การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลัง

Optimal Economic Load Dispatch in Power System

อรุณ ชลังสุทธิ์

นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อเรื่อง : การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลัง
ผู้วิจัย : ผศ.อรุณ ชลังสุทธิ์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
รศ.ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มทร.พระนคร
พ.ศ. : 2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอเกี่ยวกับการจ่ายโหลดอย่างประหยัดเชิงเศรษฐศาสตร์เป็นวิธีการประมวลผลการทำงานของระบบไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพต้นทุนต่ำและเชื่อถือได้มากที่สุดโดยจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่มีอยู่เพื่อจ่ายไปยังโหลดอย่างเหมาะสมวัตถุประสงค์หลักของการจ่ายโหลดอย่างประหยัด คือ การจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการโหลดในราคาที่ต่ำที่สุดภายใต้ข้อจำกัดการดำเนินงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบทั้งหมด ด้วยกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกอย่างเหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละหน่วย สามารถนำไปสู่การประหยัดต้นทุนที่สำคัญของระบบการผลิตได้บทความนี้นำเสนอเทคนิคการจ่ายโหลดเชิงเศรษฐเชิงศาสตร์อย่างเหมาะสมโดยพิจารณาจากรูปแบบ โหลดรายวันและข้อจำกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาคในการหาคำตอบที่เหมาะสม มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งปัญหาการปรับค่ากำลังไฟฟ้าให้เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของระบบซึ่งประกอบด้วยความสมดุลของกำลังไฟฟ้าและการจ่ายกำลังไฟฟ้าแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การประยุกต์ใช้วิธีกลุ่มอนุภาคเป็นกลยุทธ์ที่เป็นประโยชน์ในการหาคำตอบ วิธีการที่เสนอนั้นสามารถพิจารณา การจ่ายกำลังไฟฟ้าสำหรับหน่วยการผลิตพลังงานทั้งหมดเพื่อให้ฟังก์ชั่นค่าใช้จ่ายข้อจำกัดโดยรวมลดลง ประสิทธิภาพของวิธีการที่พัฒนาขึ้น ประมวลผลทดสอบกับกรณีศึกษาในแบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลังที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 40 เครื่อง จากผลการทดสอบพบว่าเทคนิคที่เสนอสามารถช่วยให้ต้นทุนรวมของการผลิตให้ต่ำลงได้ ในขณะที่ต้องอยู่ภายใต้ข้อจำกัดทั้งหมดและสามารถช่วยลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้

Title : Optimal Economic Load Dispatch in Power System
Researcher : Assistant Aroon Charangsut, Department of Electrical Engineering, RMUTP
Associate Professor Dr.Nattachote Rugthaicharoencheep,
Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, RMUTP
Year : 2019

Abstract

This research study is the economic load dispatch ELD is the method of determining the most efficient, low-cost and reliable operation of a power system by dispatching the available electricity generation resources to supply the load on the system. The main objective of ELD is to schedule the committed generating units output to meet the required load demand at minimum cost satisfying all unit and system operational constraints. With the proper scheduled outputs of generating units, it can lead to a significant cost saving of generating systems. This paper presents an optimization technique to economic load dispatch (ELD) problems with considering the daily load patterns and generator constraints using a particle swarm optimization (PSO). The objective is to minimize the fuel cost. The optimization problem is subject to system constraints consisting of power balance and generation output of each units. The application of a constriction factor into PSO is a useful strategy to ensure convergence of the particle swarm algorithm. The proposed method is able to determine, the output power generation for all of the power generation units, so that the total constraint cost function is minimized. The performance of the developed methodology is demonstrated by case studies in test system of fifteen-generation units. The results show that the proposed algorithm gives the minimum total cost of generation while satisfying all the constraints and benefiting greatly from saving in power loss reduction.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยเรื่องการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลัง นี้ ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2562 ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องที่ไม่ได้กล่าวนามในที่นี้ ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดมา ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยในครั้งนี้ ล้วนเป็นผลมาจากความกรุณาทุกท่าน คณะผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยขอมอบบูชาแด่คณาจารย์ทุกท่านที่ประสาทวิชาความรู้แก่คณะผู้วิจัย

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 การทบทวนงานวิจัย	3
1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.4 วิธีการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 บทนำ	5
2.2 เทคนิคการเคลื่อนแบบกลุ่มอนุภาค	5
2.3 วิธีเจนเนติก	10
2.4 การไหลของกำลังไฟฟ้า	13
2.5 ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด	21
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	25
3.1 บทนำ	25
3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม	27
3.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย	27

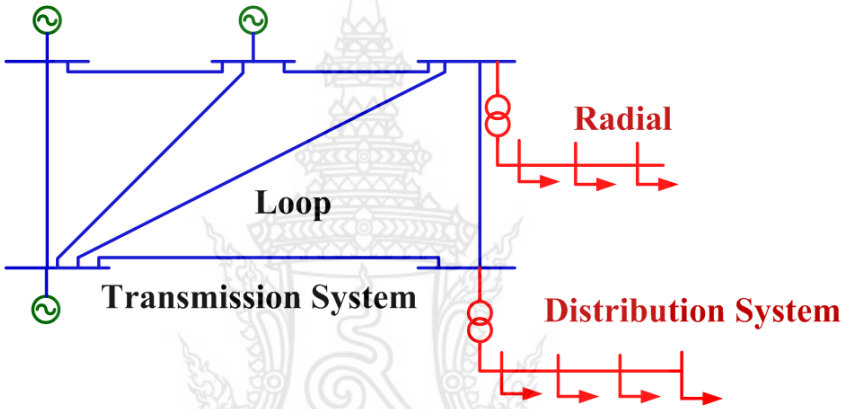
สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การวิเคราะห์ข้อมูล	31
4.1 บทนำ	31
4.2 กรณีศึกษา	31
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	33
5.1 บทนำ	33
5.2 สรุปผลการวิจัย	33
5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย	33
5.4 ข้อเสนอแนะ	33
บรรณานุกรม	35
ภาคผนวก	37
คณะผู้วิจัย	52

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

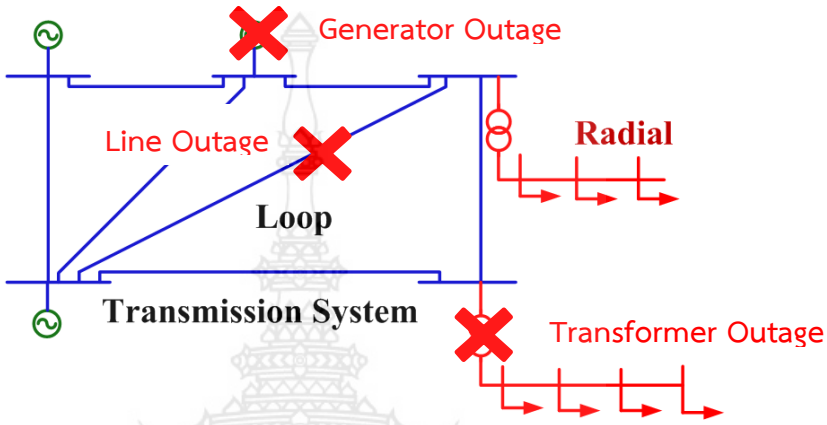
ระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบัน เมื่อเปรียบเทียบกับในอดีตนั้นจะพบว่ามีการวางโครงสร้างของระบบไฟฟ้าที่มีความซับซ้อนมากขึ้น ตามการพัฒนาของอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบไฟฟ้า ซึ่งมีความปลอดภัย และมีเสถียรภาพมากกว่าในอดีต รวมถึงตามความต้องการการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีอัตราการใช้เพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ส่วนประกอบของระบบไฟฟ้าในปัจจุบัน

นอกจากการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าแล้ว ปัจจุบันผู้ใช้ไฟฟ้ายังคาดหวังถึงเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าอีกด้วย อันเนื่องมาจากวิถีชีวิตของผู้คนในปัจจุบันเกี่ยวเนื่องกับการใช้ไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นในมุมของผู้ผลิตไฟฟ้า นอกจากจะต้องคำนึงถึงความสามารถในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอแล้ว ยังจะต้องพิจารณาถึงเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าให้มีความมั่งคงมากที่สุด ซึ่งสามารถทำได้หลากหลายวิธี เช่น การบำรุงรักษาอุปกรณ์ที่ติดตั้งอยู่ในระบบไฟฟ้า การเปลี่ยนอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น รวมถึงการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเข้าไปในระบบ เพื่อความมีเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า เป็นต้น ถึงแม้จะมีแนวทางในการลดความเสี่ยงต่างๆ การเกิดเหตุฉุกเฉินขึ้นกับระบบไฟฟ้ายังคงเป็นสิ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้ กรณีฉุกเฉินที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าหมายถึงการที่อุปกรณ์บางตัวที่ติดตั้งอยู่ในระบบเกิดความเสียหายไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ หรือการตั้งใจปิดการทำงานของอุปกรณ์บางตัวเพื่อดำเนินงานบำรุงรักษา ซ่อมแซม หรือการเปลี่ยนอุปกรณ์ เป็นต้น ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวจะส่งผลกับเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระดับความสำคัญของอุปกรณ์ที่ไม่สามารถจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้ หากเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อระบบไฟฟ้ามากย่อมส่งผลประทบร้ายแรงต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า 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

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการดำเนินงานในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังที่ โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการเคลื่อนแบบกลุ่มอนุภาค

1.2 การทบทวนงานวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อดำเนินงานในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีสภาวะฉุกเฉิน ซึ่งจุดมุ่งหมายหลักสำหรับงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

1.2.1 เรียนรู้การทำงานและวิธีการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค และการหาค่าเหมาะสมที่สุด

1.2.2 ออกแบบ และพัฒนาโปรแกรมสำหรับการดำเนินเชิงเศรษฐศาสตร์ในการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าขณะเกิดเหตุฉุกเฉินอย่างเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีการประยุกต์ใช้เทคนิคการเคลื่อนแบบกลุ่มอนุภาค โดยใช้แบบจำลองระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน

1.2.3 ศึกษารู้แบบการคำนวณการใช้เชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ขีดจำกัดต่างๆ รวมถึงรู้แบบของระบบไฟฟ้าที่นำมาวิเคราะห์

1.2.4 สามารถนำงานวิจัยไปเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานจริงได้

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อเพิ่มมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ในระบบไฟฟ้ากำลัง

1.3.2 เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลัง

1.3.3 เพื่อพัฒนาโปรแกรมการวิเคราะห์ประมวลผลการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม

1.4 วิธีการวิจัย

1.4.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทบทวนวรรณกรรม

1.4.2 ศึกษาทฤษฎีการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

1.4.3 ศึกษารูปแบบและคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1.4.4 กำหนดรูปแบบปัญหา เพื่อทดสอบการ

1.4.5 สร้างแบบทางคณิตศาสตร์ สำหรับแก้ไขปัญหา

1.4.6 ประมวลผลทดสอบ และวิเคราะห์ผล

1.4.7 สรุปผลการทดสอบ

1.4.8 รวบรวมข้อมูล เรียบเรียง ตรวจสอบ และจัดทำเอกสารรายงานผลการวิจัยและเผยแพร่ผลงาน

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1.5.1 สามารถประมวลผลการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลัง

1.5.2 เพิ่มมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ในระบบไฟฟ้ากำลัง

1.5.3 ลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้ากำลัง

1.5.4 สามารถพัฒนาโปรแกรมการวิเคราะห์ประมวลผลการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม

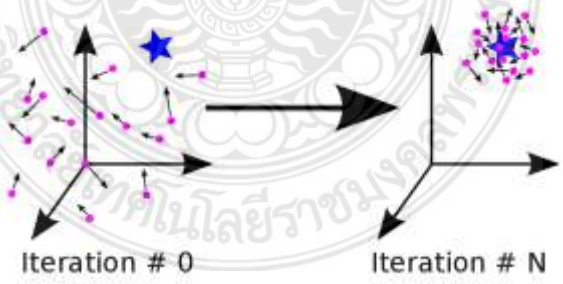
บทที่ 2
ทฤษฎี หลักการและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

การดำเนินงานในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายของเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าขณะเกิดเหตุฉุกเฉินอย่างเหมาะสมที่สุด โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการเคลื่อนแบบกลุ่มอนุภาค 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] เป็นวิธีการหาคำตอบแบบสุ่ม (Random Search Algorithm) โดยการสุ่มชุดคำตอบเบื้องต้น และใช้กลไกเลียนแบบทฤษฎีวิวัฒนาการในการปรับปรุงชุดคำตอบให้มีค่าที่เหมาะสมที่สุด PSO ก็เป็นหนึ่งในวิธีการหาคำตอบที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการประยุกต์ใช้งานกับปัญหาทางวิศวกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสมการของปัญหาเป็นแบบไม่เชิงเส้น PSO มีแนวคิดมาจากการการศึกษาพฤติกรรมของฝูงสัตว์ โดยจำลองวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดจากพฤติกรรมการเดินทางเพื่อหาอาหารของฝูงสัตว์ ตัวอย่างเช่น มีสัตว์ฝูงหนึ่งกำลังเดินทางหาแหล่งน้ำอยู่ในพื้นที่หนึ่ง สัตว์ทุกตัวไม่รู้ว่าแหล่งน้ำอยู่ที่ตำแหน่งไหนของพื้นที่นั้น ทำให้ฝูงสัตว์ต้องกระจายกันออกตามหาแหล่งน้ำ เมื่อสัตว์ตัวใดตัวหนึ่งพบร่องรอยของแหล่งน้ำ จะส่งสัญญาณบอกตำแหน่งกับตัวอื่นๆ เพื่อให้สัตว์ตัวอื่นทราบว่าแหล่งน้ำน่าจะอยู่บริเวณไหน และเดินทางมาช่วยกันหาบริเวณนั้น หากระหว่างที่เดินทางมากลับพบร่องรอยของแหล่งน้ำที่มีความเป็นไปได้ที่จะเจอแหล่งน้ำมากกว่า สัตว์ตัวนั้นก็จะส่งสัญญาณบอกตัวอื่นๆ เพื่อให้เปลี่ยนพื้นที่ในการหาแหล่งน้ำ เมื่อพื้นที่ในการค้นหาถูกจำกัดมากขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้ฝูงสัตว์พบแหล่งน้ำในที่สุด



ภาพที่ 2.1 การเคลื่อนที่ของอนุภาคไปยังเป้าหมาย

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

$$P = (P_1, P_2, ..., P_k) \tag{2.1}$$

โดยที่ P คือ อนุภาค
k คือ จำนวนอนุภาค

ตำแหน่ง และความเร็วของแต่ละอนุภาคประกอบด้วย

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, ..., x_{id}) \tag{2.2}$$
$$V_i = (v_{i1}, v_{i2}, ..., v_{id}) \tag{2.3}$$

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

แต่ละอนุภาคจะมีตำแหน่ง และความเร็วเป็นของตัวเอง การหาคำตอบของปัญหาคือการทำให้ค่าของฟังค์ชั่นเป้าหมาย Objective Function มีค่าต่ำที่สุดหรือสูงที่สุดแล้วแต่กรณี โดยที่ฟังค์ชั่นเป้าหมายประกอบด้วยตัวแปรถูกเรียกว่ามิติของปัญหา เช่นหากฟังค์ชั่นเป้าหมายมีตัวแปร 2 ตัว มิติของปัญหาจึงเท่ากับ 2 และคำตอบของปัญหาคือตำแหน่งของอนุภาคที่ดีที่สุด หากนำค่าดังกล่าวไปแทนในฟังค์ชั่นเป้าหมายค่าที่ได้ถูกเรียกว่า Fitness Value การจะให้ได้มาซึ่งตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคโดยวิธี PSO นั้นจะต้องมีการเก็บข้อมูล 2 ชุดคือ ข้อมูลตำแหน่งที่ดีที่สุดของแต่ละอนุภาค (Personal best position หรือ pbest) และ ข้อมูลตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคทั้งกลุ่ม (Global best position หรือ gbest) ดังนั้นหากอนุภาคถูกแทนด้วยพารามิเตอร์ของปัญหา แต่ละอนุภาคจะประกอบไปด้วยตัวแปรดังนี้

$$P_k = (X, V, FitnessValue, pbest, gbest) \tag{2.4}$$

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]

$$v_{id}(t+1) = wv_{id}(t) + c_1 r_{1d}(t)[y_{id}(t) - x_{id}(t)] + c_2 r_{2d}(t)[\hat{y}_d(t) - x_{id}(t)] \qquad (2.5)$$

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

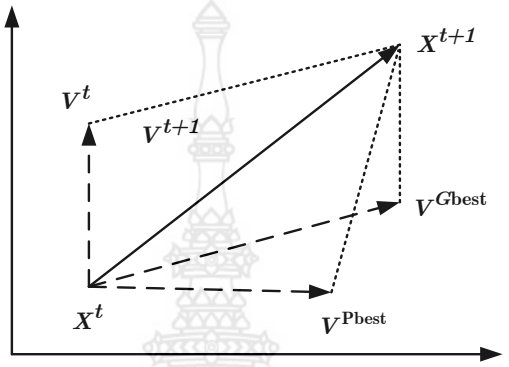
ค่าน้ำหนักความเฉื่อยในแต่ละรอบการทำงานจะถูกปรับปรุงค่าตามสมการที่ 2.6

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

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

เมื่อความเร็วของแต่ละอนุภาคถูกปรับปรุงใหม่ตามสมการที่ 2.5 แล้วตำแหน่งของแต่ละอนุภาคจึงจะถูกปรับปรุงดังสมการที่ 2.7

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

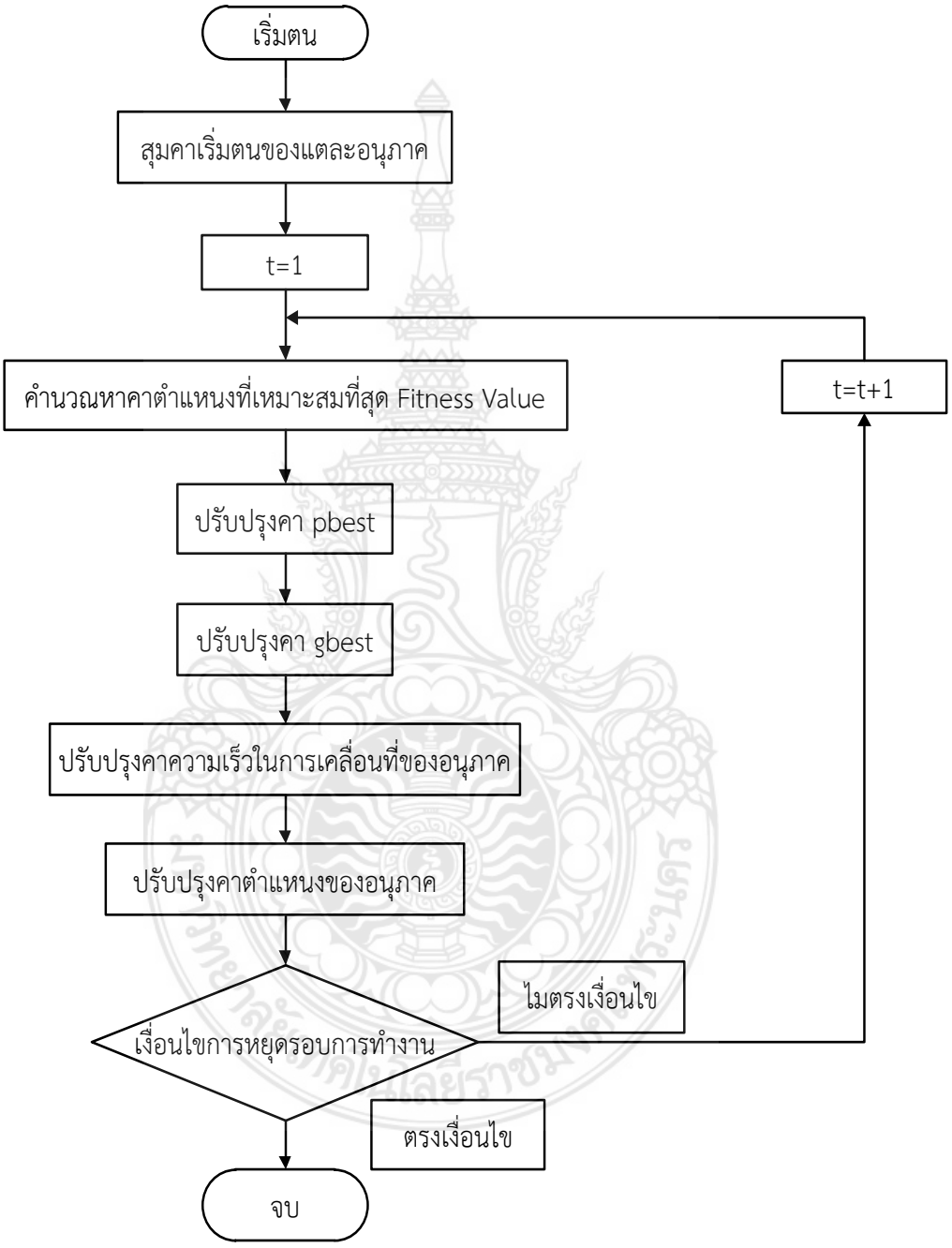


ภาพที่ 2.2 การปรับปรุงค่าความเร็ว และตำแหน่งของอนุภาค

ขั้นตอนในการประเมินเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดประกอบด้วยการปรับปรุงความเร็ว และตำแหน่งของอนุภาคดังแสดงในภาพที่ 2.2 โดยการวนรอบจนกว่าจะลู่เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุด ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ เงื่อนไขหลายๆเงื่อนไข อาจถูกนำมาใช้เป็นเกณฑ์เพื่อใช้ในการหยุดการคำนวณ เช่น การกำหนดรอบการทำงานสูงสุด หรือคำตอบที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง 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 ด้วยฟังค์ชั่นเป้าหมาย (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

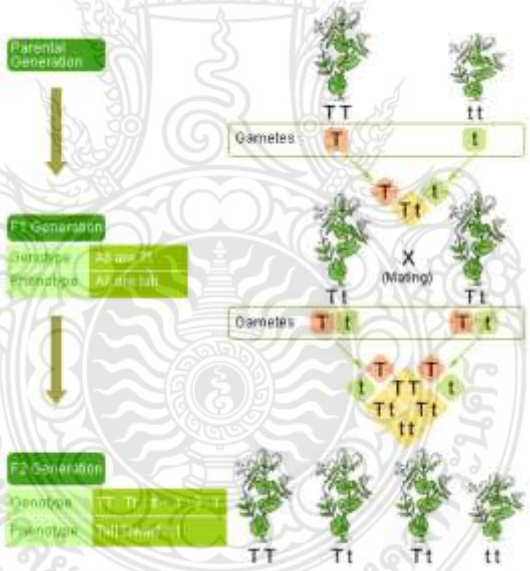


ภาพที่ 2.3 แผนผังอัลกอลิทึมพื้นฐานของการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค

2.3 วิธีเจนเนติก (Genetic Algorithm)

วิธีเจนเนติก (Genetic Algorithm) เป็นเทคนิคทางปัญญาประดิษฐ์วิธีหนึ่งที่ใช้ในการค้นหาคำตอบการหาค่าเหมาะสมที่สุด ด้วยการเลียนแบบการวิวัฒนาการทางธรรมชาติ โดยวิธีเจนเนติกมีจุดเด่นคือสามารถค้นหาคำตอบจากแหล่งข้อมูลที่มีความซับซ้อนและยากที่จะสร้างแบบจำลองด้วยสมการคณิตศาสตร์ เนื่องจากเป็นกระบวนการค้นหาที่ไม่มีความเฉพาะเจาะจงกับแบบจำลองหรือลักษณะเฉพาะของข้อมูลแบบใดแบบหนึ่ง [5] ด้วยเหตุนี้การหาค่าเหมาะสมที่สุด ด้วยวิธีเจนเนติกจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาได้หลากหลายรูปแบบ โดยหลักการของวิธีเจนเนติก เป็นการเลียนแบบกระบวนการวิวัฒนาการตามธรรมชาติ เพื่อพัฒนาหรือทำการวิวัฒนาการในการหาคำตอบที่ดีที่สุด

วิธีเจนเนติกเป็นวิธีที่เลียนแบบทฤษฎีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตตามธรรมชาติ ซึ่งจะมีการวิวัฒนาการเพื่อความอยู่รอด โดยการศึกษาลักษณะสายพันธุ์ของพืช จากการศึกษาในอดีตพบว่าลักษณะทางพันธุกรรมสามารถถ่ายทอดไปยังรุ่นลูกรุ่นหลานได้ เช่นรูปร่างลักษณะ หรือสีของดอกไม้ โดยสามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะคือ ลักษณะเด่น และลักษณะด้อย ซึ่งการเกิดลักษณะทางพันธุกรรมในรุ่นถัดๆไปนั้น เป็นผลมาจากขบวนการสืบพันธุ์ของรุ่นพ่อแม่



ภาพที่ 2.4 ตัวอย่างการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต

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

Value) เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในกระบวนการวิวัฒนาการชุดคำตอบ ดังนั้นหากประชากรถูกแทนด้วยพารามิเตอร์ของปัญหา แต่ละประชากรจะประกอบไปด้วยตัวแปรดังนี้

$$P_k = (\text{Chomosome}, Fitness\,Value) \tag{2.8}$$

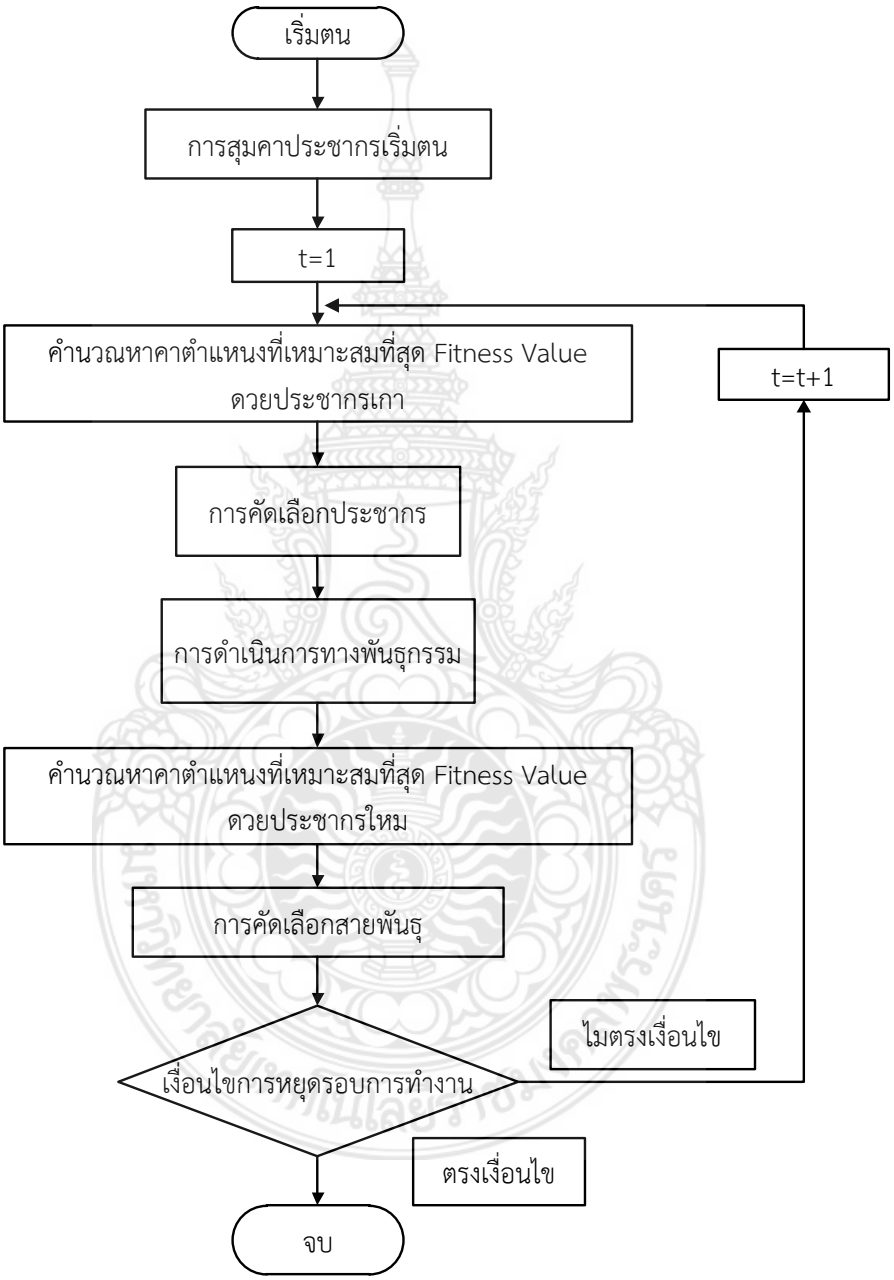
การแทนโครโมโซมด้วยพารามิเตอร์ที่ใช้ในการค้นหาคำตอบของปัญหา โดยปกติสามารถแทนได้ 2 ลักษณะคือ สร้างจากเลขจำนวนจริง หรือสร้างจากเลขไบนารี่ฐาน 2 อย่างไรก็ตามการสร้างจากเลขฐาน 2 นั้นจะมีขั้นตอนที่ยุ่งยากมากกว่า เนื่องจากจะต้องมีขั้นตอนการแปลงเลข

การดำเนินการทางพันธุกรรม (Genetic operation) คือหัวใจของวิธีการเจนเนติกประกอบด้วย ขั้นตอนการผสมยีน (Crossover) คือการแลกเปลี่ยนยีนระหว่างโครโมโซม ซึ่งจะถูกกำหนดอัตราการผสมยีนด้วยความน่าจะเป็น การผสมยีนมีหลายรูปแบบตั้งแต่การแลกเปลี่ยนยีนแบบหนึ่งตำแหน่ง (One-point crossover) คือการแลกเปลี่ยนยีน 1 ตัว ณ ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งที่ได้จากการสุ่มระหว่างโครโมโซมพ่อแม่ที่ถูกจับคู่กัน การแลกเปลี่ยนยีนแบบ 2 ตำแหน่ง (Two-point crossover) จนถึงการแลกเปลี่ยนยีนหลายตำแหน่ง (Uniform crossover) เมื่อโครโมโซมผ่านขบวนการผสมยีนเรียบร้อยแล้วจะเข้าสู่ขั้นตอนการกลายพันธุ์ (Mutation) คือการทำการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะภายในโครโมโซมในบางตำแหน่งของรุ่นลูกเพื่อให้เกิดลักษณะใหม่ๆเกิดขึ้น

การหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธีเจนเนติกสามารถแสดงได้ตามแผนผังในภาพที่ 2.5 โดยสามารถสรุปได้ 8 ขั้นตอนดังนี้

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

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



ภาพที่ 2.5 แผนผังอัลกอลิทึมพื้นฐานของวิธีเจนเนติก

2.4 การไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow)

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

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

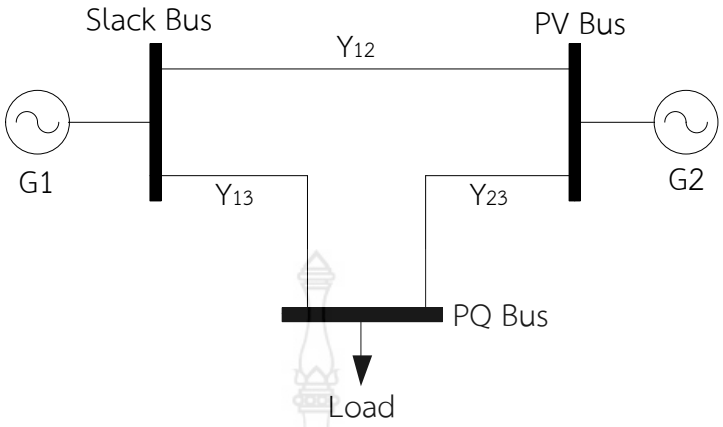
1. ขนาดของแรงดันไฟฟ้า $|V|$
2. มุมของแรงดันไฟฟ้า $\angle\delta$
3. กำลังไฟฟ้าจริง P
4. กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

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 และกำลังไฟฟ้าจริงจึงมีค่าคงที 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 ใดๆในระบบไฟฟ้ากำลังจะมีความสัมพันธ์กับแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าดังนี้

$$S_i = V_i I_i^* \tag{2.9}$$

$$S_i^* = V_i^* I_i \tag{2.10}$$

จะได้

$$P_i - \mathrm{j}Q_i = V_i^* I_i \tag{2.11}$$

กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านบัส i จากสมการที่ (2.11) จะได้

$$I_i = \frac{P_i - \mathrm{j}Q_i}{V_i^*} \tag{2.12}$$

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

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

แทนสมการที่ (2.13) ลงในสมการที่ (2.12)

$$Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \ldots + Y_{ii}V_i + \ldots + Y_{in}V_n = \frac{P_i - \mathrm{j}Q_i}{V_i^*} \qquad (2.14)$$

จัดรูปสมการใหม่จะได้

$$Y_{ii}V_i = \frac{P_i - \mathrm{j}Q_i}{V_i^*} - (Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \ldots + Y_{i(i-1)}V_{i-1} + Y_{i(i+1)}V_{i+1} + \ldots + Y_{in}V_n) \qquad (2.15)$$

ดังนั้นแรงดันที่บัส i ใดๆจะเท่ากับ

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

กำลังไฟฟ้าในสมการที่ 2.10 สามารถเปลี่ยนให้อยู่ในเทอมของแรงดันไฟฟ้าบัส และแอดมิตแตนซ์ของระบบได้โดยแทนสมการที่ 2.13 ลงในสมการที่ 2.10 จะได้

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

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

จากสมการที่ 2.16 จะพบว่าสมการแรงดันไฟฟ้าที่บัสใดๆเป็นสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้น การแก้ไขปัญหาเพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้าของบัสในระบบไฟฟ้าจึงเป็นเรื่องที่ซับซ้อน ในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้วิธีของนิวตัน-ราฟสัน ในการช่วยหาคำตอบของสมการ

วิธีของนิวตัน-ราฟสัน มีขั้นตอนที่ซับซ้อนแต่มีประสิทธิภาพสูง คือสามารถได้ผลลัพธ์โดยใช้รอบในการคำนวณที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ วิธีของนิวตัน-ราฟสันใช้หลักการของอนุกรมเทเลอร์ช่วยในการแก้ปัญหาดังสมการดังต่อไปนี้

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

ถ้า Δx มีค่าน้อยมากๆ เทอมที่เป็นค่าอนุพันธ์จึงสามารถละทิ้งได้ดังนั้น

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

กรณีที่ฟังค์ชั่น f มีหลายตัวแปรจะสามารถเขียนสมการได้เป็น

$$\begin{aligned} &y = f(x_1, x_2, \ldots, x_n) \\ &y = f(x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \ldots, x_n^{(0)}) + \left.\frac{\partial f}{\partial x_1}\right|_{(0)} \Delta x_1 + \left.\frac{\partial f}{\partial x_2}\right|_{(0)} \Delta x_2 + \ldots + \left.\frac{\partial f}{\partial x_n}\right|_{(0)} \Delta x_n \end{aligned} \tag{2.21}$$

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

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

สำหรับสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้นใดๆ จำนวน n สมการสามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ โดยใช้สมการที่ 2.22 จะได้

$$\begin{bmatrix} \Delta y_1 \\ \Delta y_2 \\ \vdots \\ \Delta y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \cdots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x_1 \\ \Delta x_2 \\ \vdots \\ \Delta x_n \end{bmatrix} \tag{2.23}$$

หรือเขียนแทนด้วยสมการเมทริกซ์อย่างย่อได้เป็น

$$\left[\Delta y\right] = \left[J\right]\left[\Delta x\right] \tag{2.24}$$

โดยที่ $\left[J\right]$ ถูกเรียกว่าจาโคเบียนเมทริกซ์

ขั้นตอนการทำงานวิธีนิวตัน-ราฟสันสามารถสรุปได้ดังนี้

1. คำนวณองค์ประกอบของจาโลเบียนเมทริกซ์ด้วยสมการ
2. กำหนดค่าเริ่มต้นของตัวแปร และแทนค่าในสมการเพื่อหาค่าฟังค์ชั่นที่เปลี่ยนแปลง Δy
3. แทนค่าที่ได้ในข้อ 2 ลงในสมการที่ 2.23 เพื่อหาค่าฟังค์ชั่นที่เปลี่ยนแปลง Δx
4. หาค่าตัวแปรใหม่ในข้อที่ 2 และข้อที่ 3
5. หาค่าฟังค์ชั่นที่เปลี่ยนแปลง Δy ใหม่
6. ทำการวนรอบตั้งแต่ข้อที่ 2 ถึงข้อที่ 5 จนค่าการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรเข้าใกล้ศูนย์

การประยุกต์ใช้วิธีนิวตัน-ราฟสันในการแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าสามารถทำได้โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ประกอบอยู่ในสมการกำลังไฟฟ้า 2.18 ดังนี้

$$V_i = \left|V_i\right| \angle \delta_i \tag{2.25}$$

$$V_j = \left|V_j\right| \angle \delta_j \tag{2.26}$$

$$V_{ij} = \left|V_{ij}\right| \angle \theta_{ij} \tag{2.27}$$

แทนสมการที่ 2.25, 2.26 และ 2.27 ลงในสมการ 2.18 จะได้

$$P_i - \mathrm{j}\, Q_i = \sum_{j=1}^{n} \left|V_i V_j Y_{ij}\right| \angle (\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \tag{2.28}$$

สมการกำลังไฟฟ้าจริงคือ

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

จัดรูปแบบสมการใหม่เมื่อ $j \neq i$ จะได้

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

และสมการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟคือ

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

จัดรูปแบบสมการใหม่เมื่อ $j \neq i$ จะได้

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

รูปแบบสมการเมทริกซ์สำหรับการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าโดยใช้วิธีนิวตัน-ราฟสันคือ

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_i \\ \Delta \left| V_i \right| \end{bmatrix} \tag{2.33}$$

บัสอ้างอิงจะไม่นำมาใช้ในการคำนวณเนื่องจากทราบค่า $\left|V\right|$ และ $\angle\delta$ แล้ว เมื่อกำหนดให้บัส 1 คือบัสอ้างอิงรูปแบบสมการเมทริกซ์สำหรับการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าจะได้

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & J_1 & \vdots & \vdots & J_2 & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & J_3 & \vdots & \vdots & J_4 & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \cdots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \cdots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \tag{2.34}$$

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

องค์ประกอบของ J_1 คือ

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

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

และ

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

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

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

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

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

และ

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

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

องค์ประกอบของจาโคเบียนเมทริกต์จะทำการคำนวณใหม่ทุกครั้ง จากค่าแรงดันไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าจากการคำนวณครั้งล่าสุด

2.5 ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

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

ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยทั่วไปจะอยู่ในรูปฟังค์ชั่นต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่แปรตามกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นๆ ถึงแม้ว่าในความเป็นจริงต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าอาจรวมถึงค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ค่าเสื่อมราคา หรือค่าการดำเนินงานอื่นๆ ก็ตาม เนื่องจากว่าการใช้ฟังค์ชั่นต้นทุนการผลิตไฟฟ้าแบบนี้จะทำให้ได้สมการที่สอดคล้อง และง่ายต่อการคำนวณ ทำให้ฟังค์ชั่นดังกล่าวถูกใช้งานกันอย่างแพร่หลาย

ในการทำงานจริงของระบบไฟฟ้า ฟังค์ชั่นต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าจะถูกสร้างขึ้นในรูปแบบของสมการกำลังสอง (Quadratics Function) ซึ่งจะเป็นจริงตลอดช่วงตามขีดจำกัดในการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และค่าอนุพันธ์นี้เรียกว่า ต้นทุนส่วนเพิ่ม หรือ อัตราความร้อน ในกรณีที่ต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าอยู่ในรูปแบบไม่ต่อเนื่อง เป็นผลมาจากการเพิ่มหม้อไอน้ำเข้าไปในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตัวควบแน่น หรืออุปกรณ์อื่นๆ ที่มีลักษณะการทำงานไม่ต่อเนื่อง ซึ่งเป็นอุปกรณ์ในการเพิ่มกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้สามารถทำงานได้ตั้งแต่ช่วงขีดความสามารถต่ำสุดจนถึงพิกัดการผลิตสูงสุด รูปแบบความสัมพันธ์ของฟังค์ชั่นต้นทุนสามารถอธิบายได้ตามสมการดังนี้

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

โดยที่ F_i คือ ฟังค์ชั่นค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

P_i คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตได้จากของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

หากทราบฟังค์ชั่นต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูปแบบค่าเงินต่อชั่วโมง $(\$ \ / \ hr)$ ถ้าทำการหาอนุพันธ์ของฟังค์ชั่นเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่จ่ายจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะทำให้ได้ค่าของต้นทุนส่วนเพิ่ม

บ่อยครั้งที่มีการแทนฟังค์ชั่นต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าในรูปแบบของ btu เนื่องจากว่าราคาค่าเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งสอดคล้องกับอายุการใช้งานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า กราฟต้นทุนในการผลิตกำลังไฟฟ้าและต้นทุนส่วนเพิ่มจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างประหยัด

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

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

U. Leeton (2010) นำเสนอผลงานวิจัยการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ซึ่งพิจารณาในมุมมองของกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งไฟฟ้า โดยใช้เทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค มีวุตถุประสงค์เพื่อลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งไฟฟ้าให้มีค่าต่ำที่สุด โดยพิจารณาเงื่อนไข 4 เงื่อนไข คือ 1. กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้า 2. ระดับแรงดันไฟฟ้าที่บัส 3. ตำแหน่ง Tap ของหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบ 4. กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่ถูกจ่ายจากแหล่งจ่ายเพิ่มเติม 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

งานวิจัยฉบับนี้ได้ศึกษาวิธีการดำเนินงานในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังที่ ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค โดยใช้แบบจำลองระบบไฟฟ้าตามมาตรฐาน การวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม คือ การวางแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องที่ติดตั้งอยู่ในระบบไฟฟ้า ให้สามารถจ่ายโหลดได้อย่างเพียงพอ และมีประสิทธิภาพ การประมวลผลการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม โดยพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้ามีค่าต่ำที่สุดสามารถคำนวณ

3.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม

วัตถุประสงค์หลังของการวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม คือการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้แต่ละเครื่อง ให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอ โดยมีเงื่อนไขสำคัญคือต้องให้มีต้นทุนที่ต่ำที่สุด ซึ่งอยู่รูปของฟังค์ชั่นเชื้อเพลิง ด้วยเหตุนี้ฟังค์ชั่นเป้าหมาย (Objective Function) ของการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมคือ

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

โดยที่ Z คือ ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตกำลังไฟฟ้ารวม

$F_i(P_{Gi})$ คือ ต้นทุนที่ใช้ในการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า G_i

งานวิจัยนี้จะใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อน ซึ่งฟังค์ชั่นอัตราการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตกำลังไฟฟ้าจะแสดงอยู่ในรูปสมการกำลังสองดังสมการที่ (3.2)

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

โดยที่ P_i คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า G_i

a_i, b_i, c_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ต้นทุนการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า G_i

1. สมการในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

$$P_i = \sum_{j=1}^{n} \left| V_i V_j Y_{ij} \right| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \tag{3.3}$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^{n} \left| V_i V_j Y_{ij} \right| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \tag{3.4}$$

2. พิกัดแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$V_{Gi}^{\min} \le V_{Gi} \le V_{Gi}^{\max} \tag{3.5}$$

3. พิกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้า

$$P_{Gi}^{\min} \le P_{Gi} \le P_{Gi}^{\max} \tag{3.6}$$

4. พิกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

$$Q_{Gi}^{\min} \le Q_{Gi} \le Q_{Gi}^{\max} \tag{3.7}$$

5. พิกัดแรงดันไฟฟ้าที่บัสโหลด

$$V_{\text{Load},i}^{\min} \le V_{\text{Load},i} \le V_{\text{Load},i}^{\max} \tag{3.8}$$

เมื่อ P_i, Q_i คือ กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่บัส i

V_i, V_j คือ แรงดันที่บัส i และ j

Y_{ij} คือ แอดมิดแตนซ์ระหว่างบัส i และ j

$V_{Gi}^{\min}, V_{Gi}^{\max}$ คือ ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส i

$P_{Gi}^{\min}, P_{Gi}^{\max}$ คือ ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของกำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i

$Q_{Gi}^{\min}, Q_{Gi}^{\max}$ คือ ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i

$T_i^{\min}, T_i^{\max}$ คือ ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแท็ปหม้อแปลงไฟฟ้า

$V_{\text{Load},i}^{\min}, V_{\text{Load},i}^{\max}$ คือ ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสโหลด i

3.3 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้ศึกษาวิธีการดำเนินงานในเชิงเศรษฐศาสตร์สำหรับการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีสภาวะฉุกเฉิน โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับฟังค์ชั่นการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด โดยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค

2. สุ่มค่าเริ่มต้นของคำตอบที่ต้องการหา (Initial Particle) ซึ่งประกอบด้วย ตำแหน่งของอนุภาค $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, ..., x_{id})$ และความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาค $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, ..., v_{id})$ ซึ่ง gbest คือคำตอบของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค นั้นคือกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง ดังนั้นการสุ่มค่าเริ่มต้นตำแหน่งของอนุภาคจึงต้องอยู่ภายใต้พิกัดของกำลังการผลิตไฟฟ้าแต่ละเครื่อง และมีจำนวนมิติของปัญหาตามจำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3. กำหนดรอบการทำงานเริ่มต้น $Iter(t) = 0$

4. คำนวณหาค่าความเหมาะสมของอนุภาค (Fitness Value) โดยการใช้ X_i คำนวณโดยใช้ฟังค์ชั่นเป้าหมาย สำหรับการคำนวณฟังค์ชั่นเป้าหมายค่า X_i ที่ส่งให้จะต้องถูกนำไปคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าก่อน เพื่อให้ทราบค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสอ้างอิง จากนั้นเมื่อได้ค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าของทุกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแล้วจึงนำค่าที่ได้ไปคำนวณในฟังค์ชั่นเป้าหมายตามสมการที่ 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 (พิกัดของกำลังการผลิตไฟฟ้าแต่ละเครื่อง)

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

บทที่ 4

การวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 บทนำ

บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค โดยพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์ในระบบไฟฟ้า วิเคราะห์ผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะดำเนินการโดยพิจารณากรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ในอัตราต่ำที่สุดที่สามารถจ่ายได้ รวมถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้จากการวิเคราะห์ ซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้า

4.2 กรณีศึกษา

การประมวลผลทดสอบกับกรณีศึกษาในแบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลังที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 40 เครื่อง [12] ซึ่งมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าตามรูปแบบการโหลดรายวันดังแสดงในตารางที่ 4.1 และค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 40 เครื่อง ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 รูปแบบการโหลดรายวัน

Load Patterns	Pattern 1	Pattern 2	Pattern 3	Pattern 4	Pattern 5	Pattern 6
Power (MW)	6314	8231	9315	11295	8501	7530

ตารางที่ 4.2 พารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จำนวน 40 เครื่อง

Generator	a	b	c	P_i^{min}	P_i^{min}
1	0.0069	6.73	94.705	36	114
2	0.0069	6.73	94.705	36	114
3	0.02028	7.07	309.54	60	120
4	0.00924	8.18	369.03	80	190
5	0.0114	5.35	148.89	47	97
6	0.01142	8.05	222.33	68	140
7	0.00357	8.03	278.81	110	300
8	0.00492	6.99	391.98	135	300
9	0.00573	6.6	445.76	135	300
10	0.00605	12.9	722.82	130	300
11	0.00515	12.9	635.20	94	375
12	0.00569	12.8	654.69	94	375
13	0.00421	12.5	913.40	125	500
14	0.00752	8.84	1760.4	125	500
15	0.00708	9.15	1728.3	125	500
16	0.00708	9.15	1728.3	125	500
17	0.00313	7.97	647.85	220	500
18	0.00313	7.95	649.69	220	500
19	0.00313	7.97	647.83	242	550
20	0.00313	7.97	647.81	242	550
21	0.00298	6.63	785.96	254	550
22	0.00298	6.63	785.96	254	550
23	0.00284	6.66	794.53	254	550
24	0.00284	6.66	794.53	254	550
25	0.00277	7.10	801.32	254	550
26	0.00277	7.10	801.32	254	550
27	0.52124	3.33	1055.1	10	150
28	0.52124	3.33	1055.1	10	150
29	0.52124	3.33	1055.1	10	150
30	0.0114	5.35	148.89	47	97
31	0.0016	6.43	222.92	60	190
32	0.0016	6.43	222.92	60	[0
33	0.0016	6.43	222.92	60	190
34	0.0001	8.95	107.89	90	200
35	0.0001	8.62	116.58	90	200
36	0.0001	8.62	116.58	90	200
37	0.0161	5.88	307.45	25	110
38	0.0161	5.88	307.45	25	110
39	0.0161	5.88	307.45	25	110
40	0.00313	7.97	647.83	242	550
			Total	4817	12722

ผลการวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม โดยพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์อย่างเหมาะสม ด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการประมวลทดสอบการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม

Generator	Pattern 1	Pattern 2	Pattern 3	Pattern 4	Pattern 5	Pattern 6
1	114	114	114	114	114	113.987
2	113.998	114	113.998	114	114	114
3	63.034	119.928	120	119.927	119.997	100.213
4	80.005	153.309	190	190	175.467	117.381
5	96.976	96.993	97	97	97	97
6	89.201	139.995	140	140	140	139.972
7	201.193	299.999	300	299.972	300	299.975
8	135.001	135.002	144.172	300	135.016	135.064
9	135.022	144.586	185.014	300	152.222	135
10	130	130.002	130	300	130.000	130
11	94	94	149.522	375	94.026	94
12	94.020	166.729	368.937	374.977	198.971	94
13	125	144.815	353.317	499.969	209.266	125.001
14	125.004	152.358	239.598	500	175.511	125
15	125.001	125.001	157.258	432.126	125.482	125
16	125.003	288.628	436.422	499.949	311.680	201.718
17	369.458	500	499.988	500	500	500
18	293.054	499.999	500	500	500	452.147
19	242	455.705	549.999	549.945	515.785	316.441
20	339.924	549.990	550	549.999	549.996	482.575
21	451.381	550	550	550	550	550
22	418.627	550	550	550	550	549.999
23	254	343.254	407.639	550.000	369.778	281.296
24	254	339.814	404.595	549.618	339.453	265.478
25	254.008	254.032	254	550	254.011	254.001
26	307.479	550	550	550	549.997	474.257
27	10	10.436	12.917	102.675	11.173	10.170
28	10	10	11.264	86.346	10	10
29	10	10	10.008	52.717	10.004	10
30	47.001	47.026	47	47	47	47.001
31	190	190	190	190	190	190
32	190	190	190	190	190	190
33	190	190	190	190	190	190
34	200	200	200	200	199.998	200
35	200	199.999	200	199.997	199.998	199.983
36	162.557	200.000	200	200	200.000	199.938
37	25	52.511	88.493	110	65.168	25.002
38	105.339	109.989	109.999	110	109.999	110
39	79.826	109.978	109.989	109.953	110	110
40	242	307.395	495.613	550.009	352.737	242.004
Total Power (MW)	7070.21	9447.93	10906.51	14115.07	9814.45	8485.20
Total Power Loss (MW)	178.105	608.464	795.754	1719.900	656.725	477.601
Cost ($)	80742	102700	118520	217670	106430	93852

งานวิจัยนี้มีเป้าหมายหลักคือการวิเคราะห์ผลในเชิงเศรษฐศาสตร์ของการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค ด้วยแบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งทำให้การจัดการการจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นเรื่องที่มีความซับซ้อนมากกว่าระบบไฟฟ้าในสภาวะปกติ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาคในการบริหารการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าลงได้ทำให้ช่วยให้ต้นทุนรวมของการผลิตให้ต่ำลงได้ในขณะที่ต้องอยู่ภายใต้ข้อจำกัดทั้งหมดและสามารถช่วยลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 บทนำ

ผลลัพธ์ที่ได้จากผลการศึกษาของงานวิจัย พบว่าการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่ม จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาคมีความยืดหยุ่นในการนำมาประยุกต์ใช้งาน และให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำ

5.2 สรุปผลการวิจัย

ระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบันมีขนาดใหญ่ประกอบไปด้วยโรงไฟฟ้าจำนวนมาก ซึ่งโรงไฟฟ้าแต่ละชนิดมีประสิทธิภาพและต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกัน การจ่ายโหลดโดยทั่วไป อาศัยหลักการสมดุลของกำลังงานนั่นคือ การจ่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตอบรองรับความต้องการของโหลดได้ ดังนั้น การวางแผนการผลิตไฟฟ้าให้กับโรงไฟฟ้าแต่ละโรงเป็นปัญหาที่สำคัญเพราะจะส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตโดยรวมของทั้งระบบ ซึ่งจะใช้ในการกำหนดค่าไฟฟ้านั่นเอง การผลิตกำลังไฟฟ้าที่ต้นทุนต่ำ จะทำให้ได้กำไรจากการขายไฟสูงสุดเมื่อให้อัตราค่าไฟฟ้ามีค่าคงที่ การวางแผนในลักษณะนี้จำเป็นที่จะต้องทราบคุณสมบัติของต้นทุนการผลิตในหน่วยของเงินของโรงไฟฟ้าแต่ละโรงต่อหน่วยของ MW ที่ผลิตขึ้น ซึ่งโครงการนี้ได้เสนอเทคนิคการวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมโดยนำเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดมาประมวลผลกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกมาแต่ละโรงไฟฟ้า

5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการวิจัย

การศึกษาวิธีการ รวมถึงการใช้งานโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเขียนโปรแกรมให้ได้ตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้มีความซับซ้อน

5.4 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดมีหลากหลายวิธี ที่จะนำมาประยุกต์ใช้งานกับการวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมได้ อาจเป็นไปได้ที่จะพบวิธีการหาค่าที่รวดเร็ว และแม่นยำกว่าวิธีที่ได้นำเสนอ โดยมีข้อเสนอแนะดังนี้

1. งานวิจัยฉบับนี้ไม่ได้พิจารณาถึงหม้อแปลงไฟฟ้าที่ถูกติดตั้งอยู่ในแบบจำลองระบบไฟฟ้า
2. งานวิจัยฉบับนี้ไม่ได้พิจารณาถึงกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สายส่งไฟฟ้าแต่ละสายส่งสามารถจ่าย
3. งานวิจัยฉบับนี้ยังไม่ได้พิจารณากรณีฉุกเฉินอันเนื่องมาจากสถานีไฟฟ้าย่อยไม่สามารถส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าได้

ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์
บทความวิชาการที่ตีพิมพ์ในการประชุมวิชาการระดับชาติ

การจ่ายโหลดเชิงเศรษฐศาสตร์อย่างเหมาะสม ด้วยวิธีกลุ่มอนุภาคในระบบไฟฟ้ากำลัง

Optimal Economic Load Dispatch with Particle Swarm in Power System

อรุณ ชลังสุทธิ์[1] และนัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ[1*]

Aroon Charlangsut[1] and Nattachote Rugthaicharoencheep[1*]

บทคัดย่อ

การจ่ายโหลดอย่างประหยัดเชิงเศรษฐศาสตร์เป็นวิธีการประมวลผลการทำงานของระบบไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพต้นทุนต่ำและเชื่อถือได้มากที่สุดโดยจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่มีอยู่เพื่อจ่ายไปยังโหลดอย่างเหมาะสมวัตถุประสงค์หลักของการจ่ายโหลดอย่างประหยัด คือ การจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการโหลดในราคาที่ต่ำที่สุดภายใต้ข้อจำกัดการดำเนินงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและระบบทั้งหมด ด้วยกำลังไฟฟ้าที่จ่ายออกอย่างเหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละหน่วย สามารถนำไปสู่การประหยัดต้นทุนที่สำคัญของระบบการผลิตได้บทความนี้นำเสนอเทคนิคการจ่ายโหลดเชิงเศรษฐเชิงศาสตร์อย่างเหมาะสมโดยพิจารณาจากรูปแบบ โหลดรายวันและข้อจำกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาคในการหาคำตอบที่เหมาะสม มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งปัญหาการปรับค่ากำลังไฟฟ้าให้เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับข้อจำกัดของระบบซึ่งประกอบด้วยความสมดุลของกำลังไฟฟ้าและการจ่ายกำลังไฟฟ้าแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การประยุกต์ใช้วิธีกลุ่มอนุภาคเป็นกลยุทธ์ที่เป็นประโยชน์ในการหาคำตอบ วิธีการที่เสนอนั้นสามารถพิจารณา การจ่ายกำลังไฟฟ้าสำหรับหน่วยการผลิตพลังงานทั้งหมดเพื่อให้ฟังก์ชั่นค่าใช้จ่ายข้อจำกัดโดยรวมลดลงประสิทธิภาพของวิธีการที่พัฒนาขึ้น ประมวลผลทดสอบกับกรณีศึกษาในแบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลังที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 40 เครื่อง จากผลการทดสอบพบว่าเทคนิคที่เสนอสามารถช่วยให้ต้นทุนรวมของการผลิตให้ต่ำลงได้ ในขณะที่ต้องอยู่ภายใต้ข้อจำกัดทั้งหมดและสามารถช่วยลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้

คำสำคัญ : การจ่ายโหลดเชิงเศรษฐศาสตร์, ระบบไฟฟ้ากำลัง, เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุด

ABSTRACT

Economic load dispatch ELD is the method of determining the most efficient, low-cost and reliable operation of a power system by dispatching the available electricity generation resources to supply the load on the system. The main objective of ELD is to schedule the committed generating units output to meet the required load demand at minimum cost satisfying all unit and system operational constraints. With the proper scheduled outputs of generating units, it can lead to a significant cost saving of generating systems. This paper presents an optimization technique to economic load dispatch (ELD) problems with considering the daily load patterns and generator constraints using a particle swarm optimization (PSO). The objective is to minimize the fuel cost. The optimization problem is subject to system constraints consisting of power balance and generation output of each units. The application of a constriction factor into PSO is a useful strategy to ensure convergence of the particle swarm algorithm. The proposed method is able to determine, the output power generation for all of the power generation units, so that the total constraint cost function is minimized. The performance of the developed methodology is demonstrated by case studies in test system of fifteen-generation units. The results show that the proposed algorithm gives the minimum total cost of generation while satisfying all the constraints and benefiting greatly from saving in power loss reduction.

Keywords : Economic Dispatch, Power System, Optimization Technique

[1] สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800

[1] Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon, Wongsawang, Bangsue, Bangkok10800, Thailand

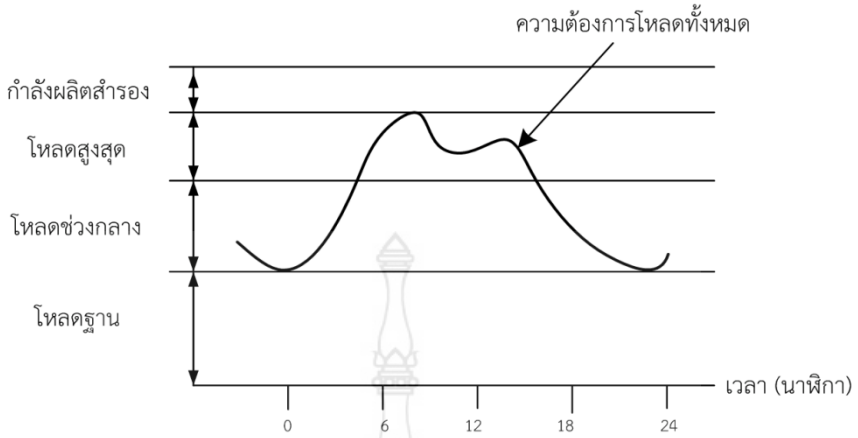
ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (Corresponding author, e-mail) : nattachote.r@rmutp.ac.th

บทนำ

ระบบไฟฟ้ากำลังสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าของระบบได้ โดยอาศัยกำลังผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในโรงจักรไฟฟ้า ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหล่านี้จะถูกควบคุมให้สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบได้อย่างเพียงพอ แต่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละยูนิตมีประสิทธิภาพในการผลิตกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันจึงทำให้ขีดความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้านั้นแตกต่างกันตามไปด้วย โดยปกติแล้วระบบจะทำการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากโรงจักรไฟฟ้าที่เสียค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดก่อน เช่น ในกรณีของโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำจะผลิตกำลังไฟฟ้าตลอดเวลา แต่ในความเป็นจริง โรงจักรไฟฟ้าพลังงานน้ำนี้ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอทั้งหมดในระบบได้ จึงจำเป็นต้องให้โรงจักรไฟฟ้าประเภทอื่น ซึ่งมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ เช่น โรงจักรไฟฟ้าพลังงานไอน้ำ ที่ใช้การสันดาปจากน้ำมันดีเซล ก๊าซ ถ่านหิน หรือนิวเคลียร์ เป็นต้น ดังนั้นสำหรับกำลังไฟฟ้าที่ระบบต้องการ ในแต่ละช่วงเวลานั้น จึงมีความจำเป็นในการวิเคราะห์การจ่ายกำลังไฟฟ้าของโรงจักรไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ เข้าสู่ระบบ เพื่อก่อให้เกิดการจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นไปตามหลักเศรษฐศาสตร์ หรือเรียกอีกอย่างว่า การจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch) [1-4]

โรงไฟฟ้าที่สามารถผลิตไฟฟ้าส่งเข้าระบบได้นั้นมีหลายชนิด มีตั้งต้นทุนในการการผลิตไฟฟ้าที่สูง และต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่ำ แต่ในระบบไฟฟ้านั้นไม่สามารถใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีต้นทุนการผลิตต่ำมาผลิตไฟฟ้าให้ได้ตามความต้องการไฟฟ้าได้ทั้งหมด โดยการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากตัวอย่าง ภาพกราฟการต้องการกำลังไฟฟ้าต่อวันที่โหลดฐาน (Base Load) เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายกำลังไฟฟ้าในช่วงนี้จะต้องทำงาน 100 เปอร์เซ็นต์ ตลอดเวลา 24 ชั่วโมง ซึ่งส่วนมากจะเป็น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ และมีค่าใช้จ่ายในการผลิตต่ำในส่วนการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้า ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้เหมาะสมกับกำลังไฟฟ้าที่ต้องการเพิ่มขึ้น [5-6]

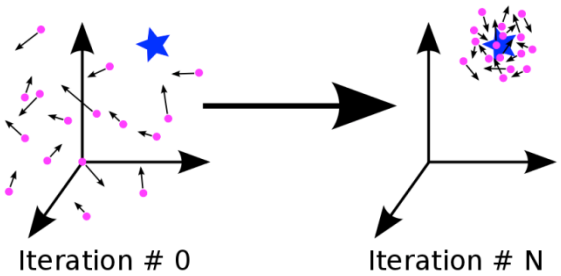
ดังที่กล่าวข้างต้นนั้นจะอยู่ในช่วงโหลดช่วงกลางของกราฟ ส่วนมากจะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีต้นทุนการผลิตที่สูง ซึ่งสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้เมื่อระบบต้องการสำหรับช่วงโหลดสูงสุด (Peak Load) โดยส่วนใหญ่แล้วในช่วงนี้เครื่องกำเนิดที่จะเชื่อมต่อเข้าระบบจะมีความสามารถเชื่อมต่อเข้ากับระบบได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าสู่ระบบให้ทันกับโหลดที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและช่วงกำลังผลิตสำรอง (Spinning Reserve) ในที่นี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกกำหนดให้ทำงานในสถานะรอ เพื่อเชื่อมต่อหรือส่งผ่านกำลังงานไฟฟ้าสู่ระบบเมื่อระบบต้องการกำลังไฟฟ้าเพิ่ม ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กราฟความต้องการกำลังไฟฟ้าต่อวัน

เทคนิคการเคลื่อนแบบกลุ่มอนุภาค

การหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization) หรือ PSO พัฒนาขึ้นโดยนักจิตวิทยาชื่อ James Kennedy และวิศวกรไฟฟ้าชื่อ Russell C. Eberhart ในปี ค.ศ. 1995 [3] เป็นวิธีการหาคำตอบแบบสุ่ม (Random Search Algorithm) โดยการสุ่มชุดคำตอบเบื้องต้น และใช้กลไกเลียนแบบทฤษฎีวิวัฒนาการในการปรับปรุงชุดคำตอบให้มีค่าที่เหมาะสมที่สุด PSO ก็เป็นหนึ่งในวิธีการหาคำตอบที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในการประยุกต์ใช้งานกับปัญหาทางวิศวกรรม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อสมการของปัญหาเป็นแบบไม่เชิงเส้น PSO มีแนวคิดมาจากการการศึกษาพฤติกรรมของฝูงสัตว์ โดยจำลองวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดจากพฤติกรรมการเดินทางเพื่อหาอาหารของฝูงสัตว์ ตัวอย่างเช่น มีสัตว์ฝูงหนึ่งกำลังเดินทางหาแหล่งน้ำอยู่ในพื้นที่หนึ่ง สัตว์ทุกตัวไม่รู้ว่าแหล่งน้ำอยู่ที่ตำแหน่งไหนของพื้นที่นั้น ทำให้ฝูงสัตว์ต้องกระจายกันออกตามหาแหล่งน้ำ เมื่อสัตว์ตัวใดตัวหนึ่งพบร่องรอยของแหล่งน้ำ จะส่งสัญญาณบอกตำแหน่งกับตัวอื่นๆ เพื่อให้สัตว์ตัวอื่นทราบว่าแหล่งน้ำน่าจะอยู่บริเวณไหน และเดินทางมาช่วยกันหาบริเวณนั้น หากระหว่างที่เดินทางมากลับพบร่องรอยของแหล่งน้ำที่มีความเป็นไปได้ที่จะเจอแหล่งน้ำมากกว่า สัตว์ตัวนั้นก็จะส่งสัญญาณบอกตัวอื่นๆ เพื่อให้เปลี่ยนพื้นที่ในการหาแหล่งน้ำ เมื่อพื้นที่ในการค้นหาถูกจำกัดมากขึ้นเรื่อยๆ จะทำให้ฝูงสัตว์พบแหล่งน้ำในที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 2 [7-10]



ภาพที่ 2 การเคลื่อนที่ของอนุภาคไปยังเป้าหมาย

จากภาพที่ 2 การทำงานของ PSO เมื่อเทียบกับการหาแหล่งน้ำของสัตว์แล้ว สัตว์แต่ละตัวในฝูงจะถูกแทนด้วยอนุภาค (particle) กลุ่มอนุภาคจึงหมายถึงที่มี K ตัว ซึ่งมีตั้งแต่ 1 ถึง K หรืออาจจะเรียกว่าฝูง (Swarm) และแต่ละอนุภาคจะมีตำแหน่ง (Position) และความเร็วในการเคลื่อนที่ (velocity) เคลื่อนที่ในพื้นที (Search Space) กล่าวได้ว่าวิธีการ PSO จะมีจำนวนอนุภาคเท่ากับ K อนุภาคดังสมการที่ (1)

$$P = (P_1, P_2, \ldots, P_k) \tag{1}$$

โดยที่ P คือ อนุภาค

k คือ จำนวนอนุภาค

ตำแหน่ง และความเร็วของแต่ละอนุภาค ดังสมการที่ (2) และสมการที่ (3)

$$X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \ldots, x_{id}) \tag{2}$$

$$V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \ldots, v_{id}) \tag{3}$$

โดยที่ X คือ ตำแหน่งของอนุภาค

V คือ ความเร็วของอนุภาค

i คือ อนุภาคตัวที่ i

d คือ จำนวนมิติของปัญหา

แต่ละอนุภาคจะมีตำแหน่ง และความเร็วเป็นของตัวเอง การหาคำตอบของปัญหาคือการทำให้ค่าของฟังค์ชั่นเป้าหมาย Objective Function มีค่าต่ำที่สุดหรือสูงที่สุดแล้วแต่กรณี โดยที่ฟังค์ชั่นเป้าหมายประกอบด้วยตัวแปรถูกเรียกว่ามิติของปัญหา เช่นหากฟังค์ชั่นเป้าหมายมีตัวแปร 2 ตัว มิติของปัญหาจึงเท่ากับ 2 และคำตอบของปัญหาคือตำแหน่งของอนุภาคที่ดีที่สุด หากนำค่าดังกล่าวไปแทนในฟังค์ชั่นเป้าหมายค่าที่ได้ถูกเรียกว่า Fitness Value การจะให้ได้มาซึ่งตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคโดยวิธี PSO นั้นจะต้องมีการเก็บข้อมูล 2 ชุดคือ ข้อมูลตำแหน่งที่ดีที่สุดของ

แต่ละอนุภาค (Personal best position หรือ pbest) และ ข้อมูลตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคทั้งกลุ่ม (Global best position หรือ gbest) ดังนั้นหากอนุภาคถูกแทนด้วยพารามิเตอร์ของปัญหา แต่ละอนุภาคจะประกอบไปด้วยตัวแปร f ดังสมการที่ 4

$$P_k = (X, V, FitnessValue, pbest, gbest) \tag{4}$$

ในการทำงานของ PSO เป็นกระบวนการที่ทำงานแบบวนรอบ (Iteration) ซึ่งในแต่ละรอบของการทำงานตำแหน่งและความเร็วของแต่ละอนุภาคจะถูกปรับปรุงโดยขึ้นกับปัจจัยดังต่อไปนี้

ความเร็วปัจจุบันของอนุภาคนั้น (velocity)

ข้อมูลตำแหน่งที่ดีที่สุดของแต่ละอนุภาคในรอบปัจจุบัน (Personal best position หรือ pbest)

ข้อมูลตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคทั้งกลุ่มที่เคยเกิดขึ้น (Global best position หรือ gbest)

ความเร็วของอนุภาคจากรอบ (t) เป็นรอบ $(t+1)$ จะถูกปรับปรุงค่าตามสมการที่ (5) [4]

$$v_{id}(t+1) = wv_{id}(t) + c_1 r_{1d}(t)[y_{id}(t) - x_{id}(t)] + c_2 r_{2d}(t)[\hat{y}_d(t) - x_{id}(t)] \tag{5}$$

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 (6)

$$w = w_{\max} - \frac{w_{\max} - w_{\min}}{Iter_{\max}} \times (Iter) \tag{6}$$

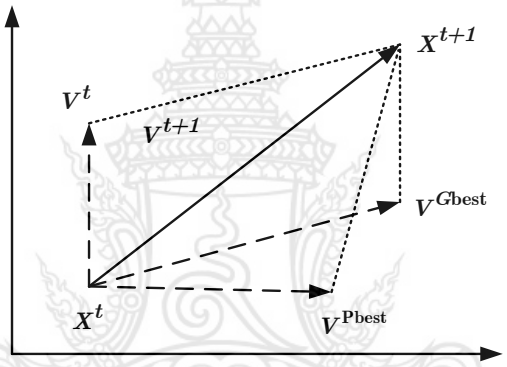
โดยที่ $\omega_{\max}, \omega_{\min}$ คือ ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าน้ำหนักความเฉื่อย

$Iter_{\max}$ คือ จำนวนรอบการคำนวณสูงสุด

$Iter$ คือ รอบการคำนวณปัจจุบัน

เมื่อความเร็วของแต่ละอนุภาคถูกปรับปรุงใหม่ตามสมการที่ 5 ดังแสดงในภาพที่ 3 แล้วตำแหน่งของแต่ละอนุภาคจึงจะถูกปรับปรุงดังสมการที่ (7)

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \tag{7}$$



ภาพที่ 3 การปรับปรุงค่าความเร็ว และตำแหน่งของอนุภาค

การกำหนดรอบการทำงานสูงสุด หรือคำตอบที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลง สิ่งสำคัญในการเลือกเงื่อนไขเพื่อใช้หยุดการคำนวณคือต้องไม่ทำให้การคำนวณหยุดก่อนที่จะได้ค่าที่เหมาะสมที่สุด การทำงานของ PSO สามารถสรุปได้ 8 ขั้นตอนดังนี้

1. การสุ่มค่าตำแหน่งและ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอนุภาคแต่ละตัว โดยอยู่ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดไว้เพื่อใช้เป็นค่าเริ่มต้น (Initial Particle) รวมถึงค่าพารามิเตอร์ และขอบเขตของปัญหาเพื่อประกอบการคำนวณ
2. กำหนดการวนรอบการทำงานเริ่มต้น $Iter(t) = 1$
3. นำค่าตำแหน่งของอนุภาคไปคำนวณหาค่าตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด Fitness Value ด้วยฟังค์ชั่นเป้าหมาย (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 (5)
7. การปรับปรุงตำแหน่งของอนุภาคตามสมการที่ (7)
8. การตรวจสอบการสิ้นสุดการทำงานตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้

การวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม

การวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม คือ การวางแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องที่ติดตั้งอยู่ในระบบไฟฟ้า ให้สามารถจ่ายโหลดได้อย่างเพียงพอ และมีประสิทธิภาพ [11]

การประมวลผลการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม โดยพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้ามีค่าต่ำที่สุดสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ (8)

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=1}^{n} F_i(P_{Gi}) \tag{8}$$

$F(P_{Gi})$ คือต้นทุนที่ใช้ผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 'i' ซึ่งอยู่ในรูปของอัตราการใช้เชื้อเพลิงในการผลิตกำลังไฟฟ้า ($/hr) โดยปกติจะแสดงอยู่ในรูปสมการกำลังสองดังสมการที่ (9)

$$F_i(P_{Gi}) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \tag{9}$$

เมื่อ Z คือ ต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้ารวม

F_i คือ ต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

P_{Gi} คือ กำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

n คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด

a_i, b_i, c_i คือ สัมประสิทธิ์ต้นทุนการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

1. สมการในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

$$P_i = \sum_{j=1}^{n} \left| V_i V_j Y_{ij} \right| \cos(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \tag{10}$$

$$Q_i = -\sum_{j=1}^{n} \left| V_i V_j Y_{ij} \right| \sin(\theta_{ij} + \delta_j - \delta_i) \tag{11}$$

2. พิกัดแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$V_{Gi}^{\min} \le V_{Gi} \le V_{Gi}^{\max} \tag{12}$$

3. พิกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้า

$$P_{Gi}^{\min} \le P_{Gi} \le P_{Gi}^{\max} \tag{13}$$

4. พิกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

$$Q_{Gi}^{\min} \le Q_{Gi} \le Q_{Gi}^{\max} \tag{14}$$

6. พิกัดแรงดันไฟฟ้าที่บัสโหลด

$$V_{\text{Load},i}^{\min} \le V_{\text{Load},i} \le V_{\text{Load},i}^{\max} \tag{15}$$

เมื่อ P_i, Q_i คือ กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่บัส i

V_i, V_j คือ แรงดันที่บัส i และ j

Y_{ij} คือ แอดมิดแตนซ์ระหว่างบัส i และ j

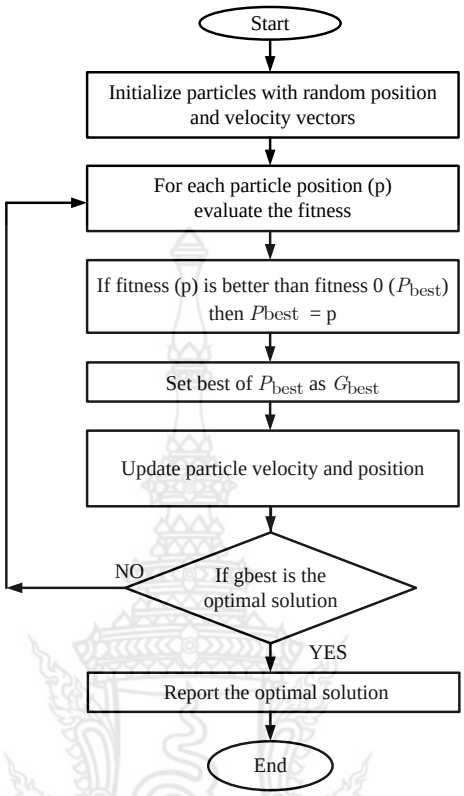
$V_{Gi}^{\min}, V_{Gi}^{\max}$ คือ ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส i

$P_{Gi}^{\min}, P_{Gi}^{\max}$ คือ ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของกำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i

$Q_{Gi}^{\min}, Q_{Gi}^{\max}$ คือ ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i

$T_i^{\min}, T_i^{\max}$ คือ ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแท็ปหม้อแปลงไฟฟ้า

$V_{\text{Load},i}^{\min}, V_{\text{Load},i}^{\max}$ คือ ค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสโหลด i



ภาพที่ 4 ผังแสดงขั้นตอนประมวลผลด้วยวิธีเทคนิคกลุ่มอนุภาค

กรณีศึกษา

การประมวลผลทดสอบกับกรณีศึกษาในแบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลังที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 40 เครื่อง [12] ซึ่งมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าตามรูปแบบการโหลดรายวันดังแสดงในตารางที่ 1 และค่าพารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 40 เครื่อง ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 รูปแบบการโหลดรายวัน

Load Patterns	Pattern 1	Pattern 2	Pattern 3	Pattern 4	Pattern 5	Pattern 6
Power (MW)	6314	8231	9315	11295	8501	7530

ตารางที่ 2 พารามิเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จำนวน 40 เครื่อง

Generator	a	b	c	$P_i^{\min}$	$P_i^{\min}$
1	0.0069	6.73	94.705	36	114
2	0.0069	6.73	94.705	36	114
3	0.02028	7.07	309.54	60	120
4	0.00924	8.18	369.03	80	190
5	0.0114	5.35	148.89	47	97
6	0.01142	8.05	222.33	68	140
7	0.00357	8.03	278.81	110	300
8	0.00492	6.99	391.98	135	300
9	0.00573	6.6	445.76	135	300
10	0.00605	12.9	722.82	130	300
11	0.00515	12.9	635.20	94	375
12	0.00569	12.8	654.69	94	375
13	0.00421	12.5	913.40	125	500
14	0.00752	8.84	1760.4	125	500
15	0.00708	9.15	1728.3	125	500
16	0.00708	9.15	1728.3	125	500
17	0.00313	7.97	647.85	220	500
18	0.00313	7.95	649.69	220	500
19	0.00313	7.97	647.83	242	550
20	0.00313	7.97	647.81	242	550
21	0.00298	6.63	785.96	254	550
22	0.00298	6.63	785.96	254	550
23	0.00284	6.66	794.53	254	550
24	0.00284	6.66	794.53	254	550
25	0.00277	7.10	801.32	254	550
26	0.00277	7.10	801.32	254	550
27	0.52124	3.33	1055.1	10	150
28	0.52124	3.33	1055.1	10	150
29	0.52124	3.33	1055.1	10	150
30	0.0114	5.35	148.89	47	97
31	0.0016	6.43	222.92	60	190
32	0.0016	6.43	222.92	60	[0
33	0.0016	6.43	222.92	60	190
34	0.0001	8.95	107.89	90	200
35	0.0001	8.62	116.58	90	200
36	0.0001	8.62	116.58	90	200
37	0.0161	5.88	307.45	25	110
38	0.0161	5.88	307.45	25	110
39	0.0161	5.88	307.45	25	110
40	0.00313	7.97	647.83	242	550
			Total	4817	12722

ผลการวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม โดยพิจารณาในเชิงเศรษฐศาสตร์อย่างเหมาะสมด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการประมวลทดสอบการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสม

Generator	Pattern 1	Pattern 2	Pattern 3	Pattern 4	Pattern 5	Pattern 6
1	114	114	114	114	114	113.987
2	113.998	114	113.998	114	114	114
3	63.034	119.928	120	119.927	119.997	100.213
4	80.005	153.309	190	190	175.467	117.381
5	96.976	96.993	97	97	97	97
6	89.201	139.995	140	140	140	139.972
7	201.193	299.999	300	299.972	300	299.975
8	135.001	135.002	144.172	300	135.016	135.064
9	135.022	144.586	185.014	300	152.222	135
10	130	130.002	130	300	130.000	130
11	94	94	149.522	375	94.026	94
12	94.020	166.729	368.937	374.977	198.971	94
13	125	144.815	353.317	499.969	209.266	125.001
14	125.004	152.358	239.598	500	175.511	125
15	125.001	125.001	157.258	432.126	125.482	125
16	125.003	288.628	436.422	499.949	311.680	201.718
17	369.458	500	499.988	500	500	500
18	293.054	499.999	500	500	500	452.147
19	242	455.705	549.999	549.945	515.785	316.441
20	339.924	549.990	550	549.999	549.996	482.575
21	451.381	550	550	550	550	550
22	418.627	550	550	550	550	549.999
23	254	343.254	407.639	550.000	369.778	281.296
24	254	339.814	404.595	549.618	339.453	265.478
25	254.008	254.032	254	550	254.011	254.001
26	307.479	550	550	550	549.997	474.257
27	10	10.436	12.917	102.675	11.173	10.170
28	10	10	11.284	86.346	10	10
29	10	10	10.008	52.717	10.004	10
30	47.001	47.026	47	47	47	47.001
31	190	190	190	190	190	190
32	190	190	190	190	190	190
33	190	190	190	190	190	190
34	200	200	200	200	199.998	200
35	200	199.999	200	199.997	199.998	199.983
36	162.557	200.000	200	200	200.000	199.938
37	25	52.511	88.493	110	65.168	25.002
38	105.339	109.989	109.999	110	109.999	110
39	79.826	109.978	109.989	109.953	110	110
40	242	307.395	495.613	550.000	352.737	242.004
Total Power (MW)	7070.21	9447.93	10906.51	14115.07	9814.45	8485.20
Total Power Loss (MW)	378.105	608.464	795.754	1719.900	656.725	477.601
Cost ($)	80742	102700	118580	217670	106430	93852

สรุปผลการทดสอบ

บทความวิจัยนี้มีเป้าหมายหลักคือการวิเคราะห์ผลในเชิงเศรษฐศาสตร์ของการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมด้วยเทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาค ด้วยแบบจำลองระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งทำให้การจัดการการจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นเรื่องที่มีความซับซ้อนมากกว่าระบบไฟฟ้าในสภาวะปกติ ผลการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิคการเคลื่อนที่แบบกลุ่มอนุภาคในการบริหารการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว สามารถช่วยลดต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าลงได้ทำให้ช่วยให้ต้นทุนรวมของการผลิตให้ต่ำลงได้ ในขณะที่ต้องอยู่ภายใต้ข้อจำกัดทั้งหมดและสามารถช่วยลดกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครที่ให้การสนับสนุนผลงานวิจัย จึงทำให้ผลงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

[1] Y. Ting-Fang; P. Chun-Hua, "Application of an improved Particle Swarm Optimization to economic load dispatch in power plant," in Proc IEEE Int. Conf. Advanced Computer Theory and Engineering, 2010.

[2] A. J. Wood, and B. F. Wollenberg, Power Generation, Operation, and Control, New York, John Wiley & Sons, 1996.

[3] K. P. Wang and C. C. Fung, "Simulate annealing base economic dispatch algorithm," IEE Proc C vol.140, no.6, pp. 509–515, November 1993.

[4] J. Y. Fan, and L. Zhang, "Real-time economic dispatch with line flow and emission constrains using quadratic programming," IEEE Trans. Power Systems, vol. 13, pp. 320-325, May 1998.

[5] D. C. Walters and G.B. Sheble, "Genetic algorithm solution of economic dispatch with valve point loading," IEEE Trans. Power Systems, vol. 8, no. 3, pp. 1325–1332, August 1993.

[6] M. Lin, F. S. Cheng and M. T. Tsay, "An improved tabu search for economic dispatch with multiple minima," IEEE Trans. on Power Systems, vol. 17, no. 1, pp. 108-112, February 2002.

[7] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," in Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks, vol. 4, pp. 1942–1948, 1995.

[8] A. Mahor, V. Prasad, S. Rangnekar, "Economic dispatch using particle swarm optimization: A review," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 13, no 8, pp. 2134-2141, October 2009.

[9] Z. L. Ging. "Particle swarm optimization to solving the economic dispatch considering the generation constraints," IEEE Trans. power system, vol. 18, no.3 pp. 1187-95, August 2003.

[10] J. B. Park, K. S. Lee, J. R. Shin, and K. Y. Lee, "A particle swarm optimization for economic dispatch with nonsmooth cost functions," IEEE Trans. on Power Systems, vol. 20, no. 1, pp.34-42, February 2005.

[11] H. Saadat, "Power System Analysis," McGraw-hill companies, Inc, 1999.

[12] N. Sinha, R. Chakrabarti, P. K. Chattopadhyay, "Evolutionary programming techniques for economic load dispatch," IEEE Trans. Evol. Comput., vol. 7, pp. 83-94, Feb. 2003.

คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์อรุณ ชลังสุทธิ์
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
E-mail: aroon.c@rmutp.ac.th

การศึกษา

ค.อ.ม.(บริหารอาชีวะและเทคนิคศึกษา) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อส.บ.(เทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

งานวิจัยที่สนใจ

ระบบไฟฟ้ากำลัง และการต่อลงดินของระบบไฟฟ้า

ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพ

ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ระดับภาคีวิศวกร สาขาไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง

สมาชิกสมาคมวิชาชีพ

- สมาคมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า (แห่งประเทศไทย)

คณะผู้วิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
E-mail: nattachote.r@rmutp.ac.th

การศึกษา

ปร.ด. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
วศ.ม. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
คอ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์

งานวิจัยที่สนใจ

การวางแผนและปฏิบัติการในระบบไฟฟ้ากำลัง ผลกระทบของการเชื่อมต่อแหล่งผลิตไฟฟ้าแบบกระจายในระบบจำหน่ายไฟฟ้า และเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุด

ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพ

ใบอนุญาตประกอบวิชาชีพวิศวกรรมควบคุม ระดับสามัญวิศวกร สาขาไฟฟ้า งานไฟฟ้ากำลัง
ใบอนุญาตผู้ตรวจสอบอาคาร

สมาชิกสมาคมวิชาชีพ

- สมาคมวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้า (แห่งประเทศไทย)
- สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (วสท.) สามัญสมาชิก ตลอดชีพ
- Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Association of Thailand (ECTI Thailand)
- Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)
- The Institution of Engineering and Technology (IET)
- International Association of Computer Science and Information Technology (IACSIT)