

การจ่ายโหลดของระบบไฟฟ้าอย่างประหยัด
โดยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง

Economic Load Dispatch of Power Systems Using
Hybrid Particle Swarm Optimization and Gravitational Search Algorithm

สุรรัตน์ กิ่งไทร^{1*} อธิรักษ์ กาญจนฤทธิ์² และ สุพัฒน์ นีรุกรณารณ์²

Sureerat Kingsai^{1*} Adirak Kanchanaharuthai² and Supattana Nirukkaraporn²

¹นักศึกษานิเทศศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยรังสิต 52/347 ถนนพหลโยธิน ตำบลหลักหก อำเภอหลักหก จังหวัดปทุมธานี 10220

²อาจารย์ประจำภาควิชาสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต
52/347 ถนนพหลโยธิน ตำบลหลักหก อำเภอหลักหก จังหวัดปทุมธานี 10220

¹Graduate student in Master of Engineering (Electrical and Computer Engineering), College of Engineering,
Rangsit University, 52/347 Phaholyothin Road, Lakhok, Lam Lukda District, Pathum Thani 10220.

²Lecturer of Department of Engineering (Electrical and Computer Engineering), College of Engineering,
Rangsit University, 52/347 Phaholyothin Road, Lakhok, Lam Lukda District, Pathum Thani 10220.

*Corresponding author, E-mail: pakoja1@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการจ่ายโหลดของระบบไฟฟ้าอย่างประหยัด เพื่อลดต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าให้มีค่าต่ำที่สุด โดยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง (HYBRID PSO-GSA) การจำลองผลจะทดสอบภายใต้สภาวะโหลดสมดุล และทำการศึกษาผ่านฟังก์ชันวัตถุประสงค์เชื้อเพลิงแบบราบเรียบ และฟังก์ชันกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวม บทความนี้จะทดสอบโดยใช้ระบบ IEEE 14 บัส และ IEEE 30 บัส แล้วนำผลการทดสอบและประเมินสมรรถนะของวิธีการที่นำเสนอ ผลที่ได้รับของวิธีนี้จะนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) และแบบโน้มถ่วง (GSA) ผลการทดสอบพบว่าในระบบ IEEE 14 บัส วิธีการหาที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง มีค่าต้นทุนเชื้อเพลิงต่ำกว่าวิธีการหาที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคคิดเป็นร้อยละ 0.02 และต่ำกว่าวิธีแบบโน้มถ่วงร้อยละ 0.24 ในระบบ IEEE 30 บัส วิธีการหาที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง มีค่าต้นทุนเชื้อเพลิงต่ำกว่าวิธีการหาที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคร้อยละ 0.08 และต่ำกว่าวิธีแบบโน้มถ่วงร้อยละ 0.32 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแนวคิดในการประยุกต์ใช้วิธีการหาที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบไฟฟ้า ให้สามารถจ่ายโหลดได้ดีขึ้น และลดค่าใช้จ่ายต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตให้น้อยลง

คำสำคัญ: การจ่ายโหลดของระบบไฟฟ้าอย่างประหยัด วิธีการหาที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค วิธีการหาที่เหมาะสมแบบโน้มถ่วง

Abstract

This paper presents an economic load dispatch of power systems to minimize cost of fuel using a combination of a particle swarm optimization (PSO) and a gravitational search algorithm (GSA), called Hybrid PSO-GSA. The results are tested under an equilibrium point of load conditions and investigated through a quadratic cost function and a total power loss function. In this study, both IEEE 14 Bus and IEEE 30 Bus power system models are tested and used to evaluate the performance of the proposed method. The simulation results of both cases are compared with PSO and GSA. In IEEE 14 Bus system, the test result in fuel cost as obtained by using the proposed Hybrid PSO-GSA method is 0.02 percent lower than that obtained by using PSO method, and 0.24 percent lower than that obtained by GSA method and in IEEE 30 System, the test result in fuel cost as obtained by using the proposed Hybrid PSO-GSA method is 0.08 percent lower than that obtained by using PSO Method, and 0.32 percent lower than that obtained by GSA method. Therefore, this paper indicates the effectiveness of the Hybrid PSO-GSA method not only capable of increasing the performance of power systems, but also decreasing fuel cost effectively.

Keywords: Economic Load Dispatch of Power System, Particle Swarm Optimization, Gravitational Search Algorithm

1. บทนำ

ในปัจจุบันมีการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจอย่างรวดเร็ว ทำให้ความต้องการการใช้กำลังไฟฟ้าทั้งจากภาคอุตสาหกรรม และครัวเรือนเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งถ้าพิจารณาการผลิตของโรงไฟฟ้าแต่ละชนิดก็จะมีประสิทธิภาพ และต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ดังนั้นการจ่ายโหลดของระบบไฟฟ้าอย่างประหยัดจึงเป็นปัญหาที่สำคัญในระบบไฟฟ้ากำลัง ที่ต้องหาค่าต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตกำลังไฟฟ้าให้มีค่าที่ต่ำที่สุด และสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ ของระบบ โดยที่การผลิตไฟฟ้าที่ได้นั้นจะต้องเพียงพอต่อความต้องการของระบบ ทำให้การแก้ปัญหาเกี่ยวกับการหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งนักวิจัยทั้งใน และต่างประเทศนิยมใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฮิวริสติก (Reeves, C.R. (Ed.), 1995) เช่น วิธีฝูงผึ้ง (Dogan Aydin, 2014) วิธีพันธุกรรมชนิด (Chiang, C-L., 2005) และวิธีกลุ่มอนุภาค (Kennedy, J. and R. Eberhart., 1995) เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหานี้

ดังนั้นในบทความนี้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการสร้างแนวคิดในการหาขอบเขตที่เป็นไปได้ สำหรับการจ่ายโหลดอย่างประหยัด ซึ่งในหลักการนี้ใช้เทคนิควิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง ซึ่งวิธีการที่นำเสนอเรียกว่า (Hybrid GSA-PSO) โดยบทความนี้จะใช้ระบบทดสอบ IEEE 14 บัส และ IEEE 30 บัส แล้วเปรียบเทียบกับ วิธีการค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค และแบบโน้มถ่วง

2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาการแก้ปัญหการจ่ายโหลดอย่างประหยัด เพื่อช่วยลดต้นทุนเชื้อเพลิงในผลิต และกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบไฟฟ้าให้มีค่าต่ำที่สุด
2. เพื่อศึกษาวิธีการหาค่าตอบโดยการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) ร่วมกับค่าเหมาะสมแบบโน้มถ่วง (GSA)

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการศึกษาวิจัย แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน โดยในขั้นตอนแรก เป็นการศึกษาโครงสร้างระบบที่นำมาทดสอบ คือ ระบบ IEEE 14 บัส และ IEEE 30 บัส จากฐานข้อมูล IEEE รวมถึงการศึกษาหลักการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด เพื่อลดต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าที่มีค่าต่ำ ขั้นตอนที่สองเป็นการประมวลผลการคำนวณที่มีความซับซ้อนด้วยโปรแกรม MATLAB โดยใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขประกอบต่าง ๆ ให้เหมาะสม ในการหาคำตอบที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง และขั้นสุดท้ายเป็นการวิเคราะห์ผลการทดสอบ โดยใช้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนรอบและการเข้าสู่คำตอบ พร้อมเปรียบเทียบผลการทดสอบกับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมอื่น ๆ โดยมีรายละเอียดขั้นตอนวิธีการดังนี้

3.1 ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

3.1.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดนั้น คือ การวางแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ และเพียงพอ กับความต้องการของโหลดที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลาโดยที่ต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้ารวมมีค่าที่ต่ำ และเหมาะสมกับแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายเป็นฟังก์ชันของต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตกำลังไฟฟ้า ดังสมการที่ 1 (Wood and Wollenberg, 1996)

$$\text{Minimize } F_T = \sum_{i=1}^N F_i(P_i) \quad (1)$$

เมื่อ P_i คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ i

F_T คือ ฟังก์ชันของราคาค่าเชื้อเพลิงรวม มีหน่วยเป็น ราคาต่อชั่วโมง

$F_i(P_i)$ คือ ฟังก์ชันของราคาค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ i ราคาต่อชั่วโมง

โดยปกติแล้วฟังก์ชันของราคาค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดจะอยู่ในรูปของสมการกำลังสอง ซึ่งเป็นฟังก์ชันราคาที่ราบเรียบ (Smooth Cost Function) ดังสมการที่ 2

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

เมื่อ a_i, b_i, c_i คือสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันราคาค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

3.1.2 เงื่อนไขบังคับการปฏิบัติงาน

3.1.2.1 กำลังไฟฟ้าสมดุล (Power Balance)

โดยจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขของการผลิตกำลังไฟฟ้าให้สมดุลกับความต้องการ และขีดจำกัดของการผลิต ดังสมการ 3 และ 4

$$\sum_{i=1}^N P_i = P_D + P_{loss} \quad (3)$$

$$P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \quad (4)$$

เมื่อ P_D คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบ ; P_{loss} คือ ค่าความสูญเสียของระบบ ; N คือ จำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ; $P_{i,min}, P_{i,max}$ คือ จำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ำสุด และสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ i

3.1.2.2 ขีดจำกัดของแรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max}, i=1, \dots, NB \quad (5)$$

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max}, i=1, \dots, NG \quad (6)$$

$$Q_{Gi}^{\min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{\max}, i=1, \dots, NG \quad (7)$$

เมื่อกำหนดให้ $V_i^{\min}, V_i^{\max}$ คือ แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดและ แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า; $P_{Gi}^{\min}, P_{Gi}^{\max}$ คือ เป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริงต่ำสุดและ สูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า; $Q_{Gi}^{\min}, Q_{Gi}^{\max}$ คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนต่ำสุด และ สูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3.2 วิธีแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง เพื่อแก้ปัญหาค่าเหมาะของระบบไฟฟ้าอย่างประหยัด

3.2.1 วิธีแบบกลุ่มอนุภาค

วิธีแบบกลุ่มอนุภาค เป็นวิธีการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นให้กับอนุภาค แล้วคำนวณหาความเหมาะสม ถ้าหากว่าค่าความเหมาะสมที่ได้มีค่ามากกว่าค่าเดิม (P_{best}) ให้เปลี่ยนไปใช้ค่าที่มากกว่า จากนั้นเลือกค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดจากอนุภาคทุกตัวแล้วใช้เป็นค่าที่ดีที่สุด (G_{best}) แล้วคำนวณค่าความเร็วใหม่สำหรับทุก ๆ อนุภาคที่เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใหม่ แล้วทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนได้คำตอบสุดท้ายที่น่าพอใจ ซึ่งทุก ๆ รอบการทำงานเวลา t ความเร็วของการเคลื่อนที่จะถูกเปลี่ยนแปลงโดยใช้ข้อมูลของตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคแต่ละตัว ($\vec{P}_i$) , ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคทั้งหมด ($\vec{P}_g$) ความเร็วของอนุภาคแต่ละตัวที่เปลี่ยนไปจะสามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ 8

$$v_i(t+1) = w(t) \times v_i(t) + c_1 r_1 (p_i(t) - x_i(t)) + c_2 r_2 (p_g(t) - x_i(t)) \quad (8)$$

โดยค่า $w(t)$ คือ ตัวประกอบค่าน้ำหนักความเฉื่อย และ c_1 และ c_2 เป็นค่าคงที่ความเร่ง ค่า r_1 และ r_2 เป็นตัวเลขที่ทำการสุ่มขึ้นมามีค่าอยู่ในช่วง $[0,1]$ ค่าความเร็วจะถูกกำหนดเอาไว้ไม่ให้เกินค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ ($\pm v_{max}$) เพื่อจำกัดความเร็วที่มากเกินไปทุก ๆ รอบการทำงานอนุภาคจะมีการเปลี่ยนตำแหน่งด้วยความเร็วที่มีอยู่ดังสมการที่ 9

$$\vec{x}_i(i+1) = \vec{x}_i(t) + \vec{v}_i(t) \quad (9)$$

3.2.2 วิธีแบบโน้มถ่วง

วิธีหาค่าที่เหมาะสมแบบโน้มถ่วงถูกนำเสนอโดย (Esmart Rashedi และคณะ, 2009) เป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการของแรงโน้มถ่วงมีพื้นฐานมาจากกฎความโน้มถ่วงของนิวตันดังสมการที่ 10

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \quad (10)$$

เมื่อ F คือ ขนาดของแรงโน้มถ่วงซึ่งทำต่ออนุภาคใดอนุภาคหนึ่ง; G คือ ค่าคงตัวฟิสิกส์พื้นฐานที่เรียกว่าค่าคงตัวโน้มถ่วง; m_1 คือ มวลของอนุภาคแรก; m_2 คือ มวลของอนุภาคที่สอง; r คือ ระยะห่างระหว่างอนุภาค

จากกฎข้อที่สองของนิวตันกล่าวว่า เมื่อมีแรง F กระทำที่อนุภาคทำให้อนุภาคเกิดการเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร่ง a ซึ่งจะขึ้นอยู่กับแรงที่กระทำมัน และมวลของมัน ดังสมการที่ 11

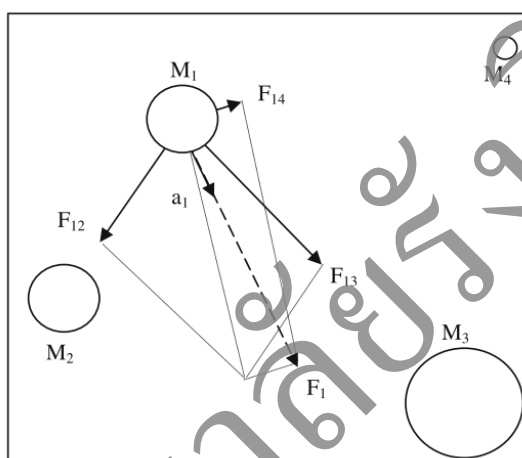
$$a = \frac{F}{M} \quad (11)$$

เราสามารถเขียนกฎของนิวตันใหม่ได้ดังสมการที่ 12 และ 13

$$F_{ij} = G \frac{M_{oj} \times M_{pi}}{R^2} \quad (12)$$

$$a_i = \frac{F_{ij}}{M_{ii}} \quad (13)$$

เมื่อ F_{ij} คือ แรงดึงดูดซึ่งกันและกันระหว่างวัตถุ i และวัตถุ j ซึ่งเป็นสัดส่วนของแรงโน้มถ่วงจากวัตถุ j กระทำต่อวัตถุ i และแรงที่วัตถุ i ตอบสนองต่อสนามแรงโน้มถ่วงจากวัตถุ j ; M_{oj} คือ มวลแรงโน้มถ่วงที่ใช้งานของวัตถุ j ; M_{pi} คือ มวลแรงโน้มถ่วงที่อยู่นิ่งของวัตถุ i ; M_{ii} คือ มวลเฉื่อยของวัตถุ i



รูปที่ 1 แสดงผลลัพธ์ของแรงทั้งหมดที่กระทำบนมวล M_1 ทำให้เกิดแรงรวม F_1 และความเร่ง

ที่มา : E. Rashedi, H. Nezamabadi-pour, and S. Saryazdi (2009)

พิจารณาระบบด้วยตัวแทน N มวล ซึ่งกำหนดตำแหน่งของตัวแทน ith โดย

$$X_i = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n) \quad \text{สำหรับ } i = 1, 2, \dots, N, \quad (14)$$

ที่เวลา t เราสามารถนิยามแรงระหว่างวัตถุ i และ j ดังสมการที่ 15

$$F_{ij}^d(t) = G(t) \frac{M_{pi}(t) \times M_{oj}(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (15)$$

โดยที่ $M_{oj}(t)$ คือ มวลที่สัมพันธ์กับตัวแทน j ที่เวลา t ; $M_{pi}(t)$ คือ มวลที่สัมพันธ์กับตัวแทน i ที่เวลา t ; $G(t)$ คือ ค่าคงตัวโน้มถ่วงที่เวลา t ; ε คือ ค่าคงที่ที่เล็ก; $R_{ij}(t)$ คือ ระยะห่างระหว่างตัวแทน i และ j ซึ่งสามารถหาค่า $R_{ij}(t)$ ได้ตามสมการที่ 16

$$R_{ij}(t) = \|x_i(t), x_j(t)\|_2 \quad (16)$$

สมการที่ 17 แสดงการหาค่าแรงโน้มถ่วงรวมของตัวแทน i ที่มีมิติ d โดย $rand_j$ คือค่าที่ได้จากการสุ่มตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง 0

$$F_i^d(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^N rand_j F_{ij}^d(t), \quad (17)$$

จากกฎของการเคลื่อนที่ อัตราเร่งของตัวแทน i คำนวณได้ดังสมการที่ 18 โดยที่ M_{ii} คือค่ามวลเฉื่อยของตัวแทน i

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} \quad (18)$$

สมการที่ 19 เป็นสมการหาค่าความเร็วของตัวแทน i

$$v_i^d(t+1) = rand_i \times v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (19)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (20)$$

ค่าของ $x_i^d(t+1)$ จะเท่ากับค่าปัจจุบันบวกกับค่าความเร็ว ดังสมการที่ 20

การคำนวณค่ามวลสามารถคำนวณได้จากสมการหาค่า fitness ตัวแทนที่มีค่า fitness ดีจะมีมวลมากซึ่งจะส่งผลให้เคลื่อนที่ช้า ฟังก์ชันที่ใช้ในการปรับปรุงมวลของตัวแทนมีดังนี้ โดยที่

$$M_{ai} = M_{pi} = M_{ii} = M_i, \quad i = 1, 2, \dots, N$$

$$m_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (21)$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)} \quad (22)$$

โดยที่ $fit_i(t)$ คือ fitness ของตัวแทน i ที่เวลา t ; $best(t)$ คือ ค่า fitness ที่ดีที่สุดของตัวแทนทุกตัว; $worst(t)$ คือ ค่า fitness ที่แย่ที่สุดที่เวลา t

3.2.3 วิธีแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง

แนวคิดพื้นฐานของวิธีแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง คือการนำความสามารถของข้อมูลตำแหน่งที่ดีที่สุดของทุกรอบในวิธีแบบกลุ่มอนุภาค กับความสามารถในการค้นหาแบบท้องถิ่นของวิธีแบบโน้มถ่วงมาทำงานร่วมกัน (Mani Ashouri, 2013) ในวิธีแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง ตัวแทนทั้งหมดจะเริ่มดำเนินการสุ่ม หลังจากเริ่มต้นแรงโน้มถ่วง, แรงโน้มถ่วงคงที่ และผลลัพธ์ทั้งหมดของตัวแทนจะคำนวณโดยใช้สมการที่ 15, 16, 17 ตามลำดับ และกำหนดความเร็วของอนุภาคโดยใช้สมการที่ 18 ค่าคำตอบที่ดีที่สุดควรปรับปรุงหลังจากที่ทำซ้ำแต่ละครั้งหลังจากการคำนวณความเร็ว และปรับปรุงค่าคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งค่าความเร็วของตัวแทนทั้งหมดสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 23

$$v_i(t+1) = w \times v_i(t) + c_1 \times r_1 \times a_i^d(t) + c_2 r_2 (p_i(t) - x_i(t)) + c_3 r_3 (p_g(t) - x_i(t)) \quad (23)$$

สุดท้ายจะเป็นการปรับปรุงตำแหน่งของตัวแทนจะใช้สมการที่ 9

ซึ่งสามารถเขียนขั้นตอนการทำงานด้วยวิธีแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วงโดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าเริ่มต้นการสุ่มประชากร, ตัวแปรต่าง ๆ, P_{best} และ G_{best}

ขั้นตอนที่ 2 ประเมินค่า Fitness สำหรับอนุภาคทุกตัว

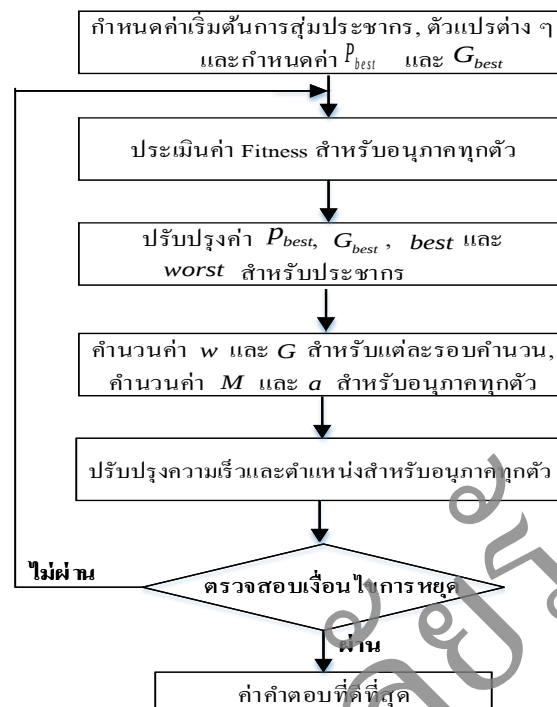
ขั้นตอนที่ 3 ปรับปรุงค่า P_{best} , G_{best} , best และ worst สำหรับประชากร

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่า w และ G สำหรับแต่ละรอบการคำนวณ, คำนวณค่า M และ a สำหรับอนุภาคทุกตัว

ขั้นตอนที่ 5 ปรับปรุงความเร็ว และตำแหน่งสำหรับอนุภาคทุกตัว

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ถ้าตรงตามเงื่อนไข ให้หยุดการค้นหา ถ้าไม่ให้เพิ่มจำนวนรอบของ

การทำซ้ำ $T = T+1$

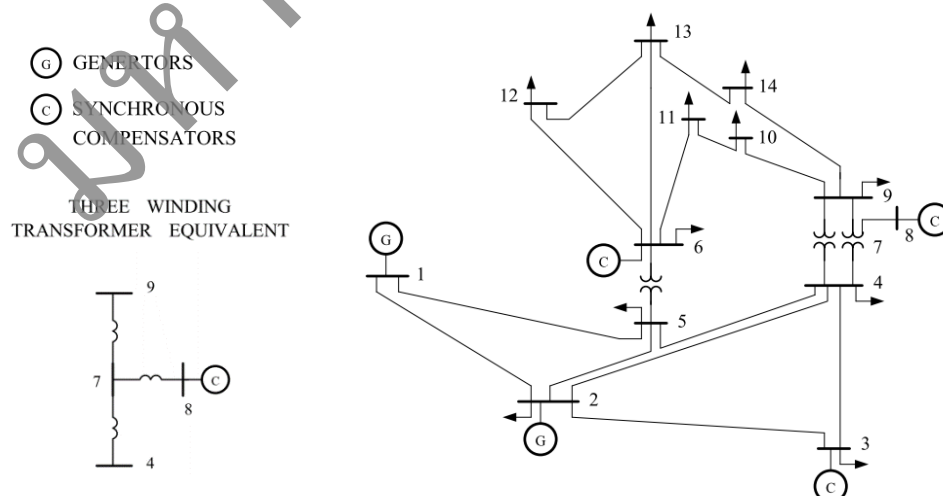


รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงานด้วยวิธีแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง

3.3 ระบบทดสอบ

3.3.1 ระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส

ระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส ซึ่งทำการคำนวณด้วยวิธีนิวตัน ราฟสัน จะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมอยู่ที่ 13.393272 MW ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส เป็นระบบที่มีโครงสร้างรูป มีจำนวนบัสในระบบทั้งหมด 14 บัส โดยมีบัส 1 เป็นบัสอ้างอิง, บัสควบคุมแรงดัน 4 บัส นอกจากนี้ในระบบยังมีหม้อแปลง 3 ตัว เป็นหม้อแปลง 2 ขดลวด 2 ตัว และ 3 ขดลวด 1 ตัว ที่เหลือในระบบจะเป็นบัสโหลด

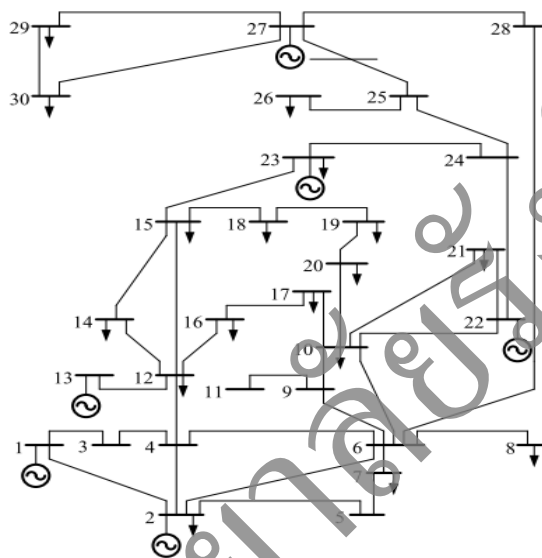


รูปที่ 3 ระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส

ที่มา : IEEE 14 bus Test Case the American Electric Power System.

3.3.2 ระบบมาตรฐาน IEEE 30 บัส

ระบบมาตรฐาน IEEE 30 บัส ซึ่งทำการคำนวณด้วยวิธี นิวตัน ราฟสัน จะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมอยู่ที่ 2.4438 MW ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยระบบมาตรฐาน IEEE 30 บัส ค่าความต้องการของโหลด 2.834 MW เป็นระบบที่มีโครงสร้างรูป มีจำนวนบัสในระบบทั้งหมด 30 บัส โดยมีบัส 30 เป็นบัสอ้างอิง, บัสควบคุมแรงดัน 5 บัส ที่เหลือในระบบจะเป็นบัสโหลด ในระบบนี้จะเป็นระบบที่แก้ไขแล้ว



รูปที่ 4 ระบบมาตรฐาน IEEE 30 บัส

ที่มา: IEEE 30 bus Test Case the American Electric Power System.

4. ผลการวิจัย

4.1 ระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส

ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะแสดงในตารางที่ 1 ค่าตอบที่เหมาะสมที่สุดได้จากวิธีแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบบไน้มถ่วง คือ $P_1 = 193.8456 \text{ MW}$, $P_2 = 36.0154 \text{ MW}$, $P_3 = 28.5625 \text{ MW}$, $P_6 = 0 \text{ MW}$ และ $P_8 = 8.1954 \text{ MW}$ มีค่าฟังก์ชันราคาค่าต้นทุน 8060.9569 (\$/h) และกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวม $P_L = 7.6189 \text{ MW}$

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลการทดสอบฟังก์ชันราคาเปรียบเทียบ ของระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส

Unit Power	NR	PSO	GSA	HYBRID PSO-GSA
$P_1 \text{ (MW)}$	232.3933	194.1356	195.2729	193.8456
$P_2 \text{ (MW)}$	40.0000	36.5720	36.2878	36.0154
$P_3 \text{ (MW)}$	0	28.5757	27.0942	28.5625
$P_6 \text{ (MW)}$	0	0	0	0
$P_8 \text{ (MW)}$	0	8.5186	9.679	8.1954
Total Power Output (MW)	272.3933	267.8022	268.3339	266.6189
$P_{\text{loss}} = P_i - D \text{ (MW)}$	13.3933	8.8075	9.3342	7.6189
Total Generation Cost (\$/h)	8171.7331	8062.9204	8080.4029	8060.9569

4.2 ระบบมาตรฐาน IEEE 30 บัส

ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะแสดงในตารางที่ 2 ค่าตอบที่เหมาะสมที่สุดได้จากวิธีแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มนำ คือ $P_1 = 41.2965MW$, $P_2 = 54.3698MW$, $P_{13} = 17.4785MW$, $P_{22} = 21.1548MW$, $P_{23} = 16.0531MW$ และ $P_{27} = 39.7512MW$ มีค่าฟังก์ชันราคาต้นทุน 574.5862 (\$/h) และกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวม $P_L = 1.6039MW$

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการทดสอบฟังก์ชันราคาซื้อขายของระบบมาตรฐาน IEEE 30 บัส

Unit Power	NR	PSO	GSA	HYBRID PSO-GSA
$P_1 (MW)$	25.9738	41.5769	44.2468	41.2965
$P_2 (MW)$	60.9700	55.0153	57.5766	54.3698
$P_{13} (MW)$	37.0000	16.1973	17.5872	17.4785
$P_{22} (MW)$	21.5900	22.8331	17.1127	21.1548
$P_{23} (MW)$	19.2000	16.2648	22.2722	16.0531
$P_{27} (MW)$	26.9100	39.6852	33.3345	39.7512
Total Power Output (MW)	191.6438	191.5726	192.1300	190.8039
$P_{loss} = P_i - D (MW)$	2.4438	2.3816	2.9300	1.6039
Total Generation Cost (\$/h)	593.4522	575.0584	576.4553	574.5862

5. การอภิปรายผล

จากการศึกษาวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มนำ เพื่อมาแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดนั้น ผลที่ได้ของราคาต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมนั้น มีค่าลดลงเป็นที่น่าพอใจ เพราะการนำความสามารถของข้อมูลตำแหน่งที่ดีที่สุดของทุกรอบในวิธีแบบกลุ่มอนุภาค กับความสามารถในการค้นหาแบบท้องถิ่นของวิธีแบบโน้มนำมาทำงานร่วมกัน ซึ่งจะแสดงผลต่างการทดสอบ ดังตารางที่ 3 และ 4

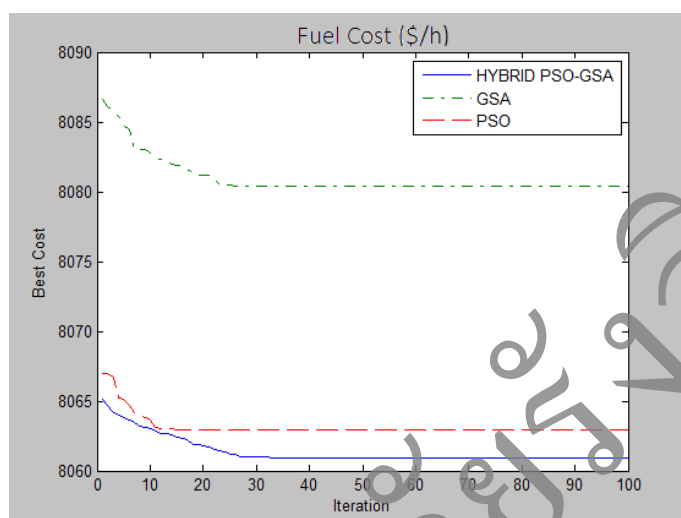
ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลต่างการทดสอบ ของระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส

Unit Power	NR	Diff.	PSO	Diff.	GSA	Diff.
	Difference	(ร้อยละ)	Difference	(ร้อยละ)	Difference	(ร้อยละ)
$P_{loss} = P_i - D (MW)$	5.7744	43.11	1.1886	13.50	1.7153	18.38
Total Generation Cost (\$/h)	110.7762	1.36	8062.9204	0.02	8080.4029	0.24

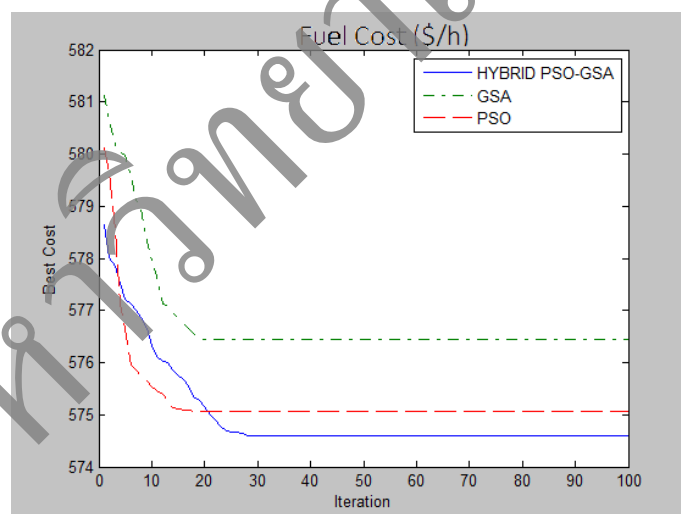
ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลต่างการทดสอบ ของระบบมาตรฐาน IEEE 30 บัส

Unit Power	NR	Diff.	PSO	Diff.	GSA	Diff.
	Difference	(ร้อยละ)	Difference	(ร้อยละ)	Difference	(ร้อยละ)
$P_{loss} = P_i - D (MW)$	2.4438	34.37	0.7777	32.65	1.3261	45.26
Total Generation Cost (\$/h)	18.8660	3.18	0.4722	0.08	1.8691	0.32

คุณภาพของคำตอบ จากตารางที่ 1 และ 2 จะเห็นได้ว่า คำตอบที่ได้จากวิธีแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มน้าว มีค่าเฉลี่ย ค่าที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันราคาแบบราบเรียบโดยที่ต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตต่ำที่สุด ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า



รูปที่ 5 การกระจายของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงการผลิตเมื่อทำซ้ำ 100 ครั้ง ระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส



รูปที่ 6 การกระจายของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงการผลิตเมื่อทำซ้ำ 100 ครั้ง ระบบมาตรฐาน IEEE 30 บัส

วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยทำการประยุกต์วิธีแบบกลุ่มอนุภาคให้ทำงานร่วมกับแบบโน้มน้าว โดยเมื่อพิจารณาการทำงานของระบบทดสอบ IEEE 14 บัส พบว่าราคาต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตเทียบกับวิธีแบบกลุ่มอนุภาค ราคาจะลดลงร้อยละ 0.02 (1.9635\$/h), P_{loss} ลดลงร้อยละ 13.5 (1.1886 MW) และวิธีแบบโน้มน้าวราคาจะลดลงร้อยละ 0.24 (19.4460\$/h), P_{loss} ลดลงร้อยละ 18.38 (1.7153 MW) ดังรูปที่ 5 จะเป็นการแสดงการกระจายของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงการผลิตเมื่อทำซ้ำ 100 ครั้ง ส่วนของระบบทดสอบ IEEE 30 บัส พบว่าราคาต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตเทียบกับวิธีแบบกลุ่มอนุภาคราคาจะลดลงร้อยละ 0.08 (0.4722\$/h), P_{loss} ลดลงร้อยละ 32.65 (0.7777 MW) และวิธีแบบโน้มน้าว

ถ่วงราคาจะลดลงร้อยละ 0.32 (1.8691\$/h) , P_{loss} ลดลงร้อยละ 45.26 (1.3261 MW) ดังรูปที่ 6 จะเป็นการแสดงการกระจายของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงการผลิตเมื่อทำซ้ำ 100 ครั้ง จากข้อมูลที่ได้ยืนยันได้ชัดเจนว่าการใช้วิธีแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วงมีประสิทธิภาพในการหาค่าตอบได้เป็นอย่างดี

6. บทสรุป

จากผลการศึกษาเพื่อศึกษาการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด เพื่อช่วยลดต้นทุนเชื้อเพลิงในผลิต และกำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมของระบบไฟฟ้าให้มีค่าต่ำที่สุด ด้วยวิธีการหาค่าตอบโดยการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) ร่วมกับค่าเหมาะสมแบบโน้มถ่วง (GSA) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง เพราะวิธีทั้งสองเป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่มีประสิทธิภาพอยู่แล้ว แต่เมื่อนำมาทำงานร่วมกันก็ทำให้ผลดีขึ้นกว่าเดิมอีก และจะได้ผลดีขึ้นไปอีกถ้าเลือกกำหนดค่าเริ่มต้น และขอบเขตที่เหมาะสมในการค้นหาค่าตอบ ค่าเริ่มต้นที่กำหนดได้จากการหาค่าระหว่างขอบเขตที่กำหนด ถ้าค่าเริ่มต้นไม่อยู่ในช่วงค่าที่เหมาะสม จะทำให้การหาผลเฉลยของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดนั้นใช้เวลานาน หรืออาจจะไม่หาค่าที่เหมาะสม ดังนั้น ควรกำหนดขอบเขตของค่าตอบให้มีขนาดเล็กมากพอ และครอบคลุมค่าตอบ ซึ่งจะนำเสนอในผลงานวิจัยลำดับต่อไป

7. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความกรุณาของ รองศาสตราจารย์ ดร.อดิรักษ์ กาญจนหุทัย และ ดร.สุพัฒนา นิรัคมนากรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาจากมหาวิทยาลัยราชภัฏวชิรญาณพนธ์ ที่คอยให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำการแก้ปัญหาต่าง ๆ ตลอดจนถ่ายทอดความรู้ ประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้าตลอดระยะเวลาที่ศึกษาอยู่ ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

8. เอกสารอ้างอิง

- Reeves, C.R. (Ed.), (1995). Modern Heuristic Techniques for combinatorial optimization. Mcgraw-Hill, UK.
- D. Aydin, S. Ozyon, C. Yasar and T. Liao (2014). Artificial bee algorithm with dynamic population size to combined economic and emission dispatch problem, International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 54, pp.144-153, Jan. 2014
- Chiang, C-L., (2005). Improved genetic algorithm for power economic dispatch of units with valve-point effects and multiple fuels, IEEE Transactions on power system, 20, 4: 1690-1699.
- Kennedy, J. and R. Eberhart. (1995). Particle Swarm Optimization. Proc. IEEE Int. Conference Neural Network. 4: pp.1942-1948.
- Wood, Allen J. and Bruce F. Wollenberg. (1996). Power Generation, Operation and Control. Second edition. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- E. Rashedi, H. Nezamabadi-pour, and S. Saryazdi (2009). GSA : A Gravitational Search Algorithm, Information Sciences, vol. 179, no.13, pp.2232-2248, Jun. 2009

- M. Ashouri, S. Mehdi Hosseini (2013). Application of new hybrid particle swarm optimization and gravitational search algorithm of non convex economic load dispatch problem, Journal of Advances in Computer Research, Vol.4, no.2, pp.41-51, May. 2013

มหาวิทยาลัยรังสิต