



การแก้ปัญหาการไหลกำลังไฟฟ้าเหมาะที่สุดโดยใช้วิธีการค้นหาความบรรสาน

น้ำเพชร สิ้นสุพรรณ^{1*} และ ธนัตชัย กุลวรวานิชพงษ์²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าเหมาะที่สุด ซึ่งเน้นต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยเลือกใช้วิธีการค้นหาความบรรสาน (Harmony Search หรือ HS) ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาที่มีประสิทธิภาพ แล้วใช้ระบบมาตรฐาน 6 บัส และ 30 บัส เป็นระบบทดสอบในการแก้ปัญหา จากผลการทดลองที่ได้วิธีการค้นหาความบรรสานได้ผลเป็นที่น่าพึงพอใจเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีคล้ายนิวตัน (Quasi-Newton methods หรือ BFGS) และ วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithms หรือ GA) ดังนั้นวิธีการค้นหาความบรรสานจึงมีประสิทธิภาพในการค้นหาค่าเหมาะที่สุดสำหรับปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าเหมาะที่สุด

คำสำคัญ : การไหลของกำลังไฟฟ้าเหมาะที่สุด, ความบรรสาน, ต้นทุนการผลิต

¹ นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

² รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-82863-3236 E-mail : phetchty@hotmail.com



Solving Optimal Power Flow Problems Using Harmony Search Method

Numphetch Sinsuphun^{1*} and Thanatchai Kulworawanichpong²

Abstract

This paper presents optimal power flow solutions in which the system production cost is set as the objective. Harmony Search (HS) was selected as an efficient intelligent search method. The standard IEEE 6-bus and 30-bus test systems were used for evaluation. The satisfactory results obtained by the HS method were compared with those obtained by Quasi-Newton methods (BFGS) and Genetic Algorithms (GA). As a result, the HS method showed performances in finding optimal solutions for the optimal power flow problems.

Keywords : Optimal power flow, Harmony, Production cost

¹ Master Degree Graduate, School of Electrical Engineering, Suranaree University of Technology

² Associate Professor, School of Electrical Engineering, Suranaree University of Technology

* Corresponding Author Tel. 0-82863-3236, E-mail : phetchty@hotmail.com

1. บทนำ

ปัจจุบันระบบไฟฟ้ากำลังประกอบไปด้วยโรงไฟฟ้าจำนวนมากซึ่งโรงไฟฟ้าแต่ละโรงมีประสิทธิภาพและต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกัน การผลิตกำลังงานไฟฟ้าจากต้นกำเนิดพลังงานไม่ว่าจะเป็นโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน พลังงานน้ำ โรงไฟฟ้าชีวมวล หรือพลังงานทดแทน เป็นต้น [1] การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังกลุ่มโหลดเป็นเป้าหมายสำคัญในการพิจารณา แหล่งผลิตกำลังไฟฟ้าควรตั้งอยู่ใกล้กับกลุ่มโหลดให้มากที่สุดเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเพราะในการจ่ายโหลดโดยทั่วไปอาศัยหลักการสมดุลของกำลังไฟฟ้าคือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้เท่ากับความต้องการกำลังไฟฟ้าของผู้ใช้ ซึ่งโรงไฟฟ้าแต่ละโรงมีระยะห่างจากโหลดต่างกันเป็นไปไม่ได้ที่จะสร้างโรงไฟฟ้าให้อยู่ใกล้กับกลุ่มโหลดทุกที่ เพราะการสร้างโรงไฟฟ้าขึ้นอยู่กับทรัพยากรที่มีข้อจำกัดทั้งในด้านเศรษฐศาสตร์ การลงทุนที่คุ้มค่า สิ่งเหล่านี้ล้วนแล้วแต่เป็นต้นทุนการผลิตทั้งสิ้น ดังนั้นวิธีลดต้นทุนการผลิตอีกวิธีหนึ่งคือการวางแผนการเดินทางเครื่องจักรของโรงไฟฟ้าให้สอดคล้องกับความต้องการของโหลด โดยใช้ต้นทุนการผลิตและจ่ายกำลังไฟฟ้าทั้งหมดต่ำที่สุด ซึ่งเรียกว่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัด โดยเน้นไปที่การแสวงหาจุดการทำงานที่ทำให้ต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าของระบบต่ำที่สุด การแก้ปัญหาดังกล่าวนี้เรียกว่า ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Power Flow : OPF) [2]

งานวิจัยนี้นำเสนอการแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้ค่าเชิงเฟล็งเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ จากนั้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดด้วยวิธีการค้นหาความบรรสาน (Harmony Search) ซึ่งเป็นวิธีใหม่ที่นำทักษะการเล่นดนตรีเพื่อให้เกิดความไพเราะมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด และมีลักษณะเด่นคือเมื่อมีการทดสอบหลาย ๆ ครั้งจะได้ค่าที่ใกล้เคียงกันจึงทำให้ได้ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ โดยระบบไฟฟ้าที่นำมาทดสอบเป็นระบบ IEEE 6 บัส และ 30 บัส ซึ่งทำการทดลองเปรียบเทียบกับ วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithms หรือ GA) และ วิธีคล้ายนิวตัน (Quasi-Newton methods หรือ BFGS) โดยทำการจำลองผลด้วยการเขียนโปรแกรม MATLAB

2. ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Power Flow : OPF)

การเชื่อมต่อระหว่างระบบการผลิตไฟฟ้า ระบบส่งจ่าย และระบบผู้ใช้ไฟฟ้านั้นมีผลต่อความต้องการของการใช้ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยไม่มี การควบคุมย่อมมีความเสี่ยงต่อการเกิดความเสียหายในระบบไฟฟ้าซึ่งก่อให้เกิดปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้า ดังนั้นจึงต้องทำการแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดโดยการนำวิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัดและการจัดสรรกำลังไฟฟ้าวางแผนการเข้าด้วยกันเพื่อให้ ต้นทุนการผลิตและกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในระบบมีค่าต่ำที่สุดภายใต้เงื่อนไขบังคับของตัวแปรที่ต้องการควบคุมค่าให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด ซึ่งในงานวิจัยนี้สนใจปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดเนื่องจากการเป็นลดต้นทุนการผลิตโดยการวางแผนการผลิตให้กับโรงไฟฟ้าแต่ละโรง[3] ซึ่งส่งผลกระทบต่อต้นทุนการผลิตโดยรวมของระบบ ถ้าพิจารณาในรูปของกำไรการผลิตกำลังไฟฟ้าที่ต้นทุนต่ำ จะทำให้ได้กำไรจากการขายไฟและยังลดต้นทุนการผลิตอีกด้วย โดยการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีค่าต่ำสุดภายใต้ขอบเขตเงื่อนไขบังคับของตัวแปรที่ต้องการปรับปรุงค่าหรือขอบเขตของอุปกรณ์ระบบไฟฟ้ากำลัง โดยการกำหนดรูปแบบปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุดดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Minimize} & \quad f(x) \\ \text{Subject to} & \quad g(x) = 0, \quad \text{เงื่อนไขบังคับสมการ} \\ & \quad h(x) \leq 0, \quad \text{เงื่อนไขบังคับอสมการ} \end{aligned}$$

2.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดเป็นฟังก์ชันต้นทุนการผลิตหรือการจ่ายโหลดอย่างประหยัด ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่ได้มาจากค่าเชิงเฟล็งในการผลิตของระบบ โดยการคำนวณตอน ออกแบบหรือจากการทดสอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยตรง ฟังก์ชันค่าเชิงเฟล็งดังกล่าวมีดังนี้

ฟังก์ชันกำลังสองแบบราบเรียบ (Smooth Quadratic function) ฟังก์ชันค่าเชิงเฟล็งในรูปสมการกำลังสองนี้ใช้ในการหาจุดค่าตอบที่เหมาะสมที่สุดซึ่งคำนวณได้ง่ายไม่มีความซับซ้อนมากนัก ดังสมการที่ (1)

$$f_i(P_{Gi}) = a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2 \quad (1)$$

ซึ่งสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในรูปของสมการเชื้อเพลิงแบบกำลังสองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องได้ดังนี้

$$F_{fuel\ cost} = \sum_{i=1}^{N_G} f_i(P_{Gi}) = \sum_{i=1}^{N_G} (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2) \quad (2)$$

โดยที่

P_{Gi} คือ กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า i จ่ายเข้าระบบไฟฟ้ากำลัง

a_i, b_i, c_i คือ สัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิง

N_G คือ จำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด

2.2 เงื่อนไขบังคับสมการ

สมการข้อจำกัดของปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดสะท้อนให้เห็นถึงธรรมชาติของระบบไฟฟ้ากำลังตามสมการการไหลของโหลดคือกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้แต่ละบัสต้องเพียงพอต่อความต้องการของโหลด ดังนั้น $g(x)$ คือ

$$\sum_{i=1}^{N_G} P_{Gi} - \sum_{i=1}^{N_D} P_{Di} - P_{LOSSES} = 0 \quad (3)$$

$$(P_{Gi} - P_{Di}) - \sum_{j=1}^{N_B} |Y_{ij} V_i V_j| \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) = 0 \quad (4)$$

$$(Q_{Gi} - Q_{Di}) + \sum_{j=1}^{N_B} |Y_{ij} V_i V_j| \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) = 0 \quad (5)$$

โดยที่

P_{Gi} คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตที่บัส i

Q_{Gi} คือ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่ผลิตที่บัส i

P_{Di} คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่โหลดต้องการที่บัส i

Q_{Di} คือ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่โหลดต้องการที่บัส i

P_{LOSSES} คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่ง

N_B คือ จำนวนบัสทั้งหมด

θ_{ij} คือ มุมของ Y บัส ระหว่างบัส i ไปบัส j

Y_{ij} คือ ขนาดของ Y บัส ระหว่างบัส i ไปบัส j

2.3 เงื่อนไขบังคับสมการ

สมการข้อจำกัดของปัญหาการจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมสะท้อนให้เห็นถึงข้อจำกัดของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง เช่น ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง ขนาดของแรงดันในระบบไฟฟ้ากำลัง หม้อแปลงไฟฟ้าแบบเปลี่ยนแท็ปได้และหม้อแปลงไฟฟ้าแบบเลื่อนเฟส ดังนั้น $h(x)$ คือ

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{\max} \quad (6)$$

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \quad (7)$$

$$Q_{comp,i}^{\min} \leq Q_{comp,i} \leq Q_{comp,i}^{\max} \quad (8)$$

$$T_i^{\min} \leq T_i \leq T_i^{\max} \quad (9)$$

โดยที่

$P_{Gi}^{\min}, P_{Gi}^{\max}$ คือ ขอบเขตของกำลังไฟฟ้าจริงต่ำสุดและสูงสุด บัสที่ i

V_i^{\min}, V_i^{\max} คือ ขอบเขตของขนาดแรงดันต่ำสุดและสูงสุด บัสที่ i

$Q_{comp,i}^{\min}, Q_{comp,i}^{\max}$ คือ ขอบเขตของตัวชดเชยกำลังไฟฟ้าต่ำสุดและสูงสุด บัสที่ i

T_i^{\min}, T_i^{\max} คือ ขอบเขตของแท็ปหม้อแปลงต่ำสุดและสูงสุด บัสที่ i

2.4 วิธีการปรับโทษ

หลักการของวิธีนี้ คือการแปลงปัญหาค่าเหมาะที่สุดแบบมีเงื่อนไขบังคับ (Constraint Optimization) ให้เป็นปัญหาค่าเหมาะที่สุดแบบไม่มีเงื่อนไขบังคับ (Unconstrained Optimization) โดยการแปลงเงื่อนไขบังคับที่เป็นสมการและอสมการเหล่านั้นให้เป็นฟังก์ชันการปรับโทษโดยอาศัยเทอมของการปรับโทษเป็นตัวแปรแต่งในการหาค่าของเทอมการปรับโทษ เนื่องจากฟังก์ชันและเงื่อนไขบังคับจะต้องเป็นหนึ่งในชุดเท่านั้น [2] ซึ่งสามารถเขียนได้ดังนี้

$$P(x) = f(x) + \Omega(x) \quad (10)$$

$$\Omega(x) = \rho \{g^2(x) + [\max(0, h(x))]^2\} \quad (11)$$

โดยที่

$P(x)$ คือ ฟังก์ชันการปรับโทษ

$\Omega(x)$ คือ เทอมของการปรับโทษ

ρ คือ ตัวประกอบการปรับโทษ

ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ค่า $\rho = 10^6$ โดยสามารถเขียนเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ตั้งสมการที่ (12)

$$P(x) = F_{fuel\ cost} + \Omega_p + \Omega_Q + \Omega_C + \Omega_T + \Omega_V + \Omega_G \quad (12)$$

โดยที่

$$\Omega_p = \rho \sum_{i=1}^{N_g} \left\{ P_{G,i} - P_{D,i} - \sum_{j=1}^{N_b} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{i,j} - \delta_i + \delta_j) \right\}^2 \quad (13)$$

$$\Omega_Q = \rho \sum_{i=1}^{N_b} \left\{ Q_{G,i} - Q_{D,i} + \sum_{j=1}^{N_b} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{i,j} - \delta_i + \delta_j) \right\}^2 \quad (14)$$

$$\Omega_C = \rho \sum_{i=1}^{N_c} \left\{ \max(0, Q_{comp,i} - Q_{comp,i}^{\max}) \right\}^2 + \rho \sum_{i=1}^{N_c} \left\{ \max(0, Q_{comp,i}^{\min} - Q_{comp,i}) \right\}^2 \quad (15)$$

$$\Omega_T = \rho \sum_{i=1}^{N_T} \left\{ \max(0, T_i - T_i^{\max}) \right\}^2 + \rho \sum_{i=1}^{N_T} \left\{ \max(0, T_i^{\min} - T_i) \right\}^2 \quad (16)$$

$$\Omega_V = \rho \sum_{i=1}^{N_B} \left\{ \max(0, V_i - V_i^{\max}) \right\}^2 + \rho \sum_{i=1}^{N_B} \left\{ \max(0, V_i^{\min} - V_i) \right\}^2 \quad (17)$$

$$\Omega_G = \rho \sum_{i=1}^{N_G} \left\{ \max(0, P_{G,i} - P_{G,i}^{\max}) \right\}^2 + \rho \sum_{i=1}^{N_G} \left\{ \max(0, P_{G,i}^{\min} - P_{G,i}) \right\}^2 \quad (18)$$

โดยที่

N_G คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดในระบบ

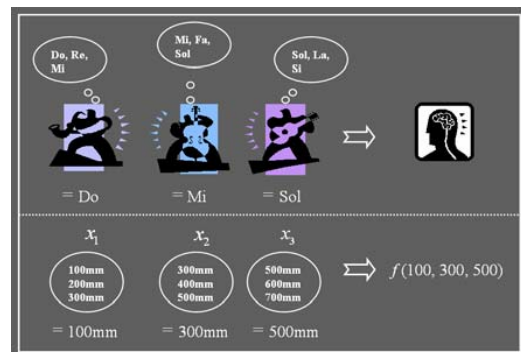
N_C คือ จำนวนตัวอุปกรณ์ชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟในระบบ

N_T คือ จำนวนของหม้อแปลงที่ติดตั้งในระบบ

N_B คือ จำนวนบัส

3. การค้นหาความบรรสาน (Harmony Search : HS)

วิธีการค้นหาความบรรสานเป็นการเลียนแบบพฤติกรรมของนักดนตรี คือการใช้แนวทางของนักดนตรีในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้การประสานเสียงของเครื่องดนตรีที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งนักดนตรีจะทำการปรับปรุงและแก้ไขตัวโน้ตโดยการหาตัวโน้ตที่ทำให้เกิดการประสานเสียงของเครื่องดนตรีเพื่อให้เกิดความไพเราะมากที่สุดซึ่งจะตัดสินจากมาตรฐานหรือระดับความไพเราะของคุณภาพเสียงที่เกิดขึ้น [4] โดยการหาตัวโน้ตที่เหมาะสมกับเครื่องดนตรีแต่ละชนิด เพื่อนำมาเรียงเรียงเสียงของเครื่องดนตรีแต่ละเครื่องที่มีระดับเสียงแตกต่างกันให้สอดคล้องกันและเกิดความไพเราะ ซึ่งความบรรสานคิดค้นโดย Dr. Zong Woo Geem ในปี 2001 โดยที่ Dr.Zong Woo Geem สนใจในการเล่นดนตรีและใฝ่ฝันที่จะเป็นนักดนตรีได้แนวคิดจากการแต่งเพลงของนักดนตรีในการหาตัวโน้ตที่เหมาะสมสำหรับเครื่องดนตรีแต่ละชนิดในการเล่นเป็นวงดนตรีเพื่อให้เกิดความไพเราะ ความบรรสานเป็นการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งในงานวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาความบรรสานในการแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุดของต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าโดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดโดยใช้กระบวนการเล่นดนตรีประสานเสียงในการค้นหาค่าเหมาะที่สุด [5] ดังรูปที่ 1

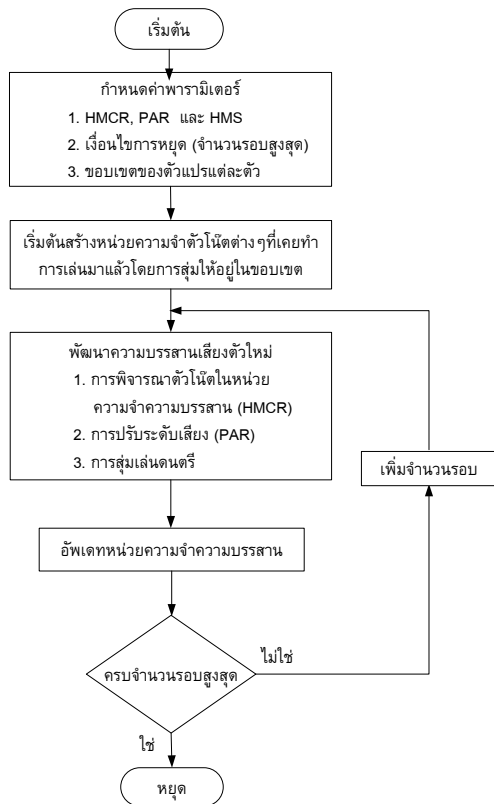


รูปที่ 1 เปรียบเทียบระหว่างความบรรสานและการหาค่าเหมาะที่สุด

ซึ่งทั่วไปแล้วนักดนตรีจะเริ่มเล่นดนตรีโดยที่ไม่ได้เตรียมตัวมาก่อนนั้นนักดนตรีจะเล่นตามแบบอย่างแบบใดแบบหนึ่งใน 3 แบบนี้

1. เลือกตัวโน้ตจากหน่วยความจำความบรรสาน โดยพิจารณาตัวโน้ตจากข้อมูลที่เคยเล่นมาแล้ว
2. เลือกตัวโน้ตที่อยู่ในหน่วยความจำความบรรสาน และทำการปรับระดับเสียง
3. ทำการสุ่มเลือกตัวโน้ตภายในขอบเขตที่กำหนด

การสร้างหน่วยความจำความบรรสาน (Harmony Memory : HM) เป็นส่วนสำคัญของวิธีการค้นหาความบรรสาน ความบรรสานตัวใหม่ที่ดีกว่าตัวเดิมจะถูกเก็บเป็นส่วนหนึ่งของหน่วยความจำความบรรสานทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งค้นพบความบรรสานที่เหมาะสมที่สุดการค้นหาความบรรสานเป็นการหาค่าตอบที่เหมาะสมที่สุด [6] ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนผังการทำงานของความบรรสาน

ซึ่งวิธีค้นหาความบรรสานเป็นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวงกว้าง (Global Optimum) [7] ซึ่งจะได้คำตอบที่เป็นจุดต่ำที่สุด การจำลองความบรรสานของเครื่องดนตรีใช้หลักการหาตัวโน้ตที่เหมาะสมสำหรับเครื่องดนตรีแต่ละชนิด

ในการเล่นเป็นวงดนตรี โดยสามารถเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของวิธีค้นหาความบรรสานกับการแก้ปัญหา ค่าเหมาะที่สุดได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของวิธีค้นหาความบรรสานกับการหาค่าเหมาะที่สุด

วิธีค้นหาความบรรสาน	การแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุด
เครื่องดนตรี	ตัวแปรตัดสินใจ
ขอบเขตระดับเสียง	ขอบเขตตัวแปร
ตัวโน้ต	ค่าตัวแปรเหมาะที่สุด
ความไพเราะ	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์
การฝึกซ้อม	จำนวนรอบ
ประสบการณ์	เมตริกซ์หน่วยความจำ

โดยมีขั้นตอนการทดลองของวิธีการค้นหาความบรรสาน [8] ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าพารามิเตอร์หรือตัวแปรควบคุม [9] ดังนี้

1. ขอบเขตของคำตอบ x_i^L และ x_i^U
- $$x_i^L \leq x_i \leq x_i^U \text{ เมื่อ } i=1, 2, 3, \dots, N$$

N คือ จำนวนตัวแปร

2. กำหนดจำนวนของขนาดหน่วยความจำความบรรสาน (Harmony Memory Size : H-MS) ในตอนเริ่มต้น ซึ่งจะมีค่าดังนี้

$$10 \leq HMS \leq 100$$

3. กำหนดอัตราการพิจารณาหน่วยความจำความบรรสาน (Harmony Memory Consideration Rate : HMCR)

$$0 \leq HMCR \leq 1$$

4. กำหนดอัตราการปรับระดับเสียง (Pitch Adjustment Rate : PAR)

$$0 \leq PAR \leq 1$$

5. ค่าการก้าว (Step) หาความบรรสานในหน่วยความจำ

$$b = \frac{x_U - x_L}{n} \quad (19)$$

เมื่อ n = จำนวนในการก้าว

6. กำหนดจำนวนรอบสูงสุด

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างหน่วยความจำความบรรสาน (Harmony Memory : HM) สำหรับจำตัวโน้ตต่าง ๆ ที่เคยทำการเล่นมาแล้ว โดยการสุ่มให้อยู่ในช่วงขอบเขตที่กำหนด แล้วทำการประเมินค่าความฟิต โดยการนำค่า HM มาแทนในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังสมการที่ (22)

$$HM(j,:) = x_L + (x_U - x_L) \times rand(1, N) \quad (20)$$

จะได้หน่วยความจำความบรรสานดังนี้

$$HM = \begin{bmatrix} x_1^1 & x_2^1 & \dots & x_{N-1}^1 & x_N^1 \\ x_1^2 & x_2^2 & \dots & x_{N-1}^2 & x_N^2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_1^{HMS-1} & x_2^{HMS-1} & \dots & x_{N-1}^{HMS-1} & x_N^{HMS-1} \\ x_1^{HMS} & x_2^{HMS} & \dots & x_{N-1}^{HMS} & x_N^{HMS} \end{bmatrix} \quad (21)$$

$$F(j) = f(HM(j,:)) \quad (22)$$

เมื่อ j คือ 1, 2, 3..., HMS
 N คือ จำนวนของตัวแปร
 $rand$ คือ การสุ่ม

ขั้นตอนที่ 3 พัฒนาความบรรสานตัวใหม่

1. พิจารณาหน่วยความจำความบรรสาน (HMCR) โดยการสุ่มเลือกในหน่วยความจำความบรรสาน (HM)

$$rand \sim U(0,1)$$

$U(0,1)$ คือ การสุ่มค่าระหว่าง 0 ถึง 1

$$\text{ถ้า } U(0,1) \leq HMCR$$

พิจารณาหน่วยความจำความบรรสาน

$$x_{new}(i) = HM(\text{ceil}(rand \times HMS), i) \quad (23)$$

2. ปรับระดับเสียง (PAR) โดย $\pm b(i)$

$$\text{ถ้า } U(0,1) \leq PAR$$

ทำการปรับระดับเสียง

$$x_{new}(i) = x_{new}(i) + (2 \times rand - 1) \times b(i) \quad (24)$$

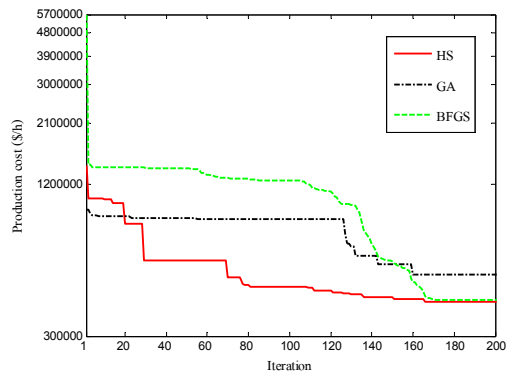
3. สุ่มเล่นโดยให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 4 อัปเดตหน่วยความจำความบรรสาน ทำการเปรียบเทียบ ถ้าความบรรสานตัวใหม่ $\mathbf{x} = (x_1, x_2, x_3,$

$x_4, \dots, x_N)$ ดีกว่าตัวที่แย่ที่สุดในหน่วยความจำความบรรสาน (HM) จะแทนความบรรสานตัวใหม่ลงในตัวนั้น

ขั้นตอนที่ 5 เมื่อครบจำนวนรอบสูงสุด จะทำการเลือกค่าต่ำสุดที่อยู่ในหน่วยความจำความบรรสาน (HM) มาเป็นจุดคำตอบ

ทำการทดลองเพื่อดูสมรรถนะการเข้าสู่ค่าตอบของวิธี HS เปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟการเข้าสู่ของวิธี HS เปรียบเทียบกับวิธีอื่น

จากกราฟรูปที่ 3 แต่ละวิธีทำการทดลองทั้งหมด 200 รอบ จะเห็นได้ว่าวิธีการค้นหาความบรรสาน (HS) จะเข้าสู่ค่าตอบได้ดีที่สุดและเร็วที่สุด รองลงมาจะเป็นวิธีคล้ายนิวตัน (BFGS) และวิธีเชิงพันธุกรรม (GA) ตามลำดับ โดยแต่ละวิธีทำการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ให้ใกล้เคียงกัน

4. ผลการทดลอง

ในบทความนี้ ใช้ระบบทดสอบมาตรฐาน (IEEE) 6 บัส และ 30 บัส และทำการแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุดเพื่อให้ได้ต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าของระบบต่ำที่สุดด้วยวิธี HS เปรียบเทียบกับวิธี GA และ BFGS ซึ่งแต่ละวิธีทำการทดลองทั้งหมด 30 ครั้ง โดยมีการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ดังนี้

ตารางที่ 2 การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของวิธี HS

พารามิเตอร์	การปรับตั้งค่า	
	6 บัส	30 บัส
Harmony Memory Size (HMS)	10	10
Harmony Memory Consideration Rate (HMCR)	1.0	0.9
Pitch Adjustment Rate (PAR)	0.4	0.1

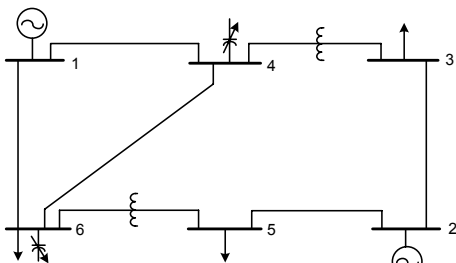
ตารางที่ 3 การปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ของวิธี GA

พารามิเตอร์	การปรับตั้งค่า	
	6 บัส	30 บัส
Population size (N_p)	30	30
Crossover Probability	0.8	0.8
Mutation Probability	0.01	0.01
Maximum error	1×10^{-6}	1×10^{-6}

จากค่าพารามิเตอร์ที่ได้ของวิธี HS และ GA นั้นได้มาจากการทดสอบโดยการเปลี่ยนแปลง (Vary) ค่าพารามิเตอร์ ส่วนวิธี BFGS เป็นวิธีที่อยู่ในกล่องเครื่องมือ MATLAB ซึ่งมีการปรับตั้งค่า MaxFunEvals = 10^5 และ Maximum error = 10^{-6} ซึ่งจะได้คำตอบที่ดีที่สุดแล้วจึงนำมาใช้เป็นค่าพารามิเตอร์ในการทดสอบของระบบ 6 บัส และ 30 บัส

4.1 ระบบทดสอบ 6 บัส

ระบบทดสอบ 6 บัส ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 เครื่อง ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ระบบทดสอบ 6 บัส

ซึ่งในการทดลองระบบ 6 บัส [10] นี้จะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์กำลังสองแบบราบเรียบ โดยมีสัมประสิทธิ์ค่าเชื้อเพลิง ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สัมประสิทธิ์ค่าเชื้อเพลิงของระบบ 6 บัส

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	a_i	b_i	c_i
P_{G1}	50 MW	200 MW	0	100	100
P_{G2}	20 MW	80 MW	0	500	100

ในส่วนของเงื่อนไขบังคับข้อสมการ จะทำการควบคุมตัวแปรให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด โดยการควบคุมตัวแปรดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ตัวแปรที่ทำการควบคุม

ตัวแปรที่ควบคุม	ขอบเขตต่ำสุด	ขอบเขตสูงสุด
P_{G1}	50 MW	200 MW
P_{G2}	20 MW	80 MW
V_1, V_2	0.9 p.u.	1.1 p.u.
T_{34}, T_{56}	0.9 p.u.	1.1 p.u.
Q_{c4}, Q_{c5}	0 Mvar	50 Mvar

เมื่อทำการแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธี HS เปรียบเทียบกับวิธี GA และ BFGS จะได้ค่าเหมาะที่สุดของแต่ละวิธีที่ทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด ดังตารางที่ 6

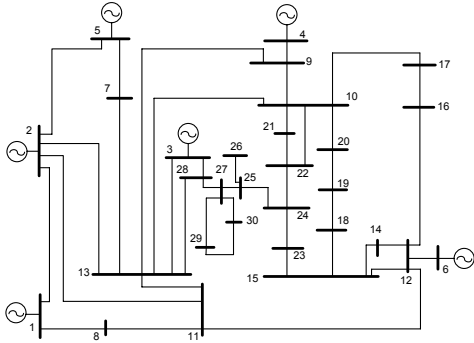
ตารางที่ 6 ต้นทุนการผลิตแต่ละวิธีของระบบ 6 บัส

ขั้นตอนวิธี	ค่าเชื้อเพลิง (\mathcal{R}/h)				จำนวนรอบ
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	S.D.	
BFG	351.524	557.132	418.862	55.18	10000
GA	383.674	586.263	450.136	58.32	10000
HS	412.523	573.930	473.412	43.14	10000

จากผลการทดลองตารางที่ 6 เมื่อทำการทดลอง 30 ครั้ง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายของข้อมูล โดยใช้จำนวนรอบเท่ากัน จะสังเกตเห็นได้ว่าวิธี HS จะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ รองลงมาเป็นวิธี BFGS และ GA ส่วนค่าเฉลี่ยของค่าเชื้อเพลิง วิธี BFGS จะได้น้อยที่สุดรองลงมา เป็นวิธี GA และ HS ตามลำดับ

4.2 ระบบทดสอบ 30 บัส

ระบบทดสอบ 30 บัส ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6 เครื่อง ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ระบบทดสอบ 30 บัส

ซึ่งในการทดลองระบบ 30 บัส [11] จะใช้ฟังก์ชันวัตถุ-ประสงค์แบบกำลังสองราบเรียบโดยมีค่าสัมประสิทธิ์ค่าเชื้อเพลิง ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สัมประสิทธิ์ค่าเชื้อเพลิงของระบบ 30 บัส

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	a_i	b_i	c_i
P_{G1}	50 MW	200 MW	150	2.45	0.0150
P_{G2}	20 MW	80 MW	44.4	3.51	0.0225
P_{G5}	15 MW	50 MW	55	2.75	0.0175
P_{G8}	10 MW	35 MW	75	2.85	0.0130
P_{G21}	10 MW	30 MW	40.6	3.89	0.0275
P_{G23}	12 MW	40 MW	90.5	3.3	0.0165

โดยทำการควบคุมตัวแปรของระบบทดสอบให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ตัวแปรที่ทำการควบคุม

ตัวแปรที่ควบคุม	ขอบเขตต่ำสุด	ขอบเขตสูงสุด
P_{G1}	50 MW	200 MW
P_{G2}	20 MW	80 MW
P_{G3}	15 MW	50 MW
P_{G8}	10 MW	35 MW
P_{G11}	10 MW	30 MW
P_{G13}	12 MW	40 MW
$V_{1'}, V_{2'}, V_{3'}, V_{8'}, V_{11'}, V_{13}$	0.9 p.u.	1.1 p.u.
$T_{4-12'}, T_{6-9'}, T_{6-10'}, T_{9-11}, T_{9-10'}, T_{12-13}, T_{27-28}$	0.9 p.u.	1.1 p.u.

เมื่อทำการแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด จะเห็นว่าค่าที่ได้จะอยู่ในขอบเขตที่กำหนด ซึ่งจะทำให้ได้ต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดของระบบ 30 บัส ดังตารางที่ 9 ตารางที่ 9 ต้นทุนการผลิตแต่ละวิธีของระบบ 30 บัส

ขั้นตอนวิธี	ค่าเชื้อเพลิง (Rs/h)				จำนวนรอบ
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	S.D.	
BFGS	1319.8	5100.69	1892.36	948.5	10000
GA	1508.9	1911.98	1659.44	108.1	10000
HS	1506.4	1685	1603.99	51.55	10000

จากผลการทดลองในตารางที่ 9 ทำการทดลอง 30 ครั้ง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้จำนวนรอบเท่ากันจะสังเกตเห็นได้ว่าวิธี HS จะมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าวิธีอื่น ๆ รองลงมาเป็นวิธี GA และ BFGS ส่วนค่าเฉลี่ย วิธี HS จะได้น้อยที่สุดรองลงมาเป็นวิธี GA และ BFGS ตามลำดับ

5. อภิปรายผลและสรุปผล

บทความนี้นำเสนอการใช้วิธี HS ซึ่งเป็นการเลียนแบบพฤติกรรมของนักดนตรีเพื่อหาการประสานเสียงของเครื่องดนตรีที่เหมาะสมที่สุดโดยการปรับค่าพารามิเตอร์ให้สอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัดต่าง ๆ แล้วทำการแก้ปัญหาการไหลกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดโดยการวางแผนการจ่ายไหลตัวอย่างประหยัดของระบบทดสอบมาตรฐาน 6 บัส และ 30 บัส โดยแต่ละวิธีทำการทดลองทั้งหมด 30 ครั้ง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของต้นทุนการผลิต ซึ่งผลการทดลองที่ได้ออกมาเป็นที่น่าพึงพอใจเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น ๆ อีกทั้งวิธี HS ยังมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยกว่าวิธี BFGS และ GA รวมทั้งใช้เวลาค่อนข้างเร็วซึ่งจะขึ้นอยู่กับปัญหาต่าง ๆ ที่นำไปประยุกต์ใช้ว่ามีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ซับซ้อนมากน้อยเพียงใด รวมทั้งระบบที่นำมาทดสอบที่มีขนาดแตกต่างกัน และวิธี HS อาจจะไม่เหมาะสมกับทุกระบบ ซึ่งขึ้นอยู่กับระบบทดสอบและปัญหาที่นำไปประยุกต์ใช้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] S.G.Nash and A.Sofer (1996). "Linear and Nonlinear Programming", McGraw-Hill
- [2] H.Saadat (2004). "Power system analysis", Mc-Graw-Hill, 2nd end.
- [3] J.Carpentier (1979). "Optimal power flows", Int J Electrical Power and Energy System", Vol.1, April 1979, pp. 3-15
- [4] ภาสุระ อังกุลานนท์ และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบุลย์ (2552). "การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการแก้ไขปัญหาด้วยวิธีฮาร์โมนีเซิร์ชและวิธีฝูงมดสำหรับปัญหาชนิดไม่มีเงื่อนไขข้อจำกัดทางทรัพยากร" วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มศว ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 หน้า 28-30
- [5] Z.W. Geem, J.H. Kim and G.V. Loganathan (2001). "A new heuristic optimization algorithm". Harmony search, Simulation, vol. 76, No.60
- [6] Z.W. Geem, K.S. Lee and Y. Park (2005). "Application of Harmony Search to Vehicle Routing", pp. 1552-1557
- [7] A. Verma, B.K. Panigrahi, P.R. Bijwe (2010) "Harmony search algorithm for transmission network expansion planning, J. Transmission & Distribution", IET., vol.4, pp. 663 – 673.
- [8] M.M. Bhaskar, S. Muthyala, S. Maheswarapu (2010) "A Music Based Harmony Search (MBHS) approach to Optimal Power Flow with reactive power loss optimization", Int Conf. Power and Energy (PECon) IEEE, vol.5, pp. 7–11.
- [9] A. Kazemi, A. Parizad, H.R. Baghaee, (2009) "On The Use Of Harmony Search Algorithm In Optimal Placement Of Facts Devices To Improve Power System", Security, Conf. Eurocon, Vol. 6, pp. 570-576.
- [10] Z. Wang, D. Peng, Q. Feng, H. Liu, and D. C. Yu, (1996). "A Non-Incremental Model for Optimal Control of Reactive Power Flow", Electric Power Systems Research, Vol. 39, pp. 153-159.
- [11] Satpathy, P.K.; Das, D.; and Dutta Gupta, P.B. (2004). "Critical switching of capacitors to prevent voltage collapse", Electrical Power Systems Research, vol. 71, pp.11-20