

การเพิ่มอัตราส่วนค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัด
ด้วยการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงแล้ว

Electrical Power Generating to Economic Dispatch Ratio Enhancement by using Modified PSO

ศุภกานต์ จันทร์เสรีวิทยา

Suppakarn Chansareewittaya

ศูนย์วิจัยวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และการสื่อสารเพื่อการพัฒนาศักยภาพ

Computer and Communication Engineering for Capacity Building Research Center

สำนักวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

School of Information Technology, Mae Fah Luang University

Received: August 14, 2020; Revised: November 24, 2020; Accepted: November 30, 2020; Published: December 22, 2020

ABSTRACT – This paper presents the optimization of electrical power generating to economic dispatch ratio enhancement with optimal power flow by using modified particle swarm optimization (PSO). By making modification by adjusting the weight value to adjust the speed of particle motion. There are 2 types of used weight values which are 1. General PSO inertia weight 2. Simulated annealing inertia weight (SAIW). The used system in the test is the IEEE 30 bus. The result of the improvement shows that the PSO with SAIW provides better electrical power generating to economic dispatch ratio than the use of PSO with general weights.

KEYWORDS: Enhancement, Optimization, Power flow, Particle swarm optimization, Economic dispatch

บทคัดย่อ - บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอการเพิ่มอัตราส่วนค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดพร้อมการไหลกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมด้วยการใช้การหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงแล้ว โดยทำการเปลี่ยนแปลงด้วยการปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักในการปรับความเร็วของการเคลื่อนที่ของอนุภาค ค่าน้ำหนักที่ใช้มี 2 แบบ ได้แก่ 1. น้ำหนักความเฉื่อยแบบทั่วไปของการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค 2. น้ำหนักความเฉื่อยแบบจำลองการอบอุ่น โดยระบบที่ใช้ในการทดสอบคือ IEEE 30 บัส ผลของการเปลี่ยนแปลงพบว่าการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่ใช้น้ำหนักความเฉื่อยแบบจำลองการอบอุ่นให้อัตราส่วนค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดดีกว่าการใช้น้ำหนักความเฉื่อยแบบทั่วไปของการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค

คำสำคัญ: การเพิ่มประสิทธิภาพ, การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด, การไหลกำลังไฟฟ้า, การหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค, ค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

1. บทนำ

ณ ปัจจุบันความต้องการใช้กำลังไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นทุกปี การจัดหา กำลังไฟฟ้ามาตอบสนองความต้องการนั้นเป็นสิ่งที่ต้องคิดและวางแผน เนื่องจากการที่จะผลิตกำลังไฟฟ้านั้นจะต้องมีต้นทุน และต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติมาเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งในปัจจุบัน ทรัพยากรธรรมชาติเริ่มขาดแคลน หายาก และมีราคาที่สูงขึ้น มาก เพราะฉะนั้นจึงต้องพยายามผลิตกำลังไฟฟ้าให้คุ้มค่าที่สุด ที่สุด และวิธีการหนึ่งซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิต กำลังไฟฟ้า ก็คือ การจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic dispatch: ED) [1] โดยปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดเป็น ปัญหาที่ต้องการหาค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าที่ต่ำที่สุด โดยกำลังการผลิต ไฟฟ้าที่ได้ต้องเพียงพอต่อความต้องการของ ระบบ [2-4]

การแก้ไขปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดนั้นได้มีการ พัฒนาและคิดค้นวิธีการต่าง ๆ มากมาย วิธีการที่เป็นนิยมคือวิธีการ ศึกษาสำนึก (Heuristics method) [5] ดังเช่นใน [6] ได้พัฒนา วิธีการลูกผสมระหว่างการพัฒนาการแบบผลต่าง (Differential evolution: DE) และการค้นหาแบบตาบ (Tabu search: TS) เพื่อ แก้ไขปัญหาแบบฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective function: MO) ซึ่งวิธีการที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้นได้ให้ค่าการจ่าย โหลดอย่างประหยัดร่วมกับค่าการปลดปล่อยมลภาวะ (Environmental dispatch) ที่ดีกว่าวิธีการดั้งเดิม และอีกวิธีการ อีกประเภทที่เป็นที่นิยมคือวิธีการแรงบันดาลใจชีว (Bio-inspirations methods) เช่น ใน [7] ได้พัฒนาวิธีการลูกผสม (Hybrid) ระหว่างอัลกอริทึมผึ้ง (Bee algorithm: BA) และการ ค้นหาแบบตาบแบบปรับค่าได้ (Adaptive tabu search: ATS) ซึ่ง ให้ค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่ดีขึ้นกว่าวิธีการดั้งเดิม

ใน [8] ได้ทำการปรับเปลี่ยนการโปรแกรมพัฒนาการ ร่วมกับการใช้ค่าฟังก์ชันใหม่เพื่อปรับปรุงการเพิ่มประสิทธิภาพ การการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

จะเห็นได้ว่าวิธีการที่ใช้ในการค้นหาคำตอบแบบดั้งเดิม สามารถใช้ในการแก้ไขปัญหาก็ได้แต่จะเป็นการแก้ไขปัญหาก็ ได้ผลลัพธ์ในระดับขั้นต้น เมื่อมีการพัฒนาวิธีการให้ดีขึ้นและ นำไปใช้ในการแก้ปัญหานั้นก็จะได้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นด้วย

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงการจ่ายโหลดอย่างประหยัด อย่างเดียวแล้วนั้นอาจจะพบว่าค่าที่ได้นั้นยังไม่เหมาะสม เท่าที่ควร บทความวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการเพิ่มอัตราส่วนค่า กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดด้วยการ

เคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค (Particle swarm optimization: PSO) ทำการเปรียบเทียบกับค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของ กลุ่มอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงแล้ว (Modified particle swarm optimization) ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 2 และระบบที่ใช้ในการ ทดสอบคือ IEEE 30 บัส ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้วิธีการที่ นำเสนอจะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 3 และสรุปผลการทดลองได้ กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4

2. วิธีการที่นำเสนอ

2.1 การหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค

การหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคได้ถูก นำเสนอโดย Eberhart และ Kenedy ในปีคริสต์ศักราช 1995 [9]

โดยการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่ม อนุภาคมีจุดเด่นอยู่ที่มีการลู่เข้าหาคำตอบได้เร็วด้วยกลไกของ วิธีการเอง [10] โดยกลไกดังกล่าวจะอาศัยตำแหน่งของแต่ละ อนุภาคในกลุ่มเป็นการอ้างอิงและใช้ในการคำนวณความเร็ว ของเปลี่ยนตำแหน่ง การเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคได้แสดงใน ระนาบ X-Y ดังรูปที่ 1 โดยแต่ละอนุภาคจะเคลื่อนที่ไปยัง ตำแหน่งใหม่โดยใช้ความเร็วตามประสบการณ์ของตัวเอง เรียกว่า P_{best} และตามประสบการณ์ของอนุภาคใกล้เคียงใน กลุ่มที่เรียกว่า G_{best} ซึ่งกลไกนี้เป็นการใช้ประโยชน์จาก ตำแหน่งที่ดีที่สุดที่พบโดยตัวเองและอนุภาคใกล้เคียง การ ปรับเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$v_i^{k+1} = w_k \times v_i^k + c_1 \times rand_1 \times (p_{besti} - s_i^k) + c_2 \times rand_2 \times (g_{best} - s_i^k) \quad (1)$$

โดย

v_i^{k+1} : ความเร็วใหม่ของอนุภาค i สำหรับรอบ การคำนวณถัดไป

w_k : ค่าน้ำหนักที่รอบการคำนวณ k ,

v_i^k : ความเร็วของอนุภาค i ที่รอบการคำนวณ k ,

c_1 and c_2 : ค่าสัมประสิทธิ์น้ำหนักมีค่าเท่ากับ 2,

$rand_1$ and $rand_2$: ตัวเลขสุ่มมีค่าระหว่าง 0 และ 1,

s_i^k : ตำแหน่งปัจจุบันของอนุภาค i ที่รอบการคำนวณ k ,
 p_{best} : ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค i ที่รอบการคำนวณปัจจุบัน, และ
 g_{best} : ตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคที่รอบการคำนวณปัจจุบัน

ค่าน้ำหนักสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการที่ 2

$$w_k = \left(\frac{w_{\min} - w_{\max}}{iwe - 1} \right) \times (iter - 1) + w_{\max} \quad (2)$$

โดย

$w_{\max}$: ค่าน้ำหนักสูง มีค่าเท่ากับ 0.9,
 $w_{\min}$: ค่าน้ำหนักต่ำ มีค่าเท่ากับ 0.4,
 iwe : ค่าคงที่มีค่าเท่ากับ 1500,
 $iter$: รอบการทำงานปัจจุบัน

ตำแหน่งใหม่ของอนุภาคสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$s_i^{k+1} = s_i^k + v_i^{k+1} \quad (3)$$

โดย

s_i^{k+1} : ตำแหน่งใหม่ของอนุภาค i ที่รอบการคำนวณถัดไป, และ
 s_i^k : ตำแหน่งปัจจุบันของอนุภาค i ที่รอบการคำนวณ k

2.2 การหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงแล้ว

บทความวิจัยนี้ได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักของการหาตำแหน่งที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค โดยค่าน้ำหนักที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.1 เป็นค่าน้ำหนักซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า “ค่าน้ำหนักความเฉื่อยแบบทั่วไป” โดยรูปที่ 1 แสดงกราฟค่าน้ำหนักความเฉื่อยแบบทั่วไปสำหรับ 200 รอบการคำนวณ

เมื่อใช้ค่าน้ำหนักความเฉื่อยแบบทั่วไปนี้ในการแก้ปัญหา ก็จะได้คำตอบที่เหมาะสมออกมาแต่จะเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเฉพาะถิ่น (Optimal local answer) ยังไม่ใช่คำตอบที่เหมาะสมที่แบบวงกว้าง (Optimal global answer)

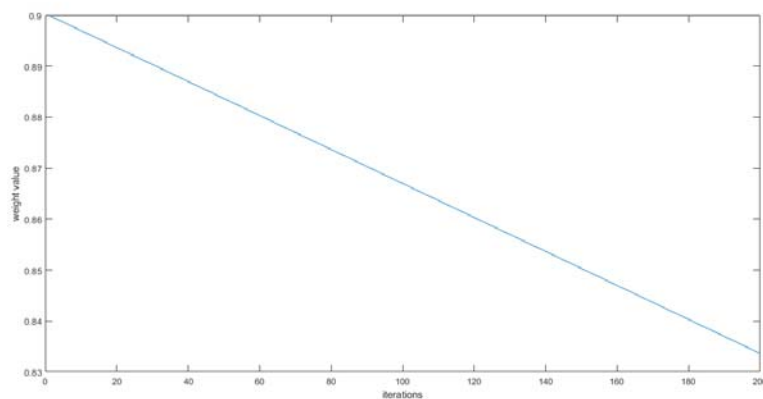
บทความนี้จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนค่าน้ำหนักของการหาตำแหน่งที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคเป็นจากค่าน้ำหนักความเฉื่อยแบบทั่วไป เป็น “ค่าน้ำหนักความเฉื่อยแบบจำลองการอบอุ่น” (Simulated annealing inertia weight: SAIW) [11-12] จุดประสงค์คือเพื่อต้องการค้นคำตอบแบบวงกว้าง โดยค่าน้ำหนักความเฉื่อยแบบจำลองการอบอุ่นได้จากสมการที่ 4 [13]

$$w_k = w_{\min} + (w_{\max} - w_{\min}) \times \lambda^{iter-1} \quad (4)$$

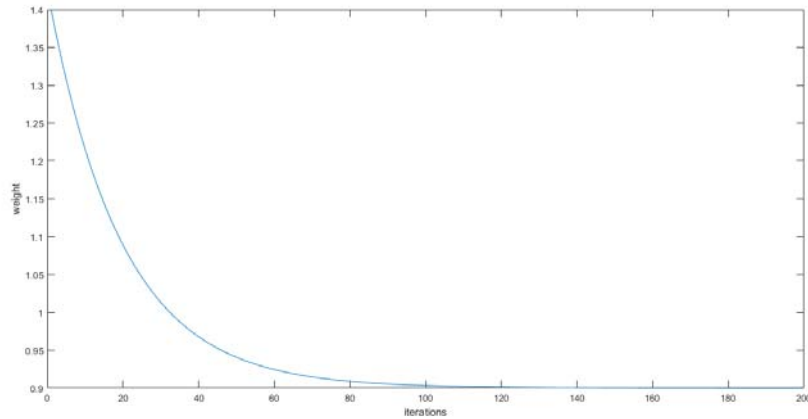
โดย

$w_{\max}$: ค่าน้ำหนักสูง มีค่าเท่ากับ 0.9,
 $w_{\min}$: ค่าน้ำหนักต่ำ มีค่าเท่ากับ 0.4,
 λ : ค่าคงตัวแลมด้ามีค่าเท่ากับ 0.95, และ
 $iter$: รอบการทำงานปัจจุบัน

รูปที่ 2 แสดงกราฟค่าน้ำหนักความเฉื่อยแบบจำลองการ



รูปที่ 1. แสดงกราฟค่าน้ำหนักความเฉื่อยแบบทั่วไปสำหรับ 200 รอบการคำนวณ



รูปที่ 2. กราฟค่าน้ำหนักความเลี้ยวแบบจำลองการอบอุ่นสำหรับ 200 รอบการคำนวณ

3. การจ่ายโหลดอย่างประหยัด

การจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic dispatch: ED) เป็นปัญหาที่รู้จักกันดีทางด้านไฟฟ้ากำลัง โดยจะเป็นการหาค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าที่ต่อที่สุดภายในเงื่อนไขที่เหมาะสม เช่น ไม่ทำงานในสถานะที่เกินภาระของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าต้องอยู่ในขอบเขตที่ระบบส่ง/จ่ายรองรับได้ ต้องสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้พอเพียงกับความต้องการและอื่น ๆ ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดโดยไม่ทำให้เกิดความเสียหาย

บทความนี้ได้ใช้การไหลกำลังที่เหมาะสม (Optimal power flow: OPF) เป็นองค์ประกอบหนึ่งของการคำนวณ โดยปัญหาการไหลกำลังที่เหมาะสมขึ้นพื้นฐานสามารถอธิบายได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ดังสมการที่ 5

$$\min \sum_{i=1}^n F_i(P_i) \quad (5)$$

โดย

$F_i(P_i)$: ฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i , และ
 P_i : กำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i หน่วยคือ MW
 n : จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดในระบบ

ซึ่งฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคำนวณได้จากสมการที่ 6

$$F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \quad (6)$$

โดย

a_i , b_i และ c_i : สัมประสิทธิ์ราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i

ซึ่งหน่วยของสัมประสิทธิ์ a , b , และ c คือ $(\text{MW})^2 \text{ \$}/\text{h}$, $\text{MW}\text{ \$}/\text{h}$ และ $\text{\$/h}$ ตามลำดับ ทำให้หน่วยของค่าที่ได้จากสมการที่ 6 มีค่าเป็น $\text{\$/h}$

และมีเงื่อนไขของกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังนี้

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max} \quad (7)$$

กำลังไฟฟารวมที่ผลิตได้ต้องตอบสนองต่อความต้องการการใช้กำลังไฟฟ้าและการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบส่งจ่ายได้ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 8

$$\sum_{i=1}^n P_i = D + P_l \quad (8)$$

โดย

D : ความต้องการใช้กำลังไฟฟ้า (Mwh)
 P_l : กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Mwh)
ซึ่ง P_l คำนวณได้จากสมการที่ 9

$$P_l = \text{real} \geq \left(\sum_j^n V_i Y_{ij} * V_j \right) \quad (9)$$

โดย

V_i : แรงดันไฟฟ้าที่บัส i ,
 V_j : แรงดันไฟฟ้าที่บัส j , และ

Y_{ij} : ค่าแอดมิตแดนระหว่างบัส i และ j
และ $real$ ในสมการที่ 9 หมายถึงการเลือกส่วนที่เป็นจำนวนจริงของคำตอบที่ได้จากการคำนวณไปใช้งานซึ่งหมายถึงกำลังไฟฟ้าจริง (Real power)

ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 10 [14]

$$\min \sum_{i=1}^n F_i(P_i) + 1000 * abs(\sum_{i=1}^n P_i - D - P_l) \quad (10)$$

เมื่อนำสมการที่ 8 หารด้วยสมการที่ 5 จะได้สมการหาอัตราส่วนค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดดังสมการที่ 11

$$ratio = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\min \sum_{i=1}^n F_i(P_i)} \quad (11)$$

4. ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ ได้ใช้ระบบ IEEE 30 บัส จาก [14] เป็นระบบทดสอบ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6 เครื่อง กำหนดค่าความต้องการพลังงานที่ 283.4 MW โดยข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์แสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1. แสดงข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์ของระบบ IEEE 30 บัส

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส	a (MW) ² \$/h	b MW\$/h	c \$/h	ค่ากำลังไฟฟ้าต่ำสุดที่ผลิตได้ (MW)	ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้ (MW)
1	0.00375	2.0000	0	50	200
2	0.0175	1.7500	0	20	80
5	0.0625	1.0000	0	15	50
8	0.0083	3.2500	0	10	35
11	0.0250	3.0000	0	10	30
13	0.0250	3	0	11	40

และได้กำหนดพารามิเตอร์ของการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาค คือ จำนวนอนุภาคเท่ากับ 20 และรอบการคำนวณที่ 200 รอบ ซึ่งจำนวนรอบการคำนวณที่ 200 รอบนั้น ได้มาจากการทดสอบวิธีการที่นำเสนอจนได้ข้อสรุปที่แน่ชัดว่า ได้มีผู้เข้าหาคำตอบและมีการอ้อมตัวที่ประมาณ 200 รอบการคำนวณ หากกำหนดรอบการคำนวณมากกว่านี้ก็จะจะทำให้เสียเวลาในการคำนวณไปโดยไม่ได้คำตอบที่เหมาะสมกว่านี้

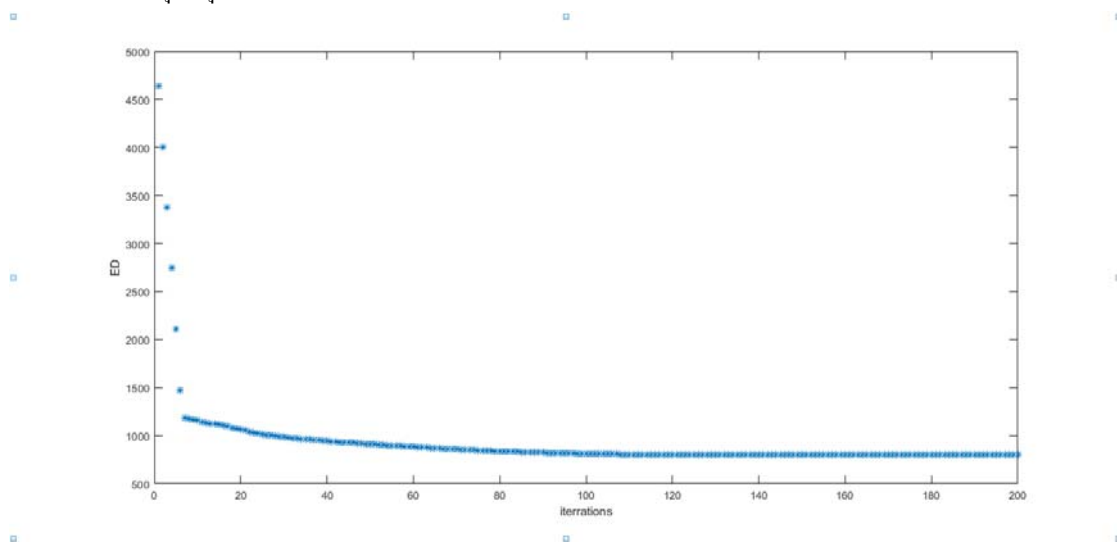
โดยทำการเปรียบเทียบค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ค่ากำลังไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้งาน ค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดและอัตราส่วนค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดด้วยการใช้การหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงแล้วดังที่ได้เสนอในหัวข้อที่ 2 โดยได้แสดงผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2. แสดงค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ ค่ากำลังไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้งาน ค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดและอัตราส่วนค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

วิธีการ	การหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคแบบดั้งเดิม	การหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงแล้ว
ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (MW)	292.7706	292.7999
ค่ากำลังไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้งาน	9.3706	9.3999
ค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดพร้อมการไหลกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม (\$/h)	801.8437	801.8513
อัตราส่วนค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (MWh/\$)	0.36512178	0.36515476

จากตารางที่ 2 พบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้โดยใช้การหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงแล้วมีค่ามากกว่าการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคแบบดั้งเดิมเล็กน้อยที่ 0.0293 MW คิดเป็น 0.0900% ส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าที่เหลือจากการใช้งานที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงแล้วมีค่าเท่ากับ 9.3999 MW ซึ่งมากกว่าค่าที่ได้จากการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคแบบดั้งเดิมเท่ากับ -0.0293 MW คิดเป็น 0.3126% เมื่อเปรียบเทียบค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดพร้อมการไหลกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมพบว่าค่าที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคแบบ

ดั้งเดิมอยู่ที่ 801.8437 \$/h จะน้อยกว่าค่าที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงแล้วซึ่งมีค่า 801.8513 \$/h ได้ค่าความต่างอยู่ที่ 0.0076 \$/h คิดเป็น 0.0009% ซึ่งหมายความว่าในระยะ 1 ชั่วโมง ถ้าใช้ค่าที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคแบบดั้งเดิมจะประหยัดกว่าค่าที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงแล้วที่ 0.0076 \$ โดยกราฟแสดงการดูเข้าของค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดพร้อมการไหลกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมค่าที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงแล้วแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3. กราฟแสดงการดูเข้าของค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดพร้อมการไหลกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมค่าที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงแล้ว

แต่เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วนค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแล้วพบว่าค่าที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงแล้วมีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคแบบดั้งเดิม 0.00003298 MWh/\$ ซึ่งหมายความว่าถ้าใช้ค่าที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงแล้วใช้งานเงิน 1 \$ จะผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากกว่าการใช้ค่าที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคแบบดั้งเดิมที่ 0.00003298 MW ใน 1 ชั่วโมง

ค่าการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่

เปลี่ยนแปลงแล้วแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3. ค่าการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงแล้ว

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่巴士	ค่าการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (MW)
1	176.5569
2	50.0000
5	21.46538
8	21.52291
11	12.07266
13	11.18204

ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดพร้อมการไหลกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่ได้จากการหา

ค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงแล้วแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4. ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้และค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดพร้อมการไหลกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงแล้ว

	ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ (MW)	ค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (\$/h)
ค่าสูงสุด	292.8091	801.8519
ค่าเฉลี่ย	292.7957	801.8516
ค่าต่ำสุด	292.7787	801.8513
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0081	1.7970×10^{-04}

5. บทสรุปและการอภิปราย

บทความนี้ได้นำเสนอการเพิ่มอัตราส่วนค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อค่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดด้วยการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคที่เปลี่ยนแปลงแล้ว โดยได้ทำการแทนที่ค่าน้ำหนักความเฉื่อยแบบทั่วไปด้วยน้ำหนักความเฉื่อยแบบจำลองการอบอุ่น ซึ่งการใช้ค่าน้ำหนักความเฉื่อยแบบจำลองการอบอุ่นนี้จะช่วยในการปรับเปลี่ยนความเร็วของกลุ่มอนุภาค ซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าตำแหน่งใหม่ของอนุภาคนั้น ไม่ได้เปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้นซึ่งส่งผลให้ความหลากหลายของผลลัพธ์ที่ได้และได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าการใช้ค่าน้ำหนักความเฉื่อยแบบทั่วไป โดยการเปลี่ยนแปลงของการหาค่าที่เหมาะสมด้วยการเคลื่อนที่ของกลุ่มอนุภาคยังสามารถปรับเปลี่ยนให้มีความหลากหลายที่มากขึ้น เช่น การใช้ค่าน้ำหนักแบบอื่น ๆ หรือประยุกต์ใช้สมการการคำนวณจากวิธีการคำนวณเข้าร่วมด้วยเพื่อการค้นหาคำตอบที่ดียิ่งขึ้นต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] T. Phongkidakarn and D. Rerkpreapong, "Economic Dispatch using Cuckoo Search Algorithm," Kasetart Engineering Journal, 27, 90 (Oct.-Dec. 2014), pp. 57-66, 2014.
- [2] S. Chansareewittaya, K. Soponronnarit and P. Boonyanant, "Modified DE/Sin for economic dispatch and environmental dispatch," 2018 5th International Conference on Business and Industrial Research (ICBIR),

Bangkok, 2018, pp. 297-302.

- [3] S. Chansareewittaya, "Hybrid BA/ATS for Economic Dispatch Problem," 2018 22nd International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC), Chiang Mai, Thailand, pp. 1-4, 2018.
- [4] S. Chansareewittaya, "Hybrid Differential Evolutionary/Tabu Search for Economic Dispatch and Environmental Dispatch," 2018 15th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Chiang Rai, Thailand, pp. 9-12, 2018.
- [5] Arthit Srikaew. Computational Intelligence. Suranaree University of Technology, 2558.
- [6] S. Chansareewittaya, "Hybrid MODE/TS for Environmental Dispatch and Economic Dispatch," ECTI-EEC, vol. 17, no. 1, pp. 78-86, Sep. 2019.
- [7] S. Chansareewittaya, "Economic Dispatch Using Modified Hybrid BA/ATS," ECTI-CIT, vol. 14, no. 1, pp. 30-36, Mar., 2020.
- [8] S. Chansareewittaya, "Modified EP/sin for Optimal Power Flow with Economic Dispatch," Srinakharinwirot Engineering Journal, vol. 14, issue 1, pp.56-66, 2019.

- [9] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle swarm optimization," IEEE International Conference of Neural Networks, vol.4, pp. 1942–1948, 1995.
- [10] S. Chansareewittaya and P. Jirapong, "Power transfer capability enhancement with multitype FACTS controllers using particle swarm optimization," TENCON 2010 - 2010 IEEE Region 10 Conference, Fukuoka, pp. 42-47, 2010.
- [11] S. Chansareewittaya and P. Jirapong, "Total transfer capability enhancement with optimal number of UPFC using hybrid TSSA," 2012 9th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, Phetchaburi, pp. 1-4, 2012.
- [12] S. Chansareewittaya and P. Jirapong, "Total transfer capability enhancement with optimal number of FACTS controllers using hybrid TSSA," 2012 Proceedings of IEEE Southeastcon, Orlando, FL, pp. 1-7, doi: 10.1109/SECon.2012.6197079, 2012.
- [13] T. Jatturongkapolkul and B. Panomruttanarug, "Frequency domain system identification for servo system in HGA testing system using Particle Swarm Optimization," IECON 2011 - 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Melbourne, VIC, pp. 587-591, 2011.
- [14] RMS Danaraj, Optimal Power Flow by Vector PSO (<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/46002-optimal-power-flow-by-vector-pso>), MATLAB Central File Exchange. Retrieved August 5, 2020.