

การเพิ่มประสิทธิภาพการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้งหลายฝูง
เพื่อแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยพิจารณาถึงขีดจำกัด
อัตราการเปลี่ยนแปลงและช่วงเวลาต้องห้าม

**MULTIPLE BEE COLONY OPTIMIZATION TECHNIQUE FOR ECONOMIC
DISPATCH PROBLEM WITH RAMP RATE LIMIT AND
PROHIBITED OPERATING ZONE**

จิรพันธ์ ทาแกง¹, วันไชย คำเสน¹ และ อภินันท์ อูโรโสภณ²

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง
200 หมู่ 17 ต.พิชัย อ.เมือง จ.ลำปาง 52000

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม
41/20 ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

Chiraphon Takeang¹, Wanchai Khamseen¹ and Apinan Aurasophon²

¹ Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna, Lampang
200 Moo 17, Phichai Sub-District, Muang District, Lampang 52000, Thailand

³ Faculty of Engineering, Maha Sarakham University
41/20 Kham Rieng Sub-District, Kantharawichai district, Maha Sarakham 44150, Thailand

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยการใช้เทคนิคการค้นห
แบบหลายรายการ เพื่อการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่มีฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงเป็น
แบบเรียบ เทคนิคนี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพโดยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้งจำนวนหลาย
ฝูง แต่ละฝูงสามารถตั้งค่าพารามิเตอร์ได้อย่างเป็นอิสระ และเป็นการค้นหาแบบเรียงลำดับ ใน
ระบบทดสอบได้พิจารณาถึงความต้องการของระบบไฟฟ้า ค่าสูญเสียในสายส่ง และเงื่อนไข
ข้อบังคับต่าง ๆ ของระบบ การจำลองใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อจำลองการทำงาน และทดสอบกับ
กรณีศึกษาที่ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6 หน่วย แบ่งเป็น 2 กรณีศึกษา กรณีที่ 1 ได้ทดสอบ
เพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอกับวิธี BCO, PSO และวิธี HLBCO และกรณีที่ 2 ได้
ทดสอบเปรียบเทียบกับวิธี BCO, RDPSO และ KHA จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าวิธีการ
ที่นำเสนอมีความเร็วในการหาค่าที่ดีที่สุด และในแง่ของต้นทุนการผลิตรวมวิธีการที่นำเสนอมี

ค่าของต้นทุนการผลิตรวมต่ำกว่าวิธีที่นำมาเปรียบเทียบในทั้งสองกรณี ดังนั้นจึงเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพวิธีหนึ่ง

คำสำคัญ: การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้ง, การจ่ายโหลดอย่างประหยัด, ช่วงเวลาต้องห้าม

ABSTRACT

This paper presents the optimization technique to solve the economic dispatch problem with a smooth cost function with multiple search techniques, using the most appropriate method, the bee colony optimization. The test system considers the load demand of the electrical system, transmission line losses and conditions of the system. MATLAB simulations were used to simulate and test a case study consisting of 6 generators divided into 2 case studies. Case 1 was tested to evaluate the effectiveness of the method proposed for BCO, PSO and HLBCO and case 2 was compared to BCO, RDPSO and KHA. The results of the tests can be concluded that the proposed method of convergence speeds up and the satisfactory answer in terms of total cost of production. The proposed method has a lower total cost of production than the comparison method.

KEYWORDS: Bee colony optimization, Economic dispatch, Prohibit operating zone

1. บทนำ

ปัจจุบันนี้ระบบไฟฟ้ามีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง การผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อความมั่นคงและมีความน่าเชื่อถือจึงเป็นเรื่องสำคัญ ในขณะที่ความต้องการใช้ไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและการใช้ไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลามีการเปลี่ยนแปลงนั้น ทำให้เกิดปัญหาในการวางแผนการผลิตกระแสไฟฟ้า สิ่งสำคัญที่ตามมาที่จะต้องพิจารณาในการผลิตพลังงานไฟฟ้าคือค่าใช้จ่ายในการผลิตพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละหน่วยมีต้นทุนการผลิตที่ต่างกัน หากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยไม่มีการวางแผนการผลิตจะทำให้เสียค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น การวางแผนการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละหน่วยผลิตพลังงานไฟฟ้าได้เพียงพอกับความต้องการและอยู่ภายใต้เงื่อนไขและข้อบังคับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถลดต้นทุนการผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ เรียกว่า Economic Dispatch (ED) วัตถุประสงค์ของปัญหา ED คือการวางแผนการผลิตพลังงานไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดทั้งหมด โดยให้ต้นทุนการผลิตรวมมีค่าต่ำที่สุดในขณะที่จะต้องตอบสนองความต้องการโหลดและชดเชยพลังงานสูญเสียในสายส่ง ซึ่งเมื่อต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดแล้ว จะทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตไปได้มาก

ในอดีตมีการพัฒนาวิธีการต่างๆ เพื่อแก้ปัญหา ED โดยใช้โปรแกรมทางคณิตศาสตร์และวิธีการเชิงตัวเลข เช่นวิธีการทำซ้ำแบบแลมด้า (Lamda Iteration) [1], Lagrangian relaxation [2], gradient method [3], dynamic programming [4], linear programming [5] และ nonlinear programming [6] วิธีการเหล่านี้เป็นวิธีที่ถูกนำมาใช้แก้ปัญหา ED ซึ่งได้ผลดีในระดับหนึ่ง แต่คำตอบที่ได้มักจะติดอยู่กับคำตอบที่ดีที่สุดแบบ Local เป็นคำตอบที่อาจจะยังไม่ใช่ว่าคำตอบที่ดีที่สุด เมื่อไม่นานมานี้มีวิธีที่ได้รับการคิดค้นและพัฒนาเพื่อแก้ปัญหา ED นั่นคือวิธีเมตาฮิวริสติกส์ (meta-heuristics) เป็นวิธีที่เลียนแบบพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิตและได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในการแก้ปัญหา ED เช่น วิธีการทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) [7] เป็นวิธีที่เลียนแบบการพัฒนาสายพันธุ์เพื่อคัดเลือกสายพันธุ์ที่ดีที่สุด, วิธีอนุภาคกลุ่ม (Particle Swarm Optimization: PSO) [8] โดยศึกษาจากพฤติกรรมทางสังคม การหาอาหารของนกหรือปลา, วิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO) [9] เป็นวิธีที่สังเกตเส้นทางในการหาอาหารของฝูงมด, การค้นหาแบบตาบ (Tabu Search: TS) [10] วิธีนี้จะจดจำคำตอบที่ผ่านมาและห้ามคำตอบใหม่ไม่ให้กลับไปคำตอบเดิมซึ่งด้อยกว่า, วิธีการแบบนกกาเหว่า (Cuckoo Search Algorithm: CSA) [11] วิธีการนี้เลียนแบบพฤติกรรมของกาฝากบางสายพันธุ์และพฤติกรรมการบินของนกและแมลงบางชนิดเพื่อหาอาหาร, การจำลองการอบเหนียวของโลหะ (simulation annealing: SA) [12] วิธีการนี้เป็นการจำลองการลดอุณหภูมิของโลหะคำตอบที่ได้จะเปลี่ยนไปหากค่าของคำตอบเป็นค่าที่ดีกว่าค่าเดิม และ วิธีอาณานิคมผึ้ง (Bee Colony Optimization: BCO) [13] เป็นการเลียนแบบพฤติกรรม การหาน้ำหวานของฝูงผึ้ง วิธีการเหล่านี้ได้รับความสนใจจากนักวิจัยมากมายเนื่องจากความสามารถในการหาคำตอบที่ดีที่สุด ในบรรดาวิธีการที่กล่าวมานี้ BCO เป็นวิธีการที่ยังมีความทันสมัยในการแก้ปัญหา ED เนื่องจากมีโครงสร้างที่เรียบง่ายและมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา ED และเป็นเทคนิคการค้นหาขั้นสูง อย่างไรก็ตามวิธี BCO มีปัญหาในการสุ่มประชากรเริ่มต้น และการกำหนดพารามิเตอร์ในการค้นหา ทำให้ใช้เวลานานในการคำนวณและทำให้การลู่เข้าหาคำตอบเป็นไปได้ค่อนข้างช้า การกำหนดพารามิเตอร์ในการค้นหาที่เหมาะสมเป็นเรื่องยากต้องมีการทดสอบซ้ำๆ จึงทำให้เสียเวลา ปัญหานี้จะได้รับการแก้ไขโดยวิธี “multiple searches” หรือการค้นหาแบบหลายรายการ ซึ่งอาจจะทำให้การลู่เข้าหาคำตอบเป็นไปได้อย่างรวดเร็วและอาจจะได้คำตอบที่เป็น Global ดังนั้นการแก้ปัญหาในบทความนี้จะเป็นการใช้ BCO จำนวนหลายกลุ่มเพื่อหาแนวทางที่เหมาะสมที่สุด แนวคิดนี้ใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธี BCO แบบเดิม ซึ่งเป็นการนำเสนอวิธีการใหม่ “Multiple Bee Colony Optimization: MBCO” MBCO จะมีกลไกเพิ่มเติมสำหรับการปรับปรุงกระบวนการค้นหา การศึกษาความเป็นไปได้ของวิธีการ MBCO จะแสดงให้เห็นถึงการแก้ปัญหา ED ที่เป็นแบบสแตติกส์และมีฟังก์ชันของสมการเชิงพีชคณิตที่เป็นแบบเรียบและผลลัพธ์ที่ดีที่สุดโดย MBCO จะถูกเปรียบเทียบกับวิธีการทั่วไปเช่น BCO, PSO และ GA

2. ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

การจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบสแตติกส์ เป็นการวางแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ เวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้น ว่าเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องควรผลิตกำลังไฟฟ้าเท่าไรที่ใช้ต้นทุนการผลิตน้อยที่สุด และสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับต่างๆ ของระบบ ซึ่งฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) [1] 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) [1] 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) [1] ดังสมการที่ (3) และสมการที่ (4)

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

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

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) [1] คือ กำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละเครื่องต้องอยู่ในขีดจำกัดกำลังการผลิตต่ำสุดและสูงสุดตั้งสมการที่ (5)

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

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

3. วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีฝูงผึ้ง (Bee Colony Optimization) สำหรับแก้ปัญหา ED [14]

วิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีฝูงผึ้ง เป็นวิธีการสมัยใหม่วิธีการหนึ่งในการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัญหา โดยวิธีฝูงผึ้งเป็นวิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่เลียนแบบพฤติกรรมกรรมการหาน้ำหวานของผึ้ง โดยผึ้งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ผึ้งสอดแนม (Scout Bee) และผึ้งงาน (Employee Bee) เพื่อค้นหาคำตอบ การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดด้วยวิธีการหาคำตอบ ที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีฝูงผึ้ง มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ก่อนที่จะกล่าวถึงขั้นตอนการทำงานของ BCO พารามิเตอร์ต่อไปนี้ใช้อธิบายวิธีการของ BCO สำหรับปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

n คือ จำนวนผึ้งสอดแนม

m คือ จำนวนแหล่งน้ำหวานที่ได้จากการสุ่มของผึ้งสอดแนม

e คือ จำนวนแหล่งน้ำหวานที่มีปริมาณน้ำหวานมากซึ่งคัดเลือกมาจาก m

n_{ep} คือ จำนวนผึ้งงานที่ส่งไปยังแหล่งน้ำหวานที่มีปริมาณน้ำหวานมาก e แหล่ง

n_{sp} คือ จำนวนผึ้งงานที่ส่งไปยังแหล่งน้ำหวานมากที่สุด $m-e$ แหล่ง

ในแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายรายละเอียดต่าง ๆ ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของฝูงผึ้ง เป็นการกำหนดค่าจำนวนฝูงผึ้งสอดแนม (Bee Scouts) จำนวนเท่ากับ n ตัวที่จะปล่อยออกไปหาแหล่งน้ำหวาน คือการกำหนดจำนวนของค่าต่ำที่สุดที่เป็นไปตามเงื่อนไขซึ่งจะมีจำนวนเท่ากับจำนวนผึ้งสอดแนมที่ปล่อยออกไป และ เลือกค่าที่ดีที่สุดจำนวนเท่ากับ m ค่า จากนั้นเลือกค่าที่ดีที่สุดจำนวน m ค่าออกมาเท่ากับ e ค่า และกำหนดค่าของจำนวนผึ้งงานจำนวน n_{ep} ตัว ให้เข้าไปค้นหาอย่างละเอียดที่ e และกำหนดค่าของจำนวนผึ้งงานจำนวน n_{sp} ตัว ให้ไปค้นหาในส่วนของ $m-e$

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

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินผลของคำตอบจากผึ้งสอดแนม เมื่อได้ค่าจากผึ้งสอดแนมตามจำนวนผึ้งสอดแนมที่ส่งออกไป ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำเอาคำตอบทั้งหมดที่อยู่ในเงื่อนไขที่กำหนดมา ประเมินผลของคำตอบ คือนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาเรียงคำตอบจากน้อยไปหามากจำนวน n ค่า ซึ่งก็คือมีจำนวนเท่ากับจำนวนผึ้งสอดแนมที่ส่งออกไปหาแหล่งน้ำหวานจำนวน n ตัว

ขั้นตอนที่ 4 เลือกคำตอบที่ดีที่สุดจำนวน m คำตอบ เพื่อค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียง หลังจากประเมินค่าคำตอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 ซึ่งขณะที่จะได้ค่าของคำตอบทั้งหมด 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 และคำตอบที่ด้อยลงมาจำนวน $m-e$ เพื่อจะได้กำหนดจำนวนผึ้งงานในการเข้าไปค้นหาคำตอบต่อไป ตามค่าพารามิเตอร์ที่ได้มีการกำหนดไว้ในขั้นแรก

ขั้นตอนที่ 6 ให้ผึ้งงานออกหาน้ำหวานตามแหล่งที่เลือกไว้ เมื่อได้แหล่งน้ำหวาน หรือคำตอบที่ดีที่สุด e คำตอบ และแหล่งน้ำหวาน หรือคำตอบที่ด้อยลงมาจำนวน $m-e$ คำตอบ ในขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนดให้ผึ้งงานเข้าไปหาคำตอบบริเวณโซนของคำตอบสองกลุ่มที่ได้แบ่งไว้ในขั้นตอนที่ 5 คือกำหนดให้ผึ้งงานจำนวน n_{ep} ตัวไปค้นหาคำตอบรอบ ๆ บริเวณโซนคำตอบ e และให้ผึ้งงานจำนวน n_{sp} ตัว ออกไปหาคำตอบบริเวณโซนคำตอบ $m-e$ และนำผลมาทำการประเมินเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดต่อไป

ขั้นตอนที่ 7 ประเมินผลของคำตอบที่ได้จากการหาคำตอบพื้นที่ใกล้เคียง ในการประเมินผลของคำตอบนั้นจะทำการประเมินผลของคำตอบที่ได้จากทั้งสองแหล่ง คือฝูงงานที่เข้าค้นหาคำตอบจากจำนวนคำตอบที่ดีที่สุด e คำตอบ และฝูงงานที่เข้าค้นหาคำตอบจากจำนวนคำตอบที่เหลือ $m-e$ คำตอบ ซึ่งการประเมินจะเป็นการนำข้อมูลของคำตอบมาเปรียบเทียบกันและเลือกเอาคำตอบที่ดีที่สุด หรือคำตอบที่ใกล้เคียงกับเงื่อนไขที่กำหนดมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 8 ตรวจสอบเกณฑ์เพื่อหยุดทำงาน ถ้าเงื่อนไขต่างๆ ที่ได้ตั้งไว้เป็นจริง ให้แสดงคำตอบที่เหมาะสมที่สุด มิฉะนั้นให้กลับไปขั้นตอนที่ 2

4. การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีฝูงผึ้งแบบหลายกลุ่ม (Multiple Bee Colony Optimization: MBCO)

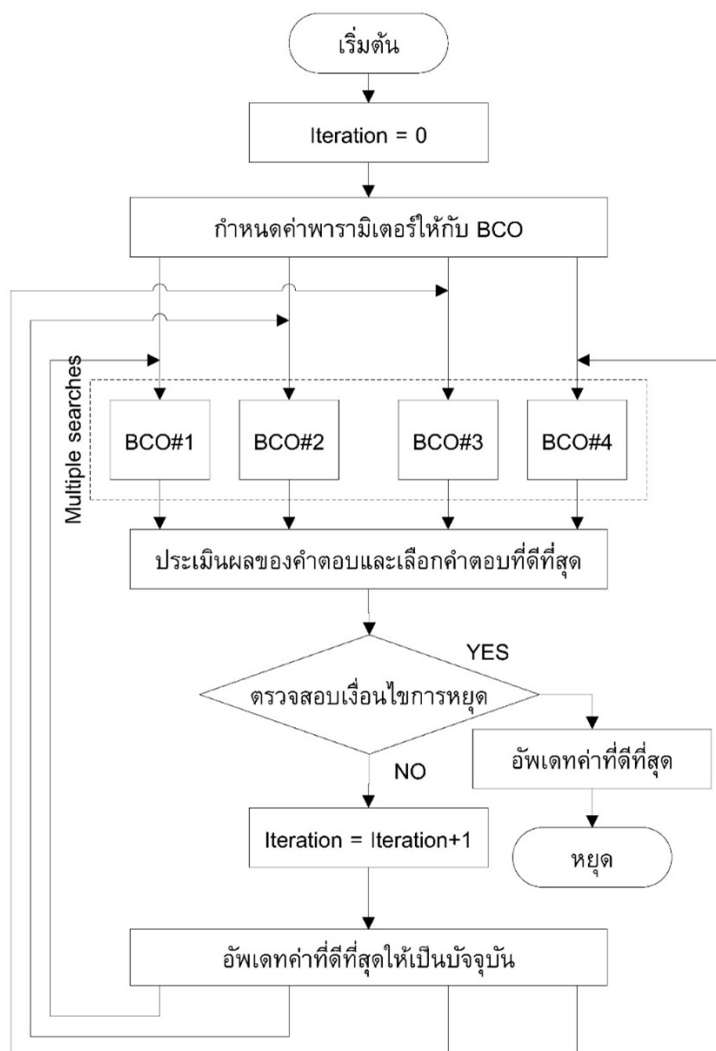
การค้นหาลายการช่วยให้ได้คำตอบที่มีแนวโน้มที่จะเป็นคำตอบแบบ Global และอาจจะเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุด MBCO ใช้วิธีการค้นหาลายการในเวลาเดียวกัน คือใช้ฝูงผึ้งหลายฝูงในการค้นหาในเวลาเดียวกัน แนวคิดของ MBCO เกิดขึ้นจากการแก้ปัญหาของวิธี BCO ในส่วนของการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ เช่นจำนวนผึ้งสอดแนม จำนวนฝูงงาน จำนวนแหล่งน้ำหวานที่เลือกและจำนวนการวนซ้ำของการหาคำตอบ การกำหนดค่าเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องเป็นสิ่งที่ยากและต้องทำการทดสอบซ้ำๆ จึงทำให้เสียเวลา การค้นหาแบบหลายรายการอาจทำให้ความเร็วในการลู่เข้าหาคำตอบเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว อัลกอริทึม วิธี MBCO ที่นำเสนอจะใช้พารามิเตอร์ของฝูงผึ้งในแต่ละกลุ่มที่แตกต่างกันเพื่อเพิ่มโอกาสในการเข้าถึงคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ขั้นตอนของวิธีการ MBCO จะแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยวิธี BCO จำนวนหลายฝูงที่เป็นอิสระ กลไกเพิ่มเติมในวิธีการที่นำเสนอสามารถอธิบายได้ดังนี้

4.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับ BCO

ในขั้นตอนนี้พารามิเตอร์ของฝูงผึ้งจะถูกกำหนดให้มีความแตกต่างกัน เพื่อความหลากหลายในการค้นหาคำตอบของผึ้งแต่ละฝูงซึ่งจะประกอบด้วยจำนวนผึ้งสอดแนมที่จะได้รับการปล่อยตัวเพื่อหาแหล่งน้ำหวานผึ้ง นั่นก็คือการกำหนดกำลังไฟฟ้าขาออกที่ขึ้นอยู่กับข้อจำกัด ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง เทียบเท่ากับจำนวนผึ้งที่ปล่อยออกมา ในบทความนี้แบ่งฝูงผึ้งออกเป็นสี่กลุ่มคือ BCO#1, BCO#2, BCO#3 และ BCO#4 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบการดำเนินการดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ของวิธี MBCO

Parameters	BCO#1	BCO#2	BCO#3	BCO#4
Population size (n)	10	20	30	40
Number of selected sites (m)	7	10	10	10
Number of best sites (e)	5	5	5	5
Number of bees around best sites (n_{ep})	50	50	50	50
Number of bees around other sites (n_{sp})	50	50	50	50



รูปที่ 1 แผนผังขั้นตอนการทำงานของวิธี MBCO เพื่อแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

4.2 การค้นหาแบบหลายรายการ (Multiple searches)

ในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่อาจใช้คอมพิวเตอร์หลายเครื่องในการคำนวณในเวลาเดียวกัน เรียกว่าการค้นหาแบบขนาน แต่การค้นหาหลายรายการในเอกสารฉบับนี้ดำเนินการโดยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล [15] แนวคิดพื้นฐานคือการลดเวลาที่ใช้ในการค้นหาผลลัพธ์โดยการปรับปรุงความถูกต้องและความเกี่ยวข้องของการค้นหาแต่ละครั้ง การค้นหาแบบหลายรายการเป็น อัลกอริทึมแบบ multitasking ซึ่งรวมคุณลักษณะของอัลกอริทึมและความสามารถในการค้นหาเพิ่มเติม ช่วยให้อัลกอริทึมสามารถรวบรวมผลการค้นหาจากการค้นหาได้หลายแบบ คำตอบอาจมาจากหนึ่งหรือหลายอัลกอริทึม การค้นหาหลายๆ ครั้งเป็นวิธีที่จะใช้ประโยชน์จากพลังของอัลกอริทึมหลายแบบที่อัลกอริทึมแบบเดิมไม่สามารถทำได้ และช่วยในการค้นหาคำตอบที่มีแนวโน้มที่จะได้คำตอบที่เป็น Global แนวคิดนี้ใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพอัลกอริทึมของ BCO ตามที่อธิบายไว้ในส่วน 3 ลำดับการดำเนินการเริ่มต้นจาก BCO#1 ถึง BCO#4 เพื่อใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

4.3 ประเมินผลคำตอบที่ดีที่สุด

การประเมินผลของคำตอบที่ได้ คือค่าของคำตอบที่เป็นไปตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการสรุปแนวการค้นหาคำตอบเพื่อให้บรรลุตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ หลังจากรอบการทดสอบหรือการจำลองแต่ละครั้งผลของคำตอบที่เลวร้ายที่สุดจะถูกคัดออก และสร้างใหม่จากกระบวนการเดิม ผลของคำตอบแต่ละรอบหรือแต่ละครั้งจะต้องเป็นไปในแนวโน้มที่ดีเพื่อบ่งบอกถึงความใกล้เคียงกับคำตอบและข้อกำหนดโดยรวม และขั้นตอนเหล่านี้คือขั้นตอนของการประเมินผลของคำตอบ เพื่อทดสอบค่าของคำตอบที่ได้ หากค่าของคำตอบที่ได้ออกมาไม่ดี วิธีการหรืออัลกอริทึมที่ใช้อาจผิดปกติหรือจะมีปัญหา

4.4 ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุดทำงาน

โดยทั่วไปมีหลายเงื่อนไขที่เป็นไปได้ที่จะหยุดการค้นหา ในบทความนี้ได้กำหนดการหยุดการค้นหาด้วยเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งต่อไปนี้ ประการแรกกำหนดโดยขีดจำกัดของเวลา นั่นหมายความว่าหากเวลาในการคำนวณมากกว่าหรือเท่ากับเวลาที่กำหนดกระบวนการค้นหาจะหยุดลง ประการที่สองกำหนดโดยการทำซ้ำสูงสุดที่อนุญาต ถ้าการทำซ้ำ ซ้ำมากกว่าหรือเท่ากับจำนวนการทำซ้ำสูงสุดที่อนุญาตกระบวนการค้นหาจะหยุดลง สุดท้ายคือได้ค่าของคำตอบที่เหมาะสมที่สุดซึ่งสอดคล้องกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์อยู่ภายในข้อจำกัด เงื่อนไขและข้อบังคับของเครื่องกำเนิด

5. ผลการทดสอบ

5.1 ระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบ

กรณีศึกษาที่ 1 ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อน 6 หน่วย 26 บัส และสายส่ง 46 เส้น มีความต้องการกำลังไฟฟ้า 1263 MW คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องแสดงดังตารางที่ 2 และมีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียในสายส่งดัง [16]

ในกรณีที่ 1 เป็นการวางแผนการผลิตโดยเป็นการวางแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในระบบไฟฟ้า ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง เช่นเวลา 18.00 เครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องควรผลิตกำลังไฟฟ้าเท่าไรที่ใช้ต้นทุนการผลิตน้อยที่สุด และโหลดต้องได้รับกำลังไฟฟ้าเพียงพอกับความต้องการด้วย

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีศึกษาที่ 1

Unit no.	ci	bi	ai	Pmin	Pmax
1	0.0070	7.00	240	100	500
2	0.0095	10.0	200	50	200
3	0.0090	8.50	220	80	300
4	0.0090	11.0	200	50	150
5	0.0080	10.5	220	50	200
6	0.0075	12.0	190	50	120

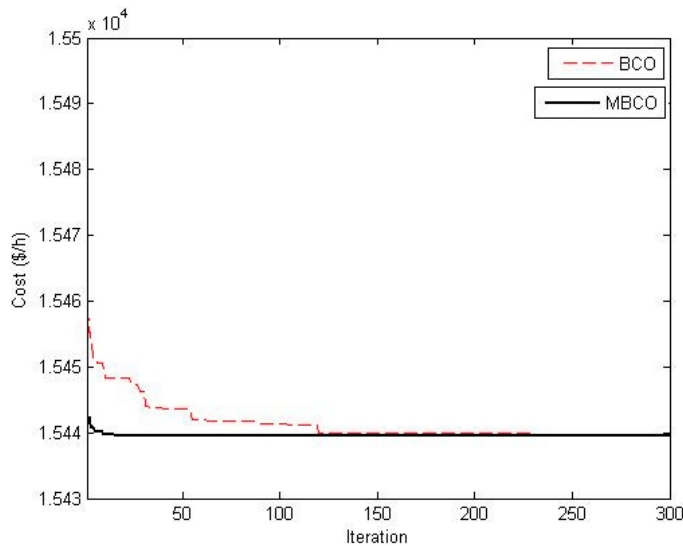
ในกรณีศึกษาที่ 2 ได้พิจารณาถึงขีดจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลง (Ramp rate limit) และช่วงเวลาต้องห้าม (Prohibited Operating Zone) มีสัมประสิทธิ์การสูญเสียในสายส่งเหมือนกับกรณีศึกษาที่ 1 มีคุณสมบัติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามตารางที่ 1 และมีข้อมูลขีดจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลงและช่วงเวลาต้องห้ามตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ขีดจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลงและช่วงเวลาต้องห้ามกรณีศึกษาที่ 2

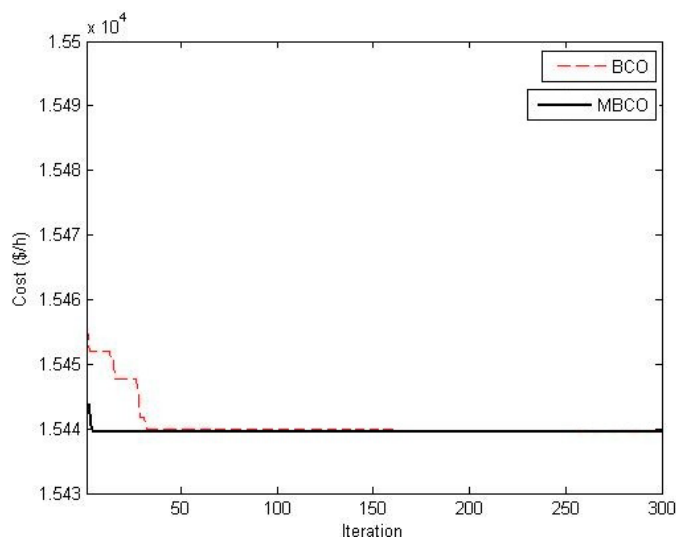
Unit no.	PO	UR	DR	Prohibited Operating Zone	
1	440	80	120	[210-240]	[350-380]
2	170	50	90	[90-110]	[140-160]
3	200	65	100	[150-170]	[210-240]
4	150	50	90	[80-90]	[110-120]
5	190	50	90	[90-110]	[140-150]
6	150	50	90	[75-85]	[100-105]

5.2 ผลการจำลองสถานการณ์และการเปรียบเทียบผล

ในการจำลองใช้โปรแกรม MATLAB คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก Intel(R) Core(TM) i5 2.30 GHz แรม 8 GB บนระบบปฏิบัติการ Windows 7 ทำการทดสอบจำนวน 200 รอบ ความเร็วในการหาคำตอบของวิธีการ MBCO ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกับวิธี BCO แบบเดิม ซึ่งแสดงในรูปที่ 2 สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 และแสดงในรูปที่ 3 สำหรับกรณีศึกษาที่ 2 ในส่วนของต้นทุนการผลิตค่าที่ดีที่สุดของแต่ละวิธี ในกรณีศึกษาที่ 1 ดังตารางที่ 4 และกรณีศึกษาที่ 2 ดังตารางที่ 5



รูปที่ 2 เปรียบเทียบความเร็วในการหาคำตอบในกรณีศึกษาที่ 1



รูปที่ 3 เปรียบเทียบความเร็วในการหาคำตอบในกรณีศึกษาที่ 2

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบการจัดสรรกำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่อง กรณีศึกษาที่ 1

Units	MBCO	BCO	PSO [17]	HLBCO [13]
P1	451.53	452.92	440.58	449.03
P2	173.14	172.57	167.44	172.48
P3	260.19	257.50	278.26	258.05
P4	136.07	140.04	150	137.72
P5	163.77	162.24	157.61	166.52
P6	90.47	89.80	81.22	91.37
P _T	1275.17	1275.07	1257.08	1275.16
P _L	12.17	12.07	12.08	12.16
T _C	15439.57	15439.63	15445.49	15439.63

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบการจัดสรรกำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่อง กรณีศึกษาที่ 2

Units	MBCO	BCO	RDPSO [18]	KHA [19]
P1	450.16	448.84	445.25	447.42
P2	175.37	173.16	172.79	173.29
P3	259.51	257.33	263.53	263.36
P4	136.35	140.73	141.07	138.96
P5	163.88	164.34	163.86	165.38
P6	89.90	90.68	88.86	87.04
P _T	1275.17	1275.08	1275.36	1275.45
P _L	12.17	12.08	12.36	12.45
T _C	15439.56	15439.60	15442.76	15443.08

จากรูปที่ 2 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจน ในส่วนของความเร็วในการลู่เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยวิธี BCO ลู่เข้าหาคำตอบด้วยอัตราการทำซ้ำประมาณ 230 รอบ ในขณะที่ MBCO ใช้การทำซ้ำเพียงไม่ถึง 15 รอบเท่านั้น ในส่วนของค่าใช้จ่ายของต้นทุนการผลิตได้แสดงไว้ในตารางที่ 4 นำค่าของคำตอบที่ได้ไปเปรียบเทียบกับวิธี PSO และ HLBCO จะเห็นได้ว่าวิธีที่นำเสนอมีคำตอบเป็นค่า

ของต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุดโดย HLBCO ให้ค่าของต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 15439.63 วิธี PSO มีค่าต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 15445.49 และวิธีที่นำเสนอให้ค่าของต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 15439.57 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าวิธีอื่นๆ ที่นำมาเปรียบเทียบ กล่าวคือวิธีที่นำเสนอสามารถที่จะหาคำตอบได้เร็วทำให้ลดเวลาในการค้นหาคำตอบไปได้อย่างมาก และมีผลการคำนวณได้ค่าของต้นทุนการผลิตรวมต่ำที่สุด

จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นอย่างชัดเจน ในส่วนของความเร็วในการลู่เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยวิธี BCO ลู่เข้าหาคำตอบด้วยอัตราการทำซ้ำประมาณ 160 รอบ ในขณะที่ MBCO ใช้การทำซ้ำเพียงไม่ถึง 10 รอบเท่านั้น ในส่วนของค่าใช้จ่ายของต้นทุนการผลิตได้แสดงไว้ในตารางที่ 5 นำค่าของคำตอบที่ได้ไปเปรียบเทียบกับวิธี RDPSO และ KHA จะเห็นว่าวิธีที่นำเสนอมีคำตอบเป็นค่าของต้นทุนการผลิตรวมที่ต่ำที่สุดโดย KHA ให้ค่าของต้นทุนการผลิตรวมอยู่ที่ 15443.08 วิธี RDPSO มีค่าต้นทุนการผลิตรวมอยู่ที่ 15442.76 วิธี BCO มีค่าต้นทุนการผลิตรวมอยู่ที่ 15439.60 และวิธีที่นำเสนอให้ค่าของต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 15439.56 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าวิธีอื่นๆ ที่นำมาเปรียบเทียบ กล่าวคือวิธีที่นำเสนอสามารถที่จะหาคำตอบได้เร็วทำให้ลดเวลาในการค้นหาคำตอบไปได้อย่างมาก และมีผลการคำนวณได้ค่าของต้นทุนการผลิตรวมต่ำที่สุด

6. สรุปผล

การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดด้วยวิธีการค้นหาแบบหลายรายการด้วยวิธีการฝูงผึ้ง ในกรณีศึกษาที่ 1 พิจารณาถึงกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจากสายส่งและฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนที่มีสมการทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบเรียบ จะเห็นว่าวิธีที่นำเสนอสามารถลู่เข้าหาคำตอบได้อย่างรวดเร็วโดยทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอและวิธี BCO ในแง่ของค่าใช้จ่ายรวมนั้นได้ทำการเปรียบเทียบจำนวน 4 วิธี (MBCO, BCO, PSO และ HLBCO) วิธีที่นำเสนอให้ค่าของต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ ส่วนในกรณีศึกษาที่ 2 ได้พิจารณารวมถึงข้อจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลงและช่วงเวลาการทำงานต้องห้ามของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในแง่ของความเร็วในการลู่เข้าหาคำตอบ วิธีที่นำเสนอยังคงมีความเร็วในการลู่เข้าหาคำตอบที่ดี ในแง่ของต้นทุนการผลิตรวมเมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับวิธี BCO, RDPSO และ KHA จะเห็นว่าวิธีการที่นำเสนอนี้ ให้ค่าของคำตอบที่ดีกว่า จากการทดสอบ วิธีที่นำเสนอมีโอกาสได้ค่าที่เหมาะสมมากกว่าเดิม เนื่องจากใช้วิธี BCO ค้นหาคำตอบพร้อมกันถึง 4 กลุ่ม ค่าที่ได้นี้เป็นที่ยอมรับได้ และมีคำตอบที่ดีกว่า ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการผลิตกำลังงานไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพได้

References

- [1] A. J. Wood and B. F. Wollenberg. (1984). **Power Generation Operation and Control**. New York: Wiley.
- [2] A.A. El-Keib, H. Ma, and J.L. Hart. (1994). "Environmentally Constrained Economic Dispatch Using the La Grangian Relaxation Method". **IEEE Transactions on Power Systems**. Vol. 9 (No. 4): Pages 1723-1729.
- [3] M. Ramamoorthy, R. N. Dhar, and P. K. Mukherjee. (1973). "Reduced-gradient method for economic dispatch". in **Electrical Engineers Proceedings of the Institution of Electrical Engineers**. Vol. 120 (Issue 11): Pages 1419-1420.
- [4] R.J. Ringlee and D.D. Williams. (1962). "Economic dispatch operation considering valve throttling losses II-distribution of system loads by the method of dynamic programming". **IEEE Trans. Power Appar. Syst.** Vol. 81 (Issue 3): Pages 615-620.
- [5] Ahsan Ashfaq and Akif Zia Khan. (2014). "Optimization of Economic Load Dispatch Problem by Linear Programming Modified Methodology". **2nd International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET'2014)**. 30-31 May 2014. London (UK): Pages 76-79.
- [6] Jizhong Zhu and James A. Momoh. (2001). "Multi-area power systems economic dispatch using nonlinear convex network flow programming". **Electric Power Systems Research**. Vol. 59: Pages 13-20.
- [7] Samuel A. Oluwadare, Gabriel B. Iwasokun, Olatubosun Olabode, O. Olusi, and Akintoba E. Akinwonmi. (2016). "Genetic Algorithm-based Cost Optimization Model for Power Economic Dispatch Problem". **British Journal of Applied Science & Technology**. Vol. 15 (Issue 6): Pages 1-10.
- [8] K. Srikanth and V. HariVamsi. (2016). "Partical Swarm Optimization Technique for Dynamic Economic Dispatch". **International Journal of Research in Engineering and Technology**. Vol. 5 (Issue 5): Pages 460-466.
- [9] M.N. Nwohu and Osaremwinda Osarobo Paul. (2017). "Evaluation of Economic Load Dispatch Problem in Power Generating Stations by the Use of Ant Colony Search Algorithms". **International Journal of Research Studies in Electrical and Electronics Engineering (IJRSEEE)**. Vol. 3 (Issue 1): Pages 20-29.

- [10] Vijay Kumar Joshi. (2017). "Optimization of Economic Load Dispatch Problem by using Tabu Search Algorithm". **International Journal of Latest Trends in Engineering and Technology**. Vol. 8 (Issue 4-1): Pages 182-187.
- [11] Thang Trung Nguyen, Dieu Ngoc Vo, and Bach Hoang Dinh. (2016). "Cuckoo search algorithm for combined heat and power economic dispatch". **Electrical Power and Energy Systems. ELSEVIER**. Vol. 81: Pages 204-214.
- [12] Ziane Ismail, Benhamida Farid, and Graa Amel. (2017). "Simulated Annealing Optimization for Generation Scheduling with Cubic Fuel Cost Function". **WSEAS Transactions on Information Science and Applications**. Vol. 14: Pages 64-69.
- [13] Wanchai KHAMSEN and Chiraphon TAKEANG. (2016). "Hybrid of Lamda and Bee Colony Optimization for Solving Economic Dispatch". **PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY**. Vol. 9: Pages 220-223.
- [14] Chiraphon Takeang and Wanchai Khamsan. (2016). "Solving Economic Dispatch Problem of a Thermal Power Plant Using Bee Colony Optimization Technique". **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal**. Vol. 9 (No. 2): Pages 1-10. (In Thai).
- [15] Worawat Sa-ngiamvibool, Saravuth Pothiya, Issarachai Ngamroo. (2011). "Multiple tabu search algorithm for economic dispatch problem considering valve-point effects". **Electrical Power and Energy Systems**. Vol. 33: Pages 846-854.
- [16] S. Khamawang and S. Jiriwibhakorn. (2009). "Solving the Economic Dispatch Problem using Novel Particle Swarm Optimization". **World Academy of Science, Engineering and Technology**. Vol. 3: Pages 1053-1058.
- [17] Rasoul Rahmani, Mohd Fauzi Othman, Rubiyah Yusof and Marzuki Khalid. (2012). "Solving Economic Dispatch Problem Using Particle Swarm Optimization By An Evolutionary Technique For Initializing Particles". **Journal of Theoretical and Applied Information Technology**. Vol. 46 (No. 2): Pages 526-536.
- [18] Jun Sun, Vasile Palade, Xiao-Jun Wu, Wei Fang and Zhenyu Wang. (2014). "Solving the Power Economic Dispatch Problem with Generator Constraints by Random Drift Particle Swarm Optimization". **IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS**. Vol. 10 (No. 1): Pages 222-232.

- [19] Barun Mandal, Provas Kumar Roy and Sanjoy Mandal. (2013). "Economic load dispatch using krill herd algorithm". **Electrical Power and Energy Systems, Science Direct**. Vol. 57: Pages 1-10.

ประวัติผู้เขียนบทความ



จิรพนธ์ ทาแกง อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ลำปาง เลขที่ 200 หมู่ 17 ต.พิชัย อ.เมือง จ.ลำปาง 52000 โทรศัพท์ 054 342547 โทรสาร 054 342549 E-mail: chiraphon@rmutl.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: การจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch) พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar energy)



วันชัย คำเสน อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ลำปาง เลขที่ 200 หมู่ 17 ต.พิชัย อ.เมือง จ.ลำปาง 52000 โทรศัพท์ 054 342547 โทรสาร 054 342549 E-mail: wanchai_kh@rmutl.ac.th
งานวิจัยที่สนใจ: อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronic) การจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch)



อภิพันธ์ อูรโสภณ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ต.ขามเรียง อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150 โทร 043 754333 E-mail: aurasopon@yahoo.com
งานวิจัยที่สนใจ: อิเล็กทรอนิกส์กำลัง (Power Electronic) อิเล็กทรอนิกส์เกษตรกรรม (Electronic Agriculture)