

การปรับปรุงการค้นหาเฉพาะถิ่นโดยใช้วิธีอัตราส่วนทองคำ
ในวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้ง
สำหรับปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด
Improvement of Local Search for the Problem of Economic
Dispatch using the Golden Section Ratio
in the Bee Colony Optimization Method

จิรพนธ์ ทาแกง^{1*} และวันไชย คำแสน²

Chiraphon Takeang^{1*} and Wanchai Khamseen²

^{1,2}สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง
200 หมู่ 17 ต.พิชัย อ.เมือง จ.ลำปาง โทรศัพท์: 0 5434 2547 ต่อ 160 E-mail: su0008@hotmail.com,
wanchai_kh@rmutl.ac.th

^{1,2}Electrical Engineering Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology Lanna Lampang
200 Moo 17, Pichai Sub-District, Muang District, Lampang Tel. +66 5434 2547 ext. 160

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการปรับปรุงการค้นหาเฉพาะถิ่นโดยใช้อัตราส่วนทองคำในวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้งเพื่อแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด โดยการปรับเปลี่ยนกระบวนการในการเคลื่อนที่เพื่อหาแหล่งอาหารใหม่ของฝูงผึ้ง จากเดิมที่ต้องสุ่มค่าองค์ประกอบตัวคูณซึ่งทำให้ผลของคำตอบค่อนข้างที่จะกระจายเป็นวงกว้าง การปรับปรุงกระบวนการนี้จะใช้วิธีการค้นหาอัตราส่วนทองคำเข้าไปเป็นองค์ประกอบตัวคูณในสมการการเคลื่อนที่ของฝูงผึ้งแทนขั้นตอนของการสุ่ม และดำเนินการหาคำตอบต่อไป โดยพิจารณาความต้องการของระบบไฟฟ้า ค่าสูญเสียในสายส่ง และเงื่อนไขข้อบังคับต่าง ๆ ของระบบ การจำลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB และทดสอบกับ 2 กรณีศึกษาบนระบบมาตรฐานที่ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 หน่วย และ 6 หน่วย และได้ทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอกับวิธี BCO แบบดั้งเดิม HLBCO และ MSA โดยทำการเปรียบเทียบในแง่ของประสิทธิภาพของคำตอบ และความเร็วในการหาคำตอบจากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าวิธีการที่นำเสนอมีวิธีการแก้ปัญหาที่ถูกต้องและมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาด้านคุณภาพของคำตอบ คุณลักษณะของการหาคำตอบ และความเร็วในการค้นหาคำตอบ โดยในกรณีที่ 1 วิธีการที่นำเสนอใช้จำนวนรอบในการคำนวณเฉลี่ยที่ 256.8 รอบ ซึ่งเร็วกว่าปกติร้อยละ 59 และมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดที่ 1957.48 ในกรณีที่ 2 วิธีการที่นำเสนอใช้จำนวนรอบในการคำนวณเฉลี่ยที่ 145.9 รอบ ซึ่งเร็วกว่าปกติร้อยละ 33.27 และมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดที่ 15439.51

คำสำคัญ : อัตราส่วนทองคำ, การจ่ายโหลดอย่างประหยัด, การหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้ง

Abstract

This article provides a way to improve local search using the golden section ratio in the bee colony optimization method for the problem of economic dispatch. This modification adjusts the movement process to find new sources of bee feed. From the original, the multiplication factor has to be multiplied, which results in a fairly wide distribution. This process of refinement uses the gold ratio as a multiplicative component in the equation of motion of the bee population instead of the random step. Operations will consider power system requirements, transmission line losses, and regulatory conditions. The MATLAB program was used for simulation and testing with 2 standard case studies consisting of 3 generators and 6 units. Testing to evaluate the effectiveness of the methods presented used traditional BCO, HLBCO and MSA methods. Comparisons were made in terms of response efficiency and convergence speed. From the results of the tests it can be concluded that the proposed method provides a valid and effective solution to solve the problem of the quality of the answer- the convergence feature. In case 1, the proposed method calculated the average number of rounds was 256.8- 59 per cent faster than usual- with the lowest cost at 1957.48. In case 2, the proposed method calculated the average number of rounds was 145.9 rounds- 33.27 per cent faster than usual- with the lowest cost at 15439.51.

Keywords : Golden Section Ratio, Economic dispatch, Bee Colony Optimization

1. บทนำ

ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (economic dispatch Problem; ED) เป็นปัญหาที่สะท้อนถึงผลลัพธ์ทางไฟฟ้าที่ดีที่สุด ปัญหา ED เป็นการผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการพลังงานไฟฟ้าในระบบโดยที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และในขณะเดียวกันก็สามารถส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพและเชื่อถือได้ ปัญหา ED ถือเป็นเรื่องพื้นฐานในการดำเนินงานของระบบไฟฟ้า วัตถุประสงค์หลักที่สำคัญของ ED คือการเพิ่มประสิทธิภาพ และลดต้นทุนการผลิตรวม โดยอยู่บนเงื่อนไขข้อบังคับของระบบ การแก้ปัญหา ED ได้มีความพยายามในการนำเสนอวิธีการแก้ปัญหามากมายโดยหลัก ๆ แล้วสามารถแบ่งกลุ่มได้เป็น 2 กลุ่ม คือ วิธีการทางคณิตศาสตร์ (Mathematical method) และวิธีเมต้า-ฮิวริสติกส์ (Meta-Heuristics) วิธีการทางคณิตศาสตร์นั้น เป็นวิธีการแบบเดิมซึ่งอาศัยกระบวนการทางคณิตศาสตร์ยกตัวอย่าง เช่น การทำซ้ำแบบแลมด้า (Lambda Iteration) เป็นวิธีอาศัยหลักการเท่ากันของต้นทุนที่เพิ่มขึ้น (Incremental

Cost) วิธีเกรเดียน (Gradient Method) วิธีนิวตัน (Newton's Method) วิธีการประยุกต์ใช้ฟังก์ชัน ส่วนของเส้นตรง (Piecewise Function) แต่วิธีเหล่านี้เป็นเพียงการหาค้นหาคำตอบเฉพาะถิ่น (local search) เท่านั้น อีกทั้งยังไม่สามารถพิจารณาข้อจำกัดของระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพอีกด้วย และเมื่อไม่นานมานี้ได้มีความพยายามในการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการสมัยใหม่ โดยการเลียน การพฤติกรรมของพืช สัตว์ หรือพัฒนาการของสิ่งใดสิ่งหนึ่งในธรรมชาติ วิธีการใหม่นี้เรียกว่าวิธีการ เมต้า-ฮิวริสติกส์ ตัวอย่าง เช่น การจำลองการอบเหนียวของโลหะ (Simulated Annealing: SA) (Ismail Ziane, Farid Benhamida, Yacine Salhi and AmelGraa, 2015) ที่แก้ปัญหา ED ด้วยการ จำลองการอบเหนียวของโลหะ โดยเลียนแบบการลดลงของอุณหภูมิจนถึงอุณหภูมิที่ลดลงต่ำสุด, การค้นหาแบบตาบู่ (Tabu Search: TS) (Bakhta Naama, Hamid Bouzeboudja, Ahmed Allali, 2013) เป็นวิธีการแก้ปัญหา ED ด้วยกลยุทธ์ในการป้องกันการกลับมาที่คำตอบเดิมโดยจะจดจำ คำตอบที่ผ่านมาไว้และป้องกันไม่ให้เกิดการค้นหาคำตอบกลับมาที่คำตอบเดิม วิธีการทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) (N. Javidtash, A. Davodi, M. Hakimzadeh and A. Roozb, 2014) เป็นการแก้ปัญหา ED โดยเลียนแบบวิธีการทางพันธุกรรม เช่น การคัดเลือกสายพันธุ์ การสืบพันธุ์ (Reproduction) การผสมยีน (Crossover) กกับการกลายพันธุ์ (Mutation) และนำไปประเมินความ เหมาะสมด้วยฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function), วิธีฝูงมด (Ant Colony Optimization: ACO) (Pirmahamad Jamalbhai Vasoala, Chinmay Y. Jani , Vasim H. Ghanchi and Parth Harshad Kumar, 2014) วิธีนี้เลียนแบบการเดินทางเพื่อหาอาหารของมดที่ใช้ระยะทางที่สั้นที่สุด ด้วยการปล่อยฟีโรโมน ในเส้นทางที่มีฟีโรโมนมากที่สุดจะเป็นเส้นทางที่ใกล้ที่สุดนั่นเอง, วิธีอนุภาค กลุ่ม (Particle Swarm Optimization: PSO) (K. Srikanth and V. HariVamsi, 2016) วิธีนี้เป็นการ แก้ปัญหา ED โดยจะเลียนแบบการหาอาหารของฝูงสัตว์ เช่น ฝูงปลา ฝูงนก วิธีแบบฝูงผึ้ง (Bee Colony Optimization: BCO) (Dinu Calin Secui, 2015), (Takeang C. and Khamsan W., 2016) วิธีนี้เป็นการแก้ปัญหา ED ที่เลียนแบบการหาอาหารของฝูงผึ้ง แหล่งอาหารที่มีน้ำผึ้งมากที่สุดจะ เปรียบได้กับคำตอบที่เหมาะสมที่สุดนั่นเอง วิธีการเหล่านี้สามารถที่จะให้คำตอบที่เป็น global ได้ แต่ทุกวิธีที่กล่าวมายังคงมีปัญหที่สามารถแก้ไขได้ นั่นคือทุกวิธีอาจจะลู่เข้าหาคำตอบได้ช้า และให้คำตอบที่หลงเข้าไปเป็นคำตอบที่เป็น local ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึม ซึ่งมีความแตกต่างกัน ในวิธีเมต้า-ฮิวริสติกส์ที่กล่าวมา มีวิธีการหนึ่ง นั่นคือวิธีการหาคำตอบ ที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้ง วิธีนี้คิดค้นโดย Karaboga ในปี 2005 (D. Karaboga, 2005) ได้รับแรง บันดาลใจจากพฤติกรรมการหาอาหารแบบอัจฉริยะของฝูงผึ้ง เป็นวิธีที่มีโครงสร้างง่าย ใช้ตัวแปร ไม่มาก ในงานวิจัยนี้จะมีการแบ่งฝูงผึ้งออกเป็น 2 ฝูง ประกอบด้วย Scout Bees และ Employed Bees ฝูงผึ้งทั้งหมดจะมีการจัดการตนเองอย่างชาญฉลาด และแบ่งแรงงานออกเพื่อปฏิบัติงาน เช่น ค้นหาอาหาร แบ่งปันข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งอาหารเป็นต้น ตำแหน่งของแหล่งอาหารนั้น

จะหมายถึงทางออกที่เป็นไปได้สำหรับปัญหาที่ต้องการหาคำตอบ จำนวนน้ำหวานของแหล่งอาหารจะสอดคล้องกับคุณภาพและความถูกต้องของคำตอบ อย่างไรก็ตาม วิธีการแบบฝูงผึ้งเมื่อนำมาใช้แก้ปัญหา ED พบว่ายังมีข้อบกพร่องบางอย่างที่ขัดขวางประสิทธิภาพการทำงานของมัน แม้จะเป็นวิธีการที่ดีในการค้นหาคำตอบ แต่ในขณะเดียวกันการลู่เข้าหาคำตอบกลับเป็นไปอย่างช้า ๆ และคำตอบที่ได้ก็มีโอกาสที่จะเป็นคำตอบแบบ local

ดังนั้นการเร่งความเร็วในการลู่เข้าหาคำตอบ และหลีกเลี่ยงคำตอบที่เป็น local จึงกลายเป็นเป้าหมายที่สำคัญในการวิจัยในครั้งนี้ โดยการวิจัยครั้งนี้ได้พัฒนาการเคลื่อนไหวของฝูงโดยใช้วิธีการค้นหาแบบท้องถิ่น (local search) ที่เรียกว่าวิธีการอัตราส่วนสีทอง (Golden Section Ratio) (Press WH., Teukolsky SA., Vetterling WT. and Flannery BP., 2007) เพื่อนำมาใช้แก้ปัญหา ED ให้สามารถเร่งความเร็วในการลู่เข้าหาคำตอบ และได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อปรับปรุงกระบวนการของ BCO อัลกอริทึมให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

2.2 เพื่อป้องกันคำตอบที่เป็น local ด้วยวิธีการอัตราส่วนสีทองในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

3. ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch Problem)

การจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบสแตติก เป็นการวางแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ เวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้น กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขข้อบังคับต่าง ๆ ของระบบโดยมีฟังก์ชันเป้าหมาย (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 คือจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เชื่อมต่อกับระบบทั้งหมด, $F_i(P_i)$ คือ ต้นทุนของเชื้อเพลิงการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

3.1 ลักษณะของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โดยทั่วไปฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือสมการทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบเรียบ (Smooth Cost) และแบบไม่เรียบ (Non-Smooth Cost) ในส่วนของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเรียบนั้น

จะมีลักษณะของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันกำลังสอง (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 P คือกำลังไฟฟ้าจ่ายออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i

3.2 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 คือกำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการ, 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

4. วิธีการดำเนินการ

ในการดำเนินงาน ผู้วิจัยได้ดำเนินการตามขั้นตอน คือศึกษาวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้งและปรับปรุงกระบวนการของวิธีฝูงผึ้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การแก้ปัญหการจ่ายโหลดอย่างประหยัดด้วยวิธีฝูงผึ้ง (Economic Dispatch Problem Using Bee Colony Optimization) (Takeang C. and Khamsan W., 2016)

วิธีการหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีฝูงผึ้ง เป็นวิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่เลียนแบบพฤติกรรมกรรมการหาน้ำหวานของผึ้ง โดยผึ้งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ผึ้งสอดแนม (Scout Bee)

และผึ้งงาน (Employee Bee) เพื่อค้นหาคำตอบ ในแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายรายละเอียดต่าง ๆ ได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าพารามิเตอร์ของฝูงผึ้ง ประกอบด้วยจำนวนผึ้งสอดแนม n ค่าที่ดีจำนวนเท่ากับ m ค่าที่ดีที่สุดเท่ากับ e และกำหนดค่าของจำนวนผึ้งงานจำนวน n_{ep} ตัว ให้เข้าไปค้นหาอย่างละเอียดที่ e และกำหนดค่าของจำนวนผึ้งงานจำนวน n_{sp} ตัว ให้ไปค้นหาในส่วนของ $m-e$

ขั้นตอนที่ 2 สุ่มค่าเริ่มต้นของระบบให้ผึ้งสอดแนม โดยค่าที่สุ่มนั้นจะต้องอยู่ในเงื่อนไขต่าง ๆ ที่กำหนด เช่น Power Balance Constraint และ Operating Limit Constraint โดยใช้สมการที่ (6)

$$P_i = P_{i,\min} + ((P_{i,\max} - P_{i,\min}) \times \text{rand}(0,1)) \quad (6)$$

ขั้นตอนที่ 3 ประเมินผลของคำตอบจากผึ้งสอดแนม โดยนำค่าที่ได้ทั้งหมดมาเรียงคำตอบจากน้อยไปหามากจำนวน n ค่า ซึ่งก็คือมีจำนวนเท่ากับจำนวนผึ้งสอดแนมที่ส่งออกไปหาแหล่งน้ำหวานจำนวน n ตัว

ขั้นตอนที่ 4 เลือกคำตอบที่ดีที่สุดจำนวน m คำตอบ หลังจากประเมินค่าคำตอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 ซึ่งขณะนี้จะได้ค่าของคำตอบทั้งหมด n คำตอบและมีการเรียงลำดับไว้ จากนั้นเลือกค่าของคำตอบที่ดีที่สุดจำนวน m คำตอบ ซึ่งคำตอบที่ได้จะนำไปพิจารณาในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 5 แบ่งคำตอบออกเป็น 2 ชุดคือคำตอบที่ดีที่สุด e คำตอบจากจำนวน m และคำตอบที่ตรงลงมาจำนวน $m-e$ เพื่อจะได้กำหนดจำนวนผึ้งงานในการเข้าไปค้นหาคำตอบต่อไปตามค่าพารามิเตอร์ที่ได้มีการกำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 6 ให้ผึ้งงานออกหาน้ำหวานรอบ ๆ แหล่งที่เลือกไว้ คือ e และ $m-e$ โดยผึ้งงานเข้าไปหาคำตอบบริเวณโซนของคำตอบสองกลุ่มที่ได้แบ่งไว้ในขั้นตอนที่ 5 โดยผึ้งงานจำนวน n_{ep} ตัว ไปค้นหาคำตอบรอบ ๆ e และให้ผึ้งงานจำนวน n_{sp} ตัว ออกไปหาคำตอบรอบ ๆ $m-e$ ในขั้นตอนนี้การเคลื่อนที่ของฝูงผึ้งงานจากแหล่งอาหารเดิมไปยังแหล่งอาหารใหม่จะเป็นไปตามสมการที่ 7

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (7)$$

เมื่อ v_{ij} คือตำแหน่งอาหารใหม่ x_{ij} คือแหล่งอาหารปัจจุบัน, x_{kj} เป็นแหล่งอาหารจากการสุ่มเลือกจากประชากร, ϕ_{ij} เป็นองค์ประกอบตัวคูณจากการ random มีค่า $-1 \leq \phi_{ij} \leq 1$ ซึ่งจะทำให้การ random ใหม่ทุกครั้งถูกรอบการคำนวณ

ขั้นตอนที่ 7 ประเมินผลของคำตอบที่ได้จากการหาคำตอบพื้นที่ใกล้เคียงจากทั้งสองแหล่งคือผึ้งงานที่เข้าค้นหาคำตอบจากจำนวนคำตอบที่ดีที่สุด e และผึ้งงานที่เข้าค้นหาคำตอบจาก $m-e$ คำตอบ ซึ่งการประเมินจะเป็นการนำข้อมูลของคำตอบมาเปรียบเทียบกันและเลือกเอาคำตอบที่ดีที่สุด หรือคำตอบที่ใกล้เคียงกับเงื่อนไขที่กำหนดมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 8 ตรวจสอบเกณฑ์เพื่อหยุดทำงาน ถ้าเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ได้ตั้งไว้เป็นจริง ให้แสดงคำตอบที่เหมาะสมที่สุด มิฉะนั้นให้กลับไปขั้นตอนที่ 2

4.2 การปรับปรุงการค้นหาเฉพาะถิ่นโดยใช้อัตราส่วนทองคำในวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้ง

การปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้งโดยใช้วิธีการค้นหาเฉพาะถิ่นที่ชื่อว่าอัตราส่วนสีทองนั้น วิธีนี้ได้ถูกนำมาใช้ในโครงสร้างพื้นฐานของการค้นหาแบบฝูงผึ้ง โดยคำตอบที่ได้จากวิธีฝูงผึ้งอาจเป็นคำตอบเฉพาะถิ่น และการเข้าสู่คำตอบก่อนจะถึงคำตอบที่ดีที่สุด วิธีการของอัตราส่วนสีทองจะช่วยให้การปรับปรุงการเข้าสู่คำตอบ โดยการปรับสมการการเคลื่อนไหวของฝูงผึ้ง ทำให้ได้คำตอบที่เป็น global วิธีการที่เสนอนี้เรียกว่า “การปรับปรุงการค้นหาเฉพาะถิ่นโดยใช้อัตราส่วนทองคำในวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้ง” (Improvement Local Search using Golden Section Ratio in Bee Colony Optimization: ILS-GSR-BCO) ในอัลกอริธึมที่เสนอจะแทนที่แหล่งอาหารในเบื้องต้น (สมการที่ 7) โดยใช้สมการที่ 8

$$v_{ij} = x_{ij} + F_z (x_{ij} - x_{kj}) \quad (8)$$

เมื่อ F_z คือองค์ประกอบตัวคูณเพื่อปรับค่าการสร้างแหล่งอาหารใหม่ซึ่งขึ้นอยู่กับค่า a และ b โดยในการสร้างแหล่งอาหารใหม่จะถูกมองว่าเป็นขั้นตอนที่กำหนดไม่ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบตัวคูณ F_z องค์ประกอบตัวคูณเพื่อการปรับขนาดนี้เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องควบคุมเพื่อรับประกันแหล่งอาหารที่มีคุณภาพสูง ที่มีบทบาทสำคัญในฝูงผึ้งรุ่นต่อไป วิธีการค้นหาเฉพาะถิ่นถูกนำไปใช้กับ F_z เพื่อควบคุมองค์ประกอบตัวคูณซึ่งจะทำให้รับประกันได้ว่าแหล่งอาหารที่ดีมีประสิทธิภาพสูง สามารถทำได้โดยลดฟังก์ชัน $f(F_z)$ ในพื้นที่ตัดสินใจ $[-1, 1]$ ($-1 \leq \phi_{ij} \leq 1$) จากสมการที่ 7 ความหมายของปัจจัยเชิงลบคือการผกผันของทิศทางการค้นหา หากการค้นหาในทิศทางลบส่งผลให้ได้ค่าบวกที่สอดคล้องกันจะถูกกำหนดให้เป็นแหล่งอาหารสำหรับฝูงผึ้งรุ่นต่อไป

อัตราส่วนสีทองหรือการค้นหาส่วนสีทองจะถูกนำไปใช้ในการกำหนดองค์ประกอบตัวคูณเพื่อให้ได้แหล่งอาหารที่มีคุณภาพ โดยจะสร้างจุดสองจุดเพื่อกำหนดช่วงของการประมวลผลคือ $[a = -1, b = 1]$ โดยอัตราส่วนสีทองคำนวณได้จากสมการที่ 9

$$\delta = \frac{1 + \sqrt{5}}{2} \quad (9)$$

ค่าของ F_z คำนวณได้จากสมการที่ 10 – 11

$$F_z^1 = b - \frac{b - a}{\delta} \quad (10)$$

$$F_z^2 = a + \frac{b - a}{\delta} \quad (11)$$

ค่าที่ได้จากการประเมินค่าของ $f(F_Z^1)$ และ $f(F_Z^2)$ จะถูกนำมาเปรียบเทียบ และถ้า $f(F_Z^1) < f(F_Z^2)$ จะแทนค่า F_Z^2 ด้วย b และขั้นตอนนี้จะถูกทำซ้ำในขอบเขตการค้นหาที่น้อยกว่า a และ b

5. ผลการทดสอบ

การปรับเปลี่ยนการเคลื่อนไหวของฝูงผึ้งในการวิจัยในครั้งนี้ ทำให้เกิดการแกว่งของคำตอบ คือช่วงต่ำสุดและสูงสุดของคำตอบมีช่วงแคบลง เมื่อใช้วิธีการที่นำเสนอ นั้น จะทำให้การเคลื่อนไหวของฝูงผึ้งเป็นไปอย่างมีแบบแผน ทำให้ค้นหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.1 ระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบ

กรณีศึกษาที่ 1 กรณีศึกษานี้เป็นระบบง่าย ๆ ที่ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เครื่อง และมีความต้องการใช้ไฟฟ้า 150 MW ข้อมูลระบบแสดงในตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของระบบดังอ้างอิง (Kumar, C. and Alwarsamy, T., 2012)

ตารางที่ 1 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีศึกษาที่ 1

Unit	$P_{i,min}$	$P_{i,max}$	a_i	b_i	c_i
1	10	85	200	7.0	0.008
2	10	80	180	6.3	0.009
3	10	70	140	6.8	0.007

กรณีศึกษาที่ 2 ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อน 6 เครื่อง 26 บัส และสายส่ง 46 เส้น มีความต้องการกำลังไฟฟ้า 1263 MW คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องแสดงดังตารางที่ 2 และมีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียในสายส่งดังอ้างอิง (Khamasawang, S. and Jiriwibhakorn, S., 2009)

ตารางที่ 2 คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากรณีศึกษาที่ 2

Unit	a_i	b_i	c_i	$P_{i,min}$	$P_{i,max}$
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

5.2 ผลการจำลองสถานการณ์และการเปรียบเทียบผล

ในการจำลองใช้โปรแกรม MATLAB คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ Intel(R) Core(TM) i5 2.30 GHz แรม 8 GB บนระบบปฏิบัติการ Windows 7 ทำการรันจำนวน 100 รอบ แบ่งการทดสอบออกเป็น 2 กรณีศึกษา แต่ละกรณีศึกษาแบ่งการเปรียบเทียบผลออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกทำการเปรียบเทียบระหว่างวิธีฝูงผึ้งแบบดั้งเดิม (BCO) กับวิธีที่นำเสนอ และส่วนที่ 2 เปรียบเทียบผลของคำตอบกับวิธีการแบบอื่น โดยกรณีศึกษาที่ 1 ได้ผลการจำลองดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4 กรณีศึกษาที่ 2 ได้ผลดังตารางที่ 5 และตารางที่ 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบระหว่างวิธี BCO และวิธี ILS-GSR-BCO กรณีศึกษาที่ 1

Method	Best cost	Average cost	Max. cost	Average iteration
BCO	1597.51	1597.92	1600.54	627
ILS-GSR-BCO	1597.48	1597.51	1597.56	256.8

จากตารางที่ 3 วิธี BCO จะมีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 1597.51 และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 1600.54 ในขณะที่วิธีการที่นำเสนอนั้นให้ค่าต่ำสุดอยู่ที่ 1597.48 และค่าสูงสุดที่ 1597.57 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของคำตอบทำให้ค่าเฉลี่ยของคำตอบของวิธีการที่นำเสนอมีผลดีกว่า เนื่องจากค่าต่ำสุดและสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกัน ในส่วนของการหาค่าตอบวิธี BCO มีจำนวนรอบเฉลี่ยอยู่ที่ 627 รอบ ในขณะที่วิธีการที่นำเสนอมีจำนวนรอบเฉลี่ยอยู่ที่ 256.8 รอบ ซึ่งแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่าวิธีการที่นำเสนอลู่เข้าหาค่าตอบได้อย่างรวดเร็ว โดยมีความเร็วเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 59 และค่าของคำตอบยังแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอได้อย่างชัดเจน

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบการจัดสรรกำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องกรณีศึกษาที่ 1

Units	Conventional method	BCO	ILS-GSR-BCO
P ₁	33.47	31.61	32.91
P ₂	64.10	65.54	64.51
P ₃	55.10	55.21	54.92
P _T	152.34	152.35	152.34
P _L	2.34	2.35	2.34
T _C	1599.97	1597.51	1597.48

จากตารางที่ 4 เป็นการเปรียบเทียบวิธีการที่นำเสนอกับวิธีแบบดั้งเดิม (Saadat, H., 1999) และวิธี BCO จะเห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอมีค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมอยู่ที่ 1597.48 ซึ่งมีค่าน้อยกว่า

วิธีที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองวิธี จึงถือได้ว่าวิธีการที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ของคำตอบเป็นไปในทางที่ดี ทำให้เชื่อได้ว่าวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่ใช้ได้ผลจริง

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบระหว่างวิธี BCO และวิธี ILS-GSR-BCO กรณีศึกษาที่ 2

Method	Best cost	Average cost	Max. cost	Average iteration
BCO	15439.88	15441.69	15445.54	438.5
ILS-GSR-BCO	15439.51	15440.38	15441.47	145.9

จากตารางที่ 5 เป็นการเปรียบเทียบผลการหาคำตอบของค่าใช้จ่ายรวมในการผลิต ในกรณีศึกษาที่ 2 โดยวิธี BCO มีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 15439.88 และมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 15445.54 ในขณะที่วิธีการที่นำเสนอนั้นให้ค่าต่ำสุดอยู่ที่ 15439.51 และค่าสูงสุดที่ 15441.47 เมื่อนำมาหาค่าเฉลี่ยของคำตอบทำให้ค่าเฉลี่ยของคำตอบของวิธีการที่นำเสนอดีกว่า เนื่องจากค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดมีค่าใกล้เคียงกัน ในส่วนของการหาคำตอบวิธี BCO มีจำนวนรอบเฉลี่ยอยู่ที่ 438.5 รอบ ในขณะที่วิธีการที่นำเสนอมีจำนวนรอบเฉลี่ยอยู่ที่ 145.9 รอบ มีความเร็วเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 33.27 และมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้งแบบดั้งเดิม

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบการจัดสรรกำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่อง กรณีศึกษาที่ 2

Units	HLBCO	MSA	BCO	ILS-GSR-BCO
P ₁	449.03	450.13	447.63	451.34
P ₂	172.48	174.80	175.58	173.76
P ₃	258.05	256.97	257.77	257.61
P ₄	137.72	139.72	136.42	137.45
P ₅	166.52	162.72	162.35	163.72
P ₆	91.37	90.72	95.35	91.24
P _T	1275.16	1275.07	1275.11	1275.12
P _L	12.16	12.07	12.10	12.12
T _C	15439.63	15439.54	15439.88	15439.51

จากตารางที่ 6 เป็นผลของการหาคำตอบของวิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีผสมผสานแลมด้ากับวิธีฝูงผึ้ง (HLBCO) (Khamseen, W. and Chiraphon Takeang, C., 2016) วิธีการปรับเปลี่ยนวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยการจำลองการอบเหนียว (MSA) (Takeang, C., et al. 2017) และวิธีแบบฝูงผึ้ง (BCO) จะเห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอมีค่าใช้จ่ายในการผลิตรวมอยู่ที่ 15439.51

ซึ่งมีค่าน้อยกว่าวิธีที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสามวิธี จึงถือได้ว่าวิธีการที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ของคำตอบเป็นไปในทางที่ดี ทำให้เชื่อได้ว่าวิธีการดังกล่าวเป็นวิธีที่ใช้ได้ผลจริง

6. สรุปผลการวิจัย

การแก้ปัญหาค่าใช้จ่ายโหลดอย่างประหยัดด้วยวิธีปรับปรุงกระบวนการพื้นฐานของวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้งโดยใช้วิธีอัตราส่วนของค่า ซึ่งเป็นการค้นหาเฉพาะถิ่น ในกรณีศึกษาที่ 1 ประกอบด้วยเครื่องกำเนิด 3 เครื่อง กรณีศึกษาที่ 2 ที่ประกอบด้วยเครื่องกำเนิด 6 เครื่อง และพิจารณาถึงกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจากสายส่งและฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนที่มีสมการทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบเรียบ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธี BCO แบบดั้งเดิมจะเห็นได้ว่าวิธีที่นำเสนอนั้นให้ค่าของคำตอบที่ดีกว่าวิธีที่นำมาเปรียบเทียบกับโดยระยะทางช่วงต่ำสุดและสูงสุดของคำตอบมีความใกล้เคียงกัน สามารถกล่าวได้ว่าคำตอบที่ได้จะไม่หลุดไปเป็นคำตอบเฉพาะถิ่น และค่าเฉลี่ยของคำตอบมีค่าใกล้เคียงกับค่าของคำตอบที่ต่ำที่สุดอีกประเด็นหนึ่ง คือความเร็วในการหาคำตอบ วิธีการที่นำเสนอให้ผลค่อนข้างชัดเจนว่าการหาคำตอบและกระบวนการประเมินผลมีความเร็วกว่าวิธีการ BCO แบบดั้งเดิม ในส่วนที่ 2 ได้ทำการเปรียบเทียบกับวิธี การคำนวณแบบดั้งเดิม วิธี HLBCO วิธี MSA และวิธี BCO วิธีการที่นำเสนอให้ค่าของคำตอบที่ดีกว่าอันเนื่องมาจากองค์ประกอบตัวคูณที่ควบคุมให้ฝูงผึ้งหาคำตอบได้ดีกว่าเดิม ซึ่งค่าที่ได้นี้เป็นที่ยอมรับได้ สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการผลิตกำลังงานไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพได้

7. เอกสารอ้างอิง

- Bakhta Naama, Hamid Bouzeboudja, Ahmed Allali. (2013). Solving the Economic Dispatch Problem by Using Tabu Search Algorithm, **TerraGreen 13 International Conference 2013 - Advancements in Renewable Energy and Clean Environment**, Energy Procedia 36, pp. 694-701.
- 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**, 9(2), 1-10. (in Thai)
- Chiraphon Takeang, Wanchai Khamsan and Apinan Aurasopon. (2017). Modified simulated annealing Optimization for Solving Economic Dispatch Problem with

- Ramp Rate Limit and Prohibited Operating Zone, **Industrial Technology Lampang Rajabhat University Journal**, 10(2), 1-10. (in Thai)
- C.Kumar and T.Alwarsamy, (2012). "Solution of Economic Dispatch Problem using Differential Evolution Algorithm," **International Journal of Soft Computing and Engineering**, Volume-1, Issue-6, pp. 236-241.
- Dinu Calin Secui. (2015). A new modified bee colony algorithm for the economic dispatch problem, **Energy Conversion and Management, Elsevier**, pp.43-62.
- Hardiansyah, Junaidi, Yohannes MS. (2012). Solving Economic Load Dispatch Problem Using Particle Swarm Optimization Technique, **I.J. Intelligent Systems and Applications**, November, pp. 12-18.
- H. Saadat, (1999). Power system Analysis, **McGraw-hill companies**.
- Ismail Ziane, Farid Benhamida, Yacine Salhi and AmelGraa. (2015). Combine Dynamic Economic/Emission Dispatch Using Simulated Annealing Solution, **International Conference on Systems and Control**, Sousse, Tunisia, pp. 302-309.
- K. Srikanth and V. HariVamsi. (2016). Partical Swarm Optimization Technique for Dynamic Economic Dispatch. **Internation Journal of Research in Engineering and Technology**, vol. 5, issue 5, pp. 460-466.
- N. Javidtash, A. Davodi, M. Hakimzadeh and A. Roozb. (2014). Genetic Algorithm for Solving Non-Convex Economic Dispatch Problem. **International Journal of Mathematical, Computational, Statistical, Natural and Physical Engineering**. vol. 8, no. 5, pp.866-869.
- Pirmahamad Jamalbhai Vasovala, Chinmay Y. Jani, Vasim H. Ghanchi and Parth Harshad Kumar. (2014). Application of Ant colony Optimization technique in Economic Load Dispatch Problem for IEEE-14 Bus System. **International Journal for Scientific Research & Development**, vol. 2, issue 02, pp. 990-994.
- Simona Dinu, Ioan Odagescu, Maria Moise. (2011). Environmental Economic Dispatch Optimization using Modified Genetic Algorithm. **International Journal of Computer Applications**, vol.20, April, 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.

Wanchai KHAMSEN, Chiraphon TAKEANG. (2016) Hybrid of Lamda and Bee Colony Optimization for Solving Economic Dispatch,” **PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY**, pp.220-223.

Industrial Technology
มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง