การจ่ายโหลดอย่างประหยัดของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนโดยใช้การโปรแกรมวิวัฒนาการ

ธนัดชัย กุลวรวานิชพงษ์[1*]

Kulworawanichpong, T.[1] (2002).* **Economic Load Dispatch of a Thermal Power Plant using Evolutionary Programming.** *Suranaree J. Sci. Technol. 9:180-189.*

Abstract

This paper presents the application of evolutionary programming for solving an economic load dispatch of a thermal power plant. The main objective of this research is concerned with minimising the total generation cost of a power plant while generators are still operating within the safety region. The proposed method was tested with a three-unit thermal power plant system and a satisfactory result was compared against the ones obtained from conventional economic load dispatch using lambda-iteration method.

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้การโปรแกรมวิวัฒนาการสำหรับการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดภายในโรงไฟฟ้าพลังความร้อน มีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนการผลิตโดยรวมของโรงไฟฟ้า โดยที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังคงทำงานอยู่ในขอบเขตที่ปลอดภัย วิธีการที่พัฒนาขึ้นนี้ได้นำมาทดสอบกับระบบทดสอบและทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้วิธี Lambda-Iteration

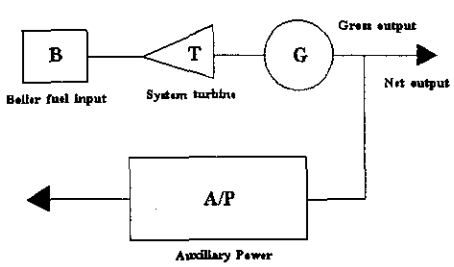
คำนำ

ในปัจจุบัน ระบบไฟฟ้ากำลังเป็นระบบที่มีความซับซ้อนสูงมาก เนื่องจากมีการเชื่อมต่อกันระหว่างระบบผลิต ระบบส่ง และระบบจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟ ส่งผลให้โรงจักรไฟฟ้า สายส่งกำลังไฟฟ้า ตลอดจนอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้งานในระบบไฟฟ้ากำลังได้มีการเพิ่มจำนวนขึ้นตามความซับซ้อนของระบบ เมื่อความต้องการในการใช้ไฟเพิ่มสูงขึ้นการปล่อยให้ระบบไฟฟ้ากำลัง ปฏิบัติงานโดยไม่มีการควบคุมนั้นมีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดความผิดปกติขึ้นกับระบบได้ ดังนั้นการวางแผนการทำงานและควบคุมการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์จึงมีความจำเป็นเพื่อสร้างความเชื่อถือได้ ความมั่นคงและเสถียรภาพในการปฏิบัติงานของระบบไฟฟ้ากำลังและการให้บริการที่ต่อเนื่องต่อผู้ใช้ไฟ

[1*] *สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา 30000*
[*] *ผู้เขียนที่ให้การติดต่อ*

การวางแผนการทำงานของโรงจักรไฟฟ้าในช่วงแรกนั้นเน้นไปที่การจัดสรรกำลังผลิต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนการผลิตให้กับระบบผลิต โดยที่กำลังผลิตมีความสอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับต่าง ๆ เช่น ขีดจำกัดของการจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

โรงจักรไฟฟ้าพลังงานความร้อนอาจจะมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวนมากต่ออยู่ที่บัสเดียวกัน ซึ่งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าประเภทนี้ จะมีหม้อต้มน้ำ (Boiler) สำหรับผลิตไอน้ำที่อุณหภูมิและความดันสูง เพื่อขับกังหันภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้งนี้ ความร้อนที่ใช้ในการต้มน้ำ ได้มาจากกระบวนการเผาไหม้เชื้อเพลิงชนิดต่าง ๆ เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหินหรือน้ำมันดีเซล เป็นต้น ดังแสดงให้เห็นกระบวนการทำงานในแผนภาพของรูปที่ 1



รูปที่ 1. แผนภาพการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อน

วิธีการทดลอง

ต้นทุนการผลิตเป็นปัจจัยสำคัญในการวางแผนการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในโรงไฟฟ้าพลังความร้อน การทำงาน ณ จุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงสุดไม่ได้หมายความว่าเป็นจุดที่มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด ดังนั้น เมื่อพิจารณาถึงต้นทุนการผลิตเป็นหลัก ทำให้การวางแผนกำลังผลิตของโรงไฟฟ้าต้องมีการกำหนดปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด โดยสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนในรูปของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิง (Fuel cost function) ซึ่งปกติจะอยู่ในรูปสมการกำลังสอง (Quadratic) ดังแสดงในสมการที่ 1

$$F_i(P_{Gi}) = A_i + B_iP_{Gi} + C_iP_{Gi}^2 \qquad (1)$$

เมื่อ P_{Gi} คือ กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ i (MW) โดยที่ i = 1, 2, ..., N

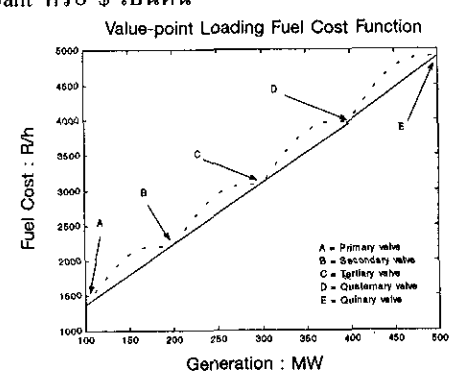
N คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในโรงจักรไฟฟ้าพลังความร้อน

A_i, B_i, C_i คือ สัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ i

ในกรณีที่ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงอยู่ในรูปสมการกำลังสองนี้ จุดคำตอบที่เหมาะสม (Optimal solution) สามารถคำนวณได้โดยง่าย อาจจะใช้ Lambda-iteration method (Wood and Wollenburg, 1996) เป็นต้น เมื่อรูปแบบของปัญหามีความซับซ้อนเพิ่มมากขึ้น เช่น กรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบกังหันไอน้ำหลายวาล์ว หรือ Multi-valve steam turbines (Yang, Yang, and Huang, 1996; Walter and Sheble, 1993) ณ จุดที่มีการเปิดวาล์วจะทำให้การใช้พลังงานความร้อนมีค่าสูงขึ้น ลักษณะของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงจึงไม่สามารถที่จะจำลองโดยใช้สมการกำลังสองได้ แต่จะใช้สมการที่เรียกว่า Valve-point loading fuel-cost function ดังกราฟรูปที่ 2 แทน และรูปแบบของสมการแสดงไว้ตามสมการที่ 2

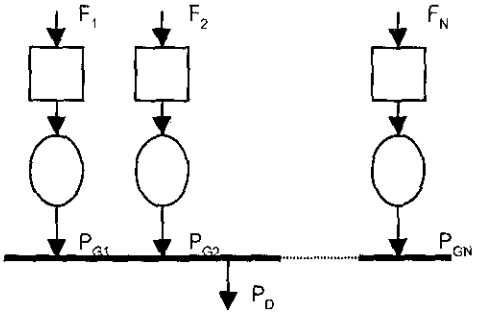
$$F_i(P_{Gi}) = A_i + B_iP_{Gi} + C_iP_{Gi}^2 + \left|D_i \sin E_i(P_{Gi}^{min} - P_{Gi})\right| \qquad (2)$$

โดยฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงมีหน่วยเป็น ฿ ซึ่งใช้แทนหน่วยของเงินตราในการแลกเปลี่ยน เช่น Baht หรือ $ เป็นต้น



รูปที่ 2. ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในรูป Valve-point loading

เมื่อไม่พิจารณาการสูญเสียภายในโรงไฟฟ้า ทำให้สามารถพิจารณาแบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนได้ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3.แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ภายในโรงไฟฟ้าพลังความร้อน

จากรูปที่ 3 ระบบประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า N เครื่องต่อเข้ากับบัสบาร์เดียวกัน โดยที่ $F_1, F_2, ..., F_N$ แทนฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังกล่าว ในทางคณิตศาสตร์ ต้นทุนการผลิตโดยรวมของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนนี้ สามารถเขียนได้ดังสมการที่ 3

$$F_T = \sum_{i=1}^{N} F_i(P_{Gi}) \qquad (3)$$

เพื่อให้กำลังการผลิตที่ได้รับการจัดสรรจากโรงไฟฟ้าเพียงพอต่อความต้องการกำลังไฟฟ้า (Power Demand) ดังนั้นเงื่อนไขบังคับแบบสมการของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดก็คือ สมการสมดุลกำลังไฟฟ้าดังสมการ ที่ 4

$$\phi = 0 = P_D - \sum_{i=1}^{N} P_{Gi} \qquad (4)$$

โดยใช้เทคนิคตัวคูณของลากรองจ์ (Lagrangian multipliers) ในการแก้ปัญหาจะได้ สมการที่ 5 ดังนี้

$$L = F_T + \lambda\phi \qquad (5)$$

โดยใช้ Kuhn-Tucker Optimal Conditions (Nash and Sofer, 1996) จะได้เงื่อนไขของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{\partial F_i}{\partial P_{Gi}} = \lambda \qquad \text{N equations}$$

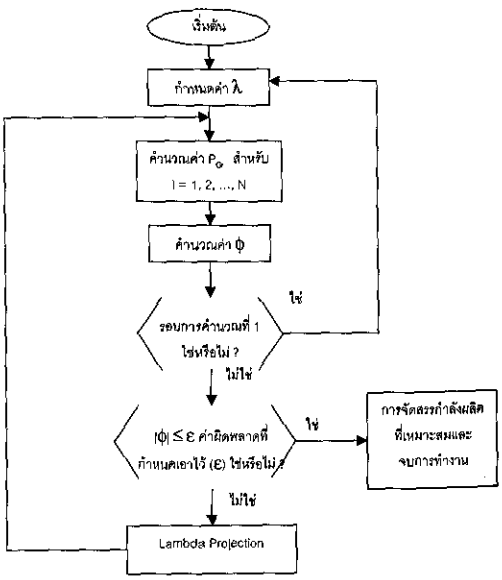
$$P_{Gi}^{min} \le P_{Gi} \le P_{Gi}^{max} \qquad \text{2N equations} \qquad (6)$$

$$\left| P_D - \sum_{i=1}^{N} P_{Gi} \right| \le \varepsilon \qquad \text{1 constreint}$$

การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวทำได้หลายวิธี ในที่นี้จะนำเสนอวิธีการมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับอย่างแพร่หลาย เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบกับการใช้การโปรแกรมวิวัฒนาการดังต่อไปนี้

วิธีการ Lambda-Iteration

เป็นวิธีที่นำวิธีการทางกราฟมาช่วยในการแก้ปัญหาดังแสดงในแผนภาพการทำงานในรูปที่ 4



รูปที่ 4.การจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้ Lambda-Iteration

การจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้การโปรแกรมวิวัฒนาการ

กระบวนการวิวัฒนาการเป็นกระบวนการสร้างสิ่งมีชีวิต หรือสมาชิกใหม่ในกลุ่มประชากรให้มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นโดยได้รับอิทธิพลมาจากสิ่งแวดล้อมด้วยความน่าจะเป็นที่แตกต่างกัน ในการคัดเลือกตามธรรมชาติจะมีสมาชิกในกลุ่มประชากรจำนวนหนึ่งที่มีความเหมาะสมที่สุดเท่านั้นที่สามารถอยู่รอดและถ่ายทอดคุณลักษณะไปสู่รุ่นถัดไปได้

ฟอเจล (Fogel, 1995) ได้พัฒนาวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์โดยใช้การจำลองกระบวนการวิวัฒนาการที่เรียกว่า การโปรแกรมวิวัฒนาการ ที่มีพื้นฐานมาจากการสร้างระบบที่มีพฤติกรรมที่ฉลาดโดยสามารถประเมินและทำนายสภาวะแวดล้อม ตลอดจนการให้การตอบสนองที่เหมาะสม ในปี ค.ศ. 1962-1965 ฟอเจลได้เริ่มต้นทดลองกับระบบที่มีลักษณะไม่ต่อเนื่องที่เรียกว่า Finite state machines และได้พัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งปี ค.ศ. 1991 ฟอเจลได้เสนอโครงร่างของการโปรแกรมวิวัฒนาการ ดังต่อไปนี้ เริ่มต้นด้วยการสุ่มค่าประชากรเริ่มต้นของกลุ่มประชากร พร้อมทั้งคำนวณค่าความเหมาะสมตามหลักความน่าจะเป็นแล้วทำการสร้างรุ่นการถ่ายทอด (Offspring) แบบสุ่มโดยใช้การทำมิวเตชันของประชากรเริ่มต้นและใช้ค่าความเหมาะสมในการคัดเลือกสมาชิกที่จะอยู่รอดในรุ่นถัดไป

ในปัจจุบัน ความสามารถในการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ทำให้การนำกระบวนการค้นหาจุดคำตอบที่เหมาะสมโดยใช้วิธีจำลองวิวัฒนาการตามธรรมชาติ เช่น การโปรแกรมวิวัฒนาการ และจีนเนติกอัลกอริทึม (Lee and Yang, 1998) มีความรวดเร็วมากกว่าเดิม นอกจากนี้ การแก้ปัญหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยใช้การโปรแกรมวิวัฒนาการนี้ ไม่ต้องการสมมติฐานทางคณิตศาสตร์ของปัญหามากนัก ต้องการเพียงค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์เท่านั้น การแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้ดังนี้

ตัวแปรที่ใช้ในปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดมีดังนี้

$$\underset{\sim}{p} = P_{Gi} \qquad (7)$$

รูปแบบของการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด สามารถพิจารณาได้ดังนี้

Minimize $\quad F_T = \sum_{i=1}^{N_G} P_{Gi}$

Subject to

$$P_D - \sum_{i=1}^{N} P_{Gi} = 0$$

$$P_{Gi}^{min} \le P_{Gi} \le P_{Gi}^{max}$$

การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้การโปรแกรมวิวัฒนาการนั้น มีรูปแบบการประยุกต์ใช้ที่แตกต่างกันซึ่งโดยหลักการคัดเลือกตามธรรมชาตินั้น จะใช้ค่าความเหมาะสมของสมาชิกในกลุ่มประชากรดังนั้นขั้นตอนการคำนวณค่าความเหมาะสมที่รัดกุมนั้นจะส่งผลให้กระบวนการคำนวณมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ในการคำนวณค่าความเหมาะสมที่ใช้ในบทความนี้ จะเป็นรูปแบบที่เน้นความง่ายในการคำนวณเป็นหลัก จึงได้กำหนดการพิจารณาโดยแบ่งสมาชิก ออกเป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มที่อยู่ในขอบเขตของ เงื่อนไขบังคับทุกเงื่อนไขซึ่งจะเรียกว่า Feasible sets (Ψ)และกลุ่มที่ไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขบังคับอย่างน้อยหนึ่งเงื่อนไขซึ่งจะเรียกว่า Infeasible sets (ϑ)ดังนั้นถ้ากำหนดค่าความเหมาะสมของสมาชิกใด ๆ มีค่าเท่ากับ W_p โดยมีหลักดังนี้

$$W_P = \begin{cases} F_T(p_i) & ; p_i \in \Psi \\ F_T(p_i) + \gamma & ; p_i \in \vartheta \end{cases} \qquad (8)$$

โดยที่ γ แทนค่าปรับในกรณีของสมาชิกที่กำลังพิจารณา มีคุณสมบัติไม่เป็นไปตามขอบเขตที่กำหนดซึ่งเป็นค่าที่บวกเพิ่มเพื่อให้ค่าความเหมาะสมในกรณีนี้มีค่าสูง และจะถูกกำจัดไปด้วยวิธีการคัดเลือกในที่สุด และเพื่อเป็นการรับประกันว่าค่าที่บวกเข้าไปนี้ จะทำให้ค่าความเหมาะสมที่ได้ มีค่าสูงกว่าในกรณีปกติ ดังนั้นการเลือกค่า γ ที่ใช้ในบทความนี้จะใช้อสมการที่ 9

$$\gamma \ge \underset{p_i}{\text{Max}} F_T(p_i) \qquad (9)$$

งานวิจัยเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกระบวนการคำนวณเชิงวิวัฒนาการในการประยุกต์

ใช้เพื่อแก้ปัญหา การทำงานที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้ากำลัง (Wong, 1997) ได้เสนอการปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ ที่เหมาะสมไว้ดังนี้

1) *สุ่มประชากรเริ่มต้น* $p_i \in \psi$ จำนวน N_p โดยใช้การสุ่มแบบ Uniform random และเพื่อรับประกันว่าจำนวนประชากรที่ใช้ สามารถให้คุณสมบัติการกระจายแบบปกติ ดังนั้น $N_P \geq 10$

2) *การสร้างรุ่นการถ่ายทอด* p_i' จะถูกสร้างจาก p_i โดยที่ $p'_{ij} = p_{ij} + N(0,\sigma_j^2)$ ซึ่งจะเรียกการดำเนินการนี้ว่ามิวเตชัน (Mutation) โดยที่ $\sigma_j = \beta \frac{f_{pi}}{f_{min}}(p_{j,max} - p_{j,min})$ และ $N(\mu,\sigma_j^2)$ แทน Guassian random variable ที่มีค่า $\mu = 0$ และ ค่าความแปรปรวนเท่ากับ σ_j^2, β แทนค่า Mutation scaling factor จากงานวิจัย (Lee and Yang, 1998) $0 < \beta \leq 1$ ค่าที่เหมาะสม จะอยู่ในช่วง $0.001 \leq \beta \leq 0.01$

3) *การแข่งขันและการคัดเลือก* ทำการสร้าง Competing pool จาก p_i และ p_i' สมาชิกทั้งหมดใน Competing pool จะมีจำนวนเป็น 2 เท่าของประชากรเริ่มต้น จากนั้นจะทำการเลือกสมาชิกที่มีค่าความเหมาะสมสูงสุดจำนวน N_p ให้อยู่รอด เพื่อใช้เป็นประชากรเริ่มต้นในการสร้างรุ่นการถ่ายทอดรุ่นถัดไป

4) *เงื่อนไขการหยุด* กระบวนการในการสร้างรุ่นการถ่ายทอดใหม่นั้น จะดำเนินการไปจนกระทั่งไม่สามารถที่จะเพิ่มค่าความเหมาะสมได้อีกแล้ว หรือเมื่อจำนวนรุ่นการถ่ายทอดถึงค่าสูงสุดที่ตั้งไว้

ผลการทดลองและวิจารณ์

กำหนดระบบทดสอบ เป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 3 เครื่อง ต่อเข้ากับบัสเดียวกันดังรูปที่ 2 กำหนดสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง ดังตารางที่ 1 กำหนดขีดจำกัดของกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าดังตารางที่ 2 และถ้ากำหนดให้

ตารางที่1. สัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายในโรงจักรไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบ

เครื่องที่ i	A_i	B_i	C_i	D_i	E_i
1	240.0	6.5	0.008	182	0.082
2	220.0	6.1	0.005	191	0.057
3	240.0	6.7	0.009	208	0.059

ตารางที่ 2. ขีดจำกัดของกำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องที่	กำลังผลิตต่ำสุด (MW)	กำลังผลิตสูงสุด (MW)
1	50.0	200.0
2	30.0	250.0
3	40.0	250.0

ตารางที่ 3. โหลดรายชั่วโมงในช่วงเวลา 1 วัน ของโรงไฟฟ้าทดสอบ

ชั่วโมงที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
MW	580	292	443	394	557	505	383	207	529	378	446	517
ชั่วโมงที่	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**
MW	569	495	271	362	574	567	364	557	223	341	525	204

ตารางที่ 4. ผลการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้ Lambda-Iteration (Quadratic fuel cost function)

ชั่วโมงที่	Load (MW)	P_1 (MW)	P_2 (MW)	P_3 (MW)	Cost (บาท)
1	580.00	180.5882	250.0000	149.4118	5,174.1941
2	292.00	75.4140	160.6624	55.9236	2,747.6270
3	443.00	118.6943	229.9108	94.3949	3,963.6098
4	394.00	104.6497	207.4395	81.9108	3,557.5590
5	557.00	168.4118	250.0000	138.5882	4,960.4781
6	505.00	140.8824	250.0000	114.1176	4,493.8118
7	383.00	101.4968	202.3949	79.1083	3,467.9181
8	207.00	50.0000	117.0000	40.0000	2,109.5450
9	529.00	153.5882	250.0000	125.4118	4,706.3501
10	378.00	100.0637	200.1019	77.8344	3,427.3557
11	446.00	119.5541	231.2866	95.1592	3,988.8278
12	517.00	147.2353	250.0000	119.7647	4,599.4711
13	569.00	174.7647	250.0000	144.2353	5,071.4231
14	495.00	135.5882	250.0000	109.4118	4,406.6941
15	271.00	69.3949	151.0318	50.5732	2,586.7991
16	362.00	95.4777	192.7643	73.7580	3,298.3264
17	574.00	177.4118	250.0000	146.5882	5,118.0101
18	567.00	173.7059	250.0000	143.2941	5,052.8475
19	364.00	96.0510	193.6815	74.2675	3,314.3908
20	557.00	168.4118	250.0000	138.5882	4,960.4781
21	223.00	55.0000	128.0000	40.0000	2,226.8200
22	341.00	89.4586	183.1338	68.4076	3,130.7571
23	525.00	151.4706	250.0000	123.5294	4,670.5882
24	204.00	50.0000	114.0000	40.0000	2,087.7800
				รวม	93,121.6621

โรงไฟฟ้าทดสอบ แห่งนี้จ่ายโหลดรายชั่วโมงในช่วงหนึ่งวันดังตารางที่ 3

* กรณีที่ 1 กำหนดฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบสมการกำลังสอง ทำการทดสอบโดยใช้การโปรแกรมวิวัฒนาการเพื่อเปรียบเทียบผลกับจุดคำตอบที่เหมาะสม จากการใช้ Lambda-iteration method จะได้ผลการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4 และ 5

จากผลการทดลองจะพบว่า เมื่อใช้ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในรูปสมการกำลังสอง การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดสามารถใช้วิธีการ Lambda-Iteration หาคำตอบที่เหมาะสมได้ ดังนั้นการนำการโปรแกรมวิวัฒนาการมาใช้แก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดเมื่อกำหนดฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงแบบนี้ จึงสามารถนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการ Lambda-Iteration ได้ และจะพบว่าผลการแก้ปัญหา การจ่ายโหลดอย่างประหยัดของทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นการโปรแกรมวิวัฒนา

ตารางที่ 5. ผลการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้การโปรแกรมวิวัฒนาการ (Quadratic fuel cost function)

ชั่วโมงที่	Load (MW)	P_1 (MW)	P_2 (MW)	P_3 (MW)	Cost (บาท)
1	580.00	180.5854	250.0000	149.4146	5,174.1941
2	292.00	75.3821	160.6799	55.9380	2,747.6270
3	443.00	118.7483	229.8385	94.4132	3,963.6099
4	394.00	104.6466	207.4669	81.8865	3,557.5590
5	557.00	168.4040	250.0000	138.5960	4,960.4781
6	505.00	140.8824	250.0000	114.1176	4,493.8118
7	383.00	101.4493	202.4145	79.1362	3,467.9181
8	207.00	50.0000	116.9988	40.0012	2,109.5452
9	529.00	153.5887	250.0000	125.4113	4,706.3501
10	378.00	100.1034	200.0248	77.8718	3,427.3557
11	446.00	119.4836	231.3443	95.1721	3,988.8278
12	517.00	147.2369	250.0000	119.7631	4,599.4711
13	569.00	174.7647	250.0000	144.2353	5,071.4231
14	495.00	135.5883	250.0000	109.4117	4,406.6941
15	271.00	69.3641	151.1201	50.5158	2,586.7992
16	362.00	95.4960	192.8179	73.6861	3,298.3264
17	574.00	177.4124	250.0000	146.5876	5,118.0101
18	567.00	173.7057	250.0000	143.2943	5,052.8475
19	364.00	96.0190	193.6226	74.3584	3,314.3909
20	557.00	168.4092	250.0000	138.5908	4,960.4781
21	223.00	55.3505	127.6358	40.0137	2,226.8222
22	341.00	89.4790	183.0474	68.4736	3,130.7571
23	525.00	151.4707	250.0000	123.5293	4,670.5882
24	204.00	50.0000	113.9870	40.0130	2,087.7823
				รวม	93,121.6671

ตารางที่ 6.การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดและค่าความคลาดเคลื่อนของการโปรแกรมวิวัฒนาการเมื่อเทียบกับ Lambda-Iteration

ชั่วโมงที่	1	2	3	4	5	6	7	8
λ	5,174.1941	2,747.6270	3,963.6098	3,557.5590	4,960.4781	4,493.8118	3,467.9181	2,109.5450
EP	5,174.1941	2,747.6270	3,963.6099	3,557.5590	4,960.4781	4,493.8118	3,467.9181	2,109.5452
Error(%)	0.00E+00	0.00E+00	-2.52E-06	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-9.48E-06
ชั่วโมงที่	9	10	11	12	13	14	15	16
λ	4,706.3501	3,427.3557	3,988.8278	4,599.4711	5,071.4231	4,406.6941	2,586.7991	3,298.3264
EP	4,706.3501	3,427.3557	3,988.8278	4,599.4711	5,071.4231	4,406.6941	2,586.7992	3,298.3264
Error(%)	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	0.00E+00	-3.87E-06	0.00E+00
ชั่วโมงที่	17	18	19	20	21	22	23	24
λ	5,118.0101	5,052.8475	3,314.3908	4,960.4781	2,226.8200	3,130.7571	4,670.5882	2,087.7800
EP	5,118.0101	5,052.8475	3,314.3909	4,960.4781	2,226.8222	3,130.7571	4,670.5882	2,087.7823
Error(%)	0.00E+00	0.00E+00	-3.02E-06	0.00E+00	-9.88E-05	0.00E+00	0.00E+00	-1.10E-04

เมื่อ λ คือ Lambda-Iteration และ EP คือ Evolutionary Programming หรือ การโปรแกรมวิวัฒนาการ และค่าที่แสดงในตารางคือต้นทุนการผลิต (บาท)

ตารางที่ 7. ผลการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้ Lambda-Iteration (Valve-point loading fuel cost function)

ชั่วโมงที่	Load (MW)	P_1 (MW)	P_2 (MW)	P_3 (MW)	Cost (บาท)
1	580.00	180.5882	250.0000	149.4118	5,389.3910
2	292.00	75.4140	160.6624	55.9236	3,249.5517
3	443.00	118.6943	229.9108	94.3949	4,263.8341
4	394.00	104.6497	207.4395	81.9108	3,985.1699
5	557.00	168.4118	250.0000	138.5882	5,110.2304
6	505.00	140.8824	250.0000	114.1176	4,862.4967
7	383.00	101.4968	202.3949	79.1083	3,857.2942
8	207.00	50.0000	117.0000	40.0000	2,294.7664
9	529.00	153.5882	250.0000	125.4118	5,054.3248
10	378.00	100.0637	200.1019	77.8344	3,792.0973
11	446.00	119.5541	231.2866	95.1592	4,281.5548
12	517.00	147.2353	250.0000	119.7647	4,993.2093
13	569.00	174.7647	250.0000	144.2353	5,235.4123
14	495.00	135.5882	250.0000	109.4118	4,703.4209
15	271.00	69.3949	151.0318	50.5732	3,000.5613
16	362.00	95.4777	192.7643	73.7580	3,617.0777
17	574.00	177.4118	250.0000	146.5882	5,279.5619
18	567.00	173.7059	250.0000	143.2941	5,216.8137
19	364.00	96.0510	193.6815	74.2675	3,627.5975
20	557.00	168.4118	250.0000	138.5882	5,110.2304
21	223.00	55.0000	128.0000	40.0000	2,422.0008
22	341.00	89.4586	183.1338	68.4076	3,477.1736
23	525.00	151.4706	250.0000	123.5294	5,041.3420
24	204.00	50.0000	114.0000	40.0000	2,278.2343
				รวม	100,143.3470

การจึงเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่สามารถนำมาใช้ได้และคำตอบที่ได้มีค่าเข้าใกล้จุดต่ำสุดโดยรวมของปัญหา (Near global minimum) ดังแสดงการเปรียบเทียบผลทั้งสองวิธีในตารางที่ 6

* กรณีที่ 2 ทำการทดสอบเมื่อพิจารณาผลของความไม่เป็นเชิงเส้นของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิง (Valve-point loading effect) ดังแสดงไว้ในกราฟรูปที่ 2 จะพบว่าวิธี Lambda-Iteration ไม่สามารถประยุกต์ใช้กับปัญหานี้ได้โดยตรงต้องทำการประมาณเส้นโค้งของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงแบบนี้ ให้อยู่ในรูปสมการกำลังสอง ทำให้จุดคำตอบที่ได้เกิดความคลาดเคลื่อนซึ่งเป็นผลมาจากการประมาณค่านี้ การใช้การโปรแกรมวิวัฒนาการนี้ มีความยืดหยุ่นสูง สามารถนำมาใช้ได้กับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ใด ๆ ได้โดยตรงและจุดคำตอบที่ได้ก็มีคุณสมบัติเข้าใกล้จุดต่ำสุดโดยรวมของปัญหา ดังผลการทดสอบที่แสดงไว้ในตารางที่ 7 และ 8

จะพบว่าเมื่อพิจารณาความไม่เป็นเชิงเส้นของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิง การโปรแกรมวิวัฒนาการมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้แก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด จากตารางต้นทุนการผลิตโดยรวมของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนนี้โดยใช้ Lambda-Iteration ได้ 100,143.3470 บาทต่อวัน เมื่อใช้การโปรแกรมวิวัฒนาการจะได้ 96,175.1242 บาทต่อวัน ซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตที่ได้มีค่าลดลง 3,968.2228 บาทต่อวัน คิดเป็น 3.96 เปอร์เซ็นต์

จะพบว่าบทความนี้ได้นำเสนอการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของโรงไฟฟ้าพลังความ

ตารางที่ 8. ผลการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้การโปรแกรมวิวัฒนาการ (Valve-point loading fuel cost function)

ชั่วโมงที่	Load (MW)	P_1 (MW)	P_2 (MW)	P_3 (MW)	Cost (บาท)
1	580.00	183.5038	250.0000	146.4962	5,361.1819
2	292.00	50.0000	201.9989	40.0011	2,834.3293
3	443.00	164.8569	185.0658	93.0773	4,099.6341
4	394.00	164.7990	136.0436	93.1574	3,661.4406
5	557.00	164.9207	195.1757	196.9036	5,075.5760
6	505.00	164.9207	193.9908	146.0885	4,551.9179
7	383.00	88.3235	201.2678	93.4087	3,536.5467
8	207.00	88.3106	30.0000	88.6894	2,244.2060
9	529.00	88.3006	250.0000	190.6994	4,889.8012
10	378.00	88.3119	196.2408	93.4473	3,442.9117
11	446.00	164.8828	187.9389	93.1783	4,094.6179
12	517.00	126.6306	195.2566	195.1128	4,740.1347
13	569.00	164.9380	250.0000	154.0620	5,167.9375
14	495.00	50.0000	250.0000	195.0000	4,593.6988
15	271.00	200.0000	30.9897	40.0103	2,855.1192
16	362.00	126.6429	88.8856	146.4715	3,448.9276
17	574.00	164.9334	209.2596	199.8070	5,320.0597
18	567.00	126.6105	240.7081	199.6814	5,207.7088
19	364.00	88.3048	182.4384	93.2568	3,447.1665
20	557.00	164.9524	245.6154	146.4322	5,016.9406
21	223.00	88.3933	94.5392	40.0675	2,341.1132
22	341.00	50.0000	197.7444	93.2556	3,175.9580
23	525.00	164.9658	213.5129	146.5213	4,860.3095
24	204.00	88.2171	75.7591	40.0238	2,207.8868
				รวม	96,175.1242

ร้อนโดยใช้การโปรแกรมวิวัฒนาการ ซึ่งผลการทดสอบได้แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติในการค้นหาจุดคำตอบที่เข้าใกล้จุดต่ำสุดโดยรวมได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ การโปรแกรมวิวัฒนาการเป็นวิธีการที่สามารถนำ มาใช้กับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ไม่เป็นเชิงเส้น และไม่ต้องการข้อกำหนดอื่น ๆ ทางคณิตศาสตร์ ดังเช่นวิธีการแบบเดิม เช่น Lambda-Iteration ดังที่ได้เสนอในบทความเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

การโปรแกรมวิวัฒนาการเป็นการคำนวณที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อน ซึ่งไม่สามารถแก้ปัญหาโดยวิธีการแบบเดิมได้ เช่น การพิจารณาการปลดปล่อยก๊าซ SO_2 ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนการพิจารณาเงื่อนไขของการตอบสนองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในการเปลี่ยนแปลงกำลังผลิตภายในช่วงเวลาที่กำหนด (Ramping Constraint) หรือการทำ Unit Commitment ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ปัญหาลักษณะนี้สามารถใช้การโปรแกรมวิวัฒนาการ ในการแก้ปัญหาได้ และรูปแบบของปัญหาจะไม่ยุ่งยากเหมือนการใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์อื่น ๆ เช่น Newton Search Method หรือ Lagrangian Relaxation Method (Wood and Wollenburg, 1996)

เอกสารอ้างอิง

Fogel, D. B. (1995). Evolutionary computation toward a new philosopy of machine intelligence. New York: IEEE Press.

Lee, K. Y. and Yang, F. F. (1998). Optimal reactive power planning using evolutionary algorithms: a comparative study for evolutionary programming, evolution strategy, genetic algorithms, and linear programming. IEEE Trans. on Power Systems Vol. 13.

Nash, S. G. and Sofer, A. (1996). Linear and nonlinear programming. New York: McGraw-Hill.

Walters, D. C. and Sheble, G. B. (1993). Genetic algorithm solution of economic dispatch with valve-point loading. IEEE Trans. on Power Systems Vol. 8 No. 3.

Wong, K. P. (1997). Computational intelligence applications in unit commitment, economic dispatch and load flow. Proc. of the 4th Inter. Conference on Advances in Power system Control, Operation and Management. APSCOM-97. Hongkong.

Wood, A. J. and Wollenburg, B. F. (1996). Power Generation Operation and Control. 2nd ed. New York: John Wiley&Sons.

Yang, H., Yang, P. and Huang, C. (1996). Evolutionary programming based economic dispatch for units with non-smooth fuel cost functions. IEEE Trans. on Power Systems Vol. 11 No. 9.