

วิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันสำหรับแก้ปัญหการจ่ายโหลดอย่างประหยัดและการปลดปล่อยก๊าซมลพิษ

Differential Evolution Method for Solving Combined Economic and Emission Dispatch Problems

ชัยยุทธ สัมภาวะคุปต์¹ วรยุทธ คัมภีรวัฒน์¹ และ ธนัชชัย กุลวรวานิชพงษ์²

Chaiyut Sumpavakup¹ Warayut Kampeerawat² and Thanatchai Kulworawanichpong³

¹ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530

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

²สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อ.เมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

โทร. 0-4422-4401 E-mail: thanatchai@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการแก้ปัญหการจ่ายโหลดอย่างประหยัดและการปลดปล่อยก๊าซมลพิษ โดยใช้วิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชัน (Differential Evolution: DE) พิจารณาฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงแบบ Non-smooth ในลักษณะสมการแบบ Valve-point loading effects และเพิ่มการพิจารณาสมการวัตถุประสงค์แบบถ่วงน้ำหนักระหว่างค่าเชื้อเพลิงและค่าปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ ระบบทดสอบเป็นระบบการผลิตแบบกังหันไอน้ำหลายวาล์วที่มีหน่วยการผลิตย่อย 3 หน่วย และทำการเปรียบเทียบผลเฉลยและประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบกับวิธีการแก้ปัญหาค้นหาด้วยเทคนิคชาญฉลาด (Intelligent techniques) 3 วิธี คือ วิธีจินเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm: GA) วิธีการจำลองการอบอ่อน (Simulated Annealing: SA) และวิธีหาค่าเหมาะที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) ผลการเปรียบเทียบพบว่า การแก้ปัญหการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้วิธี DE สามารถค้นหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพและใช้เวลาในการค้นหาคำตอบเร็วกว่าวิธีอื่น ภายใต้งื่อนไขเดียวกัน

Abstract

This paper presents an evolutionary-based approach for solving a combined economic and emission dispatch problems using Differential Evolution Method (DE). The

objective function is formulated in forms of a linear combination of fuel cost and emission functions with appropriate weighting factors. The test system used in this work was a three-unit generator of multi-valve steam, turbines. The results obtained by the proposed method were compared to some well-known and efficient intelligent search techniques (Genetics Algorithm: GA, Simulated Annealing: SA and Particle Swarm Optimization: PSO). The results showed that the combined economic and emission dispatch problem can be solved by the proposed method efficiently and reliably.

1. บทนำ

จากความต้องการใช้ไฟฟ้าในปัจจุบันที่มีปริมาณสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้การวางแผนการผลิตไฟฟ้าเพื่อส่งจ่ายให้แก่ผู้ใช้เป็นประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณาเพื่อให้การดำเนินการของระบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ปัจจัยสำคัญสำหรับการผลิตไฟฟ้าคือค่าใช้จ่ายสำหรับการผลิตซึ่งจะพิจารณาในหัวข้อปัญหการจ่ายโหลดอย่างประหยัด โดยมีจุดมุ่งหมายหลักคือการจัดสรรกำลังการผลิตของแต่ละหน่วยการผลิตเพื่อรองรับโหลดด้วยต้นทุนค่าเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุด

การแก้ปัญหการจ่ายโหลดอย่างประหยัด เมื่อหน่วยการผลิตมีสมการค่าเชื้อเพลิงแบบพื้นฐานในรูปแบบ Quadratic cost function สามารถแก้ปัญหได้โดยใช้วิธีการแบบดั้งเดิม เช่น วิธี Lambda, Linear

RECEIVED 2 August, 2010

ACCEPTED 29 December, 2010

Programming, Gradient based ต่อมาเมื่อมีการพัฒนารูปแบบสมการค่าเชื้อเพลิงแบบ Non-smooth cost function สำหรับหน่วยการผลิตที่มีเงื่อนไขของระบบผลิตที่ซับซ้อน ทำให้การแก้ปัญหาด้วยวิธีดั้งเดิมไม่ดีเพียงพอ หรือไม่สามารถแก้ปัญหาได้ในบางกรณี วิธีการแบบ AI จึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา เช่นวิธีแบบ Swarm Intelligent วิธีแบบ Evolutionary Algorithm เช่น วิธี EP [1], วิธี DE [2-3] ฯลฯ

นอกเหนือจากประเด็นค่าใช้จ่ายด้านการผลิต ปริมาณการปล่อยมลพิษจากกระบวนการผลิตไฟฟ้า ก็เป็นประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณา ดังนั้นจึงมีการนำเสนอการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดภายใต้เงื่อนไขด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านสิ่งแวดล้อมควบคู่กัน นั่นคือ ค่าใช้จ่ายด้านการผลิตต้องมีค่าต่ำ และปริมาณมลพิษที่ปล่อยสู่สิ่งแวดล้อมต้องมีปริมาณน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ มีผู้นำเสนอวิธีการแบบ AI สำหรับแก้ปัญหาดังกล่าวเช่น วิธี DE [4] วิธี particle swarm [5]

วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดหลากหลายวิธีในกลุ่มของ Evolutionary Algorithm ถูกนำมาใช้แก้ปัญหาทางด้านการจ่ายโหลดอย่างประหยัด ซึ่งวิธี DE เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะกรณีที่สมการค่าเชื้อเพลิงเป็นแบบ Non-smooth cost function [2] และเมื่อมีการพิจารณาเงื่อนไขการปลดปล่อยมลพิษน้อยที่สุดร่วมด้วย จึงเป็นไปได้ที่วิธี DE จะสามารถแก้ปัญหาได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีอื่นเช่นเดียวกัน

บทความนี้นำเสนอการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด ภายใต้เงื่อนไขต้นทุนค่าเชื้อเพลิง และการปลดปล่อยมลพิษที่น้อยที่สุด โดยใช้สมการวัตถุประสงค์แบบ Non-smooth cost function ในลักษณะสมการแบบ Valve-point loading โดยใช้วิธี DE พร้อมทั้งนำเสนอการเปรียบเทียบผลการคำนวณกับวิธี GA, SA และ PSO

2. ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

ต้นทุนการผลิตเป็นปัจจัยสำคัญในการวางแผนการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อพิจารณาถึงต้นทุนการผลิตเป็นปัจจัยหลัก ทำให้การวางแผนการผลิตกำลังงานไฟฟ้าของ

โรงไฟฟ้าต้องพิจารณาปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนในรูปของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิง ซึ่งปกติจะอยู่ในรูปสมการกำลังสอง แต่ในบทความนี้พิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นแบบกังหันไอน้ำหลายวาล์ว (Multi-valve steam turbines) ณ จุดที่มีการเปิดวาล์วจะทำให้การใช้พลังงานความร้อนมีค่าสูงขึ้น [1] ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิง (Fuel cost function) จึงไม่สามารถใช้สมการกำลังสองได้ แต่สามารถใช้สมการที่เรียกว่า Valve-point loading fuel cost function โดยรูปแบบของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงแสดงดังสมการที่ (1) [6]

$$F_T = \sum_{i=1}^{N_G} \left\{ a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i + \left| d_i \sin e_i (P_i^{\min} - P_i) \right| \right\} \quad (1)$$

โดยที่ N_G คือ จำนวนหน่วยผลิตย่อยทั้งหมดของโรงไฟฟ้า

F_T คือ ค่าต้นทุนเชื้อเพลิงโดยรวม (\$/hr)

P_i คือ กำลังผลิตของหน่วยผลิตย่อยตัวที่ i

$P_i^{\min}$ คือ กำลังผลิตน้อยที่สุดของหน่วยผลิตย่อยตัวที่ i

a_i, b_i, c_i, d_i, e_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของหน่วยผลิตย่อยตัวที่ i

ในการผลิตกำลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนจะมีการปลดปล่อยก๊าซมลพิษต่าง ๆ ที่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม เช่น CO_2 , N_2O เป็นต้น ผลรวมของการปลดปล่อยก๊าซมลพิษจากการผลิตกำลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน เกิดจากการรวมกันของก๊าซมลพิษที่ปล่อยออกมาจากหน่วยผลิตย่อยแต่ละตัว สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายเพื่อให้อยู่ในรูปของสมการ โดยประมาณแบบจำลองในรูปของฟังก์ชันกำลังสองและฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential function) ของแต่ละหน่วยการผลิตย่อย ฟังก์ชันการปลดปล่อยก๊าซมลพิษ แสดงได้ดังสมการที่ (2) [6]

$$E_T = \sum_{i=1}^{N_G} \left\{ \alpha_i P_i^2 + \beta_i P_i + \gamma_i + \xi_i e^{\tau_i P_i} \right\} \quad (2)$$

โดยที่ N_G คือ จำนวนหน่วยผลิตย่อยทั้งหมดของโรงไฟฟ้า

E_T คือ ค่าการปลดปล่อยก๊าซมลพิษโดยรวม (kg/hr)

P_i คือ กำลังผลิตของหน่วยผลิตย่อยตัวที่ i

$P_i^{\min}$ คือ กำลังผลิตน้อยที่สุดของหน่วยผลิตย่อยตัวที่ i

$\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \xi_i, \tau_i$ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันการ

ปลดปล่อยมลพิษของหน่วยผลิตย่อยตัวที่ i

พิจารณาโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนแห่งหนึ่งที่มี
ประกอบด้วยหน่วยการผลิตย่อย n หน่วย โดยหน่วยการผลิต
ทั้งหมด ถูกต่อเชื่อมเข้าไปที่บัสบาร์ของโรงไฟฟ้าเพื่อทำการ
จ่ายโหลด จะได้เงื่อนไขการทำงานของโรงไฟฟ้างดงามการที่
(3)

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_D + P_L \quad (3)$$

โดยที่ P_D คือ กำลังไฟฟ้าตามความต้องการทั้งหมด

P_L คือ กำลังงานสูญเสียในสายส่ง

ข้อจำกัดด้านกำลังผลิตของหน่วยการผลิตแต่ละ
หน่วยแสดงดังสมการที่ (4)

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max} \quad (4)$$

เมื่อรวมฟังก์ชันวัตถุประสงค์เข้าด้วยกัน จาก
ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงในสมการที่ (1) และฟังก์ชันการ
ปลดปล่อยก๊าซมลพิษในสมการที่ (2) จะได้รูปแบบของ
ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดดังนี้

$$\text{Minimize } \phi = \omega_F \times F_T + \omega_E \times h \times E_T$$

$$\text{Subject to } \sum_{i=1}^n P_i = P_D + P_L$$

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max}$$

โดยที่ ϕ คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์รวม (Combined
objective function) ω_F และ ω_E คือ ค่าถ่วงน้ำหนักของ

ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงและฟังก์ชันการปลดปล่อยก๊าซมลพิษ
ตามลำดับ และ h คือ ตัวแปรปรับโทษราคา (Price penalty
factor) สามารถหาค่าได้ดังสมการที่ (5) [6]

$$h_i = \frac{F_T (P_i^{\max}) / P_i^{\max}}{E_T (P_i^{\max}) / P_i^{\max}} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (\$/\text{kg}) \quad (5)$$

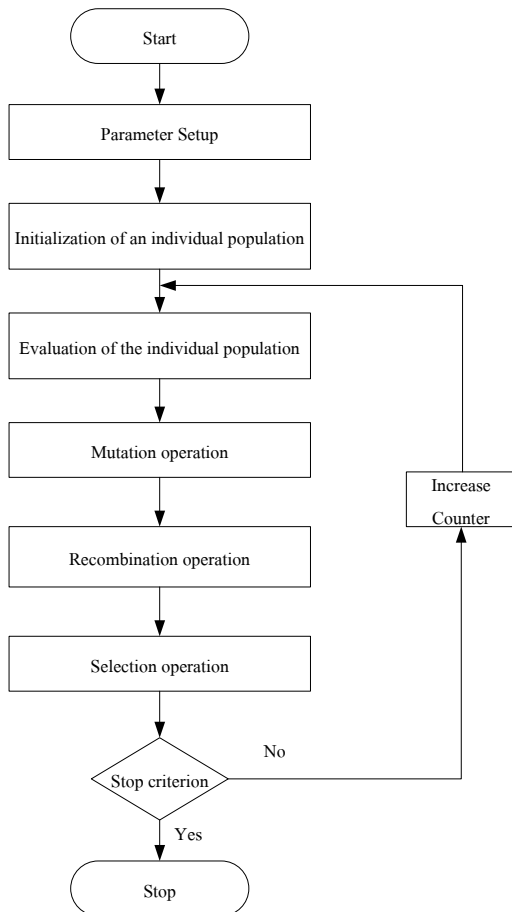
3. วิธีการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชัน (Differential Evolution: DE)

การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดภายใต้เงื่อนไข
ดังกล่าวสามารถทำได้หลายวิธี ในบทความนี้เสนอวิธีดิฟ
เฟอเรนเชียลอีโวลูชัน ซึ่งวิธีดังกล่าวมีพื้นฐานมาจากวิวิจิน
เนติกอัลกอริทึม แต่มีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อน และสามารถ
ประยุกต์ใช้หาคำตอบของปัญหาต่าง ๆ ได้รวดเร็ว และมี
ประสิทธิภาพ [2]

วิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชัน ถูกคิดค้นขึ้นโดย Price
และ Storn ในปีค.ศ.1995 [7] จากความพยายามแก้ปัญหา
polynomial fitting โครงสร้างของวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลู
ชันคล้ายกับวิวิจินเนติกอัลกอริทึม ข้อแตกต่างที่สำคัญ คือ วิวิ
จินเนติกอัลกอริทึมจะแปลงตัวแปรการตัดสินใจ (decision
variables) ให้เป็นรหัสเลขฐานสอง (binary code) แต่วิธีดิฟ
เฟอเรนเชียลอีโวลูชันจะใช้ค่าจริง (floating point number)
แทน ข้อได้เปรียบของวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชัน คือ
ความเร็วและประสิทธิภาพในการหาคำตอบ โครงสร้างที่ไม่
ซับซ้อน และง่ายต่อการนำไปใช้

รูปแบบการแก้ปัญหาวีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลู
ชันเบื้องต้น แทนด้วยรูปแบบ DE/x/y/z โดยที่ x แทน
เวกเตอร์ที่ใช้ในกระบวนการสร้างเวกเตอร์การผ่า
เหล่า (mutant vector) y แทนจำนวนของ difference
vector ที่ใช้สำหรับกระบวนการผ่า
เหล่า (Mutation) และ z แทนรูปแบบของการครอสโอเวอร์
(Crossover) [2-3] นอกจากนี้ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนด
ได้แก่ จำนวนตัวแปร ขอบเขตของตัวแปรแต่ละตัว จำนวน
ประชากร (Number of population: NP) ค่าอัตราครอสโอ
เวอร์ (Crossover rate: CR) ค่าคงที่การผ่าเหล่า (Mutation

factor: F) และกำหนดเงื่อนไขการหยุด นั่นคือ จำนวนรอบสูงสุดหรือจำนวนรุ่นการถ่ายทอดสูงสุด (Number of iterations (generations): $G_{\max}$) โดยขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีดิวอี้เฟอเรนเชียลอีโวลูชัน มีดังนี้



รูปที่ 1 ขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยวิธีดิวอี้เฟอเรนเชียลอีโวลูชัน [3]

4. ระบบทดสอบและผลการทดสอบ

ระบบทดสอบเป็นโรงไฟฟ้าพลังความร้อนที่มีหน่วยผลิตย่อยหรือเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 3 เครื่อง กำหนดค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่อง ดังตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันการปลดปล่อยก๊าซมลพิษ ดังตารางที่ 2 และกำหนดให้โรงไฟฟ้าทดสอบนี้จ่ายโหลดที่ 1.2 pu. โดยไม่พิจารณากำลังงานสูญเสียในสายส่ง ($P_L = 0$) ค่าพารามิเตอร์ของวิธีดิวอี้เฟอเรนเชียลอีโวลูชันในการแก้ในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิง

Unit (i)	a	b	c	d	e	$P^{\min}$	$P^{\max}$
1	100	200	10	15	6.283	0.05	0.5
2	120	150	10	10	8.976	0.05	0.6
3	40	180	20	10	14.784	0.05	1.0

ตารางที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันการปลดปล่อยก๊าซมลพิษ

Unit (i)	α	β	γ	ξ	τ
1	6.490	-5.554	4.091	2×10^{-4}	2.857
2	5.638	-6.047	2.543	5×10^{-4}	3.333
3	4.586	-5.094	4.258	1×10^{-6}	8.000

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ของวิธีดิวอี้เฟอเรนเชียลอีโวลูชัน

Parameter	Value
Strategy	DE/rand/1/bin
Number of population (NP)	200
Maximum generation ($G_{\max}$)	1000
Mutation factor (F)	1
Crossover rate (CR)	0.8

การจำลองผลใช้โปรแกรม MATLAB ด้วยคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล Intel Core 2 Duo 2.66 GHz RAM 1 GB ทำการทดสอบโดยใช้วิธีดิวอี้เฟอเรนเชียลอีโวลูชันเปรียบเทียบผลเฉลยและประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบกับวิธีจินเนติกอัลกอริทึม วิธีการจำลองการอบอุ่น และวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค ซึ่งผลการทดสอบเป็นดังนี้

กรณีที่ 1 พิจารณาฟังก์ชันรวม ($\omega_F = 1.0$ และ $\omega_E = 1.0$)

ตารางที่ 4 ผลผลจากการใช้วิธีการจำลองการอบอ่อน

Power Output (pu.)	Simulated Annealing (SA)				
	Min	Average	Max	Standard Deviation	CPU Time (s)
P1	0.0554	0.2791	0.4187	0.1163	55.9120
P2	0.1795	0.3313	0.4937	0.1137	
P3	0.3327	0.5895	0.9610	0.1456	
Ptotal	1.1998	1.1999	1.1999	0.0001	
Ft (\$/hr)	785.1094	788.1246	798.8260	3.2590	
Et (kg/hr)	36.9924	37.1109	38.3442	0.2657	
Total Cost (\$/hr)	1181.2703	1185.5470	1201.2894	4.7230	

ตารางที่ 7 ผลผลจากการใช้วิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชัน

Power Output (pu.)	Differential Evolution (DE)				
	Min	Average	Max	Standard Deviation	CPU Time (s)
P1	0.2093	0.2093	0.2093	0.0000	7.9089
P2	0.3437	0.3437	0.3437	0.0000	
P3	0.6468	0.6468	0.6468	0.0000	
Ptotal	1.1998	1.1998	1.1998	0.0000	
Ft (\$/hr)	785.1113	785.1113	785.1113	0.0000	
Et (kg/hr)	36.9925	36.9925	36.9925	0.0000	
Total Cost (\$/hr)	1181.2703	1181.2703	1181.2703	0.0000	

ตารางที่ 5 ผลผลจากการใช้วิธีจินเนติกอัลกอริทึม

Power Output (pu.)	Genetic Algorithm (GA)				
	Min	Average	Max	Standard Deviation	CPU Time (s)
P1	0.2093	0.2202	0.3735	0.0417	25.1040
P2	0.1795	0.3328	0.3437	0.0417	
P3	0.6468	0.6468	0.6468	0.0000	
Ptotal	1.1998	1.1998	1.1999	0.0000	
Ft (\$/hr)	785.1113	785.3629	788.8855	0.9575	
Et (kg/hr)	36.9925	36.9962	37.0484	0.0142	
Total Cost (\$/hr)	1181.2703	1181.5611	1185.6330	1.1069	

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการหาคำตอบของแต่ละวิธี

เมื่อพิจารณาฟังก์ชันรวม

Methods	Min Total Cost	Average Total Cost	Max Total Cost	Standard Deviation	CPU Time (s)
SA	1181.2703	1185.5470	1201.2894	4.723	55.912
GA	1181.2703	1181.5611	1185.6330	1.107	25.104
PSO	1181.2703	1182.8810	1188.6517	2.625	10.525
DE	1181.2703	1181.2703	1181.2703	0.000	7.909

กรณีที่ 2 พิจารณาฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเท่านั้น

$$(\omega_F = 1.0 \text{ และ } \omega_E = 0.0)$$

ตารางที่ 6 ผลผลจากการใช้วิธีหาค่าเหมาะที่สุดของฝูงอนุภาค

Power Output (pu.)	Particle Swarm Optimization (PSO)				
	Min	Average	Max	Standard Deviation	CPU Time (s)
P1	0.2093	0.2631	0.4187	0.0844	10.5248
P2	0.1795	0.3213	0.4485	0.0787	
P3	0.3327	0.6154	0.6468	0.0958	
Ptotal	1.1998	1.1998	1.1999	0.0000	
Ft (\$/hr)	785.1113	786.4907	791.3564	2.2391	
Et (kg/hr)	36.9925	37.0144	37.0993	0.0365	
Total Cost (\$/hr)	1181.2703	1182.8810	1188.6517	2.6250	

ตารางที่ 9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการหาคำตอบของแต่ละวิธีเมื่อพิจารณาฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเท่านั้น

Methods	Min Total Cost	Average Total Cost	Max Total Cost	Standard Deviation	CPU Time (s)
SA	785.1360	789.4602	801.7039	3.644	56.599
GA	785.1360	785.6030	788.9005	1.169	25.118
PSO	785.1360	787.0521	791.3734	2.651	10.350
DE	785.1360	785.1360	785.1360	0.000	7.976

กรณีที่ 3 พิจารณาฟังก์ชันการปลดปล่อยก๊าซมลพิษเท่านั้น

$$(\omega_F = 0.0 \text{ และ } \omega_E = 1.0)$$

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการหาคำตอบของแต่ละวิธีเมื่อพิจารณาฟังก์ชันการปลดปล่อยก๊าซมลพิษเท่านั้น

Methods	Min Total Cost	Average Total Cost	Max Total Cost	Standard Deviation	CPU Time (s)
SA	394.5098	396.6495	403.5483	2.235	72.145
GA	394.3101	394.3101	394.3101	0.000	27.599
PSO	394.3101	394.3101	394.3101	0.000	10.530
DE	394.3101	394.3101	394.3101	0.000	7.845

จากผลการทดสอบ 3 กรณี โดยกำหนดค่าน้ำหนักสำหรับค่าเชื้อเพลิง และปริมาณการปลดปล่อยก๊าซมลพิษแตกต่างกัน มีรายละเอียดดังนี้

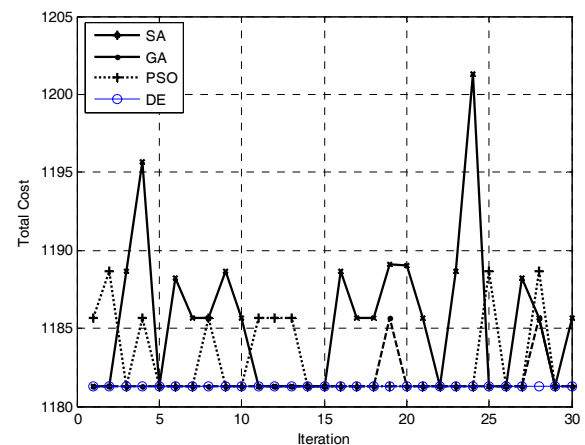
กรณีที่ 1 ให้ค่าน้ำหนักของค่าเชื้อเพลิง และค่าน้ำหนักปริมาณการปลดปล่อยมลพิษเท่ากัน พบว่าทุกวิธีสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้เท่ากัน แต่วิธี DE ให้คำตอบที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด และใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด ผลแสดงดังตารางที่ 8 และจากผลลัพธ์ค่ากำลังไฟฟ้า ค่าเชื้อเพลิง และค่าปริมาณการปลดปล่อยมลพิษที่ได้จากวิธี DE ทุกค่ามีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี SA, GA และ PSO ดังแสดงในตารางที่ 4-7

กรณีที่ 2 ให้ค่าน้ำหนักของค่าเชื้อเพลิงเพียงอย่างเดียว โดยไม่พิจารณาปริมาณการปลดปล่อยมลพิษ พบว่าทุกวิธีสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้เท่ากัน โดยวิธี DE ยังคงให้คำตอบที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด และใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด ผลแสดงดังตารางที่ 9

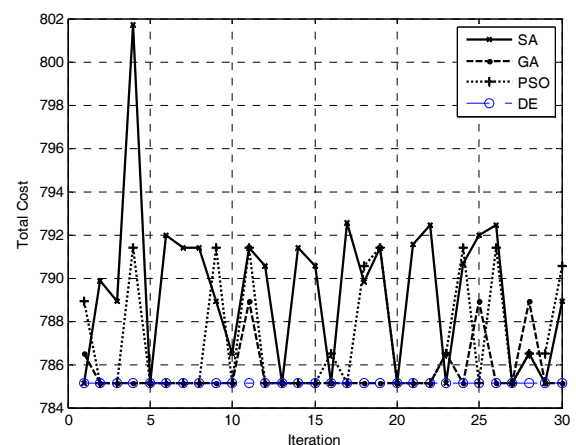
กรณีที่ 3 ให้ค่าน้ำหนักปริมาณการปลดปล่อยมลพิษเพียงอย่างเดียว โดยไม่พิจารณาค่าเชื้อเพลิง พบว่าวิธี GA, PSO และ DE สามารถให้คำตอบที่ดีที่สุดและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากัน ยกเว้นวิธี SA ที่ให้คำตอบแตกต่างจากวิธีอื่นและมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานสูงที่สุดสำหรับวิธี DE ยังคงใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด ผลแสดงดังตารางที่ 10

จากทั้ง 3 กรณีวิธี DE ให้คำตอบที่มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อยที่สุด และใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่น มีเพียงกรณีสุดท้ายเท่านั้นที่วิธี GA และ PSO สามารถให้คำตอบได้ดีเทียบเท่ากับ DE

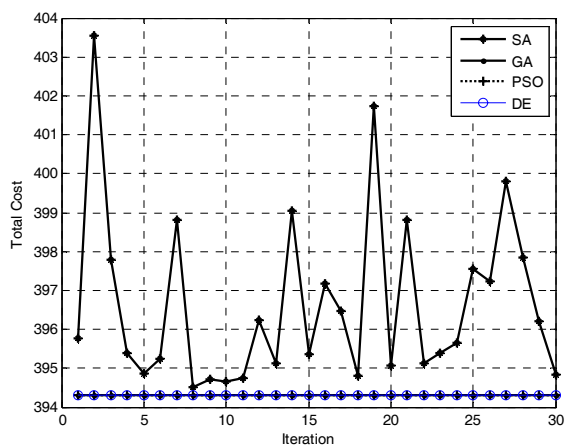
แต่ใช้เวลามากกว่า DE เนื่องจากกรณีที่ 3 พิจารณาเฉพาะฟังก์ชันปริมาณการปลดปล่อยมลพิษเท่านั้น ซึ่งลักษณะสมการเป็นผลรวมของฟังก์ชันแบบ Quadratic และ Exponential ทำให้วิธี GA และ PSO สามารถให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับ DE แต่สำหรับ 2 กรณีแรกมีการพิจารณาฟังก์ชันเชื้อเพลิง ซึ่งมีลักษณะเป็นฟังก์ชันแบบ Non-smooth ทำให้วิธี SA, GA และ PSO ให้คำตอบที่แกว่งมาก หรือมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคำตอบสูงมาก ในขณะที่วิธี DE ซึ่งมีความสามารถในการหาคำตอบของฟังก์ชันประเภทนี้ ทำให้คำตอบที่ได้มีเสถียรภาพดี หรือมีค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานน้อย และใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด



รูปที่ 2 การหาคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละวิธี เมื่อพิจารณาฟังก์ชันรวม



รูปที่ 3 การหาคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละวิธี เมื่อพิจารณาฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงเท่านั้น



รูปที่ 4 การหาค่าตอบที่ดีที่สุดของแต่ละวิธี เมื่อพิจารณาฟังก์ชันการปลดปล่อยก๊าซมลพิษเท่านั้น

5. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดภายในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนที่มีระบบการผลิตแบบกังหันไอน้ำหลายวาล์ว ภายใต้เงื่อนไขต้นทุนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตกำลังงานไฟฟ้าและค่าการปลดปล่อยก๊าซมลพิษให้น้อยที่สุด โดยใช้วิธีดิวอลินเซียลอีโวลูชัน โดยสามารถปรับค่าถ่วงน้ำหนักระหว่างฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิง และฟังก์ชันปริมาณการปลดปล่อยมลพิษได้ ผลการทดสอบเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี SA, GA และ PSO ภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน พบว่าวิธี DE สามารถหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีการเบี่ยงเบนของค่าคำตอบน้อยที่สุด และใช้เวลาในการค้นหาคำตอบเร็วที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงในลักษณะฟังก์ชันแบบ Non-smooth และเมื่อลดค่าน้ำหนักของฟังก์ชันเชื้อเพลิงลง และให้ค่าน้ำหนักการปลดปล่อยมลพิษเพียงเพิ่มขึ้น วิธีอื่นสามารถหาคำตอบได้ดีใกล้เคียงกับวิธี DE มากขึ้น แต่เมื่อคำนึงถึงด้านเวลาวิธี DE สามารถหาคำตอบได้เร็วที่สุด

เอกสารอ้างอิง

[1] ชนิตชัย กุลวรรณิขพงษ์, “การจ่ายโหลดอย่างประหยัดของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนโดยใช้การโปรแกรมวิวัฒนาการ”, วารสารเทคโนโลยีสุรนารี, 2545: 9:180-189.

[2] R. E. Perez-Guerrero and J. R. Cedenio-Maldonado, “Economic Power Dispatch with Non-Smooth Cost Functions Using Differential Evolution”, Proceedings of the 37th Annual North American on Power Symposium, 2005: 183-190.

[3] L. d. S. Coelho and V. C. Mariani, “Combining of Chaotic Differential Evolution and Quadratic Programming for Economic Dispatch Optimization With Valve-Point Effect”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 21, No. 2, 2006: 989-996.

[4] K. K. Mandal, and N. Chakraborty, Differential evolution based environmentally constrained economic dispatch, INDICON 2008 India Conference, , Volume 2, 2008: 471-476.

[5] P. Pao-la-or, A. Oonsivilai and T. Kulworawanichpong, “Combined Economic and Emission Dispatch Using Particle Swarm Optimization”, WSEAS Transactions on Environment and Development, Issue 4, Vol. 6, 2005: 296-305.

[6] ชนิตชัย กุลวรรณิขพงษ์, “การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง”, จรัสสินทางศการพิมพ์, กรุงเทพฯ, 2551.

[7] K. V. Price, R. M. Storn and J. A. Lampinen, “Differential evolution: a practical approach to global optimization”, Springer, 2005.