

ขั้นตอนวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยวิธีการทิ้งระเบิดสำหรับการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด เมื่อพิจารณาเงื่อนไขบังคับการปฏิบัติงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

อดิศร สินธุโคตร, วรวัฒน์ เสี่ยงมวิบูล, นิวัตร์ อังควิชัยพันธุ์ และศราวุช โพธิยา
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยมหาสารคาม,
อ.กันทรวิชัย, จ.มหาสารคาม 44150 ,E-mail: wor_nui@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอ วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด วิธีการใหม่ เรียกว่า วิธีการทิ้งระเบิด (Bombing Optimization Algorithm; BOA) ซึ่งเลียนแบบยุทธวิธีการจู่โจมทำลายศัตรู โดยการทิ้งระเบิด นำมาใช้แก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อน เมื่อพิจารณาเงื่อนไขบังคับการปฏิบัติงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่น จิตจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลง ช่วงการทำงานต้องห้าม และการสูญเสียในการส่งจ่าย การทดสอบสมรรถนะได้ดำเนินการกับระบบไฟฟ้ากำลัง 2 ระบบ ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6 และ 15 เครื่อง ตามลำดับ ผลการจำลองสถานการณ์ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ เช่น วิธีพันธุกรรมยีนส์ วิธีกลุ่มอนุภาค และวิธีฝูงผึ้ง ปรากฏว่า การแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการที่นำเสนอนี้ มีสมรรถนะที่ดีกว่าทั้งสี่วิธี ทั้งในด้านความแม่นยำ ความถูกต้อง และประสิทธิภาพของคำตอบ

คำสำคัญ : วิธีทิ้งระเบิด การจ่ายโหลดอย่างประหยัด ขบวนการฮิวริสติก ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ระบบไฟฟ้ากำลัง

1. บทนำ

ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch Problem; EDP) เป็นการจัดสรรเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องในระบบไฟฟ้ากำลังให้ผลิตกำลังไฟฟ้าตามความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า ให้มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด และสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับต่างๆ ของระบบ ซึ่งเป็นปัญหาหนึ่งที่มีความสำคัญในระบบการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า

ในทางปฏิบัติคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มีคุณลักษณะแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear) และมีเงื่อนไขบังคับของการทำงานหลายประการ ทำให้ปัญหานี้ยากต่อการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด จึงเป็นที่สนใจและท้าทายของนักวิจัยทั้งในประเทศ และต่างประเทศ

การวิจัยพัฒนาในปัจจุบันสำหรับแก้ปัญหานี้ นิยมนำเอาวิธีการค้นหาที่เหมาะสมที่สุดแบบฮิวริสติก (Heuristic Algorithm) เช่น วิธีจำลองการอ่อนตัวของโลหะ (Simulated Annealing: SA) วิธีพันธุกรรมยีนส์ (Genetic Algorithm: GA) วิธีการค้นหาแบบตาบอด (Tabu Search Algorithm: TSA) วิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) วิธีฝูงมด (Ant Colony Optimization: ACO) และ วิธีฝูงผึ้ง (Bee Algorithm: BA) เป็นต้น เพราะเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านี้ยังมีข้อด้อยที่ยังต้องพัฒนาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

บทความนี้นำเสนอ วิธีการค้นหาที่เหมาะสม วิธีการใหม่ที่ผู้วิจัยได้คิดค้นและพัฒนาขึ้นมาเอง เรียกว่า วิธีการทิ้งระเบิด (Bombing Optimization Algorithm; BOA) ระเบียบวิธีการทิ้งระเบิด เลียนแบบยุทธวิธีการจู่โจมทำลายศัตรูโดยการทิ้งระเบิด โดยมีกระบวนการค้นหาที่มีประสิทธิภาพหลายกระบวนการ คือ การค้นหาแบบกลุ่ม (Population Search) การปรับตัว (Adaptive) การค้นหาบริเวณใกล้เคียง (Neighborhood search) การใช้ข้อมูลร่วมกัน (Information sharing) มีหน่วยความจำระยะสั้น (Short term memory) และการเริ่มต้นค้นหาใหม่ (Re-starting) ทำให้วิธีการนี้มีประสิทธิภาพมากในการค้นหาที่เหมาะสมที่สุด

การทดสอบสมรรถนะดำเนินการแก้ปัญหาค่าใช้จ่ายโหลดอย่างประหยัดของโรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อน 2 ระบบ ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 6 และ 15 เครื่อง ตามลำดับ เมื่อพิจารณาเงื่อนไขบังคับการปฏิบัติงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เช่น จิตจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลง ช่วงการทำงานต้องห้าม และการสูญเสียในการส่งจ่าย พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลการดำเนินการกับวิธีการอื่นๆ เช่น วิธีพันธุกรรมยีนส์ วิธีกลุ่มอนุภาค และ วิธีฝูงผึ้ง

2. ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

2.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

การจ่ายโหลดอย่างประหยัด มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะ หาค่ากำลังผลิตไฟฟ้ารวม ให้มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด สามารถเขียนสมการของการผลิตกำลังไฟฟ้ารวม ได้เป็น

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

เมื่อ F_T คือ ราคาเชื้อเพลิงรวมทั้งหมด; $F_i(P_i)$ คือ ราคาเชื้อเพลิง ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ i และ n คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด โดยทั่วไปเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนจะมีฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงที่ไม่เป็นเชิงเส้น ดังสมการ

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

เมื่อ a_i, b_i และ c_i คือสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันอัตราความร้อน ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่อง i

2.2 เงื่อนไขบังคับการปฏิบัติงาน

2.2.1 กำลังไฟฟ้าสมดุล (Power balance)

กำลังผลิตไฟฟ้าทั้งหมดจะต้องเท่ากับผลรวมของความต้องการปริมาณไฟฟ้า (Demand) กับพลังงานสูญเสียรวมในการส่งจ่าย (Power losses) ดังสมการ

$$\sum_{i=1}^n P_i = D + P_L \quad (3)$$

โดยที่

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

เมื่อ P_i คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิต จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i ; D คือ ความต้องการของกำลังไฟฟ้าในระบบ; P_i^{\min} คือ กำลังผลิตต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i ; P_i^{\max} คือ กำลังผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i และ P_L คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดของการส่งจ่ายหาได้จาก

$$P_L = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^m B_{0i} P_i + B_{00} \quad (5)$$

เมื่อ B_{ij}, B_{0i} และ B_{00} คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียในสายส่ง

2.2.2 เงื่อนไขบังคับการปฏิบัติงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เพื่อให้การจำลองใกล้เคียงกับทางปฏิบัติ จึงได้พิจารณาเงื่อนไขการปฏิบัติงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 เงื่อนไข คือ

1) **ขีดจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลง (Ramp Rate Limit)** อัตราการเปลี่ยนแปลงการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ไม่สามารถปรับได้อย่างทันทีทันใด ช่วงการผลิตกำลังไฟฟ้าจะถูกจำกัดด้วยขีดจำกัดการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้า ดังนั้นกำลังผลิตไฟฟ้าของแต่ละเครื่อง จะอยู่ในช่วง

$$\max(P_i^{\min}, P_i^o - DR_i) \leq P_i \leq \min(P_i^{\max}, P_i^o + UR_i) \quad (6)$$

เมื่อ P_i^o คือ กำลังไฟฟ้าก่อนหน้า; UR_i คือ อัตราการเพิ่มกำลังไฟฟ้า และ DR_i คือ อัตราการลดกำลังไฟฟ้า

2) **ช่วงการทำงานต้องห้าม (Prohibited Operating Zone)** สมรรถนะการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดพลังงานความร้อน มีช่วงการทำงานต้องห้าม เนื่องจากวาล์วไอน้ำไม่สามารถทำงานได้ ในช่วงนี้ หรือทำให้เกิดการสั่นขึ้นที่เพลาดังนั้นควรหลีกเลี่ยงที่จะทำงานในช่วงกำลังการผลิตนี้ ซึ่งช่วงการทำงาน ของเครื่องกำเนิด เป็นตามสมการ

$$P_i \in \begin{cases} P_i^{\min} \leq P_i \leq P_{i,1}^l \\ P_{i,j-1}^u \leq P_i \leq P_{i,j}^l, j = 2,3,\dots,n_i \\ P_{i,n}^u \leq P_i \leq P_i^{\max} \end{cases} \quad (7)$$

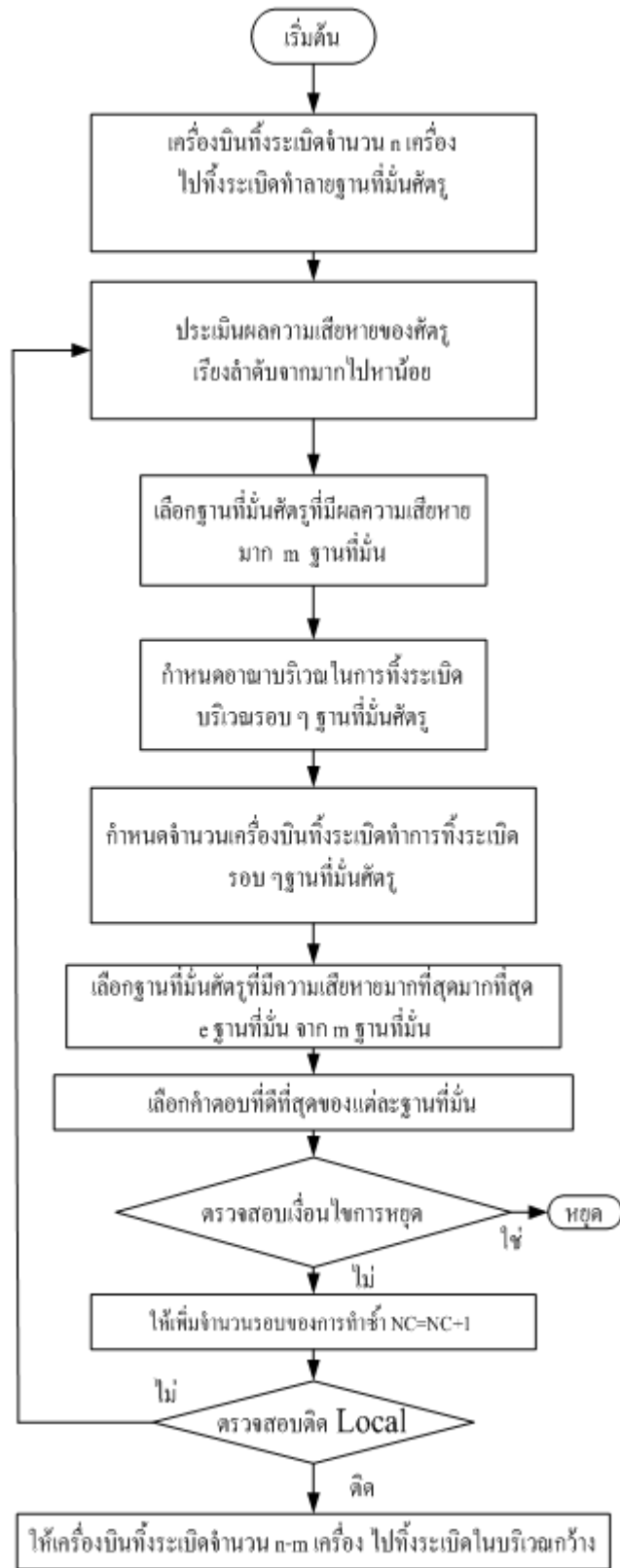
3. วิธีทิ้งระเบิดสำหรับแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

3.1 วิธีทิ้งระเบิด

วิธีการทิ้งระเบิด (Bombing Optimization Algorithm; BOA) เป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมวิธีใหม่ ที่ผู้วิจัยได้คิดค้นและพัฒนาขึ้นมาเอง ซึ่งเลียนแบบยุทธวิธีการจู่โจมทำลายศัตรูหรือที่ตั้งมั่นของศัตรู โดยการทิ้งระเบิด เป็นการพัฒนาวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยมีกระบวนการค้นหาที่เหมาะสมที่มีประสิทธิภาพหลายกระบวนการ คือ การค้นหาแบบกลุ่ม (Population Search) การปรับตัว (Adaptive) การค้นหาบริเวณใกล้เคียง (Neighborhood Search) การใช้ข้อมูลร่วมกัน (Information Sharing) มีหน่วยความจำระยะสั้น (Short Term Memory) และการเริ่มต้นค้นหาใหม่ (Re-Starting) ทำให้วิธีการที่นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นในการค้นหาที่เหมาะสมที่สุด

3.2 ระเบียบวิธีการทิ้งระเบิด

พารามิเตอร์ที่สำคัญของระเบียบวิธี ทิ้งระเบิด ได้แก่ NC คือ จำนวนครั้งของการทำซ้ำ n คือ จำนวนของเครื่องบินทิ้งระเบิด m คือ จำนวนฐานที่มั่นศัตรูที่ถูกทำลายและเสียหายมาก จากการหาทิ้งระเบิด e คือ จำนวนฐานที่มั่นศัตรูที่ถูกทำลายและเสียหายมากที่สุด จากที่เลือกแล้ว m ฐานที่มั่น n_{ep} คือ จำนวนระเบิดที่กำหนดให้ไปทิ้งฐานที่มั่นศัตรู e ฐานที่มั่น n_{gh} คือ ขนาดอาณาเขตที่จะต้องไปทิ้งระเบิด ของฐานที่มั่นศัตรูแต่ละฐานที่มั่น ระเบียบวิธีการวางระเบิด มีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 1 แผนผังของระเบียบวิธีการทิ้งระเบิด

- ขั้นตอนที่ 1** ส่งเครื่องบินทิ้งระเบิด จำนวน n เครื่อง ให้ไปทิ้งระเบิดทำลายฐานที่มั่นศัตรู โดยกำหนดให้เป็นคำตอบเริ่มต้น ซึ่งคำตอบเหล่านี้ต้องเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ นั่นคือ อยู่ในขอบเขตที่กำหนดและสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ และกำหนดให้จำนวนรอบของการทำซ้ำ $NC = 0$
- ขั้นตอนที่ 2** ประเมินผลความเสียหายของศัตรู เมื่อทิ้งระเบิดจากเครื่องบินทิ้งระเบิด พร้อมทั้งจัดเรียงลำดับ ความเสียหายจากมากไปหาน้อย
- ขั้นตอนที่ 3** เลือกฐานที่มั่นศัตรูที่มีผลการประเมินที่เสียหายมาก m ฐานที่มั่นและ เลือกฐานที่มั่นศัตรูที่มีผลการประเมินที่เสียหายมากที่สุด e ฐานที่มั่น
- ขั้นตอนที่ 4** กำหนดอาณาบริเวณในการทิ้งระเบิดแบบปรับตัว บริเวณรอบ ๆ ฐานที่มั่นศัตรู e ฐานที่มั่น
- ขั้นตอนที่ 5** ให้เครื่องบินทิ้งระเบิดทำการทิ้งระเบิดจำนวน n_{ep} ลูก รอบ ๆ ฐานที่มั่นศัตรู e ฐานที่มั่น
- ขั้นตอนที่ 6** ประเมินผลความเสียหายของศัตรู เมื่อทิ้งระเบิด ในแต่ละฐานที่มั่น และเลือกคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละฐานที่มั่น
- ขั้นตอนที่ 7** ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ถ้าตรงตามเงื่อนไข ให้หยุดการค้นหา ถ้าไม่ ให้เพิ่มจำนวนรอบของการทำซ้ำ $NC = NC + 1$
- ขั้นตอนที่ 8** กำหนดให้เครื่องบินทิ้งระเบิดจำนวน $n - m$ เครื่อง ทิ้งระเบิดใหม่ในบริเวณกว้าง และ ให้เครื่องบินทิ้งระเบิดจำนวน $m - e$ เครื่อง ทิ้งระเบิดใหม่ในบริเวณฐานที่มั่นที่เสียหาย แล้วย้อนกลับไปดำเนินในขั้นตอนที่ 2

4. ผลการทดสอบ

4.1 ระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบ

ระบบที่ 1 ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อน 6 เครื่อง 26 บัส และ สายส่ง 46 เส้น มีความต้องการกำลังไฟฟ้า 1263 MW คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องแสดงใน ตารางที่ 1 และสัมประสิทธิ์การสูญเสียในสายส่ง คือ

$$B_{ij} = \begin{bmatrix} 0.0017 & 0.0012 & 0.0007 & -0.0001 & -0.0005 & -0.0002 \\ 0.0012 & 0.0014 & 0.0009 & 0.0001 & -0.0006 & -0.0001 \\ 0.0007 & 0.0009 & 0.0031 & 0.0000 & -0.0010 & -0.0006 \\ -0.0001 & 0.0001 & 0.0000 & 0.0024 & -0.0006 & -0.0008 \\ -0.0005 & -0.0006 & -0.0010 & -0.0006 & 0.0129 & -0.0002 \\ -0.0002 & -0.0001 & -0.0006 & -0.0008 & -0.0002 & 0.0150 \end{bmatrix}$$

$$B_{oi} = 1.0 \times 10^{-3} * [-0.3908 \quad -0.1297 \quad 0.7047 \quad 0.0591 \quad 0.2161 \quad -0.6635]$$

$$B_{oo} = 0.056$$

ระบบที่ 2 เป็นการพิจารณาระบบไฟฟ้ากำลังที่ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อน 15 เครื่อง ความต้องการกำลังไฟฟ้า 2630 MW คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องแสดงใน ตารางที่ 2 และ สัมประสิทธิ์การสูญเสียในสายส่ง คือ

$$B_{ij} = \begin{bmatrix} 0.0014 & 0.0012 & 0.0007 & -0.0001 & -0.0003 & -0.0001 & -0.0001 & -0.0001 & -0.0003 & 0.0005 & -0.0003 & -0.0002 & 0.0004 & 0.0003 & -0.0001 \\ 0.0012 & 0.0015 & 0.0013 & 0.0000 & -0.0005 & -0.0002 & 0.0000 & 0.0001 & -0.0002 & -0.0004 & -0.0004 & -0.0000 & 0.0004 & 0.0010 & -0.0002 \\ 0.0007 & 0.0013 & 0.0076 & -0.0001 & -0.0013 & -0.0009 & -0.0001 & 0.0000 & -0.0008 & -0.0012 & -0.0017 & -0.0000 & -0.0026 & 0.0111 & -0.0028 \\ -0.0001 & 0.0000 & -0.0001 & 0.0034 & -0.0007 & -0.0004 & 0.0011 & 0.0050 & 0.0029 & 0.0032 & -0.0011 & -0.0000 & 0.0001 & 0.0001 & -0.0026 \\ -0.0003 & -0.0005 & -0.0013 & -0.0007 & 0.0090 & 0.0014 & -0.0003 & -0.0012 & -0.0010 & -0.0013 & 0.0007 & -0.0002 & -0.0002 & -0.0024 & -0.0003 \\ -0.0001 & -0.0002 & -0.0009 & -0.0004 & 0.0014 & 0.0016 & -0.0000 & -0.0006 & -0.0005 & -0.0008 & 0.0011 & -0.0001 & -0.0002 & -0.0017 & 0.0003 \\ -0.0001 & 0.0000 & -0.0001 & 0.0011 & -0.0003 & -0.0000 & 0.0015 & 0.0017 & 0.0015 & 0.0009 & -0.0005 & 0.0007 & -0.0000 & -0.0002 & -0.0008 \\ -0.0001 & 0.0001 & 0.0000 & 0.0050 & -0.0012 & -0.0006 & 0.0017 & 0.0168 & 0.0082 & 0.0079 & -0.0023 & -0.0036 & 0.0001 & 0.0005 & -0.0078 \\ -0.0003 & -0.0002 & -0.0008 & 0.0029 & -0.0010 & -0.0005 & 0.0015 & 0.0082 & 0.0129 & 0.0116 & -0.0021 & -0.0025 & 0.0007 & -0.0012 & -0.0072 \\ -0.0005 & -0.0004 & -0.0012 & 0.0032 & -0.0013 & -0.0008 & 0.0009 & 0.0079 & 0.0116 & 0.0200 & -0.0027 & -0.0034 & 0.0009 & -0.0011 & -0.0088 \\ -0.0003 & -0.0004 & -0.0017 & -0.0011 & 0.0007 & 0.0011 & -0.0005 & -0.0023 & -0.0021 & -0.0027 & 0.0140 & 0.0001 & 0.0004 & -0.0038 & 0.0168 \\ -0.0002 & -0.0000 & -0.0000 & -0.0000 & -0.0002 & -0.0001 & 0.0007 & -0.0036 & -0.0025 & -0.0034 & 0.0001 & 0.0054 & -0.0001 & -0.0004 & 0.0028 \\ 0.0004 & 0.0004 & -0.0026 & 0.0001 & -0.0002 & -0.0002 & -0.0000 & 0.0001 & 0.0007 & 0.0009 & 0.0004 & -0.0001 & 0.0103 & -0.0101 & 0.0028 \\ 0.0003 & 0.0010 & 0.0111 & 0.0001 & -0.0024 & -0.0017 & -0.0002 & 0.0005 & -0.0012 & -0.0011 & -0.0038 & -0.0004 & -0.0101 & 0.0578 & -0.0094 \\ -0.0001 & -0.0002 & -0.0028 & -0.0026 & -0.0003 & 0.0003 & -0.0008 & -0.0078 & -0.0072 & -0.0088 & 0.0168 & 0.0028 & 0.0028 & -0.0094 & 0.1283 \end{bmatrix}$$

$$B_{oi} = [-0.0001 \quad -0.0002 \quad 0.0028 \quad -0.0001 \quad 0.0001 \quad -0.0003 \quad -0.0002 \quad -0.0002 \quad 0.0006 \quad 0.0039 \quad -0.0017 \quad -0.0000 \quad -0.0032 \quad 0.0067 \quad -0.0064]$$

$$B_{oo} = 0.0055$$

ตารางที่ 1. คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบที่ 1

Unit	P_i^0 (MW)	P_i^{\min} (MW)	P_i^{\max} (MW)	a_i (\$)	b_i (\$/MW)	c_i (\$/MW ²)	UR_i (MW/h)	DR_i (MW/h)	Prohibited zones (MW)
1	440	100	500	240	7.0	0.0070	80	120	[210,240] [350,380]
2	170	50	200	200	10.0	0.0095	50	90	[90,110] [140,160]
3	200	80	300	220	8.5	0.0090	65	100	[150,170] [210,240]
4	150	50	150	200	11.0	0.0090	50	90	[80,90] [110,120]
5	190	50	200	220	10.5	0.0080	50	90	[90,110] [140,150]
6	110	50	120	190	12.0	0.0075	50	90	[75,85] [100,105]

ตารางที่ 2. คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของระบบที่ 2

Unit	P_i^0 (MW)	P_i^{\min} (MW)	P_i^{\max} (MW)	a_i (\$)	b_i (\$/MW)	c_i (\$/MW ²)	UR_i (MW/h)	DR_i (MW/h)	Prohibited zones (MW)
1	400	150	455	671	10.1	0.000299	80	120	-
2	300	150	455	574	10.2	0.000183	80	120	[180,225] [305,335] [420,450]
3	105	20	130	374	8.8	0.001126	130	130	-
4	100	20	130	374	8.8	0.001126	130	130	-
5	90	150	470	461	10.4	0.000205	80	120	[180,200] [305,335] [390,420]
6	400	135	460	630	10.1	0.000301	80	120	[230,255] [365,395] [430,455]
7	350	135	465	548	9.8	0.000364	80	120	-
8	95	60	300	227	11.2	0.000338	65	100	-
9	105	25	162	173	11.2	0.000807	60	100	-
10	110	25	160	175	10.7	0.001203	60	100	-
11	60	20	80	186	10.2	0.003586	80	80	-
12	40	20	80	230	9.9	0.005513	80	80	[30,40] [55,65]
13	30	25	85	225	13.1	0.000371	80	80	-
14	20	15	55	309	12.1	0.001929	55	55	-
15	20	15	55	323	12.4	0.004447	55	55	-

การทดสอบได้ทำการแก้ปัญหาค่าใช้จ่ายโหลดอย่างประหยัดทั้งสองระบบ ด้วยวิธี การทิ้งระเบิด วิธีฝูงผึ้ง วิธีกลุ่มอนุภาคและ วิธีพันธุกรรมยีนส์ ทั้งสี่วิธี ได้ทำการเขียน โปรแกรมด้วยโปรแกรม MatLab 2009 รันผลด้วย คอมพิวเตอร์ Intel Core 2 Duo, 1.66 GHz, 2 GB Ram และรันผลซ้ำ 30 ครั้ง ภายใต้การสุ่มค่าตอบเริ่มต้น

4.2 ผลการจำลองสถานการณ์

ระบบที่ 1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะแสดงในตารางที่ 3 ค่าตอบที่ดีที่สุดที่ค้นหาได้จากวิธี การทิ้งระเบิด คือ $P_1=447.08$ MW, $P_2=173.67$ MW, $P_3=262.85$ MW, $P_4=139.18$ MW, $P_5=166.15$ MW, และ $P_6=86.45$ MW มีค่าฟังก์ชันราคาต้นทุน 15442.41 (\$/h) และพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย 12.39 MW

ตารางที่ 3. เปรียบเทียบทั้ง 4 วิธี เมื่อทดสอบระบบที่ 1

Method	Worst	Average	Best	Std.	CPU time
BOA	15444.36	15442.75	15442.41	0.6928	2.64
BA	15446.08	15443.70	15442.77	0.8270	7.35
PSO	15447.25	15443.47	15442.43	1.4496	9.43
GA	15458.1	15447.36	15442.62	4.2004	13.78

ระบบที่ 2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะแสดงในตารางที่ 4 ค่าตอบที่ดีที่สุดที่ค้นหาได้จากวิธี การที่ ings ระเบิด $P_1=452.80$ MW, $P_2=379.57$ MW, $P_3=129.75$ MW, $P_4=129.77$ MW, $P_5=169.51$ MW, $P_6=459.66$ MW, $P_7=428.81$ MW, $P_8=90.22$ MW, $P_9=49.26$ MW, $P_{10}=155.03$ MW, $P_{11}=78.78$ MW, $P_{12}=79.37$ MW, $P_{13}=26.62$ MW, $P_{14}=15.13$ MW, $P_{15}=16.10$ MW มีค่าฟังก์ชันราคาต้นทุน 32713.80 (\$/h) และพลังงานไฟฟ้าสูญเสีย 30.42 MW

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบทั้ง 4 วิธี เมื่อทดสอบระบบที่ 2

Method	Worst	Average	Best	Std.	CPU time
BOA	32,721.72	32,717.57	32,713.80	2.66	10.46
BA	32,728.18	32,721.98	32,714.89	3.67	26.85
PSO	32,877.74	32,819.92	32,714.50	52.79	64.88
GA	33,215.01	32,826.99	32,714.56	154.89	105.44

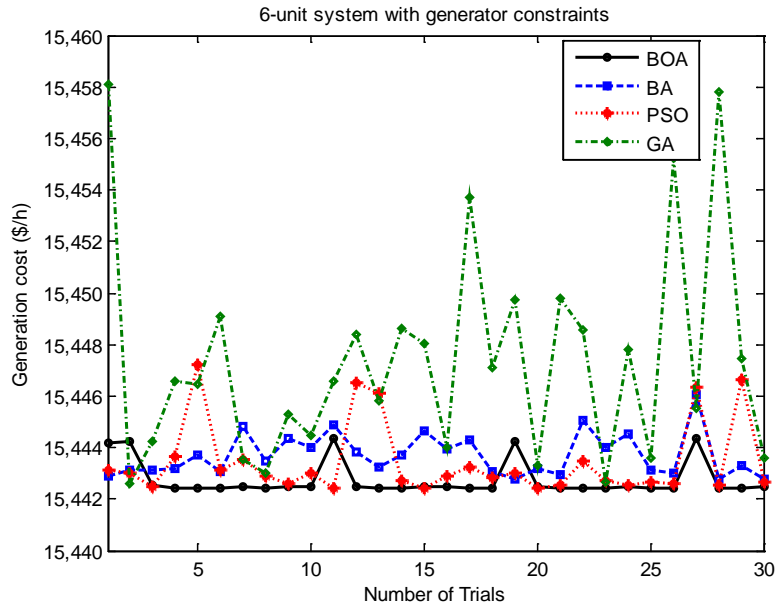
4.3 การเปรียบเทียบสมรรถนะ

1) คุณภาพของคำตอบ จากตารางที่ 3 และ 4 จะเห็นได้ว่า คำตอบที่ได้จากวิธี ทั้งระเบิด มีค่าเฉลี่ย ค่าที่ดีที่สุดของฟังก์ชันราคาต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุดทั้งสองระบบ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า วิธี ทั้งระเบิด มีสมรรถนะในการหาคำตอบที่ดีกว่าทั้ง 3 วิธี

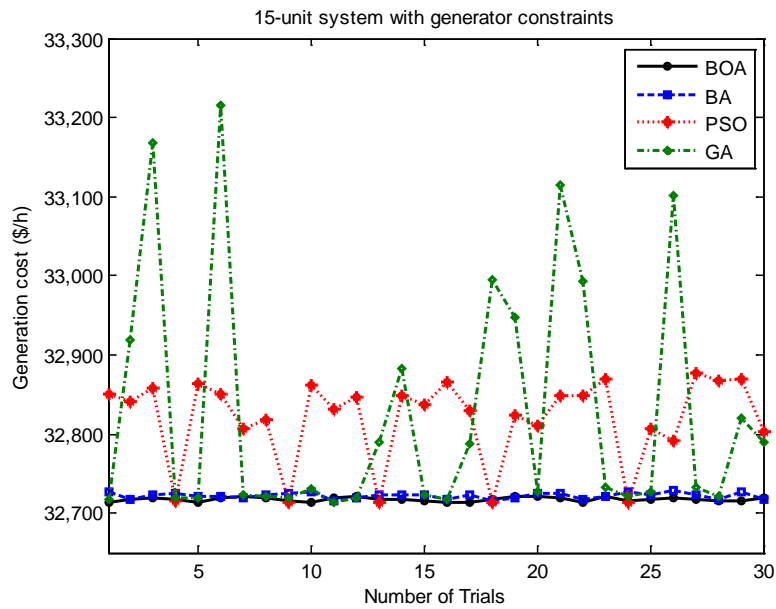
2) ประสิทธิภาพในการคำนวณ การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณของทั้ง 4 วิธี จะเห็นได้ว่าวิธี ทั้งระเบิด ใช้เวลาในการค้นหาเร็วกว่า สามารถกล่าวได้ว่าวิธีทั้งระเบิด มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบได้ดีกว่าทั้ง 3 วิธี

3) การเปรียบเทียบการลู่เข้าสู่คำตอบ จากผลการทดสอบโดยการทำซ้ำ 30 ครั้ง กับระบบที่ 1 และ 2 ได้ค่าฟังก์ชันแต่ละครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าการกระจายของการได้คำตอบใกล้เคียงกับ

คำตอบที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นสามารถกล่าวได้ว่า ความแม่นยำในการหาค่าของวิธี ที่ระเบิด ดีกว่าทั้ง 3 วิธี



รูปที่ 2 การกระจายของฟังก์ชันราคาผลิตเมื่อทำซ้ำ 30 ครั้ง (ระบบที่ 1)



รูปที่ 3 การกระจายของฟังก์ชันราคาผลิตเมื่อทำซ้ำ 30 ครั้ง (ระบบที่ 2)

5. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดวิธีการใหม่ คือ วิธีการทิ้งระเบิด ซึ่งพัฒนาวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีในปัจจุบันให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยได้ทดสอบสมรรถนะโดยการ แก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหัด เมื่อพิจารณาเงื่อนไขบังคับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ได้การดำเนินการแก้ปัญหาที่ระบบไฟฟ้าสองระบบ ผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า สมรรถนะของ วิธีการทิ้งระเบิด ในการแก้ปัญหาได้ดีกว่า วิธีฝูงผึ้ง วิธีกลุ่มอนุภาค และ วิธีพันธุกรรมยีนต์ ทั้งด้านความถูกต้องของคำตอบและเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] K.P. Wang, C.C. Fung. "Simulate Annealing Base Economic Dispatch Algorithm", *IEE. Proc.C.*, Vol.140, No.6., p.507-513, November 1993.
- [2] A.Barkirtzis,V.Petridis and S.Kazalis "Genetic Algorithm Solution to Economic Dispatch Problem" *IEE. Proc.-Gener.Transm. Distrib.*, Vol.141, No.4., July 1994.
- [3] W. Ongsakul, S. Dechanupapritththa, and I. Ngamroo, "Tabu search algorithm for constrained economic dispatch," *Proc., Int. Conf. Power Systems*, Wuhan, China, Sept. 2001, pp. 428-433.
- [4] Zwe-Lee Gaing, "Particle Swarm Optimization to Solving the Economic Dispatch Considering the Generator Constraints", *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 18, No. 3, pp. 1187–1195, August. 2003.
- [5] Pothiya S, Ngamroo I, Kongprawechnon W. Application of multiple tabu search algorithm to solve dynamic economic dispatch considering generator constraints. *Energy Convers Manage* 2008;49(4):506–16.
- [6] Chokpanyasuwan, C., Anantasate, S., Pothiya, S., Pattaraprakorn, W., and Bhasaputra, P., 2009. Honey Bee Colony Optimization to solve economic dispatch problem with generator constraints, *6th ECTI Annual Conference (ECTI-CON 2009)*, Thailand, 200-203.

บทความนี้ส่งเข้ามาเมื่อ 26 กันยายน 2554 และได้รับพิจารณาให้ตีพิมพ์เมื่อ 23 มกราคม 2555