

การแก้ปัญหาจ่ายโหลดอย่างประหยัดของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ด้วยเทคนิคการหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้ง

Solving Economic Dispatch Problem of A Thermal Power Plant Using Bee Colony Optimization Technique

จิรพันธ์ ทาแกง^{1*} และวันไชย คำเสน²

^{1*} สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง
200 หมู่ 17 ตำบลพิชัย อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง โทรศัพท์: 054-342547 ต่อ 160 E-mail:su0008@hotmail.com,
wanchai_kh@rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการจ่ายโหลดอย่างประหยัด ของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน ด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้ง โดยพิจารณาถึงฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่มีสมการทางคณิตศาสตร์ ของต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบเรียบ รวมทั้งข้อจำกัดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยการจำลองทำงานบนโปรแกรม MATLAB และใช้ระบบทดสอบที่ประกอบด้วยเครื่องกำเนิด 6 หน่วย แบ่งเป็น 2 กรณีศึกษา ผลการทดสอบโดยการเปรียบเทียบกับวิธี GA และวิธี PSO ผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นว่าการเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้งมีความสามารถในการเข้าถึงการแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ และได้คำตอบที่ดีกว่าวิธี GA และ PSO

คำสำคัญ : การจ่ายโหลดอย่างประหยัด, การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด, วิธีฝูงผึ้ง

Abstract

A method for saving load costs at a thermal power plant using Bee Colony Optimization (BCO) is here presented through an examination of the cost function of the fuel used in power generation, which is determined by an equation covering the investment in production which in turn is smooth. The fundamental constraints of economic dispatch, the problem under consideration, are load demand, power loss and spinning reserve capacity. Additionally, some practical operating constraints of generators, i.e. ramp rate limits and prohibited operating zones are taken into consideration. To verify the performance of the proposed BCO algorithm, it was simulated on MATLAB and tested in two case studies. The simulation results show that the BCO approach is able to obtain higher quality solutions than is possible using conventional approaches.

Keywords: Economic Dispatch, Optimization, Bee Colony

1. บทนำ

ระบบไฟฟ้าที่ดีจะต้องมีความมั่นคงในระบบ มีความสามารถในการจ่ายโหลดให้พอเพียงกับความต้องการ ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้กับหน่วยงานต่าง ๆ แต่สิ่งสำคัญ

หากพิจารณาในส่วนการผลิตกำลังไฟฟ้า ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนในการผลิตกำลังไฟฟ้านับว่าเป็นสิ่งสำคัญการวางแผนการผลิต เพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าที่เพียงพอกับความต้องการ แต่มีค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณา นั่นคือการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch) คือการหาค่ากำลังการผลิตที่เหมาะสมที่สุดของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่อง โดยใช้ต้นทุนการผลิตรวมมีค่าน้อยที่สุด และสอดคล้องกับเงื่อนไขข้อบังคับต่าง ๆ ของระบบ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมามีความพยายามอย่างมากที่จะแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch) โดยใช้วิธีการที่แตกต่างกันไป เช่น การทำซ้ำแบบแลมดา (Lambda Iteration) เป็นวิธีอาศัยหลักการเท่ากันของต้นทุนที่เพิ่มขึ้น (Incremental Cost) วิธีเกรเดียน (Gradient Method) เป็นวิธีที่อาศัยความลาดชันในการหาคำตอบ วิธี Base Point and Participation Factor เป็นวิธีการคำนวณโดยอาศัยองค์ประกอบร่วมกันของเครื่องกำเนิดแต่ละตัว วิธีนิวตัน (Newton's Method) เป็นการคำนวณคำตอบด้วยการประมาณของอนุกรมเทเลอร์ วิธีการประยุกต์ใช้ฟังก์ชันส่วนของเส้นตรง (Piecewise Function) มาประมาณฟังก์ชันเชื้อเพลิงที่อยู่ในรูปพหุนามกำลังสอง จากนั้นใช้วิธีโปรแกรมเชิงเส้นคำนวณหาคำตอบ วิธีเหล่านี้เป็นวิธีแก้ปัญหาเดิมที่ใช้กันมา (Classical Dispatch Algorithms; Rasoul Rahmani and Mohd Fauzi, 2012) และการใช้เทคนิคใหม่ ๆ ในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด เช่น วิธีการจำลองแอนนีลลิ่ง (SA; Kamlesh Kumar Vishwakarma and Hari Mohan Dubey, 2012) วิธีอนุภาคกลุ่ม (PSO; Hardiansyah, Junaidi and Yohannes MS, 2012) วิธีทางพันธุกรรม (GA; Simona Dinu, Ioan Odagescu and Maria Moise, 2011) วิธีการค้นหาแบบตาปู (TS; K.Senthil and K.Manikandan, 2010) วิธีฝูงมด (ACO; Ismail Musirin, Nur Hazima Faezaa Ismail and Mohd Rozely Kalil, 2008) วิธีความแตกต่างของวิวัฒนาการฝูงมด (DEACO) วิธีโครงข่ายประสาทเทียม และวิธีฝูงหิ่งห้อย (FA; Kuldeep Kumar Swarnkar, 2012)

งานวิจัยนี้นำเสนอการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด ด้วยเทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้ง ซึ่งเป็นวิธีการสมัยใหม่ที่มีโครงสร้างง่าย หาคำตอบได้ดี โดยพิจารณาถึงฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อน ที่มีสมการทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบเรียบ รวมทั้งข้อจำกัดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การทดสอบได้จำลองการทำงานบนโปรแกรม MATLAB กรณีศึกษาใช้ระบบที่ประกอบด้วยเครื่องกำเนิด 6 หน่วย แบ่งเป็น 2 กรณีศึกษา และทำการเปรียบเทียบกับวิธีอนุภาคกลุ่ม วิธีพันธุกรรม และวิธีวิวัฒนาการพันธุกรรม

2. ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

การจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบสแตติก เป็นการวางแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ เวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้น ว่าเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องควรผลิตกำลังไฟฟ้าเท่าไรที่ใช้ต้นทุนการผลิตน้อยที่สุด และสอดคล้องกับเงื่อนไขข้อบังคับต่าง ๆ ของระบบ ซึ่งฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function; All J. Wood and Bruce F. Wollenberg, 1996) ดังสมการที่ (1)

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

โดยที่ TC คือ ต้นทุนรวมในการผลิตกำลังไฟฟ้า
 i คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i
 N คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบทั้งหมด
 $F_i(P_i)$ คือ ต้นทุนของเชื้อเพลิงการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

2.1 ลักษณะของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเรียบ (Smooth Cost) การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน จึงได้มีการกำหนดฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันกำลังสอง (Single Quadratic Function; All J. Wood and Bruce F. Wollenberg, 1996) ดังสมการที่ (2)

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

โดยที่ a , b และ c คือสัมประสิทธิ์ราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

2.2 เงื่อนไขบังคับ (Constraint) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

1) ข้อจำกัดกำลังไฟฟ้าสมดุลของระบบ (Power Balance Constraint) คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับผลรวมของความต้องการปริมาณไฟฟ้า (Demand) กับกำลังสูญเสียรวมในระบบส่งจ่าย (Power Losses) ดังสมการที่ (3) และสมการที่ (4) (All J. Wood and Bruce F. Wollenberg, 1996)

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

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N P_i B_{ij} P_j + \sum_{j=1}^N B_{0j} P_j + B_{00} \quad (4)$$

โดยที่ P_i คือ กำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i
 P_D คือ กำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการ
 P_{loss} คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่ง
 B_{ij} , B_{0i} และ B_{00} คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียของสายส่ง

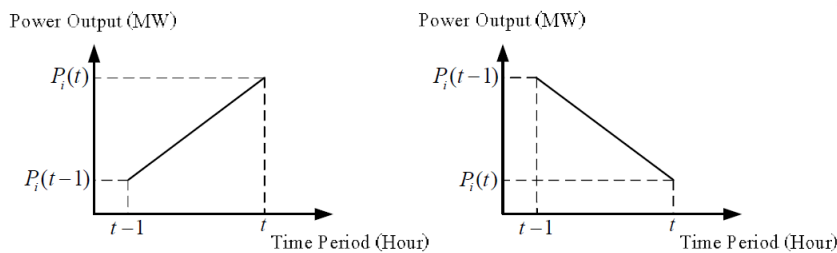
2) ข้อจำกัดพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Rating Constraint; All J. Wood and Bruce F. Wollenberg, 1996) คือ กำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละเครื่องต้องอยู่ในขีดจำกัดกำลังการผลิตต่ำสุดและสูงสุดดังสมการที่ (5)

$$P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \quad (5)$$

โดยที่ $P_{i,min}$ และ $P_{i,max}$ คือกำลังการผลิตต่ำสุดและสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

3) ข้อจำกัดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Operating Limit Constraint) คือ ข้อจำกัดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งมีการพิจารณา 2 เงื่อนไข คือ

เงื่อนไขที่ 1 ขีดจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลง (Ramp Rate Limit) อัตราการเปลี่ยนแปลงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่สามารถปรับได้อย่างทันทีทันใด ช่วงการผลิตกำลังไฟฟ้าจะถูกจำกัดด้วยขีดจำกัดการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้างดภาพที่ 1 แสดง 2 สภาวะ ขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตจากชั่วโมงที่ $t - 1$ ถึง t



ก) สภาวะการเพิ่มกำลังการผลิต

ข) สภาวะการลดกำลังการผลิต

ภาพที่ 1 สภาวะการเปลี่ยนแปลงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (All J. Wood and Bruce F. Wollenberg, 1996)

ดังนั้นกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะอยู่ในช่วงดังสมการที่ (6)

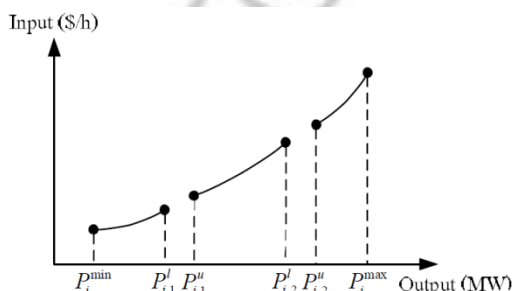
$$\max(P_{i,\min}, P_i^0 - DR_i) \leq P_i \leq \min(P_{i,\max}, P_i^0 + UR_i) \quad (6)$$

โดยที่ P_i^0 คือ กำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i ก่อนหน้า

DR_i คือ อัตราการลดกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

UR_i คือ อัตราการเพิ่มกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

เงื่อนไขที่ 2 ช่วงการทำงานต้องห้าม (Prohibited Operating Zone) สมรรถนะการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนมีช่วงการทำงานต้องห้าม เนื่องจากวาล์วไอน้ำไม่สามารถทำงานได้ในช่วงนี้ หรือทำให้เกิดความสั่นขึ้นที่เพลลา ดังนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงการทำงานในช่วงนี้ ช่วงการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแสดงในภาพที่ 2



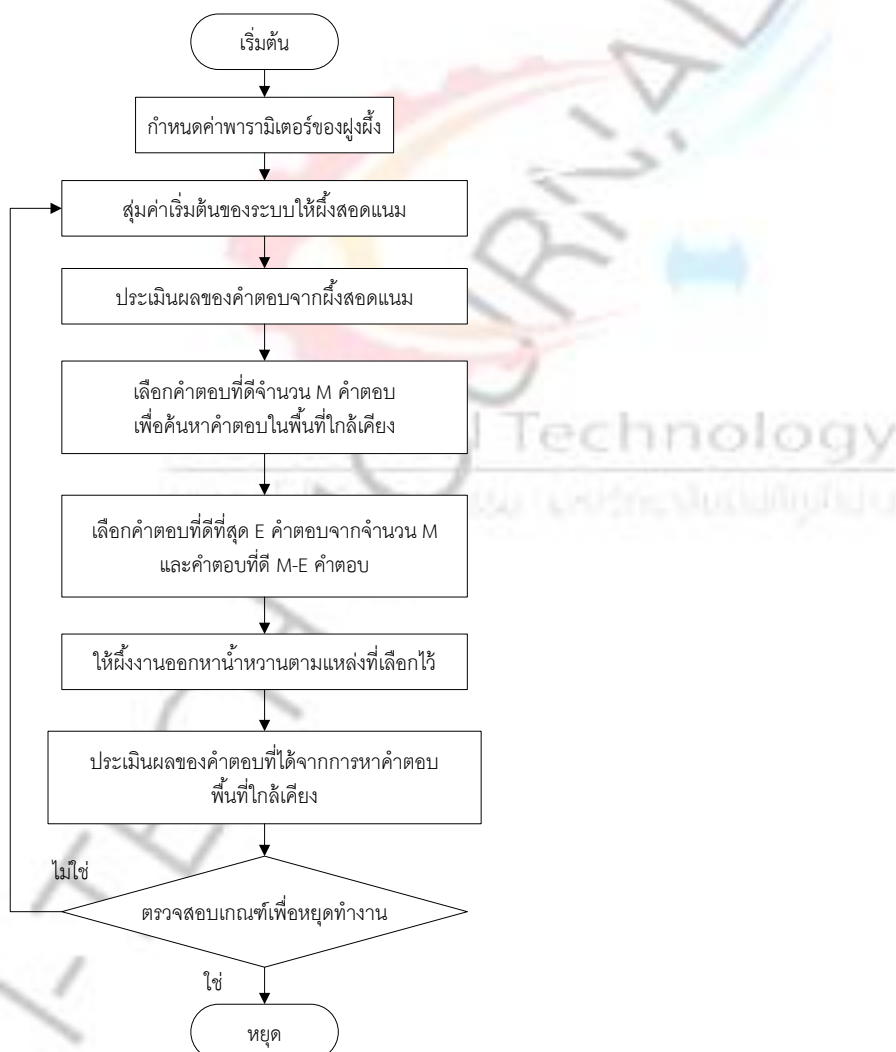
ภาพที่ 2 กราฟช่วงเวลาการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (All J. Wood and Bruce F. Wollenberg, 1996)

ดังนั้น ช่วงเวลาการทำงานของเครื่องกำเนิดดังสมการที่ (7)

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

3. วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบวิหิงผึ้ง (Bee Colony Optimization)

วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบวิหิงผึ้ง เป็นวิธีการสมัยใหม่วิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหา โดยวิหิงผึ้งเป็นวิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่เลียนแบบพฤติกรรมหาน้ำหวานของผึ้ง โดยผึ้งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ผึ้งสอดแนม (Scout Bee) และผึ้งงาน (Employee Bee) เพื่อค้นหาคำตอบ การแก้ปัญหาค้นหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดด้วยวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบวิหิงผึ้ง มีขั้นตอนดังนี้ภาพที่ 3



ภาพที่ 3 แผนผังการใช้ระเบียบวิธีวิหิงผึ้งเพื่อแก้ปัญหาค้นหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดในแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายรายละเอียดต่าง ๆ ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของฝูงผึ้ง เป็นการกำหนดค่าจำนวนฝูงผึ้งสอดแนม (Bee Scouts) จำนวนเท่ากับ N ตัวที่จะปล่อยออกไปหาแหล่งน้ำหวาน คือการกำหนดจำนวนของค่าต่ำที่สุดที่เป็นไปตามเงื่อนไขซึ่งจะมีจำนวนเท่ากับจำนวนฝูงสอดแนมที่ปล่อยออกไป และ เลือกค่าที่ดีที่สุดจำนวนเท่ากับ M ค่าจากนั้นเลือกค่าที่ดีที่สุดจำนวน M ค่าออกมาเท่ากับ E ค่า และกำหนดค่าของจำนวนผึ้งงานจำนวน nep ตัว ให้เข้าไปค้นหาอย่างละเอียดที่ E และกำหนดค่าของจำนวนผึ้งงานจำนวน nsp ตัว ให้ไปค้นหาในส่วนของ $M-E$

ขั้นตอนที่ 2 สุ่มค่าเริ่มต้นของระบบให้ฝูงสอดแนม ในขั้นตอนนี้ เป็นการสุ่มหาค่าตามจำนวนฝูงสอดแนมที่ส่งออกไป และค่าที่สุ่มนั้นจะต้องอยู่ในเงื่อนไขต่าง ๆ ที่กำหนด เช่น ข้อจำกัดของความต้องการของระบบ (Power Balance Constraint) คือ ค่าที่สุ่มได้จะต้องเพียงพอกับความต้องการของระบบ โดยพิจารณาเงื่อนไขค่าความสูญเสียของสายส่งแล้ว และข้อจำกัดทางฟิสิกส์ของเครื่องกำเนิด (Operating Limit Constraint) คือค่าที่สุ่มได้นั้นจะต้องอยู่ในช่วง Minimum และ Maximum ของเครื่องกำเนิดแต่ละตัวที่จะผลิตกำลังไฟฟ้าได้

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินผลของคำตอบจากฝูงสอดแนม เมื่อได้ค่าจากฝูงสอดแนมตามจำนวนฝูงสอดแนมที่ส่งออกไป ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำเอาคำตอบทั้งหมดที่อยู่ในเงื่อนไขที่กำหนดมา ประเมินผลของคำตอบ คือนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาเรียงคำตอบจากน้อยไปหามากจำนวน N ค่า ซึ่งก็คือมีจำนวนเท่ากับจำนวนฝูงสอดแนมที่ส่งออกไปหาแหล่งน้ำหวานจำนวน N ตัว

ขั้นตอนที่ 4 เลือกคำตอบที่ดีที่สุดจำนวน M คำตอบ เพื่อค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียง หลังจากประเมินค่าคำตอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 ซึ่งขณะนี้จะได้ค่าของคำตอบทั้งหมด N คำตอบและมีการเรียงลำดับไว้ ในขั้นตอนนี้ จะกำหนดให้ฝูงผึ้งเลือกค่าของคำตอบที่ดีที่สุดจำนวน M คำตอบเพื่อทำการหาค่าของคำตอบที่ดีที่สุดจากพื้นที่ใกล้เคียง คือเลือกเอาเฉพาะคำตอบที่ดีที่สุดจำนวน M คำตอบจากจำนวนทั้งหมด ซึ่งคำตอบที่ได้จะนำไปพิจารณาในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 เลือกคำตอบที่ดีที่สุด E คำตอบจากจำนวน M ขณะนี้มีคำตอบเหลืออยู่จากการประเมินและเลือกคำตอบที่ดีที่สุด M คำตอบ ในขั้นตอนนี้จะเลือกคำตอบที่ดีที่สุดจำนวน E คำตอบจาก M คำตอบ คือขั้นตอนนี้จะเป็นการแบ่งโซนของคำตอบที่ถูกเลือกไว้ออกเป็นสองกลุ่ม คือคำตอบที่ดีที่สุดมีจำนวนเท่ากับ E คำตอบ และคำตอบที่ตรงลงมาจำนวน $M - E$ เพื่อจะได้กำหนดจำนวนผึ้งงานในการเข้าไปค้นหาคำตอบต่อไป ตามค่าพารามิเตอร์ที่ได้มีการกำหนดไว้ในขั้นแรก

ขั้นตอนที่ 6 ให้ผึ้งงานออกหาน้ำหวานตามแหล่งที่เลือกไว้ เมื่อได้แหล่งน้ำหวาน หรือคำตอบที่ดีที่สุด E คำตอบ และแหล่งน้ำหวาน หรือคำตอบที่ตรงลงมาจำนวน $M - E$ คำตอบ ในขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดให้ผึ้งงานเข้าไปหาคำตอบบริเวณโซนของคำตอบสองกลุ่มที่ได้แบ่งไว้ในขั้นตอนที่ 5 คือกำหนดให้ผึ้งงานจำนวน nep ตัวไปค้นหาคำตอบรอบ ๆ บริเวณโซนคำตอบ E และให้ผึ้งงานจำนวน nsp ตัว ออกไปหาคำตอบบริเวณโซนคำตอบ $M - E$ และนำผลมาทำการประเมินเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

ขั้นตอนที่ 7 ประเมินผลของคำตอบที่ได้จากการหาคำตอบพื้นที่ใกล้เคียง ในการประเมินผลของคำตอบนั้นจะทำการประเมินผลของคำตอบที่ได้จากทั้งสองแหล่ง คือผึ้งงานที่เข้าค้นหาคำตอบจากจำนวนคำตอบที่ดีที่สุด E คำตอบ และผึ้งงานที่เข้าค้นหาคำตอบจากจำนวนคำตอบที่เหลือ $M - E$

คำตอบ ซึ่งการประเมินจะเป็นการนำข้อมูลของคำตอบมาเปรียบเทียบกันและเลือกเอาคำตอบที่ดีที่สุด หรือคำตอบที่ใกล้เคียงกับเงื่อนไขที่กำหนดมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 8 ตรวจสอบเกณฑ์เพื่อหยุดทำงาน ถ้าเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ได้ตั้งไว้เป็นจริง ให้แสดงคำตอบที่เหมาะสมที่สุด มิฉะนั้นให้กลับไปขั้นตอนที่ 2

4. ผลการทดสอบ

4.1 ระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบ

กรณีศึกษาที่ 1 ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อน 6 เครื่อง 26 บัส และสายส่ง 46 เส้น มีความต้องการกำลังไฟฟ้า 1263 MW คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องแสดงดังตารางที่ 1 และมีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียในสายส่งดังสมการที่ (8) สมการที่ (9) และสมการที่ (10) (S. Khamsawang and S. Jiriwibhakorn, 2009)

$$B_{ij} * 10^{-2} = \begin{bmatrix} 0.0017 & 0.0012 & 0.0007 & -0.0001 & -0.0005 & -0.0002 \\ 0.0012 & 0.0014 & 0.0009 & 0.0001 & -0.0006 & -0.0001 \\ 0.0007 & 0.0009 & 0.0031 & 0.0000 & -0.0010 & -0.0006 \\ -0.0001 & 0.0001 & 0.0000 & 0.0024 & -0.0006 & -0.0008 \\ -0.0005 & -0.0006 & -0.0010 & -0.0006 & 0.0129 & -0.0002 \\ -0.0002 & -0.0001 & -0.0006 & -0.0008 & -0.0002 & 0.0150 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$B_{oi} * 10^{-2} = [-0.391 \quad -0.13 \quad 0.7047 \quad 0.0591 \quad 0.2161 \quad -0.664] \quad (9)$$

$$B_{oi} = 0.059 \quad (10)$$

ในกรณีที่ 1 เป็นการวางแผนการผลิตโดยเป็นการวางแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในระบบไฟฟ้า ณ เวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้น เช่น 20.00 น. ว่าเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องควรผลิตกำลังไฟฟ้าเท่าไรที่ใช้ต้นทุนการผลิตน้อยที่สุด และโหลดต้องได้รับกำลังไฟฟ้าเพียงพอกับความต้องการด้วย

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีศึกษาที่ 1

Unit no.	ci	bi	ai	Pmin	Pmax
1	0.0070	7.00	240	100	500
2	0.0095	10.00	200	50	200
3	0.0090	8.50	220	80	300
4	0.0090	11.00	200	50	150
5	0.0080	10.50	220	50	200
6	0.0075	12.00	190	50	120

ในกรณีศึกษาที่ 2 ได้พิจารณาถึงขีดจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลง (Ramp rate limit) และช่วงเวลาต้องห้าม (Prohibited Operating Zone) มีสัมประสิทธิ์การสูญเสียในสายส่งเหมือนกับกรณีศึกษาที่ 1 มีคุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามตารางที่ 1 และมีข้อมูลขีดจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลงและช่วงเวลาต้องห้ามตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ขีดจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลงและช่วงเวลาต้องห้ามกรณีศึกษาที่ 2

Unit no.	P_o	UR	DR	Prohibited Operating Zone	
1	440	80	120	[210-240]	[350-380]
2	170	50	90	[90-110]	[140-160]
3	200	65	100	[150-170]	[210-240]
4	150	50	90	[80-90]	[110-120]
5	190	50	90	[90-110]	[140-150]
6	150	50	90	[75-85]	[100-105]

ซึ่งในกรณีศึกษาที่ 1 เป็นการวางแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในระบบไฟฟ้า ในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง เช่น 24 ชั่วโมง ว่าเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องควรผลิตกำลังไฟฟ้าเท่าไรที่ใช้ต้นทุนการผลิตน้อยที่สุด และสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ ของระบบ

4.2 ผลการจำลองสถานการณ์และการเปรียบเทียบผล

ในการจำลองใช้โปรแกรม MATLAB 2009 คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ Intel (R) Core (TM) i5 2.30 GHz แรม 8 GB บนระบบปฏิบัติการ Windows 7 ทำการประมวลผลโปรแกรม จำนวน 50 รอบ ได้ผลการจำลองดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4 ซึ่งได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับวิธีเชิงพันธุกรรม (GA) และวิธีอนุภาคกลุ่ม (PSO)

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบการจัดสรรกำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องกรณีศึกษาที่ 1

Units	Ref.	PSO	GA	BCO
P_1	440.5760	446.71	474.710	448.3980
P_2	167.4360	173.01	178.640	168.4830
P_3	278.2350	265.00	262.210	256.9510
P_4	150.000	139.00	134.280	138.1640
P_5	157.6060	165.23	151.900	164.7570
P_6	81.2244	86.78	74.180	98.3430
P_T	1275.0796	1275.70	1276.030	1275.1001
P_L	12.0796	12.733	13.002	12.1001
T_C	15445.4860	15447.00	15459.000	15440.4318

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบการจัดสรรกำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องกรณีศึกษาที่ 2

Units	Ref.	PSO	GA	BCO
P ₁	447.77	444.24	438.42	455.8578
P ₂	178.19	170.83	178.99	172.5688
P ₃	256.46	254.68	270.88	261.9842
P ₄	134.75	141.32	131.59	142.6500
P ₅	171.63	173.04	166.55	167.2398
P ₆	86.80	91.36	89.20	74.9646
P _T	1275.60	1275.47	1275.63	1275.2652
P _L	12.60	12.47	12.63	12.2652
T _C	15444.90	15446.10	15446.60	15442.6189

5. สรุปผลและอภิปรายผล

วิธีการแก้ปัญหาค่าต่ำสุดอย่างประหยัดด้วยเทคนิคการหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้ง (BCO) ซึ่งเป็นวิธีการสมัยใหม่วิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาโดยพิจารณาถึงกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจากสายส่งและฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนที่มีสมการทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบเรียบ รวมทั้งข้อจำกัดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับวิธีเชิงพันธุกรรม (GA) และวิธีอนุภาคกลุ่ม (PSO) เทคนิคการหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้งให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีที่นำมาเปรียบเทียบโดยให้ค่าของต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่า เป็นที่ยอมรับได้ และมีคำตอบที่ดีกว่า ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการผลิตกำลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพได้

6. เอกสารอ้างอิง

- All J. Wood, Bruce F. Wollenberg. (1996). **Power Generation Operation and Control**, New York, Wiley & Sons.
- Divya Gupta, and Sanjay K. Jain. (2008). Solving Combinatorial Optimization Problem of Economic Load Dispatch Using Modified Hopfield Neural Network, **Paper presented in Power System Technology and IEEE Power India Conference 2008**, 12-15 Oct. 2008, India.
- Hardiansyah, Junaidi, Yohannes MS. (2012). Solving Economic Load Dispatch Problem Using Particle Swarm Optimization Technique, **I.J. Intelligent Systems and Applications**, November 2012, pp. 12-18.
- Ismail Musirin, Nur Hazima Faezaa Ismail, Mohd. Rozely Kalil. (2009). Ant Colony Optimization (ACO) Technique in Economic Power Dispatch Problems. **IMECS**, 2009.

- Kamlesh Kumar Vishwakarma, Hari Mohan Dubey. (2012). Simulated Annealing Based Optimization for Solving Large Scale Economic Load Dispatch Problems, **IJERT**, vol.1, May 2012, pp.1-8.
- Kamlesh Kumar Vishwakarma, Hari Mohan Dubey. (2012). Simulated annealing approach for solving economic load dispatch problems with valve point loading effects, **IJEST**, vol.4, No.4, 2012, pp. 60-72.
- K.Senthil, K.Manikandan. (2010). Economic Thermal Power Dispatch with Emission Constraint and Valve Point Effect loading using Improved Tabu Search Algorithm, **International Journal of Computer Application**, vol.3, July 2010, pp.6-11.
- Kuldeep Kumar Swarnkar. (2012). Economic Load Dispatch Problem with Reduce Power Losses using Firefly Algorithm. **JACST**, vol.1, 2012, pp.42-56.
- N. A. Rahmat, and I. Musirin. (2012). Differential Evolution Ant Colony Optimization (DEACO) Technique In Solving Economic Load Dispatch Problem, **Paper presented in the IEEE International Power Engineering and Optimization Conference**, 6-7 June 2012, Melaka, Malaysia 2012.
- Rasoul Rahmani and Mohd Fauzi Othman. (2012). Solving Economic dispatch Problem Using Particle Swarm Optimization, **JATIT**, vol. 46 December 2012, pp. 526-536.
- Simona Dinu, Ioan Odagescu, Maria Moise. (2011). Environmental Economic Dispatch Optimization usinga Modified Genetic Algorithm, **International Journal of Computer Applications**, vol.20, April 2011,pp.7-14.
- S. Khamsawang and S. Jiriwibhakorn. (2009). Solving the Economic Dispatch Problem using Novel Particle Swarm Optimization, **World Academy of Science, Engineering and Technology**, vol.3, 2009, pp.1053-1058.