

การปรับเปลี่ยนวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยการจำลองการอบเหนียว
เพื่อแก้ปัญหการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยพิจารณาถึงขีดจำกัด
อัตราการเปลี่ยนแปลงและช่วงเวลาต้องห้าม

Modification of Simulated Melting That is Optimized in Order
to Solve the Economic Dispatch Problem Including the Ramp
Rate Limit and The Prohibited Operating Zone

จิรพันธ์ ทาแกง^{1*}, วันไชย คำแสน² และอภินันท์ อรุโสม³

^{1,2}สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

200 หมู่ 17 ต.พิชัย อ.เมือง จ.ลำปาง โทรศัพท์: 054342547 ต่อ 160 E-mail: su0008@hotmail.com, wanchai_kh@rmutl.ac.th

³สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม มหาสารคาม

41/20 ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150 โทรศัพท์ 043-754333 E-mail: aurasopon@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่มีฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงเป็นแบบเรียบ โดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบอัลกอริทึมของวิธีการจำลองการอบเหนียว (SA) โดยใช้หลักการเท่ากันของต้นทุนการผลิต (incremental cost: λ) เข้าไปแทนขั้นตอนของการสุ่มหาค่าเริ่มต้นและใช้หลักการ SA ในการดำเนินการหาค่าตอบต่อไป โดยพิจารณาความต้องการของระบบไฟฟ้า ค่าสูญเสียในสายส่ง และเงื่อนไขข้อบังคับต่าง ๆ ของระบบการจำลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB และทดสอบกับกรณีศึกษาที่ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6 หน่วย และได้ทดสอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอกับวิธี GA, PSO และวิธี BCO จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าวิธีการที่นำเสนอมีวิธีการแก้ปัญหาที่ถูกต้อง และมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาด้านคุณภาพของคำตอบ คุณลักษณะของการลู่เข้า และการคำนวณที่มีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: การจำลองการอบเหนียว, การจ่ายโหลดอย่างประหยัด, แลมด้า

Abstract

This article presents the most cost-effective method to solve the economical load/dispatch problem with a smooth cost function by modifying the SA simulation algorithms using the same principle of incremental cost (λ) instead of initial randomization. In consideration of the needs of the electrical system, the loss in the transmission line and the MATLAB simulated conditions and test cases with a 6-unit generator and tested to evaluate the performance of the GA, PSO and BCO methods. This paper offers an accurate solution to the problems of quality, convergence characteristics, and efficient calculations.

Keywords: Simulated melting, Economic dispatch, Lambda

1. บทนำ

การผลิตพลังงานไฟฟ้าเพื่อให้มีเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือเป็นสิ่งสำคัญ ในขณะที่ความต้องการพลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาต่าง ๆ มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ซึ่งจะนำมาด้วยปัญหาในการวางแผนการผลิตไฟฟ้า และสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาในการผลิตพลังงานไฟฟ้าคือค่าใช้จ่ายในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องจัดสรรกำลังการผลิตพลังงานไฟฟ้าให้กับเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องโดยที่ให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าโดยรวมน้อยที่สุดเพียงพอกับความต้องการ และอยู่บนข้อจำกัด ข้อบังคับของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ปัญหานี้คือการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch:ED)

การจ่ายโหลดอย่างประหยัด คือการพิจารณาความสามารถของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในการผลิตพลังงานไฟฟ้าโดยให้ค่าใช้จ่ายราคาเชื้อเพลิงในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ำที่สุด มีหลายวิธีในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด โดยสามารถแยกออกได้เป็น 2 วิธี วิธีแรกคือวิธีเชิงตัวเลข เช่น การทำซ้ำแบบแลมด้า (Lambda Iteration) เป็นวิธีอาศัยหลักการเท่ากันของต้นทุน ที่เพิ่มขึ้น (Incremental Cost) วิธีเกรเดียน (Gradient Method) เป็นวิธีที่อาศัยความลาดชันในการหาคำตอบ วิธีนิวตัน (Newton's Method) เป็นการคำนวณคำตอบด้วยการประมาณของอนุกรมเทเลอร์ วิธีการประยุกต์ใช้ฟังก์ชันส่วนของเส้นตรง (Piecewise Function) แต่วิธีเหล่านี้เป็นเพียงการหาค้นหาคำตอบเฉพาะถิ่น (local search) วิธีที่สอง คือเทคนิคใหม่ ๆ เช่นการจำลองการอบเหนียวของโลหะ (SA: Ismail Ziane, Farid Benhamida, Yacine Salhi and AmelGraa, 2015) การค้นหาแบบตาบ (TS: Bakhta Naama, Hamid Bouzeboudja, Ahmed Allali, 2013) วิธีการทางพันธุกรรม (GA: N. Javidtash, A. Davodi, M. Hakimzadeh and A. Roozb, 2014) วิธีฝูงมด (ACO: Pirmahamad Jamalbhai Vasoala, Chinmay Y. Jani, Vasim H. Ghanchi and Parth Harshad Kumar, 2014) วิธีอนุภาค (PSO: K. Srikanth and V. HariVamsi, 2016) วิธีแบบฝูงผึ้ง (BCO: Dinu Calin Secui, 2015), (Takeang C. and Khamsan W., 2016) วิธีการเหล่านี้เป็นวิธีการที่ทันสมัยในการแก้ปัญหา ED ซึ่งสามารถค้นหาคำตอบที่เป็น global แต่อย่างไรก็ตามวิธีการเหล่านี้เป็นการค้นหาคำตอบแบบสุ่ม ต้องใช้เวลานานในการค้นหาคำตอบ ปัญหานี้มีการคิดค้นวิธีการเพิ่มความเร็วในการค้นหาคำตอบนั้นคือการผสมผสานวิธีแลมด้าและวิธีฝูงผึ้ง (HLBCO: Wanchai KHAMSEN, Chiraphon TAKEANG, 2016) โดยการกำหนดค่าเริ่มต้นของการค้นหาด้วยแลมด้า และใช้ความสามารถของวิธีฝูงผึ้งในการค้นหาคำตอบ แต่วิธีการนี้มีโอกาสที่คำตอบจะติดอยู่ที่ local เนื่องจากในการวนรอบหาคำตอบอาจจะอยู่ในจุดเดิม วิธีการจำลองการอบเหนียว (SA) เป็นวิธีการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ เมื่อเกิดคำตอบที่ดีกว่าคำตอบเฉพาะที่ จะยอมรับคำตอบปัจจุบันเป็นคำตอบใหม่ กระบวนการเข้าสู่คำตอบที่ดี เป็นไปอย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ก็ยังคงเริ่มต้นด้วยการสุ่มค่าเริ่มต้น และอาจทำให้เกิดการลดยุณหภูมิที่เร็วเกินไปทำให้ได้คำตอบเฉพาะที่

บทความนี้นำเสนอการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดด้วยการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับวิธีการ SA โดยลดขั้นตอนของการสุ่มหาคำตอบและกำหนดค่าเริ่มต้นด้วยวิธีการทำซ้ำแบบแลมด้า จากนั้นจึงใช้ขั้นตอนของวิธีการอบเหนียวในการหาคำตอบโดยเริ่มจากค่าแลมด้าที่คำนวณได้โดยพิจารณาถึงฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่มีสมการ

ทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบเรียบ รวมทั้งข้อจำกัดการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การทดสอบได้จำลองการทำงานบนโปรแกรม MATLAB กรณีศึกษาใช้ระบบที่ประกอบด้วยเครื่องกำเนิด 6 หน่วย

2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

2.1 เพื่อปรับปรุงกระบวนการของ SA อัลกอริทึมให้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

2.2 เพื่อแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยพิจารณาถึงขีดจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลงและช่วงเวลาต้องห้าม

3. ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

การจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบสแตติก เป็นการวางแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ณ เวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้น ว่าเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องควรผลิตกำลังไฟฟ้าเท่าไรที่ใช้ต้นทุนการผลิตน้อยที่สุด และสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับต่าง 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

3.1 ลักษณะของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โดยทั่วไปฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือสมการทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบเรียบ (Smooth Cost) และสมการทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบไม่เรียบ (Non-Smooth Cost) ในส่วนของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบเรียบ (Smooth Cost) นั้นจะมีลักษณะของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันกำลังสอง (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 คือ สัมประสิทธิ์ราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า P คือ กำลังไฟฟ้าจ่ายออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่

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)

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

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

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

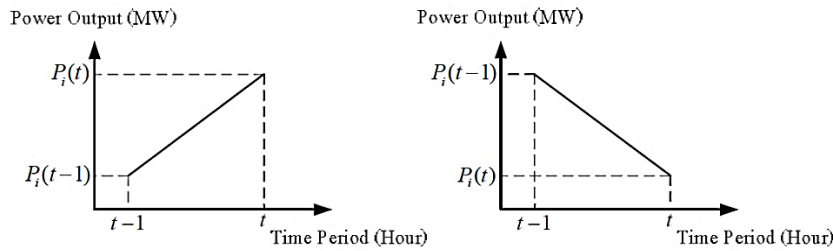
2) ข้อจำกัดพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Rating Constraint) (All J. Wood and Bruce F. Wollenberg, 1996) คือ กำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละเครื่องต้องอยู่ในขีดจำกัดกำลังการผลิตต่ำสุดและสูงสุดดังสมการที่ (5)

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

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) สถานะการเพิ่มกำลังการผลิต ข) สถานะการลดกำลังการผลิต

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

ดังนั้นกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะอยู่ในช่วงดังสมการที่ (6)

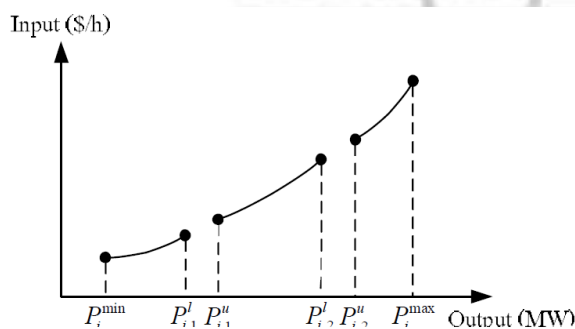
$$\max(P_{i,\min}, P_i^0 - DR_i) \leq P_i \leq \min(P_{i,\max}, P_i^0 + UR_i) \quad (6)$$

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)

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

4. การปรับเปลี่ยนวิธีการจำลองการอบเหนียว (Modified Simulated annealing: MSA)

วิธี Simulated Annealing หรือ SA เป็นวิธีการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ที่ได้รับการพัฒนาขึ้นในปี 1983 โดย Kirkpatrick เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยกระบวนการของ SA จะเลียนแบบกระบวนการปรับโครงสร้างอะตอมของโลหะด้วยวิธีการอบเหนียวโลหะ เริ่มต้นกระบวนการโดยการให้ความร้อนและควบคุมอุณหภูมิ ใช้การปรับลดอุณหภูมิอย่างช้า ๆ เพื่อเพิ่มขนาดของผลึกและจัดเรียงตัวโครงสร้างโลหะ จนกระทั่งโลหะอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุด วิธี SA จะมีลักษณะการทำงานที่อาศัยหลักของการค้นหาคำตอบจากคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบปัจจุบัน ซึ่ง SA เกิดจากการปรับปรุงผลของคำตอบเฉพาะที่ เมื่อเกิดคำตอบที่ดีกว่าคำตอบเฉพาะที่ จะยอมรับเป็นคำตอบใหม่ที่จะไปดำเนินการต่อไป แต่ถ้ามีคำตอบใหม่ที่คุณภาพด้อยกว่าเดิม อาจจะยอมรับคำตอบนั้น (Dinu, S., Odagescu, I., and Moise, M. 2011)

ในการปรับเปลี่ยนอัลกอริทึมของกระบวนการจำลองการอบเหนียวนี้ จะใช้วิธีการเท่ากันของต้นทุนการผลิต (incremental cost: λ) ในการคำนวณหาคำตอบเริ่มต้น และใช้หลักการของกระบวนการอบเหนียวในการหาคำตอบจากคำตอบเริ่มต้นที่ได้คำนวณไว้ โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับอัลกอริทึม SA ดังตารางที่ 1

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณค่าคำตอบเริ่มต้นด้วยหลักการเท่ากันของต้นทุน (λ) ด้วยสมการต่อไปนี้

$$\lambda = \frac{P_D + \sum_{i=1}^m \frac{b_i}{c_i}}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{c_i}} \quad (8)$$

นำค่า λ ที่ได้ไปคำนวณหาค่าต้นทุนการผลิต (S) โดยค่าที่ได้ต้องตอบสนองความต้องการของระบบโดยการพิจารณาเงื่อนไขของระบบ ข้อจำกัดกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องอยู่ในช่วงต่ำสุดและสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องที่ผลิตกระแสไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 3 สร้างคำตอบที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จาก λ แบบสุ่ม (S_j) และคำนวณค่าต้นทุนการผลิตเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 4 ถ้าคำตอบใหม่ดีกว่าคำตอบเดิมก็จะดำเนินการเลือกคำตอบใหม่ แต่ถ้าหากคำตอบใหม่ด้อยกว่าคำตอบเดิม จะดำเนินการคำนวณค่าความเบี่ยงเบนของค่าใช้จ่าย $\Delta S = S_j - S_i$ และสร้างจำนวนสุ่ม จากนั้นทำการยอมรับค่าโซลูชันใหม่ (S_j) แทนค่าโซลูชันเดิม (S)

ขั้นตอนที่ 5 ดำเนินการปรับค่าอุณหภูมิในสภาวะถัดไป ($T_k = r * T_{k-1}$)

ขั้นตอนที่ 6 ดำเนินการวนซ้ำจนกระทั่งถึงเงื่อนไขการหยุดทำงาน

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์สำหรับ SA

Parameters	Values
Initial temperature	100
Final temperature	5
Cool Shed	0.83
maximum number of tries	1000
Maximum number of successes within	50

5. ผลการทดสอบ

5.1 ระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ทดสอบ

กรณีศึกษาที่ 1 ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อน 6 เครื่อง 26 บัส และสายส่ง 46 เส้น มีความต้องการกำลังไฟฟ้า 1263 MW คุณลักษณะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องแสดงดังตารางที่ 2 และมีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียในสายส่งดังสมการที่ (9) สมการที่ (10) และสมการที่ (11) (S. Khamsawang and S. Jiriwibhakorn, 2009)

$$B_{ij} * 10^{-2} = \begin{bmatrix} 0.0017 & 0.0012 & 0.0007 & -0.0001 & -0.0005 & -0.0002 \\ 0.0012 & 0.0014 & 0.0009 & 0.0001 & -0.0006 & -0.0001 \\ 0.0007 & 0.0009 & 0.0031 & 0.0000 & -0.0010 & -0.0006 \\ -0.0001 & 0.0001 & 0.0000 & 0.0024 & -0.0006 & -0.0008 \\ -0.0005 & -0.0006 & -0.0010 & -0.0006 & 0.0129 & -0.0002 \\ -0.0002 & -0.0001 & -0.0006 & -0.0008 & -0.0002 & 0.0150 \end{bmatrix} \quad (9)$$

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

$$B_{oi} = 0.059 \quad (11)$$

ในกรณีที่ 1 เป็นการวางแผนการผลิตโดยเป็นการวางแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่ออยู่ในระบบไฟฟ้า ณ เวลาใดเวลาหนึ่งเท่านั้น เช่น 20.00 น. ว่าเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องควรผลิตกำลังไฟฟ้าเท่าไรที่ใช้ต้นทุนการผลิตน้อยที่สุด 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 2 และมีข้อมูลขีดจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลง และช่วงเวลาต้องห้ามตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 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]

5.2 ผลการจำลองสถานการณ์และการเปรียบเทียบผล

ในการจำลองใช้โปรแกรม MATLAB คอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ Intel(R) Core(TM) i5 2.30 GHz แรม 8 GB บนระบบปฏิบัติการ Windows 7 ทำการรันจำนวน 500 รอบ ได้ผลการจำลองดังตารางที่ 4 และตารางที่ 5 ซึ่งได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบกับวิธีเชิงพันธุกรรม (GA), วิธีอนุภาคกลุ่ม (PSO) และวิธีแบบฝูงผึ้ง (BCO)

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบการจัดสรรกำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่องกรณีศึกษาที่ 1

Units	GA	PSO	BCO	MSA
P ₁	474.71	446.71	448.398	450.61
P ₂	178.64	173.01	168.483	174.74
P ₃	262.21	265.00	256.951	260.69
P ₄	134.28	139.00	138.164	136.21
P ₅	151.90	165.23	164.757	162.17

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบการจัดสรรกำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่อง กรณีศึกษาที่ 1 (ต่อ)

Units	GA	PSO	BCO	MSA
P_6	74.18	86.78	98.343	90.73
P_T	1,276.03	1,275.7	1,275.1001	1,275.1535
P_L	13.03	12.733	12.1001	12.15
T_C	1,5459.00	1,5447	1,5440.4318	1,5439.6

จากตารางที่ 4 เป็นผลของการหาคำตอบของอัลกอริทึม MSA เปรียบเทียบกับวิธี GA, PSO และ BCO จะเห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอ ให้ผลของคำตอบดีกว่าวิธีอื่น ๆ กล่าวคือให้ค่าต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดนั่นเอง

ตารางที่ 5 การเปรียบเทียบการจัดสรรกำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดแต่ละเครื่อง กรณีศึกษาที่ 2

Units	GA	PSO	BCO	MSA
P_1	438.42	444.24	455.8578	450.13
P_2	178.99	170.83	172.5688	174.80
P_3	270.88	254.68	261.9842	256.97
P_4	131.59	141.32	142.6500	139.72
P_5	166.55	173.04	167.2398	162.72
P_6	89.20	91.36	74.9646	90.72
P_T	1,275.63	1,275.47	1,275.2652	1,275.07
P_L	12.63	12.47	12.2652	12.07
T_C	1,5446.60	1,5446.10	1,5442.6189	1,5439.54

จากตารางที่ 5 เป็นผลของการหาคำตอบของอัลกอริทึม MSA เปรียบเทียบกับวิธี GA, PSO และ BCO โดยในตารางที่ 4 เป็นผลจากกรณีที่ 2 ซึ่งได้พิจารณาช่วงเวลาต้องห้าม และขีดจำกัดอัตรา การเปลี่ยนแปลงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว จะเห็นได้ว่าวิธีการที่นำเสนอ ให้ผลของคำตอบดีกว่าวิธีอื่น ๆ กล่าวคือให้ค่าต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดนั่นเอง

6. สรุปผลและการอภิปรายผล

การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดด้วยวิธีการปรับเปลี่ยนอัลกอริทึมของวิธี SA โดยการใช้ค่าของ λ เป็นค่าเริ่มต้นนั้น ในกรณีศึกษาที่ 1 พิจารณาถึงกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียจากสายส่ง และฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนที่มีสมการทางคณิตศาสตร์ของต้นทุน การผลิตที่เป็นแบบเรียบ จะเห็นได้ว่าวิธีที่นำเสนอให้ค่าของคำตอบที่ดีกว่าวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ ส่วนในกรณีศึกษาที่ 2 ได้พิจารณา รวมถึงข้อจำกัดอัตราการเปลี่ยนแปลงและช่วงเวลาการทำงาน ต้องห้ามของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าวิธีที่นำเสนอ ยังคงให้คำตอบที่ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบ กับวิธีเชิงพันธุกรรม (GA) และวิธีอนุภาคกลุ่ม (PSO) และวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงผึ้ง

(BCO) เทคนิคการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยการปรับเปลี่ยนอัลกอริทึมของวิธี SA ที่นำเสนอนี้ ให้ค่าของคำตอบที่ดีกว่าอันเนื่องมาจากค่าของ λ ที่คำนวณได้อาจเป็นคำตอบที่อยู่ใกล้กับคำตอบที่ดีที่สุด ทำให้เมื่อค้นหาคำตอบรอบ ๆ ค่าของ λ จะมีโอกาสได้ค่าที่เหมาะสมมากกว่าเดิม ซึ่งค่าที่ได้นี้เป็นที่ยอมรับได้ และมีคำตอบที่ดีกว่า ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการผลิตกำลังงานไฟฟ้าในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพได้

7. เอกสารอ้างอิง

- 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 2012, pp. 12-18.
- Ismail Ziane, Farid Benhamida, Yacine Salhi and Amel Graa. (2015). Combine Dynamic Economic/Emission Dispatch Using Simulated Annealing Solution, **International Conference on Systems and Control**, Sousse, Tunisia, pp. 302-309.
- Javidtash, N., Davodi, A., Hakimzadeh, M. and Roozb, A. (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.
- Khamsawang, S. and Jiriwibhakorn, S. (2009). Solving the Economic Dispatch Problem using Novel Particle Swarm Optimization, **World Academy of Science, Engineering and Technology**, vol.3, 2009, pp.1053-1058.
- Khamsen, W. and Takeang, C. (2016). **Hybrid of Lamda and Bee Colony Optimization for Solving Economic Dispatch,**” PRZEGLAD ELEKTROTECHNICZNY, pp.220-223.
- Naama, B., Bouzeboudja, H. and Allali, A. (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.
- 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.
- Srikanth, K. and HariVamsi, V. (2016). Partical Swarm Optimization Technique for Dynamic Economic Dispatch. **Internation Journal of Research in Engineering and Technology**, vol. 5, issue 5, pp. 460-466.
- Takeang, C and Khamsan, W. (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)