

# การแก้ปัญหาค่าใช้จ่ายของระบบไฟฟ้าอย่างประหยัด โดยปรับปรุงวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค ร่วมกับแบบโน้มถ่วง

## Solving Economic Dispatch Problem of Power Systems Using Hybrid IPSO- GSA

สุริรัตน์ กิ่งไทร อติรักษ์ กาญจนหฤทัย สุพัฒนา นิรัคมนาภรณ์  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาค่าใช้จ่ายของระบบไฟฟ้าอย่างประหยัด โดยปรับปรุงวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง (Hybrid IPSO-GSA) โดยพิจารณาถึงฟังก์ชันราคาค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานความร้อนแบบราบเรียบ และคำนึงถึงขีดจำกัดในการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าร่วมด้วย ซึ่งบทความวิจัยนี้จะใช้ระบบ IEEE 14 บัส และ IEEE 30 บัส เป็นระบบทดสอบ จากนั้นจำลองการทำงานและวิเคราะห์หาค่าที่เหมาะสมด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งจากผลการทดสอบเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) และแบบโน้มถ่วง (GSA) พบว่ามีต้นทุนเชื้อเพลิงต่ำกว่าร้อยละ 0.55 ในระบบ IEEE 14 บัส และร้อยละ 2.09 ในระบบ IEEE 30 บัส จึงสรุปได้ว่าการปรับปรุงวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง โดยปรับปรุงฟังก์ชันตัวแปรตัวประกอบน้ำหนักความเฉื่อย สามารถช่วยลดต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าได้ดีขึ้นจากเดิมอย่างมีประสิทธิภาพ และเป็นที่น่าสนใจ

**คำสำคัญ :** การแก้ปัญหาค่าใช้จ่ายของระบบไฟฟ้าอย่างประหยัด , แบบกลุ่มอนุภาค, แบบโน้มถ่วง

### Abstract

This paper presents the method of solving economic dispatch problem of power systems using hybrid an improved of particle swarm optimization and a gravitational search algorithm (Hybrid IPSO-GSA), considering to fuel with a smooth cost function of generator in thermal energy type and consist of the generator limits operating also. The proposed methods are tested on 14 IEEE standard test system and 30 IEEE standard test system, then the simulated and analyses of the optimizing by MATLAB. From results are compared with the standard particle swarm optimization (PSO) and gravitational search algorithm (GSA) technique, the simulation results demonstrate the fuel cost less than 0.55 percentage for 14 IEEE bus and the fuel cost less than 2.09 percentage for 30 IEEE bus. The conclusions are an improved of particle swarm optimization with gravitational search algorithm based on improving the function of weight parameters can be decreasing fuel cost with better performance from previous method and satisfactory.

## 1. บทนำ

ปัจจุบันมีการใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากความเจริญก้าวหน้าทางด้านเศรษฐกิจ และสังคม ทำให้ต้องผลิตกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการของระบบ ซึ่งในประเทศไทยก็มีแหล่งเชื้อเพลิงในการผลิตกำลังไฟฟ้าหลายแบบ ดังนั้นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงก็คือ ต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตที่ต่ำ แต่ยังคงการทำงานได้มีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ ของระบบ จึงนำไปสู่ปัญหาที่ได้รับความสนใจจากผู้วิจัยทั้งในและต่างประเทศในการหาค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น วิธีกลุ่มอนุภาค [1] วิธีฝูงผึ้ง [2] และ วิธีกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง [3] เป็นต้น

ในบทความนี้จะนำเสนอแนวความคิดในการปรับปรุงค่าถ่วงน้ำหนักความถี่ของกลุ่มอนุภาค ซึ่งมีผลต่อความเร็วในการหาค่าคำตอบ และความถูกต้อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาค่าที่เหมาะสม มาใช้ในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดของระบบไฟฟ้าอย่างประหยัด เพื่อลดต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตกำลังไฟฟ้าในส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ต่ำ ซึ่งจะเป็นการนำความสามารถของข้อมูลตำแหน่งที่ดีที่สุดของทุกรอบในวิธีแบบกลุ่มอนุภาคกับความสามารถในการค้นหาแบบท้องถิ่นของวิธีแบบโน้มถ่วงมาทำงานร่วมกัน เพื่อเพิ่มความถูกต้องแม่นยำขึ้นกว่าวิธีที่ผ่านมา โดยจะทำการทดสอบกับระบบ IEEE 14 บัส และ IEEE 30 บัส แล้วเปรียบเทียบผลการทดสอบกับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค และแบบโน้มถ่วง

## 2. การดำเนินการวิจัย

### 2.1 ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

คือการวางแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องในการผลิตกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการของระบบในแต่ละช่วงเวลา โดยคำนึงถึงต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตที่ต่ำที่สุด และเหมาะสมกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละประเภทเชื้อเพลิง โดยอยู่ในภายใต้เงื่อนไขบังคับต่าง ๆ ซึ่งกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันของต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตกำลังไฟฟ้า

### 2.1.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ [4]

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

โดย  $F_T$  คือ ฟังก์ชันของราคาค่าเชื้อเพลิงรวม มีหน่วยเป็นราคาต่อชั่วโมง  $P_i$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่  $i$   $F_i(P_i)$  คือ ฟังก์ชันของราคาค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่  $i$  ราคาต่อชั่วโมง ซึ่งเป็นฟังก์ชันราคาที่ราบเรียบ (Smooth Cost Function) ดังสมการที่ 2

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

โดย  $a_i, b_i, c_i$  คือสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันราคาค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  $i$

### 2.1.2 เงื่อนไขข้อบังคับ

#### 2.1.2.1 กำลังไฟฟ้าสมดุล (Power Balance)

เงื่อนไขของการผลิตกำลังไฟฟ้าให้สมดุลกับความต้องการ และขีดจำกัดของการผลิตที่พิจารณาเป็นดังสมการต่อไปนี้

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

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

โดย  $P_D$  คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบ ;  $P_{loss}$  คือ ค่าความสูญเสียของระบบ  $N$  คือ จำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและ  $P_{Gi, \min}, P_{Gi, \max}$  คือ จำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ำสุด และสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่  $i$  ตามลำดับ

#### 2.1.2.2 ขีดจำกัดของแรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

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

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

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

โดยกำหนดให้  $V_{i, \min}, V_{i, \max}$  คือ แรงดันไฟฟ้าต่ำสุดและแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  $P_{Gi, \min}, P_{Gi, \max}$  คือ เป็นค่ากำลังไฟฟ้าจริงต่ำสุดและ สูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและ  $Q_{Gi, \min}, Q_{Gi, \max}$  คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนต่ำสุดและ สูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

### 2.2 วิธีแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง เพื่อแก้ปัญหการจ่ายโหลดของระบบไฟฟ้าอย่างประหยัด

### 2.2.1 วิธีแบบกลุ่มอนุภาค

วิธีแบบกลุ่มอนุภาค เป็นวิธีการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นให้กับอนุภาค แล้วคำนวณหาค่าความเหมาะสม ถ้าหากว่าค่าความเหมาะสมที่ได้มีค่ามากกว่าค่าเดิม ( $P_{best}$ ) ให้เปลี่ยนไปใช้ค่าที่มากกว่า จากนั้นเลือกค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดจากอนุภาคทุกตัวแล้วใช้เป็นค่าที่ดีที่สุด ( $G_{best}$ ) แล้วคำนวณค่าความเร็วใหม่สำหรับทุก อนุภาคที่เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใหม่ แล้วทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนได้คำตอบสุดท้ายที่น่าพอใจ ซึ่งทุก ๆ รอบการทำงานเวลา  $t$  ความเร็วของการเคลื่อนที่จะถูกเปลี่ยนแปลงโดยใช้ข้อมูลของตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคแต่ละตัว ( $P_i(t)$ ), ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคทั้งหมด ( $P_g(t)$ ) 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  $[0,1]$  เพื่อจำกัดความเร็วที่มากเกินไปทุก ๆ รอบการทำงานอนุภาคจะมีการเปลี่ยนตำแหน่งด้วยความเร็วที่มีอยู่ดังสมการที่ 9

$$x_i(i+1) = x_i(t) + v_i(t) \quad (9)$$

### 2.2.2 วิธีแบบโน้มถ่วง [5]

วิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการของแรงโน้มถ่วงมีพื้นฐานมาจากกฎความโน้มถ่วงของนิวตัน พิจารณาระบบด้วยตัวแทน  $N$  มวล ซึ่งกำหนดตำแหน่งของตัวแทน  $ith$  โดย

$$X_i = (x_i^1, \dots, x_i^d, \dots, x_i^n) \text{ สำหรับ } i = 1, 2, \dots, N \quad (10)$$

ที่เวลา  $t$  เราสามารถนิยามแรงระหว่างวัตถุ  $i$  และ  $j$  ดังสมการที่ 11

$$F_{ij}^d(t) = G(t) \frac{M_{pi}(t) \times M_{oj}(t)}{R_{ij}(t) + \varepsilon} (x_j^d(t) - x_i^d(t)) \quad (11)$$

โดย  $M_{oj}(t)$  คือ มวลที่สัมพันธ์กับตัวแทน  $j$  ที่เวลา  $t$ ;  $M_{pi}(t)$  คือ มวลที่สัมพันธ์กับตัวแทน  $i$  ที่เวลา  $t$ ;  $G(t)$  คือ ค่าคงตัวโน้มถ่วงที่เวลา  $t$ ;  $\varepsilon$  คือ ค่าคงที่ที่เล็ก;  $R_{ij}(t)$  คือ ระยะห่างระหว่างตัวแทน  $i$  และ  $j$  ซึ่งสามารถหาค่า  $R_{ij}(t)$  ได้ตามสมการที่ 12

$$R_{ij}(t) = \|x_i(t), x_j(t)\|_2 \quad (12)$$

และสมการที่ 13 แสดงการหาค่าแรงโน้มถ่วงรวมของตัวแทน  $i$  ที่มีมิติ  $d$  โดย  $rand_j$  คือค่าที่ได้จากการสุ่มตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง 0

$$F_i^d(t) = \sum_{j=1, j \neq i}^N rand_j F_{ij}^d(t), \quad (13)$$

จากกฎของการเคลื่อนที่ อัตราเร่งของตัวแทน  $i$  คำนวณได้ดังสมการที่ 14 โดยที่  $M_{ii}$  คือค่ามวลเฉื่อยของตัวแทน  $i$

$$a_i^d(t) = \frac{F_i^d(t)}{M_{ii}(t)} \quad (14)$$

สมการที่ 15 เป็นสมการหาค่าความเร็วของตัวแทน  $i$

$$v_i^d(t+1) = rand_i \times v_i^d(t) + a_i^d(t) \quad (15)$$

$$x_i^d(t+1) = x_i^d(t) + v_i^d(t+1) \quad (16)$$

ค่าของ  $x_i^d(t+1)$  จะเท่ากับค่าปัจจุบันบวกกับค่าความเร็วดังสมการที่ 16

การคำนวณค่ามวลสามารถคำนวณได้จากสมการหาค่า fitness ตัวแทนที่มีค่า fitness ดีจะมีมวลมากซึ่งจะส่งผลให้เคลื่อนที่ช้า ฟังก์ชันที่ใช้ในการปรับปรุงมวลของตัวแทนมีดังนี้ โดยที่  $M_{oi} = M_{pi} = M_{ii} = M_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$

$$m_i(t) = \frac{fit_i(t) - worst(t)}{best(t) - worst(t)} \quad (17)$$

$$M_i(t) = \frac{m_i(t)}{\sum_{j=1}^N m_j(t)} \quad (18)$$

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

### 2.2.3 ปรับปรุงวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง

ในส่วนนี้เป็นการปรับปรุงให้ผลเฉลยมีคำตอบที่ดีขึ้น โดยการปรับปรุงวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคแบบเดิม โดยปรับปรุงค่าตัวแปรตัวประกอบค่าน้ำหนักความเฉื่อย ค่าคงที่ความเร่ง จากสมการ 8 ความเร็วของอนุภาคแต่ละตัวที่เปลี่ยนไป หลังจากปรับปรุงตัวแปรแล้วจะได้สมการที่ 19

$$v_i(t+1) = w_{new}(t) \times v_i(t) + c_1 r_1 (p_i(t) - x_i(t)) + c_2 r_2 (p_g(t) - x_i(t)) \quad (19)$$

$$w = w_{max} - \frac{w_{max} - w_{min}}{Iter_{max}} \times Iter, \quad (20)$$

$$w_{new} = w_{min} + w \times rand_3, \quad (21)$$

$$c_1 = c_{1max} - \frac{c_{1max} - c_{1min}}{Iter_{max}} \times Iter, \quad (22)$$

$$c_2 = c_{2max} - \frac{c_{2max} - c_{2min}}{Iter_{max}} \times Iter, \quad (23)$$

$w_{min}, w_{max}$  คือ ค่าเริ่มต้น และค่าสุดท้ายของน้ำหนัก,

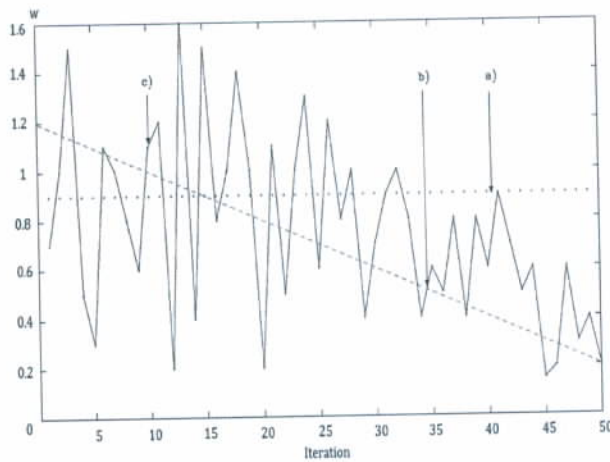
$c_{1min}, c_{1max}$  คือ ค่าเริ่มต้น และค่าสุดท้ายของ cog factors,

$c_{2min}, c_{2max}$  คือ ค่าเริ่มต้น และค่าสุดท้ายของ social factors,

$Iter_{max}$  คือ จำนวนรอบสูงสุด

$Iter$  คือ จำนวนรอบปัจจุบัน

$rand_3$  คือ ตัวเลขที่ทำการสุ่มขึ้นมาใหม่มีค่าอยู่ในช่วง [0,1]



รูปที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบของน้ำหนักในแต่ละวิธี :

a)  $w = const$  b)  $w =$  สมการที่ (20)

c)  $w_{new} =$  สมการที่ (21)

จากรูปที่ 1 [6] แสดงลักษณะของฟังก์ชันตัวแปรตัวประกอบค่าน้ำหนักความเฉื่อย ในจุดที่ a, b, c ซึ่งจะเกี่ยวกับค่าคงที่, การเป็นเชิงเส้นที่แนวโน้มลดลงตามสมการที่ 20 และฟังก์ชันตัวแปรตัวประกอบค่าน้ำหนักความเฉื่อยที่ปรับปรุงแล้วตามสมการที่ 21 ตามลำดับ

แนวคิดพื้นฐานของวิธีแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง คือการนำความสามารถของข้อมูลตำแหน่งที่ดีที่สุดของทุกรอบในวิธีแบบกลุ่มอนุภาค กับความสามารถในการค้นหาแบบท้องถิ่นของวิธีแบบโน้มถ่วงมาทำงานร่วมกัน ในวิธีแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง ตัวแทนทั้งหมดจะเริ่มค้นหาการสุ่ม หลังจากเริ่มต้นแรงโน้มถ่วง, แรงโน้มถ่วงคงที่ และผลลัพธ์ทั้งหมดของตัวแทนจะคำนวณโดยใช้สมการที่ 11-14 และกำหนดความเร็วของ

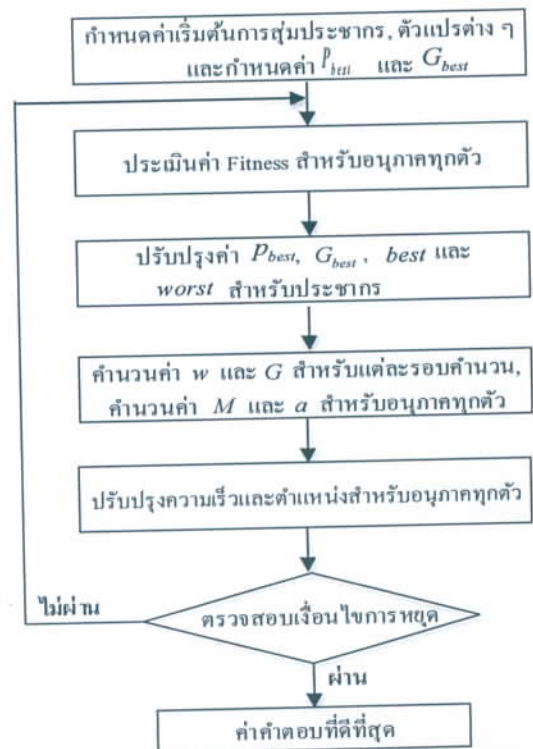
อนุภาคโดยใช้สมการที่ 15 ค่าคำตอบที่ดีที่สุดควรปรับปรุงหลังจากที่ทำซ้ำแต่ละครั้งหลังจากการคำนวณความเร็วและปรับปรุงความคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งค่าความเร็วของตัวแทนทั้งหมดสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 24

$$v_i^d(t+1)_{HPSO-GSA} = c_3 \times r_3 \times v_i^d(t+1)_{psa} \quad (24)$$

$$+ c_4 \times (1 - r_3) \times v_i^d(t+1)_{GSA}$$

สุดท้ายจะเป็นการปรับปรุงตำแหน่งของตัวแทนจะใช้สมการที่ 9

ซึ่งสามารถเขียนขั้นตอนการทำงานด้วยวิธีแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วงโดยมีขั้นตอนดังนี้

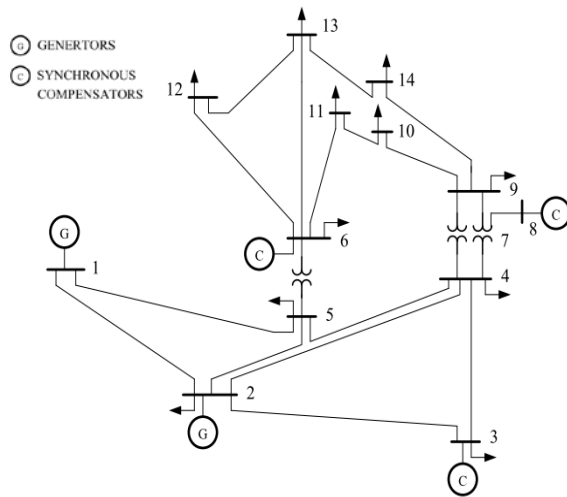


รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงานด้วยวิธีแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง

## 2.3 ระบบทดสอบ

### 2.3.1 ระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส

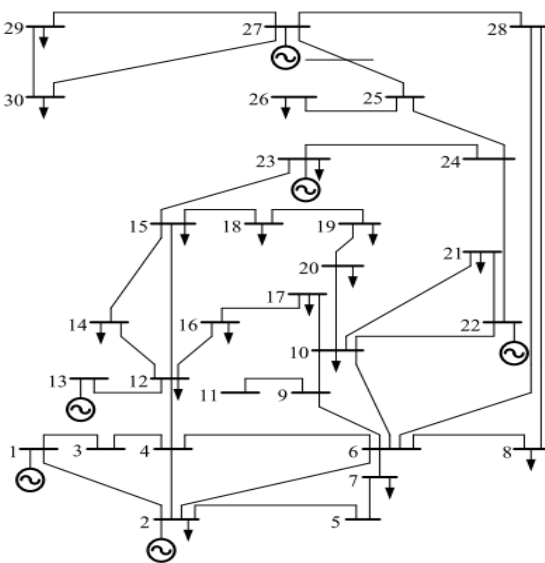
ระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส ในรูปที่ 3 ซึ่งเมื่อทำการคำนวณด้วยวิธีนิวตันราฟสัน (NR) จะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมอยู่ที่ 13.393272 MW ดังแสดงตารางที่ 1



รูปที่ 3 ระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส

### 2.3.2 ระบบมาตรฐาน IEEE 30 บัส

ระบบมาตรฐาน IEEE 30 บัสในรูปที่ 4 ซึ่งเมื่อทำการคำนวณด้วยวิธีนิวตันราฟสัน (NR) จะมีค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียรวมอยู่ที่ 2.4438 MW ดังแสดงตารางที่ 2



รูปที่ 4 ระบบมาตรฐาน IEEE 30 บัส

## 3. ผลการวิจัย

### 3.1 ระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส

ผลสมรรถนะของการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้จากวิธีการที่นำเสนอ (Hybrid IPSO-GSA) เปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีนิวตันราฟสัน (NR), วิธีแบบกลุ่มอนุภาค (PSO), วิธีแบบไน้มถ่วง (GSA) และ วิธีแบบกลุ่มอนุภาค

ร่วมกับแบบไน้มถ่วง (Hybrid PSO-GSA) ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบผลการทดสอบฟังก์ชันราคาที่เหมาะสมของระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส

| Unit Power                   | NR        | PSO       | GSA       | HPSO-GSA  | HIPSO-GSA |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $P_1$ (MW)                   | 232.3933  | 194.1356  | 195.2729  | 193.8456  | 191.5426  |
| $P_2$ (MW)                   | 40        | 36.572    | 36.2878   | 36.0154   | 35.6584   |
| $P_3$ (MW)                   | 0         | 28.5757   | 27.0942   | 28.5625   | 28.0325   |
| $P_6$ (MW)                   | 0         | 0         | 0         | 0         | 0         |
| $P_8$ (MW)                   | 0         | 8.5186    | 9.679     | 8.1954    | 7.6521    |
| Total Power Output (MW)      | 272.3933  | 267.8019  | 268.3339  | 266.6189  | 262.8856  |
| $P_{loss} = P_i - D$ (MW)    | 13.3933   | 8.8075    | 9.3342    | 7.6189    | 3.8856    |
| Total Generation Cost (\$/h) | 8171.7331 | 8062.9204 | 8080.4029 | 8060.9569 | 8016.8576 |

### 3.2 ระบบมาตรฐาน IEEE 30 บัส

ทำนองเดียวกัน ผลของคำตอบที่เหมาะสมที่สุดวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธี NR, วิธี PSO, วิธี GSA และวิธี HPSO-GSA ตามลำดับ แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการทดสอบฟังก์ชันราคาที่เหมาะสมของระบบมาตรฐาน IEEE 30 บัส

| Unit Power                   | NR       | PSO      | GSA      | HPSO-GSA | HIPSO-GSA |
|------------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| $P_1$ (MW)                   | 25.9738  | 41.5769  | 44.2468  | 41.2965  | 40.9652   |
| $P_2$ (MW)                   | 60.97    | 55.0153  | 57.5766  | 54.3698  | 54.8645   |
| $P_{13}$ (MW)                | 37       | 16.1973  | 17.5872  | 17.4785  | 17.1685   |
| $P_{22}$ (MW)                | 21.59    | 22.8331  | 17.1127  | 21.1548  | 21.9501   |
| $P_{23}$ (MW)                | 19.2     | 16.2648  | 22.2722  | 16.0531  | 16.8364   |
| $P_{27}$ (MW)                | 26.91    | 39.6852  | 33.3345  | 39.7512  | 38.4158   |
| Total Power Output (MW)      | 191.6438 | 191.5726 | 192.13   | 190.1039 | 190.2005  |
| $P_{loss} = P_i - D$ (MW)    | 2.4438   | 2.3816   | 2.93     | 1.6039   | 1.0005    |
| Total Generation Cost (\$/h) | 593.4522 | 575.0584 | 576.4553 | 574.5862 | 562.6019  |

## 4. การอภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบไน้มถ่วง (Hybrid IPSO-GSA) เพื่อมาแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดนั้น ผลที่ได้ของราคาค้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้า

สูญเสียรวมนั้น มีค่าลดลง เป็นที่น่าพอใจ เพราะการนำความสามารถของข้อมูลตำแหน่งที่ดีที่สุดของทุกรอบในวิธีแบบกลุ่มอนุภาค กับความสามารถในการค้นหาแบบท้องถิ่นของวิธีแบบโน้มถ่วงมาทำงานร่วมกัน ซึ่งจะแสดงผลต่างการทดสอบ ดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลต่างการทดสอบ ของระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส

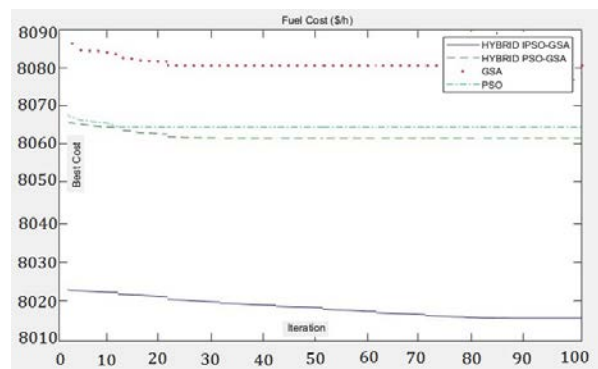
| Unit Power                             | NR      |          | PSO    |          | GSA    |          | HPSO-GSA |          |
|----------------------------------------|---------|----------|--------|----------|--------|----------|----------|----------|
|                                        | Total   | Diff (%) | Total  | Diff (%) | Total  | Diff (%) | Total    | Diff (%) |
| $P_{\text{loss}} = P_i - D(\text{MW})$ | 9.5077  | 70.99%   | 4.9219 | 55.88%   | 5.4486 | 58.37%   | 3.7333   | 49.00%   |
| Total Gen Cost (\$/h)                  | 154.876 | 1.90%    | 46.063 | 0.57%    | 63.545 | 0.79%    | 44.099   | 0.55%    |

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลต่างการทดสอบ ของระบบมาตรฐาน IEEE 30 บัส

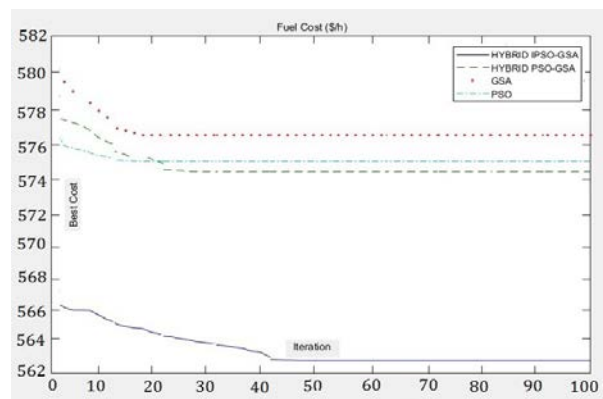
| Unit Power                             | NR     |          | PSO    |          | GSA    |          | HPSO-GSA |          |
|----------------------------------------|--------|----------|--------|----------|--------|----------|----------|----------|
|                                        | Total  | Diff (%) | Total  | Diff (%) | Total  | Diff (%) | Total    | Diff (%) |
| $P_{\text{loss}} = P_i - D(\text{MW})$ | 1.4433 | 59.06%   | 1.3811 | 57.99%   | 1.9295 | 65.85%   | 0.6034   | 37.62%   |
| Total Gen Cost (\$/h)                  | 30.850 | 5.20%    | 12.457 | 2.17%    | 13.853 | 2.40%    | 11.984   | 2.09%    |

คุณภาพของคำตอบ จากตารางที่ 1 และ 2 แสดงให้เห็นได้ว่าคำตอบที่ได้จากวิธีแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง (HPSO-GSA) มีค่าเฉลี่ย ค่าที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันราคาแบบราบเรียบโดยที่ต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่น ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า สำหรับวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยการปรับปรุงวิธีกลุ่มอนุภาคให้ทำงานร่วมกับแบบโน้มถ่วง เมื่อพิจารณาการทำงานของระบบทดสอบ IEEE 14 บัส พบว่าราคาต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตเทียบกับวิธีแบบกลุ่มอนุภาคราคาจะลดลงร้อยละ 0.57 (46.063\$/h),  $P_{\text{loss}}$  ลดลงร้อยละ 55.88 (4.9219 MW), วิธีแบบโน้มถ่วงราคาจะลดลงร้อยละ 0.79 (63.545\$/h),  $P_{\text{loss}}$  ลดลงร้อยละ 58.37 (5.4486 MW) และแบบการปรับปรุงกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง ราคาจะลดลงร้อยละ 0.55 (44.099\$/h),  $P_{\text{loss}}$  ลดลงร้อยละ 49 (3.733MW) ดังรูปที่ 5 จะเป็นการแสดงการกระจายของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงการผลิตเมื่อทำซ้ำ 100 ครั้ง ขณะที่ระบบทดสอบ IEEE 30 บัส พบว่า

ราคาต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตเทียบกับวิธีแบบกลุ่มอนุภาคราคาจะลดลงร้อยละ 2.17 (12.457\$/h),  $P_{\text{loss}}$  ลดลงร้อยละ 57.99 (1.3811 MW), วิธีแบบโน้มถ่วงราคาจะลดลงร้อยละ 2.4 (13.853\$/h),  $P_{\text{loss}}$  ลดลงร้อยละ 65.85 (1.9295 MW) และแบบการปรับปรุงกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วง ราคาจะลดลงร้อยละ 2.09 (11.984\$/h),  $P_{\text{loss}}$  ลดลงร้อยละ 37.62 (0.6034MW) ดังรูปที่ 6 จะเป็นการแสดงการกระจายของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงการผลิตเมื่อทำซ้ำ 100 ครั้ง จากข้อมูลที่ได้ยืนยันได้ชัดเจนว่าการปรับปรุงวิธีแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับแบบโน้มถ่วงมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบได้เป็นอย่างดี



รูปที่ 5 การกระจายของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงการผลิตเมื่อทำซ้ำ 100 ครั้ง ของระบบมาตรฐาน IEEE 14 บัส



รูปที่ 6 การกระจายของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงการผลิตเมื่อทำซ้ำ 100 ครั้ง ของระบบมาตรฐาน IEEE 30 บัส

## 5. บทสรุป และข้อเสนอแนะ

ผลการศึกษการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดเพื่อช่วยลดต้นทุนเชื้อเพลิงในผลิต และกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

รวมของระบบไฟฟ้าให้มีค่าต่ำที่สุดด้วยวิธีการหาค่าตอบ โดยปรับปรุงการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับ ค่าเหมาะสมแบบไฮบริด (Hybrid IPSO-GSA) ให้ ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการหาค่าที่เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค และ แบบไฮบริดทั่วไป เนื่องจากวิธีที่นำเสนอเป็นการนำ ความสามารถของวิธีแบบกลุ่มอนุภาคในด้านการหา ตำแหน่งที่ดีที่สุดของทุกรอบการคำนวณ ร่วมกับ ความสามารถในการค้นหาแบบท้องถิ่นของวิธีแบบไฮบริด มาประยุกต์การทำงานร่วมกัน แล้วปรับปรุงฟังก์ชันตัว แปรตัวประกอบน้ำหนักความเชื่อของวิธีกลุ่มอนุภาค และขอบเขตที่เหมาะสมในการค้นหาค่าตอบตั้งแต่เริ่มต้น จึงทำให้ผลลัพธ์ต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตต่ำกว่าวิธีการ แบบเดิมอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้วิธีที่นำเสนอยังสามารถนำมาขยายผลเพื่อ ไปใช้ในการวิจัยปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่มี ฟังก์ชันราคาที่ไม่ราบเรียบได้เช่นกัน

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Kennedy, R.C. Eberhart. "Particle Swarm Optimization," Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, Piscataway, NJ, USA, Vol. 4, pp. 1942-1948, 1995.
- [2] D. Aydin, S. Ozyon, C. Yasar and T. Liao, "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
- [3] Shanhe Jiang, Zhicheng Ji, Yanxia Shen, "A novel hybrid particle swarm optimization and gravitational search algorithm for solving economic emission load dispatch problems with various practical constraints," Electrical Power and Energy Systems, Vol 55, pp.628-644, 2014.
- [4] Wood, Allen J. and Bruce F. Wollenberg, Power Generation, Operation and Control. Second Edition, John Wiley and Sons, Inc., Reading, New York, 1996.
- [5] E. Rashedi, H. Nezamabadi-pour, and S.Saryazdi, "GSA: A Gravitational Search Algorithm," Information Sciences, Vol. 179, No.13, pp.2232-2248, June, 2009.
- [6] Phan Tu Vu, DinhLuong Le, NgocDieu Vo and Jose Thlusty, "A novel weight-improved particle swarm optimization algorithm for optimal power flow and economic load dispatch problems," IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, LA, 19-22 April, 2010.