม. มีเนื้อที่ประมาณ 11,678.369 ตร.กม. มีอาณาเขตติดต่อกับจังหวัดใกล้เคียง[16] ดังนี้

ทิศเหนือ	ประเทศสหภาพพม่าและประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว
ทิศใต้	ติดต่อกับจังหวัดลำปางและจังหวัดพะเยา
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาวและจังหวัดพะเยา
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับประเทศสหภาพพม่าและจังหวัดเชียงใหม่

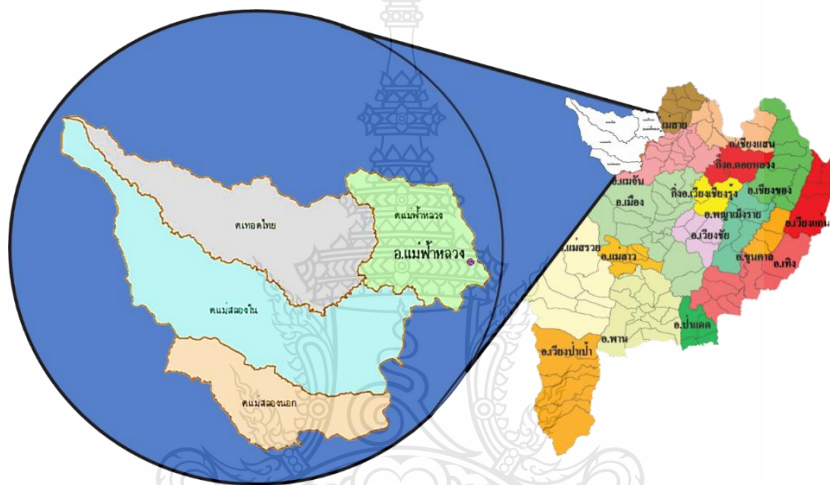


รูปที่ 2.11 แผนที่จังหวัดเชียงราย [18]

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นการแก้ปัญหาการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย โดยพื้นที่ห่างไกลของจังหวัดเชียงรายที่ผู้วิจัยวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น ณ อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย

วิทยานิพนธ์นี้จึงขอนำเสนอข้อมูลของระบบจำหน่าย อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย ที่ผู้วิจัยศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่าย อาทิ การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ไม่เพียงพอต่อพื้นที่ ระดับแรงดันในระบบจำหน่ายไม่มีความเสถียรภาพ และลักษณะพื้นที่ที่อยู่อาศัยกับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น นำเสนอดังต่อไปนี้

2.8.2 ข้อมูลเบื้องต้นอำเภอแม่ฟ้าหลวง



รูปที่ 2.12 แผนที่อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย

2.8.2.1 ลักษณะทางกายภาพ

อำเภอแม่ฟ้าหลวงตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกเฉียงเหนือของจังหวัด มีอาณาเขตติดต่อกับอำเภอข้างเคียง ดังนี้

ทิศเหนือ	ติดต่อกับรัฐฉาน (ประเทศพม่า)
ทิศตะวันออก	ติดต่อกับอำเภอแม่สายและอำเภอแม่จัน
ทิศใต้	ติดต่อกับอำเภอเมืองเชียงราย
ทิศตะวันตก	ติดต่อกับอำเภอแม่อาว (จังหวัดเชียงใหม่) และรัฐฉาน (ประเทศพม่า)

2.8.2.2 ข้อมูลจำนวนประชากรในอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย

ข้อมูลจากการเคหะได้เก็บข้อมูลจำนวนประชากรในอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงรายตั้งแต่ 2563 เป็นต้นมา พบว่าจำนวนประชากรและจำนวนครัวเรือนเพิ่มสูงขึ้นในทุกๆ ปี ทำให้การใช้กำลังไฟฟ้าในอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย เพิ่มขึ้นแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อัตราการเพิ่มจำนวนประชากรของในอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย [17 - 19]

ประเภท	ปี 2563	ปี 2564	ปี 2565
จำนวนประชากร (คน)	77,355	77,655	77,740
จำนวนครัวเรือน (หลัง)	24,822	25,337	25,782

2.8.2.3 ข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าในอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย

ข้อมูลจากสำนักงานนโยบายและพลังงานของกระทรวงพลังงานได้เก็บข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่ 2560 เป็นต้นมา พบว่าการใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทุกปี จึงมีการรณรงค์การใช้กำลังไฟฟ้าตั้งแต่ปี 2563 เป็นต้นมา อย่างไรก็ตามการใช้กำลังไฟฟ้ายังคงเพิ่มขึ้นตามการเก็บข้อมูลในแต่ละปี แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 อัตราการใช้กำลังไฟฟ้าของในอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย [17 - 19]

จังหวัด	ปี 2563	ปี 2564	ปี 2565	หมายเหตุ
ตำบลแม่ฟ้าหลวง (kW)	32,564	37,088	50,813	
ตำบลเทอดไทย (kW)	71,135	58,287	67,535	มีบางหมู่บ้านไฟฟ้าเข้าไม่ถึง
ตำบลแม่สลองใน (kW)	9,263	38,024	34,902	มีบางหมู่บ้านไฟฟ้าเข้าไม่ถึง
ตำบลแม่สลองนอก (kW)	40,236	31,381	31,169	มีบางหมู่บ้านไฟฟ้าเข้าไม่ถึง
รวม	153,198	164,780	184,419	

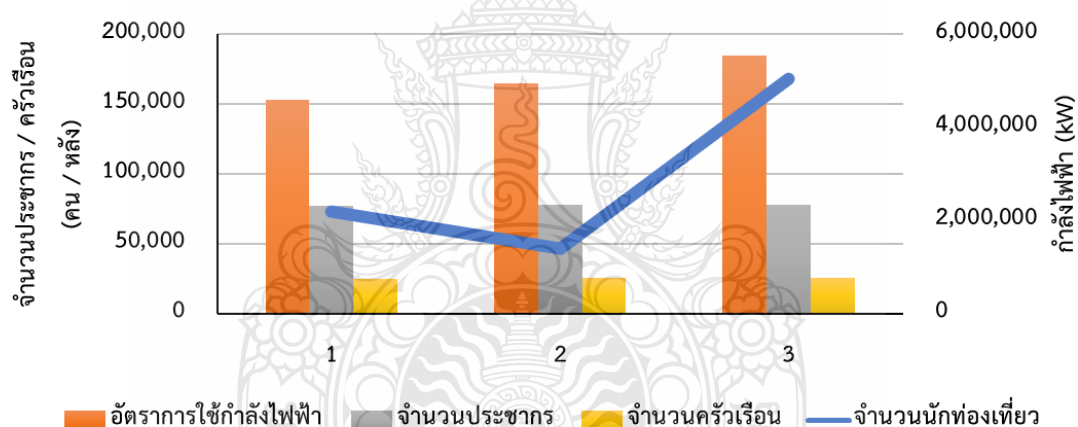
2.8.2.4 ข้อมูลการท่องเที่ยวในจังหวัดเชียงราย

ข้อมูลจากสำนักงานสถิติจังหวัดเชียงรายได้เก็บข้อมูลจำนวนนักท่องเที่ยว จังหวัดเชียงราย ตั้งแต่ 2560 เป็นต้นมา พบว่าจำนวนนักท่องเที่ยวสูงขึ้นมากในปี 2565 จึงมีการผลิตกำลังไฟฟ้าเพื่อรองรับการใช้บริการ แสดงดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สถิติจำนวนนักท่องเที่ยว จังหวัดเชียงราย [17 - 19]

ประเภท	ปี 2563	ปี 2564	ปี 2565
ชาวไทย (คน)	2,070,260	1,382,407	4,772,759
ชาวต่างชาติ (คน)	116,121	7,011	278,883
รวม	2,186,381	1,389,418	5,051,642

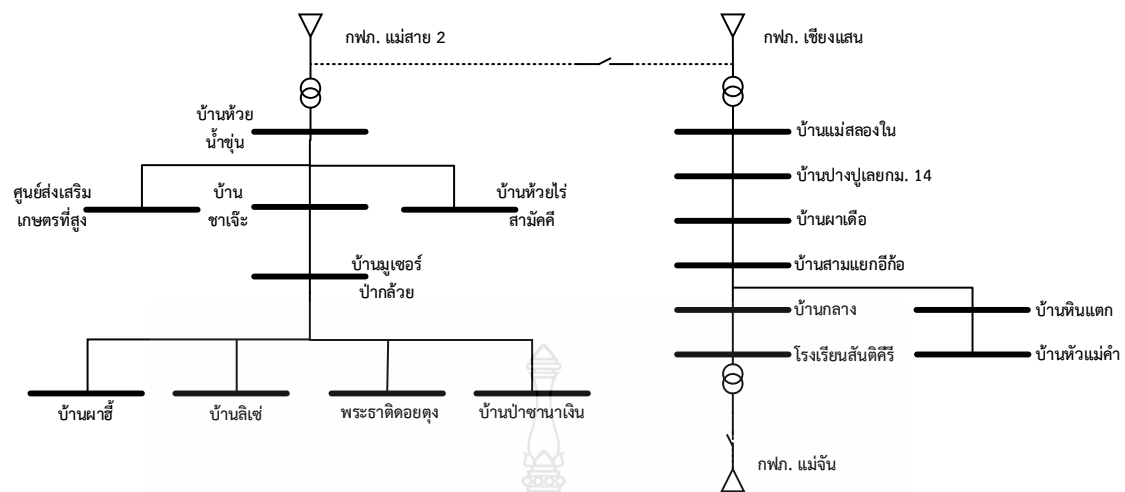
ผู้วิจัยจึงได้ทำสรุปการใช้กำลังไฟฟ้าตั้งแต่ ปี 2563 – 2565 ด้วยการนำข้อมูล 3 อย่าง เปรียบเทียบ ได้แก่ อัตราการเพิ่มจำนวนประชากร ข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้า ข้อมูลการท่องเที่ยว เพื่อนำเสนอปัญหาที่เกิดขึ้น แสดงรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 สถิติการใช้กำลังไฟฟ้าอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย

2.8.3 การส่งกำลังไฟฟ้าของอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย

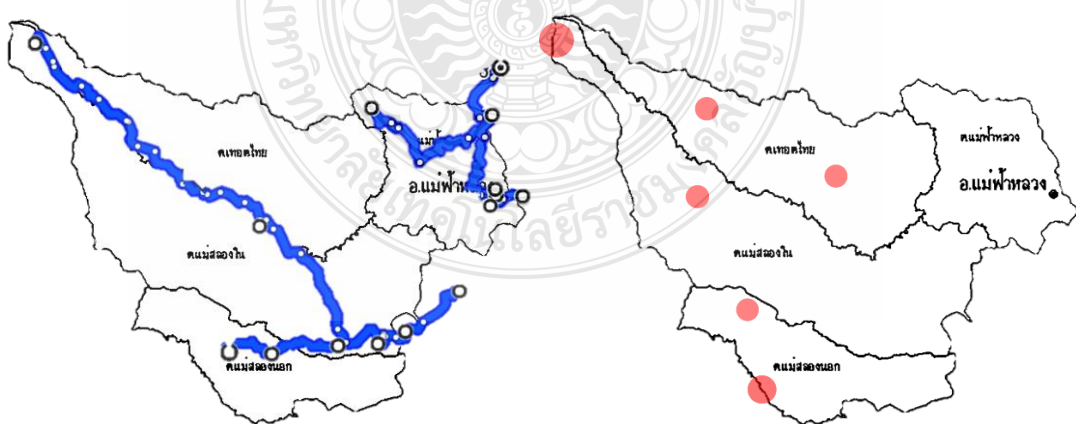
จากข้อมูลข้างต้นที่ผู้วิจัยนำเสนอ นั้น แสดงถึงปัจจัยที่ส่งผลทำให้การใช้กำลังไฟฟ้าใน จังหวัดเชียงรายเพิ่มสูงขึ้น เป็นเหตุทำให้พื้นที่ห่างไม่ได้รับกำลังไฟฟ้าทั่วถึง เพื่อวิเคราะห์การไหลของ กำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายของอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย แสดงในรูป 2.14



รูปที่ 2.14 ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย

รูปที่ 2.15 แสดงถึงเส้นทางสายส่งในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า โดยจุดสีขาวใหญ่ คือ จำนวนหม้อแปลงขนาด 115 kV สำหรับส่งกำลังไฟฟ้าไปยังอีกหมู่บ้านหนึ่งและจุดสีขาวเล็ก คือ หม้อแปลงขนาดกลาง 22 kV สำหรับแปลงแรงดันไฟฟ้าสำหรับการใช้งานในพื้นที่ อย่างไรก็ตามยังมีบางพื้นที่ที่กำลังไฟฟ้าส่งไม่ถึง จึงเกิดปัญหาการขาดแคลนกำลังไฟฟ้าในการใช้งาน ปัญหาส่วนนี้เกิดขึ้นในพื้นที่ปลายสายของระบบจำหน่าย

ปัญหาการส่งกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายยังคงเป็นปัญหาที่เกิดขึ้น วิทยานิพนธ์นี้จึงมีวัตถุประสงค์แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นของระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย โดยนำเสนอการหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายด้วยเทคนิคความเหมาะสมแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.15 พื้นที่กำลังไฟฟ้าส่งไม่ถึงอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายด้วยเทคนิคความเหมาะสมแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ด้วยวิธีเกรย์วูล์ฟออฟติไมเซอร์ (Grey Wolf Optimizer) จำลองบนระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE เพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นในระบบจำหน่าย ศึกษาผลกระทบที่ส่งผลในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มที่มีผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลัง เพื่อสร้างองค์ความรู้ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการพิจารณาการติดตั้งจากกรณีศึกษาประกอบการวางแผนปรับปรุงระบบจำหน่ายในอนาคต วิทยานิพนธ์นี้ได้ศึกษาการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายด้วยเทคนิคความเหมาะสมแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ประกอบไปด้วย การลดกำลังสูญเสียในระบบจำหน่าย ลดค่าใช้จ่ายการผลิตกำลังไฟฟ้าและลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อให้ได้ค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุด ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์ กรณีศึกษาออกเป็นแต่ละกรณี ประกอบไปด้วย ระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส ตามช่วงเวลาและระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย

3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ใช้โปรแกรม MATLAB เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ผลกระทบในระบบไฟฟ้ากำลังโดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

- 1) จัดเตรียมพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส และ ระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย เพื่อนำมาป้อนค่าในโปรแกรม MATLAB
- 2) วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าเพื่อหาปัญหาที่เกิดขึ้นของระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส และระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย
- 3) คำนวณและวิเคราะห์ผลโดยหาตำแหน่งการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในช่วงเวลาที่ผลิตกำลังไฟฟ้ามากที่สุด หาขนาดที่เหมาะสมตามช่วงเวลา
- 4) คำนวณและวิเคราะห์ผลลัพธ์จากการติดตั้ง ตรวจสอบประสิทธิภาพที่เกิดขึ้น
- 5) สรุปผลการทดสอบ

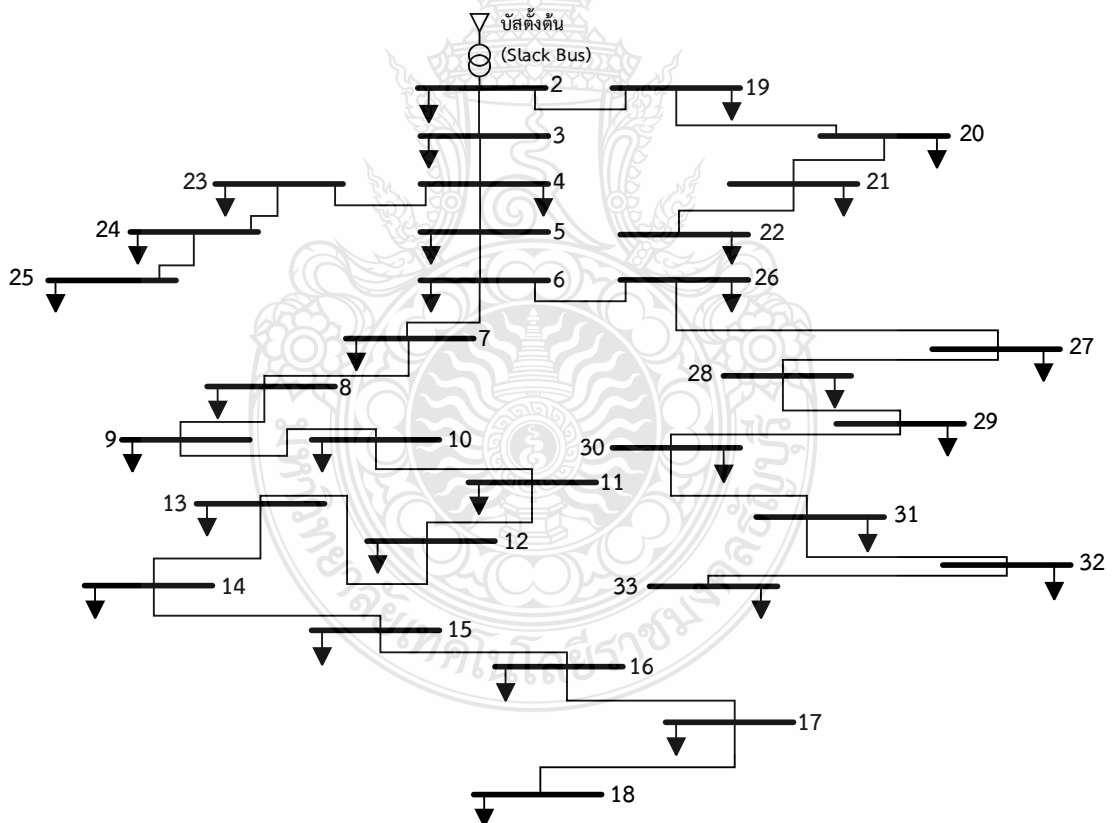
3.2 กรณีศึกษาที่ 1 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า

การศึกษาวិเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้ากำลังเมื่อติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายและโซลาร์ฟาร์มนั้นนำเสนอวิธีฟอร์เวิร์ด-แบคเวิร์ดสวீป (Back ward - Forward Sweep) เพื่อวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะสมดุลประกอบการวางแผนการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในกรณีต่างๆ โดยขั้นตอนการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าตัวแปรมาตรฐาน ประกอบไปด้วยค่าตัวแปรสายส่งและค่าตัวแปรโหลดในระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส แสดงในรูปที่ 3.1

ขั้นตอนที่ 2 ใช้วิธีฟอร์เวิร์ด-แบคเวิร์ดสวீปคำนวณหากระแสและแรงดันของแต่ละบัส

ขั้นตอนที่ 3 สรุปผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส เพื่อเข้าสู่กระบวนการหาความเหมาะสม



รูปที่ 3.1 ระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส [1]

3.3 กรณีศึกษาที่ 2 การค้นหาขนาดและตำแหน่งด้วยวิธี GWO แบบหลายวัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์การค้นหาขนาดและตำแหน่งติดตั้งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม เพื่อจะแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นหลังจากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส คือ ความไม่เสถียรภาพทางระบบแรงดันไฟฟ้าทั้งการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ไม่ทั่วถึง ระดับแรงดันที่ไม่เหมาะสมและกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบที่มากเกินไป ดังนั้นผู้วิจัยนำเสนอวิธีการหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ในระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส ตามช่วงเวลาด้วยวิธีเกรย์วูล์ฟออฟติไมเซอร์

3.3.1 แบบจำลองโหลดตามเวลาจริงของระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส

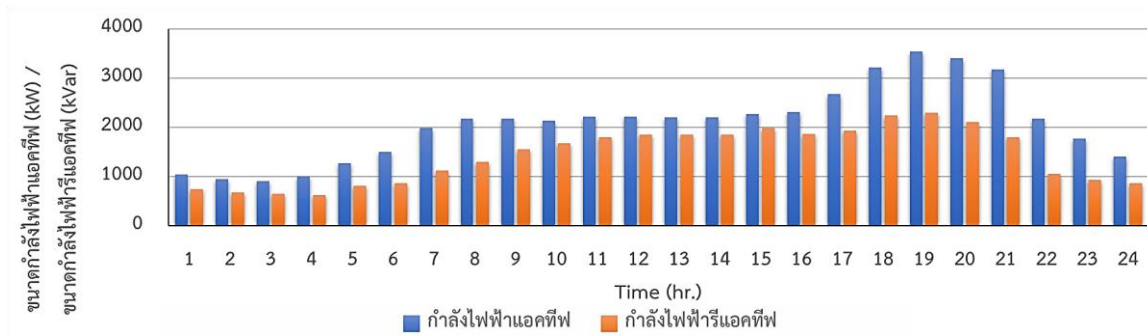
การหาความเหมาะสมในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มไม่สามารถคำนวณในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งได้ จึงจำเป็นต้องคำนวณการใช้กำลังไฟฟ้าตามช่วงเวลาโดยแบบจำลองการตอบสนองความต้องการตามเวลาจริง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 เมื่อพิจารณาถึงการลดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่เกี่ยวข้องกับความไม่แน่นอนของความต้องการโหลด โดยพิจารณาจากข้อมูลแบบจำลองการโหลดที่เก็บพลังงาน [20] ดังแสดงในสมการที่ (3.1 – 3.3)

$$H_1 = \frac{1}{NP_0^2} \times \sum_{t=1}^N (P_{t,load} - \frac{1}{N} \times \sum_{t=1}^N P_{t,load})^2 \quad (3.1)$$

$$H_2 = \frac{1}{NP_0} \sum_{t=1}^{N-1} |P_{t+1} - P_t| \quad (3.2)$$

$$P_{t,load} = P_{t,load1} + P_{t,load2} \quad (3.3)$$

โดยที่	N	คือ	จำนวนวัน (Day)
	P_0	คือ	กำลังอ้างอิงที่ใช้งานอยู่ (kW)
	$P_{t,load}$	คือ	กำลังไฟฟ้าที่ใช้งานทั้งหมดของโหลดกริดในพื้นที่ (kW)
	$P_{t,load1}$	คือ	กำลังงานของอุปกรณ์เก็บพลังงานที่มีพลังงาน ณ เวลา t (kW)
	$P_{t,load2}$	คือ	กำลังงานของอุปกรณ์เก็บพลังงานที่ไม่มีพลังงาน ณ เวลา t (kW)



รูปที่ 3.2 แบบจำลองด้านโหลดตามเวลาจริงของระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส

3.3.2 การผลิตพลังงานโซลาร์ฟาร์มตามเวลาจริง

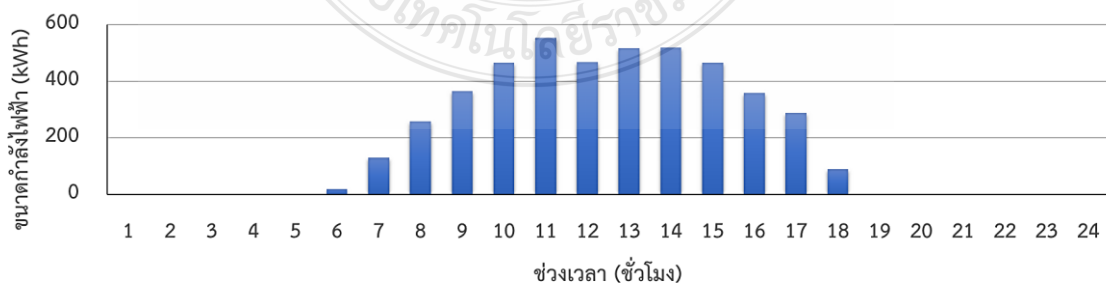
ส่วนนี้อธิบายการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง จากบทความ [21] แสดงถึงกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโซลาร์ฟาร์มในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง ดังแสดงในสมการที่ (3.4 – 3.6)

$$P_{PV}(t) = P_{R,PV} \times \frac{R_{SUN}}{R_{ref}} \times [1 + N_T \times (T_C - T_{ref})] \quad (3.4)$$

$$T_C = T_{air} + \left(\frac{T_{NOCT} - 20}{80} \right) \times R \quad (3.5)$$

$$P_{PV}(t) = N_{PV} \times P_{PV}(t) \quad (3.6)$$

$P_{PV}(t)$ คือ กำลังไฟฟ้าจากโซลาร์ฟาร์ม (kW), R_{SUN} คือ ความเข้มของรังสี, R_{ref} คือ ความเข้มของรังสีอ้างอิง, T_C คือ อุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์ช่วงเวลานั้น $^{\circ}C$, T_{ref} คือ อุณหภูมิของแผงโซลาร์เซลล์อ้างอิง $^{\circ}C$, T_{NOCT} คือ อุณหภูมิแผงโซลาร์เซลล์ช่วงปกติ $^{\circ}C$, T_{air} คือ อุณหภูมิสภาพแวดล้อมรอบแผงโซลาร์เซลล์ $^{\circ}C$



รูปที่ 3.3 แบบจำลองการผลิตกำลังไฟฟ้าจากโซลาร์ฟาร์มตามเวลาจริง

3.3.3 ฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Function)

ขอบเขตการค้นหาคำตอบหรือเป้าหมายของคำตอบสามารถกำหนดผ่านฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม หากวัตถุประสงค์มีมากคำตอบที่ได้จะมีความเหมาะสมยิ่งขึ้น ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอเงื่อนไขการวิเคราะห์เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมมากที่สุด โดยกำหนดวัตถุประสงค์ 3 ประการ ดังนี้

$$\min \quad F(x) = f_1(x) + f_2(x) + f_3(x) \quad (3.7)$$

$$f_1(x) = \text{Minimize } C_{total} \quad (3.8)$$

$$f_2(x) = \text{Minimize } P_{loss} \quad (3.9)$$

$$f_3(x) = \text{Minimize } E_{CO_2} \quad (3.10)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ประกอบด้วยค่าปัจจัยในแต่ละสมการ ซึ่งแต่ละวัตถุประสงค์จะมีสมการประกอบในการวิเคราะห์การหาขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม สามารถจำแนกได้ดังนี้

1) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 การลดค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดในระบบไฟฟ้ากำลัง ดังแสดงในสมการที่ (3.11 – 3.19)

$$\min \quad C_{total} = \left[\sum_{t=1}^T C_{TM,i}(t) + \sum_{t=1}^T C_{DG,i}(t) + \sum_{t=1}^T C_{SolarFarm,i}(t) \right] \quad (3.11)$$

ขึ้นอยู่กับ

$$C_{TM,i}(t) = a_i + b_i P_{TM,i}(t) + c_i P_{TM,i}^2(t) \quad (3.12)$$

$$C_{DG,i}(t) = \sum_{t=1}^T CCA_{DG,i} + COM_{DG,i}(t) \quad (3.13)$$

$$CCA_{DG,i} = a_i + b_i P_{DG,i}(t) + c_i P_{DG,i}^2(t) \quad (3.14)$$

$$COM_{DG} = \frac{1}{(1+r)^{(R_{DG}-n)T_{DG}}} \quad (3.15)$$

$$C_{SolarFarm,i}(t) = \sum_{t=1}^T CCA_{SolarFarm,i} + COM_{SolarFarm,I} \quad (3.16)$$

$$CCA_{SolarFarm,i} = \frac{C_{in}^{SolarFarm} P_{rated}}{n \times 365 \times T_{SolarFarm}} \quad (3.17)$$

$$COM_{SolarFarm,I} = \frac{C_{om}^{SolarFarm} P_{rated}}{365 \times T_{SolarFarm}} \quad (3.18)$$

$$C_{total} \leq C_{total}^{max} \quad (3.19)$$

โดยที่ a_i, b_i, c_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
 CCA คือ ค่าใช้จ่ายการผลิตกำลังไฟฟ้า (\$)
 COM คือ ค่าใช้จ่ายการบำรุงรักษา (\$/Year)
 $C_{in}^{SolarFarm}$ คือ ต้นทุนการติดตั้งโซลาร์ฟาร์ม (\$)
 P_{rated} คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้สูงสุดของระบบโซลาร์ฟาร์ม (W)
 $T_{SolarFarm}$ คือ ระยะเวลาการใช้แผงโซลาร์ฟาร์มตั้งแต่ติดตั้ง (Day)

2) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 การลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียโดยรวมในระบบไฟฟ้ากำลัง
 ดังแสดงในสมการที่ (3.20 – 3.25)

$$\min P_{loss} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} (P_i P_j + Q_i Q_j) + b_{ij} (Q_i P_j - P_i Q_j) \quad (3.20)$$

ขึ้นอยู่กับ

$$\sum_{i=1}^{N_G} P_{Gi} + \sum_{i=1}^{N_G} P_{DRI} = \sum_{i=1}^{N_G} P_{Di}^0 + P_{loss} \quad (3.21)$$

$$P_{demand} = \text{sum}(P_{Gi}) - P_{loss} \quad (3.22)$$

$$P_{DG}^{\min} < P_{DG} < P_{DG}^{\max} \quad (3.23)$$

$$P_{PV}^{\min} < P_{PV} < P_{PV}^{\max} \quad (3.24)$$

$$P_{DR}^{\min} < P_{DR} < P_{DR}^{\max} \quad (3.25)$$

โดยที่ P_{Gi}	คือ	กำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่ใช้งานซึ่งผลิตโดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (W)
P_{DR}	คือ	กำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่ใช้งานอยู่ในระบบไฟฟ้า (W)
N_B	คือ	จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
Q_{Gi}	คือ	กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตได้ (var)
Q_{DR}	คือ	ความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟในระบบไฟฟ้า (var)
P_{loss}	คือ	กำลังไฟฟ้าสูญเสียไปในระบบไฟฟ้ากำลัง (W)
a_{ij}, b_{ij}	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ของมุมทางกำลังไฟฟ้าแอกทีฟและรีแอกทีฟ

3) ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 3 ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์โดยรวมในระบบไฟฟ้า
กำลังแสดงในสมการที่ (3.26 – 3.30)

$$\min E_{CO_2} = \sum_{i=1}^{TM} E_{GRID} + \sum_{i=1}^{DG} E_{DG} \quad (3.26)$$

ขึ้นอยู่กับ

$$E_{GRID} = \sum_{i=1}^{TM} (d_i \times Pt_i^2 + e_i \times Pt_i + f_i) \quad (3.27)$$

$$E_{DG} = \sum_{i=1}^{DG} (Q_{Boil} \times Q_{CO_2} \times C_{oilc}) \quad (3.28)$$

$$C_{oilc} = \frac{Q}{Q_{Boil}} \times P_{DG} \quad (3.29)$$

$$E_{CO_2}^{\min} \leq E_{CO_2}^{\max} \times \varepsilon_i \quad (3.30)$$

โดยที่ E_{CO_2}	คือ	การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทั้งหมด (CO_2)
d_i, e_i, f_i	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
P_{t_i}	คือ	กำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่ผลิตอยู่ในระบบไฟฟ้ากำลัง (W)
Q_{Boil}	คือ	จุดเดือดสูงสุดของเชื้อเพลิง (J/L)
Q_{CO_2}	คือ	จุดเดือดเชื้อเพลิงที่เปลี่ยนสถานะเป็นก๊าซ (J/L)
Q	คือ	ค่าความร้อนเชื้อเพลิง (J/W)
C_{oilc}	คือ	ปริมาณเชื้อเพลิง (J/L)

เพื่อคำนวณการหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าด้วยเทคนิคความเหมาะสมแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ด้วยวิธีเกรย์วูล์ฟออฟติไมเซอร์จำเป็นต้องมีข้อมูลจากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า แบบจำลองโหลดตามเวลาจริง โมเดลการผลิตพลังงานโซลาร์ฟาร์มตามเวลาจริงและฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เพื่อคำนวณความเหมาะสมที่สุดตามช่วงเวลา โดยขั้นตอนการการหาขนาดและตำแหน่งการติดตั้งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายไฟฟ้ามาตรฐาน IEEE 33 บัส โดยแบ่งออกเป็น 3 กรณี โดยขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ประกอบไปด้วยค่าตัวแปรสายส่งและค่าตัวแปรโหลดในระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส แสดงในรูปที่ 3.1

ขั้นตอนที่ 2 ใช้วิธีฟอร์เวิร์ด-แบคเวิร์ดสวีกคำนวณหากระแสและแรงดันของแต่ละบัส

ขั้นตอนที่ 3 นำค่าพารามิเตอร์จากขั้นตอนที่ 1 -2 ใส่ตัวแปรในโปรแกรม MATLAB พร้อมตั้งค่าพารามิเตอร์ของ GWO ด้วยเงื่อนไขดังนี้

- จำนวนกลุ่มหมาป่า 30 กลุ่ม
- ค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ 0.001%
- ขนาดต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 kW
- กระแสสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 300 kW
- จำนวนการวนรอบ 100 รอบ
- จำนวนบัสในการค้นหา 33 บัส
- ขนาดใหญ่สุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 MW

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มด้วยวิธี GWO โดยติดตั้งในช่วงเวลาที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้ามากที่สุด (11:00 น.)

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มด้วยวิธี GWO เพื่อค้นหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดตามแต่ละช่วงเวลา

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบเงื่อนไข หากเงื่อนไขไม่ถูกต้องตามกำหนดไปที่ขั้นตอนที่ 4 หากเงื่อนไขถูกต้องตามกำหนดไปขั้นตอนถัดไป

ขั้นตอนที่ 7 สรุปผลการคำนวณการหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส ตามช่วงเวลา

ตารางที่ 3.1 เงื่อนไขการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม

กรณีการทดสอบ	เงื่อนไข
กรณีที่ 1	ทดสอบระบบโดยติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มด้วยเทคนิค GWO ในช่วงเวลาที่ผลิตกำลังไฟฟ้ามากที่สุด (11:00 น.)
กรณีที่ 2	ทดสอบระบบโดยติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มด้วยเทคนิค GWO ในช่วงเวลาที่ใช้กำลังไฟฟ้ามากที่สุด (19:00 น.)

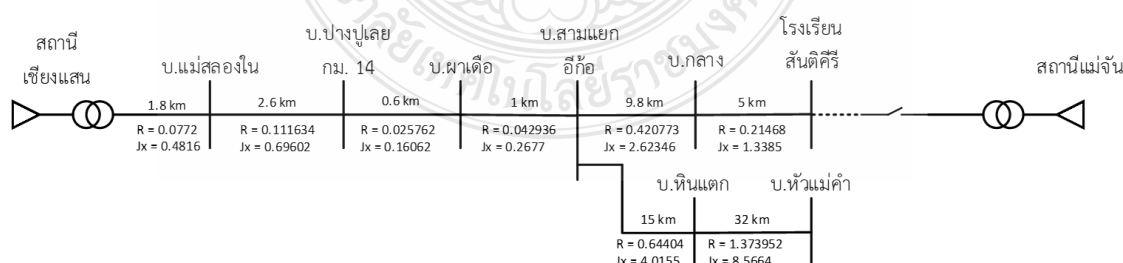
3.4 กรณีศึกษาที่ 3 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย

หลังจากศึกษาการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส แล้วนั้น ลำดับถัดไป คือ การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงรายด้วยวิธีฟอว์เวิร์ด-แบคเวิร์ดสวิตช์ โดยขั้นตอนการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าตัวแปรมาตรฐาน ประกอบไปด้วยค่าตัวแปรสายส่งและค่าตัวแปรโหลดในระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย แสดงในรูปที่ 3.4

ขั้นตอนที่ 2 ใช้วิธีฟอว์เวิร์ด-แบคเวิร์ดสวิตช์คำนวณหากระแสและแรงดันของแต่ละบัส

ขั้นตอนที่ 3 สรุปผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงรายเพื่อเข้าสู่กระบวนการหาความเหมาะสม



รูปที่ 3.4 ระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย

3.5 กรณีศึกษาที่ 4 ค้นหาขนาดและตำแหน่งด้วยวิธี GWO แบบหลายวัตถุประสงค์ในพื้นที่ทางไกลจังหวัดเชียงราย

การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าเพื่อตรวจสอบระบบจำหน่ายในพื้นที่ทางไกลจังหวัดเชียงรายมีปัญหาความไม่เสถียรภาพทางระบบแรงดันไฟฟ้า การจ่ายกำลังไฟฟ้าที่ไม่ทั่วถึง ระดับแรงดันที่ไม่เหมาะสมและกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบที่มากเกินไป เพื่อแก้ปัญหาข้างต้นผู้วิจัยจึงนำเสนอวิธีการหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ในระบบจำหน่ายในพื้นที่ทางไกลจังหวัดเชียงรายตามช่วงเวลาด้วยวิธี GWO โดยวัตถุประสงค์สำหรับการวิเคราะห์จะใช้สมการที่ (3.7 – 3.28) ในการคำนวณหาขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม โดยขั้นตอนการคำนวณของระบบจำหน่ายในพื้นที่ทางไกลจังหวัดเชียงรายมีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ประกอบไปด้วยค่าตัวแปรสายส่งและค่าตัวแปรโหลดในระบบจำหน่ายในพื้นที่ทางไกลจังหวัดเชียงราย แสดงในรูปที่ 3.5

ขั้นตอนที่ 2 ใช้วิธีฟอร์เวิร์ด-แบคเวิร์ดสวีกำนวณหากระแสและแรงดันของแต่ละบัส

ขั้นตอนที่ 3 นำค่าพารามิเตอร์จากขั้นตอนที่ 1 -2 ใส่ตัวแปรในโปรแกรม MATLAB พร้อมทั้งค่าพารามิเตอร์ของ GWO ด้วยเงื่อนไขดังนี้

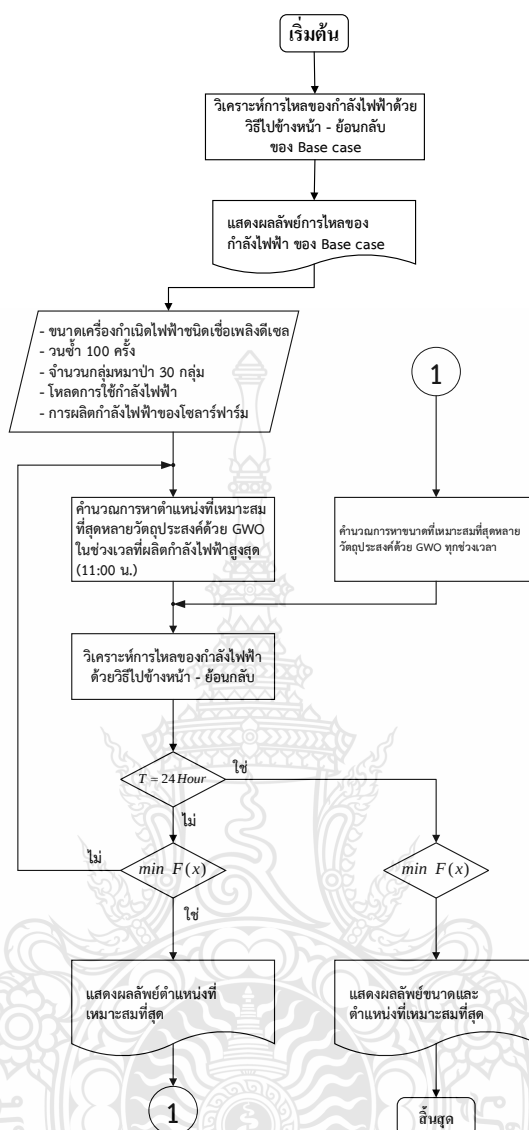
- จำนวนกลุ่มหมาป่า 30 กลุ่ม
- ขนาดต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 kW
- จำนวนการวนรอบ 100 รอบ
- ขนาดใหญ่สุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 MW
- จำนวนบัสในการค้นหา 33 บัส
- กระแสสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 300 kW
- ค่าผิดพลาดที่ยอมรับได้ 0.001%

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มด้วยวิธี GWO โดยติดตั้งในช่วงเวลาที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้ามากที่สุด

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มด้วยวิธี GWO เพื่อค้นหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดในช่วงที่โหลดใช้กำลังไฟฟ้ามากที่สุด

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบเงื่อนไข หากเงื่อนไขไม่ถูกต้องตามกำหนดไปที่ขั้นตอนที่ 4 หากเงื่อนไขถูกต้องตามกำหนดไปขั้นตอนถัดไป

ขั้นตอนที่ 7 สรุปผลการคำนวณการหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายในพื้นที่ทางไกลจังหวัดเชียงราย



รูปที่ 3.5 การหาขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมด้วยวิธี GWO ตามเวลา

ตารางที่ 3.2 เงื่อนไขการทดสอบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม

กรณีการทดสอบ	เงื่อนไข
กรณีที่ 1	ทดสอบระบบโดยติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มด้วยเทคนิค GWO ในช่วงเวลาที่ผลิตกำลังไฟฟ้ามากที่สุด (11:00 น.)
กรณีที่ 2	ทดสอบระบบโดยติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มด้วยเทคนิค GWO ในช่วงเวลาที่ใช้กำลังไฟฟ้ามากที่สุด (19:00 น.)

บทที่ 4

ผลการทดลอง

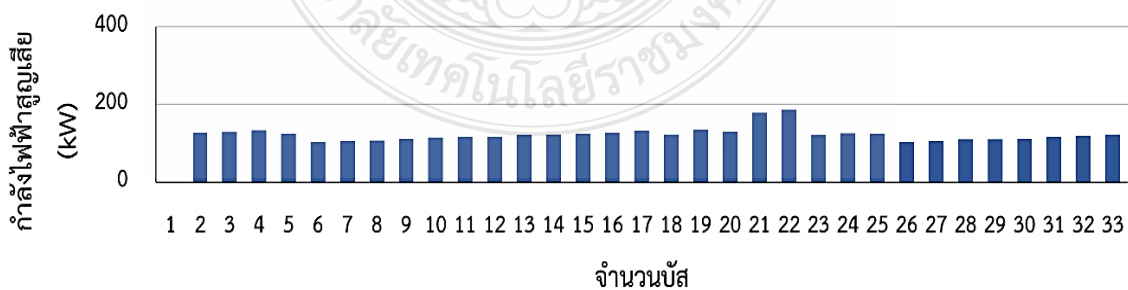
วิทยานิพนธ์นี้ทดสอบในระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส วิเคราะห์ขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มด้วยวิธีหามาป้าสีเทา และจึงนำเข้าสู่การวิเคราะห์ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้า 22 kV อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย

4.1 กรณีศึกษาที่ 1 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า

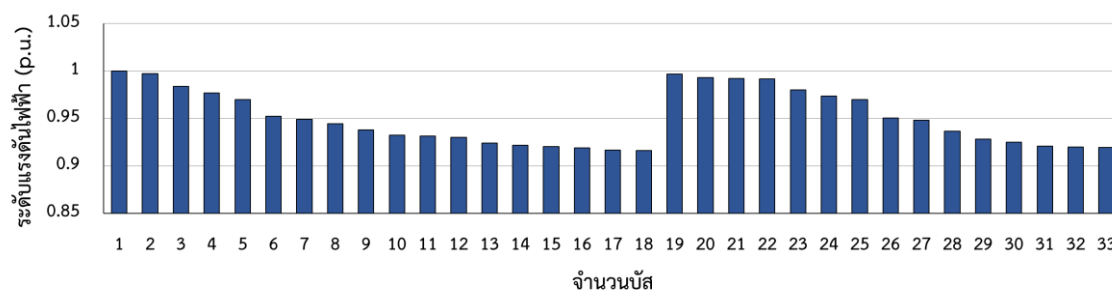
จากการทดสอบระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส เมื่อคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ใช้กำลังไฟฟ้ามากที่สุดของวัน พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟและรีแอกทีฟที่สูญเสียในระบบจำหน่ายเท่ากับ 221.436 kW และ 150.178 kVAR โดยในบัสที่ 24 และ 25 มีกำลังไฟฟ้าแอกทีฟสูงสุดและบัสที่ 21 และ 22 มีกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 4.1 - 4.2 ระดับแรงดันในระบบจำหน่ายมีระดับต่ำกว่า 0.95 p.u. ไม่มีความเสถียรภาพทางแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่บัสที่ 7 - 18 และบัสที่ 28 - 33 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.1 กำลังไฟฟ้าแอกทีฟในระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส



รูปที่ 4.2 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส



รูปที่ 4.3 ระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส

4.2 กรณีศึกษาที่ 2 ค้นหาขนาดและตำแหน่งด้วยวิธี GWO แบบหลายวัตถุประสงค์

การลดกำลังสูญเสียในระบบจำหน่ายและลดค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าพร้อมลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามช่วงเวลา ซึ่งผลจากการคำนวณจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วงเวลา ได้แก่ 11:00 น. คือ ช่วงเวลาที่มีการผลิตกำลังไฟฟ้าของโซลาร์ฟาร์มมากที่สุดและในช่วงเวลา 19:00 น. คือ การใช้กำลังไฟฟ้ามากที่สุดของวัน แสดงผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.1 และตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้ากรณีฐานในช่วงเวลา 11:00 น.

ก่อนติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม					
ประเภทเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ตำแหน่ง	กำลังไฟฟ้าที่ผลิต (kW)	กำลังสูญเสีย (kW)	ต้นทุน (\$/h)	การปล่อยก๊าซ CO_2 (tCO_2)
บัสตั้งต้น	1	2,377	184.86	191	468
รวม		2,377	184.86	191	468

ตารางที่ 4.1 แสดงผลลัพธ์การคำนวณในช่วงเวลา 11:00 น. พบว่าก่อนติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม กำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลัง 184.86 kW ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเฉพาะบัสตั้งต้น 191 \$/h และปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 468 tCO_2 หลังการติดตั้งลดกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลัง 81.316 kW ลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของบัสตั้งต้น 66 \$/h และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 56.391 tCO_2 ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์หลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงเวลา 11:00 น.

หลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม					
ประเภทเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ตำแหน่ง	กำลังไฟฟ้าที่ผลิต (kW)	กำลังสูญเสีย (kW)	ค่าใช้จ่าย (\$/h)	การปล่อยก๊าซ CO_2 (t CO_2)
บัสตั้งต้น	1	2377	81.316	66	55.172
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	12	570		4,343	1.219
ดีเซล เครื่องที่ 1					
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	23	570			
ดีเซล เครื่องที่ 2				8,969	0
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	28	570			
ดีเซล เครื่องที่ 3					
โซลาร์ฟาร์ม กลุ่ม 1	5	100	0	0	0
โซลาร์ฟาร์ม กลุ่ม 2	14	100			
โซลาร์ฟาร์ม กลุ่ม 3	32	100			
รวม		4,387	81.316	13,378	56.391

ตารางที่ 4.3 แสดงผลลัพธ์การคำนวณในช่วงเวลา 19:00 น. พบว่าก่อนติดตั้ง กำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลัง 188.28 kW ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเฉพาะบัสตั้งต้น 204 \$/h และปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 1,154 t CO_2

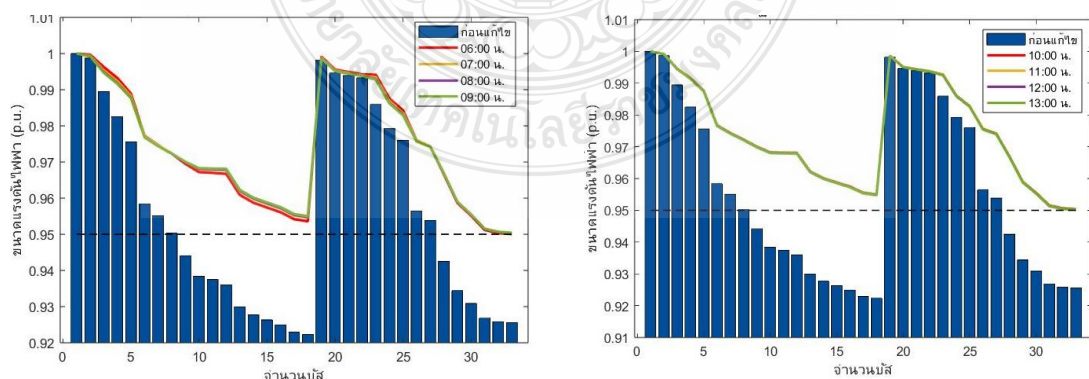
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้ากรณีฐานในช่วงเวลา 19:00 น.

ก่อนติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม					
ประเภทเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ตำแหน่ง	กำลังไฟฟ้าที่ผลิต (kW)	กำลังสูญเสีย (kW)	ค่าใช้จ่าย (\$/h)	การปล่อยก๊าซ CO_2 (t CO_2)
บัสตั้งต้น	1	3,723	188.28	204	1,154
รวม		3,723	188.28	204	1,154

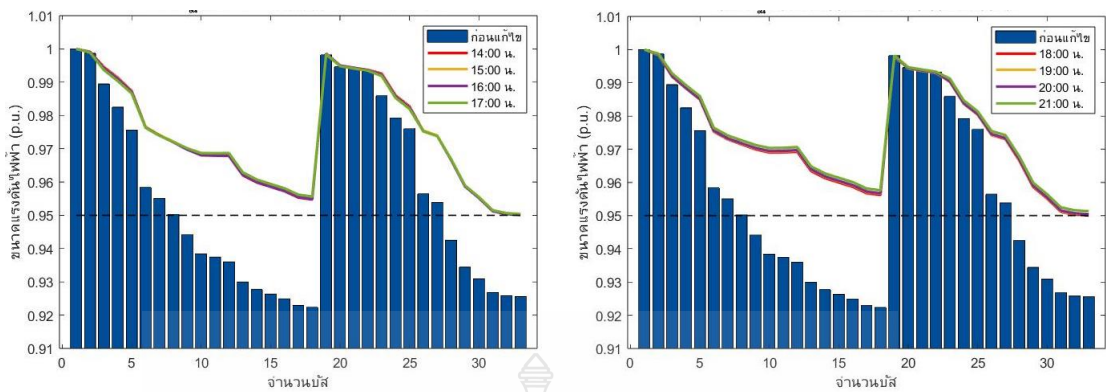
ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์หลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงเวลา 19:00 น.

หลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม					
ประเภทเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ตำแหน่ง	กำลังไฟฟ้าที่ผลิต (kW)	กำลังสูญเสีย (kW)	ค่าใช้จ่าย (\$/h)	การปล่อยก๊าซ CO_2 (t CO_2)
บัสตั้งต้น	1	1,274	86.278	69	132
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า				44,291	0.997
ดีเซล เครื่องที่ 1	12	700			
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า					
ดีเซล เครื่องที่ 2	23	700			
เครื่องกำเนิดไฟฟ้า					
ดีเซล เครื่องที่ 3	28	700			
โซลาร์ฟาร์ม กลุ่ม 1	5	0	8,969	8,969	0
โซลาร์ฟาร์ม กลุ่ม 2	14	0			
โซลาร์ฟาร์ม กลุ่ม 3	32	0			
รวม		3,374	86.278	57,552	132.997

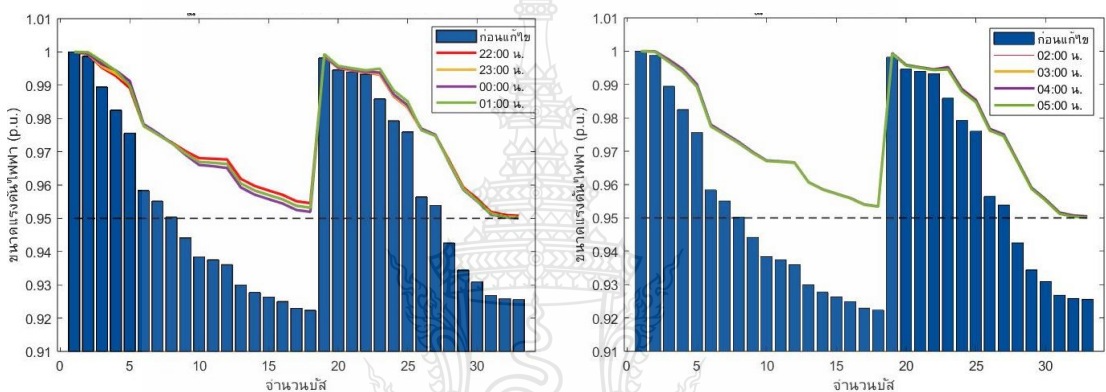
หลังการติดตั้ง ลดกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลัง 86.278 kW ลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการผลิตกำลังไฟฟ้าเฉพาะบัสตั้งต้น 69 \$/h และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 132.997 t CO_2 ดังแสดงในตารางที่ 4.4 จากติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มสามารถยกระดับแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสมีค่าสูงขึ้นในช่วงเวลา



รูปที่ 4.4 แรงดันไฟฟ้าบัสหลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เวลา 06:00 – 13:00 น.

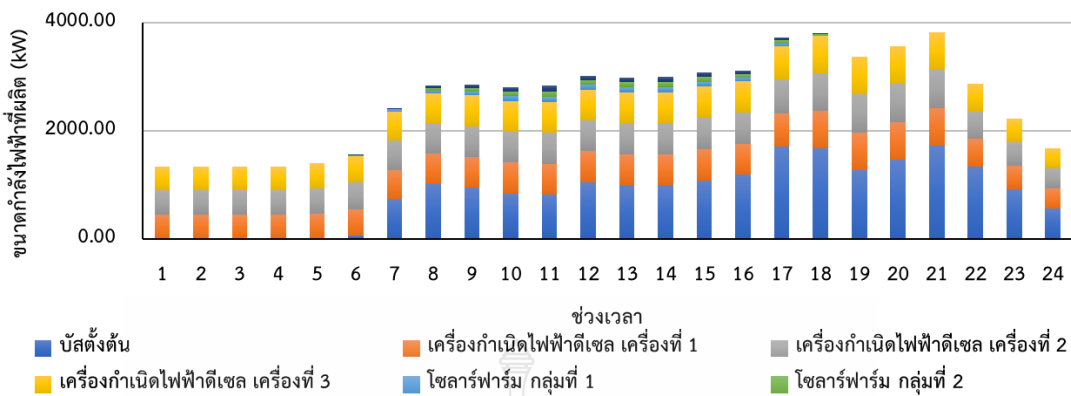


รูปที่ 4.5 แรงดันไฟฟ้าบัสหลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เวลา 14:00 – 21:00 น.



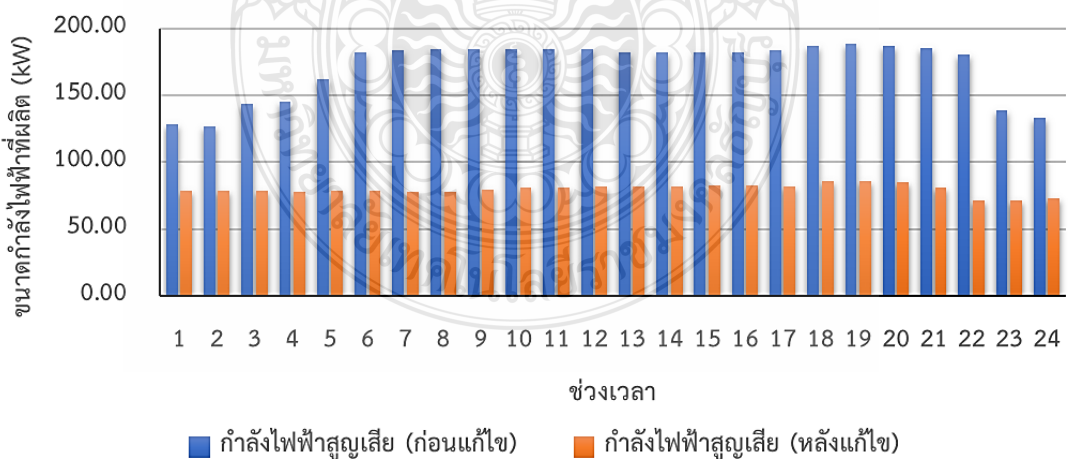
รูปที่ 4.6 แรงดันไฟฟ้าบัสหลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เวลา 22:00 – 05:00 น.

ผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าหลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้วนั้น แรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสมีการเปลี่ยนแปลงตามกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งเพิ่มเข้าไปในระบบจำหน่าย โดยรูปที่ 4.4 จะแสดงระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ช่วงเวลา 06:00 – 13:00 น. เป็นช่วงเวลาที่โซลาร์ฟาร์มสามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ ช่วงเวลา 14:00 – 18:00 น. ที่เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงจากความต้องการน้อยลง เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าวเข้าสู่ช่วงกลางคืน ในรูปที่ 4.5 จะแสดงระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ช่วงเวลา 19:00 – 21:00 น. พบว่าช่วงเวลาดังกล่าวเข้าสู่ช่วงเวลากลางคืนที่ความต้องการการใช้กำลังไฟฟ้าน้อยลง ทำให้การจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายมีการเปลี่ยนแปลงตามความต้องการเพื่อรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้า และในรูปที่ 4.6 จะแสดงระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ช่วงเวลา 22:00 – 05:00 น. พบว่าระดับแรงดันไฟฟ้าเริ่มมีความคงที่เมื่อเทียบกับเวลาช่วงกลางวัน เนื่องจากความต้องการการใช้กำลังไฟฟ้าน้อยลงทำให้การจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายไม่มีความเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลากลางคืนในระดับ 0.95 – 1.05 p.u.

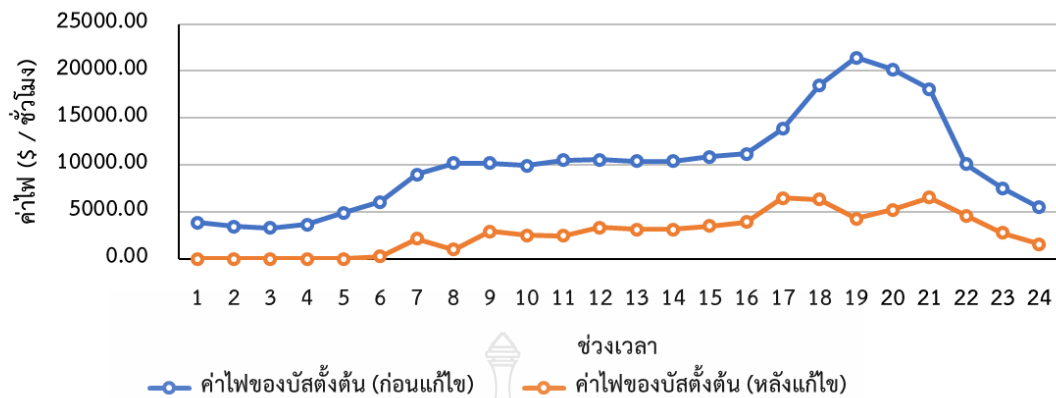


รูปที่ 4.7 ผลรวมกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 ชนิด ในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง

รูปที่ 4.7 แสดงการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลชนิดเชื้อเพลิงดีเซลและโซลาร์ฟาร์มตามช่วงเวลาประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลชนิดเชื้อเพลิงดีเซล 2 เครื่อง และ โซลาร์ฟาร์ม 4 กลุ่ม การผลิตกำลังไฟฟ้าตามช่วงเวลาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลชนิดเชื้อเพลิงดีเซลจะผกผันตามการผลิตกำลังไฟฟ้าของโซลาร์ฟาร์ม เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมและรักษาระดับแรงดันของระบบไฟฟ้า การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มเข้าสู่ระบบเรียบร้อยแล้ว กำลังไฟฟ้าที่ผลิตทั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้ง 2 ชนิด มีความแตกต่างกันทำให้ในบางช่วงเวลาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดหนึ่งต้องผลิตกำลังไฟฟ้าทดแทนในส่วนนั้น เมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเริ่มผลิตกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไฟฟ้า กำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้าที่เกิดขึ้นลดลงจากกำลังไฟฟ้าที่จ่ายเข้าสู่ระบบไฟฟ้าตามช่วงเวลาแสดงในรูปที่ 4.8

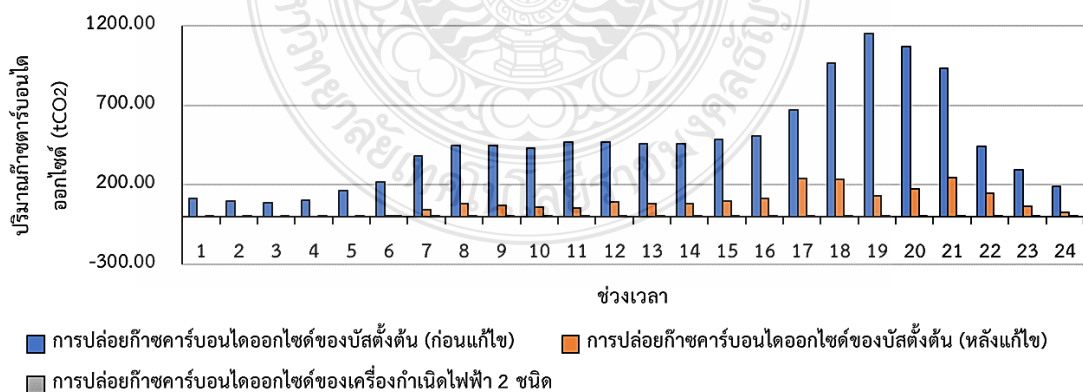


รูปที่ 4.8 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส ตามช่วงเวลา



รูปที่ 4.9 ค่าไฟของบัสตั้งต้นในระบบไฟฟ้ากำลังตามช่วงเวลา 24 ชั่วโมง

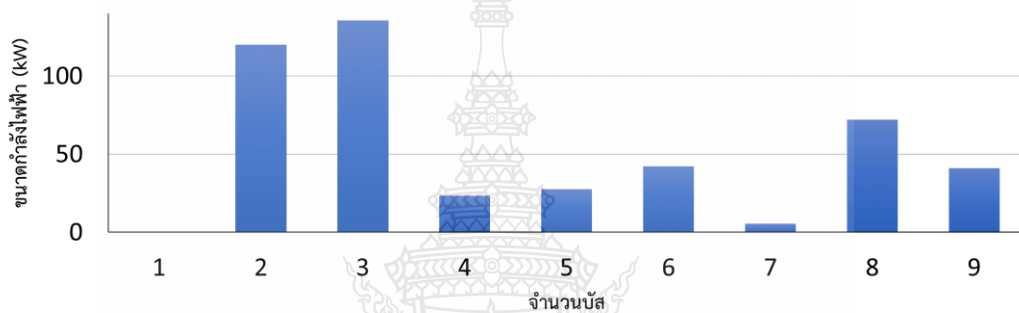
รูปที่ 4.9 แสดงถึงค่าใช้จ่ายในแต่ละชั่วโมงของบัสตั้งต้นระหว่างเส้นสีฟ้า คือ ก่อนติดตั้งและเส้นสีส้ม คือ หลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม ค่าใช้จ่ายที่สูงที่สุดของเส้นสีฟ้าอยู่ในช่วงเวลา 19:00 น. คือช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด จุดสูงสุดของเส้นสีส้มอยู่ในช่วงเวลา 17:00 น. คือช่วงเวลาที่โซลาร์ฟาร์มเริ่มผลิตได้น้อยลงทำให้บัสตั้งต้นจำเป็นต้องผลิตเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นถึงการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบัสตั้งต้นก่อนติดตั้งและหลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม แท่งสีฟ้าแสดงการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จากบัสตั้งต้นก่อนติดตั้ง ในช่วงเวลาที่ปล่อยก๊าซมากที่สุด คือ 19:00 น. ซึ่งสอดคล้องกับการใช้กำลังไฟฟ้ามากที่สุด แท่งสีส้ม คือ การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หลังการติดตั้ง พบว่ามีปริมาณที่น้อยกว่ามากเมื่อเทียบกับแท่งสีฟ้าและแท่งสีเทา คือ การปล่อยก๊าซของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 ชนิด



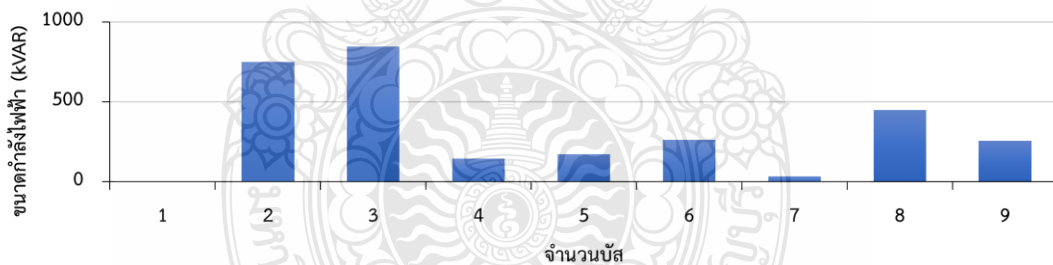
รูปที่ 4.10 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามช่วงเวลา 24 ชั่วโมง

4.3 กรณีศึกษาที่ 3 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย

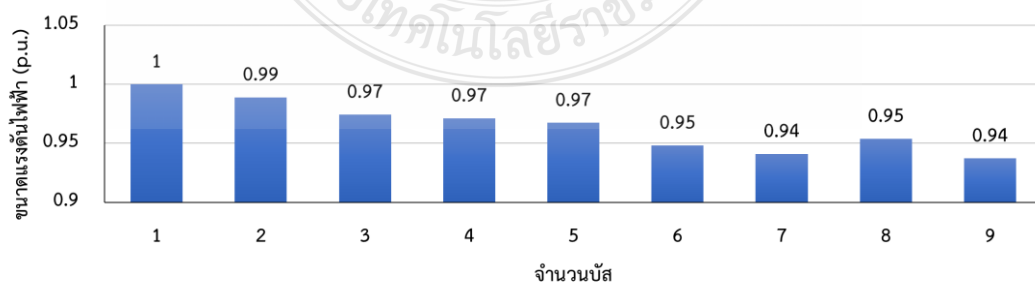
ทดสอบผ่านระบบจำหน่ายจังหวัดเชียงราย คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ใช้พลังงานมากที่สุดของวันพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟและรีแอกทีฟที่สูงสูญเสียในระบบไฟฟ้าเท่ากับ 467.98 kW และ 2,912.58 kVAR โดยบัสที่ 3 มีกำลังไฟฟ้าแอกทีฟและรีแอกทีฟสูงที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 4.11 – 4.12 โดยระดับแรงดันไฟฟ้าระดับแรงดันในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้ามีระดับต่ำกว่า 0.95 p.u. ไม่มีความเสถียรภาพทางแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่บัสที่ 3 – 9 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.11 กำลังไฟฟ้าสูญเสียแอกทีฟในระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย



รูปที่ 4.12 กำลังไฟฟ้าสูญเสียรีแอกทีฟในระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย



รูปที่ 4.13 แรงดันไฟฟ้าในจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย

4.4 กรณีศึกษาที่ 4 ค้นหาขนาดและตำแหน่งด้วยวิธี GWO แบบหลายวัตถุประสงค์ในพื้นที่ทางไกลจังหวัดเชียงราย

การนำขั้นตอนการวิเคราะห์ของระบบทดสอบ IEEE 33 บัส ปรับใช้เข้ากับระบบจำหน่ายอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย ผลลัพธ์จากการคำนวณแสดงผลลัพธ์ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์กรณีฐานก่อนติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงเวลา 11:00 น.

ก่อนติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม					
ประเภทเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ตำแหน่ง	กำลังไฟฟ้าที่ผลิต (kW)	กำลังสูญเสีย (kW)	ค่าใช้จ่าย (\$/h)	การปล่อยก๊าซ CO ₂ (tCO ₂)
บัสตั้งต้น	1	15,549	1,598.6	6,448	236
รวม		15,549	1,598.6	6,448	236

ตารางที่ 4.6 ผลลัพธ์กรณีฐานหลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงเวลา 11:00 น.

หลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม					
ประเภทเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ตำแหน่ง	กำลังไฟฟ้าที่ผลิต (kW & kVA)	กำลังสูญเสีย (kW)	ค่าใช้จ่าย (\$/h)	การปล่อยก๊าซ CO ₂ (tCO ₂)
บัสตั้งต้น	1	14,744	1,469.2	6,114	224
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เครื่องที่ 1	6	1,000		11,496	1.34
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เครื่องที่ 2	7	1,000			
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เครื่องที่ 3	9	1,000		8,969	0
โซลาร์ฟาร์ม กลุ่ม 1	4	100			
รวม		17,844	1,469.2	26,579	225.34

ตารางที่ 4.5 แสดงผลลัพธ์ก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่าย อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย ในช่วงเวลา 11:00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่โซลาร์ฟาร์ม

ผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุดและใช้กำลังไฟฟ้ามากที่สุด ก่อนการติดตั้งกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้า กำลัง 1,598.6 kW ค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าของบัสตั้งต้น 6,448 \$/h และปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 236 tCO₂ วิทยานิพนธ์นี้มุ่งเน้นการเพิ่มประสิทธิภาพทางแรงดันไฟฟ้าเป็นหลัก เพื่อแก้ไขปัญหาการจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกล ทำให้หลังการติดตั้งกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลังลดลง 1,469.2 kW ลดค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าของบัสตั้งต้น 6,114 \$/h และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 225.34 tCO₂ แสดงในตารางที่ 4.6 ทำให้สามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจากเดิม

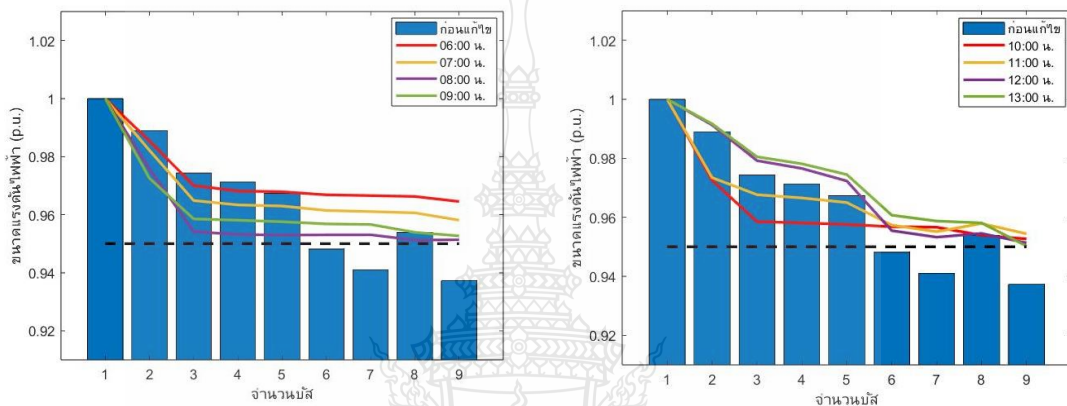
ตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์กรณีฐานก่อนติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงเวลา 19:00 น.

ก่อนติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม					
ประเภทเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ตำแหน่ง	กำลังไฟฟ้าที่ผลิต (kW)	กำลังสูญเสีย (kW)	ค่าใช้จ่าย (\$/h)	การปล่อยก๊าซ CO ₂ (tCO ₂)
บัสตั้งต้น	1	14,424	474.22	5,982	219
รวม		14,424	474.22	5,982	219

ตารางที่ 4.8 ผลลัพธ์กรณีฐานหลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในช่วงเวลา 19:00 น.

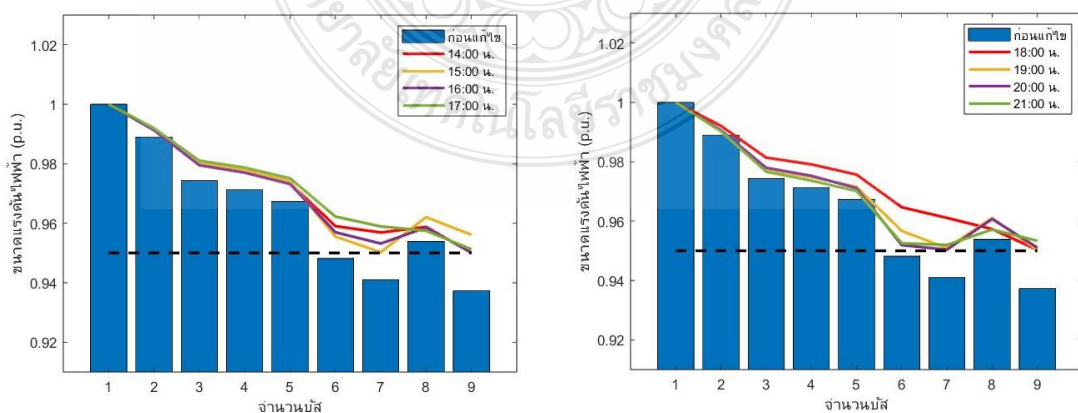
หลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม					
ประเภทเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ตำแหน่ง	กำลังไฟฟ้าที่ผลิต (kW & kVA)	กำลังสูญเสีย (kW)	ค่าใช้จ่าย (\$/h)	การปล่อยก๊าซ CO ₂ (tCO ₂)
บัสตั้งต้น	1	12,448	344.61	5,162	189
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เครื่องที่ 1	6	987		12,706	1.41
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เครื่องที่ 2	7	987			
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซล เครื่องที่ 3	9	987		8,969	0
โซลาร์ฟาร์ม กลุ่ม 1	4	0			
รวม		15,409	344.61	26,837	190.41

ตารางที่ 4.7 แสดงผลลัพธ์ก่อนและหลังการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม ในช่วงเวลา 19:00 น. เป็นช่วงเวลาที่โซลาร์ฟาร์มไม่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้ ก่อนการติดตั้งกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลัง 474.22 kW ค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าของบัสตั้งต้น 5,982 \$/h และปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 219 tCO₂ ตารางที่ 4.8 แสดงผลลัพธ์หลังการติดตั้งกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลังลดลง 344.61 kW ลดค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าของบัสตั้งต้น 5,162 \$/h และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 189 tCO₂ ทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.14



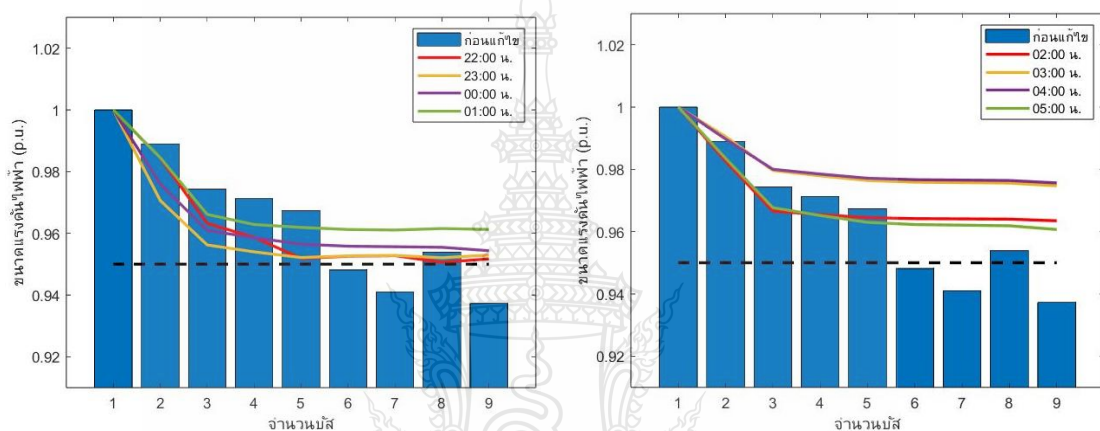
รูปที่ 4.14 แรงดันไฟฟ้าบัส จ.เชียงราย หลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เวลา 06:00 – 13:00 น.

รูปที่ 4.14 แสดงถึงระดับแรงดันไฟฟ้าหลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม โดยแท่งสีน้ำเงินแสดงถึงระดับแรงดันไฟฟ้าก่อนการติดตั้ง ซึ่งบัสที่ 6, 7 และ 9 มีระดับแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 0.95 p.u. และหลังการติดตั้งทำให้ระดับแรงดันไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นตามจุดประสงค์ที่กำหนดไว้ข้างต้น ช่วงเวลา 06:00 น. ถึง 07:00 น. ระบบจำหน่ายสามารถจำหน่ายกำลังไฟฟ้าแต่ละบัสได้ เวลา 09:00 น. ถึง 13:00 น. การใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น ทำให้ระดับแรงดันเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา



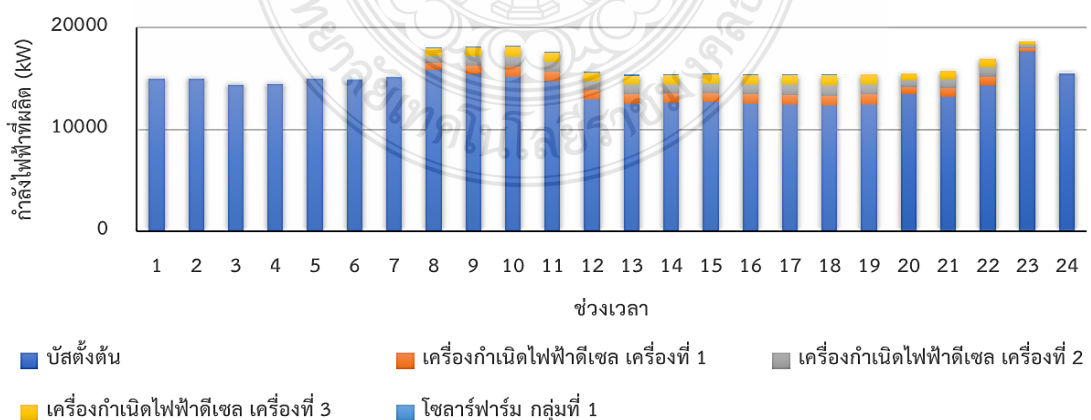
รูปที่ 4.15 แรงดันไฟฟ้าบัส จ.เชียงราย หลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เวลา 14:00 – 21:00 น.

ในรูปที่ 4.15 แสดงถึงช่วงเวลา 14:00 ถึง 17:00 น. ซึ่งเป็นเวลาที่ความต้องการการใช้กำลังไฟฟ้าลดลง ระดับแรงดันในช่วงเวลาดังกล่าวจะเริ่มลู่เข้าหากันในแต่ละชั่วโมง ในช่วงเวลา 18:00 น. ระดับแรงดันไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากในช่วงเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลาไหลดที่พักอาศัยทำให้การกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น ระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 18:00 น. ถึง 20:00 น. สูงขึ้นและลดลงเมื่อเวลา 21:00 น. เมื่อเข้าสู่ช่วงเวลากลางคืน ระดับแรงดันไฟฟ้าจะไม่มี ความเปลี่ยนแปลงเนื่องจากพื้นที่ติดกับภูเขาสูงทำให้บริเวณพื้นที่ดังกล่าวไม่มีโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการกำลังไฟฟ้าในช่วงเวลากลางคืน ทำให้ตั้งแต่เวลา 22:00 น. ถึง 05:00 น. ระดับแรงดันนั้นคงที่

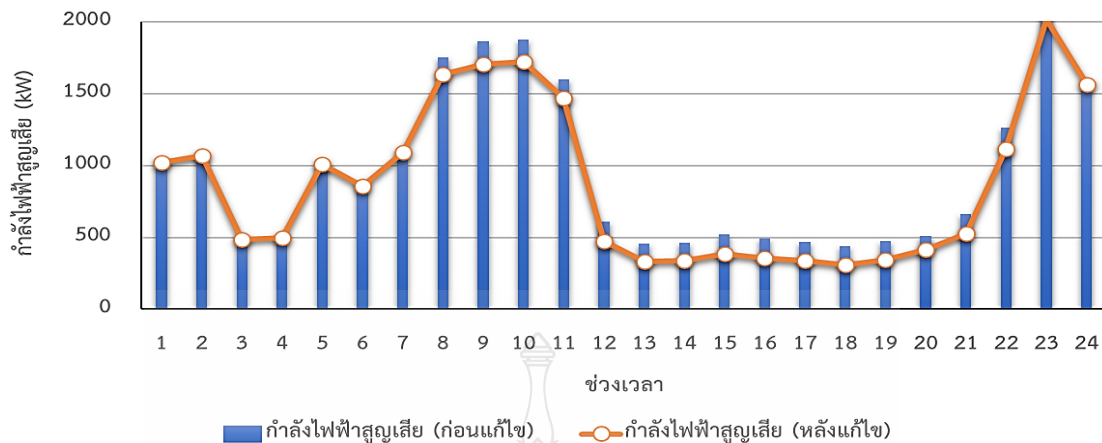


รูปที่ 4.16 แรงดันไฟฟ้าบัส จ.เชียงราย หลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เวลา 22:00 – 05:00 น.

รูปที่ 4.17 แสดงถึงผลรวมกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม แห่งสินน้ำเงิน คือ กำลังไฟฟ้าที่บัสตั้งต้นผลิต จะพบว่ากำลังไฟฟ้าส่วนใหญ่ผลิตจากบัสตั้งต้น เพื่อให้ระดับแรงดันมีความเสถียรภาพ จึงจำเป็นต้องให้บัสตั้งต้นจ่ายกำลังไฟฟ้าเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ

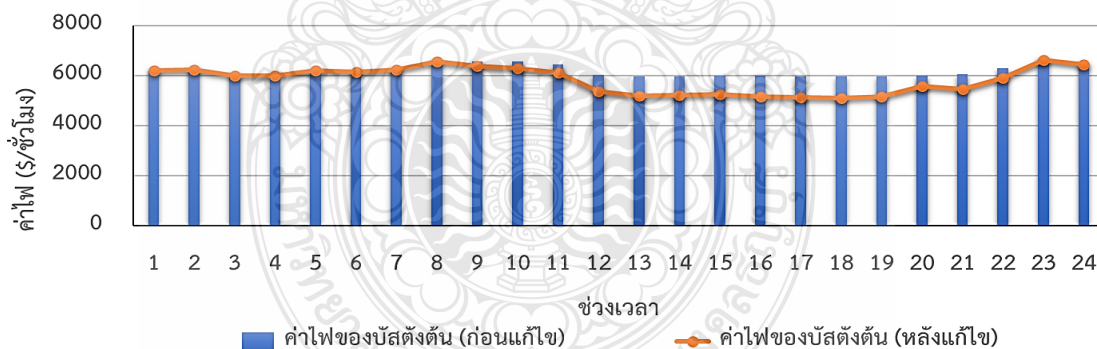


รูปที่ 4.17 ผลรวมกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 ชนิด และบัสตั้งต้นในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง



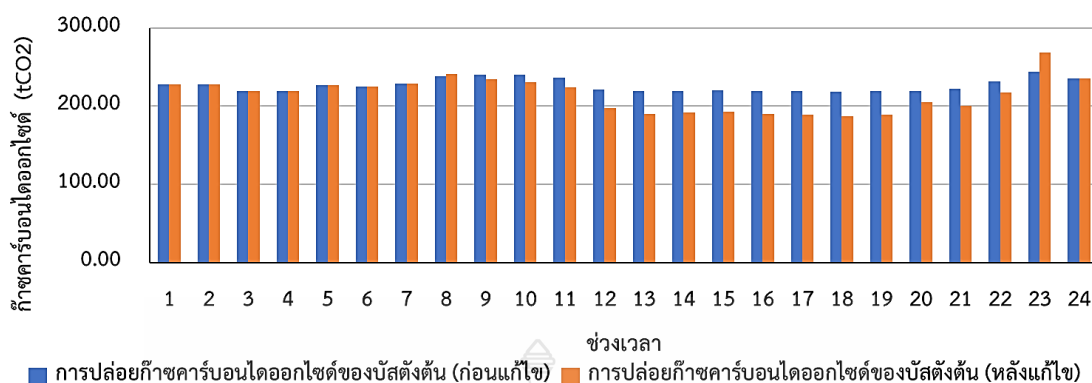
รูปที่ 4.18 การเปรียบเทียบก่อนและหลังของกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลัง

ผลลัพธ์จากการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม พบว่าในช่วงเวลา 19:00 น. เป็นช่วงเวลาที่การใช้กำลังไฟฟ้าสูงที่สุด การตอบสนองความต้องการในช่วงเวลาดังกล่าวจึงเป็นหน้าที่ของบัสตั้งต้น เมื่อบัสตั้งต้นตอบสนองความต้องการการใช้กำลังไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องเพิ่มกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบจำหน่าย ทำให้กำลังไฟฟ้าเกิดความสูญเสียมากขึ้นเพื่อตอบสนองต่อความต้องการและเพิ่มระดับแรงดันในระบบจำหน่าย แสดงในรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.19 ค่าใช้จ่ายบัสตั้งต้นในระบบไฟฟ้ากำลัง อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย

ค่าใช้จ่ายสำหรับการผลิตกำลังไฟฟ้าของบัสตั้งต้นก่อนและหลังติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มแสดงในรูปที่ 4.19 โดยก่อนการติดตั้งมีค่าใช้จ่าย 5,982 \$/h และหลังการติดตั้งค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น 5,162 \$/h จากการจ่ายกำลังไฟฟ้าของบัสตั้งต้นเพื่อปรับปรุงเสถียรภาพของระบบจำหน่ายและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบไฟฟ้ากำลังลดลงจาก 219 tCO₂ หลังการติดตั้งการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 190.41 tCO₂ ด้วยเหตุผลเดียวกันแสดงในรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในระบบไฟฟ้ากำลัง อำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย

4.5 บทสรุป

จากผลการวิจัยการหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายด้วยเทคนิคความเหมาะสมแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ด้วยวิธีเกรย์วูล์ฟออฟติไมเซอร์สามารถแก้ปัญหาการไหลของระบบทดสอบ IEEE 33 บัส ที่มีลักษณะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าคล้ายระบบไฟฟ้ากำลังอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย โดยในช่วงเวลาที่โซลาร์ฟาร์มผลิตกำลังไฟฟ้ามากที่สุดก่อนการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มมีกำลังสูญเสียในระบบ 184.86 kW ค่าใช้จ่ายผลิตกำลังไฟฟ้าของบัสตั้งต้น 191 \$/h และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 468 tCO₂ ด้วยการกำหนดหลายวัตถุประสงค์ทำให้ผลลัพธ์มีความเหมาะสมขึ้น โดยกำลังสูญเสียในระบบลดลง 86.278 kW ลดค่าใช้จ่ายผลิตกำลังไฟฟ้าของบัสตั้งต้น 69 \$/h และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 132.997 tCO₂ ผลลัพธ์จากการทดลองจากระบบทดสอบ IEEE 33 บัส แสดงให้เห็นว่าสามารถแก้ปัญหาตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดได้ จึงนำกระบวนการทดลองจากเดิมนำมาใช้กับระบบจำหน่ายอำเภอแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย พบว่ากำลังสูญเสียในระบบ 1,598.6 kW ค่าใช้จ่ายผลิตกำลังไฟฟ้าของบัสตั้งต้น 6,448 \$/h และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 236 tCO₂ เนื่องจากปัญหาความเสถียรภาพทางแรงดันไฟฟ้ามีมากในระบบจำหน่าย วิทยานิพนธ์นี้จึงมุ่งเน้นการแก้ปัญหาที่ความเสถียรภาพทางแรงดันไฟฟ้าเป็นหลักเพื่อแก้ไขปัญหาการจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกล ทำให้หลังการติดตั้งกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลังลดลง 1,469.2 kW ลดค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าของบัสตั้งต้น 6,114 \$/h และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 225.34 tCO₂ ทำให้สามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจากเดิม จากผลการทดลองทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่าการกำหนดหลายวัตถุประสงค์พร้อมใช้วิธีเกรย์วูล์ฟออฟติไมเซอร์สามารถค้นหาค่าความเหมาะสมเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายด้วยเทคนิคความเหมาะสมแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ โดยวัตถุประสงค์วิเคราะห์ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าตามความต้องการของโหลดและการเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในช่วงเวลาและประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ ในการแก้ไขปัญหาของจำหน่ายกำลังไฟฟ้าในพื้นที่ทางไกลจังหวัดเชียงราย โดยจำลองบนระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีฟลอร์เวิร์ด-แบคเวิร์ดสวิต และเข้าสู่อุปกรณ์แก้ปัญหาโดยเทคนิคความเหมาะสมแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ด้วยวิธีเกรย์วูล์ฟออฟติไมเซอร์ การแก้ปัญหามุ่งเน้นไปที่การหาตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในช่วงเวลาที่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้ามากที่สุดและหาขนาดที่เหมาะสมตามความต้องการของโหลดและการเปลี่ยนแปลงของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในช่วงเวลา

5.1 สรุปผล

5.2.1 ผลการทดสอบระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส ตามความต้องการของโหลดในช่วงเวลาได้รับการแก้ไขปัญหโดยเทคนิคความเหมาะสมแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ด้วยวิธีเกรย์วูล์ฟออฟติไมเซอร์ จากเดิมในช่วงเวลา 11:00 น. เป็นช่วงเวลาที่โซลาร์ฟาร์มสามารถผลิตกำลังไฟฟ้ามากที่สุด กำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลัง 184.86 kW ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการผลิตกำลังไฟฟ้าเฉพาะบัสตั้งต้น 191 \$/h การปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 468 tCO₂ และไม่มีความเสี่ยงทางแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังในบางบัส หลังได้รับการแก้ไขปัญหโดยหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มสำหรับติดตั้งสามารถลดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากบัสตั้งต้น 2,377 kW เพิ่มกำลังผลิตที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์ม 2,010 kW ลดกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลัง 81.316 kW ลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการผลิตกำลังไฟฟ้าเฉพาะบัสตั้งต้น 66 \$/h ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 56.391 tCO₂ และเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าทุกบัส และช่วงเวลา 19:00 น. เป็นช่วงเวลาที่ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้ามากที่สุด กำลังไฟฟ้าบัสตั้งต้น 3,723 kW กำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลัง 188.28 kW ลดค่าใช้จ่ายที่บัสตั้งต้น 69 \$/h ลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 132.997 tCO₂ และมีความเสี่ยงทางแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าทุกบัส

5.2.2 ผลลัพธ์จากการทดลองจากระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 บัส แสดงให้เห็นว่าสามารถแก้ปัญหาตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดได้ จึงนำกระบวนการทดลองจากเดิมนำมาใช้กับระบบจำหน่ายอำเภอแม่สาย จังหวัดเชียงราย โดยวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าพบว่า กำลังสูญเสียในระบบ 1,598.6 kW ค่าใช้จ่ายผลิตกำลังไฟฟ้าของบัสตั้งต้น 6,448 \$/h และการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 236 tCO₂ จึงนำข้อมูลจากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ขั้นตอนหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายด้วยเทคนิคความเหมาะสมแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ เนื่องจากปัญหาความเสถียรภาพทางแรงดันไฟฟ้ามีมากในระบบจำหน่าย วิทยานิพนธ์นี้จึงมุ่งเน้นการแก้ปัญหาที่ความเสถียรภาพทางแรงดันไฟฟ้าเป็นหลักเพื่อแก้ไขปัญหาการจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกล ทำให้หลังการติดตั้งกำลังสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลังลดลง 1,469.2 kW ลดค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าของบัสตั้งต้น 6,114 \$/h และลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 225.34 tCO₂ ทำให้สามารถเพิ่มระดับแรงดันไฟฟ้าจากเดิม จากผลการทดลองทั้งหมดนี้แสดงให้เห็นว่าการกำหนดหลายวัตถุประสงค์พร้อมใช้วิธีเกรย์วูล์ฟออฟติไมเซชันสามารถค้นหาค่าความเหมาะสมเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการหาขนาดและตำแหน่งของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มในระบบจำหน่ายด้วยเทคนิคความเหมาะสมแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ โดยทดลองในระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 เพื่อออกแบบการวิเคราะห์ให้เหมาะสมกับระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกล จังหวัดเชียงราย โดยหลังจากทดลองในระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 มีข้อเสนอแนะว่า ระบบที่นำมาทดสอบควรมีความหลากหลายในการทดสอบเพื่อจำลองสถานการณ์ให้มีความครอบคลุมกว่าที่ทดสอบ การทดสอบควรแบ่งกรณีศึกษาออกเป็นหลายลักษณะ เช่น การทดลองในช่วงเวลา กำหนดสถานะในระบบให้สอดคล้องกับระบบจำหน่ายในการใช้งานจริง เป็นต้น

5.3.2 การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบจำหน่ายมาตรฐาน IEEE 33 ที่กล่าวมาควรเพิ่มในส่วนของการเพิ่มโหลดในระหว่างการทดลอง ในความเป็นจริงการใช้กำลังไฟฟ้าไม่ได้มีความแน่นอนเหมือนในการทดสอบ ดังนั้นการเพิ่มโหลดในระหว่างการทดลองจึงเป็นข้อเสนอแนะที่แนะนำ การทำลักษณะจะทำให้การวิเคราะห์ระบบมองเห็นถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นในอนาคต การออกแบบจะมีความยืดหยุ่นและรองรับปัญหาที่กล่าวมาในกรณีฉุกเฉิน

5.3.3 การแก้ไขปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าโดยการหาขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลและโซลาร์ฟาร์มเข้าจำหน่ายกำลังไฟฟ้าจังหวัดเชียงรายมีข้อจำกัดในการติดตั้งในสถานที่จริง เพื่อให้สอดคล้องกับสถานที่ควรเพิ่มแบตเตอรี่ในแต่ละจุด เพื่อลดการผลิตกำลังไฟฟ้าที่สูงขึ้นตามพื้นที่ห่างไกล เนื่องจากพื้นที่จริงอยู่ในพื้นที่ภูเขาสูงชัน และมีที่ราบเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่อื่น การติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดีเซลขนาดใหญ่ หรือ โซลาร์ฟาร์ม

5.3.4 ปัญหาเรื่องพื้นที่จริงในระบบจำหน่ายในพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงราย ยังคงเป็นปัญหาหลักที่ไม่สามารถแก้ไขในระบบได้ ทั้งในเรื่องของการเลือกประเภทแหล่งกำเนิดไฟฟ้าในการติดตั้ง และจำนวนที่เหมาะสม การแก้ไขปัญหาในระบบจำหน่ายจังหวัดเชียงรายที่แนะนำ คือ ควรติดตั้งโซลาร์รูฟที่ออกแบบการติดตั้งโซลาร์ฟาร์ม เนื่องจากที่อยู่อาศัยติดกับภูเขาสูงทำให้การติดตั้งโซลาร์ฟาร์มสามารถติดตั้งได้บางพื้นที่ อีกทั้งการเพิ่มขึ้นของครัวเรือนในทุกปีตามข้อมูลที่อ้างถึง ในบทที่มีโอกาสสูงมากขึ้นที่จะถึงจุดความคุ้มค่าในการติดตั้งโซลาร์รูฟที่ออกแบบการติดตั้งโซลาร์ฟาร์ม

5.3.5 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของพื้นที่ห่างไกลจังหวัดเชียงใหม่ ยังคงเป็นแบบเดิมในการส่งจ่าย คือ การส่งจ่ายตามเส้นทางที่ห่างไกลหลายกิโลเมตร ทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียส่วนใหญ่เสียไปจากการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังพื้นที่ การเพิ่มสถานีไฟฟ้าย่อย (Sub Station) จึงเป็นหนึ่งในข้อเสนอแนะอีกข้อหนึ่งที่แนะนำ เนื่องจากขนาดของสถานีไฟฟ้าย่อยสามารถปรับเปลี่ยนตามพื้นที่ที่ติดตั้งและยังสามารถการันตีการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น แต่ข้อเสนอแนะนี้ต้องคำนึงถึงต้นทุนการติดตั้ง เนื่องจากพื้นที่จริงการติดตั้งสถานีไฟฟ้าย่อยเป็นไปด้วยความยากลำบาก จึงอาจต้องใช้ต้นทุนที่สูงในการติดตั้งและค่าคนงาน

บรรณานุกรม

- [1] ชัยมงคล เพ็งเต็ม, ศักดิ์สิทธิ์ ดีอ่า, ณฑุณ จันทรจรัส, ศีลวัต ร่มโพธิ์ชัย และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์. (2566, พฤษภาคม). การหาตำแหน่งและขนาดที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายร่วมกับฟาร์มพลังงานแสงอาทิตย์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าด้วยเทคนิควิธีกลุ่มอนุภาค. ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า. (น. 158 - 161) โรงแรมฟอร์จูน ริเวอร์วิว. นครพนม.
- [2] ดนัย ทองธวัช. (2553). การวางแผนเพื่อยกระดับเสถียรภาพแรงดันสำหรับระบบจำหน่ายไฟฟ้าในพื้นที่จังหวัดจันทบุรี. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี).
- [3] Pramodini, N., M., M., Rajan Singaravel. & Niveditha, N. (2022). Multi-objective optimization of pv/wind hybrid renewable energy system for a zero net energy campus. In **International Conference for Emerging Technology**, (pp. pp. 1-6). Belgaum, India. doi: 10.1109/INCET54531.2022.9824135.
- [4] Ehsan Haghi, Behzad Farshidian & Yadollah Saboohi. (2017). Developing a model for optimal sizing of a small hydropower/pv hybrid system for electrification. In **IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering**. (pp. 170-176) Oshawa, Canada. doi: 10.1109/SEGE.2017.8052794.
- [5] ศักดิ์สิทธิ์ ดีอ่า, ณฑุณ จันทรจรัส, ศีลวัต ร่มโพธิ์ชัย, พิมพันธ์ ภูมิภิตติพิชญ์ และ กฤษณ์ชนม์ ภูมิภิตติพิชญ์. (2566). การออกแบบระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ต่อร่วมกับระบบสะสมพลังงานสำหรับชุมชนห่างไกลที่เหมาะสมด้วยเทคนิคเชิงพันธุกรรมแบบหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์. ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า. (น. 117 - 121) โรงแรมฟอร์จูน ริเวอร์วิว. นครพนม.
- [6] ชำนาญ ห่อเกียรติ. (2552). **ระบบไฟฟ้ากำลัง**. (พิมพ์ครั้งที่ 4). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [7] ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยนเรศวร. (2556). **หม้อแปลงไฟฟ้า**. สืบค้นจาก <https://electricalroomthailand.com/wpcontent/uploads/2021/10/EE8.%E0%B8%AB%E0%B8%A1%E0%B9%89%E0%B8%AD%E0%B9%81%E0%B8%9B%E0%B8%A5%E0%B8%87%E0%B9%84%E0%B8%9F%E0%B8%9F%E0%B9%89%E0%B8%B2.pdf>

บรรณานุกรม (ต่อ)

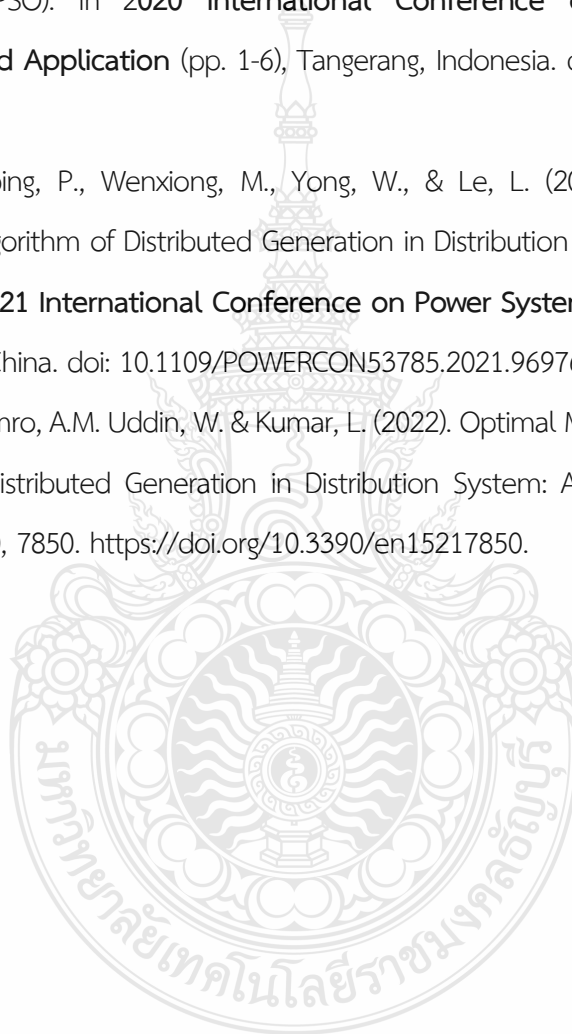
- [8] North American Electric Reliability Corporation (2017, February). Distributed Energy Resources. **Connection Modeling and Reliability Considerations**. (1). Retrieved from https://www.nerc.com/comm/Other/essntlrbltysrvscstskfrDL/Distributed_Energy_Resources_Report.pdf.
- [9] Mehrdad Mokhtari, Gevork Babamalek Gharehpetian & Seyedmohammad Mousaviagah. (2019, February). **Distributed Energy Resources**. Retrieved from www.researchgate.net/publication/339298114_Distributed_Energy_Resources.
- [10] เกียนติชัย รักษาชาติ. (2546). **Automotive Engineering**. (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- [11] ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยศรีปทุม. (2555). **เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ สืบค้น** จาก <http://dspace.spu.ac.th/bitstream/123456789/4825/7/g.%E0%B8%9A%E0%B8%97%E0%B8%97%E0%B8%B5%E0%B9%88%202.pdf>.
- [12] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. (2551). **พลังงานทดแทน**. สืบค้นจาก <http://www2.egat.co.th/re/index.html>.
- [13] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. (2016). **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคา** สืบค้นจาก <https://www.solarhub.co.th/document/draft-solar-pv-rooftop-rule.pdf>.
- [14] วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล. (2560). **เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในระบบไฟฟ้ากำลัง**. ยโสธร: ร้านสยามปริ้นติ้ง.
- [15] Seyedali Mirjalili, Seyed Mohammad Mirjalili & Andrew Lewis. (2014). Grey Wolf Optimizer. In **Advances in Engineering Software**, vol. 69, pp. 46-61.
- [16] สำนักงานการท่องเที่ยวจังหวัดเชียงราย. (2550). **ข้อมูลทั่วไปของจังหวัดเชียงราย**. สืบค้นจาก http://123.242.164.133/file_download/Report60.pdf.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [17] กองยุทธศาสตร์และสารสนเทศที่อยู่อาศัย ฝ่ายนวัตกรรมและวิจัย การเคหะแห่งชาติ. (2563). **รายงานข้อมูลจำนวนประชากรและบ้าน ปี 2563.** (รายงานการวิจัย). กรุงเทพฯ: การเคหะแห่งชาติ
- [18] กองยุทธศาสตร์และสารสนเทศที่อยู่อาศัย ฝ่ายนวัตกรรมและวิจัย การเคหะแห่งชาติ. (2564). **รายงานข้อมูลจำนวนประชากรและบ้าน ปี 2564.** (รายงานการวิจัย). กรุงเทพฯ: การเคหะแห่งชาติ
- [19] กองยุทธศาสตร์และสารสนเทศที่อยู่อาศัย ฝ่ายนวัตกรรมและวิจัย การเคหะแห่งชาติ. (2565). **รายงานข้อมูลจำนวนประชากรและบ้าน ปี 2565.** (รายงานการวิจัย). กรุงเทพฯ: การเคหะแห่งชาติ
- [20] Ovidiu, Bogdan-Constantin Neagu, Bogdan-Constantin Neagu & Bogdan-Constantin Neagu (2019). **Optimal Capacitor Bank Allocation in Electricity Distribution Networks Using Metaheuristic Algorithms: A Comprehensive Review.** *Energie*, 12(22). 4239. <https://doi.org/10.3390/en12224239>.
- [21] Chandrasekhar Yammani, Sydulu Maheswarapu & Sailajakumari Matam. (2012). Optimal Placement of Multi DGs in Distribution System with Considering the DG Bus Available Limits. In **National Institute of Technology, Energy and Power** (pp. 18-23). Warangal. DOI: 10.5923/j.ep.20120201.0.
- [22] Weerachai Phuangpornpitak & Krischonme Bhumkittipich (2013). Optimal Placement and Sizing of Single Distributed Generation for Power Loss Reduction using Particle Swarm Optimization: A Comprehensive Review. *Energy Procedia*, 13(34), 307-317.
- [23] Kamel, S., Abdel-Fatah, S., Ebeed, M., Yu, J., Xie K., and Zhao, C. (2019). Solving Optimal Reactive Power Dispatch Problem Considering Load Uncertainty. In **2019 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia** (pp. 1335-1340). Chengdu, China. doi: 10.1109/ISGT-Asia.2019.8881322.
- [24] Ding, Z, Li, Y., & Zhang, K. (2020). Dynamic Demand Response against Predictable Sudden Load Changes. In **2020 IEEE 3rd International Conference on Automation, Electronics and Electrical Engineering** (pp. 183-188,). Shenyang, China. doi: 10.1109/AUTEEE50969.2020.9315619.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [25] Hakiim, R. F., Wardaniawan, Afrina, V. R., Putranto, L. M., & Tiyono. (2020). Optimal PV Farm Size and Location Determination in Kudus Distribution System Using Particle Swarm Optimization (PSO). In **2020 International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application** (pp. 1-6), Tangerang, Indonesia. doi: 10.1109/ICSEEA50711.2020.9306125.
- [26] Zhong, X., Heping, P., Wenxiong, M., Yong, W., & Le, L. (2021). Locating and Sizing optimization algorithm of Distributed Generation in Distribution Networks for Low-carbon operation. In **2021 International Conference on Power System Technology** (pp. 1105-1110), Haikou, China. doi: 10.1109/POWERCON53785.2021.9697698.
- [27] Kumar, M.; Soomro, A.M. Uddin, W. & Kumar, L. (2022). Optimal Multi-Objective Placement and Sizing of Distributed Generation in Distribution System: A Comprehensive Review. **Energies**, **15**(21), 7850. <https://doi.org/10.3390/en15217850>.



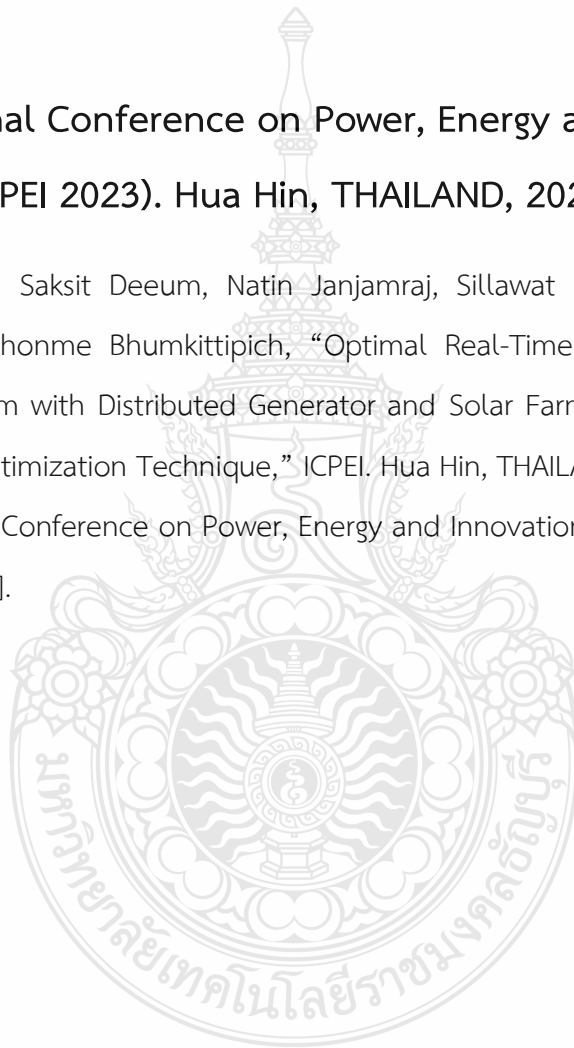
ภาคผนวก





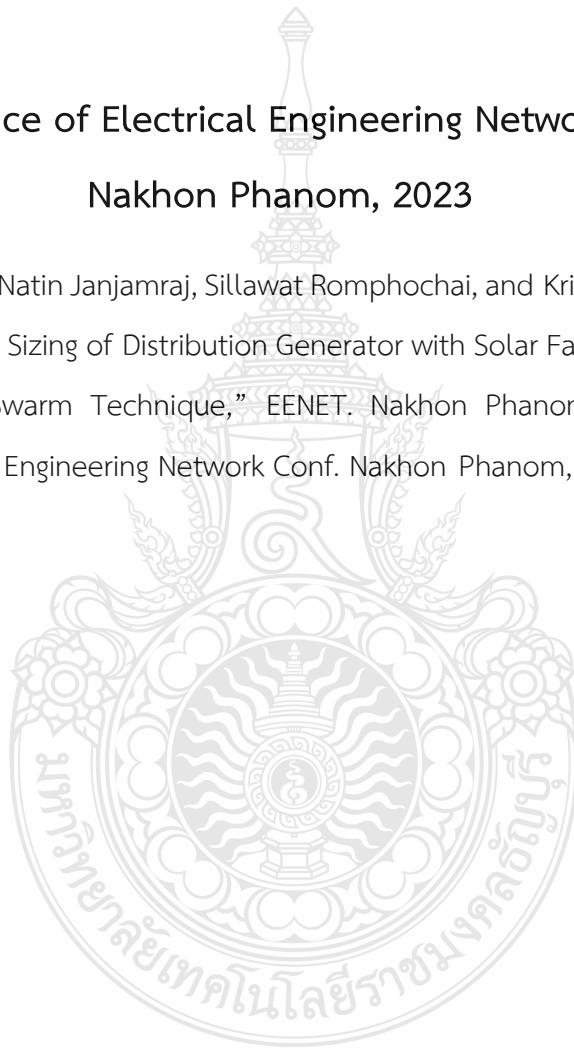
2023 International Conference on Power, Energy and Innovations
(ICPEI 2023). Hua Hin, THAILAND, 2023

Chaimongkol Pengtem, Saksit Deeum, Natin Janjamraj, Sillawat Romphochai, Pimnapat Bhumkittipich, and Krischonme Bhumkittipich, “Optimal Real-Time Demand Response of Active Distribution System with Distributed Generator and Solar Farm using multi-objective-based Particle Swarm Optimization Technique,” ICPEI. Hua Hin, THAILAND, pp. October 18-20, 2023 [2023 International Conference on Power, Energy and Innovations (ICPEI 2023). Hua Hin, THAILAND, pp. 1–6, 2023].



Conference of Electrical Engineering Network Conf.
Nakhon Phanom, 2023

Chaimongkol Pengtem, Natin Janjamraj, Sillawat Romphochai, and Krischonme Bhumkittipich,
“Optimal Placement and Sizing of Distribution Generator with Solar Farm in Active Distribution
System using Particle Swarm Technique,” EENET. Nakhon Phanom, pp. 1–4, May 2023
[Conference of Electrical Engineering Network Conf. Nakhon Phanom, pp. 1–4, 2023].



2023 IEEE PES 15th Asia-Pacific Power and Energy Engineering
Conference. Chiang Mai, 2023

Chaimongkol Pengtem, Saksit Deeum, Natin Janjamraj, Sillawat Romphochai, Pimnapat Bhumkittipich, and Krischonme Bhumkittipich, “Optimal Placement and Sizing of Distribution Generator in Active Distribution System with Solar Farm using Grey Wolf Optimization Technique,” APPEEC. Chiang Mai, pp. 1–6, December 2023 [2023 IEEE PES 15th Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference. Chiang Mai, pp. 1–6, 20

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นามสกุล	ชัยมงคล เฟื่องเต็ม
วัน เดือน ปีเกิด	05 ธันวาคม 2541
ที่อยู่	16/49 หมู่ 2 ถนนกรุงเทพฯ - ปทุมธานี ตำบลบางหลวง อำเภอเมืองปทุมธานี จังหวัดปทุมธานี รหัสไปรษณีย์ 12000
การศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม) สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
ประสบการณ์ทำงาน	พ.ศ. 2565 – 2566 ตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย โครงการแพลตฟอร์ม บริหารจัดการทรัพยากรผู้มีศักยภาพของกลุ่มมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคล เพื่อปฏิรูประบบการพัฒนากำลังคนของ ประเทศ (TRM) ปีที่ 1 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี พ.ศ. 2566 – 2567 ตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย โครงการแพลตฟอร์ม บริหารจัดการทรัพยากรผู้มีศักยภาพของกลุ่มมหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคล เพื่อปฏิรูประบบการพัฒนากำลังคนของ ประเทศ (TRM) ปีที่ 2 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี