การจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยพิจารณาการสูญเสียในสายส่งด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม

พิเชษฐ์ ศรียรรยงค์[1*] และ ธนาธร จานโอ[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมในการแก้ปัญหาการวางแผนการจ่ายโหลดอย่างประ หยัดโดยได้พิจารณาถึงการสูญเสียในสายส่งและนำข้อจำกัดต่าง ๆ มาร่วมพิจารณาด้วย เช่นข้อจำกัดทางความต้องการของระบบและข้อจำกัดทางพิกัดของเครื่องกำเนิด โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะเพิ่มขีดความสามารถในการหาคำตอบของวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยการนำวิธีการฮิวริสติกมาช่วยปรับปรุงคุณภาพประชากรของวิธีการเชิงพันธุกรรม เพื่อให้สอดคล้องกับเงื่อนไขและข้อจำกัดต่าง ๆ ของระบบ โดยสำหรับวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ได้พัฒนาจะถูกนำมาทดสอบกับระบบมาตรฐาน ซึ่งประกอบไปด้วยระบบซึ่งมีลักษณะของสมการทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบเรียบและแบบไม่เรียบ นอกจากนั้นยังได้นำการสูญเสียในสายส่งมาร่วมพิจารณาด้วย โดยจากผลของการทดสอบสามารถสรุปได้ว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมที่นำเสนอเป็นวิธีการหนึ่งที่มีศักยภาพในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดซึ่งพิจารณาเงื่อนไขและข้อจำกัดอื่น ๆ ซึ่งเป็นลักษณะของปัญหาในทางปฏิบัติได้

คำสำคัญ: การจ่ายโหลดอย่างประหยัด วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการฮิวริสติก

[1] อาจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
[2] นักศึกษา ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-2913-2500 ต่อ 3343 E-mail : psyy@kmutnb.ac.th

Economic Dispatch with Transmission Network Losses Using Genetic Algorithm

Pichet Sriyanyong[1*] and Thanathorn Jan-o[2]

Abstract

This research presents the development of Genetic Algorithm (GA) method application in Economic Dispatch (ED) problem considering transmission line losses as well as the operating constraints i.e. power balance constraint, and operating limit constraints. The main aim of this research is to enhance the performance of the traditional Genetic Algorithm by combining with a heuristic approach so as to improve the quality of the population and prevent the solutions from violating the constraints.

The performance of the proposed GA method is validated by testing on two of different characteristics of cost function. In this study, two different cost functions are therefore adopted as follows: (1) ED problem with smooth cost function, (2) ED problem with non-smooth cost function. In addition, the transmission network losses are taken into account as well. The outcome from the experiment shows that the proposed GA method has provided a good performance compared with the traditional methods. Moreover, it can be applied to solve ED problem considering other constraints that make the ED problem more practical.

Keywords: Economic Dispatch, Genetic Algorithm, Heuristic Approach

[1] Lecturer, Department of Teacher Training in Electrical Engineering, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

[2] Student, Department of Teacher Training in Electrical Engineering, Faculty of Technical Education, King Mongkut's University of Technology North Bangkok.

[*] Corresponding Author Tel.0-2913-2500 ext. 3343 E-mail: psyy@kmutnb.ac.th

1. บทนำ

การวางแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าที่คำนึงถึงหลักทางเศรษฐศาสตร์หรือที่เรียกอีกอย่างว่าการวางแผนการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch: ED) เป็นปัญหาที่มีความสำคัญปัญหาหนึ่งในการวางแผนเกี่ยวกับการดำเนินงานในการจัดการกับระบบไฟฟ้ากำลัง โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อที่จะลดต้นทุนการผลิต ซึ่งเกิดจากผลรวมของต้นทุนการผลิตในเครื่องกำเนิดแต่ละตัวขณะ ที่โหลดต้องได้รับ กำลังไฟฟ้าเพียงพอกับความต้องการ โดยก่อนหน้านี้มีการนำเอาวิธีการต่าง ๆ มาแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด โดยพิจารณาฟังก์ชั่นราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเป็นฟังก์ชั่นพหุนามกำลังสอง (Quadratic Function) ดังเช่น วิธีการทำซ้ำแลมดา (Lambda Iteration Method) วิธีเกรเดียน (Gradient Method) และวิธีนิวตัน (Newton's Method) ฯลฯ [1]แต่ในความเป็นจริงฟังก์ชั่นราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดสมัยใหม่มีลักษณะของฟังก์ชั่นที่ไม่ต่อเนื่องและมีความไม่เป็นเชิงเส้นสูง เนื่องจากผลของ Value Point Loading [2] โซนต้องห้ามในการเดินเครื่องกำเนิด (Prohibited Operating Zone) [3] และข้อจำกัดทางอัตราการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิด (Ramp Rate Constraint) [4] ยิ่งไปกว่านั้นโดยทางปฏิบัติผลของการสูญเสียในสายส่งจะถูกนำมาร่วมในการพิจาณาด้วย ซึ่งในปัจจุบันนี้จะเห็นได้ว่ามีงานวิจัยต่าง ๆ ได้นำเอาวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) มาใช้กันอย่างแพร่หลายในงานที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมในสาขาต่าง ๆ เช่นเดียวกับในสาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลังได้มีการนำวิธีการเชิงพันธุกรรมมาประยุกต์ในแก้ปัญหาต่าง ๆ มากมายดังเช่นปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch Problem) [5, 6], ปัญหายูนิตคอมมิตเมนต์ (Unit Commitment Problem) [7], ปัญหาการจัดเรียงสายป้อนในระบบจำหน่ายแบบเรเดียล (Network Reconfiguration in Radial Distribution System Problem) [8], ปัญหาการวางแผนการขยายสายส่ง (Transmission Network Expansion Planning Problem) [9] เป็นต้น

โดยวิธีการเชิงพันธุกรรมมีหลักการพื้นฐานมาจากทฤษฎีวิวัฒนาการทางธรรมชาติของ Charles Dawin ที่กล่าวว่าผู้ที่แข่งแกร่งกว่ายอมมีโอกาสจะอยู่รอดมากกว่าผู้ที่อ่อนแอ และสามารถถ่ายทอดคุณลักษณะเด่นไปยังรุ่น (Generation) ถัดไปได้ โดยข้อดีในการหาคำตอบของวิธีเชิงพันธุกรรมจะทำการหาคำตอบหลายจุดไปพร้อมกันหรือที่เรียกว่าการค้นหาแบบขนาน (Parallel Search) ซึ่งมีโอกาสในการพบคำตอบที่ดีที่สุดของฟังก์ชันเป้าหมายที่พิจารณา (Objective Function) [10, 11] ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงได้นำเสนอแนวความคิดที่จะพัฒนาวิธีการเชิงพันธุกรรมและประยุกต์ในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด นำผลของการสูญเสียในสายส่งมาร่วมพิจารณาด้วย ซึ่งจะส่งผลให้ปัญหามีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch Problem: ED) ถือเป็นปัญหาที่สำคัญในการดำเนินการผลิตกำลังไฟฟ้าที่คำนึงถึงหลักเศรษฐศาสตร์และมีวัตถุประสงค์หลักในการแก้ปัญหาคือมุ่งเน้นที่จะวางแผนการจ่ายโหลดโดยมีต้นทุนในการผลิตกำลังไฟฟ้าต่ำที่สุด ในขณะที่โหลดต้องได้รับกำลังไฟฟ้าที่เพียงพอกับความต้องการซึ่งต้นทุนในการผลิตกำลังไฟฟ้าคำนวณได้จากราคาเชื้อเพลิงรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องโดยสามารถนำมาสร้างเป็นสมการได้ดังนี้ [1, 12]:

$$Minimize\ F_{Total} = \sum_{i=1}^{n} F_i\left(P_i\right) \qquad (1)$$

เมื่อ i แทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและ n แทนจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบไฟฟ้าทั้งหมด สมการที่ (1) แทนฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) ที่ต้องการหาค่าต้นทุนในการผลิตกำลังไฟฟ้ารวมที่น้อยที่สุดโดยมีเงื่อนไขว่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมานั้นจะต้องมีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการรวมกับกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบดังสมการที่ (2) ตลอดจน

คำนึงถึงข้อจำกัดทางพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องดังสมการที่ (3) ตามลำดับ

$$\sum_{i=1}^{n}(P_i) - P_D - P_L = 0 \qquad (2)$$

$$P_{i,\min} \le P_i \le P_{i,\max}, i = 1,2,...,N \qquad (3)$$

โดยกำลังไฟฟ้าสูญเสียจากสายส่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้ [13]

$$P_L = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^{n} B_{0i} P_i + B_{00} \qquad (4)$$

ซึ่งฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังความร้อนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทคือสมการทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบเรียบ (Smooth Cost) และที่เป็นแบบไม่เรียบ (Non-Smooth Cost)

ดังแสดงในสมการที่ (5) และ (6) โดยลักษณะต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบเรียบและแบบไม่เรียบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1 และ2 ตามลำดับ [1, 14]

$$F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i \qquad (5)$$

$$F_i(P_i) = a_i P_i^2 + b_i P_i + c_i + \left| e_i \times \sin\left(f_i \times (P_{i,\min} - P_i) \right) \right| \qquad (6)$$

เมื่อ

F_{Total} คือต้นทุนรวมในการผลิตกำลังไฟฟ้า $\$/h$

a_i, b_i, c_i, e_i, f_i คือ สัมประสิทธิ์ราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

P_i คือ กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i , (*MW*)

P_D คือ กำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการ (*MW*)

P_L คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่ง (*MW*)

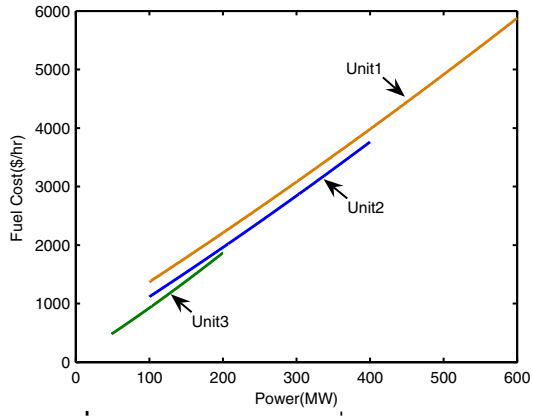
B_{ij} คือ สัมประสิทธิ์ความสูญเสีย

$P_{i,\min}$ คือ กำลังผลิตต่ำสุดของเครื่องกำเนิด i , (*MW*)

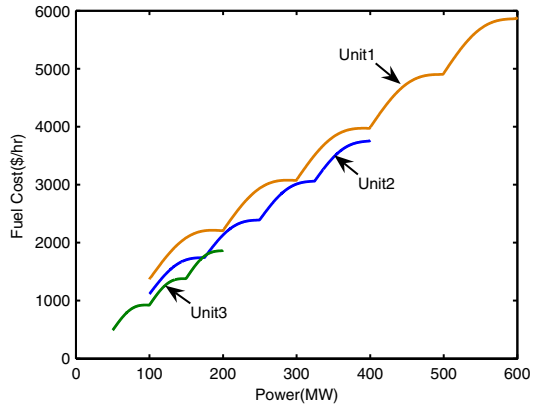
$P_{i,\max}$ คือ กำลังผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิด i , (*MW*)

2.2 วิธีการเชิงพันธุกรรม

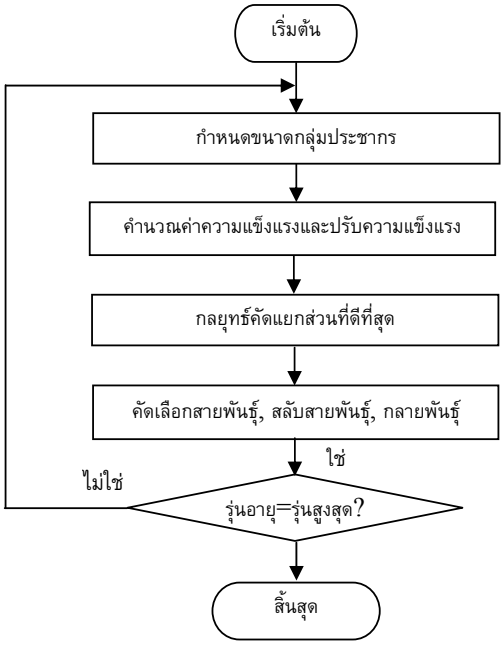
วิธีการเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีที่มีลักษณะในการค้นหาคำตอบแบบสุ่ม (Stochastic Search) หรือเป็นเทคนิคการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Technique) โดยจะอ้างอิงแนวความคิดของดาร์วิน (Charles Darwin) ในเรื่องของการอยู่รอดของผู้ที่แข็งแรงที่สุด หรือผู้มีความเหมาะสมโดยแนวความคิดในการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรม จะเป็นไปในลักษณะของการค้นหาคำตอบแบบคู่ขนาน (Parallel search) โดยคำตอบที่ได้จากการค้นหาในหนึ่งรุ่น (Generation) นั้นจะผ่านการแปลง (Transformation) เพื่อที่จะนำไปสู่การค้นหาคำตอบที่ดีขึ้นในรุ่นถัดไป การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับคำตอบ (Solution) ภายในกลุ่มประชากร (Population) หนึ่งรุ่นนั้นจะเป็นไปเพื่อการสำรวจพื้นที่ในการค้นหา (Search space) และส่งเสริมให้มีการถ่ายทอดคุณลักษณะที่ดีของคำตอบที่ค้นพบในรุ่นปัจจุบันไปยังรุ่นถัดไป [10, 11] โดยสามารถแสดงแผนผังการทำงานเบื้องต้นของวิธีการเชิงพันธุกรรมดังรูปที่ 3



รูปที่ 1 ลักษณะต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบเรียบ



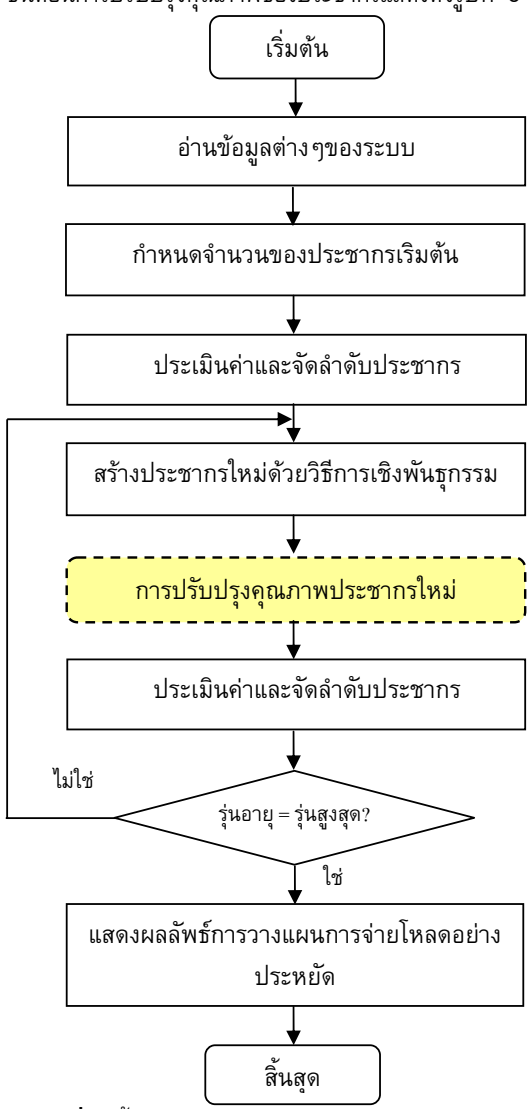
รูปที่ 2 ลักษณะต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบไม่เรียบ



รูปที่ 3 แผนผังการทำงานเบื้องต้นของวิธีการเชิงพันธุกรรม

3. การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยพิจารณาการสูญเสียของระบบด้วย วิธีการเชิงพันธุกรรม

วิธีการเชิงพันธุกรรม เป็นวิธีการแก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่มีขั้นตอนแบบเชิงความน่าจะเป็น (Stochastic Algorithm) ที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Global Optimal Solution) ของฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) โดยการหาคำตอบจะอาศัยขั้นตอนการหาคำตอบของฟังก์ชันเป้าหมาย โดยขั้นตอนการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรมสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 ซึ่งถ้าพิจารณาในขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพประชากรใหม่ จะสามารถกล่าวได้ว่าเป็นขั้นตอนที่ได้สร้างขึ้นมาเพื่อปรับปรุงคุณภาพของประชากรที่ได้จากการดำเนินงานของ วิธีการเชิงพันธุกรรมเพื่อให้ประชากรมีคุณภาพดีขึ้น [15] ซึ่งแนวความ คิดในการปรับปรุงคุณภาพของประชากรนั้น จะพิจารณาถึงข้อจำกัดทางความสมดุลของระบบ รวมไปถึงขีดจำกัดของกำลังการผลิตด้วย ตัวอย่างเช่นถ้าในระหว่างขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของประชากรมีประชากรที่มีค่าเกินกว่าข้อจำกัดทางพิกัดของเครื่องกำเนิดก็จะต้องถูกปรับให้อยู่ภายใต้พิกัดของเครื่องกำเนิดเป็นต้น ซึ่งถ้าปราศจากการปรับปรุงคุณภาพของประชากรแล้วคำตอบที่ได้อาจจะเป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution) โดยจะส่งผลให้วิธีการเชิงพันธุกรรมใช้เวลาในการค้นหาคำตอบนานยิ่งขึ้น ซึ่งขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของประชากรแสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 ขั้นตอนการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้นงานวิจัยชิ้นนี้จะนำผลของการสูญเสียในสายส่งมาร่วมพิจารณาด้วยนั้น

ในส่วนของวิธีการเชิงพันธุกรรมยังคงมีแนวความคิดในการแก้ ปัญหาเช่นเดียวกับ แบบที่ไม่พิจารณากำลังไฟฟ้าสูญ เสียดังแสดงในรูปที่ 4 แต่ได้มีการเพิ่มเติมในส่วนของ การคำนวณกำลังไฟฟ้าที่สูญเสีย ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งจะถูกคำนวณโดย ค่าสัมประ สิทธิ์ความสูญเสีย (B loss coefficients) ซึ่งมีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน ดังนั้นจึงเป็นวิธีการที่ได้รับความนิยมในการนำมาคำนวณหากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบไฟฟ้า [16, 17] หลังจากขั้นตอนนี้จึงนำผลคำตอบที่ได้ไปปรับปรุงคุณภาพประชากรใหม่อีกครั้ง

4. ผลการทดสอบ

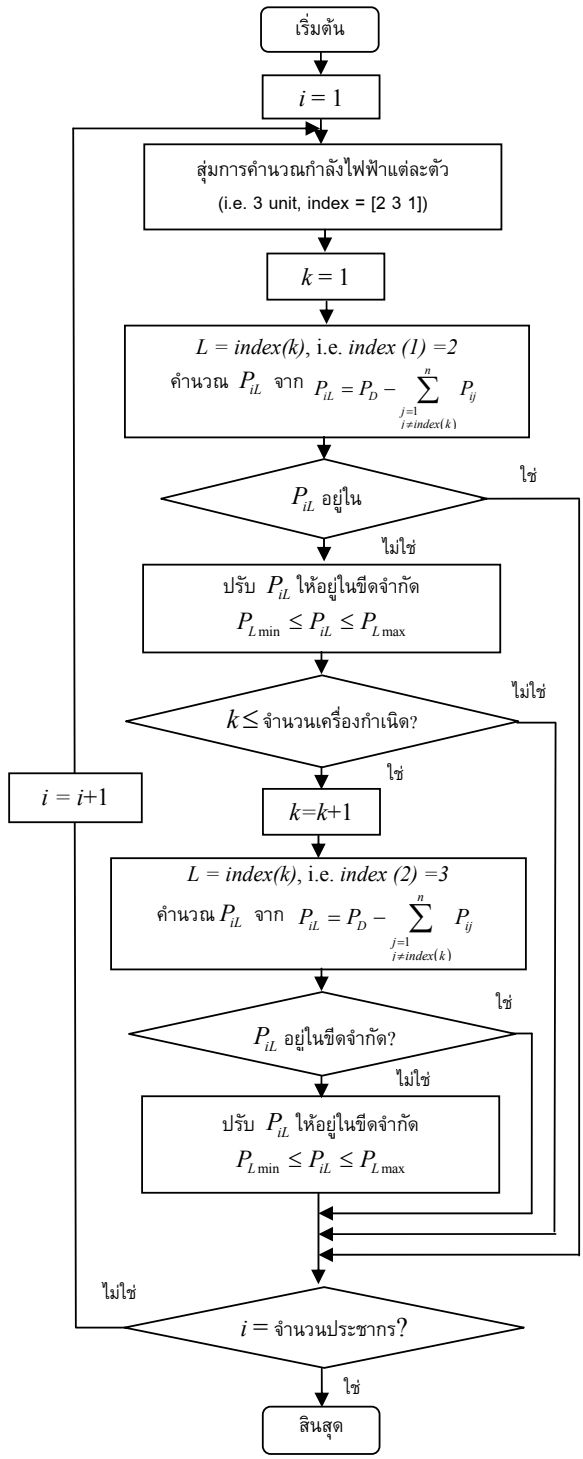
ในส่วนนี้วิธีการเชิงพันธุกรรมที่ได้นำเสนอจะถูกนำมาออกแบบ สร้างและทดสอบความสามรถในการค้นหาคำตอบ โดยนำโปรแกรม MATLAB เป็นเครื่องมือในการจำลองกรณีศึกษาทั้งสามกรณีดังนี้

กรณีศึกษาที่ 1 : ระบบมาตรฐาน IEEE ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิด 3 ตัวที่มีลักษณะของสมการทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบเรียบ (Smooth Cost) [1]

กรณีศึกษาที่ 2 : ระบบมาตรฐาน IEEE ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิด 3 ตัวที่มีลักษณะของสมการทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบไม่เรียบ (Non-Smooth Cost) [14] โดยในกรณีศึกษาที่ 1 และ 2 ซึ่งจะมีความต้องการของโหลด 850.00 MW แต่จะไม่พิจารณาการสูญเสียในสายส่ง

กรณีศึกษาที่ 3 : ระบบมาตรฐาน IEEE ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิด 6 ตัว, 26 บัส, สายส่ง 46 เส้นที่พิจารณาการสูญเสียในระบบ และตอบสนองความต้องการของโหลด 1263.00 MW [13] ซึ่งข้อมูลเครื่องกำเนิดสามารถแสดงรายละเอียดในภาคผนวก และในการทดสอบมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของวิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) ดังต่อไปนี้

- จำนวนประชากร (Population) = 100
- รอบการทำงานสูงสุด (Generation) = 50
- อัตราการข้ามสายพันธ์ (Crossover Rate) = 0.8
- อัตราการกลายพันธุ์ (Mutation Rate) = 0.01



รูปที่ 5 ขั้นตอนของการปรับปรุงคุณภาพประชากรใหม่

นอกจากนั้นเพื่อเป็นการยืนยันผลการทดลองที่ได้ในแต่ละครั้งของการการลู่เข้าสู่คำตอบสุดท้ายของวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ได้นำเสนอ ที่อาจไม่เท่ากันเนื่องจากกระบวนการสุ่มของวิธีการเชิงพันธุกรรม ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงได้ทำการทดสอบวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ได้นำเสนอในแต่ละกรณีศึกษาเป็นจำนวน 10 ครั้ง โดยจะแสดงเป็นผลทางสถิติซึ่งประกอบไปด้วย 1) ต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด (Best cost) 2) ต้นทุนการผลิตเฉลี่ย (Mean cost) 3) ต้นทุนการผลิตสูงสุด (Maximum cost) และ 4) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) นอกจากนั้นยังแสดงผลการเปรียบเทียบกับวิธีการต่าง ๆ รวมถึงการแสดงผลของการลู่เข้าสู่คำตอบ

จากผลการทดลองสำหรับกรณีศึกษาที่ 1 ในตารางที่ 1 สามารถกล่าวได้ว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ได้พัฒนาสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ในทุกครั้งของการทดลองตารางที่ 2 แสดงผลการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้ระหว่าง วิธีการเชิงตัวเลข (Numerical Method: NM) [1] ซึ่งจากการสืบค้นวรรณกรรมแสดงให้เห็นว่าเป็นวิธีการที่สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้ (Global Solution) และเป็นวิธีการที่นิยมนำมาใช้ในการอ้างอิงสำหรับกรณีศึกษานี้ [12, 18, 19] โดยจะมีคำตอบที่เหมาะสมที่สุดคือ 8194.36 ($/h)

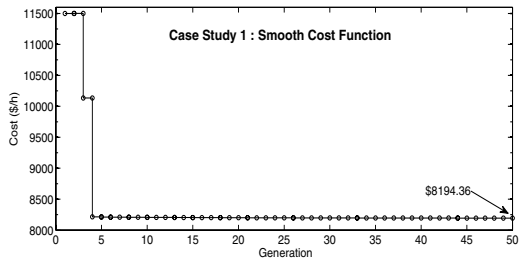
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ถูกนำเสนอ สามารถจ่ายโหลดโดยมีต้นทุนเชื้อในการผลิตกำลังไฟฟ้าเท่ากับคำตอบที่ดีที่สุด หรืออาจกล่าวได้ว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมที่นำเสนอมีศักยภาพในการหาคำตอบ สำหรับการลู่เข้าสู่คำตอบของวิธีการเชิงพันธุ์กรรมสำหรับกรณีศึกษาที่ 1 ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยจะเห็นได้มีการลู่เข้าสู่คำตอบตั้งแต่รอบการคำนวณที่ 4 หลังจากก็จะคงที่จนกระทั่งถึงรอบการคำนวณรอบสุดท้าย

ตารางที่ 1 ผลการทดลองทางสถิติของวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ได้นำเสนอในกรณีศึกษาที่ 1

GA	
ต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด (Best cost)	8194.36
ต้นทุนการผลิตเฉลี่ย (Mean cost)	8194.36
ต้นทุนการผลิตที่สูงที่สุด (Max. cost)	8194.36
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Std. Dev.)	0

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการทดลองในกรณีศึกษาที่ 1

P(MW)	NM [1]	GA
P_1	393.170	393.170
P_2	334.604	334.604
P_3	122.226	122.226
F_{Total}($/hr)	8194.36	8194.36



รูปที่ 6 การลู่เข้าสู่คำตอบของวิธีการเชิงพันธุ์กรรมสำหรับกรณีศึกษาที่ 1

จากผลการทดลองสำหรับกรณีศึกษาที่ 2 ตารางที่3 กล่าวได้ว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ได้พัฒนาสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ แต่อย่างไรก็ตามสำหรับต้นทุนการผลิตที่แบบไม่เรียบในกรณีศึกษานี้ ส่งผลให้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น และส่งผลให้คำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) จะประกอบไปด้วยคำตอบแบบที่เป็นแบบ Global และ Local

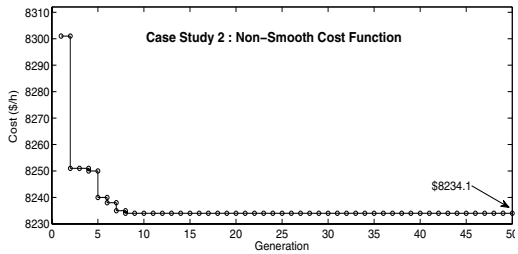
ตารางที่ 4 แสดงผลการแก้ปัญหาของกรณีศึกษาที่ 2 โดยเปรียบเทียบคำตอบระหว่าง วิธีการเชิงพันธุกรรมแบบดังเดิม [14] และวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ได้นำเสนอ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ได้นำเสนอ มีต้นทุนเชื้อเพลิงในการผลิตกำลังไฟฟ้าถูกที่สุดคือ 8234.1 ($/h) ซึ่งต่ำกว่าคำตอบที่ได้ของวิธีการแบบดั้งเดิมคือ 8237.6 ($/h) นั้นเป็นเพราะว่าวิธีการที่ได้พัฒนาได้มีการปรับปรุงคุณภาพของประชากรและนำเอาข้อจำกัดต่าง ๆ เข้ามาร่วมพิจารณาในทุกๆรอบการคำนวณจึงทำให้คำตอบที่ได้มีค่าต่ำกว่า คำตอบที่ได้จากวิธีการเชิงพันธุกรรมแบบดั้งเดิม โดยรูปที่ 7 จะแสดงการลู่เข้าสู่คำตอบของวิธีการเชิงพันธุ์กรรมสำหรับกรณีศึกษาที่ 2 ซึ่งก็สามารถสรุปได้ว่าวิธีการที่ได้นำเสนอมียังคงมีการลู่เข้าสู่คำตอบตั้งแต่รอบการคำนวณต้น ๆ เช่นเดียว กับกรณีศึกษาที่ 1

ตารางที่ 3 ผลการทดลองทางสถิติของวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ได้นำเสนอในกรณีศึกษาที่ 2

GA	
ต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด (Best cost)	8234.1
ต้นทุนการผลิตเฉลี่ย (Mean cost)	8237.1
ต้นทุนการผลิตที่สูงที่สุด (Max. cost)	8241.6
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Std. Dev.)	3.8730

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลการทดลองในกรณีศึกษาที่ 2

P(MW)	GA [14]	GA
P_1	300	300.267
P_2	400	400.000
P_3	150	149.733
F_{Total}($/hr)	8237.6	8234.1



รูปที่ 7 การลู่เข้าสู่คำตอบของวิธีการเชิงพันธุ์กรรมสำหรับกรณีศึกษาที่ 2

จากผลการทดลองสำหรับกรณีศึกษาที่ 3 ตารางที่ 5 แสดงผลการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด โดยทดสอบกับระบบมาตรฐาน IEEE (เครื่องกำเนิด 6 ตัว, 26 บัส, สายส่ง 46 เส้น) ที่พิจารณาการสูญเสียในระบบ ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ได้พัฒนาสามารถหาคำตอบได้ในทุกครั้งของการคำนวณนั่นแสดงให้เห็นว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมที่นำเสนอมีศักยภาพในการแก้ปัญหา

จากตารางที่ 6 แสดงผลการเปรียบเทียบคำตอบระหว่างวิธีการทำซ้ำแลมดา (Lambda Iteration: LI) [13] และวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ได้นำเสนอ โดยผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมมีต้นทุนในการผลิตกำลังไฟฟ้าคือ 15447.48 ($/h) ซึ่งต่ำกว่าคำตอบที่ได้จากวิธีการทำซ้ำแลมดาคือ 15447.72 ($/h) ถึงแม้ว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นของวิธีการทำซ้ำแลมดา (12.8003 MW) จะมีค่าน้อยกว่าของวิธีการวิธีการเชิงพันธุกรรมก็ตาม (12.9260 MW) นั้นเป็นเพราะว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมไม่ยึดติดกับฟังก์ชันเป้าหมายและคำตอบที่ได้เนื่องจากเป็นการสุ่ม ตลอดจนมีการปรับปรุงคุณภาพประชากรตลอดการหาคำตอบ จึงทำให้วิธีการเชิงพันธุกรรมสามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้

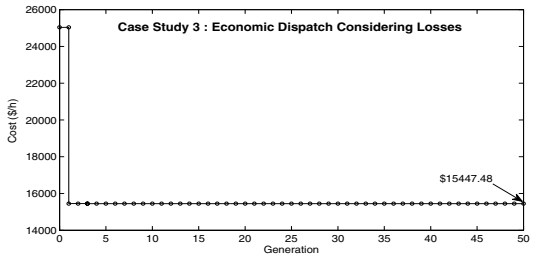
อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดจะมุ่งเน้นที่ต้นทุนในการผลิตที่ต่ำที่สุดแต่ปัญหาการลดการสูญเสียในระบบ (Loss Minimization) ก็เป็นอีกปัญหาหนึ่งที่มีความสำคัญซึ่งต้องพิจารณาควบคู่ไปในขณะเดียวกัน ดังนั้นการลดการสูญเสียในระบบจะถูกนำมาพิจารณาร่วมกับปัจจัยอื่นๆ ในงานวิจัยในครั้งต่อไป สำหรับการลู่เข้าสู่คำตอบของวิธีการเชิงพันธุ์กรรมสำหรับกรณีศึกษาที่ 3 ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยจะสังเกตได้ว่าสามารถลู่เข้าสู่คำตอบได้ตั้งแต่ในรอบการคำนวณต้น ๆ ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่าวิธีการที่ได้พัฒนามีขีดความสามารถในหาคำตอบได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 5 ผลการทดลองทางสถิติของวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ได้นำเสนอในกรณีศึกษาที่ 3

GA	
ต้นทุนการผลิตที่ต่ำที่สุด (Best cost)	15447.48
ต้นทุนการผลิตเฉลี่ย (Mean cost)	15447.48
ต้นทุนการผลิตที่สูงที่สุด (Max. cost)	15447.49
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Std. Dev.)	0.0032

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบผลการทดลองในกรณีศึกษาที่ 3

P(MW)	LI [13]	GA
P_1	447.6919	449.2436
P_2	173.1938	173.1157
P_3	263.4859	266.0895
P_4	138.8142	127.1913
P_5	165.5884	174.3313
P_6	87.026	85.9549
P_{loss}	12.8003	12.9260
F_{Total}($/hr)	15447.72	15447.48



รูปที่ 8 การลู่เข้าสู่คำตอบของวิธีการเชิงพันธุกรรม สำหรับระบบที่พิจารณาการสูญเสียในสายส่ง

5. สรุป

งานวิจัยชิ้นนี้นำเสนอการแก้ปัญหาการวางแผนการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่พิจารณาการสูญเสียของระบบ โดยการนำวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) และวิธีการฮิวริสติก (Heuristic) มาแก้ปัญหา ซึ่งวิธีการฮิวริสติกจะช่วยปรับปรุงคุณภาพของประชากรของวิธีการเชิงพันธุกรรม ให้เป็นประชากรที่มีคุณภาพและสอดคล้องกับเงื่อนไขข้อจำกัดต่าง ๆ โดยโปรแกรมการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยพิจารณาความสูญเสียของระบบด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรมถูกออกแบบและสร้างโดยโปรแกรม MATLAB ซึ่งโปรแกรมที่ได้จะถูกนำมาทดสอบประสิทธิภาพกับระบบมาตรฐาน IEEE จำนวน 3 ระบบ ซึ่งประกอบไปด้วย 1) ระบบที่มีลักษณะของสมการทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบเรียบ 2) ระบบที่มีลักษณะของสมการทางคณิตศาสตร์ของต้นทุนการผลิตที่เป็นแบบไม่เรียบ และ 3) ระบบที่มีการพิจารณาการสูญเสียในระบบ โดยสามารถสรุปผลการทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาการวางแผนการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่พิจารณาการสูญเสียของระบบได้ว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ได้นำเสนอให้ผลลัพธ์เป็นที่น่าพึงพอใจเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการแก้ปัญหาแบบดั้งเดิม ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ได้นำเสนอจะไม่ยึดติดกับรูปแบบของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการนำวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ได้พัฒนาไปปรับปรุงและ ประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นในงานวิจัยชิ้นต่อไป ดังเช่นปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดที่พิจารณาถึงโซนต้องห้ามในการเดินเครื่องกำเนิด (Prohibited Operating Zone) และยังรวมไปถึงพิจารณาถึงข้อจำกัดทางอัตราการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิด (Ramp Rate Constraint) ตลอดจนประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการลดการสูญเสียในระบบให้น้อยที่สุด (Loss Minimization)

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เอกสารอ้างอิง

[1] A. J.Wood and B. F. Wollenberq, *Power Generation, Operation & Control*, 2 ed. New York: John Wiley, 1984.

[2] N. Sinha, R. Chakrabarti, and P. K. Chattopadhyay, "Evolutionary programming techniques for economic load dispatch," *IEEE Trans. Evol. Comput.*, vol. 7, pp. 83 - 94, Feb. 2003.

[3] S. O. Orero and M. R. Irving, "Economic dispatch of generators with prohibited operating zones: a genetic algorithm approach," *Proc. Inst. Elect. Eng. Gen. Trans. Distrib.*, vol. 143, pp. 529 - 534, Nov. 1996.

[4] C. Wang and S. M. Shahidehpour, "Effects of ramp-rate limits on unit commitment and economicdispatch," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 8, pp. 1341-1350, Aug. 1993.

[5] D.-k. He, F.-l. Wang, and Z.-z. Mao, "Hybrid genetic algorithm for economic dispatch with valve-point effect," *International Journal of Electric Power System Research*, vol. 78, pp. 626-633, April 2008.

[6] G. Zhang, H. Y. Lu, G. Li, and H. Xie, "A New Hybrid Real-Coded Genetic Algorithm and Application in Dynamic Economic Dispatch," *in proc. of Int. Conf. The Sixth*

World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA 2006) pp. 3627-3632, June 2006.

[7] C. W. Richter and G. B. Sheble, "A profit-based unit commitment GA for the competitive environment," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 15, pp. 715 - 721 May, 2000.

[8] P. V. Prasad, S. Sivanagaraju, and N. Sreenivasulu, "Network Reconfiguration for Load Balancing in Radial Distribution Systems Using Genetic Algorithm," *Electric Power Components and Systems*, vol. 36, pp. 63 - 72, Jan. 2008.

[9] E. L. d. Silv, H. A. Gil, and J. M. Areiza, "Transmission Network Expansion Planning Under An Improved Genetic Algorithm," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 15, pp. 1168 - 1174, Aug. 2000.

[10] S. N. Sivanandam and S. N. Deepa, *Introduction to Genetic Algorithms*. New York: Springer, 2008.

[11] Z. Michalewicz, *Genetic algorithms + data structures = evolution programs*, 3rd edition ed: Springer-Verlag, 1996.

[12] J.H.Park, Y.S.Kim, I.K.Eom, and K.Y.Lee, "Economic load dispatch for piecewise quadratic cost function using Hopfield neural network," *IEEE Trans. Power Syst*, vol. 8, pp. 1030-1038, Aug. 1993

[13] H. Saadat, *Power Systems Analysis*, 2 ed. Singapore: McGraw-Hill Companies, 2004.

[14] D. C. Walters and G. B. Sheble, "Genetic algorithm solution of economic dispatch with valve point loading," *IEEE Trans. Power Syst*, vol. 8, pp. 1325 - 1332, Aug. 1993.

[15] P. Sriyanyong, Y. H. Song, and P. J. Turner, "Particle Swarm Optimisation for Operational Planning: Unit Commitment and Economic Dispatch," in *Evolutionary Scheduling (Studies in Computational Intelligence)*, vol. 49, K. Dahal, K. C. Tan, and P. I. Cowling, Eds.: Springer-Verlag Feb, 2007, pp. 313-348.

[16] D. Lukman and T. R. Blackburn, "Loss minimization in load flow simulation in power system," *In proc. of Int. Conf. on Power Electronics and Drive Systems*, vol. 1, pp. 84-88, Oct. 2001.

[17] Z.-L. Gaing, "Particle swarm optimization to solving the economic dispatch considering the generator constraints," *IEEE Trans. Power Syst*, vol. 18, pp. 1187 - 1195, Aug. 2003.

[18] Y.-M. Park, J. R. Won, and J. B. Park, "A new approach to economic load dispatch based on improved evolutionary programming," *Eng. Intell. Syst. Elect. Eng. Commu.*, vol. 6, pp. 103-110, Jun. 1998.

[19] J.-B. Park, K.-S. Lee, J.-R. Shin, and Kwang Y. Lee, "A particle swarm optimization for economic dispatch with nonsmooth cost functions," *IEEE Trans. Power Syst*, vol. 20, pp. 34-42, Feb. 2005

ภาคผนวก

ก .ข้อมูลเครื่องกำเนิดสำหรับกรณีศึกษาที่ 1

Gen	P_{min}	P_{max}	*a*	*b*	*c*
1	150	600	0.001562	7.92	561
2	100	400	0.001940	7.85	310
3	50	200	0.004820	7.97	78

ข. ข้อมูลเครื่องกำเนิดสำหรับกรณีศึกษาที่ 2

Gen	P_{min}	P_{max}	*a*	*b*	*c*	*e*	*f*
1	100	600	0.001562	7.92	561	300	0.0315
2	100	400	0.001940	7.85	310	200	0.042
3	50	200	0.004820	7.97	78	150	0.063

ค. ข้อมูลเครื่องกำเนิดสำหรับกรณีศึกษาที่ 3

Gen	P_{min}	P_{max}	*a*	*b*	*c*
1	100	500	0.0070	7.0	240
2	50	200	0.0095	10.0	200
3	80	300	0.0090	8.5	220
4	50	150	0.0090	11.0	200
5	50	200	0.0080	10.5	220
6	50	120	0.0075	12.0	190

ง. รูปแบบของระบบมาตรฐานในกรณีศึกษาที่ 3 (ระบบ IEEE เครื่องกำเนิด 6 ตัว, 26 บัส, สายส่ง 46 เส้น)