

กระบวนการเชิงวัฒนธรรมแบบฝูงผึ้งสำหรับการแก้ปัญหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด

Cultural-based Bee Colony Algorithm for Solving Optimal Power Flow Problems

ชัยยุทธ์ สัมภาวะคุปต์¹ อิศรี ศรีคุณ² และทรงศักดิ์ ชุณหวิวัฒน์¹

Chaiyut Sumpavakup Isaree Srikun and Songsak Chusanapiputt

¹ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530

² สาขาวิชาไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ อ.เมือง จ.นครสวรรค์ 60000

โทร. 0-2988-5666 ต่อ 3304 E-mail: chaiyut@mut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการแก้ปัญหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้กระบวนการเชิงวัฒนธรรม ซึ่งเป็นหนึ่งในศาสตร์การคำนวณเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary computation) เข้ามาช่วยพัฒนาประสิทธิภาพการหาผลเฉลยของกระบวนการแบบฝูงผึ้ง (Artificial Bee Colony Algorithm: ABC) โดยทดสอบกับระบบทดสอบ IEEE ขนาด 30 บัส และทำการเปรียบเทียบผลเฉลยและประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบกับวิธีการแก้ปัญหาคำนวณฉลาด (Intelligent techniques) 3 วิธี คือ วิธีจินเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm: GA) วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) และกระบวนการแบบฝูงผึ้ง ผลการเปรียบเทียบพบว่าวิธีการแก้ปัญหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดด้วยกระบวนการเชิงวัฒนธรรมแบบฝูงผึ้งสามารถค้นหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ และใช้เวลาเร็วกว่าวิธีอื่น ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน

Abstract

This paper presents the use of a novel hybrid method based on Artificial Bees Colony and Cultural Algorithm (CA) in order to solve the Optimal Power Flow (OPF) problems. The method was applied to IEEE-30 bus test system and its simulation results were compared to other intelligent-based techniques such as Genetic Algorithms, Particle Swarm Optimization and the traditional Bees Colony Algorithm. This paper presents the use of

Cultural-based Bee Colony Algorithm to solve the OPF problems. The results show that solving the OPF problem by the Cultural-based Bee Colony are more effective than other swarm intelligence methods in the literature.

1. บทนำ

ในระบบไฟฟ้ากำลังวิศวกรผู้ดูแลระบบจำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ดูแล และควบคุมการปฏิบัติการและวางแผนของระบบไฟฟ้ากำลังอย่างมีประสิทธิภาพ โดยส่วนใหญ่มักจะอยู่ในรูปของการแก้ปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization problems) หนึ่งในเครื่องมือที่สำคัญ คือ โปรแกรมการแก้ปัญหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งถูกค้นคว้า วิจัยและพัฒนาตั้งแต่ช่วงทศวรรษที่ 60 [1] ปัญหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดเปรียบเสมือนการนำเอาหลักการควบคุมการไหลของกำลังไฟฟ้ามาใช้ร่วมกับการจ่ายโหลดอย่างประหยัด อาจจะแบ่งแยกออกเป็นปัญหาย่อย 2 ปัญหาย่อย ได้แก่ ปัญหาการจัดสรรกำลังไฟฟ้าจริง และปัญหาการจัดสรรกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ปัญหาทั้ง 2 นี้จำเป็นต้องทำควบคู่กันไปจนกระทั่งได้จุดคำตอบที่ไม่สามารถลดค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้อีก

การแก้ปัญหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดโดยตรงมีความซับซ้อนสูง จึงมีนักวิจัยและวิศวกรคิดค้นระเบียบวิธีกำหนดการทางคณิตศาสตร์ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดหลายวิธีเพื่อแก้ปัญหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด เช่น กำหนดการเชิงเส้น (Linear programming) [2] กำหนดการแบบไม่เชิงเส้น (Non-linear programming)

ระเบียบวิธีการวนรอบนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson iterative method) [3] และกำหนดการแบบควอดราติก (Quadratic programming) เป็นต้น

ถึงแม้ว่าเทคนิคดังกล่าวข้างต้นจะสามารถแก้ไขปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดได้ผลเฉลยที่เหมาะสมอย่างน่าพอใจ และใช้ในการวิเคราะห์การปฏิบัติการของระบบไฟฟ้าในปัจจุบัน แต่ยังมีข้อเสียหลายอย่าง เช่น การเข้าสู่ผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดมักจะขึ้นอยู่กับค่าเริ่มต้น อีกทั้งยังมีความเป็นไปได้ที่จะได้ผลเฉลยเฉพาะพื้นที่มากกว่าผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด ดังนั้นจึงมีนักวิจัยได้คิดค้นนำเทคนิคปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) หรือเทคนิคชาญฉลาด (Intelligent Techniques) และศาสตร์ทางด้านชาญฉลาดแบบกลุ่ม (Swarm intelligent) ซึ่งเป็นการจำลองรูปแบบการคำนวณปัญหาทางคณิตศาสตร์ด้วยปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นทางธรรมชาติ มาประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าหลายวิธีด้วยกัน เช่น โปรแกรมวิวัฒนาการ (Evolutionary Programming: EP) [4] วิธีจินเนติกอัลกอริทึม [5] วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค [6] และกระบวนการแบบฝูงผึ้ง เป็นต้น

บทความนี้นำเสนอการพัฒนาประสิทธิภาพการหาผลเฉลยของกระบวนการแบบฝูงผึ้ง โดยใช้ร่วมกับกระบวนการเชิงวัฒนธรรม (Cultural Algorithm: CA) เพื่อแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด โดยทดสอบกับระบบทดสอบ IEEE ขนาด 30 บัส พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบผลเฉลยและประสิทธิภาพในการหาคำตอบกับวิธีจินเนติกอัลกอริทึม วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค และกระบวนการแบบฝูงผึ้ง

2. ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด

ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดหรือที่เรียกทับศัพท์ว่า ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์ฟลว์ (Optimal Power Flow: OPF) ถูกนำเสนอโดย Carpentier ในปี 1962 [7] เป็นปัญหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีความซับซ้อนและมีความไม่เชิงเส้น โดยทั่วไปปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดสามารถเขียนแทนด้วยปัญหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบมีเงื่อนไขบังคับ (Constrained optimization problems) ดังนี้

$$\text{Minimize } f(x, u)$$

$$\text{Subject to } g(x, u) = 0, \text{ equality constraints}$$

$$h(x, u) \geq 0, \text{ inequality constraints}$$

โดยที่ $f(x, u)$ คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective function)

u คือ ตัวแปรควบคุม (Control variables)

x คือ ตัวแปรสถานะ (State variables)

2.1 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

การเลือกฟังก์ชันวัตถุประสงค์ก็มีได้หลากหลาย เช่น ต้นทุนการผลิต (Total production cost) กำลังงานสูญเสียในระบบสายส่ง (Total transmission losses) อัตราการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Emission) หรืออื่น ๆ เป็นต้น ในบทความนี้ใช้ฟังก์ชันต้นทุนการผลิตโดยรวมของระบบเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งจะอยู่ในรูปของสมการกำลังสอง รูปแบบของฟังก์ชันเป็นดังสมการที่ (1)

$$f(x, u) = F_T = \sum_{i=1}^{N_G} f(P_{G,i}) = \sum_{i=1}^{N_G} (a_i P_{G,i}^2 + b_i P_{G,i} + c_i) \quad (1)$$

โดยที่ N_G คือ จำนวนหน่วยผลิตย่อยทั้งหมดของโรงไฟฟ้า

F_T คือ ค่าต้นทุนเชื้อเพลิงโดยรวม (\$/hr)

$P_{G,i}$ คือ กำลังผลิตของหน่วยผลิตย่อยตัวที่ i

a_i, b_i, c_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของหน่วย

ผลิตย่อยตัวที่ i

2.2 เงื่อนไขบังคับ

การหาผลเฉลยของปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดจะดำเนินการปรับเปลี่ยนตัวแปรควบคุมภายใต้การแก้ปัญหานั้นที่สุด โดยหาจุดทำงานที่ทำให้ต้นทุนการผลิตโดยรวมต่ำที่สุด ตัวแปรควบคุมที่ใช้ได้แก่ กำลังผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของหน่วยการผลิตย่อยต่าง ๆ ขนาดแรงดันบัสควบคุม ขนาดกำลังไฟฟ้าของตัวชดเชยต่าง ๆ ค่าแท็บหม้อแปลง หรืออื่น ๆ และตัวแปรสถานะ ได้แก่ ขนาดของแรงดันบัสโหลด มุมเฟสแรงดันของบัสต่าง ๆ และ

กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เอนไขบังคับในการแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้ามี 2 เอนไข ได้แก่ เอนไขบังคับสมการ (equality constraints) และเอนไขบังคับอสมการ (inequality constraints) ดังนี้

1) เอนไขบังคับสมการ ใช้สมการการไหลของกำลังไฟฟ้า ดังสมการที่ (2) และ (3)

$$P_{G,i} - P_{D,i} - \sum_{j=1}^{N_B} |V_i| |V_j| |Y_{i,j}| \cos(\theta_{i,j} - \delta_i + \delta_j) = 0 \quad (2)$$

$$Q_{G,i} - Q_{D,i} + \sum_{j=1}^{N_B} |V_i| |V_j| |Y_{i,j}| \sin(\theta_{i,j} - \delta_i + \delta_j) = 0 \quad (3)$$

โดยที่ $P_{G,i}, Q_{G,i}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

ที่ผลิตที่บัส i

$P_{D,i}, Q_{D,i}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

ของโหลดที่บัส i

V_i, θ_i คือ ขนาดและมุมของเฟสเซอร์แรงดันที่บัส i

$Y_{i,j}, \theta_{i,j}$ คือ ขนาดและมุมของสมาชิกเมตริกซ์บัสแอด

มิตแดนซ์แถวที่ i หลักที่ j

N_B คือ จำนวนบัสทั้งหมด

2) เอนไขบังคับอสมการ ใช้ขีดจำกัดของกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตัวชดเชยต่าง ๆ ค่าเทียบหมีอแปลง และขอบเขตของขนาดแรงดันบัส ดังสมการที่ (4) ถึงสมการที่ (7)

$$P_{G,i}^{\min} \leq P_{G,i} \leq P_{G,i}^{\max} \quad (4)$$

$$Q_{G,i}^{\min} \leq Q_{G,i} \leq Q_{G,i}^{\max} \quad (5)$$

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

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

โดยที่ $P_{G,i}^{\min}, P_{G,i}^{\max}$ คือ ค่าต่ำสุดและสูงสุดของกำลังไฟฟ้าจริง

ที่ผลิตที่บัส i

$Q_{G,i}^{\min}, Q_{G,i}^{\max}$ คือ ค่าต่ำสุดและสูงสุดของตัวชดเชย

$T_i^{\min}, T_i^{\max}$ คือ ค่าต่ำสุดและสูงสุดของตำแหน่ง

เทียบหมีอแปลง

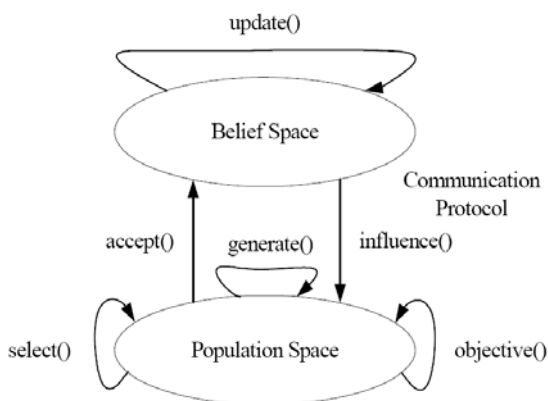
$V_i^{\min}, V_i^{\max}$ คือ ค่าต่ำสุดและสูงสุดของขนาดแรงดันที่บัส i

3. กระบวนการเชิงวัฒนธรรมแบบฝูงผึ้ง

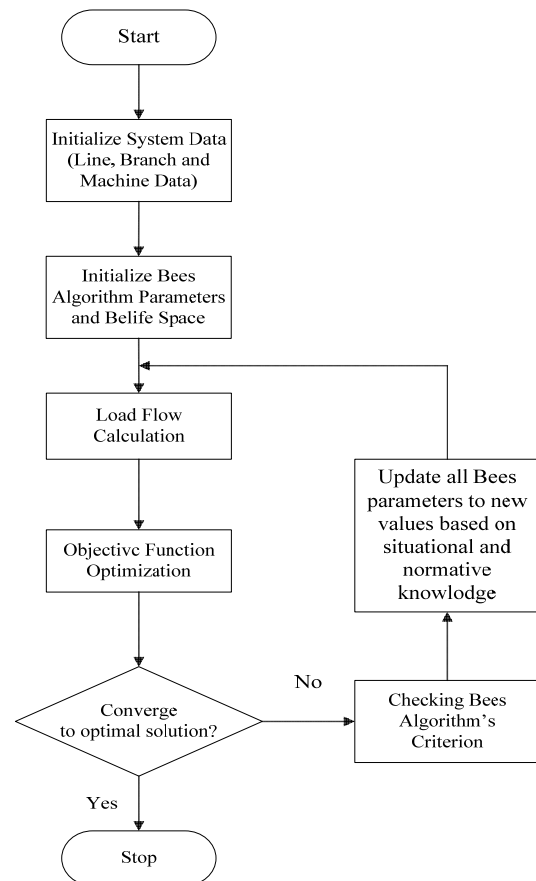
กระบวนการแบบฝูงผึ้งเป็นศาสตร์ทางด้านความฉลาดแบบกลุ่มซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย D.T. Pham ในปี 2006 [8] เพื่อจำลองกระบวนการหาแหล่งอาหารของฝูงผึ้ง โดยประสิทธิภาพของกระบวนการแบบฝูงผึ้งนั้น ถือได้ว่าใกล้เคียงกับเทคนิคชาญฉลาดแบบกลุ่มอื่น ๆ โดยกระบวนการนี้จะต้องมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ได้แก่ จำนวนของผึ้งสำรวจ (n) จำนวนของแหล่งอาหารที่ผึ้งออกสำรวจ (m) จำนวนของแหล่งอาหารที่ดีที่สุด (e) จำนวนของผึ้งที่ถูกเลือกไปยังแหล่งอาหารที่ดีที่สุด (nep) จำนวนของผึ้งที่ถูกเลือกไปยังแหล่งอาหารอื่น (nsp) ขนาดเริ่มต้นของกลีบดอกไม้ (ngh) และเกณฑ์ในการหยุดขั้นตอนทั้งหมด โดยขั้นตอนของกระบวนการแบบฝูงผึ้งจะเริ่มต้นจาก กำหนดให้ผึ้งสำรวจจำนวน n ตัว ถูกจัดวางแบบสุ่มในปริภูมิค้นหา จากนั้นจึงหาค่าความเหมาะสม (Fitness values) ของจำนวนแหล่งอาหารที่ถูกสำรวจโดยฝูงผึ้ง ถึงแม้ว่ากระบวนการแบบฝูงผึ้งได้ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดต่าง ๆ รวมถึงการประยุกต์ใช้กับควบคุมการปฏิบัติการและวางแผนของระบบไฟฟ้ากำลัง และจัดเป็นหนึ่งในเทคนิคชาญฉลาดแบบกลุ่มที่กำลังเป็นที่น่าสนใจก็ตาม แต่กระบวนการแบบฝูงผึ้งยังมีข้อจำกัดบางประการ โดยเฉพาะปัญหาของการเข้าสู่ผลเฉลยแบบ global ซึ่งอาจเกิดขึ้นได้เมื่อปริภูมิของการค้นหามีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณช้าลง ดังนั้นเพื่อแก้ไขข้อจำกัดที่กล่าวมานี้ จึงได้มีการนำเทคนิคต่าง ๆ เช่น กระบวนการเชิงวัฒนธรรม เข้ามาช่วยพัฒนาประสิทธิภาพการหาผลเฉลยของกระบวนการแบบฝูงผึ้ง

กระบวนการเชิงวัฒนธรรมเป็นหนึ่งในศาสตร์การคำนวณเชิงวิวัฒนาการที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย R. Reynolds ในปี ค.ศ. 1994 [9] ซึ่งเป็นการจำลองรูปแบบวิวัฒนาการเชิงสังคม

(Social evolution) ให้เข้ากับกระบวนการเรียนรู้ของเทคนิค Agent-Based ต่าง ๆ โดยอาศัยประสบการณ์และความรู้ที่ได้ตามระยะเวลา กระบวนการเชิงวัฒนธรรมมีประโยชน์อย่างมากในการพัฒนาประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมในปริภูมิการค้นหา (Searching space) และช่วยให้การคำตอบแบบ global เป็นไปได้ง่ายขึ้น โดยทั่วไปกระบวนการเชิงวัฒนธรรมสามารถแบ่งองค์ประกอบหลักได้เป็น 2 องค์ประกอบ คือ ปริภูมิความเชื่อ (Belief space) และปริภูมิประชากร (Population space) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดย Population space คือ ปริภูมิของผลเฉลยที่เป็นไปได้ในปริภูมิค้นหานั้น ๆ ขณะที่ Belief space คือ ปริภูมิของความรู้หรือข้อมูลที่เหล่าผลเฉลยสะสมไว้ในระหว่างกระบวนการหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด โดยข้อมูลที่สะสมไว้ใน Belief Space นี้จะถูกใช้ร่วมกันใน Population space และสามารถจำลองใช้ได้ด้วยทุกเทคนิคของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบ Population-based



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของกระบวนการเชิงวัฒนธรรม [10]



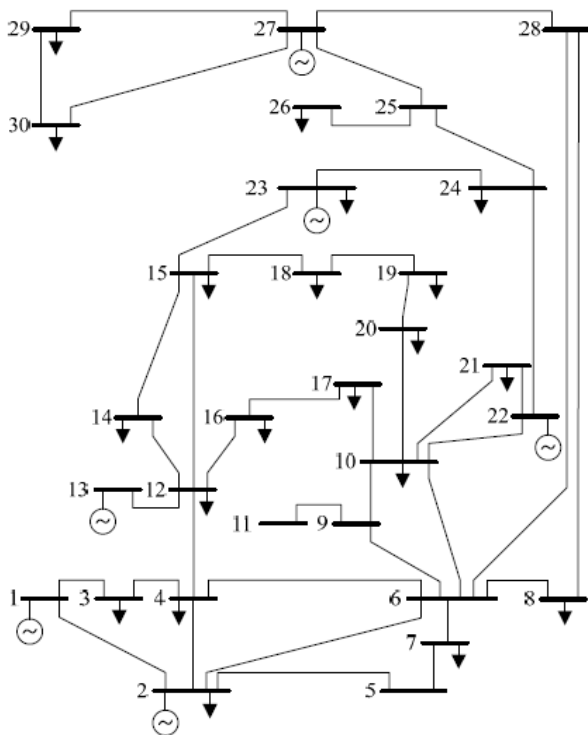
รูปที่ 2 ขั้นตอนการแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดโดยใช้กระบวนการเชิงวัฒนธรรมแบบฝูงผึ้ง

[11]

ในบทความนี้ได้นำกระบวนการแบบฝูงผึ้งมาใช้เป็นปริภูมิประชากรให้กับกระบวนการเชิงวัฒนธรรม และได้ใช้ Normative knowledge คือ ความรู้หรือข้อมูลเกี่ยวกับตัวอย่างหรือเหตุการณ์สำคัญต่างๆ และ Situational knowledge คือ กลุ่มของผลเฉลยหรือประชากรที่มีค่าอยู่ในช่วงที่ต้องการ และเป็นที่ยอมรับได้ในกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้น ในการช่วยพัฒนาประสิทธิภาพของฝูงสำรวจในการหาผลเฉลยในปริภูมิค้นหา และนำมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดโดยการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบที่ทำให้ต้นทุนการผลิตโดยรวมต่ำที่สุด ขั้นตอนการใช้กระบวนการเชิงวัฒนธรรมแบบฝูงผึ้ง สำหรับการแก้ปัญหาการไหลกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด แสดงดังรูปที่ 2

4. ระบบทดสอบและผลการทดสอบ

ระบบทดสอบเป็นระบบของ IEEE ขนาด 30 บัส มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 6 ตัว ดังรูปที่ 3 ขีดจำกัดของตัวแปรควบคุมแสดงดังตารางที่ 1 และค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของแต่ละหน่วยผลิตย่อยแสดงดังตารางที่ 2 ส่วนค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการแบบฝูงผึ้งที่ใช้ในการแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าเหมาะสมที่สุด ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด แสดงดังตารางที่ 3



รูปที่ 3 ระบบทดสอบ IEEE ขนาด 30 บัส

ตารางที่ 1 ขีดจำกัดของตัวแปรควบคุม

ตัวแปร	ขีดจำกัดต่ำสุด	ขีดจำกัดสูงสุด
V_1	0.95 p.u.	1.05 p.u.
$V_2, V_{13}, V_{22}, V_{23}, V_{27}$	0.95 p.u.	1.10 p.u.
$P_{G,1}, P_{G,2}$	0 MW	80 MW
$P_{G,3}$	0 MW	40 MW
$P_{G,4}$	0 MW	50 MW
$P_{G,5}$	0 MW	30 MW
$P_{G,6}$	0 MW	55 MW

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิง

Unit (i)	bus	a	b	c	$P_{G,i}^{\min}$	$P_{G,i}^{\max}$
1	1	0.0200	2.00	0	0 MW	80 MW
2	2	0.0175	1.75	0	0 MW	80 MW
3	13	0.0250	3.00	0	0 MW	40 MW
4	22	0.0625	1.00	0	0 MW	50 MW
5	23	0.0250	3.00	0	0 MW	30 MW
6	27	0.0083	3.25	0	0 MW	55 MW

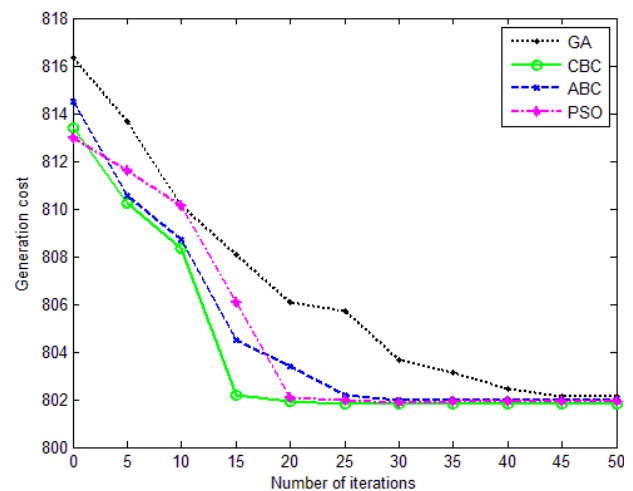
ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการแบบฝูงผึ้ง

พารามิเตอร์	ค่า
จำนวนผึ้งสำรวจ (n)	100
จำนวนของแหล่งอาหารที่ผึ้งออกสำรวจ (m)	60
จำนวนของผึ้งที่ถูกเลือกไปยังแหล่งอาหารที่ดีที่สุด (nep)	30
จำนวนของผึ้งที่เหลือ (nsp)	15
จำนวนรอบของการคำนวณ (g)	50

การจำลองผลใช้โปรแกรม MATLAB ทำการทดสอบโดยใช้วิธีกระบวนการเชิงวัฒนธรรมแบบฝูงผึ้ง (Cultural-based Bee Colony Algorithm: CBC) เปรียบเทียบผลเฉลยและประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบกับวิธีจินเนติกอัลกอริทึม วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค และกระบวนการแบบฝูงผึ้ง ซึ่งผลการทดสอบเป็นดังนี้

ผลการทดลองเปรียบเทียบผลเฉลยของปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดและความเร็วของการคำนวณด้วยกระบวนการเชิงวัฒนธรรมแบบฝูงผึ้ง วิธีจินเนติกอัลกอริทึม วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค และกระบวนการแบบฝูงผึ้ง ได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4 โดยจากตารางจะเห็นได้ว่า ค่าของต้นทุนการผลิตไฟฟ้าโดยรวม (F_T) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: SD) ของคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยกระบวนการเชิงวัฒนธรรมแบบฝูงผึ้ง มีค่าน้อยกว่าการแก้ปัญหาคำตอบด้วยวิธีจินเนติกอัลกอริทึม วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค และกระบวนการแบบฝูงผึ้ง อีกทั้งเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบก็

ยังน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่น แสดงให้เห็นว่ากระบวนการเชิงวัฒนธรรมแบบฝูงมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่นในการแก้ปัญหาค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน และในรูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบการลู่เข้าหาผลเฉลยของแต่ละวิธี ซึ่งจะเห็นได้ว่าการแก้ปัญหาด้วยกระบวนการเชิงวัฒนธรรมแบบฝูงจะมีลักษณะการลู่เข้าหาผลเฉลยที่ดีกว่าวิธีอื่น ๆ และสามารถคำนวณหาผลเฉลยที่เข้าใกล้ค่าที่เหมาะสมที่สุดได้ก่อนรอบการคำนวณสูงสุดที่กำหนดไว้



รูปที่ 4 เปรียบเทียบการลู่เข้าหาผลเฉลยของแต่ละวิธี

ตารางที่ 4 ผลการทดลองการเปรียบเทียบการลู่เข้าหาผลเฉลยของแต่ละวิธี

Methods	Generating Power (MW)						F_T (\$/h)	Run Time (sec.)	Standard Deviation
	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5	P_6			
GA	176.98	49.85	21.69	22.26	11.29	12.11	802.14	10.13	0.030
PSO	176.88	49.43	21.67	21.63	11.02	12.10	801.92	8.96	0.015
ABC	176.94	49.54	21.73	21.66	10.92	12.17	801.95	9.21	0.030
CBC	176.86	49.52	21.59	21.55	10.88	12.06	801.83	8.57	0.005

5. สรุป

บทความนี้นำเสนอกระบวนการเชิงวัฒนธรรมแบบฝูง ซึ่งเป็นการนำกระบวนการเชิงวัฒนธรรมมาใช้ร่วมกับกระบวนการแบบฝูงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยให้ดียิ่งขึ้น และนำมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาค่าการไหลของกำลังที่เหมาะสมที่สุด เพื่อหาจุดทำงานที่ทำให้ต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าโดยรวมของระบบต่ำที่สุด โดยทดสอบกับระบบทดสอบ IEEE ขนาด 30 บัส ผลการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีวิธีจินเนติกอัลกอริทึม วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค และกระบวนการแบบฝูง ภายใต้เงื่อนไขเดียวกันพบว่ากระบวนการเชิงวัฒนธรรมแบบฝูง สามารถหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการเบี่ยงเบนของค่าคำตอบน้อยที่สุด และใช้เวลาในการค้นหาคำตอบเร็วที่สุด ซึ่งถือเป็นข้อดีที่สามารถนำไปพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพใน

การแก้ปัญหาค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดหรือปัญหาค่าที่เหมาะสมที่สุดอื่น ๆ ได้ต่อไป

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. D. Wood, B. F. Wollenberg, Power System Generation and Control, John Wiley & Sons, Inc, 1996.
- [2] E. Lobato, L. Rouco, M. I. Navarrete, R. Casanova and G. Lopez, "An LP-based optimal power flow for transmission losses and generator reactive margins minimization", Proc. of IEEE Porto Power Tech Conference, Portugal, vol.3, 2001.
- [3] S. D. Chen and J. F. Chen, "A new algorithm based on the Newton-Raphson approach for real-time emission dispatch", Electric Power Systems Research, vol. 40, 1997: 137-141.

- [4] P. Somasundaram, K. Kuppusamy, R.P. Kumudimi Devi, “Evolutionary programming based security constrained optimal power flow, Electric Power Systems Research, vol. 72, 2004: 137-145.
- [5] M. Younes, M. Rahli and L. Abdelhakem-Koridak, “Optimal Power Flow Based on Hybrid Genetic Algorithm”, Journal of Information Science and Engineering, vol. 23, 2007: 1801-1816.
- [6] M. A. Abido, “Optimal power flow using particle swarm optimization”, International Journal of Electrical Power and Energy Systems, Vol. 24, 2005: 563-571.
- [7] N. Sinsupan, U. Leeton and T.Kulworawanichpong, “Application of Harmony Search to Optimal Power Flow Problems”, Proc. of IEEE International Conference on Advances in Energy Engineering (ICAEE), 2010: 210-222.
- [8] R. M. Idris, A. Khairuddin and M. Mustafa, “Optimal Location of FACTS Devices for ATC Enhancement Using Bees Algorithm”, World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009: 318-325.
- [9] R.G. Reynolds and B. Peng, “Cultural algorithms: modeling of how cultures learn to solve problems”, Proc. of IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence, 2004: 166–172.
- [10] H. Ma and Y. Wang, “Cultural Algorithm Based on Particle Swarm Optimization for Function Optimization”, IEEE International Conference on Natural Computation, 2009: 224–228.
- [11] C. Sumpavakup, I. Srikun, and S. Chusanapiputt, “A Hybrid Cultural-based Bee Colony Algorithm for Solving the Optimal Power Flow”, Proc. of The 54th IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems (MWSCAS2011), 2011.