



การวางแผนและปฏิบัติการระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะฉุกเฉิน
Optimal Economic Dispatch for Contingency in Power System

นุกูล เกษมสถิตย์วงศ์
Nukul Kasemsatitwong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
พ.ศ.2561



การวางแผนและปฏิบัติการระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะฉุกเฉิน
Optimal Economic Dispatch for Contingency in Power System

นุกูล เกษมสถิตยวงศ์
Nukul Kasemsatitwong

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
พ.ศ.2561
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อวิทยานิพนธ์ การวางแผนและปฏิบัติการระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะฉุกเฉิน
Thesis Title Optimal Economic Dispatch for Contingency in Power System
ชื่อ นามสกุล นายอนุกุล เกษมสถิตย์วงศ์
ชื่อปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้ให้ความเห็นชอบวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

อรรถ พยอมหอม

ประธานกรรมการ

(ดร.อรรถ พยอมหอม)

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัฐพงศ์ พันธุ์นะ)

กรรมการและเลขานุการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ)

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง)

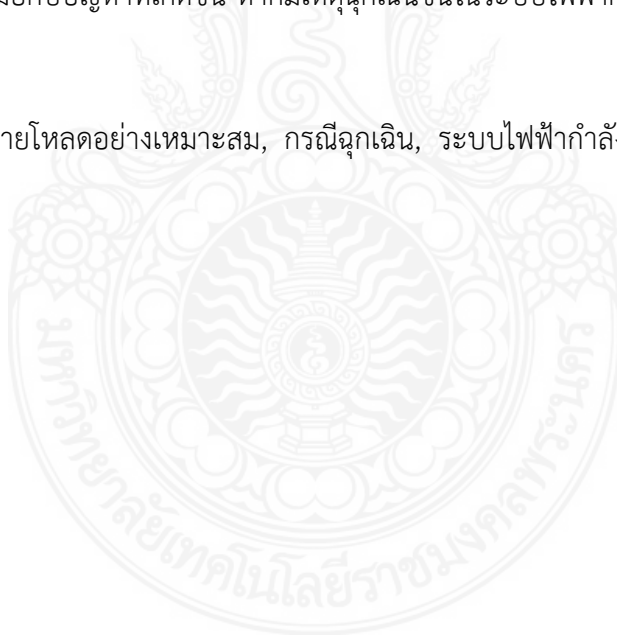
วันที่ 5 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2561

ชื่อวิทยานิพนธ์	การวางแผนและปฏิบัติการระบบไฟฟ้ากำลังในสถานะฉุกเฉิน
ชื่อ สกุล	นายอนุกุล เกษมสถิตย์วงศ์
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา และคณะ	วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2560

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการวิเคราะห์การประยุกต์ใช้เทคนิคการเคลื่อนแบบกลุ่มอนุภาคสำหรับการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังที่อยู่ในสถานะฉุกเฉิน เพื่อใช้ในการบริหารจัดการระบบไฟฟ้ากำลังให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าเพียงพอต่อความต้องการของโหลด โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน กำลังไฟฟ้าสูญเสีย และแรงดันไฟฟ้าที่ผิดปกติ ซึ่งจะทำให้การศึกษา และเปรียบเทียบผลกับระบบไฟฟ้าในสภาวะปกติ โดยใช้เทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาคมาช่วยในการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้นในระบบไฟฟ้านั้น ทำให้ค่าเฉลี่ยในการผลิตไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น รวมถึงเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าที่ลดต่ำลง ผู้ปฏิบัติงานจึงต้องมีการวางแผนรับมือกับปัญหาที่เกิดขึ้น หากมีเหตุฉุกเฉินขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง

คำสำคัญ: การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม, กรณีฉุกเฉิน, ระบบไฟฟ้ากำลัง, เทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค



Thesis title	Optimal Economic Dispatch for Contingency in Power System
Author	MR.Nukul Kasemsatitwong
Degree	Master of Electrical Engineering
Major program	Electrical Engineering, Faculty of Engineering
Academic Year	2017

ABSTRACT

This thesis presents an application of particle swarm optimization technique (PSO) to optimal economic dispatch analysis in power system with contingency criteria for management power system operation cost, power loss and bus voltage. The objective of optimal economic dispatch for contingency in power system compared with the results of analysis power system in normal case. The study result show that when contingency occur in power system, operation cost are rising. In the other hand system stability are decrease.

Keywords: Economic dispatch, contingency, power system, particle swarm optimization

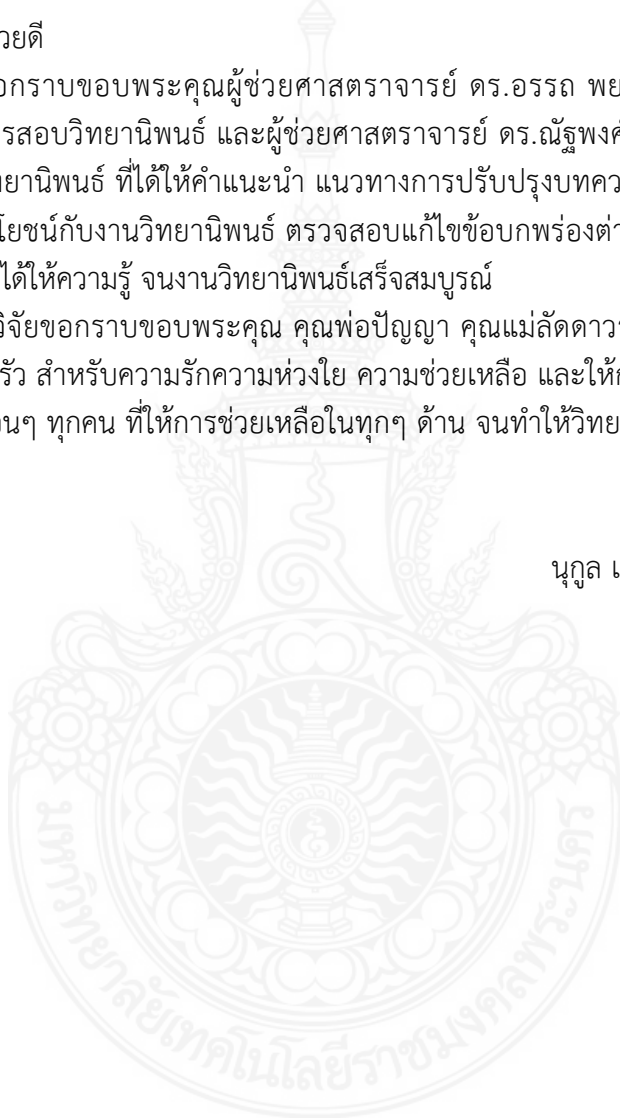
กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดี จากรองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด รวมทั้งได้กรุณา ตรวจสอบ และแก้ไขเนื้อหาวิทยานิพนธ์ รวมถึงการช่วยตรวจสอบการเขียนบทความวิชาการจน สำเร็จเรียบร้อยด้วยดี

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อรรถ พยอมหอม ซึ่งให้เกียรติเป็น ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ พันธุ์นะ ซึ่งให้เกียรติเป็น กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ แนวทางการปรับปรุงบทความวิชาการ และข้อคิดเห็น ต่างๆ ที่เป็นประโยชน์กับงานวิทยานิพนธ์ ตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้ งานงานวิทยานิพนธ์เสร็จสมบูรณ์

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อปัญญา คุณแม่ลัดดาวรรณ เกษมสฤติย์วงศ์ และ สมาชิกในครอบครัว สำหรับความรักความห่วงใย ความช่วยเหลือ และให้การสนับสนุนอย่างดีมาโดย ตลอด รวมถึงเพื่อนๆ ทุกคน ที่ให้การช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้โดย สมบูรณ์

นกุล เกษมสฤติย์วงศ์



สารบัญ

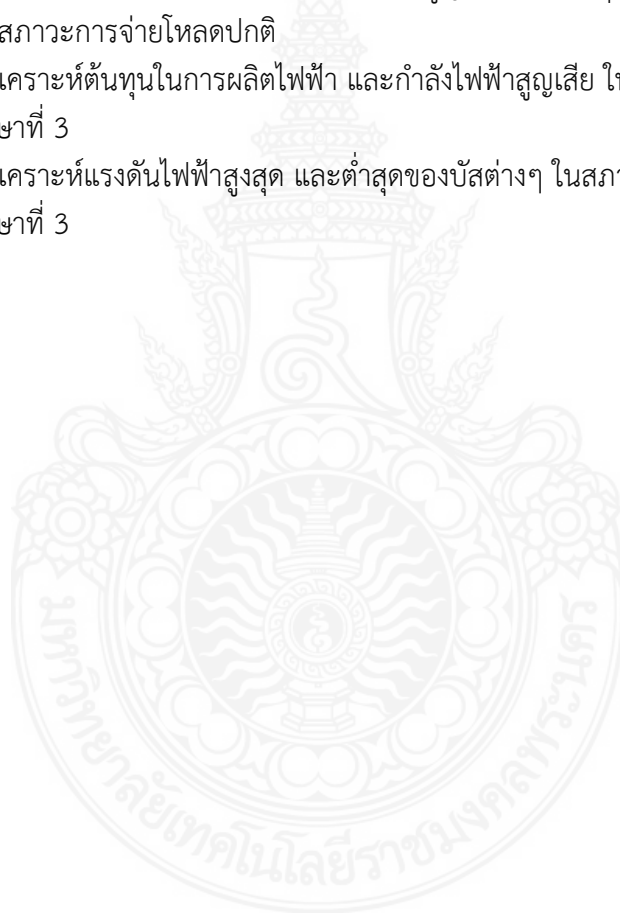
	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 การทบทวนงานวิจัย	3
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.4 โครงสร้างภายในวิทยานิพนธ์	3
1.5 วิธีการวิจัย	3
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ	4
บทที่ 2 แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 บทนำ	5
2.2 เทคนิคการเคลื่อนแบบกลุ่มอนุภาค	5
2.3 วิธีเจเนติก	10
2.4 การไหลของกำลังไฟฟ้า	13
2.5 ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด	21
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	22
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	24
3.1 บทนำ	24
3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม	24
3.3 ขั้นตอนและการดำเนินการวิจัย	25
3.4 กรณีศึกษาที่ 1	28
3.5 กรณีศึกษาที่ 2	28
3.6 กรณีศึกษาที่ 3	29

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 ผลการวิจัย	30
4.1 บทนำ	30
4.2 ผลการวิเคราะห์กรณีศึกษา	30
4.2.1 ผลการวิเคราะห์กรณีศึกษาที่ 1	31
4.2.2 ผลการวิเคราะห์กรณีศึกษาที่ 2	36
4.2.3 ผลการวิเคราะห์กรณีศึกษาที่ 3	41
4.3 สรุปผลการทดสอบ	45
บทที่ 5 สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	46
5.1 บทนำ	46
5.2 สรุปผลและอภิปรายงานวิจัย	46
5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย	46
5.4 ข้อเสนอแนะ	47
เอกสารอ้างอิง	48
ภาคผนวก ก ข้อมูลแบบจำลองระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE จำนวน 30 บัส	50
ภาคผนวก ข ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	55
ภาคผนวก ค เนื้อหาผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์	57
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	62

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
3.1	ค่าพารามิเตอร์ของเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค	26
3.2	ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบจำลองระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE จำนวน 30 บัส	27
3.3	กรณีศึกษาที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้	28
3.4	กรณีศึกษาที่ 2 กรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ในอัตราที่ต่ำที่สุดที่เครื่องสามารถจ่ายได้	28
3.5	กรณีศึกษาที่ 3 สายส่งไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้	29
4.1	ผลการวิเคราะห์การจ่ายกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูญเสีย และต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าในสภาวะการจ่ายโหลดปกติ	30
4.2	ผลการวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ในสภาวะฉุกเฉิน กรณีศึกษาที่ 3	41
4.3	ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าสูงสุด และต่ำสุดของบัสต่างๆ ในสภาวะฉุกเฉิน กรณีศึกษาที่ 3	42



สารบัญภาพ

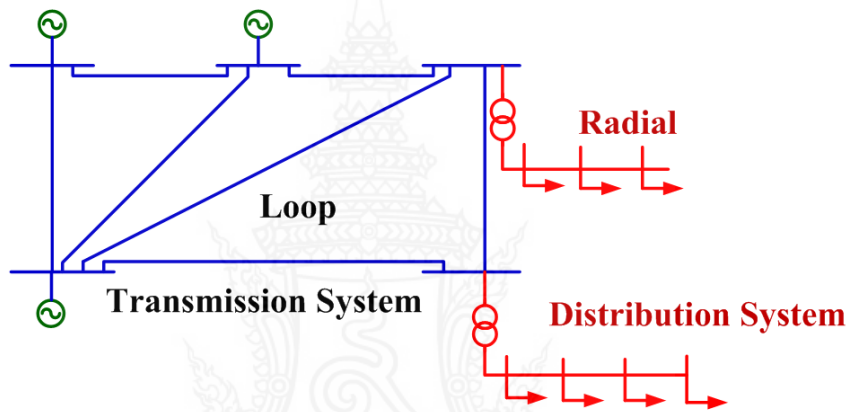
ภาพ		หน้า
1.1	ส่วนประกอบของระบบไฟฟ้าในปัจจุบัน	1
1.2	ตัวอย่างการเกิดเหตุฉุกเฉินในระบบไฟฟ้า	2
2.1	การเคลื่อนที่ของอนุภาคไปยังเป้าหมาย	5
2.2	การปรับปรุงค่าความเร็ว และตำแหน่งของอนุภาค	8
2.3	แผนผังอัลกอริทึมพื้นฐานของการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค	9
2.4	ตัวอย่างการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต	10
2.5	แสดงแผนผังอัลกอริทึมพื้นฐานของวิธีเจเนติก	12
2.6	ตัวอย่างรูปแบบบัสในระบบไฟฟ้า	14
3.1	แบบจำลองระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE จำนวน 30 บัส	27
4.1	ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.1	31
4.2	ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า ในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.1	31
4.3	ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.2	32
4.4	ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า ในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.2	32
4.5	ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.3	33
4.6	ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า ในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.3	33
4.7	ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.4	34
4.8	ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า ในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.4	34
4.9	ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.5	35
4.10	ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า ในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.5	35
4.11	ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.1	36
4.12	ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า ในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.1	36
4.13	ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.2	37
4.14	ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า ในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.2	37
4.15	ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.3	38
4.16	ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า ในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.3	38
4.17	ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.4	39
4.18	ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า ในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.4	39
4.19	ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.5	40
4.20	ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า ในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.5	40
4.21	ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้า กรณีสายส่งไฟฟ้า 28-27 ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้	44
4.22	ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า กรณีสายส่งไฟฟ้า 28-27 ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้	44

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

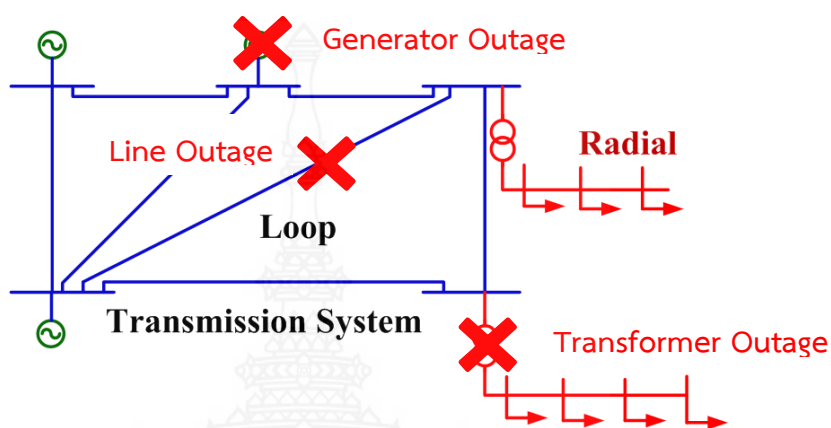
ระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบัน เมื่อเปรียบเทียบกับในอดีตนั้นจะพบว่ามี การวางโครงสร้างของระบบไฟฟ้าที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ตามการพัฒนาของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบไฟฟ้า ซึ่งมีความปลอดภัย และมีเสถียรภาพมากกว่าในอดีต รวมถึงตามความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีอัตราการใช้เพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ส่วนประกอบของระบบไฟฟ้าในปัจจุบัน

นอกจากการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแล้ว ปัจจุบันผู้ใช้ไฟฟ้ายังคาดหวังถึงเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าอีกด้วย อันเนื่องมาจากวิถีชีวิตของคนในปัจจุบันเกี่ยวเนื่องกับการใช้ไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นในมุมมองของผู้ผลิตไฟฟ้า นอกจากจะต้องคำนึงถึงความสามารถในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอแล้ว ยังจะต้องพิจารณาถึงเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าให้มีความมั่นคงมากที่สุด ซึ่งสามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น การบำรุงรักษาอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ในระบบไฟฟ้า การเปลี่ยนอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น รวมถึงการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเข้าไปในระบบ เพื่อความมีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า เป็นต้น ถึงแม้จะมีแนวทางในการลดความเสี่ยงต่างๆ การเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้นกับระบบไฟฟ้ายังคงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ กรณีฉุกเฉินที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าหมายถึงการที่อุปกรณ์บางตัวที่ติดตั้งอยู่ในระบบเกิดความเสียหายไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ หรือการตั้งใจปิดการทำงานของอุปกรณ์บางตัวเพื่อดำเนินงานบำรุงรักษา ซ่อมแซม หรือการเปลี่ยนอุปกรณ์ เป็นต้น ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวจะส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับความสำคัญของอุปกรณ์ที่ไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ หากเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อระบบไฟฟ้ามากย่อมส่งผลกระทบต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า หากมีความร้ายแรงมากอาจจะทำให้ระบบ

ไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายโหลดได้อย่างสมบูรณ์ โดยทั่วไปการออกแบบระบบไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องออกแบบให้ระบบยังคงจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอในกรณีที่อุปกรณ์ในระบบไม่สามารถทำงานได้อย่างน้อย 1 ตัว หรือ ออกแบบให้ระบบไฟฟ้ามีระดับความมั่นคงของระบบไฟฟ้าในระดับหรือเกณฑ์ที่เรียกว่า N-1 Contingency [1-2] ดังแสดงในภาพที่ 1.2



ภาพที่ 1.2 ตัวอย่างการเกิดเหตุฉุกเฉินในระบบไฟฟ้า

ทั้งนี้การดำเนินการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้า ขณะเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้นในระบบไฟฟ้า นอกจากการควบคุมการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าแล้ว อีกสิ่งหนึ่งที่ผู้ผลิตไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงคือค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน งานวิจัยฉบับนี้จึงนำเสนอการดำเนินงานในเชิงเศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าขณะเกิดเหตุฉุกเฉินอย่างเหมาะสมที่สุด กรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ (Generator Outage) กรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ในอัตราที่ต่ำที่สุดที่เครื่องสามารถจ่ายได้ และกรณีสายส่งไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ (Line Outage) โดยเปรียบเทียบผลกับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าในสภาวะปกติ นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบค่ากำลังสูญเสีย และระดับแรงดันไฟฟ้า ณ บัสต่างๆ เพื่อประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้น

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการดำเนินงานในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีสภาวะฉุกเฉิน โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการเคลื่อนแบบกลุ่มอนุภาค

1.2 การทบทวนงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อดำเนินงานในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีสถานะฉุกเฉิน ซึ่งจุดมุ่งหมายหลักสำหรับงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

1.2.1 เรียนรู้การทำงานและวิธีการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค และการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเงินเนติก

1.2.2 ออกแบบ และพัฒนาโปรแกรมสำหรับการดำเนินเชิงเศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าขณะเกิดเหตุฉุกเฉินอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการประยุกต์ใช้เทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค โดยใช้แบบจำลองระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE จำนวน 30 บัส

1.2.3 ศึกษาเรียนรู้แบบการคำนวณการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ชีตจำกัดต่างๆ รวมถึงรู้แบบของระบบไฟฟ้าที่นำมาวิเคราะห์

1.2.4 สามารถนำงานวิจัยไปเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานจริงได้

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ใช้โปรแกรมประมวลผลทางคณิตศาสตร์ ในการเขียนซอฟต์แวร์ในการดำเนินเชิงเศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าขณะเกิดเหตุฉุกเฉินอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการประยุกต์ใช้เทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค โดยใช้แบบจำลองระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE จำนวน 30 บัส และมีกรณีศึกษา 3 กรณี ได้แก่ กรณีศึกษาที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ (Generator Outage) กรณีศึกษาที่ 2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ในอัตราต่ำที่สุดที่เครื่องสามารถจ่ายได้ และกรณีศึกษาที่ 3 สายส่งไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ (Line Outage)

1.4 โครงสร้างภายในวิทยานิพนธ์

1.4.1 ทบทวน ศึกษาการดำเนินเชิงเศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ และวิธีการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค เพื่อใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง

1.4.2 ใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นวิเคราะห์การดำเนินเชิงเศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า กรณีเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้นกับระบบไฟฟ้า โดยใช้วิธีการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค

1.4.3 นำผลจากการประมวลผลมาวิจารณ์ และสรุปผล

1.5 วิธีการวิจัย

1.5.1 ศึกษาการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ

1.5.2 ศึกษาการทำงานและวิธีการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค และวิธีเงินเนติก

1.5.3 จัดเตรียมเครื่องมือ ได้แก่คอมพิวเตอร์ ที่สามารถรองรับการเขียนโปรแกรม และมีความสามารถในการประมวลผลเพียงพอต่อการใช้งาน

1.5.4 เขียนโปรแกรมจากงานวิจัยต่างเปรียบเทียบกับวิธีที่นำเสนอ

1.5.5 ปรับปรุงและทดสอบของโปรแกรมจากวิธีที่นำเสนอ

1.5.6 วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.6.1 ได้ศึกษาเรียนรู้การดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆ

1.6.2 ได้ศึกษาการทำงานและวิธีการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค และวิธีเจนเนติก

1.6.3 ได้ศึกษาการใช้งาน รวมถึงการพัฒนาโปรแกรมเพื่อช่วยในการวิเคราะห์

1.6.4 ได้รู้แบบวิธีการซึ่งสามารถเป็นแนวทางในการประยุกต์การปฏิบัติงานจริง



บทที่ 2

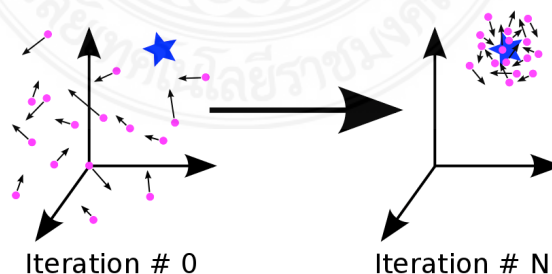
ทฤษฎี หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

การดำเนินงานในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า ขณะเกิดเหตุฉุกเฉินอย่างเหมาะสมที่สุด โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการเคลื่อนแบบกลุ่มอนุภาค ทัศนศึกษาที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ (Generator Outage) และทัศนศึกษาที่ 2 สายส่งไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ (Line Outage) ด้วยแบบจำลองระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE จำนวน 30 บัส สามารถจำแนกทฤษฎีที่เกี่ยวข้องได้ดังต่อไปนี้

2.2 เทคนิคการเคลื่อนแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization Technique)

การหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization) หรือ PSO พัฒนาขึ้นโดยนักจิตวิทยาชื่อ James Kennedy และวิศวกรไฟฟ้าชื่อ Russell C. Eberhart ในปี ค.ศ. 1995 [3] เป็นวิธีการหาค่าตอบแบบสุ่ม (Random Search Algorithm) โดยการสุ่มชุดคำตอบเบื้องต้น และใช้กลไกเลียนแบบทฤษฎีวิวัฒนาการในการปรับปรุงชุดคำตอบให้มีค่าที่เหมาะสมที่สุด PSO ก็เป็นหนึ่งในวิธีการหาค่าตอบที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการประยุกต์ใช้งานกับปัญหาทางวิศวกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสมการของปัญหาเป็นแบบไม่เชิงเส้น PSO มีแนวคิดมาจากการศึกษาพฤติกรรมของฝูงสัตว์ โดยจำลองวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดจากพฤติกรรมการเดินทางเพื่อหาอาหารของฝูงสัตว์ ตัวอย่างเช่น มีสัตว์ฝูงหนึ่งกำลังเดินทางหาแหล่งน้ำอยู่ในพื้นที่หนึ่ง สัตว์ทุกตัวไม่รู้ตำแหน่งแหล่งน้ำอยู่ที่ตำแหน่งไหนของพื้นที่นั้น ทำให้ฝูงสัตว์ต้องกระจายกันออกตามหาแหล่งน้ำ เมื่อสัตว์ตัวใดตัวหนึ่งพบร่องรอยของแหล่งน้ำ จะส่งสัญญาณบอกตำแหน่งกับตัวอื่นๆ เพื่อให้สัตว์ตัวอื่นทราบตำแหน่งน้ำจะอยู่บริเวณไหน และเดินทางมาช่วยกันหาบริเวณนั้น หากระหว่างที่เดินทางมา กลับพบร่องรอยของแหล่งน้ำที่มีความเป็นไปได้ที่จะเจอแหล่งน้ำมากกว่า สัตว์ตัวนั้นก็ส่งสัญญาณบอกตัวอื่นๆ เพื่อให้เปลี่ยนพื้นที่ในการหาแหล่งน้ำ เมื่อพื้นที่ในการค้นหาถูกจำกัดมากขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้ฝูงสัตว์พบแหล่งน้ำในที่สุด



ภาพที่ 2.1 การเคลื่อนที่ของอนุภาคไปยังเป้าหมาย

จากภาพที่ 2.1 การทำงานของ PSO เมื่อเทียบกับการหาแหล่งน้ำของสัตว์แล้ว สัตว์แต่ละตัวในฝูงจะถูกแทนด้วยอนุภาค (particle) กลุ่มอนุภาคจึงหมายถึงที่มี K ตัว ซึ่งมีตั้งแต่ 1 ถึง K หรืออาจเรียกว่าฝูง (Swarm) และแต่ละอนุภาคจะมีตำแหน่ง (Position) และความเร็วในการเคลื่อนที่ (velocity) เคลื่อนที่ในพื้นที่ (Search Space) กล่าวได้ว่าวิธีการ PSO จะมีจำนวนอนุภาคเท่ากับ K อนุภาคดังสมการที่ 2.1

$$P = (P_1, P_2, \dots, P_k) \quad (2.1)$$

โดยที่ P คือ อนุภาค
 k คือ จำนวนอนุภาค

ตำแหน่ง และความเร็วของแต่ละอนุภาคประกอบด้วย

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id}) \quad (2.2)$$

$$V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{id}) \quad (2.3)$$

โดยที่ X คือ ตำแหน่งของอนุภาค
 V คือ ความเร็วของอนุภาค
 i คือ อนุภาคตัวที่ i
 d คือ จำนวนมิติของปัญหา

แต่ละอนุภาคจะมีตำแหน่ง และความเร็วเป็นของตัวเอง การหาคำตอบของปัญหาคือการทำให้ค่าของฟังก์ชันเป้าหมาย Objective Function มีค่าต่ำที่สุดหรือสูงที่สุดแล้วแต่กรณี โดยที่ฟังก์ชันเป้าหมายประกอบด้วยตัวแปรถูกเรียกว่ามิติของปัญหา เช่นหากฟังก์ชันเป้าหมายมีตัวแปร 2 ตัว มิติของปัญหาจึงเท่ากับ 2 และคำตอบของปัญหาคือตำแหน่งของอนุภาคที่ดีที่สุด หากนำค่าดังกล่าวไปแทนในฟังก์ชันเป้าหมายค่าที่ได้ถูกเรียกว่า Fitness Value การจะให้ได้มาซึ่งตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคโดยวิธี PSO นั้นจะต้องมีการเก็บข้อมูล 2 ชุดคือ ข้อมูลตำแหน่งที่ดีที่สุดของแต่ละอนุภาค (Personal best position หรือ pbest) และ ข้อมูลตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคทั้งกลุ่ม (Global best position หรือ gbest) ดังนั้นหากอนุภาคถูกแทนด้วยพารามิเตอร์ของปัญหา แต่ละอนุภาคจะประกอบไปด้วยตัวแปรดังนี้

$$P_k = (X, V, FitnessValue, pbest, gbest) \quad (2.4)$$

ในการทำงานของ PSO เป็นกระบวนการที่ทำงานแบบวนรอบ (Iteration) ซึ่งในแต่ละรอบของการทำงานตำแหน่งและความเร็วของแต่ละอนุภาคจะถูกปรับปรุงโดยขึ้นกับปัจจัยดังต่อไปนี้

1. ความเร็วปัจจุบันของอนุภาคนั้น (velocity)
2. ข้อมูลตำแหน่งที่ดีที่สุดของแต่ละอนุภาคในรอบปัจจุบัน (Personal best position หรือ pbest)
3. ข้อมูลตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคทั้งกลุ่มที่เคยเกิดขึ้น (Global best position หรือ gbest)

ความเร็วของอนุภาคจากรอบ (t) เป็นรอบ ($t + 1$) จะถูกปรับปรุงค่าตามสมการที่ 2.5 [4]

$$v_{id}(t + 1) = wv_{id}(t) + c_1r_{1d}(t)[y_{id}(t) - x_{id}(t)] + c_2r_{2d}(t)[\hat{y}_d(t) - x_{id}(t)] \quad (2.5)$$

โดยที่	v	คือ ความเร็วของอนุภาค
	x	คือ ตำแหน่งของอนุภาค
	w	คือ ค่าน้ำหนักความเฉื่อย
	c_1, c_2	คือ ค่าคงที่ความเร่ง
	r_{1d}, r_{2d}	คือ ตัวแปรสุ่มจากการกระจายแบบปกติมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1
	y	คือ ค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค pbest
	\hat{y}	คือ ค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค gbest
	i	คือ อนุภาค i
	d	คือ มิติ d
	id	คือ อนุภาค i ในมิติ d

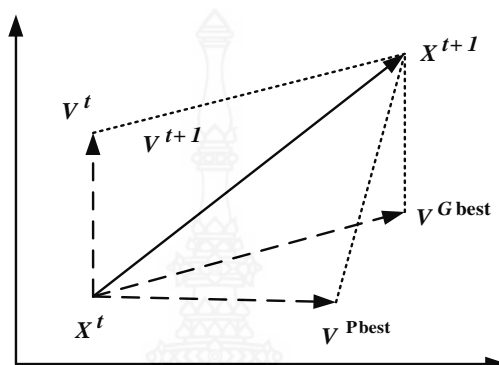
ค่าน้ำหนักความเฉื่อยในแต่ละรอบการทำงานจะถูกปรับปรุงค่าตามสมการที่ 2.6

$$w = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{Iter_{\max}} \times (Iter) \quad (2.6)$$

โดยที่	w_{\max}, w_{\min}	คือ ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าน้ำหนักความเฉื่อย
	$Iter_{\max}$	คือ จำนวนรอบการคำนวณสูงสุด
	$Iter$	คือ รอบการคำนวณปัจจุบัน

เมื่อความเร็วของแต่ละอนุภาคถูกปรับปรุงใหม่ตามสมการที่ 2.5 แล้วตำแหน่งของแต่ละอนุภาคจึงจะถูกปรับปรุงดังสมการที่ 2.7

$$x_{id}(t + 1) = x_{id}(t) + v_{id}(t + 1) \quad (2.7)$$

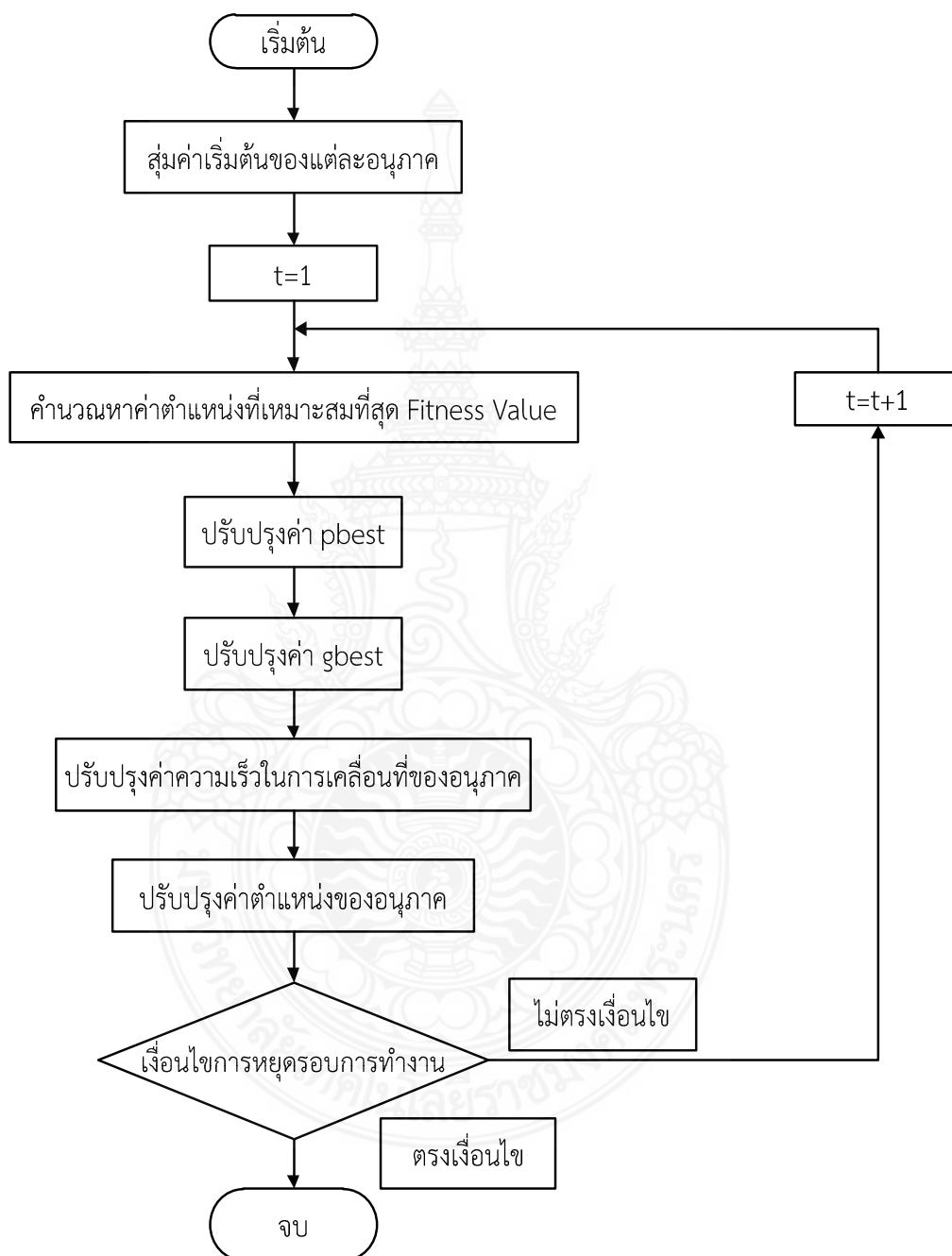


ภาพที่ 2.2 การปรับปรุงค่าความเร็ว และตำแหน่งของอนุภาค

ขั้นตอนในการประเมินเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดประกอบด้วย การปรับปรุงความเร็ว และตำแหน่งของอนุภาคดังแสดงในภาพที่ 2.2 โดยการวนรอบจนกว่าจะลู่เข้าหาค่าตอบที่ดีที่สุด ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เงื่อนไขหลายๆเงื่อนไข อาจถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์เพื่อใช้ในการหยุดการคำนวณ เช่น การกำหนดรอบการทำงานสูงสุด หรือค่าตอบที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง สิ่งสำคัญในการเลือกเงื่อนไขเพื่อใช้หยุดการคำนวณคือต้องไม่ทำให้การคำนวณหยุดก่อนที่จะได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด การทำงานของ PSO สามารถแสดงได้ตามแผนผังในภาพที่ 2.3 โดยสามารถสรุปได้ 8 ขั้นตอนดังนี้

1. การสุ่มค่าตำแหน่งและ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคแต่ละตัว โดยอยู่ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้เพื่อใช้เป็นค่าเริ่มต้น (Initial Particle) รวมถึงค่าพารามิเตอร์ และขอบเขตของปัญหาเพื่อประกอบการคำนวณ
2. กำหนดการวนรอบการทำงานเริ่มต้น $Iter(t) = 1$
3. นำค่าตำแหน่งของอนุภาคไปคำนวณหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด Fitness Value ด้วยฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function)
4. การเก็บค่า pbest โดยการเปรียบเทียบค่า Fitness Value กับ pbest ถ้าหากค่า Fitness Value มีค่าน้อยกว่า pbest จะต้องปรับปรุงค่า pbest ด้วยค่า Fitness Value
5. การเก็บค่า gbest โดยการเปรียบเทียบค่า Fitness Value ที่ต่ำที่สุดกับ gbest ถ้าหากค่า Fitness Value ที่ต่ำที่สุดมีค่าน้อยกว่า gbest จะต้องปรับปรุงค่า gbest ด้วยค่า Fitness Value ที่ต่ำที่สุด

6. การปรับปรุงความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคตามสมการที่ 2.5
7. การปรับปรุงตำแหน่งของอนุภาคตามสมการที่ 2.7
8. การตรวจสอบการสิ้นสุดการทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

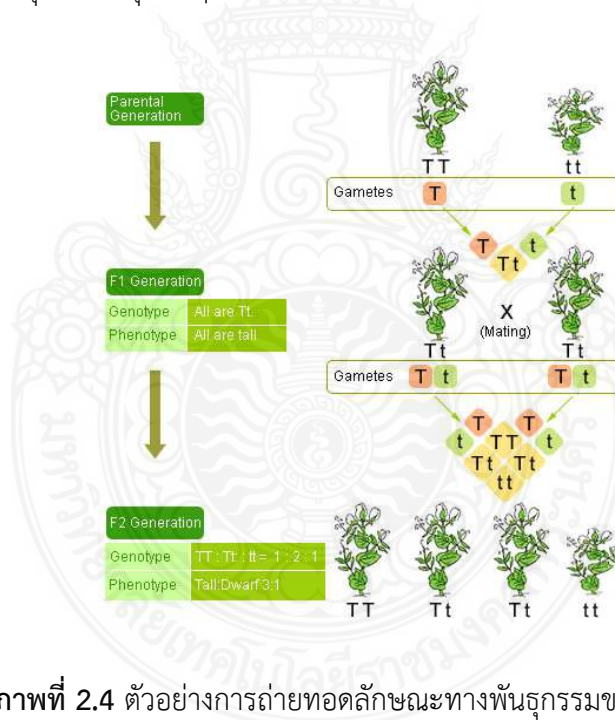


ภาพที่ 2.3 แผนผังอัลกอริทึมพื้นฐานของการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค

2.3 วิธีเจเนติก (Genetic Algorithm)

วิธีเจเนติก (Genetic Algorithm) เป็นเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์วิธีหนึ่งที่ใช้ในการค้นหาคำตอบการหาค่าเหมาะสมที่สุด ด้วยการเลียนแบบการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ โดยวิธีเจเนติกมีจุดเด่นคือสามารถค้นหาคำตอบจากแหล่งข้อมูลที่มีความซับซ้อนและยากที่จะสร้างแบบจำลองด้วยสมการคณิตศาสตร์ เนื่องจากเป็นกระบวนการค้นหาที่ไม่มีเฉพาะเจาะจงกับแบบจำลองหรือลักษณะเฉพาะของข้อมูลแบบใดแบบหนึ่ง [5] ด้วยเหตุนี้การหาค่าเหมาะสมที่สุด ด้วยวิธีเจเนติกจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาได้หลากหลายรูปแบบ โดยหลักการของวิธีเจเนติก เป็นการเลียนแบบกระบวนการวิวัฒนาการตามธรรมชาติ เพื่อพัฒนาหรือทำการวิวัฒนาการในการหาค่าตอบที่ดีที่สุด

วิธีเจเนติกเป็นวิธีที่เลียนแบบทฤษฎีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติ ซึ่งจะมีการวิวัฒนาการเพื่อความอยู่รอด โดยการศึกษาลักษณะสายพันธุ์ของพืช จากการศึกษาในอดีตพบว่าลักษณะทางพันธุกรรมสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกหลานได้ เช่นรูปร่างลักษณะ หรือสีของดอกไม้ โดยสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะคือ ลักษณะเด่น และลักษณะด้อย ซึ่งการเกิดลักษณะทางพันธุกรรมในรุ่นถัดๆไปนั้น เป็นผลมาจากขบวนการสืบพันธุ์ของรุ่นพ่อแม่



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต

ขบวนการทำงานของวิธีเจเนติกนั้น จะเลียนแบบการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมโดยมีกลุ่มประชากรประกอบด้วย กลุ่มประชากรเก่าหรือรุ่นพ่อแม่ และกลุ่มประชากรปัจจุบันหรือรุ่นลูก โดยที่กลุ่มประชากรทั้ง 2 จะประกอบด้วยพารามิเตอร์ 2 ตัว คือโครโมโซม (Chromosome) และ ยีน (Gene) แทนชุดคำตอบของปัญหา อีกส่วนประกอบสำคัญคือฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness

Value) เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในกระบวนการวิวัฒนาการชุดคำตอบ ดังนั้นหากประชากรถูกแทนด้วยพารามิเตอร์ของปัญหา แต่ละประชากรจะประกอบไปด้วยตัวแปรดังนี้

$$P_k = (\text{Chromosome}, \text{Fitness Value}) \quad (2.8)$$

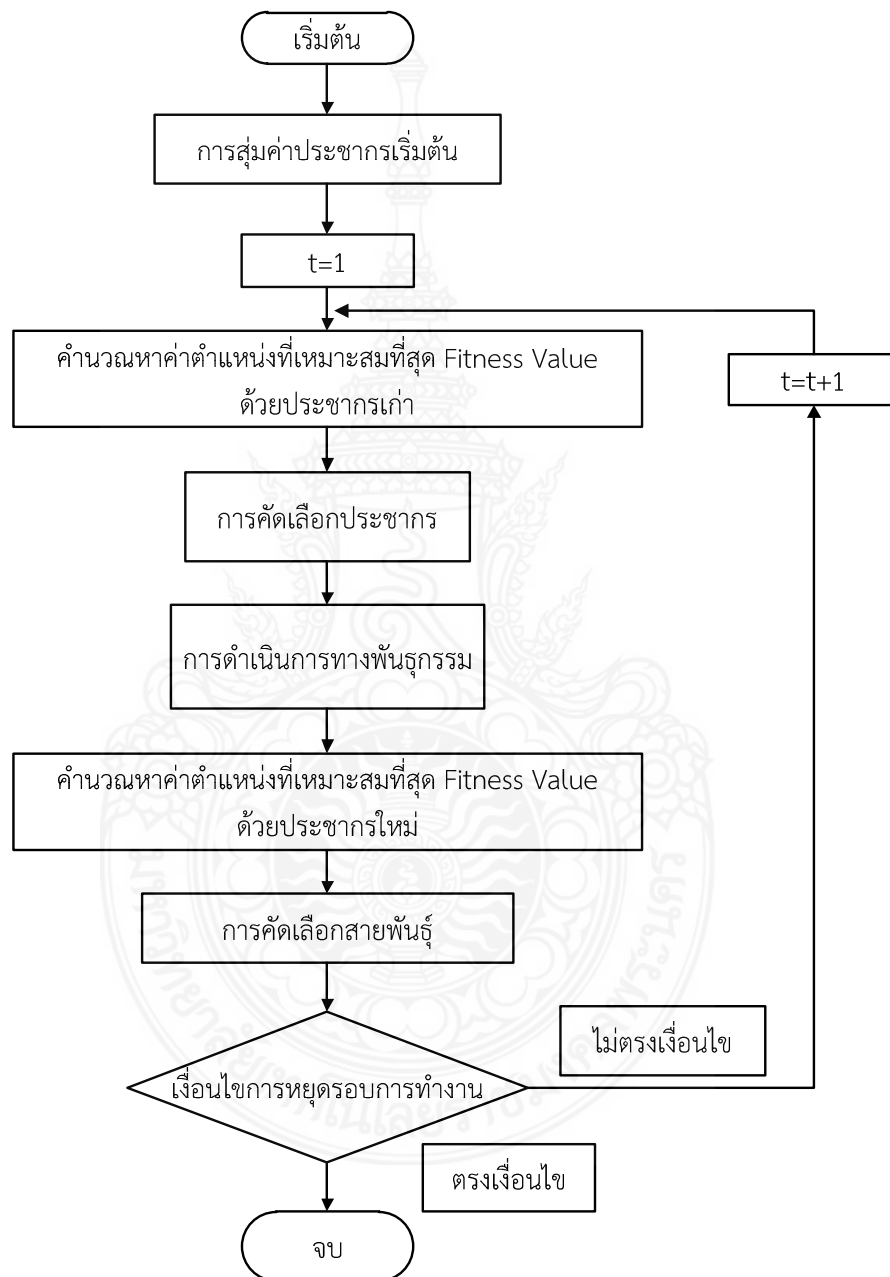
การแทนโครโมโซมด้วยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการค้นหาคำตอบของปัญหา โดยปกติสามารถแทนได้ 2 ลักษณะคือ สร้างจากเลขจำนวนจริง หรือสร้างจากเลขไบนารีฐาน 2 อย่างไรก็ตามการสร้างจากเลขฐาน 2 นั้นจะมีขั้นตอนที่ยุ่งยากมากกว่า เนื่องจากจะต้องมีขั้นตอนการแปลงเลข

การดำเนินการทางพันธุกรรม (Genetic operation) คือหัวใจของวิธีการเจเนติก ประกอบด้วย ขั้นตอนการผสมยีน (Crossover) คือการแลกเปลี่ยนยีนระหว่างโครโมโซม ซึ่งจะถูกกำหนดอัตราการผสมยีนด้วยความน่าจะเป็น การผสมยีนมีหลายรูปแบบตั้งแต่การแลกเปลี่ยนยีนแบบหนึ่งตำแหน่ง (One-point crossover) คือการแลกเปลี่ยนยีน 1 ตัว ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งที่ได้จากการสุ่มระหว่างโครโมโซมพ่อแม่ที่ถูกจับคู่กัน การแลกเปลี่ยนยีนแบบ 2 ตำแหน่ง (Two-point crossover) จนถึงการแลกเปลี่ยนยีนหลายตำแหน่ง (Uniform crossover) เมื่อโครโมโซมผ่านกระบวนการผสมยีนเรียบร้อยแล้วจะเข้าสู่ขั้นตอนการกลายพันธุ์ (Mutation) คือการทำการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะภายในโครโมโซมในบางตำแหน่งของรุ่นลูกเพื่อให้เกิดลักษณะใหม่ๆ เกิดขึ้น

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเจเนติกสามารถแสดงได้ตามแผนผังในภาพที่ 2.5 โดยสามารถสรุปได้ 8 ขั้นตอนดังนี้

1. การสุ่มค่ายีนเริ่มต้น ซึ่งเป็นองค์ประกอบของโครโมโซม โดยอยู่ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้เพื่อใช้เป็นประชากรเริ่มต้น (Initial population) รวมถึงกำหนดขอบเขตของปัญหาเพื่อประกอบการคำนวณ
2. กำหนดการวนรอบการทำงานเริ่มต้น $Iter(t) = 1$
3. นำค่าประชากรเริ่มต้นไปคำนวณหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด Fitness Value ด้วยฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function)
4. การคัดเลือกประชากร (Selection population) คือการคัดเลือกสายพันธุ์ เพื่อใช้เป็นรุ่นพ่อแม่ต้นกำเนิดของประชากรในรุ่นถัดไป โดยการเลือกมีหลายหลายวิธีได้แก่ การเลือกโดยการหมุนวงล้อ การเลือกแบบสุ่ม หรือการเลือกแบบแข่งขัน เป็นต้น การเลือกทำได้โดยการส่งข้อมูลประชากรรุ่นเก่าให้กับฟังก์ชันการคัดเลือก จะได้ผลลัพธ์เป็นประชากรกลุ่มใหม่
5. การดำเนินการทางพันธุกรรม คือขั้นตอนการผสมยีน และการกลายพันธุ์ เพื่อให้ได้ประชากรที่มีการปรับปรุงลักษณะบางประการ
6. นำค่าประชากรใหม่ไปคำนวณหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด Fitness Value ด้วยฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function)

7. การคัดเลือกสายพันธุ์ เป็นการคัดเลือกประชากรรุ่นถัดไป โดยพิจารณาจากค่าความเหมาะสมที่สุด โดยจะคัดเลือกจากกลุ่มประชากรเก่า และกลุ่มประชากรใหม่
8. การตรวจสอบการสิ้นสุดการทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ หากคำตอบที่ได้ยังไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด ให้ดำเนินการในขั้นตอนที่ 2 จนกว่าจะได้ผลลัพธ์



ภาพที่ 2.5 แผนผังอัลกอริทึมพื้นฐานของวิธีเจเนติก

2.4 การไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow)

การศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าเป็นการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้าหนึ่งๆ ให้ทราบถึงพารามิเตอร์ต่างๆที่สำคัญ สำหรับการวางแผนและควบคุมระบบไฟฟ้าปัจจุบัน รวมถึงการวางแผนการขยายระบบไฟฟ้าในอนาคตเพื่อรองรับปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้น หากมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นในระบบไฟฟ้า เช่นการเพิ่มจำนวนสายส่งไฟฟ้า การเพิ่มสถานีไฟฟ้า หรือกระทั่งการเพิ่มจำนวนโรงผลิตไฟฟ้า จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบถึงผลกระทบต่างๆที่จะเกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้า การศึกษาการไหลของระบบไฟฟ้าทำให้ทราบถึงข้อมูลต่างๆภายในระบบไฟฟ้า เช่น กระแสที่ไหลผ่านสายส่งไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ รวมถึงกำลังไฟฟ้าที่โรงผลิตไฟฟ้าแต่ละแห่งถูกจ่ายออกมา ข้อมูลต่างๆเหล่านี้หากถูกนำมาวิเคราะห์ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นภายในระบบไฟฟ้า จะช่วยให้สามารถวิเคราะห์หาตำแหน่งที่เหมาะสมในการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมได้อีกด้วย การศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้ายังช่วยให้รู้ถึงสถานการณ์ปัจจุบันของระบบไฟฟ้า หรือหากมีเหตุการณ์ฉุกเฉินเกิดขึ้นภายในระบบไฟฟ้า เพื่อช่วยให้สามารถควบคุมระบบไฟฟ้าให้จ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างถูกต้อง และปลอดภัย

ระบบไฟฟ้านำมาศึกษาการไหลของระบบไฟฟ้ามีส่วนประกอบสำคัญๆ คือ แหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า หรือโรงผลิตไฟฟ้า สายส่งไฟฟ้า โหลดของระบบไฟฟ้า โดยเชื่อมกันผ่านจุดรับหรือจุดจ่าย Q กำลังไฟฟ้าเรียกว่าบัส โดยทั่วไปแต่ละบัสจะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์อยู่ 4 ค่าได้แก่

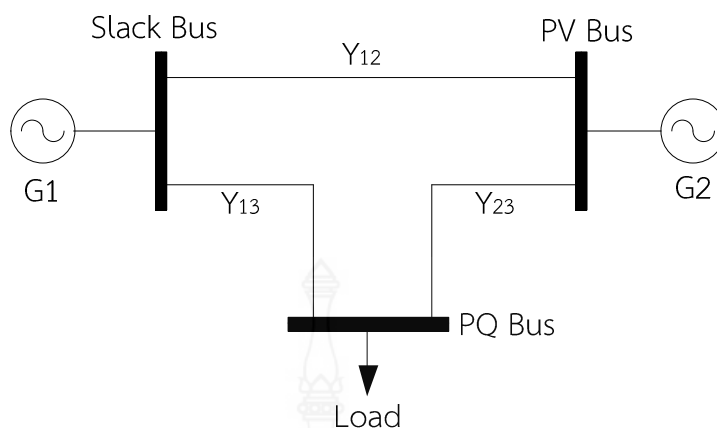
1. ขนาดของแรงดันไฟฟ้า $|V|$
2. มุมของแรงดันไฟฟ้า $\angle \delta$
3. กำลังไฟฟ้าจริง P
4. กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

ระบบไฟฟ้าหนึ่งๆสามารถจำแนกชนิดของบัสได้เป็น 3 ชนิดดังนี้

1. บัสอ้างอิง (Slack Bus) เป็นบัสที่มีขนาดของแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้าคงที่ โดยทั่วไปมุมจะเท่ากับศูนย์ เพื่อให้บัสอื่นๆอ้างอิงได้ ในทางปฏิบัติบัสนี้จะถูกกำหนดจากการที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตมากที่สุดถูกต่ออยู่ สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการได้ ส่วนกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสามารถทราบได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

2. บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Bus) หรือ (P-V Bus) บัสชนิดนี้จะต้องมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าถูกต่ออยู่ และในบางกรณีอาจจะมาโหลดถูกต่ออยู่กับบัสนี้เช่นกัน การที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่จึงทำให้สามารถควบคุมขนาดของแรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจริงได้ ดังนั้นขนาดของแรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าจริงจึงมีค่าคงที่ ส่วนมุมของแรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟสามารถทราบได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า

3. บัสโหลด (Load Bus) หรือ (P-Q Bus) บัสชนิดนี้จะมีโหลดถูกต่ออยู่ จึงทำให้ทราบค่าของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟตามโหลดที่ต่ออยู่ ดังนั้นกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจึงมีค่าคงที่ ส่วนขนาดของแรงดันไฟฟ้าและมุมของแรงดันไฟฟ้า สามารถทราบได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า



ภาพที่ 2.6 ตัวอย่างรูปแบบบัสในระบบไฟฟ้า

การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าประกอบด้วยสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าที่สำคัญอยู่ 2 สมการด้วยกันคือ

1. สมการแรงดันไฟฟ้า
2. สมการกำลังไฟฟ้า

สมการกำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้าบัส i ใดๆในระบบไฟฟ้ากำลังจะมีความสัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้างดังนี้

$$S_i = V_i I_i^* \quad (2.9)$$

$$S_i^* = V_i^* I_i \quad (2.10)$$

จะได้

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (2.11)$$

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านบัส i จากสมการที่ (2.11) จะได้

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.12)$$

จากสมการเมตริกซ์ $[I_{bus}] = [Y_{bus}][V_{bus}]$ สามารถเขียนสมการกระแสไฟฟ้า I_i สำหรับระบบไฟฟ้าที่มี n บัสได้ดังนี้

$$I_i = Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \dots + Y_{ii}V_i + \dots + Y_{in}V_n = \sum_{j=1}^n Y_{ij}V_j \quad (2.13)$$

แทนสมการที่ (2.13) ลงในสมการที่ (2.12)

$$Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \dots + Y_{ii}V_i + \dots + Y_{in}V_n = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.14)$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้

$$Y_{ii}V_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} - (Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \dots + Y_{i(i-1)}V_{i-1} + Y_{i(i+1)}V_{i+1} + \dots + Y_{in}V_n) \quad (2.15)$$

ดังนั้นแรงดันที่บัส i ใดๆจะเท่ากับ

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n Y_{ij}V_j \right] \quad (2.16)$$

กำลังไฟฟ้าในสมการที่ 2.10 สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในเทอมของแรงดันไฟฟ้าบัส และแอดมิตแดนซ์ของระบบได้โดยแทนสมการที่ 2.13 ลงในสมการที่ 2.10 จะได้

$$P_i - jQ_i = V_i^* (Y_{ii}V_i + \sum_{j=1}^n Y_{ij}V_j) \quad \text{เมื่อ } j \neq i \quad (2.17)$$

$$P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{j=1}^n Y_{ij}V_j \quad \text{เมื่อ } j = i \quad (2.18)$$

จากสมการที่ 2.16 จะพบว่าสมการแรงดันไฟฟ้าที่บัสใดๆเป็นสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้น การแก้ไขปัญหาเพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้าของบัสในระบบไฟฟ้าจึงเป็นเรื่องที่ซับซ้อน ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้วิธีของนิวตัน-ราฟสัน ในการช่วยหาคำตอบของสมการ

วิธีของนิวตัน-ราฟสัน มีขั้นตอนที่ซับซ้อนแต่มีประสิทธิภาพสูง คือสามารถได้ผลลัพธ์โดยใช้รอบในการคำนวณที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ วิธีของนิวตัน-ราฟสันใช้หลักการของอนุกรมเทเลอร์ช่วยในการแก้ปัญหาดังสมการดังต่อไปนี้

$$y = f(x) = f(x_0) + \frac{df(x_0)}{dx}(\Delta x) + \frac{d^2f(x_0)}{dx^2}(\Delta x)^2 + \dots \quad (2.19)$$

ถ้า Δx มีค่าน้อยมากๆ เทอมที่เป็นค่าอนุพันธ์จึงสามารถละทิ้งได้ดังนั้น

$$y = f(x) = f(x_0) + \frac{df(x_0)}{dx}(\Delta x) \quad (2.20)$$

กรณีที่ฟังก์ชัน f มีหลายตัวแปรจะสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \\ y = f(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) + \left. \frac{\partial f}{\partial x_1} \right|_{(0)} \Delta x_1 + \left. \frac{\partial f}{\partial x_2} \right|_{(0)} \Delta x_2 + \dots + \left. \frac{\partial f}{\partial x_n} \right|_{(0)} \Delta x_n \quad (2.21)$$

$x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}$ เป็นค่าเริ่มต้นที่แทนเข้าไปในฟังก์ชัน $\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{(0)}$ ซึ่งเป็นค่าพาร์เชียลดิฟเฟอเรนเชียล และเมื่อจัดรูปสมการที่ 2.21 ใหม่จะได้

$$\Delta y = y - f(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \dots, x_n^{(0)}) = \left. \frac{\partial f}{\partial x_1} \right|_{(0)} \Delta x_1 + \left. \frac{\partial f}{\partial x_2} \right|_{(0)} \Delta x_2 + \dots + \left. \frac{\partial f}{\partial x_n} \right|_{(0)} \Delta x_n \quad (2.22)$$

สำหรับสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้นใดๆ จำนวน n สมการสามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ โดยใช้สมการที่ 2.22 จะได้ว่า

$$\begin{bmatrix} \Delta y_1 \\ \Delta y_2 \\ \vdots \\ \Delta y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \vdots \\ \Delta x_n \end{bmatrix} \quad (2.23)$$

หรือเขียนแทนด้วยสมการเมทริกซ์อย่างย่อได้เป็น

$$[\Delta y] = [J][\Delta x] \quad (2.24)$$

โดยที่ $[J]$ ถูกเรียกว่าจาโคเบียนเมทริกซ์

ขั้นตอนการทำงานวิธีนิวตัน-ราฟสันสามารถสรุปได้ดังนี้

1. คำนวณองค์ประกอบของจาโคเบียนเมทริกซ์ด้วยสมการ
2. กำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปร และแทนค่าในสมการเพื่อหาค่าฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลง Δy
3. แทนค่าที่ได้ในข้อ 2 ลงในสมการที่ 2.23 เพื่อหาค่าฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลง Δx
4. หาค่าตัวแปรใหม่ในข้อที่ 2 และข้อที่ 3
5. หาค่าฟังก์ชันที่เปลี่ยนแปลง Δy ใหม่

6. ทำการวนรอบตั้งแต่ข้อที่ 2 ถึงข้อที่ 5 จนค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรเข้าใกล้ศูนย์ การประยุกต์ใช้วิธีนิวตัน-ราฟสันในการแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าสามารถทำได้โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ประกอบอยู่ในสมการกำลังไฟฟ้า 2.18 ดังนี้

$$V_i = |V_i| \angle \delta_i \quad (2.25)$$

$$V_j = |V_j| \angle \delta_j \quad (2.26)$$

$$V_{ij} = |V_{ij}| \angle \theta_{ij} \quad (2.27)$$

แทนสมการที่ 2.25, 2.26 และ 2.27 ลงในสมการ 2.18 จะได้

$$P_i - jQ_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \angle (\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (2.28)$$

สมการกำลังไฟฟ้าจริงคือ

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (2.29)$$

จัดรูปแบบสมการใหม่เมื่อ $j \neq i$ จะได้

$$P_i = |V_i V_i Y_{ii}| \cos(\theta_{ii} + \delta_i - \delta_i) + \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (2.30)$$

และสมการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟคือ

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (2.31)$$

จัดรูปแบบสมการใหม่เมื่อ $j \neq i$ จะได้

$$Q_i = -|V_i V_i Y_{ii}| \sin(\theta_{ii} + \delta_i - \delta_i) - \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (2.32)$$

รูปแบบสมการเมทริกซ์สำหรับการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีนิวตัน-ราฟสันคือ

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} = [J] \begin{bmatrix} \Delta \delta_i \\ \Delta |V_i| \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

บัสอ้างอิงจะไม่นำมาใช้ในการคำนวณเนื่องจากทราบค่า $|V|$ และ $\angle \delta$ แล้ว เมื่อกำหนดให้ บัส 1 คือบัสอ้างอิงรูปแบบสมการเมทริกซ์สำหรับการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าจะได้

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \cdot & \mathbf{J}_1 & \cdot & \cdot & \mathbf{J}_2 & \cdot \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \cdot & \mathbf{J}_3 & \cdot & \cdot & \mathbf{J}_4 & \cdot \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \quad (2.34)$$

ค่า J_1, J_2, J_3 และ J_4 เป็นองค์ประกอบของจาโคเบียนเมทริกต์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.30 และสมการที่ 2.32

องค์ประกอบของ J_1 คือ

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \frac{\partial}{\partial \delta_i} \left[|V_i V_i Y_{ii}| \cos(\theta_{ii} + \delta_i - \delta_i) + \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right] \quad (2.35)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (2.36)$$

และ

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = \frac{\partial}{\partial \delta_j} \left[|V_i V_i Y_{ii}| \cos(\theta_{ii} + \delta_i - \delta_i) + \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right] \quad (2.37)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (2.38)$$

องค์ประกอบของ J_2 คือ

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = \frac{\partial}{\partial V_i} \left[|V_i V_i Y_{ii}| \cos(\theta_{ii} + \delta_i - \delta_i) + \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right] \quad (2.39)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos(\theta_{ii}) + \sum_{j=1}^n |V_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (2.40)$$

และ

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = \frac{\partial}{\partial V_j} \left[|V_i V_i Y_{ii}| \cos(\theta_{ii} + \delta_i - \delta_i) + \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right] \quad (2.41)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (2.42)$$

องค์ประกอบของ J_3 คือ

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \frac{\partial}{\partial \delta_i} \left[-|V_i V_i Y_{ii}| \sin(\theta_{ii} + \delta_i - \delta_i) - \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right] \quad (2.43)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = - \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (2.44)$$

และ

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = \frac{\partial}{\partial \delta_j} \left[-|V_i V_i Y_{ii}| \sin(\theta_{ii} + \delta_i - \delta_i) - \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right] \quad (2.45)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i V_j Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (2.46)$$

องค์ประกอบของ J_4 คือ

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = \frac{\partial}{\partial |V_i|} \left[-|V_i V_i Y_{ii}| \sin(\theta_{ii} + \delta_i - \delta_i) - \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right] \quad (2.47)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i| |Y_{ii}| \sin(\theta_{ii}) - \sum_{j=1}^n |V_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (2.48)$$

และ

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = \frac{\partial}{\partial |V_j|} \left[-|V_i V_i Y_{ii}| \sin(\theta_{ii} + \delta_i - \delta_i) - \sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \right] \quad (2.49)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (2.50)$$

องค์ประกอบของจาโคเบียนเมทริกซ์จะทำการคำนวณใหม่ทุกครั้ง จากค่าแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจากการคำนวณครั้งล่าสุด

2.5 ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

ระบบไฟฟ้ากำลังสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าได้ โดยการอาศัยกำลังผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในโรงผลิตไฟฟ้า ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหล่านี้จะถูกควบคุมให้สามารถจ่ายโหลดของระบบได้อย่างเพียงพอ เมื่อระบบไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ขึ้นจำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าหนึ่งๆ จึงมีหลายเครื่องตามความต้องการการใช้ไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกัน จึงทำให้ขีดความสามารถในการผลิตไฟฟ้าแตกต่างกันตามไปด้วย โดยปกติแล้วการผลิตไฟฟ้าควรจะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีการใช้ต้นทุนต่ำที่สุด แต่ในความเป็นจริงการเลือกชนิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีปัจจัยอื่นๆด้วย เช่นสถานที่ตั้งของโรงผลิตไฟฟ้า การคมนาคมขนส่ง เป็นต้นซึ่งส่งผลให้มีการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีความหลากหลาย ตามแต่ความเหมาะสม การควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องอาศัยวิเคราะหการจ่ายกำลังไฟฟ้าของโรงผลิตไฟฟ้าต่างๆ และพิจารณารวมถึงการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องภายในโรงผลิตไฟฟ้าเดียวกัน เพื่อให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอ โดยที่มีการใช้ต้นทุนที่ประหยัดที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่แปรตามกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นๆ ถึงแม้ว่าในความเป็นจริงต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าอาจรวมถึงค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ค่าเสื่อมราคา หรือค่าการดำเนินงานอื่นๆ ก็ตาม เนื่องจากว่าการใช้ฟังก์ชันต้นทุนการผลิตไฟฟ้าแบบนี้จะทำให้ได้สมการที่สอดคล้อง และง่ายต่อการคำนวณ ทำให้ฟังก์ชันดังกล่าวถูกใช้งานกันอย่างแพร่หลาย

ในการทำงานจริงของระบบไฟฟ้า ฟังก์ชันต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าจะถูกสร้างขึ้นในรูปแบบของสมการกำลังสอง (Quadratics Function) ซึ่งจะเป็นจริงตลอดช่วงตามขีดจำกัดในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และค่าอนุพันธ์นี้เรียกว่า ต้นทุนส่วนเพิ่ม หรือ อัตราความร้อน ในกรณีที่ต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าอยู่ในรูปแบบไม่ต่อเนื่อง เป็นผลมาจากการเพิ่มหม้อไอน้ำเข้าไปในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตัวควบแน่น หรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่มีลักษณะการทำงานไม่ต่อเนื่อง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการเพิ่มกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้สามารถทำงานได้ตั้งแต่ช่วงขีดความสามารถต่ำสุดจนถึงขีดการผลิตสูงสุด รูปแบบความสัมพันธ์ของฟังก์ชันต้นทุนสามารถอธิบายได้ตามสมการดังนี้

$$F_i(P_i) = \begin{bmatrix} \text{Operating Cost} \\ (\$/hr) \\ (\text{Mbtu}/hr) \end{bmatrix} \quad (2.51)$$

โดยที่ F_i คือ ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

P_i คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้จากของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

หากทราบฟังก์ชันต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปแบบค่าเงินต่อชั่วโมง ($\$/hr$) ถ้าทำการหาอนุพันธ์ของฟังก์ชันเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่จ่ายจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะทำให้ได้ค่าของต้นทุนส่วนเพิ่ม

บ่อยครั้งที่มีการแทนฟังก์ชันต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าในรูปแบบของ btu เนื่องจากว่าราคาเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งสอดคล้องกับอายุการใช้งานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กราฟต้นทุนในการผลิตกำลังไฟฟ้าและต้นทุนส่วนเพิ่มจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างประหยัด

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

M.A. Abido (2008) ได้นำเสนอแนวทางการพัฒนาวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบ ด้วยการใช้เทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค มาแก้ไขปัญหาการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมของระบบไฟฟ้ากำลัง มีวัตถุประสงค์คือเพื่อลดต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่เกินความจำเป็น โดยยังคงรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าให้มีเสถียรภาพ

U. Leeton (2010) นำเสนอผลงานวิจัยการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ซึ่งพิจารณาในมุมมองของกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค มีวัตถุประสงค์เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งไฟฟ้าให้มีค่าต่ำที่สุด โดยพิจารณาเงื่อนไข 4 เงื่อนไข คือ 1. กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้า 2. ระดับแรงดันไฟฟ้าที่บัส 3. ตำแหน่ง Tap ของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ 4. กำลังไฟฟัรีแอกทีฟที่ถูกจ่ายจากแหล่งจ่ายเพิ่มเติม โดยทดสอบกับแบบจำลองระบบไฟฟ้า IEEE 6 บัส และ IEEE 30 บัส

Qi Kang (2011) นำเสนอการวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมของระบบไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาคมาช่วยในการค้นหาคำตอบของปัญหา วัตถุประสงค์หลังคือการวิเคราะห์ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวที่เหมาะสมที่สุด โดยมีเงื่อนไขคือ กรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลักไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ และมีการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบกระจายตัวเข้าไปในระบบ โดยทดสอบกับแบบจำลองระบบไฟฟ้า IEEE 14 บัส



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

งานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาวิธีการดำเนินงานในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีสถานะฉุกเฉิน ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค โดยใช้แบบจำลองระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE จำนวน 30 บัส โดยแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 3 ลักษณะคือ กรณีศึกษาที่ 1 กรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยพิจารณากรณีฉุกเฉินเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ในระบบไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ (Generator Outage) โดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าติดตั้งอยู่ที่บัส 1, 2, 5, 8, 11 และ 13 กรณีศึกษาที่ 2 กรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยพิจารณากรณีฉุกเฉินเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ในระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ในอัตราที่ต่ำที่สุดที่เครื่องสามารถจ่ายได้ และกรณีศึกษาที่ 3 กรณีเกิดเหตุการณ์ปลดสายส่ง (Line Outage) โดยทั้ง 3 กรณีศึกษาจะอยู่ภายใต้เงื่อนไขคือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบรวม 283.40 MW, 126.20 MVar และต้องมีขนาดแรงดันไม่ต่ำกว่า 0.95 p.u. และไม่สูงกว่า 1.05 p.u.

3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม

วัตถุประสงค์หลักของการวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม คือการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้แต่ละเครื่อง ให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอ โดยมีเงื่อนไขสำคัญคือ ต้องให้มีต้นทุนที่ต่ำที่สุด ซึ่งอยู่รูปของฟังก์ชันเชิงเส้น ด้วยเหตุนี้ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) ของการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมคือ

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^n F_i(P_{Gi}) \quad (3.1)$$

โดยที่ Z คือ ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตกำลังไฟฟารวม
 $F_i(P_{Gi})$ คือ ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า G_i

งานวิจัยนี้จะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อน ซึ่งฟังก์ชันอัตราการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตกำลังไฟฟ้าจะแสดงอยู่ในรูปสมการกำลังสองดังสมการที่ (3.2)

$$F_i(P_{Gi}) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \quad (3.2)$$

โดยที่ P_i คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า G_i

a_i, b_i, c_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ต้นทุนการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า G_i

3.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ศึกษาวิธีการดำเนินงานในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีสถานะฉุกเฉิน โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับฟังก์ชันการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด โดยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค

2. สุ่มค่าเริ่มต้นของคำตอบที่ต้องการหา (Initial Particle) ซึ่งประกอบด้วย ตำแหน่งของอนุภาค $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{id})$ และความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาค $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{id})$ ซึ่ง gbest คือคำตอบของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค นั่นคือ กำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง ดังนั้นการสุ่มค่าเริ่มต้นตำแหน่งของอนุภาคจึงต้องอยู่ภายใต้พิสัยของกำลังการผลิตไฟฟ้าแต่ละเครื่อง และมีจำนวนมิติของปัญหาตามจำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3. กำหนดรอบการทำงานเริ่มต้น $Iter(t) = 0$

4. คำนวณหาค่าความเหมาะสมของอนุภาค (Fitness Value) โดยการใช้ X_i คำนวณโดยใช้ฟังก์ชันเป้าหมาย สำหรับการคำนวณฟังก์ชันเป้าหมายค่า X_i ที่ส่งให้จะต้องถูกนำไปคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าก่อน เพื่อให้ทราบค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสอ้างอิง จากนั้นเมื่อได้ค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าของทุกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้วจึงนำค่าที่ได้ไปคำนวณในฟังก์ชันเป้าหมายตามสมการที่ 3.2 และ 3.1 ตามลำดับ

5. เก็บค่า pbest โดยการเปรียบเทียบค่า Fitness Value กับค่า Fitness Value ของ pbest ถ้าหากค่า Fitness Value ในรอบการคำนวณปัจจุบันมีค่าน้อยกว่าค่า Fitness Value ของ pbest จะต้องปรับปรุงค่า pbest ด้วยค่า Fitness Value ในรอบการคำนวณปัจจุบันแทน

6. เก็บค่า gbest โดยการเปรียบเทียบค่า Fitness Value กับค่า Fitness Value ของ gbest ถ้าหากค่า Fitness Value ที่ต่ำที่สุดในรอบการคำนวณปัจจุบันมีค่าน้อยกว่าค่า Fitness Value ของ gbest จะต้องปรับปรุงค่า gbest ด้วยค่า Fitness Value ที่ต่ำที่สุดในรอบการคำนวณปัจจุบันแทน

7. ปรับปรุงความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาค V_i ตามสมการที่ 2.5 โดยค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ปรับปรุงแล้วจะต้องอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้

8. ปรับปรุงตำแหน่งของอนุภาค X_i ตามสมการที่ 2.7 โดยค่าตำแหน่งของอนุภาคที่ปรับปรุงแล้วจะต้องอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ (พิสัยของกำลังการผลิตไฟฟ้าแต่ละเครื่อง)

9. ทำซ้ำตามหัวข้อ 3.1.3 ถึงหัวข้อ 3.1.8 จนกระทั่งค่า Fitness Value มีค่าความผิดพลาดน้อยกว่าที่กำหนด หรือถึงรอบการทำงานสูงสุดที่ได้กำหนดไว้ และหยุดการทำงาน คำตอบที่ได้

(gbest) คือค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องที่มีต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด (Fitness Value)

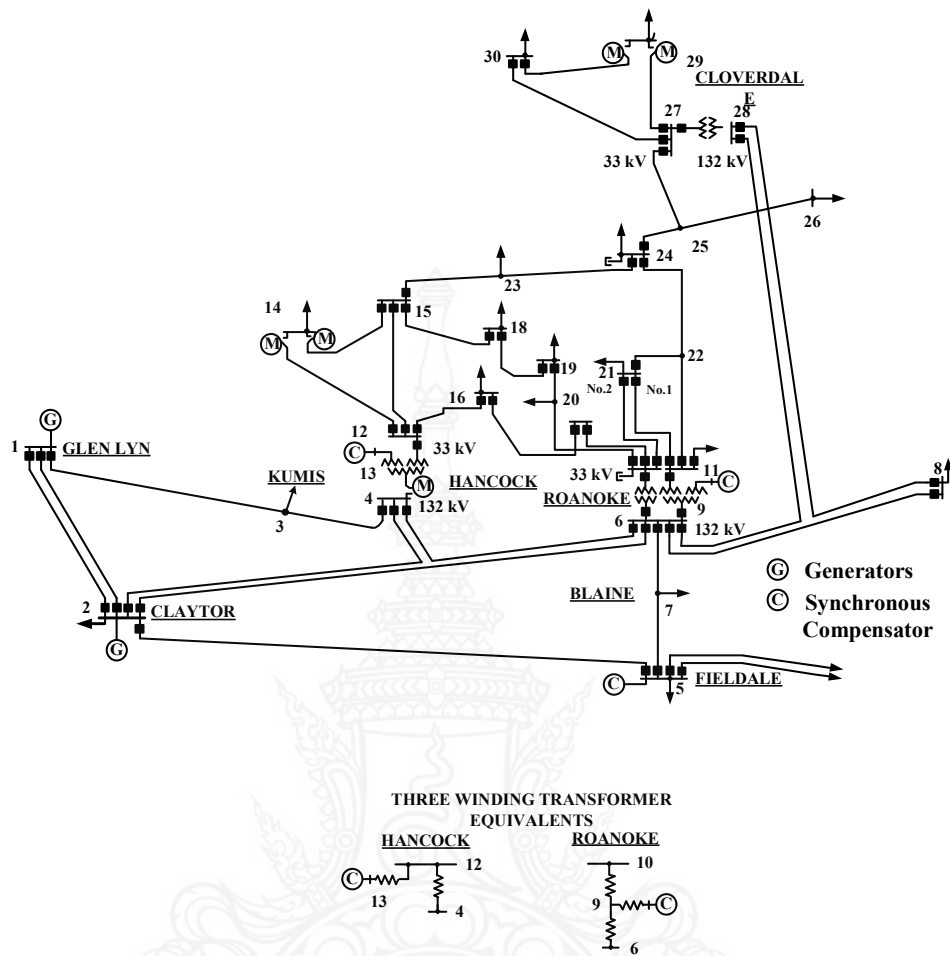
ค่าเริ่มต้น พารามิเตอร์ต่างๆ และขอบเขตของข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ถูกกำหนดตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

ค่าพารามิเตอร์ของเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่าพารามิเตอร์ของเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
ค่าตำแหน่งเริ่มต้นของอนุภาค	ตัวแปรสุ่ม
ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาค	ตัวแปรสุ่ม
จำนวนอนุภาค	100
มิติของปัญหา	5
รอบการคำนวณสูงสุด	500
ค่าคงที่ความเร่ง c_1, c_2	2.0, 2.0
ค่าน้ำหนักความเฉื่อยต่ำสุด w_{\min}	0.4
ค่าน้ำหนักความเฉื่อยสูงสุด w_{\max}	0.9
ขอบเขตความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาค	-1 ถึง 1
ขอบเขตตำแหน่งของอนุภาค	พิกัดการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง

ในงานวิจัยฉบับนี้จะใช้แบบจำลองระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE จำนวน 30 บัส ซึ่งแบบไดอะแกรมเส้นเดียวของแบบจำลองระบบไฟฟ้างแสดงในภาพที่ 3.1 [6] โดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าติดตั้งอยู่ที่บัส 1, 2, 5, 8, 11 และ 13 ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่กับบัส 1 ถูกกำหนดให้เป็นบัสอ้างอิงเนื่องจากเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีพิกัดการผลิตไฟฟ้าสูงที่สุด ความต้องการกำลังไฟฟารวม 283.40 MW, 126.20 MVar มีพิกัดของแรงดันไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 0.95 P.U. และพิกัดของแรงดันไฟฟ้าจะต้องไม่สูงกว่า 1.05 P.U. พิกัด และพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องแสดงตามตารางที่ 3.2



ภาพที่ 3.1 แบบจำลองระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE จำนวน 30 บัส

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบจำลองระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE จำนวน 30 บัส

Generation units	cost function coefficients			P_{Gi}^{\min} (MW)	P_{Gi}^{\max} (MW)
	a_i (\$/MW ²)	b_i (\$/MW)	c_i (\$)		
G_1	0.00375	2.00	0	50	200
G_2	0.01750	1.75	0	20	80
G_3	0.06250	1.00	0	15	50
G_4	0.00834	3.25	0	10	35
G_5	0.02500	3.00	0	10	30
G_6	0.02500	3.00	0	12	40

3.4 กรณีศึกษาที่ 1

กรณีศึกษาที่ 1 จะดำเนินการโดยพิจารณาเหตุฉุกเฉินในระบบไฟฟ้า กรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ เหตุการณ์ละ 1 เครื่องตามตารางที่ 3.3 และพิจารณาผลจากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในการคำนวณการจ่ายโหลดที่เหมาะสมที่สุด โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค

ตารางที่ 3.3 กรณีศึกษาที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้

กรณีศึกษาที่	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้
1.1	G_2
1.2	G_3
1.3	G_4
1.4	G_5
1.5	G_6

3.4 กรณีศึกษาที่ 2

กรณีศึกษาที่ 2 จะดำเนินการโดยพิจารณาเหตุฉุกเฉินในระบบไฟฟ้า กรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ในอัตราที่ต่ำที่สุดที่เครื่องสามารถจ่ายได้ เหตุการณ์ละ 1 เครื่องตามตารางที่ 3.4 และพิจารณาผลจากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในการคำนวณการจ่ายโหลดที่เหมาะสมที่สุด โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค

ตารางที่ 3.4 กรณีศึกษาที่ 2 กรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ในอัตราที่ต่ำที่สุดที่เครื่องสามารถจ่ายได้

กรณีศึกษาที่	เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ในอัตราที่ต่ำที่สุด
2.1	G_2
2.2	G_3
2.3	G_4
2.4	G_5
2.5	G_6

3.5 กรณีศึกษาที่ 3

กรณีศึกษาที่ 3 จะดำเนินการโดยพิจารณาเหตุฉุกเฉินในระบบไฟฟ้า กรณีสายส่งไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ เหตุการณ์ละ 1 สายส่งโดยจะดำเนินการทั้งหมด 38 กรณีตามตารางที่ 3.5 และพิจารณาผลจากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ในการคำนวณการจ่ายโหลดที่เหมาะสมที่สุด โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค

ตารางที่ 3.5 กรณีศึกษาที่ 3 กรณีสายส่งไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้

กรณีศึกษาที่	สายส่งที่ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้	กรณีศึกษาที่	สายส่งที่ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้
3.1	1-2	3.20	15-18
3.2	1-3	3.21	18-19
3.3	2-4	3.22	19-20
3.4	3-4	3.23	10-20
3.5	2-5	3.24	10-17
3.6	2-6	3.25	10-21
3.7	4-6	3.26	10-22
3.8	5-7	3.27	21-22
3.9	6-7	3.28	15-23
3.10	6-8	3.29	22-24
3.11	6-9	3.30	23-24
3.12	6-10	3.31	24-25
3.13	9-10	3.32	25-27
3.14	4-12	3.33	28-27
3.15	12-14	3.34	27-29
3.16	12-15	3.35	27-30
3.17	12-16	3.36	29-30
3.18	14-15	3.37	8-28
3.19	16-17	3.38	6-28

บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค โดยพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับกรณีฉุกเฉินในระบบไฟฟ้าวิเคราะห์ผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะดำเนินการโดยพิจารณาในกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ กรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ในอัตราต่ำที่สุดที่สามารถจ่ายได้ และกรณีสายส่งไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ โดยการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ รวมถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการวิเคราะห์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ในสถานะมีเหตุฉุกเฉินกับสถานะการจ่ายโหลดปกติ

4.2 ผลการวิเคราะห์กรณีศึกษา

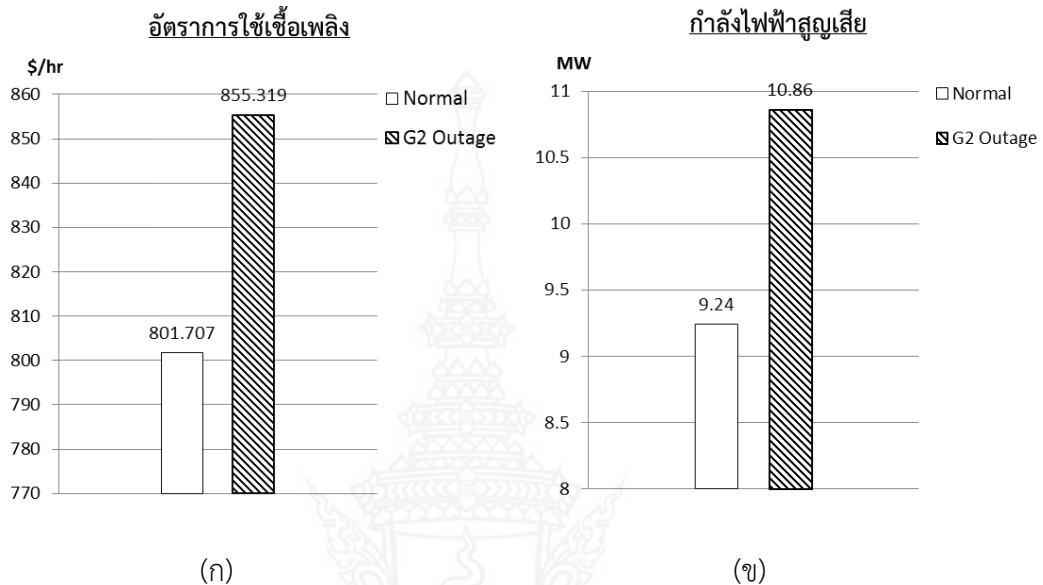
ผลการวิเคราะห์การจ่ายกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูญเสีย และต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm - PSO) ในสถานะการจ่ายโหลดปกติ เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับวิธีเจเนติก (Genetic Algorithm - GA) ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การจ่ายกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูญเสีย และต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าในสถานะการจ่ายโหลดปกติ

พารามิเตอร์	เทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค (PSO)	วิธีเจเนติก (GA)
P_{G1} (MW)	175.620	177.488
P_{G2} (MW)	48.584	46.095
P_{G3} (MW)	20.900	21.076
P_{G4} (MW)	23.055	22.831
P_{G5} (MW)	12.469	12.680
P_{G6} (MW)	12.010	12.508
P_{loss} (MW)	9.240	9.279
F_t (\$/hr.)	801.708	801.825

4.2.1 ผลการวิเคราะห์กรณีศึกษาที่ 1

ผลการวิเคราะห์การจ่ายกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า G_2 ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.1 และภาพที่ 4.2

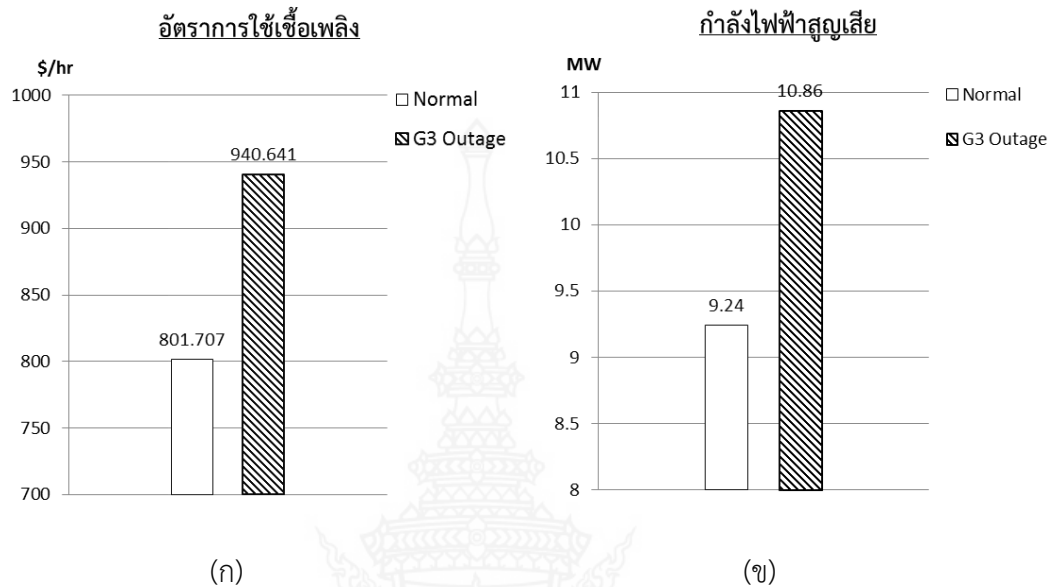


ภาพที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.1 (ก) ต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า (ข) กำลังไฟฟ้าสูญเสีย

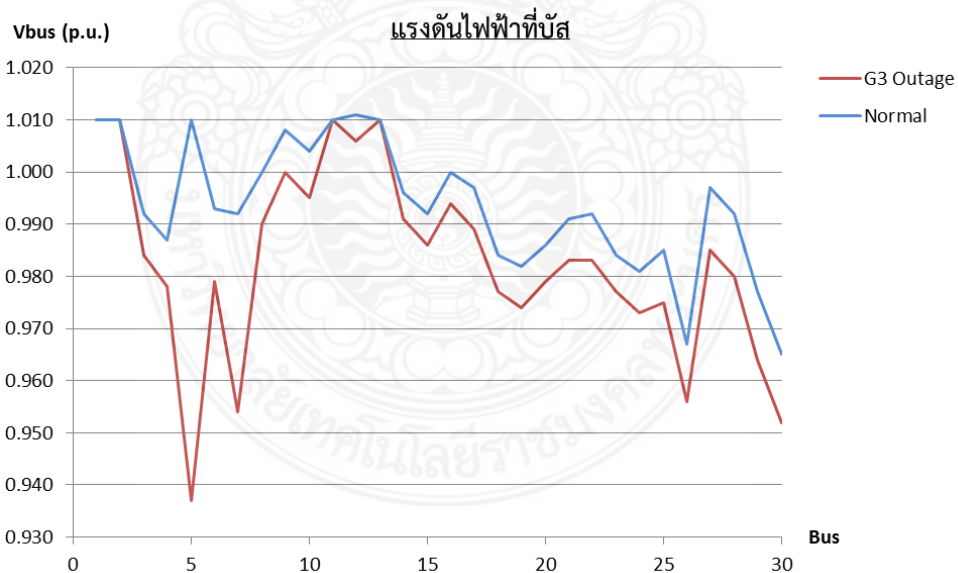


ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.1

ผลการวิเคราะห์การจ่ายกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า G_3 ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4

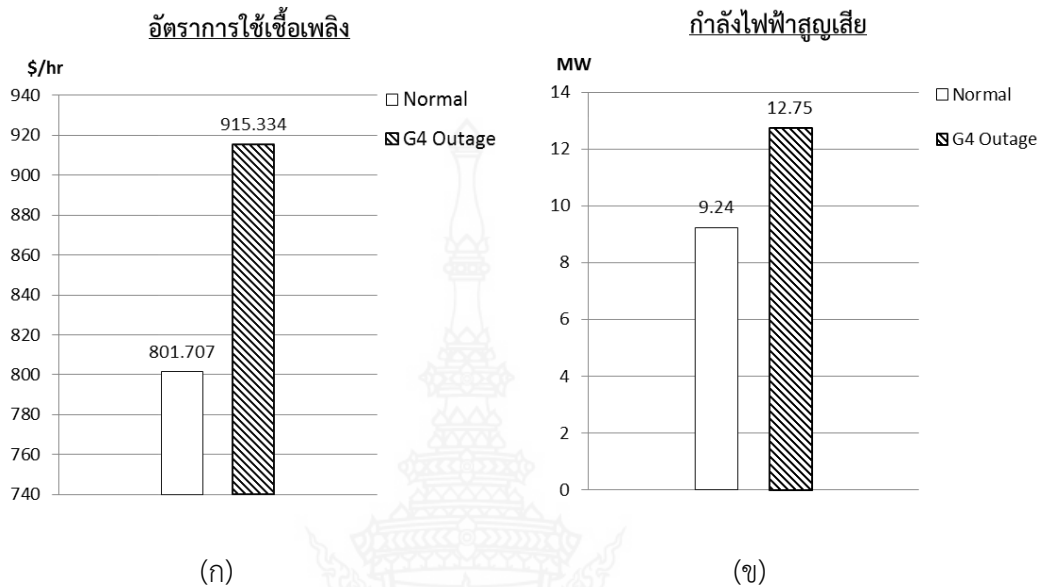


ภาพที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.2 (ก) ต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า (ข) กำลังไฟฟ้าสูญเสีย

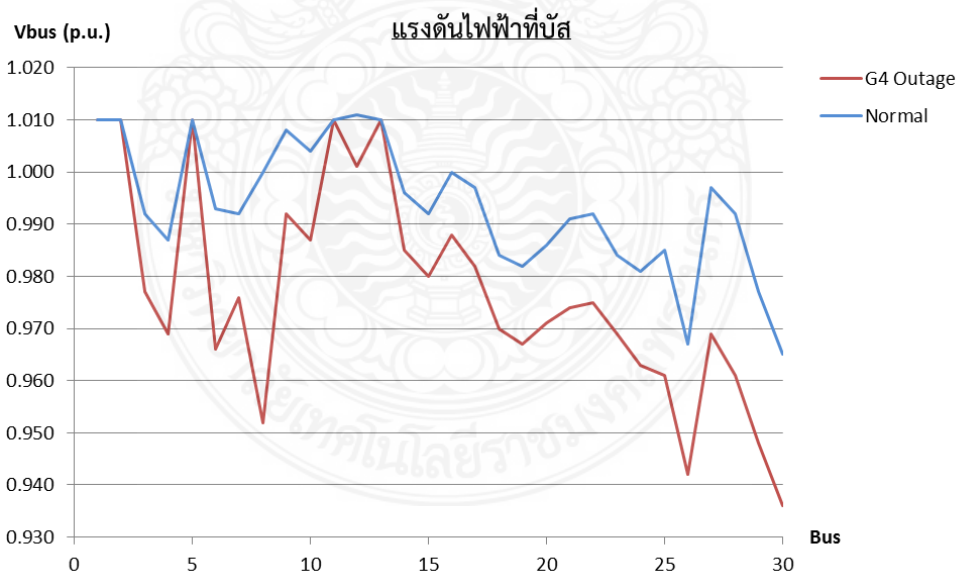


ภาพที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.2

ผลการวิเคราะห์การจ่ายกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า G_4 ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.5 และภาพที่ 4.6

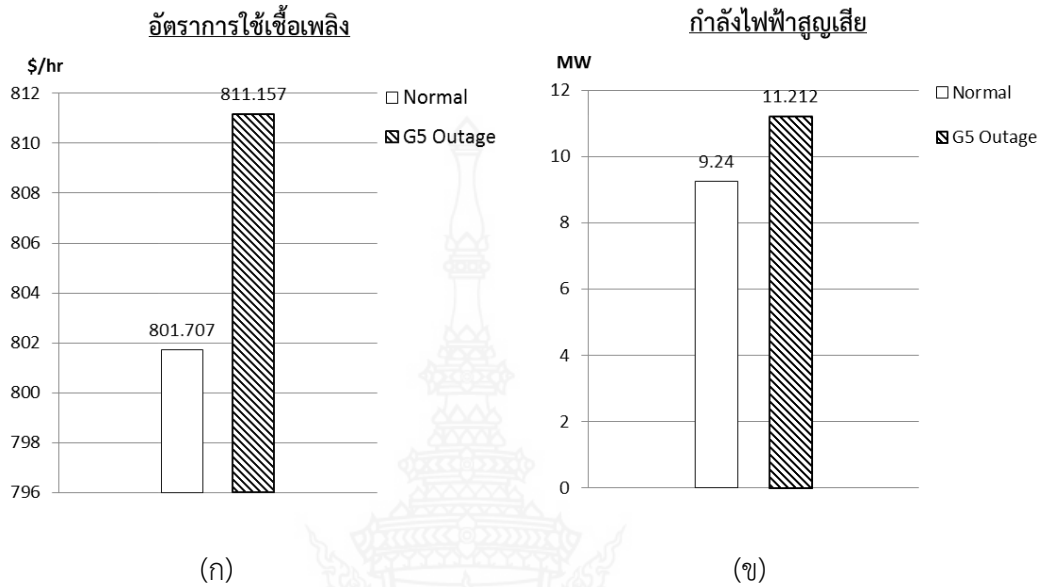


ภาพที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.3 (ก) ต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า (ข) กำลังไฟฟ้าสูญเสีย

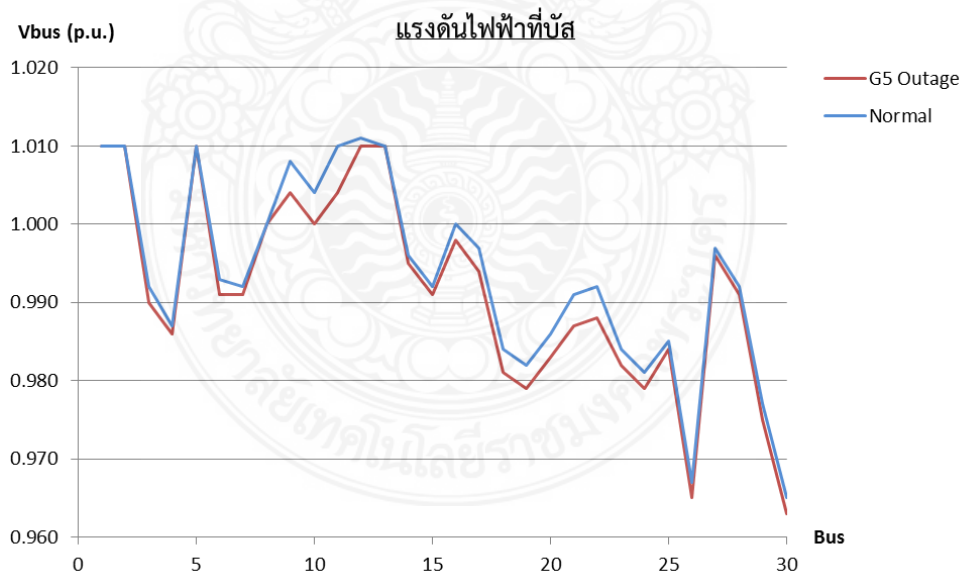


ภาพที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.3

ผลการวิเคราะห์การจ่ายกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า G₅ ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.7 และภาพที่ 4.8

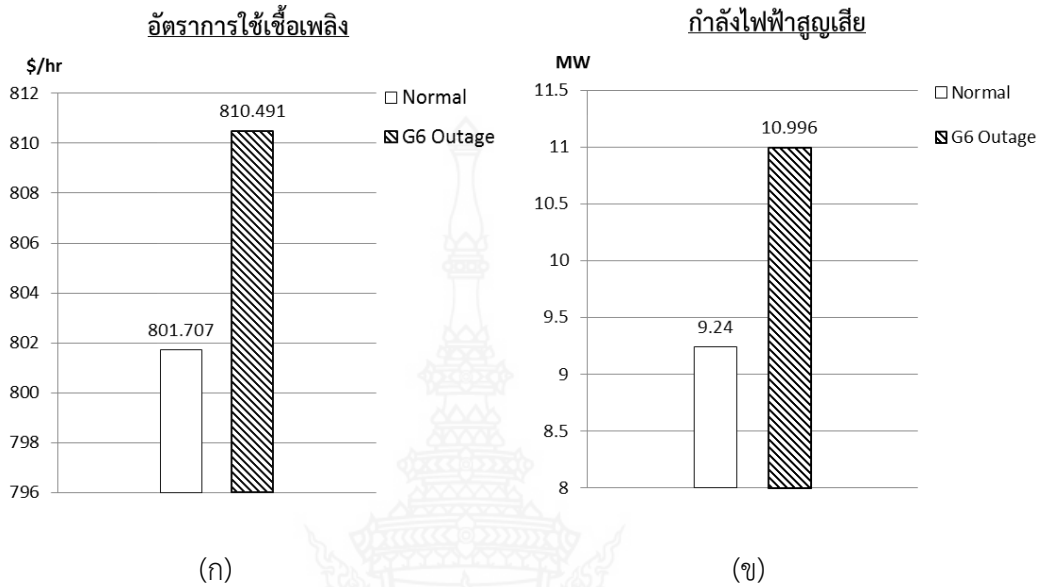


ภาพที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.4 (ก) ต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า (ข) กำลังไฟฟ้าสูญเสีย



ภาพที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.4

ผลการวิเคราะห์การจ่ายกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า G₆ ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.9 และภาพที่ 4.10



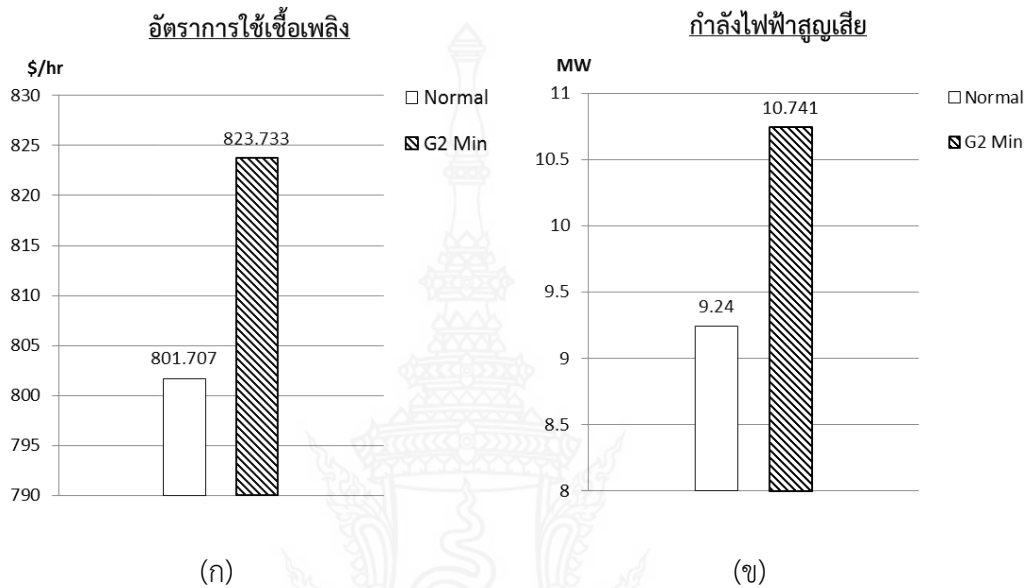
ภาพที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.5 (ก) ต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า (ข) กำลังไฟฟ้าสูญเสีย



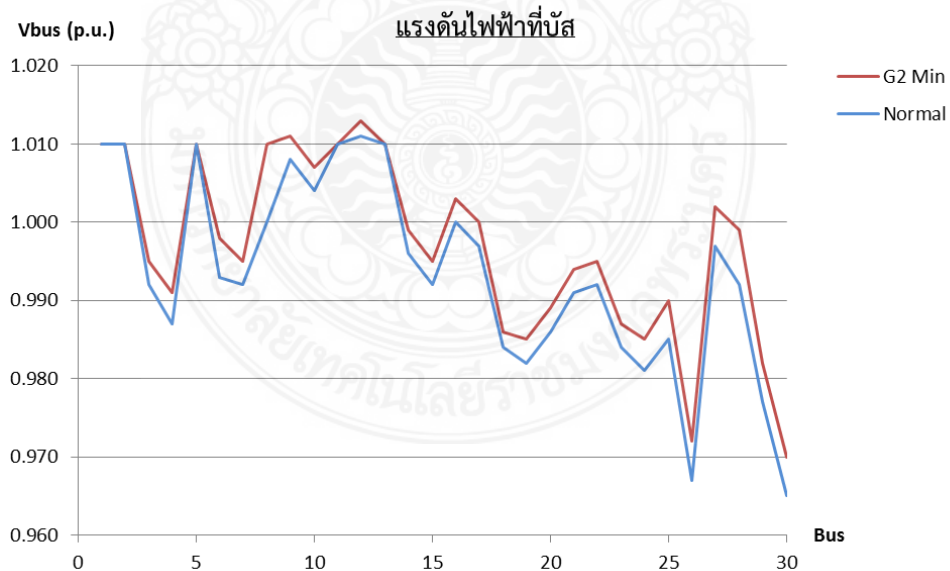
ภาพที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 1.5

4.2.2 ผลการวิเคราะห์กรณีศึกษาที่ 2

ผลการวิเคราะห์การจ่ายกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า G_2 สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ในอัตราต่ำที่สุดที่สามารถจ่ายได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.11 และภาพที่ 4.12

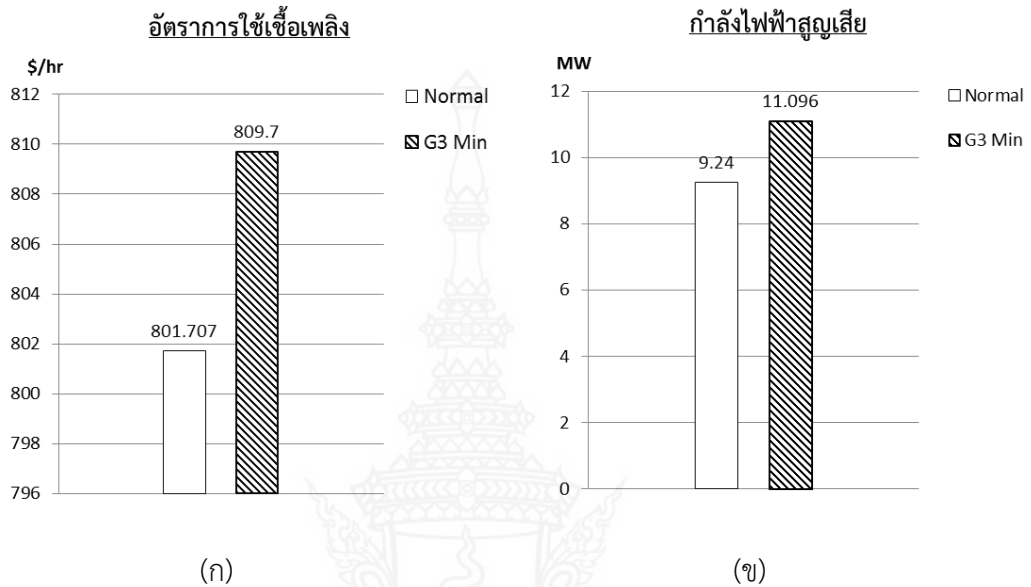


ภาพที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.1 (ก) ต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า (ข) กำลังไฟฟ้าสูญเสีย



ภาพที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.1

ผลการวิเคราะห์การจ่ายกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า G_3 สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ในอัตราต่ำที่สุดที่สามารถจ่ายได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.13 และภาพที่ 4.14

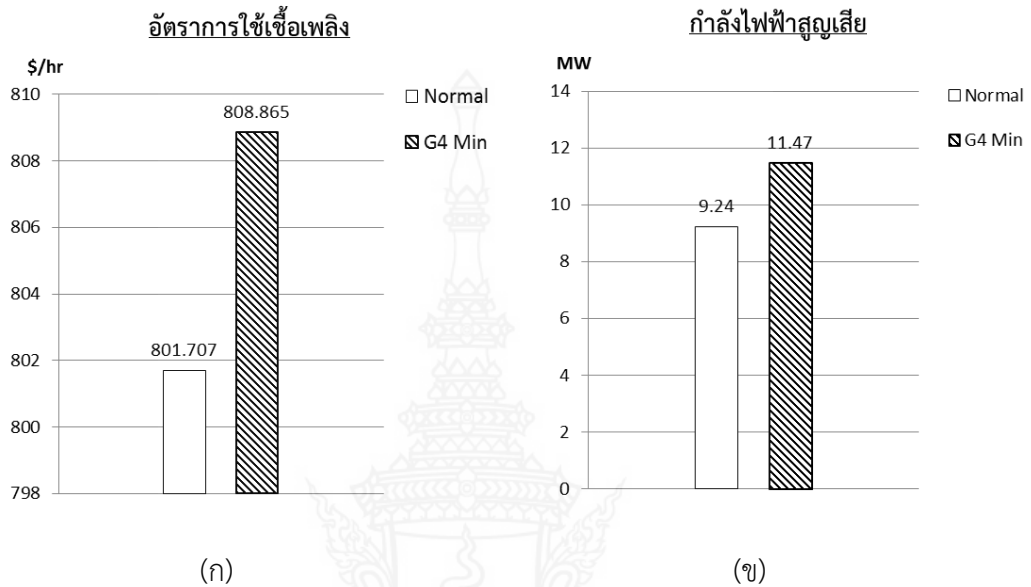


ภาพที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.2 (ก) ต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า (ข) กำลังไฟฟ้าสูญเสีย



ภาพที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.2

ผลการวิเคราะห์การจ่ายกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า G_4 สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ในอัตราต่ำที่สุดที่สามารถจ่ายได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.15 และภาพที่ 4.16

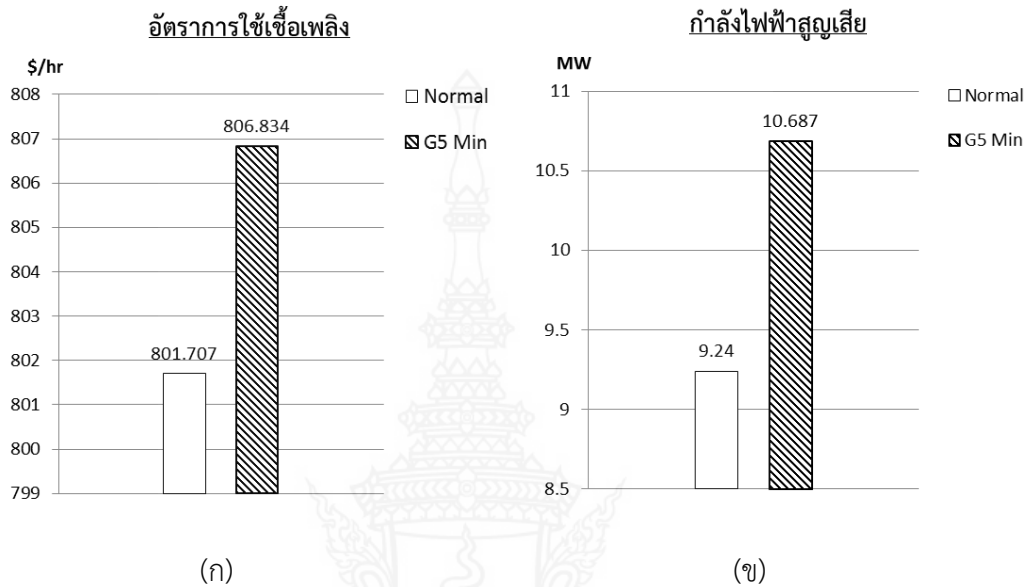


ภาพที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.3 (ก) ต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า (ข) กำลังไฟฟ้าสูญเสีย



ภาพที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.3

ผลการวิเคราะห์การจ่ายกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.4 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า G_5 สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ในอัตราต่ำที่สุดที่สามารถจ่ายได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.17 และภาพที่ 4.18

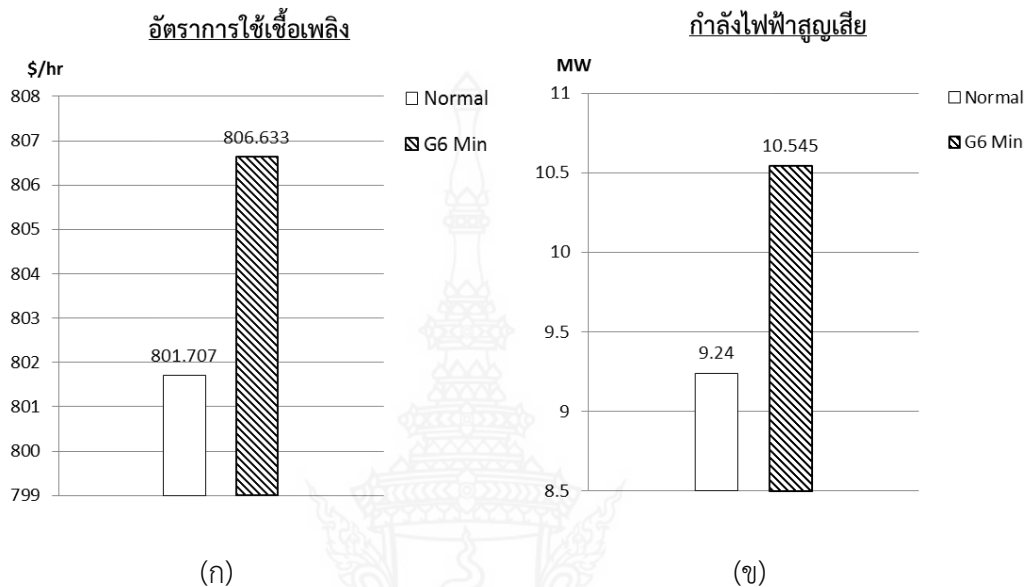


ภาพที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.4 (ก) ต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า (ข) กำลังไฟฟ้าสูญเสีย



ภาพที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.4

ผลการวิเคราะห์การจ่ายกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.5 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า G_6 สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ในอัตราต่ำที่สุดที่สามารถจ่ายได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.19 และภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.5 (ก) ต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า (ข) กำลังไฟฟ้าสูญเสีย



ภาพที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 2.5

4.2.3 ผลการวิเคราะห์กรณีศึกษาที่ 3

ผลการวิเคราะห์ ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูญเสีย และแรงดันไฟฟ้า ด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 3 สายส่งไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.2 และตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ในสถานะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 3

กรณีศึกษาที่	สายส่งที่ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้	อัตราการใช้เชื้อเพลิง (\$/hr)	กำลังสูญเสีย (MW)
3.1	1-2	846.524	17.563
3.2	1-3	821.412	13.720
3.3	2-4	809.216	11.123
3.4	3-4	820.301	13.451
3.5	2-5	835.411	17.553
3.6	2-6	811.243	11.530
3.7	4-6	812.038	11.580
3.8	5-7	806.301	10.467
3.9	6-7	810.668	11.854
3.10	6-8	807.207	10.545
3.11	6-9	807.136	10.646
3.12	6-10	806.828	10.594
3.13	9-10	808.353	11.063
3.14	4-12	809.927	11.163
3.15	12-14	807.525	10.797
3.16	12-15	809.382	11.302
3.17	12-16	807.139	10.670
3.18	14-15	806.655	10.551
3.19	16-17	806.734	10.567
3.20	15-18	870.099	10.668
3.21	18-19	806.700	10.560
3.22	19-20	808.213	10.393

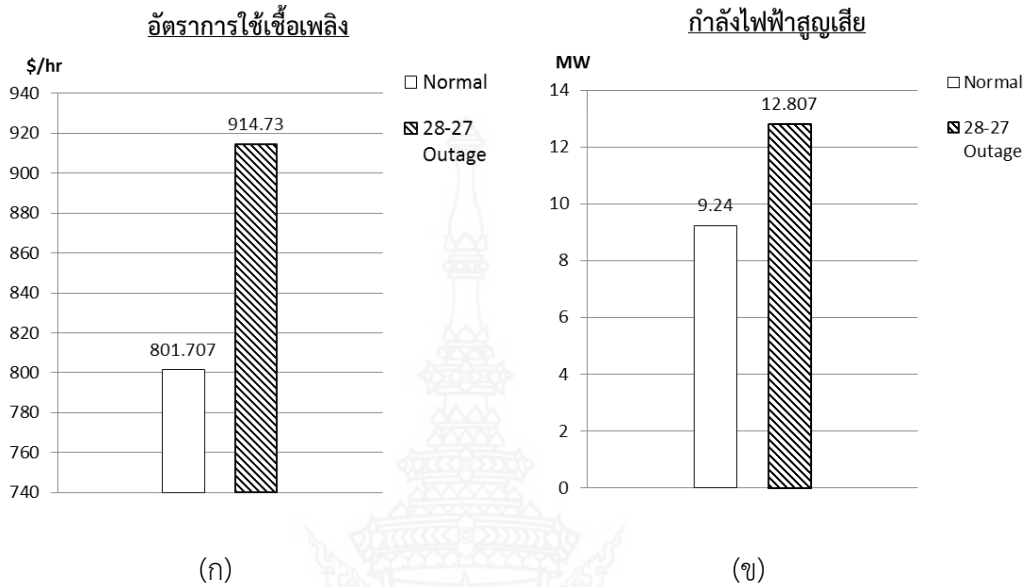
กรณีศึกษาที่	สายส่งที่ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้	อัตราการใช้เชื้อเพลิง (\$/hr)	กำลังสูญเสีย (MW)
3.23	10-20	908.400	11.073
3.24	10-17	807.298	10.753
3.25	10-21	808.030	10.951
3.26	10-22	806.937	10.634
3.27	21-22	806.660	10.553
3.28	15-23	807.097	10.669
3.29	22-24	807.082	10.680
3.30	23-24	806.684	10.556
3.31	24-25	806.675	10.559
3.32	25-27	907.258	10.730
3.33	28-27	914.730	12.870
3.34	27-29	908.040	10.950
3.35	27-30	908.504	11.084
3.36	29-30	807.964	10.069
3.37	8-28	806.857	10.607
3.38	6-28	807.688	10.810

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้าสูงสุด และต่ำสุดของบัส ในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 3

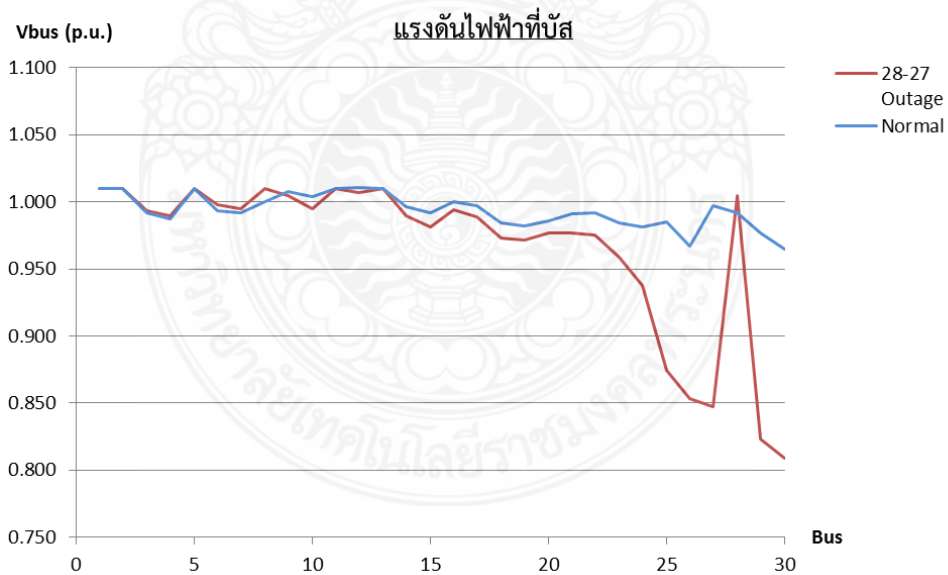
กรณีศึกษาที่	สายส่งที่ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้	แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (p.u.)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (p.u.)
3.1	1-2	1.010	0.962
3.2	1-3	1.010	0.963
3.3	2-4	1.010	0.962
3.4	3-4	1.010	0.963
3.5	2-5	1.010	0.962
3.6	2-6	1.010	0.962
3.7	4-6	1.010	0.968
3.8	5-7	1.010	0.962
3.9	6-7	1.011	0.965
3.10	6-8	1.010	0.962

กรณีศึกษาที่	สายส่งที่ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้	แรงดันไฟฟ้าสูงสุด (p.u.)	แรงดันไฟฟ้าต่ำสุด (p.u.)
3.11	6-9	1.010	0.966
3.12	6-10	1.010	0.964
3.13	9-10	1.010	0.960
3.14	4-12	1.010	0.970
3.15	12-14	1.011	0.963
3.16	12-15	1.014	0.958
3.17	12-16	1.013	0.963
3.18	14-15	1.011	0.964
3.19	16-17	1.011	0.964
3.20	15-18	1.012	0.964
3.21	18-19	1.011	0.964
3.22	19-20	1.013	0.950
3.23	10-20	1.010	0.937
3.24	10-17	1.011	0.966
3.25	10-21	1.010	0.959
3.26	10-22	1.010	0.963
3.27	21-22	1.011	0.965
3.28	15-23	1.012	0.960
3.29	22-24	1.010	0.956
3.30	23-24	1.011	0.964
3.31	24-25	1.010	0.968
3.32	25-27	1.013	0.933
3.33	28-27	1.010	0.808
3.34	27-29	1.010	0.917
3.35	27-30	1.010	0.907
3.36	29-30	1.013	0.952
3.37	8-28	1.012	0.965
3.38	6-28	1.010	0.951

ผลการวิเคราะห์การจ่ายกำลังไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ต้นทุนในการผลิตไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้า ด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค ในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 3.33 สายส่งไฟฟ้า 28-27 ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ ดังแสดงในภาพที่ 4.21 และภาพที่ 4.22



ภาพที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์การผลิตไฟฟ้าในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 3.33 (ก) ต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้า (ข) กำลังไฟฟ้าสูญเสีย



ภาพที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์แรงดันไฟฟ้า ในสภาวะฉุกเฉินกรณีศึกษาที่ 3.33

4.3 สรุปผลการทดลอง

ผลการศึกษาพบว่า การวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค เมื่อเทียบกับการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเจเนติกนั้น ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาคนั้นสามารถหาผลลัพธ์ได้ตามที่ต้องการ

ผลลัพธ์จากกรณีศึกษาที่ 1, 2 และ 3 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบผลในเชิงเศรษฐศาสตร์กับสถานะการจ่ายโหลดปกติ จะเห็นได้ว่าเมื่อมีเหตุฉุกเฉินเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า ต้นทุนค่าใช้จ่ายในการผลิตไฟฟ้ามีอัตราที่เพิ่มมากขึ้น ถึงแม้ว่าโหลดที่ต่ออยู่ในระบบจะมีปริมาณเท่าเดิม ในด้านเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าก็เช่นกัน การที่มีเหตุฉุกเฉินกับระบบไฟฟ้า ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบมีค่ามากขึ้น รวมถึงขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัสต่างๆ มีแนวโน้มลดลง เมื่อเทียบกับสถานะการจ่ายโหลดปกติ จนในบางกรณีศึกษาแรงดันไฟฟ้ามีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

ผลลัพธ์ที่ได้จากผลการศึกษาของงานวิจัย พบว่าการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค เมื่อเปรียบผลกับวิธีการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีเจนนิตินั้นผลลัพธ์ที่ได้ใกล้เคียงกัน และจากผลลัพธ์จากทั้ง 3 กรณีศึกษาแสดงให้เห็นว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาคมีความยืดหยุ่นในการนำมาประยุกต์ใช้งาน และให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ

5.2 สรุปผลการวิจัย

ผลการศึกษาพบว่ากรณีวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค กรณีศึกษาที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ กรณีศึกษาที่ 2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ในอัตราต่ำที่สุด และกรณีศึกษาที่ 3 สายส่งไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้มีดังต่อไปนี้

1. ผลลัพธ์ในเชิงเศรษฐศาสตร์จากการทดสอบกับกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณีศึกษาพบว่าการเกิดเหตุฉุกเฉินนั้นส่งผลโดยตรงกับอัตราต้นทุนการผลิตที่เพิ่มสูงขึ้น ในกรณีศึกษามีอัตราการเพิ่มขึ้นของต้นทุนการผลิตไฟฟ้าสูงสุดถึง 17.329% เมื่อเทียบกับต้นทุนการผลิตขณะจ่ายโหลดปกติ กรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า G3 ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้

2. ผลลัพธ์ในเรื่องกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า พบว่าการเกิดเหตุฉุกเฉินนั้นส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียมีอัตราสูงเกินกว่าสภาวะปกติ ในกรณีศึกษาพบว่ามีอัตราค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียสูงสุดถึง 90.075% เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินสายส่งไฟฟ้าบัส 1-2 ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้

3. ระดับแรงดันไฟฟ้า เมื่อเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้นกับระบบไฟฟ้า พบว่าระดับแรงดันไฟฟ้ามีแนวโน้มที่จะลดต่ำลง ซึ่งจากกรณีศึกษาทั้ง 3 พบว่าขนาดแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำกว่าเกณฑ์คือ 0.95 p.u. มีถึง 5 กรณีศึกษาคือสายส่งไฟฟ้าบัส 10-20, 25-27, 28-27, 27-29, และ 27-30 แสดงให้เห็นว่าทั้ง 5 สายส่ง และ บัส 27 นั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า

จากผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้นในระบบไฟฟ้าทั้งที่ไม่ตั้งใจ เช่นอุปกรณ์ชำรุดเสียหาย หรือมีการวางแผนล่วงหน้า เช่นการปลดอุปกรณ์ไฟฟ้าเพื่อเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่หรือการบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้า สิ่งที่คุณผลิตไฟฟ้าจำเป็นต้องคำนึงถึงคือต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นรวมทั้งเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าที่ลดน้อยลง เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้ดียิ่งขึ้น

5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย

การศึกษาวិธีการ รวมถึงการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเขียนโปรแกรมให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้มีความซับซ้อน

5.4 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดมีหลากหลายวิธี ที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานกับการวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมได้ อาจเป็นไปได้ที่จะพบวิธีการหาค่าที่รวดเร็ว และแม่นยำกว่าวิธีที่ได้นำเสนอ โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่ได้พิจารณาถึงหม้อแปลงไฟฟ้าที่ถูกติดตั้งอยู่ในแบบจำลองระบบไฟฟ้า
2. วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ไม่ได้พิจารณาถึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สายส่งไฟฟ้าแต่ละสายส่งสามารถจ่ายได้
3. วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังไม่ได้พิจารณากรณีฉุกเฉินอันเนื่องมาจากสถานีไฟฟ้าย่อยไม่สามารถส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้



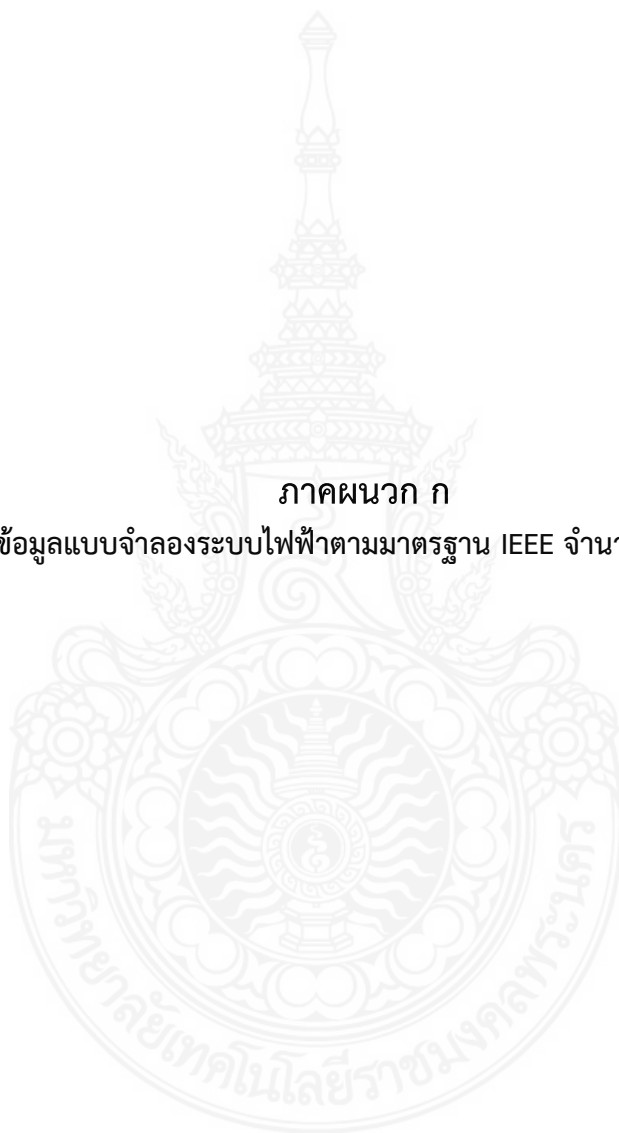
เอกสารอ้างอิง

1. S. Thongkeaw, N. Rugthaicharoencheep, and S. Auchariyament, "Application of Particle Swarm Optimization for Power System Operation Considering N-1 Contingency Criteria," Universities Power Engineering Conference (UPEC), sep 2012. 2012.
2. B. B. Mkandawire, N. M. Ijumba, and H. Whitehead, "Asset management optimization through integrated systems thinking and n-1 contingency capability for refurbishment," IEEE System Journal, vol. 5, no. 3, pp. 321-331, Sep. 2011.
3. U. Leeton, and et. al., "Power Loss Minimization Using Optimal Power Flow Based on Particle Swarm Optimization" Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON) , pp. 440-444, 2010.
4. A. P. Engelbrecht, "Computational Intelligence: An Introduction 2nd ed," West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2007.
5. Goldberg, D.E. "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning" Massachusettes: Addison-Wesley Publishing, 1989, p.7.
6. R. Christie, Power System Test Archive, Aug. 1993.
7. ชำนาญ ห่อเกียติ, "การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง" คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
8. ชำนาญ ห่อเกียติ, "ระบบไฟฟ้ากำลัง" คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
9. John J. Grainger William D. Stevenson, JR, "Power System Analysis", McGRAW-HILL International Editions, Electrical Engineering Series.
- 10.A. Jaini, and et. al., "Particle Swarm Optimization (PSO) Technique in Economic Power Dispatch Problem", Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), 2010 4th International, pp. 308-312, 2010.

ภาคผนวก

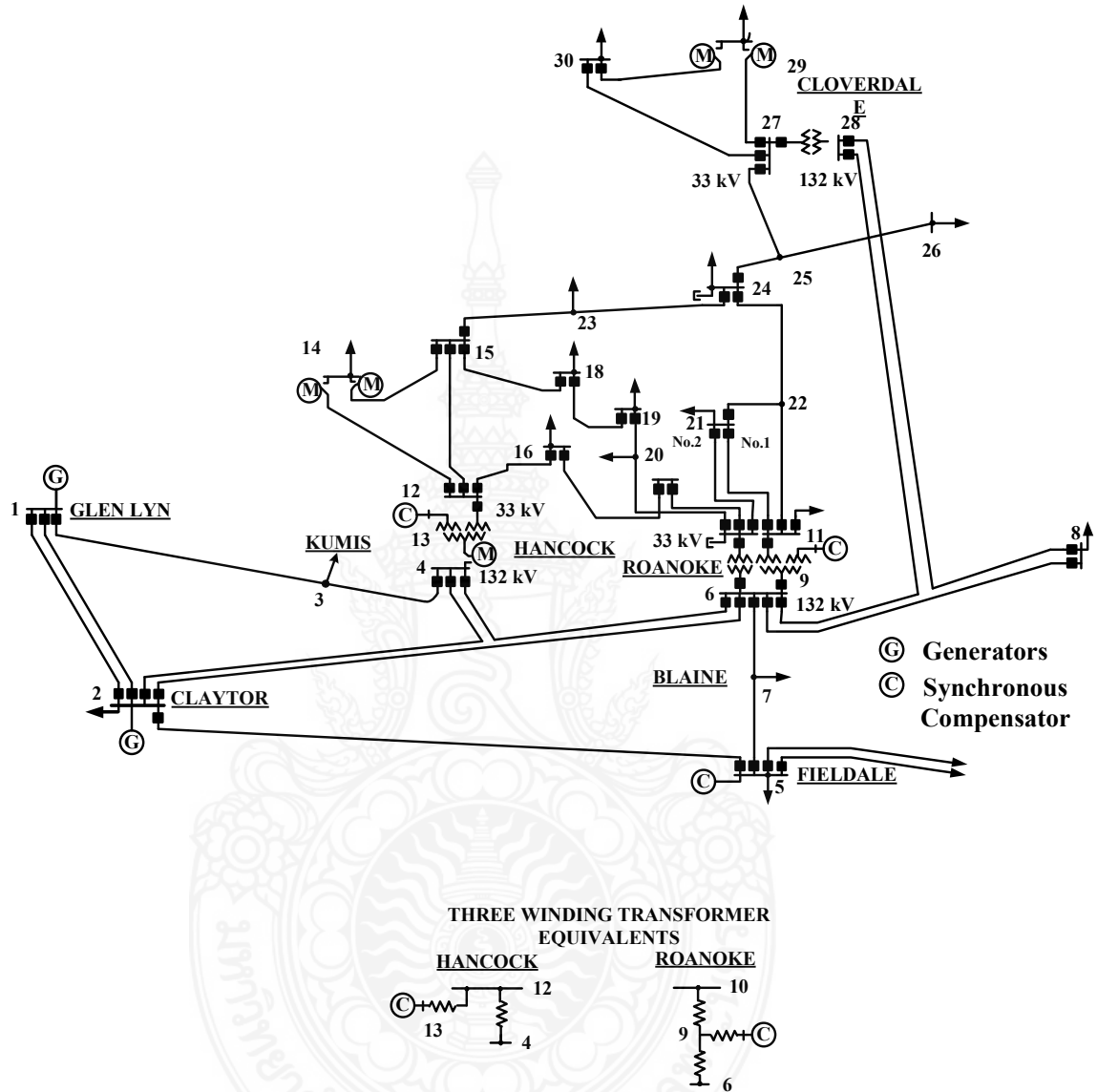


ภาคผนวก ก
ข้อมูลแบบจำลองระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE จำนวน 30 บัส



ภาคผนวก ก

ข้อมูลแบบจำลองระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE จำนวน 30 บัส



ภาพที่ ก-1 แบบจำลองระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE จำนวน 30 บัส

ตารางที่ ก-1 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบจำลองระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE จำนวน 30 บัส

Generation units	cost function coefficients			P_{Gi}^{\min}	P_{Gi}^{\max}
	a_i (\$/MW ²)	b_i (\$/MW)	c_i (\$)	(MW)	(MW)
G ₁	0.00375	2.00	0	50	200
G ₂	0.01750	1.75	0	20	80
G ₃	0.06250	1.00	0	15	50
G ₄	0.00834	3.25	0	10	35
G ₅	0.02500	3.00	0	10	30
G ₆	0.02500	3.00	0	12	40

ตารางที่ ก-2 ข้อมูลสายส่งสำหรับแบบจำลองระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน IEEE จำนวน 30 บัส

สายส่งไฟฟ้า	R (p.u.)	X (p.u.)
1-2	0.0192	0.0575
1-3	0.0452	0.1852
2-4	0.0570	0.1737
3-4	0.0132	0.0379
2-5	0.0472	0.1983
2-6	0.0581	0.1763
4-6	0.0119	0.0414
5-7	0.0460	0.1160
6-7	0.0267	0.0820
6-8	0.0120	0.0420
6-9	0.0000	0.2080
6-10	0.0000	0.5560
9-11	0.0000	0.2080
9-10	0.0000	0.1100
4-12	0.0000	0.2560
12-13	0.0000	0.1400
12-14	0.1231	0.2559
12-15	0.0662	0.1304
12-16	0.0945	0.1987

สายส่งไฟฟ้า	R (p.u.)	X (p.u.)
14-15	0.2210	0.1997
16-17	0.0824	0.1932
15-18	0.1070	0.2185
18-19	0.0639	0.1292
19-20	0.0340	0.0680
10-20	0.0936	0.2090
10-17	0.0324	0.0845
10-21	0.0348	0.0749
10-22	0.0727	0.1499
21-22	0.0116	0.0236
15-23	0.1000	0.2020
22-24	0.1150	0.1790
23-24	0.1320	0.2700
24-25	0.1885	0.3292
25-26	0.2544	0.3800
25-27	0.1093	0.2087
28-27	0.0000	0.3960
27-29	0.2198	0.4153
27-30	0.3202	0.6027
29-30	0.2399	0.4533
8-28	0.0636	0.2000
6-28	0.0169	0.0599

ตารางที่ ก-3 ข้อมูลโหลดสำหรับแบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 บัส

บัส	โหลด (MW)
1	0.0
2	21.7
3	2.4
4	67.6
5	34.2
6	0.0
7	22.8
8	30.0
9	0.0
10	5.8
11	0.0
12	11.2
13	0.0
14	6.2
15	8.2
16	3.5
17	9.0
18	3.2
19	9.5
20	2.2
21	17.5
22	0.0
23	3.2
24	8.7
25	0.0
26	3.5
27	0.0
28	0.0
29	2.4
30	10.6

ภาคผนวก ข
ผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์



บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์

บทความวิชาการที่ตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับชาติและนานาชาติ

1. นุกูล เกษมสถิตย์วงศ์, ทง ลานธารทอง และ นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ “การประยุกต์ใช้เทคนิคการเคลื่อนแบบกลุ่มอนุภาคสำหรับการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีสถานะฉุกเฉิน” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลครั้งที่ 7 หรือ EENET 2015: 806-809.



ภาคผนวก ค
เนื้อหาผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์



การประยุกต์ใช้เทคนิคการเคลื่อนแบบกลุ่มอนุภาคสำหรับการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม ในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีสถานะฉุกเฉิน

Application of Particle Swarm Optimization for Optimal Economic Dispatch in Power System with Contingency Criteria

นฤมล เกษมสถิตย์วงศ์ ทง ลานธารทอง และ นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1381 ถนนประชาชารินทร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร โทรศัพท์ 02-8363000 ต่อ 4150 E-mail: nattachote.r@rmutp.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวิเคราะห์การประยุกต์ใช้เทคนิคการเคลื่อนแบบกลุ่มอนุภาคสำหรับการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังที่อยู่ในสถานะฉุกเฉิน เพื่อใช้ในการบริหารจัดการระบบไฟฟ้ากำลังให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าเพียงพอต่อความต้องการของโหลด โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ซึ่งจะทำให้การศึกษาระบบเปรียบเทียบผลในเชิงเศรษฐศาสตร์ของระบบไฟฟ้าที่อยู่ในสถานะฉุกเฉินโดยใช้การวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมด้วยเทคนิคการเคลื่อนแบบกลุ่มอนุภาค และการวิเคราะห์การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมนั้น เป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการวางแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าในกรณีฉุกเฉิน

คำสำคัญ: การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม, กรณีฉุกเฉิน, ระบบไฟฟ้ากำลัง

Abstract

This paper presents an application of particle swarm optimization technique (PSO) to optimal economic dispatch analysis in power system with contingency criteria for management power system operation cost. The objective of optimal economic dispatch for contingency in power system compared with the results of analysis the power flow analysis. The study result show that the optimal operation cost for planning of power system in contingency.

Keywords: Economic dispatch, contingency, power system, particle

1. บทนำ

ความต้องการไฟฟ้าในปัจจุบันที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง นอกจากผู้ผลิตไฟฟ้าต้องคำนึงถึงความสามารถในการจ่ายโหลดของระบบไฟฟ้าแล้ว ผู้ผลิตไฟฟ้ายังต้องพิจารณาเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า

ให้มีความมั่นคงมากที่สุด เนื่องจากการใช้ชีวิตในปัจจุบันจำเป็นต้องพึ่งพาไฟฟ้าอย่างยิ่ง การเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้นกับระบบไฟฟ้าเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ เนื่องจากอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ามีการเสื่อมสภาพตามการใช้งาน

กรณีฉุกเฉินที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าคือ การที่อุปกรณ์บางตัวในระบบไฟฟ้าไม่สามารถใช้งานได้ อาจเกิดจากการชำรุดเสียหาย หรือการบำรุงรักษาอุปกรณ์ เป็นต้น ซึ่งทำให้เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าลดลง การออกแบบระบบไฟฟ้าโดยทั่วไปจึงจำเป็นต้องออกแบบให้ระบบยังคงจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ในกรณีที่อุปกรณ์ในระบบไม่สามารถทำงานได้อย่างน้อย 1 ตัว หรือ ออกแบบให้ระบบไฟฟ้ามีระดับความมั่นคงของระบบไฟฟ้าในระดับหรือเกณฑ์ที่เรียกว่า N-1 Contingency [1-2]

บทความนี้นำเสนอการดำเนินงานเชิงเศรษฐศาสตร์ที่เหมาะสมสำหรับกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ (Generator Outage) โดยใช้เทคนิคการเคลื่อนแบบกลุ่มอนุภาคในการวิเคราะห์การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (PSO) ด้วยแบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 บัส และเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์กับผลจากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (PF)

3. การวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม

การวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมคือ การวางแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องที่ตั้งอยู่ในระบบไฟฟ้า ให้สามารถจ่ายโหลดได้อย่างเพียงพอ และมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขดังนี้

1. สมการในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

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

$$Q_i = -\sum_{j=1}^n |V_i V_j Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \quad (2)$$

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2015 (EENET 2015)

2. พิกัดแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$V_{Gi}^{\min} \leq V_{Gi} \leq V_{Gi}^{\max} \quad (3)$$

3. พิกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้า

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max} \quad (4)$$

4. พิกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ

$$Q_{Gi}^{\min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{\max} \quad (5)$$

5. พิกัดการปรับแท็ปหม้อแปลง

$$T_i^{\min} \leq T_i \leq T_i^{\max} \quad (6)$$

6. พิกัดแรงดันไฟฟ้าที่บัสโหลด

$$V_{Load,i}^{\min} \leq V_{Load,i} \leq V_{Load,i}^{\max} \quad (7)$$

- เมื่อ P_i, Q_i = กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่บัส i
 V_i, V_j = แรงดันที่บัส i และ j
 Y_{ij} = แอดมิตแตนซ์ระหว่างบัส i และ j
 $V_{Gi}^{\min}, V_{Gi}^{\max}$ = ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส i
 $P_{Gi}^{\min}, P_{Gi}^{\max}$ = ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของกำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i
 $Q_{Gi}^{\min}, Q_{Gi}^{\max}$ = ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i
 T_i^{\min}, T_i^{\max} = ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแท็ปหม้อแปลงไฟฟ้า
 $V_{Load,i}^{\min}, V_{Load,i}^{\max}$ = ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสโหลด i

ในแต่ละรอบของการคำนวณ ฟังก์ชันความเหมาะสมถูกใช้คำนวณหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด หลังจากนั้นอนุภาคแต่ละตัวจะถูกย้ายตำแหน่งโดยการเปรียบเทียบตำแหน่งของอนุภาคแต่ละตัว และถูกปรับค่าความเร็วใหม่ เพื่อให้อนุภาคแต่ละอนุภาคเคลื่อนที่เข้าหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด ความเร็วของอนุภาคแต่ละตัวจะถูกคำนวณโดยใช้ข้อมูลการเคลื่อนที่ในรอบการคำนวณที่ผ่านมา

การปรับค่าความเร็วของอนุภาคสำหรับรอบการคำนวณ t ไปยัง $(t + 1)$ ดังแสดงในสมการที่ (8) [4]:

$$v_{id}(t+1) = wv_{id}(t) + c_1r_{1d}(t)[y_{id}(t) - x_{id}(t)] + c_2r_{2d}(t)[\hat{y}_d(t) - x_{id}(t)] \quad (8)$$

เมื่อ v = ความเร็วของอนุภาค

x = ตำแหน่งของอนุภาค

w = ค่าน้ำหนักความเฉื่อย

c_1, c_2 = ค่าคงที่ความเร่ง

r_{1d}, r_{2d} = ตัวแปรสุ่มจากการกระจายแบบปกติมีค่า 0 ถึง 1

y = ค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดของอนุภาคนั้นๆ P_{best}

\hat{y} = ค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดแบบวงกว้าง G_{best}

i = อนุภาค i^{th}

d = มิติ d^{th}

id = อนุภาค i ในมิติ d

ค่าน้ำหนักความเฉื่อย w สามารถแสดงดังสมการที่ (9) [4]

$$\omega = \omega_{\max} - \frac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\text{Iter}_{\max}} \times \text{Iter} \quad (9)$$

เมื่อ $\omega_{\max}, \omega_{\min}$ = ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าน้ำหนักความเฉื่อย

Iter_{\max} = จำนวนรอบการคำนวณสูงสุด

Iter = รอบการคำนวณปัจจุบัน

เมื่อความเร็วถูกคำนวณใหม่แล้วจะสามารถหาตำแหน่งของอนุภาคใหม่ได้ดังสมการที่ (10)

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad (10)$$

ขั้นตอนในการประเมินเพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด ประกอบด้วยการปรับปรุงความเร็ว และตำแหน่งของอนุภาค โดยการทำซ้ำจนกว่าจะเข้าสู่หาค่าตอบที่ดีที่สุด ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เงื่อนไขหลายๆเงื่อนไข อาจถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์เพื่อใช้ในการหยุดการคำนวณซ้ำ เช่น การกำหนดรอบการทำซ้ำสูงสุด เมื่อได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดหรือคำตอบที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากการคำนวณซ้ำ สิ่งสำคัญในการ

การวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม โดยทั่วไปจะใช้เพื่อวางแผนการจ่ายกำลังไฟฟ้าในภาพรวม ในปัจจุบันการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าถูกพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นด้วยการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งสามารถใช้กับระบบไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อนได้ดี วัตถุประสงค์หนึ่งในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าคือการหาขนาดแรงดันของบัสต่างๆ ขนาดกระแสไฟฟ้า และกำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า

4. การเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค (PSO)

การเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) ถูกนำเสนอโดย James Kennedy และ Russell Eberhart [3] เป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดวิธีหนึ่ง ซึ่งได้แนวคิดจากการเคลื่อนที่ของฝูงสัตว์ที่มีการเคลื่อนที่อย่างมีแบบแผน โดยจำลองให้เป็นกลุ่มอนุภาคที่มีการสื่อสารและส่งข้อมูลตำแหน่งระหว่างอนุภาคแต่ละตัว และเคลื่อนที่ตามอนุภาคที่เข้าไปใกล้เป้าหมายมากที่สุด

บทความวิจัย

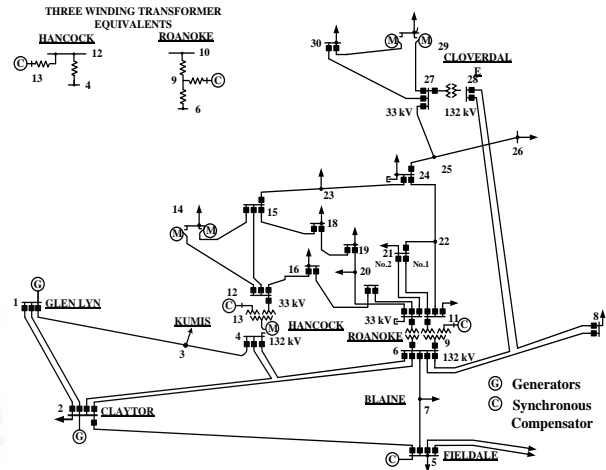
การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2015 (EENET 2015)

เลือกเงื่อนไขเพื่อใช้หาค่าการคำนวณคือต้องไม่ทำให้การคำนวณซ้ำหยุดก่อนที่จะได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด พารามิเตอร์ของการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค ที่ใช้ในบทความนี้แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค (PSO)

พารามิเตอร์	ค่าที่กำหนด
ตำแหน่งเริ่มต้น	ตัวแปรสุ่ม
จำนวนอนุภาค	500
รอบการคำนวณสูงสุด	100
ค่าคงที่ความเร่ง c_1, c_2	2.0, 2.0
ค่าน้ำหนักความเฉื่อย $\omega_{\min}, \omega_{\max}$	0.4, 0.9



รูปที่ 1 แบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 บัส

5. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การประมวลผลการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม โดยพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่มีค่าต่ำที่สุดสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (11)

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^n F_i(P_{Gi}) \quad (11)$$

$F(P_{Gi})$ คือต้นทุนที่ใช้ผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i ซึ่งอยู่ในรูปของอัตราการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตกำลังไฟฟ้า (\$/hr) โดยปกติจะแสดงอยู่ในรูปสมการกำลังสองดังสมการที่ (12)

$$F_i(P_{Gi}) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \quad (12)$$

- เมื่อ Z = ต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้ารวม
- F_i = ต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i
- P_{Gi} = กำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i
- n = จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด
- a_i, b_i, c_i = สัมประสิทธิ์ต้นทุนการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

ในบทความนี้จะทำการทดสอบกับแบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus โดยพิจารณากรณีฉุกเฉินเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ติดตั้งอยู่ในระบบไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ แบบโคแอสเทรสมันเดี่ยวของแบบจำลองระบบไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 1 [5] โดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าติดตั้งอยู่ที่บัส 1, 2, 5, 8, 11 และ 13 ความต้องการกำลังไฟฟ้ารวม 283.40 MW, 126.20 MVar และต้องมีขนาดแรงดันไม่ต่ำกว่า 0.95 p.u. และไม่สูงกว่า 1.05 p.u.

ตารางที่ 2 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับแบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30-BUS

Generation units	cost function coefficients			P_{Gi}^{\min} (MW)	P_{Gi}^{\max} (MW)
	a_i (\$/MW ²)	b_i (\$/MW)	c_i (\$)		
G ₁	0.00375	2.00	0	50	200
G ₂	0.00175	1.75	0	20	80
G ₃	0.00625	1.00	0	15	50
G ₄	0.00830	3.25	0	10	35
G ₅	0.02500	3.00	0	10	30
G ₆	0.02500	3.00	0	12	40

ผลการวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม โดยพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับกรณีฉุกเฉินในระบบไฟฟ้า จะดำเนินการโดยพิจารณาในกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ผลจากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 3 และผลการวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า

Gen outage	Power Generation (MW)						Voltage (p.u.)	
	P _{G1}	P _{G2}	P _{G3}	P _{G4}	P _{G5}	P _{G6}	Min	Max
G ₂	133.74	0	50	35	30	40	0.97	1.05
G ₃	106.18	80	0	35	30	40	0.96	1.05
G ₄	89.15	80	50	0	30	40	0.96	1.05
G ₅	83.49	80	50	35	0	40	0.97	1.05
G ₆	93.42	80	50	35	30	0	0.97	1.05

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 7

Proceedings of the 7th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2015 (EENET 2015)

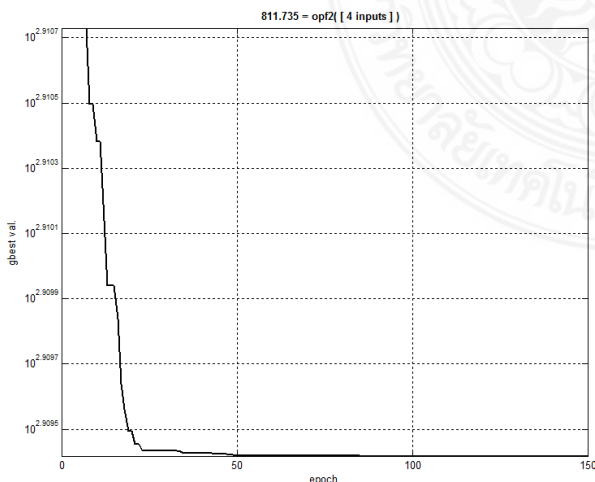
ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์การจ่ายกำลังไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าสำหรับ ด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค (PSO)

Gen outage	Power Generation (MW)						Voltage (p.u.)	
	P _{G1}	P _{G2}	P _{G3}	P _{G4}	P _{G5}	P _{G6}	Min	Max
G ₂	200.00	0	24.38	35.00	18.98	17.91	0.97	1.05
G ₃	184.64	53.08	0	28.74	14.77	13.82	0.96	1.05
G ₄	192.10	52.70	22.81	0	16.06	14.75	0.95	1.05
G ₅	175.93	48.88	31.30	23.64	0	13.37	0.97	1.05
G ₆	176.12	48.98	30.05	23.32	14.46	0	0.97	1.05

ผลการเปรียบเทียบต้นทุนการผลิตไฟฟ้าในกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค (PSO) กับการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) ดังแสดงในตารางที่ 5 และกราฟตัวอย่าง แสดงการประมวลผลกรณีศึกษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6 ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ ดังแสดงในรูปที่ 2

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลการทดสอบระบบไฟฟ้าด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค

No.	Gen outage	Power Flow	PSO	ต้นทุนการผลิต ลดลง %
		Cost (\$/hr.)	Cost (\$/hr.)	
1	G ₂	937.24	863.20	7.89
2	G ₃	903.05	835.65	7.46
3	G ₄	938.86	823.11	12.32
4	G ₅	935.29	813.95	12.97
5	G ₆	914.24	811.73	11.21



รูปที่ 2 กราฟแสดงการวิเคราะห์กรณีศึกษาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6 ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้

ผลการเปรียบเทียบในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนการผลิตไฟฟ้าตามตารางที่ 5 พบว่าการวิเคราะห์การจ่ายโหลดที่เหมาะสม ทำให้ต้นทุนที่ใช้ผลิตไฟฟ้ามีค่าลดลงได้มากที่สุดถึง 12.97 % และมีต้นทุนรวมต่ำที่สุดคือ 811.73 (\$/hr.) โดยที่ระดับแรงดันในบัสต่างๆ ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด แสดงให้เห็นว่าการวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม โดยพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์นั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการบริหารจัดการระบบไฟฟ้าโดยเฉพาะหากเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉิน

6. สรุปผล

บทความวิจัยนี้มีเป้าหมายหลักคือการวิเคราะห์ผลในเชิงเศรษฐศาสตร์ของการจ่ายโหลดที่เหมาะสมด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค ด้วยแบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus ในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉินในระบบไฟฟ้า ซึ่งทำให้การจัดการการจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นเรื่องที่มีความซับซ้อนมากกว่าระบบไฟฟ้าในสภาวะปกติ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาคในการบริหารการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าลงได้ เมื่อเปรียบเทียบผลจากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Thongkeaw, N. Rugthaicharoencheep, and S. Auchariyament, "Application of Particle Swarm Optimization for Power System Operation Considering N-1 Contingency Criteria," Universities Power Engineering Conference (UPEC), sep 2012. 2012.
- [2] B. B. Mkandawire, N. M. Ijumba, and H. Whitehead, "Asset management optimization through integrated systems thinking and n-1 contingency capability for refurbishment," IEEE System Journal, vol. 5, no. 3, pp. 321-331, Sep. 2011.
- [3] U. Leeton, and et. al., "Power Loss Minimization Using Optimal Power Flow Based on Particle Swarm Optimization" Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON) , pp. 440-444, 2010.
- [4] A. P. Engelbrecht, "Computational Intelligence: An Introduction 2nd ed," West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2007.
- [5] R. Christie, Power System Test Archive, Aug, 1993.
- [6] A. Jaini, and et. al., "Particle Swarm Optimization (PSO) Technique in Economic Power Dispatch Problem", Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), 2010 4th International, pp. 308-312, 2010.

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นามสกุล นายอนุกุล เกษมสทธิยวงศ์
วัน เดือน ปีเกิด 27 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2531
ภูมิลำเนา 5 ซ.1 ถ.วีระพันธ์ ต.เบตง อ.เบตง จ.ยะลา 95110
ที่อยู่ปัจจุบัน 48 โกสุมรวมใจ 36 แยก 13 แขวงดอนเมือง เขตดอนเมือง 10700
ประวัติการศึกษา - สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า-
ไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ พ.ศ.
2552
- สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ วิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน
ปัจจุบันทำงานในตำแหน่ง วิศวกรไฟฟ้า 6 การไฟฟ้านครหลวง

