

# การจ่ายโหลดอย่างประหยัดด้วยวิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่า

## Economic Dispatch using Cuckoo Search Algorithm

ฐิติพร พงศ์กิตติการ และ ดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์  
ภาควิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
Email: t\_ja\_n@hotmail.com, dulpichet.r@ku.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการนำเสนอการค้นหาแบบนกกาเหว่า (Cuckoo Search) ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาค่าที่เหมาะสมที่สุดมาใช้ในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch) โดยการค้นหาแบบนกกาเหว่า เป็นวิธีการที่เลียนแบบพฤติกรรมการวางไข่ของนกกาเหว่า และลักษณะการเคลื่อนที่ของ Lévy Flights ซึ่งการ ค้นหาแบบนกกาเหว่านั้นมีพารามิเตอร์ที่จะปรับ และจำนวนรอบหรือเวลาในการคำนวณน้อยกว่าในวิธีอื่นๆ นอกจากนี้ในบทความนี้ยังทำการทดสอบเปรียบเทียบผลลัพธ์กับวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization) โดยพิจารณากรณีศึกษา 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 ฟังก์ชันราคาที่ไม่ราบเรียบ (Smooth Cost Function) และไม่มีค่าความสูญเสียของระบบ และกรณีที่ 2 ฟังก์ชันราคาที่ไม่ราบเรียบ (Non-Smooth Cost Function) อันเนื่องมาจากผลที่เกิดจากจุดวาล์ว (Valve Point Effect) และพิจารณาค่า ความสูญเสียของระบบ

### คำสำคัญ

การจ่ายโหลดอย่างประหยัด การค้นหาแบบนกกาเหว่าผลที่เกิดจากจุดวาล์ว

### Abstract

This paper presents the Cuckoo Search (CS), one of the newest optimization techniques, to solve economic dispatch problems. This search algorithm is based on the obligate brood parasitic behavior of some cuckoo species and the characteristics of Lévy Flights. Cuckoo Search has fewer parameters to be adjusted and the number of cycles or time to compute than the other methods. Also in this paper, the results of two case studies are compared with those obtained from the particle swarm optimization (PSO). The first case study uses a smooth cost function with a lossless power system. The second case study uses a non-smooth cost function due to valve point effects with taking into account losses of the system.

## Keywords

economic dispatch, cuckoo search, valve point effect

### 1. คำนำ

ในปัจจุบัน พลังงานไฟฟ้านั้นมีความสำคัญมาก เพราะพลังงานไฟฟ้าเป็นสิ่งที่จำเป็นในการดำรงชีวิตของมนุษย์ รวมทั้งในด้านอุตสาหกรรมด้วย แต่การที่จะผลิตพลังงานไฟฟ้านั้นจะต้องมีต้นทุน และต้องใช้ทรัพยากรธรรมชาติมาเป็นเชื้อเพลิง ซึ่งในปัจจุบันทรัพยากรธรรมชาติเริ่มขาดแคลน หายาก และมีราคาที่สูงขึ้นมาก เพราะฉะนั้นจึงต้องพยายามผลิตพลังงานไฟฟ้าให้คุ้มค่ามากที่สุด และวิธีการหนึ่งซึ่งสามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตพลังงานไฟฟ้า ก็คือ การจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch) โดยปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดเป็นปัญหาที่ต้องการหาค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าที่ต่ำที่สุดโดยกำลังการผลิตไฟฟ้าที่ได้ต้องเพียงพอต่อความต้องการของระบบ

การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดนั้น มีการคิดค้นและพัฒนาวิธีการต่างๆ มากมาย เช่น ในปี ค.ศ. 1993 Walters และ Sheble ได้นำเอาขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) มาใช้ในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่ฟังก์ชันราคาที่ไม่ราบเรียบอันเนื่องมาจากผลที่เกิดจากจุดคว่ำ [1], ในปี ค.ศ. 1995 Eberhart และ Kennedy ได้เสนอเทคนิคการคำนวณที่มีวิวัฒนาการแบบใหม่ที่มีชื่อเรียกว่า วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization) [2] และในปี ค.ศ. 2002 Attaviriyanupap และคณะ ได้เสนอวิธีไฮบริดวิธีใหม่ในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตที่มีฟังก์ชันราคาที่ไม่ราบเรียบอันเนื่องมาจากผลของจุดคว่ำโดยได้นำเอาวิธี Evolutionary Programming

(EP) แบบง่ายมาใช้ในการค้นหาในระดับเบื้องต้น [3] เป็นต้น และเมื่อในปี ค.ศ. 2009 Yang และ Deb ได้มีการคิดค้นวิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่า (Cuckoo Search) ซึ่งการค้นหาแบบนกกาเหว่า เป็นวิธีการที่เลียนแบบพฤติกรรมการวางไข่ของนกกาเหว่าและลักษณะการเคลื่อนที่ของ Lévy Flights เนื่องจากมีพารามิเตอร์ที่จะปรับ และจำนวนรอบหรือเวลาในการคำนวณน้อยกว่าในวิธีอื่นๆ [4]

### 2. การจ่ายโหลดอย่างประหยัด

ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด คือ ปัญหาที่ต้องการหาค่ากำลังการผลิตไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องของระบบโดยมีค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตต่ำที่สุดซึ่งกำลังการผลิตไฟฟ้าที่ได้นั้นจะต้องเพียงพอต่อความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบ ดังนั้น ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดจึงเป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสม (Optimization Problem) โดยมีฟังก์ชันของราคาค่าเชื้อเพลิงเป็นฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ (1)

$$F_T = \sum_{i=1}^N F_i(P_i) \quad (1)$$

เมื่อ

$P_i$  คือ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่  $i$

$F_T$  คือ ฟังก์ชันของราคาค่าเชื้อเพลิงรวมมีหน่วยเป็นบาทต่อชั่วโมง

$F_i(P_i)$  คือ ฟังก์ชันของราคาค่าเชื้อเพลิงของ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็นบาทต่อชั่วโมง โดยจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขของการผลิตกำลังไฟฟ้าให้ตรงกับความต้องการและข้อจำกัดของการผลิตกำลังไฟฟ้างดังสมการที่ (2) และ (3)

$$\sum_{i=1}^N P_i = P_D + P_{loss} \quad (2)$$

$$P_{i,min} \leq P_i \leq P_{i,max} \quad (3)$$

เมื่อ

$P_D$  คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบ

$P_{loss}$  คือ ค่าความสูญเสียของระบบ

$N$  คือ จำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$P_{i, min}$  คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่  $i$

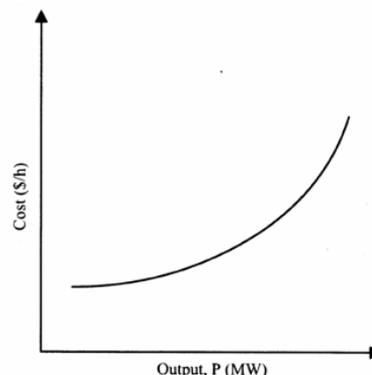
$P_{i, max}$  คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่  $i$

โดยปกติแล้วฟังก์ชันของราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดซึ่งเป็นฟังก์ชันราคาทีราบเรียบ (Smooth Cost Function) จะอยู่ในรูปของสมการพหุนาม (Polynomial) ดังแสดงในภาพที่ 1 และสมการที่ (4)

$$F_i(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad (4)$$

เมื่อ

$a_i$ ,  $b_i$  และ  $c_i$  คือสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่  $i$



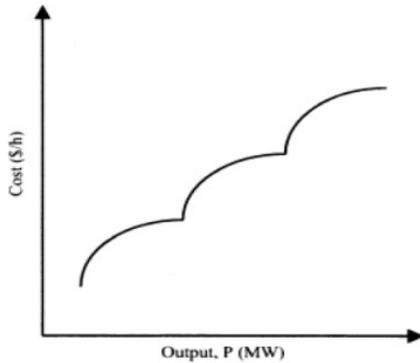
ภาพที่ 1 ฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงทีราบเรียบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

และในปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่มีผลจากจุดวาล์ว (Valve Point Effect) จะทำให้เกิดฟังก์ชันราคาที่ไม่ราบเรียบ (Non-Smooth Cost Function) ขึ้นซึ่งจะทำให้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดมีความซับซ้อนและยากต่อการคำนวณมากยิ่งขึ้น

ผลที่เกิดจากจุดวาล์ว (Valve Point Effect) คือผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากังหันไอน้ำขนาดใหญ่ที่มีจำนวนของวาล์วที่ใช้ในการปล่อยไอน้ำเป็นจำนวนมากทำการเปิดวาล์วเป็นลำดับเพื่อให้ได้กำลังไฟฟ้าในการผลิตเพิ่มมากขึ้นและเมื่อระบบมีความต้องการใช้ไฟฟ้าที่มากขึ้นดังนั้นจึงต้องเพิ่มไอน้ำให้มากขึ้นโดยเปิดวาล์วตัวที่สองซึ่งระหว่างที่มีการเปิดวาล์วตัวที่สองจะทำให้ Incremental Heat Rate ลดลงส่วนการเปิดวาล์วตัวแรกจะทำให้เกิด Throttling Losses เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและจะทำให้ Incremental Heat Rate เพิ่มขึ้นแบบทันทีทันใดซึ่งในการเพิ่มขึ้นนี้ทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องของ Incremental Heat Rate และทำให้เกิดการกระเพื่อม (Ripple) บนกราฟเส้นโค้งของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งจะทำให้ฟังก์ชันของราคาเชื้อเพลิงมีลักษณะสมการที่ (5) [5]

$$F_i(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 + |e_i \times \sin(f_i \times (P_{i,min} - P_i))| \quad (5)$$

เมื่อ  $e_i$  และ  $f_i$  คือสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันราคา ค่าเชื้อเพลิง อันเนื่องมาจากผลที่เกิดจากจุดวาล์วของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่  $i$



ภาพที่ 2 ฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงที่มีวาล์วที่ใช้ ในการปล่อยไอน้ำจำนวน 3 ตัวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

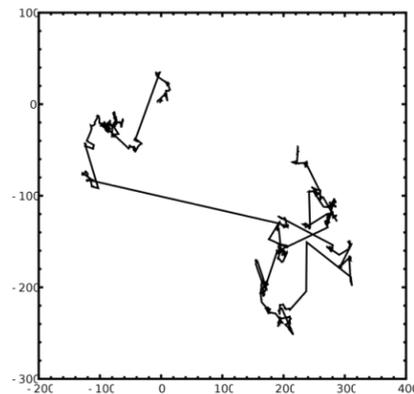
### 3. การค้นหาแบบนกกาเหว่า

การค้นหาแบบนกกาเหว่า(Cuckoo Search; CS) เป็นวิธีการที่เลียนแบบพฤติกรรมการวางไข่ของนกกาเหว่า โดยนกกาเหว่าจะวางไข่ในรังของนกสายพันธุ์อื่นซึ่งเราจะเรียกว่านกโฮสต์ (Host Birds) ถ้านกโฮสต์รู้ว่าไข่ที่อยู่ในรังไม่ใช่ไข่ของมัน นกโฮสต์อาจจะโยนไข่ของนกกาเหว่าทิ้ง หรือทิ้งรังแล้วสร้างรังใหม่ที่อื่นได้ [4] โดยทั่วไปไข่ของนกกาเหว่าจะฟักเร็วกว่าไข่ของนกโฮสต์เล็กน้อย เมื่อลูกนกกาเหว่าฟักออกมา มันจะมีสัญชาตญาณที่จะขับไล่ไข่ของนกโฮสต์ออกจากรังเมื่อนกโฮสต์ไม่อยู่ เพื่อเป็นการเพิ่มส่วนแบ่งของอาหาร [6] เพื่อให้เข้าใจง่ายในการอธิบายการค้นหาแบบนกกาเหว่า จะใช้กฎอุดมคติ 3 ข้อ คือ [7]

1. นกกาเหว่าจะวางไข่ 1 ฟองต่อครั้ง และจะทิ้งไข่ของมันไว้ในรังที่เลือกสุ่ม
2. รังที่ดีและไข่ที่มีคุณภาพสูง จะดำเนินไปยังรุ่นถัดไปได้

3. จะกำหนดจำนวนรังของนกโฮสต์ที่ใช้ได้ ( $n$ ) และไข่ที่วางโดยนกกาเหว่าถูกค้นพบโดยนกโฮสต์มีความน่าจะเป็น ( $pa$ ) อยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

จากการศึกษาต่างๆได้พบว่าพฤติกรรมการบินของสัตว์หลายชนิด ได้แสดงให้เห็นถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของ Lévy Flights



ภาพที่ 3 ภาพแสดงการเคลื่อนที่ของ Lévy Flights [8]

เมื่อมีการสร้างวิธีแก้ปัญหาใหม่

$$x_i^{(t+1)} = x_i^t + \alpha \oplus \text{Levy}(\lambda) \quad (6)$$

ที่  $\alpha > 0$  คือขนาดขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับมาตราส่วนของปัญหาที่สนใจ สมการข้างต้นเป็นสมการสำหรับการสุ่มทางเดิน โดยทั่วไปการสุ่มทางเดินเป็น Markov Chain ที่มีสถานะหรือตำแหน่งถัดไปขึ้นอยู่กับตำแหน่งในปัจจุบันและความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงเครื่องหมาย  $\oplus$  คือ Entrywise Multiplications ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับการปฏิบัติการที่ใช้ในขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization, PSO) แต่การสุ่มทางเดินของ LévyFlights นั้น จะมีประสิทธิภาพมากขึ้นในการสำรวจพื้นที่การค้นหา [9]

$$Levy(\lambda) \sim u = t^{-\lambda}, \quad (1 < \lambda \leq 3) \quad (7)$$

จากกฎอุดมคติ 3 ข้อ ขั้นตอนพื้นฐานของการค้นหาแบบนกกาเหว่า (Cuckoo Search) สามารถสรุปขั้นตอนได้ดังนี้ [8], [10]

1. กำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์  $f(x)$ ,  $x = (x_1, \dots, x_d)^T$
2. สร้างประชากรเริ่มต้นของ  $n$  โดยเป็นจำนวนรังเริ่มต้น  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )
3. ตรวจสอบว่าครบจำนวนรอบที่กำหนด หรือถึงเกณฑ์ที่ต้องหยุดหรือไม่ ถ้าใช่ให้ทำขั้นตอนที่ 9 แต่ถ้าไม่ใช่ให้ทำขั้นตอนที่ 4
4. ประเมินคุณภาพของรังจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์  $F_i$  หลังจากนั้นเลือกรังใหม่มาประเมินคุณภาพของรังด้วยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่  $F_j$
5. นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบถ้าค่า  $F_i$  มีค่ามากกว่า  $F_j$  ให้ทำการแทนที่รัง  $j$  เป็นคำตอบใหม่
6. โดยการค้นพบรังใหม่นั้นจะต้องมีค่าความน่าจะเป็นมากกว่าค่า  $pa$  ที่กำหนดไว้ สำหรับรังที่ไม่ผ่านค่า  $pa$  ให้ทิ้งรังแล้ว สุ่มเลือกรังใหม่
7. เก็บคำตอบที่ดีที่สุดหรือรังที่มีคุณภาพ
8. เรียงลำดับผลลัพธ์ที่ได้ จากนั้นกลับไปทำขั้นตอนที่ 3
9. ผลลัพธ์สุดท้ายจะได้คำตอบที่ดีที่สุดและรังที่มีคุณภาพ

#### 4. วิธีการทำให้เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค

ในปี 1995 Kennedy และ Eberhart ได้ริเริ่มเทคนิคการคำนวณที่มีวิวัฒนาการแบบใหม่ที่มีชื่อเรียกว่าการทำให้เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization; PSO) โดยจะใช้ทฤษฎีของการ

สุ่มประชากรเริ่มต้น และใช้การประเมินค่าและการเปลี่ยนแปลงเหล่าประชากรเพื่อค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด และเมื่อนำ PSO มาเปรียบเทียบกับเทคนิคการคำนวณที่มีวิวัฒนาการอื่น ๆ พบว่า PSO เป็นวิธีที่ใช้งานได้ง่าย และมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการปรับปรุงที่น้อย โดยแบบจำลองพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ของ PSO สามารถอธิบายได้ดังนี้ [5]

ให้ฝูง (swarm) หนึ่งฝูงมีอนุภาค (particle)  $n$  ตัวอยู่ในขนาดของช่วงที่ใช้ในการค้นหา  $d$  ที่รอบการทำงานที่  $k$  วิธีการพื้นฐานของ PSO จะใช้ค่าน้ำหนักความเฉื่อยเพื่อให้การค้นหาเฉพาะที่ (local) และโดยรวม (global) สมดุลซึ่งการปรับปรุงความเร็วของอนุภาคสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (8)

$$v_{id}^{k+1} = w \cdot v_{id}^k + c_1 \times rand_1 \times (Pbest_{id} - x_{id}^k) + c_2 \times rand_2 \times (Gbest_d - x_{id}^k) \quad (8)$$

การปรับปรุงตำแหน่งของแต่ละอนุภาคสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (9)

$$x_{id}^{k+1} = x_{id}^k + v_{id}^{k+1} \quad (9)$$

เมื่อ

$vid_k$  คือ ความเร็วของอนุภาคตัวที่  $i$  ที่รอบการทำงานที่  $k$  ในขนาดของช่วงที่ใช้ในการค้นหา  $d; Vd, \min, \leq vid_k \leq Vd, \max; i = 1, 2, \dots, n, d = 1, 2, \dots, m$

$xid_k$  คือ ตำแหน่งปัจจุบันของอนุภาคตัวที่  $i$  ที่รอบการทำงานที่  $k$

$Pbest_k$  คือ ตำแหน่งก่อนหน้าที่ดีที่สุดของอนุภาคตัวที่  $i$

$Gbest_k$  คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคโดยรวม

$w$  คือ ค่าน้ำหนักความเฉื่อย

$c_1, c_2$  คือ ค่าคงที่ความเร่ง

$rand_1, rand_2$  คือ การกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอโดยการสุ่มจำนวนในช่วง  $[0, 1]$

## 4. กรณีศึกษา

การศึกษานี้ทดสอบและเปรียบเทียบผลลัพธ์วิธี การค้นหาแบบนกกาเหว่า (Cuckoo Search) กับวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) เนื่องจากวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคมีแนวคิดจากการเลียนแบบพฤติกรรมของธรรมชาติเหมือนกับวิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่า โดยวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคเลียนแบบพฤติกรรมการหาอาหารของนก

หรือปลา และนอกจากนี้วิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคยังเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย โดยใช้โปรแกรม MATLAB ในการคำนวณ [11]

### 4.1 กรณีที่ 1

ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่มีฟังก์ชันราคาค่าเชื้อเพลิงที่ราบเรียบ และไม่มีค่าความสูญเสียของระบบ ( $P_{loss} = 0$ ) สำหรับระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 6 เครื่อง

ตารางที่ 1 ข้อมูลของระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 6 เครื่องซึ่งมีฟังก์ชันราคาค่าเชื้อเพลิงที่ราบเรียบ [12]

Unit	$a_i$ ( $\$/(\text{MW})^2\text{h}$ )	$b_i$ ( $\$/\text{MWh}$ )	$c_i$ ( $\$/\text{h}$ )	$P_{i,\min}$ (MW)	$P_{i,\max}$ (MW)
1	0.1525	38.54	756.8	10	125
2	0.106	46.16	451.32	5	150
3	0.028	40.4	1050	35	225
4	0.0355	38.31	1243.5	3	210
5	0.0211	36.328	1658.5	7	325
6	0.018	38.27	1356.6	6	315

กำหนดความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบ (PD)

เท่ากับ 1100 MW

ตารางที่ 2 ผลการคำนวณของวิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่าและวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคจากข้อมูลของระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 6 เครื่องซึ่งมีฟังก์ชันราคาค่าเชื้อเพลิงที่ราบเรียบและไม่มีค่าความสูญเสียของระบบ

Unit	Cuckoo Search			PSO		
	$P_i$ (MW)	$F_i$ ( $\$/\text{h}$ )	จำนวนรอบ	$P_i$ (MW)	$F_i$ ( $\$/\text{h}$ )	จำนวนรอบ
1	43.18	2705.07		45.06	2803.05	
2	26.17	1732.06		31.64	2017.94	
3	201.94	10350.16		179.68	9213.05	
4	188.71	9737.35		203.62	10516.08	
5	325	15693.86		325	15693.86	
6	315	15197.76		315	15197.76	
Total	1100	55416.27	50	1100	55441.74	200

**ตารางที่ 3** ผลการคำนวณของวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคโดยใช้จำนวนรอบในการคำนวณที่ต่างกัน จากข้อมูลของระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 6 เครื่องซึ่งมีฟังก์ชันราคาค่าเชื้อเพลิงที่ราบเรียบ และไม่มีค่าความสูญเสียของระบบ

จำนวนรอบ	50	100	150	200
$F_i$ (\$/h)	56832.62	56566.42	55990.18	55441.74

จากการคำนวณผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB โดยใช้ข้อมูลในตารางที่ 1 จะได้ผลการทดลองในตารางที่ 2 และ 3 พบว่าวิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่าให้ค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 5 และ 6 เท่ากันกับวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค และให้ค่าเชื้อเพลิงรวมน้อยกว่าวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคอีกทั้งยังใช้จำนวนรอบในการคำนวณน้อย

กว่าวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคถึง 4 เท่า

#### 4.2 กรณีที่ 2

ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่มีฟังก์ชันราคาที่ไม่ราบเรียบอันเนื่องมาจากผลที่เกิดจากจุดวาล์วและพิจารณาค่าความสูญเสียของระบบสำหรับระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 10 เครื่อง

**ตารางที่ 4** ข้อมูลของระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 10 เครื่องซึ่งมีฟังก์ชันราคาที่ไม่ราบเรียบอันเนื่องมาจากผลที่เกิดจากจุดวาล์ว [13]

Unit	$a_i$ (\$/(MW) <sup>2</sup> h)	$b_i$ (\$/MWh)	$c_i$ (\$/h)	$d_i$ (\$/h)	$e_i$ (rad/MW)	$P_{i,min}$ (MW)	$P_{i,max}$ (MW)
1	0.1524	38.5379	786.7988	450	0.041	150	470
2	0.1058	46.1591	451.3251	600	0.036	135	470
3	0.028	40.3965	1049.9977	320	0.028	73	340
4	0.0354	38.3055	1243.5311	260	0.052	60	300
5	0.0211	36.3278	1658.5696	280	0.063	73	243
6	0.0179	38.2704	1356.6592	310	0.048	57	160
7	0.0121	36.5104	1450.7045	300	0.086	20	130
8	0.0124	36.5104	1450.7045	340	0.082	47	120
9	0.109	39.5804	1455.6056	270	0.098	20	80
10	0.1295	40.5407	1469.4026	380	0.094	10	455

ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียการส่งผ่าน (B) = 10-6

49	14	15	15	16	17	17	18	19	20
14	45	16	16	17	15	15	16	18	18
15	16	39	10	12	12	14	14	16	16
15	16	10	40	14	10	11	12	14	15
16	17	12	14	35	11	13	13	15	16
17	15	12	10	11	36	12	12	14	15
17	15	14	11	13	12	38	16	16	18
18	16	14	12	13	12	16	40	15	16
19	18	16	14	15	14	16	15	42	19
20	18	16	15	16	15	18	16	19	44

กำหนดความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบ (PD) เท่ากับ 2000 MW

**ตารางที่ 5** ผลการคำนวณของวิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่าและวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค จากข้อมูลของระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 10 เครื่องซึ่งมีฟังก์ชันราคาที่ไม่ราบเรียบอันเนื่องมาจากผลที่เกิดจากจุดคว่ำและมีค่าความสูญเสียของระบบ

Unit	Cuckoo Search			PSO		
	P <sub>i</sub> (MW)	F <sub>i</sub> (\$/h)	จำนวนรอบ	P <sub>i</sub> (MW)	F <sub>i</sub> (\$/h)	จำนวนรอบ
1	206.78	15599		206.16	15543.87	
2	261.44	20343.2		263.88	20597.34	
3	340	18319.02		340	18319.02	
4	300	15943.61		300	15943.61	
5	243	12000.82		243	12000.82	
6	160	8239.89		160	8239.89	
7	130	6412.11		130	6412.11	
8	120	6110.07		120	6110.07	
9	80	5425.57		80	5425.57	
10	235.1	18439.03		233.32	18297.68	
<b>Total</b>	<b>968.1</b>	<b>56627.49</b>	<b>50</b>	<b>966.32</b>	<b>56486.14</b>	<b>300</b>

**ตารางที่ 6** ผลการคำนวณของวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคโดยใช้จำนวนรอบในการคำนวณที่ต่างกัน จากข้อมูลของระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 10 เครื่องซึ่งมีฟังก์ชันราคาที่ไม่ราบเรียบอันเนื่องมาจากผลที่เกิดจากจุดวาล์ว และมีค่าความสูญเสียของระบบ

จำนวนรอบ	50	100	150	200	250	300
$F_i (\$/h)$	130743.76	130256.08	129482.64	128646.49	127943.62	126889.98

จากการคำนวณผลการทดลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB โดยใช้ข้อมูลในตารางที่ 4 และค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียการส่งผ่านที่ได้ผลการทดลองในตารางที่ 5 และ 6 ซึ่งพบว่าวิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่าให้ค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 ถึง 9 เท่ากันกับวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค และให้ค่าเชื้อเพลิงรวมน้อยกว่าวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคอีกทั้งยังใช้จำนวนรอบในการคำนวณน้อยกว่าวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคถึง 6 เท่า

## 5. สรุปผลการทดลอง

จากการที่ได้ศึกษาการค้นหาแบบนกกาเหว่าพบว่าการค้นหาแบบนกกาเหว่านั้นมีพารามิเตอร์ที่จำเป็นต้องปรับ และจำนวนรอบหรือเวลาในการคำนวณน้อยกว่าในวิธีอื่นๆ จึงเหมาะที่จะนำเอาการค้นหาแบบนกกาเหว่ามาประยุกต์ใช้ในการคำนวณการแก้ปัญหาการ

จ่ายโหลดอย่างประหยัดจากการทดสอบ โดยทดสอบกรณีศึกษา 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 ฟังก์ชันราคาที่ไม่ราบเรียบ และไม่มีค่าความสูญเสียของระบบ สำหรับระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 6 เครื่องและกรณีที่ 2 ฟังก์ชันราคาที่ไม่ราบเรียบอันเนื่องมาจากผลที่เกิดจากจุดวาล์ว และพิจารณาค่าความสูญเสียของระบบสำหรับระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 10 เครื่อง โดยใช้โปรแกรม MATLAB มาช่วยในการคำนวณ แล้วนำผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค พบว่าวิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่านั้นจะได้ค่าเชื้อเพลิงรวมน้อยกว่าวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคอีกทั้งยังใช้จำนวนรอบในการคำนวณน้อยกว่าวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคและนอกจากนี้วิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่ายังมีพารามิเตอร์ที่ต้องปรับไม่มาก ทำให้สามารถปรับค่าและคำนวณได้ง่ายและรวดเร็วขึ้น

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Walters, D.C. and Sheble, G.B. 1993. Genetic Algorithm Solution of Economic Dispatch with Valve Point Loading, pp. 1325-1332. Power Systems, IEEE Transactions on Vol.8(3).
- [2] Eberhart, R. and Kennedy, J. 1995. A new optimizer using particle swarm theory, pp. 39-43. Micro Machine and Human Science, 1995. MHS '95., Proceedings of the Sixth International Symposium on. 4-6 October 1995, Indianapolis, IN, USA.

- [3] Attaviriyapap, P., Kita, H., Tanaka, E. and Hasegawa, J. 2002. A Hybrid EP and SQP for Dynamic Economic Dispatch with Nonsmooth Fuel Cost Function, pp. 411-416. IEEE Trans. on Power Systems Vol.17(2).
- [4] Yang, X.S. and Deb,S. 2009. Cuckoo Search via Lévy flights,pp. 210 - 214.2009 World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC 2009). 9-11 December 2009, Coimbatore, India.
- [5] วิลาสินี ศึกษาการ. 2551. การจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่มีฟังก์ชันราคาที่ไม่ราบเรียบโดยใช้วิธีทำให้เหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาคร่วมกับวิธีโปรแกรมกำลังสองแบบลำดับ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- [6] Yang, X.S. and Deb, S. 2012. Cuckoo Search for Business Optimization Applications, pp. 1-5. 2012 National Conference on Computing and Communication Systems (NCCCS). 21-22 November 2012, Durgapur, West Bengal, India.
- [7] Rani, K.N.A. and Malek, F. 2011. Symmetric Linear Antenna Array Geometry Synthesis using Cuckoo Search Metaheuristic Algorithm, pp. 374-379. In 2011 17th Asia-Pacific Conference on Communications. 2-5 October 2011, Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia.
- [8] กิตติพงษ์รัฐศิริไพศาล, สิริภัทรเชี่ยวชาญวัฒนาและ คำรณสุนันต์. 2555. เพิ่มความถูกต้องของตัวแบบซัพพอร์ตเวกเตอร์แมทซ์แบบค่ากำลังสองน้อยที่สุดด้วยขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบนกดูเหว่า,น.316-323. การประชุมวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 13. 17 กุมภาพันธ์ 2555, มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น.
- [9] Rani, K.N.A. and Malek, F. 2011. Preliminary Study on Cuckoo Search Parameters for Symmetric Linear Array Geometry Synthesis, pp. 568-572. TENCON 2011 - 2011 IEEE Region 10 Conference. 21-24 November 2011, Bali, Indonesia.
- [10] Soneji, H. and Sanghvi,R.C. 2012. Towards the Improvement of Cuckoo Search Algorithm, pp. 878-883. 2012 World Congress on Information and Communication Technologies (WICT). 30 October-2 November 2012, Trivandrum, India.
- [11] Yang, X.S. and Deb,S. 2010. Engineering Optimisation by Cuckoo Search,pp. 330 - 343. International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation, Vol.1(4).
- [12] UğurGüvenç. 2010. Combined economic emission dispatch solution using genetic algorithm based on similarity crossover, pp. 2451-2456. Scientific Research & Essays Vol. 5(17).
- [13] Elshahed, M.A., Elmarsfawy, M.M., and Eldain, H.M.Z. 2011. A New Economic Dispatch Constrained by Correlated Weibull Probability Distribution Model for Wind Power, pp. 1-6. Innovative Smart Grid Technologies - Middle East.17-20 December 2011, Saudi Arabia.