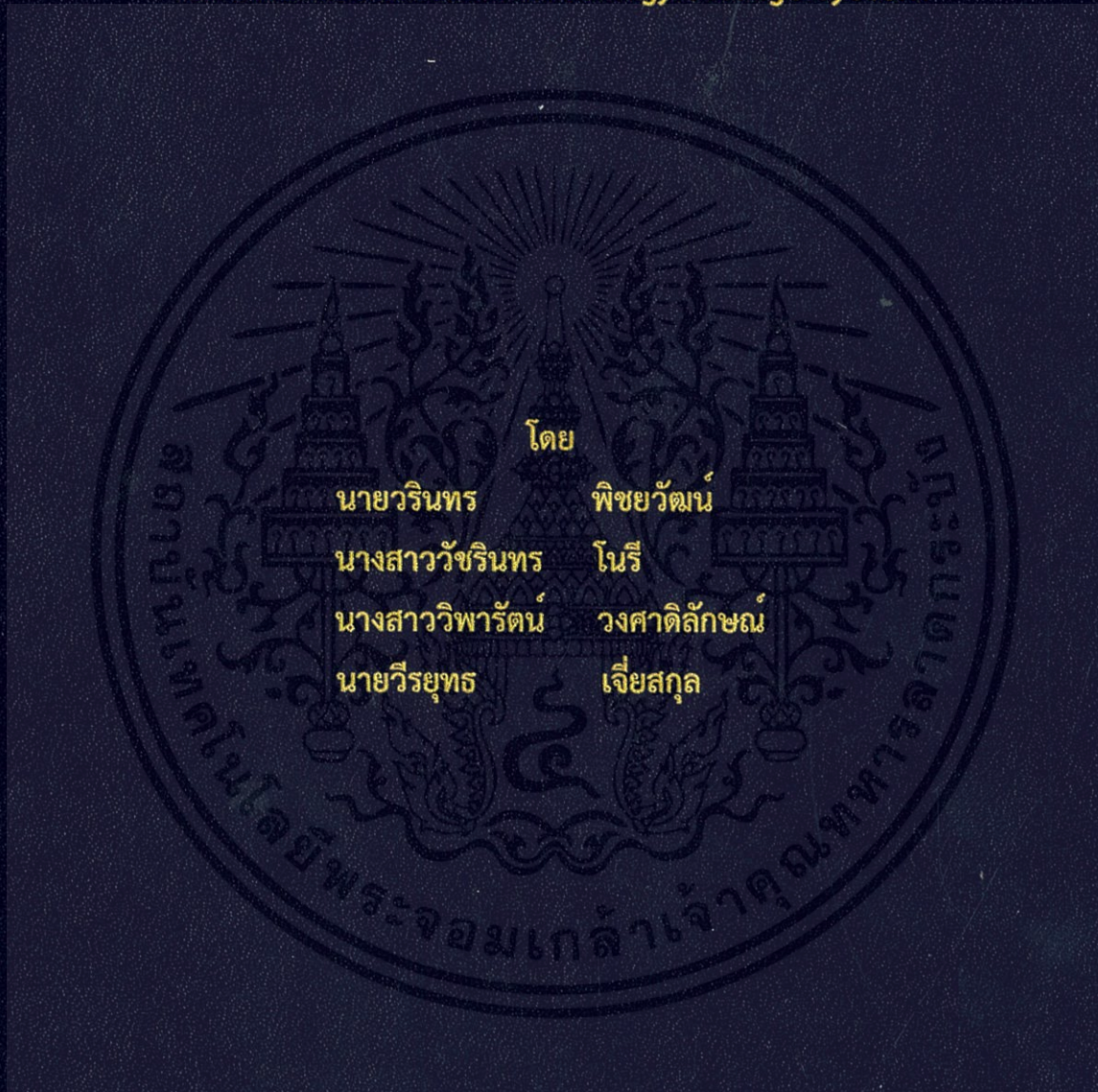


การแก้ปัญหาจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต  
ที่มีการพิจารณาพลังงานทดแทนและระบบสะสมพลังงาน  
Determining dynamic economic dispatch problem with  
renewable sources and energy storage system



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2557

การแก้ปัญหาจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต  
ที่มีการพิจารณาพลังงานทดแทนและระบบสะสมพลังงาน  
Determining dynamic economic dispatch problem with  
renewable sources and energy storage system



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่ให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
ปีการศึกษา 2557

Determining dynamic economic dispatch problem with  
renewable sources and energy storage system



THIS PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE BACHELOR DEGREE IN ELECTRICAL ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา ณ 2014 อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปีการศึกษา 2557

การแก้ปัญหาจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต  
ที่มีการพิจารณาพลังงานทดแทนและระบบสะสมพลังงาน  
Determining dynamic economic dispatch problem with  
renewable sources and energy storage system



โดย  
นาย วรินทร์ พิษยวัฒน์  
นางสาว วัชรินทร์ โนรี  
นางสาว วิพารัตน์ วงศาดีลักษณ์  
นาย วีรยุทธ เจียสกุล

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.วรวรรณ นาคะวิโร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

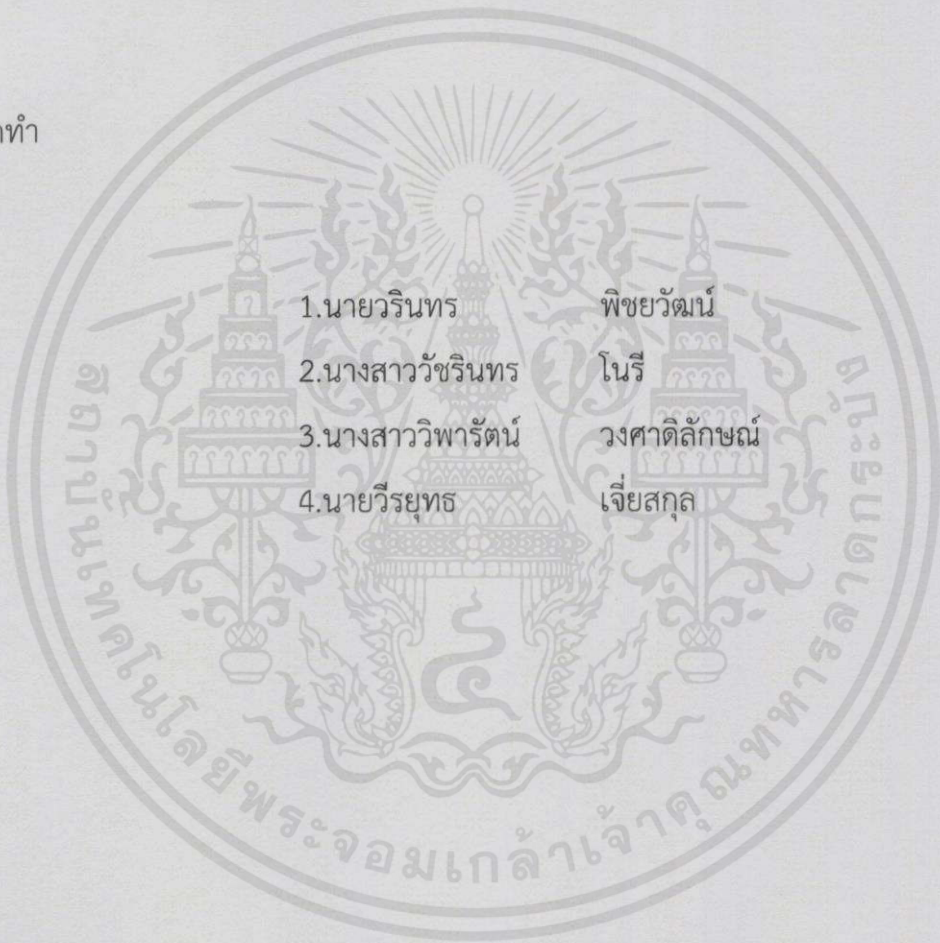
ปริญญาโทปีการศึกษา 2557

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

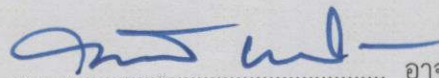
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การแก้ปัญหาจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตที่มีการพิจารณาพลังงานทดแทน  
และระบบสะสมพลังงาน

ผู้จัดทำ



- |                    |              |
|--------------------|--------------|
| 1. นายวรินทร์      | พิชยวัฒน์    |
| 2. นางสาววชิรินทร์ | โนรี         |
| 3. นางสาววิพารัตน์ | วงศาดีลักษณ์ |
| 4. นายวีรยุทธ      | เจียสกุล     |



อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และตั้ง (ดร. วรารจน์ นาคะวิโร) ขอสงวนสิทธิ์ในการทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแก้ปัญหาจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต  
ที่มีการพิจารณาพลังงานทดแทนและระบบสะสมพลังงาน

|                 |                           |
|-----------------|---------------------------|
| นายวรินทร์      | พิชยวัฒน์                 |
| นางสาววชิรินทร์ | โนรี                      |
| นางสาววิพารัตน์ | วงศาดีลักษณ์              |
| นายวีรยุทธ      | เจียสกุล                  |
| ดร.วรวรรณ       | นาคะวิโร อาจารย์ที่ปรึกษา |
| ปีการศึกษา 2557 |                           |

บทคัดย่อ

ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตเป็นการหาจุดการดำเนินการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนในหนึ่งวันล่วงหน้าเพื่อให้ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงรวมมีค่าต่ำที่สุด เมื่อมีแหล่งพลังงานทดแทน เช่น พลังงานลม ต่อเชื่อมเข้ากับระบบ การกระจายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนย่อมลดลง ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องทำให้ระบบการสะสมพลังงานมีความจำเป็นเพื่อเก็บพลังงานส่วนที่เกินจากความต้องการไว้ และสามารถจ่ายพลังงานคืนได้เมื่อระบบมีความต้องการ ด้วยเหตุผลดังกล่าว วิธีการจ่ายโหลดอย่างประหยัดจึงมีความจำเป็นต้องได้รับการปรับปรุง ประกอบกับจำนวนตัวแปรและข้อจำกัดของระบบที่เพิ่มขึ้น ทำให้การแก้ปัญหาโดยใช้วิธีแคลคูลัสเป็นไปได้ยากขึ้น ด้วยเหตุนี้วิธีการฮิวริสติกจึงเหมาะสมที่จะนำมาใช้สำหรับแก้ปัญหานี้

ปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอการปรับปรุงวิธีฮิวริสติก เพื่อการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต สำหรับระบบไฟฟ้าที่มีแหล่งพลังงานลมและระบบสะสมพลังงาน ในเบื้องต้นวิธีการฮิวริสติก 4 วิธีอันได้แก่วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) วิธีค้นหาความบรรสาน (Harmony Search : HS) วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) และวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution : DE) ได้ถูกนำมาปรับปรุงเพื่อให้สามารถลู่เข้าได้เร็วขึ้น จากผลการทดสอบพบว่าวิธี PSO ให้ผลการลู่เข้าเร็วที่สุด จากนั้นได้ทำการทดสอบเพื่อจ่ายโหลดแบบพลวัตระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบ 57 บัส ซึ่งผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอสามารถช่วยลดค่าเชื้อเพลิงและสามารถใช้พลังงานลมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

# Determining dynamic economic dispatch problem with renewable sources and energy storage system

Mr.Warinthorn Pichayawat  
Miss.Watcharinthon Noree  
Miss.Wiparat Wongsadiluk  
Mr.Weerayut Jiasakul  
Dr.Worawat Nakawiro Advisor  
Year 2014

## Abstract

Dynamic economic dispatch problem is the operation of thermal generator in 1 day forecast at minimum cost with considering renewable energy, such as wind energy, connected to the system for reducing load of the thermal generators. Because of load demand changing all the time, The energy storage system are necessary to keep excess of load demand energy and can restore to the system when needed. For these reasons, economic dispatch is needed to be modified. Due to the rising number of variables and constraints, the solution using calculus cannot be solved easily. Therefore Heuristic methods are suitable for solving this problem.

This thesis presents dynamic economic dispatch using 4 heuristic methods; Genetic algorithm (GA), Harmony Search (HS), Particle Swarm Optimization (PSO) and Differential Evolution (DE), in the power system with wind energy and energy storage system. The results showed that PSO is the fastest convergence. Then using PSO to solve economic dispatch in 57-bus power system. The results indicated that the proposed method can reduce the cost of fuel and use wind energy efficiently.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จเป็นอย่างดี ด้วยความร่วมมือจากหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งต้องขอขอบคุณ ดร.วรวรรณ นาคะวิโร อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาให้ข้อเสนอแนะและข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อโครงการมาโดยตลอด และได้กรุณาตรวจแก้ไขปริญญาานิพนธ์จนสำเร็จในท้ายที่สุด

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณท่านคณาจารย์ที่คอยดูแลเอาใจใส่ คอยอบรมสั่งสอนศิษย์ให้มีความรู้ ความเข้าใจในเนื้อหาของวิชาต่างๆ ที่ได้ร่ำเรียนมาตั้งแต่อดีตถึงปัจจุบันกระทั่งสามารถนำความรู้ต่างๆ ที่ได้จากคณาจารย์ทุกท่านมาประยุกต์พัฒนานำมาประกอบจัดทำเป็นปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือ คำปรึกษา ตลอดจนแนวทางแก้ไข ปัญหาเพื่อให้ปริญญาานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายนี้คณะผู้จัดทำ ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา และครอบครัวซึ่งให้การสนับสนุนในทุกๆ ด้านอย่างเต็มที่ อีกทั้งเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือในด้านการจัดหาข้อมูลต่างๆ ในการทำโครงการครั้งนี้จนสำเร็จไปได้ด้วยดี จึงขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ คณะผู้จัดทำใคร่ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

|  |     |
|--|-----|
| บทคัดย่อ   | I   |
| Abstract   | II  |
| กิตติกรรมประกาศ  | III |
| สารบัญ   | IV  |
| สารบัญรูป  | VI  |
| สารบัญตาราง  | VII |
| บทที่ 1 บทนำ   | 1   |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา  | 1   |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ   | 2   |
| 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ  | 2   |
| 1.4 วิธีการดำเนินงาน   | 3   |
| 1.5 แผนการดำเนินโครงการ  | 3   |
| 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ  | 4   |
| บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง   | 5   |
| 2.1 การจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต  | 5   |
| 2.2 วิธีฮิวริสติก  | 6   |
| 2.3 กระบวนการปรับปรุงการลู่เข้าที่นำเสนอ                                       | 6   |
| 2.3.1 การจัดการข้อจำกัดสมการ   | 7   |
| 2.3.2 การจัดการข้อจำกัดสมการ   | 7   |
| 2.4 วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA)                                 | 8   |
| 2.5 วิธีการค้นหาความบรรสาน (Harmony Search : HS)                               | 10  |
| 2.6 วิธีหาค่าความเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) | 13  |
| 2.7 วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution : DE)                | 14  |
| 2.8 ระบบสะสมพลังงาน (Battery Energy Storage System)                            | 16  |
| 2.9 การหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธี Lagrange Method                              | 18  |
| บทที่ 3 การออกแบบ  | 20  |
| 3.1 วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA)                                 | 20  |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

|  |    |
|--|----|
| 3.2 วิธีค้นหาความบรรสาน (Harmony Search : HS)  | 23 |
| 3.3 วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution : DE)                                | 25 |
| 3.4 วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO)                   | 27 |
| 3.5 กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดย PSO                                       | 29 |
| 3.6 กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมของระบบสะสมพลังงานโดย PSO  | 31 |
| 3.7 แผนผังโปรแกรมการทำงานของกระบวนการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต                              | 33 |
| 3.8 ระบบทดสอบ : 15 Thermal Unit  | 34 |
| 3.9 ระบบทดสอบ : Power Flow Test Case 57 bus (University of Washington Electrical Engineering ) | 35 |
| <b>บทที่ 4 ผลการจำลอง</b>  | 36 |
| 4.1 ผลการจำลองการเปรียบเทียบวิธีการฮิวริสติก   | 36 |
| 4.1.1 การจำลองการลู่เข้าของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของวิธีต่างๆร่วมกับการปรับ LB                | 36 |
| 4.1.2 การจำลองการลู่เข้าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของวิธีต่างๆร่วมกับ SR                          | 37 |
| 4.1.3 การจำลองการลู่เข้าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของวิธีต่างๆร่วมกับ LB & SB                     | 38 |
| 4.2 ผลการเปรียบเทียบผลการจำลอง   | 40 |
| 4.3 การหาค่าที่เหมาะสมสำหรับสถานะระบบสะสมพลังงานแต่ละชั่วโมง                                   | 42 |
| <b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>   | 44 |
| 5.1 สรุปผล   | 44 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ   | 45 |
| <b>เอกสารอ้างอิง</b>   | 46 |
| <b>ภาคผนวก</b>   | 47 |
| ภาคผนวก ก. บทความทางวิชาการ  | 48 |
| ภาคผนวก ข. ข้อมูลระบบทดสอบ Thermal 15 Unit   | 53 |
| ภาคผนวก ค. ข้อมูลระบบทดสอบ 57 bus  | 55 |
| ภาคผนวก ง. ข้อมูลผลการจำลอง  | 59 |
| <b>ประวัติผู้เขียน</b>   | 64 |

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณี **ประวัติผู้เขียน** ห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

| รูปที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.1 การจัดการบริเวณต้องห้ามการดำเนินการ  | 7    |
| 2.2 สารพันธุกรรมของยีน   | 9    |
| 2.3 การสุ่มหาประชากรเริ่มต้นจำนวน 4 โครโมโซม   | 9    |
| 2.4 การครอสโอเวอร์   | 10   |
| 2.5 เปรียบเทียบระหว่างความบรรสานและการหาค่าเหมาะที่สุด   | 11   |
| 2.6 แผนผังการทำงานของความบรรสาน  | 12   |
| 3.1 ขั้นตอนการทำงานของวิธีเชิงพันธุกรรม  | 20   |
| 3.2 ขั้นตอนการทำงานของการค้นหาความบรรสาน   | 23   |
| 3.3 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง  | 25   |
| 3.4 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค  | 27   |
| 3.5 ขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดย PSO ร่วมกับกระบวนการปรับปรุง                   | 29   |
| คำตอบ  | 29   |
| 3.6 ขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมของแบตเตอรี่โดย PSO   | 31   |
| 3.7 ขั้นตอนการทำงานของหาค่าที่เหมาะสมของการจ่ายโหลดอย่างประหยัด                                      | 33   |
| 3.8 ระบบทดสอบที่ใช้ : Power Flow Test Case 57 bus (University of Washington Electrical Engineering ) | 35   |
| 4.1 แสดงการลู่เข้าของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของวิธีต่างๆ ร่วมกับ LB                                  | 36   |
| 4.2 การลู่เข้าของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของวิธีต่างๆ ร่วมกับ SR                                      | 37   |
| 4.3 การลู่เข้าของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของวิธีต่างๆ ร่วมกับ LB & SR                                 | 38   |
| 4.4 กราฟเปรียบเทียบราคาในแต่ละชั่วโมงของทั้ง 2 กรณี  | 41   |
| 4.5 กราฟสถานะของระบบสะสมพลังงานในแต่ละชั่วโมง  | 42   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 1.1 แผนการดำเนินโครงการ  | 3    |
| 2.1 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของวิธีค้นหาความบรรสานกับการหาค่าเหมาะที่สุด                        | 13   |
| 4.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของวิธีการต่างๆร่วมกับ LB                     | 37   |
| 4.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของวิธีต่างๆร่วมกับ SR                        | 38   |
| 4.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของวิธีต่างๆร่วมกับ LB & SR                   | 39   |
| 4.4 เปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิตต่อชั่วโมงของ 2กรณีศึกษา   | 40   |
| 4.5 สถานะของระบบสะสมพลังงานของแต่ละชั่วโมง   | 43   |
| ข-1 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  | 54   |
| ข-2 บริเวณต้องห้ามของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  | 54   |
| ค-1 ข้อมูลของระบบทดสอบ   | 56   |
| ง-1 ข้อมูลกำลังผลิตของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อมีการพิจารณาร่วมกับพลังงานลม                   | 60   |
| ง-2 ข้อมูลกำลังผลิตของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อมีการพิจารณาร่วมกับพลังงานลมและระบบสะสมพลังงาน | 62   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ระบบการผลิตและส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ ต้องสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการของโหลดและกำลังสูญเสียของระบบได้ นอกจากนี้สิ่งสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณา คือ ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (cost) เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่าย เราจึงต้องหาวิธีที่ทำให้การจ่ายโหลดมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยที่เสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด คือใช้การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด และเพื่อให้เหมาะสมกับโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การคาดการณ์โหลดในอนาคตจึงมีความสำคัญ การจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต จึงถูกนำมาใช้แทนการจ่ายโหลดแบบดั้งเดิม ที่ใช้การพิจารณา ณ จุดเวลาใดเวลาหนึ่ง [1]

การจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต ระยะเวลาในการวางแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าจะถูกขยายออกไปเป็นช่วงระยะเวลาใดๆ ในอนาคต (อาจเป็น 1-2 ชั่วโมง หรือ 1 วันล่วงหน้า) และเพื่อลดภาระการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อน จึงได้นำแหล่งพลังงานทดแทน เช่น พลังงานลม มาต่อเชื่อมเข้ากับระบบ ประกอบกับการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตอย่างต่อเนื่อง ทำให้ระบบการสะสมพลังงานมีความจำเป็นเพื่อเก็บพลังงานส่วนที่เกินจากความต้องการไว้ และสามารถจ่ายพลังงานคืนได้เมื่อระบบมีความต้องการ ระบบที่ซับซ้อนขึ้นทำให้ตัวแปรในระบบมากกว่าวิธีแบบดั้งเดิม ประกอบกับเมื่อพิจารณาข้อจำกัดทางเทคนิค เช่น บริเวณต้องห้ามสำหรับการดำเนินการ (Prohibited operating zones) กำลังไฟฟ้าสูงสุดในการชาร์จและดิสชาร์จของแบตเตอรี่ (Maximum and Minimum Capacity) เป็นต้น ทำให้กระบวนการแก้ปัญหาโดยวิธีแคลคูลัสเป็นไปได้ยากยิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้วิธีการฮิวริสติก (Heuristic method) จึงได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในนำมาแก้ไขปัญหาดังกล่าว เช่น [2]

ปริศยานี้พจน์นี้จึงนำเสนอการจำลองการลู่เข้าของวิธีการฮิวริสติกจาก 4 วิธีอันได้แก่วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) วิธีค้นหาความบรรสาน (Harmony Search : HS) วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) และวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution : DE) และนำวิธีการที่ดีที่สุดดังกล่าว นำมาหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization) ของปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตที่มีการพิจารณา

เอกสารนี้มีพลังงานลมและระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System) สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังทดแทนการคำนวณการคำนวณ 57 ปีแล้ว อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในส่วนที่ 1 จะกล่าวถึงวิธีการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีการฮิวริสติกแต่ละวิธีที่นำมาใช้ในปริญญาณิพนธ์นี้ ข้อจำกัดต่างๆ วิธีการคำนวณที่เกี่ยวข้อง ระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System) ส่วนที่ 2 จะกล่าวถึงกระบวนการการทำงานของอัลกอริทึมต่างๆ และกระบวนการทำงานร่วมกันของระบบจำลองซึ่งประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานลมและระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System) และส่วนที่ 3 จะกล่าวถึงผลการจำลองการลู่เข้าของวิธีการฮิวริสติกที่ศึกษาและผลการจำลองการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ของปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตที่มีการพิจารณาพลังงานลมและระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System)

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. เพื่อเปรียบเทียบวิธีการฮิวริสติกต่างๆ และหาวิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด
2. เพื่อจำลองระบบการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต โดยมีการพิจารณาการจ่ายโหลดสำหรับช่วงเวลาล่วงหน้าในอนาคต
3. เพื่อจำลองระบบที่มีการทำงานร่วมกันระหว่างระบบผลิตกำลังไฟฟ้าและระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System)

## 1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ

1. ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) มา Optimize ปัญหาการจ่ายโหลดแบบประหยัด
2. ระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System) ที่นำมาพิจารณาเป็นระบบในอุดมคติ
3. ระบบทดสอบที่ใช้ : Power Flow Test Case 57 bus (University of Washington Electrical Engineering )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 1.4 วิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาการแก้ปัญหาด้วยการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) โดยใช้วิธีการฮิวริสติกนำมาจำลองด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงสำหรับจ่ายโหลดที่น้อยที่สุด

2. ศึกษาผลที่ได้จากการนำระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System) มาใช้ร่วมกับระบบผลิตกำลังไฟฟ้า

#### 1.5 แผนการดำเนินโครงการ

คณะผู้วิจัยได้เริ่มทำโครงการ โดยมีการวางแผนการดำเนินงานในระยะเวลา 1 ปี การศึกษา ตั้งแต่เดือน สิงหาคม 2557 จนถึง เดือนพฤษภาคม 2558

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงการ

| ขั้นตอนการดำเนินงาน   | พ.ศ. 2557 |      |      |      |      | พ.ศ. 2558 |      |       |       |      |
|---|-----------|------|------|------|------|-----------|------|-------|-------|------|
|   | ส.ค.      | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค.      | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. |
| 1.ศึกษาวิธีการ DE PSO-HS และ GA   | ■         | ■    | ■    | ■    | ■    |           |      |       |       |      |
| 2.เขียนโปรแกรม MATLAB จำลองการทำงานแต่ละวิธีการเพื่อหาวิธีที่ดีที่สุด         | ■         | ■    | ■    | ■    | ■    |           |      |       |       |      |
| 3.ศึกษาการนำแหล่งพลังงานทดแทนและระบบสะสมพลังงานมาใช้ร่วมกับ Thermal generator |           |      |      |      |      | ■         | ■    | ■     | ■     | ■    |
| 4.เขียนโปรแกรม MATLAB จำลองการทำงาน และประมวลผลด้วยวิธีการที่ดีที่สุด         |           |      |      |      |      |           | ■    | ■     | ■     | ■    |
| 5.ทดสอบผลและแก้ไขโปรแกรม  |           |      |      |      |      |           |      | ■     | ■     | ■    |
| 6.เก็บผลคำตอบแต่ละวิธีและเปรียบเทียบผล  |           |      |      |      |      |           |      |       | ■     | ■    |
| 7.ทำรูปเล่มรายงานและนำเสนอ  |           |      |      |      |      |           |      |       |       | ■    |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

1. ได้แนวทางการนำกำลังไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานทดแทนมาใช้ ร่วมกับระบบผลิตกำลังไฟฟ้าที่เป็นโรงไฟฟ้าแบบพลังงานความร้อน

2. การจ่ายโหลดสามารถลดราคาต้นทุนของเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ จากการนำระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System) มาใช้ร่วมด้วย

3. ได้แนวทางการทำให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้ามีค่าต่ำที่สุด จากการนำแหล่งจ่ายพลังงานทดแทนและระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System) มาใช้ร่วมด้วย รวมถึงเงื่อนไขของการไหลของกำลังไฟฟ้าทั้งในสภาวะปกติ และสภาวะการทำงานที่เกิดสถานการณ์ที่คาดไม่ถึงที่จะเกิดขึ้นในระบบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ สมการและข้อจำกัดต่างๆที่นำมาพิจารณาในโปรแกรมการจ่ายโหลดอย่างประหยัด รวมถึงเนื้อหาวิธีการฮิวริสติกทั้ง 4 วิธีที่นำมาใช้

### 2.1 การจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต [1]

วัตถุประสงค์ของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดคือ การลดผลรวมของค่าเชื้อเพลิงของทุกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกสั่งให้เดินเครื่องภายในช่วงเวลาที่ยกมาพิจารณา ดังแสดง

$$\min F_T(P) = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n F_{i,t}(P_{Gi,t}) \quad (2.1)$$

โดย  $n$  เป็นจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  $T$  เป็นจำนวนช่วงเวลาในขนาดที่ยกมาพิจารณา ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  $i$  ที่เวลา  $t$  ใดๆ แสดงได้ดัง

$$F_{i,t}(P_{Gi,t}) = a_i P_{Gi,t}^2 + b_i P_{Gi,t} + c_i \quad (2.2)$$

โดย  $P_{Gi,t}$  เป็นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  $i$  ที่เวลา  $t$   $P_{Gi,t \min}$  คือขอบเขตล่างของ  $P_{Gi,t}$  ค่า  $a_i$   $b_i$  และ  $c_i$  เป็นสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  $i$

#### 2.1.1 ข้อจำกัด (Constraints) ที่พิจารณาประกอบด้วย [1]

- สมดุลของกำลังไฟฟ้า (Power balance)

ผลรวมของกำลังไฟฟ้าจากทุกเครื่องกำเนิดต้องสามารถจ่ายโหลดและกำลังสูญเสียได้

$$\sum_{i=1}^n P_{Gi,t} = P_{D,t} + P_{L,t} \quad (2.3)$$

เมื่อ  $P_{D,t}$  เป็นกำลังไฟฟ้ารวมที่โหลดต้องการที่เวลา  $t$  และ  $P_{L,t}$  เป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เวลา  $t$  ซึ่งหาได้จาก

$$P_{L,t} = \sum_{i=1}^n B_{ii} P_{Gi,t}^2 \quad (2.4)$$

เมื่อ  $B_{ii}$  เป็นสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันกำลังสูญเสีย

- อัตราการเพิ่มของกำลังผลิต (Ramp rate)

การเปลี่ยนแปลงของกำลังจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระหว่างช่วงเวลาถูกกำหนดโดย

$$P_{Gi,t \min} \leq P_{Gi,t} \leq P_{Gi,t \max} \quad \forall i \in T \quad (2.5)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย  $P_{G_i,t \min}$  และ  $P_{G_i,t \max}$  เป็นขอบเขตล่างและขอบเขตบนของกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดสามารถจะปรับเปลี่ยนได้ในช่วงเวลา  $t$  ตามลำดับซึ่งหาได้จาก

- บริเวณต้องห้ามสำหรับการดำเนินการ (Prohibited operating zone)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางเครื่องอาจมีปัญหาการสั่นสะเทือนที่อาจทำให้เกิดความเสียหายในบางช่วงกำลังการผลิต ดังนั้นโปรแกรมการจ่ายโหลดอย่างประหยัดต้องหลีกเลี่ยงคำตอบภายในช่วงนี้

- กำลังไฟฟ้าที่มากที่สุดและน้อยที่สุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถจ่ายได้ (Maximum and Minimum Power Limits)

$$P_{i,\min} \leq P_i \leq P_{i,\max} \quad (2.6)$$

## 2.2 วิธีฮิวริสติก [1]

วิธีฮิวริสติก (Heuristic method) เป็นเทคนิคการแก้ปัญหา การเรียนรู้ และการค้นพบคำตอบ โดยอาศัยการผสมผสานประสบการณ์ สำหรับปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization) เรานิยมนำวิธีฮิวริสติกมาใช้เมื่อเราไม่สามารถหาข้อมูลเกรเดียนต์ได้ หรือฟังก์ชันไม่เป็นรูปนูน (Non-convex) หรือบริเวณค้นหาไม่ต่อเนื่องกัน (Disjoint search space) เป็นต้น ดังเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น บทความนี้ได้เลือกอัลกอริทึมพื้นฐานของวิธีฮิวริสติก 4 วิธี ที่นิยมใช้ในปัญหาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คือ DE HS GA และ PSO

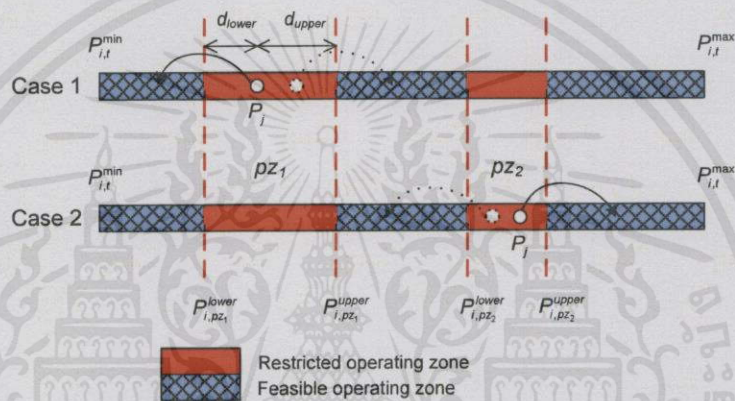
## 2.3 กระบวนการปรับปรุงการลู่เข้าที่นำเสนอ [1]

เนื่องจากวิธีฮิวริสติกเป็นกระบวนการหาคำตอบแบบสุ่ม (Random process) ผ่านการทำซ้ำ (Iteration) ดังนั้นเมื่อคำตอบถูกปรับเปลี่ยน ค่าที่ได้มีโอกาสที่จะไม่อยู่ในข้อจำกัด ทำให้คำตอบดังกล่าวเป็นไปได้ (Infeasible solution) วิธีการจัดการข้อจำกัด (Constraint handling) จึงมีความจำเป็นอย่างสูงต่อความสำเร็จในการแก้ปัญหาที่เหมาะสมที่สุดที่มีข้อจำกัด (Constrained optimization) วิธีการจัดการข้อจำกัดที่ได้รับความนิยมมากวิธีหนึ่ง คือ การใช้ค่า Penalized Fitness เพื่อเป็นดัชนีชี้วัดเชิงคุณภาพของค่าคำตอบ การละเมิดขีดจำกัด (Constraint violation) จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า Penalized Fitness ทำให้อัลกอริทึมฮิวริสติก ทราบว่าคำตอบใหม่มีคุณภาพดีขึ้นหรือไม่ อย่างไรก็ตามวิธีการจัดการข้อจำกัดนี้ ไม่ได้ทำการแก้ไขคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ให้เป็นคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible solution) การซ่อมแซมคำตอบ (Solution repairing) นับเป็นวิธีการจัดการข้อจำกัดอีกวิธีหนึ่ง กล่าวคือ คำตอบที่เป็นไปไม่ได้จะถูกแก้ไขให้เป็นคำตอบที่เป็นไปได้

เอกสารนี้เป็นโดยตัวดำเนินการ (Operator) ที่ถูกออกแบบมาโดยเฉพาะปัญหานั้นๆ เพื่อจัดการละเมิดข้อจำกัดด้านการคำนวณ ไม่ว่าจะเป็นวิธีใดก็ตาม กระบวนการที่นำเสนอในบทความนี้ยึดตามแนวทางหลังนี้ ถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.1 การจัดการข้อจำกัดสมการ [1]

กำลังที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีบริเวณต้องห้ามจำเป็นต้องถูกบังคับให้อยู่ในขอบเขตที่เป็นไปได้ตลอดกระบวนการทำซ้ำเพื่อให้คำตอบที่ดีที่สุด และใช้เวลาที่จำกัด แนวคิดดังกล่าวสามารถอธิบายได้ดังรูป 1 โดยบริเวณสีแดงเป็นบริเวณต้องห้าม ดังนั้นเมื่อค่ากำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิด  $P_j$  ใดตกอยู่ในบริเวณนี้ ระยะทางที่จากค่าคำตอบนั้นไปยังขอบเขตที่ใกล้ที่สุด  $d_{lower}$  และ  $d_{upper}$  จะถูกคำนวณและถูกนำมาเปรียบเทียบ ค่า  $P_j$  จะถูกส่งขึ้นมาใหม่ในช่วงที่เป็นไปได้ (ตั้งแรงเงาด้วยสินน้ำเงิน) ที่ใกล้ที่สุด



รูปที่ 2.1 การจัดการบริเวณต้องห้ามการดำเนินการ

### 2.3.2 การจัดการข้อจำกัดสมการ [3]

ข้อจำกัดของสมดุลกำลังในปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด ถือเป็นข้อจำกัดที่จัดการได้ยากที่สุดในกระบวนการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ในปริภูมิพหุนัยนี้ นำ 2 วิธีที่มีชื่อว่า สมดุลการจ่ายโหลด (Load balancing) และกระบวนการซ่อมแซมคำตอบ (Solution Repairing) เพื่อใช้ในการพัฒนาค่าสมดุลกำลังในพิตเนสฟังก์ชันทั้งหมด

#### - สมดุลการจ่ายโหลด (Load Balancing)

สมดุลการจ่ายโหลด คือวิธีการสร้างสมดุลใหม่ของข้อจำกัดด้านสมดุลกำลัง โดยการแก้สมการสมดุลกำลังสำหรับกำลังขาออกของ Slack Generator โดย Slack Generator จะสุ่มเลือกจากชุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงๆ และปราศจากบริเวณต้องห้ามสำหรับการดำเนินการ การคัดเลือกนี้มีเป้าหมายเพื่อหลีกเลี่ยงการละเมิดข้อจำกัด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนที่สมการกำลังไฟฟ้าสูญเสีย  $P_{loss}$  (2.4) ในสมการสมดุลกำลัง (2.3) ผลลัพธ์จะเป็นสมการกำลังสองอยู่ในรูปของ  $P_y$

$$\sum_{i=1}^n P_i + P_y = P_D + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_i B_{ij} P_j + \sum_{j=1}^n P_y B_{yj} P_j + \sum_{i=1}^n P_i B_{iy} P_y + B_{yy} P_y^2 + \sum_{i=1}^n B_{0i} P_i + B_{0y} P_y + B_{00} \quad (2.7)$$

คำตอบ 2 คำตอบที่ได้จากสมการ (2.7) ให้  $P_y^u$  และ  $P_y^l$  เป็นค่าบวกและค่าลบตามลำดับ วิธีสมดุลการจ่ายโหลดไม่ใช่วิธีใหม่ มีการนำมาใช้ในงานวิจัยอื่นๆแล้ว อย่างไรก็ตาม ค่าที่เป็นลบทำให้เกิดความเสี่ยงที่จะทำให้คำตอบที่เป็นไปได้หายไป เพราะ  $P_y^l$  อาจจะเป็นค่าบวกได้ขึ้นอยู่กับค่าสัมประสิทธิ์

#### - การซ่อมแซมคำตอบ (Solution Repairing)

การซ่อมแซมคำตอบ (SR) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ซ่อมแซมคำตอบของเวกเตอร์กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิด โดยลดการเข้าคู่กันอย่างผิดๆระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดกับกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ต้องการรวมถึงค่าการสูญเสียของระบบกระบวนการซ่อมแซมคำตอบสามารถสรุปได้ดังนี้

$$\Delta P = \sum_{i=1}^n P_i - P_D - P_{loss} \quad (2.8)$$

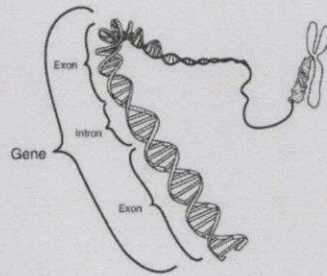
$\Delta P$  ค่าบวก คือกรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายมากเกินไป ในขณะที่  $\Delta P$  ค่าลบ แสดงในกรณีที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายไม่พอ

#### 2.4 วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) [4]

##### ประวัติ Genetic Algorithm

Evolutionary strategies ค้นพบโดย I.Rechenber ในประเทศเยอรมัน 1960 เป็นจุดเริ่มต้นการพัฒนา Genetic Algorithm ใน สหรัฐอเมริกา 1975 Genetic Algorithm ถูกค้นพบโดย John Holland คือกระบวนการเรียนแบบวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นในธรรมชาติโดยเกี่ยวข้องกับยีน โดยมีพื้นฐานอยู่บนพัฒนาการของสิ่งมีชีวิตตามหลักของธรรมชาติที่ว่าด้วย ทฤษฎีการคัดเลือกตามธรรมชาติ และทฤษฎีการสืบทอดลักษณะทางพันธุกรรมของยีน

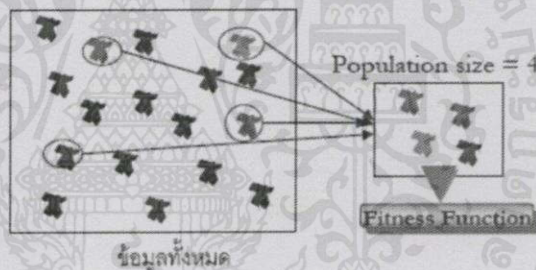
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 สารพันธุกรรมของยีน

Genetic Algorithm มีองค์ประกอบที่สำคัญ 5 ส่วนด้วยกัน ดังนี้

1. Chromosome Encoding หรือรูปแบบโครโมโซมที่ใช้ในการนำเสนอทางเลือกที่สามารถจะเป็นไปได้ของแต่ละปัญหา
2. Initial population คือ สุ่มเลือกลักษณะที่เป็นต้นแบบหรือต้นกำเนิดที่จะนำเข้าไปในกระบวนการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม โดยจะทำการสุ่มตามจำนวนของประชากรที่ได้กำหนดไว้ เป็น Parameter ของ Algorithm

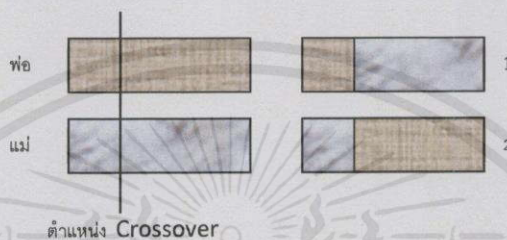


รูปที่ 2.3 การสุ่มหาประชากรเริ่มต้นจำนวน 4 โครโมโซม

3. Fitness Function คือ เป็นวิธีการสำหรับประเมินค่าความเหมาะสม เพื่อให้คะแนนแต่ละทางเลือกของคำตอบต่างๆอย่างเหมาะสม โครโมโซมทุกตัวจะมีค่าความเหมาะสมของตัวเองเพื่อใช้สำหรับพิจารณาว่า โครโมโซมตัวนั้น เหมาะสมหรือไม่ ที่จะนำมาใช้ในการสืบทอดพันธุกรรม
4. Genetic Operator ซึ่งเป็นวิธีการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของข้อมูลทุกขั้นตอนได้แก่ Selection, Crossover และ Mutation

- Selection เพื่อให้เกิดการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตนั้น โดยคัดเลือกมาเป็นโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่หรือที่เรียกว่า Parent มีรูปแบบการเลือกโครโมโซมพ่อแม่หลายรูปแบบ เช่น การคัดเลือกแบบ Roulette Wheel การคัดเลือกแบบ Ranking การคัดเลือกแบบ Tournament การคัดเลือกแบบ Elitist การคัดเลือกแบบ Steady-state และอื่นๆมากมายหลายวิธีเพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการคัดเลือกโครโมโซมที่ดี

- Crossover เป็นกระบวนการที่สำคัญสำหรับ Genetic Algorithm คือ นำ 2 โครโมโซม Parent มาผสมกันเพื่อให้ได้โครโมโซมใหม่ขึ้นมา จากนั้นใช้วิธีการที่ง่ายที่สุด คือ สุ่มตำแหน่ง Crossover และทำการคัดลอกทุกอย่างที่อยู่หน้าตำแหน่ง Crossover ของพ่อและคัดลอกทุกอย่างหลังตำแหน่ง Crossover ของแม่รวมกันจะได้ลูกตัวที่ 1 ออกมา จากนั้นทำการคัดลอกทุกอย่างที่อยู่หน้าตำแหน่ง Crossover ของแม่ และคัดลอกหลังตำแหน่ง Crossover ของพ่อรวมกันจะได้ลูกตัวที่ 2 ออกมาดังรูป



รูปที่ 2.4 การครอสโอเวอร์

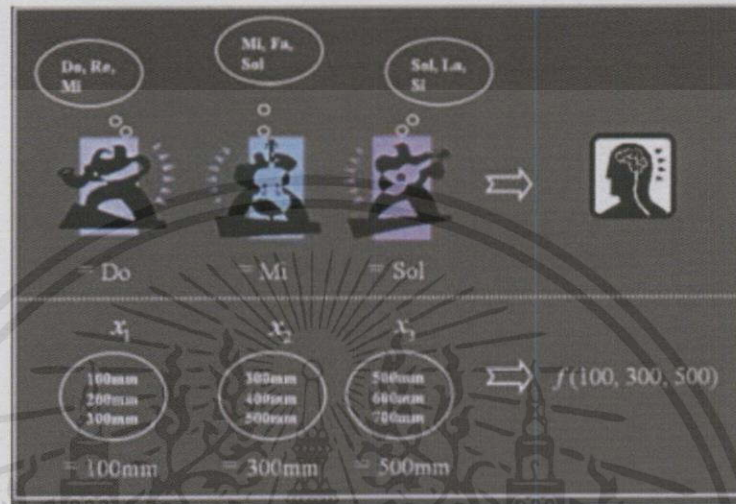
- Mutation เกิดขึ้นหลังจากการ Crossover เสร็จสิ้น จะทำการสุ่มประชากรเปลี่ยนแปลงผลที่ได้จากการ Crossover หมายความว่า นำรุ่นลูกที่เกิดจากผสมจากรุ่นพ่อแม่มาดำเนินการ Mutation ต่อไป ซึ่งเมื่อได้ตำแหน่ง Mutation แล้วเปลี่ยนแปลงค่า ณ ตำแหน่งที่สุ่ม

5. Parameter เป็นวิธีการที่ใช้ในการสร้างจำนวนโครโมโซมรุ่นถัดไป ถ้ากำหนดให้จำนวนโครโมโซมในแต่ละรุ่นมากจะทำให้ Genetic Algorithm ประมวลผลได้ช้าลง เช่น ขนาดของประชากร Population size ความน่าจะเป็นของ Crossover หรือ Probability Crossover ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ที่ 60% - 95% ความน่าจะเป็นของ Mutation หรือ Probability Mutation ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ที่ 0%-1%

## 2.5 วิธีการค้นหาความบรรสาน (Harmony Search : HS) [5]

วิธีการค้นหาความบรรสานเป็นการเลียนแบบพฤติกรรมของนักดนตรี คือการใช้แนวทางของนักดนตรีในการแก้ปัญหา เพื่อให้ได้การประสานเสียงของเครื่องดนตรีที่เหมาะสมที่สุดซึ่งนักดนตรีจะทำการปรับปรุงและแก้ไขตัวโน้ต โดยการหาตัวโน้ตที่ทำให้เกิดการประสานเสียงของเครื่องดนตรีเพื่อให้เกิดความไพเราะมากที่สุด ความบรรสานคิดค้นโดย Dr. Zong Woo Geem ในปี 2001 โดยที่ Dr.Zong Woo Geem สนใจในการเล่นดนตรีและใฝ่ฝันที่จะเป็นนักดนตรี ได้แนวคิดจากการแต่งเพลงของนักดนตรีในการหาตัวโน้ตที่เหมาะสมสำหรับเครื่องดนตรีแต่ละชนิดในการเล่นเป็นวงดนตรีเพื่อให้เกิดความไพเราะ ความบรรสานเป็นการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งในงานวิจัยนี้

จะประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาความบรรสานในการแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุดของต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าโดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้ต้นทุน การผลิตต่ำที่สุดโดยใช้กระบวนการเล่นดนตรีประสานเสียงในการค้นหาค่าเหมาะที่สุดดังรูปที่ 2.5



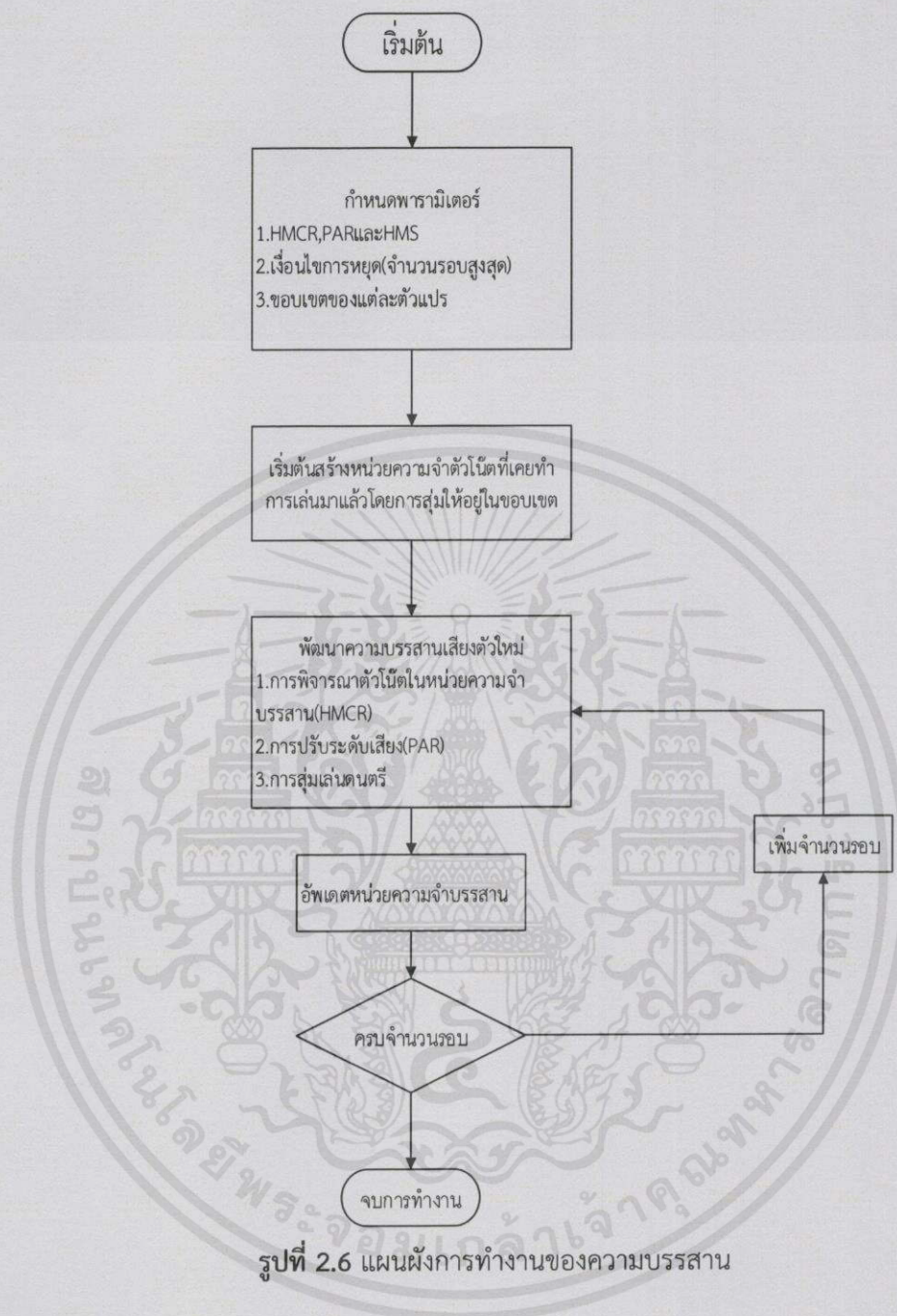
รูปที่ 2.5 เปรียบเทียบระหว่างความบรรสานและการหาค่าเหมาะที่สุด

ซึ่งทั่วไปแล้วนักดนตรีจะเริ่มเล่นดนตรีโดยที่ไม่ได้เตรียมตัวมาก่อนนั้นนักดนตรีจะเล่นตามแบบอย่างแบบใดแบบหนึ่งใน 3 แบบนี้

1. เลือกตัวโน้ตจากหน่วยความจำความบรรสาน โดยพิจารณาตัวโน้ตจากข้อมูลที่เคยเล่นมาแล้ว
2. เลือกตัวโน้ตที่อยู่ในหน่วยความจำความบรรสาน และทำการปรับระดับเสียง
3. ทำการสุ่มเลือกตัวโน้ตภายในขอบเขตที่กำหนด

การสร้างหน่วยความจำความบรรสาน (Harmony Memory : HM) เป็นส่วนสำคัญของวิธีการค้นหาความบรรสานความบรรสานตัวใหม่ที่ดีกว่าตัวเดิมจะถูกเก็บเป็นส่วนหนึ่งของหน่วยความจำความบรรสานทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งค้นพบความบรรสานที่เหมาะสมที่สุดการค้นหาความบรรสานเป็นการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 2.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ซึ่งวิธีค้นหาความบรรสานเป็นการหาค่าเหมาะที่สุดแบบวงกว้าง (Global Optimum) ซึ่งจะได้คำตอบที่เป็นจุดต่ำที่สุด การจำลองความบรรสานของเครื่องดนตรีใช้หลักการหาตัวโน้ตที่เหมาะสมสำหรับเครื่องดนตรีแต่ละชนิดในการเล่นเป็นวงดนตรีโดยสามารถเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของวิธีค้นหาความบรรสานกับการแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุดได้ดังตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของวิธีค้นหาความบรรสานกับการหาค่าเหมาะที่สุด

| วิธีค้นหาความบรรสาน | การแก้ปัญหาค่าเหมาะที่สุด |
|---------------------|---------------------------|
| เครื่องดนตรี        | ตัวแปรตัดสินใจ            |
| ขอบเขตระดับเสียง    | ขอบเขตตัวแปร              |
| ตัวโน้ต             | ค่าตัวแปรที่เหมาะสมที่สุด |
| ความไพเราะ          | ฟังก์ชันวัตถุประสงค์      |
| การฝึกซ้อม          | จำนวนรอบ                  |
| ประสบการณ์          | เมตริกซ์หน่วยความจำ       |

## 2.6 วิธีหาค่าความเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) [6]

Kennedy และ Eberhart พัฒนาอัลกอริทึม PSO บนพื้นฐานของพฤติกรรมโดยอิสระของกลุ่มแมลงที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกัน ปัญหาของมันคือการเคลื่อนที่โดยอิสระภายในกลุ่ม ปัญหานี้ถูกสังเกตว่าสมาชิกในกลุ่มดูเหมือนว่าจะใช้ข้อมูลร่วมกัน ในความจริงเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของกลุ่ม อัลกอริทึม PSO ค้นหาแบบขนานโดยใช้อนุภาคของกลุ่ม แต่ละอนุภาคตรงกับคำตอบที่เลือกไว้ในปัญหา อนุภาค 1 ตัวเคลื่อนที่อย่างเหมาะสมบนพื้นฐานของความเร็วในปัจจุบัน, ข้อมูลก่อนหน้า และ ข้อมูลของอนุภาคข้างเคียง ในพื้นที่ที่ค้นหา  $n$  มิติ ตำแหน่งและความเร็วของอนุภาค  $i$  ถูกแสดงในรูปของเวกเตอร์  $X_i = (x_{i1}, \dots, x_{in})$  และ  $V_i = (v_{i1}, \dots, v_{in})$  ในมิติเป็นตัวแทนของจำนวนส่วนประกอบ ให้  $Pbest_i = x_{i1}^p, \dots, x_{in}^p$  และ  $Gbest_i = x_{i1}^g, \dots, x_{in}^g$  ใช้เป็นตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค  $i$  และตำแหน่งที่ดีที่สุดของตัวข้างเคียง ตามลำดับ ความเร็วและตำแหน่งที่ถูกแก้ไขแล้วของแต่ละอนุภาคสามารถคำนวณตามต่อไป

$$V_i^{k+1} = \omega \times V_i^k + c_1 \times r_{m1} \times (Pbest_i^k - X_i^k) + c_2 \times r_{m2} \times (Gbest_i^k - X_i^k) \quad (2.9)$$

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (2.10)$$

โดยที่

$V_i^k$  คือ ความเร็วของอนุภาค  $i$  ที่ iteration  $k$

$\omega$  คือ ตัวประกอบน้ำหนักของความเฉื่อย

$c_1, c_2$  คือ สัมประสิทธิ์ความเร่ง

เอกสารนี้เป็น  $r_{m1}, r_{m2}$  คือ ตัวเลขที่สุ่มออกมาอยู่ในช่วง 0 ถึง 1

ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใด  $X_i^k$  คือ ตำแหน่งของอนุภาค  $i$  ที่ iteration  $k$  ของอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกระบวนการปรับปรุงความเร็ว ค่าของพารามิเตอร์ เช่น  $\omega$  ,  $c_1$  และ  $c_2$  ควรจะถูกกำหนดไว้ก่อน ค่าคงที่  $c_1$  และ  $c_2$  เป็นค่าความเฉื่อยของความเร่งจากการสุ่ม ซึ่งตั้งแต่ละอนุภาค ไปสู่ตำแหน่ง  $Pbest_i^k$  และ  $Gbest$  การเลือกค่าความเฉื่อยที่เหมาะสมสามารถจัดการความสมดุลระหว่างการค้นหาทั้งหมดและการค้นหาภายในพื้นที่ และผลลัพธ์ของจำนวนที่ต่ำกว่าใน iteration ใช้เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยทั่วไปใช้เพื่อให้คุณลักษณะการลู่เข้าดีขึ้น ตัวประกอบน้ำหนักของความเฉื่อย  $\omega$  ถูกสร้างขึ้นเพื่อการลดลงอย่างเป็นเส้นตรง การลดลงจาก  $\omega_{max}$  ไปสู่  $\omega_{min}$  ตามต่อไปนี้

$$\omega^k = \omega_{max} - \frac{\omega_{max} - \omega_{min}}{iter_{max}} \times k \quad (2.11)$$

โดยที่  $iter_{max}$  ตรงกับจำนวน iteration สูงสุด การใช้ตำแหน่งใหม่  $X_i^{k+1}$  ,  $Pbest_i$  และ  $Gbest$  ถูกปรับปรุงใน iteration  $k+1$

## 2.7 วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution : DE) [3]

ทฤษฎีในการค้นหาคำตอบด้วยวิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง ขั้นตอนและหลักการในการค้นหาคำตอบด้วยวิธี DE ที่เสนอโดย Price และ Storn กรอบทฤษฎีของ DE เป็นรูปแบบง่าย ๆ Bin และคณะ ได้อธิบายว่าจากข้อได้เปรียบของความสัมพันธ์ของตัวแปรควบคุมนั้น ค่อนข้างน้อย แต่การทำงานก็ยังมีประสิทธิภาพดีอยู่ การวิวัฒนาการถูกประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลายและมีการแสดงจุดแข็งในหลายพื้นที่ที่มีการประยุกต์ใช้ การวิวัฒนาการของประชากรจะถูกดำเนินการโดยผ่านวิธีการทำซ้ำของ 3 ผู้ประกอบการหลักซึ่งก็คือ การกลายพันธุ์ ขั้นตอนทางพันธุกรรมแบบครอสโอเวอร์ และการคัดเลือกด้วยกระบวนการทำงานในการวิวัฒนาการแบบคลาสสิก Price และคณะ มีขั้นตอนและหลักการเช่นเดียวกันกับระเบียบวิธีวิวัฒนาการ แบ่งเป็นลำดับขั้นตอนที่สำคัญได้ดังนี้

2.7.1 Initial population คือ ขั้นตอนการสุ่มเลือกจำนวนประชากรตั้งต้นภายใต้ขอบเขต ข้อจำกัด จำนวนหนึ่งซึ่งสามารถกำหนดได้ หรือค่า NP : Number of Population เป็น Decision Vector กลุ่มหนึ่งนำมาคำนวณหาคำตอบ เรียกว่า Cost Value หรือ Fitness Value หรือ Function Value ในความหมายเดียวกัน

2.7.2 Mutation คือ ขั้นตอนการคูณตัวแปรตัดสินใจด้วยปัจจัยตัวคูณ เรียกว่า Weighting Factor : F หรือ เรียกว่า Mutation Factor : F อีกชื่อหนึ่งเช่นกันเพื่อจุดประสงค์ของการผ่าเหล่า กลายพันธุ์ ให้ได้คำตอบใหม่ที่แปลกแตกต่างไปจากกลุ่มจำนวนประชากรในข้อแรก มีขั้นตอนย่อย ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางมหาวิทยาลัยได้  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1 ทำการกำหนด Target Vector ( $X_{l,G}$ ) โดยที่  $l = 1,2,3,\dots,NP$

2.2 สุ่มเลือกจำนวน 2 Vector ( $X_{r1,G}, X_{r2,G}$ ) จากประชากรตั้งต้นที่ไม่ซ้ำกับเวกเตอร์เป้าหมาย

2.3 ทำการคำนวณหา Mutant Vector ( $V_{i,G}$ ) จากความสัมพันธ์

$$V_{i,G} = X_{best1,G} + F(X_{r1,G} - X_{r2,G}) \quad (2.12)$$

เมื่อ  $V_{i,G}$  = Mutant Vector

$X_{best1,G}$  = Best Vector

$X_{r1,G}, X_{r2,G}$  = Random Vector

$F$  = Weighting Factor

2.7.3 Crossover หรือ Recombination คือขั้นตอนการผสมสายพันธุ์ อันจะได้ทั้งสายพันธุ์ใหม่ ของคำตอบที่ดีกว่าและแยกว่าออกมาหลากหลาย เพื่อเพิ่มหาสายพันธุ์จากตัวแปรตัดสินใจใหม่ๆ ซึ่ง จะได้ Trial Vector ( $U_{i,G}$ ) โดยแสดงในรูปที่ 2 เมื่อ

$$U_{ji,G} = (U_{1i,G}, U_{2i,G}, U_{3i,G}, \dots, U_{Di,G}) \quad (2.13)$$

และ

$$V_{ji,G} \text{ if } (randb(j) < CR) \text{ or } j = j_{rand} \quad (2.14)$$

$$X_{ji,G} \text{ if } (randb(j) > CR) \text{ or } j \neq j_{rand} \quad (2.15)$$

เมื่อ  $U_{ji,G}$  = Trial Vector

$V_{ji,G}$  = Mutant Vector

$X_{ji,G}$  = Target Vector

$randb(j)$  = การสุ่ม จำนวนจริงมีค่า 0 ถึง 1 ครั้งที่  $j$

$CR$  = Crossover Constant จำนวนจริงมีค่า 0 ถึง 1

$j_{rand}$  = Index จากการสุ่มเลือก จำนวนเต็ม  $1,2,\dots,D$  และ  $j = 1,2,\dots,D$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โดยที่  $DB_j$  คือ ค่าใช้จ่ายจากการดิสชาร์จจากแบตเตอรี่

$CB_j$  คือ ค่าใช้จ่ายจากการชาร์จแบตเตอรี่

ในกรณีที่แบตเตอรี่อยู่ในช่วงดิสชาร์จ จะจ่ายพลังงานไปให้กับโหลดแทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้สามารถลดการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดบางเครื่องได้ และในขณะที่แบตเตอรี่อยู่ในสถานะชาร์จ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางเครื่องจะมีการเพิ่มกำลังการผลิต เพื่อจะไปชาร์จให้กับแบตเตอรี่ ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในช่วงนี้ขึ้น

### ข้อจำกัดที่พิจารณา [2]

#### 1) BESS Power

ในแต่ละชั่วโมง กำลังไฟฟ้าที่แบตเตอรี่ใช้ชาร์จและดิสชาร์จมีค่าจำกัด ไม่เกินค่า

$(P_{b,m})$  Maximum charge/discharge power (MW)

$$|P_{b,t}| \leq P_{b,m} \quad (2.17)$$

#### 2) BESS Energy

พลังงานไฟฟ้าที่สามารถนำไปชาร์จหรือดิสชาร์จแบตเตอรี่ได้จากสมการ

$$|P_{b,t}| \leq |P_{b,c} + P_b| \quad ; \text{ charge} \quad (2.18)$$

$$|P_{b,t}| \leq |P_b - 0.2P_{b,c}| \quad ; \text{ discharge} \quad (2.19)$$

โดยที่  $P_{b,c}$  คือ Battery Capacity (MWh)

$P_b$  คือ ค่าความจุแบตเตอรี่ ณ ขณะนั้น

ค่าพารามิเตอร์ของระบบสะสมพลังงาน

- Capacity (MWh) = 200
- Maximum charge/discharge power (MW) = 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.9 การหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยวิธี Lagrange Method [7]

ลากรองจ์ฟังก์ชัน (Lagrange function) คือฟังก์ชันวัตถุประสงค์รวมกับผลคูณเงื่อนไขสมมูลของกำลังไฟฟ้ากับตัวคูณลากรองจ์ (Lagrange multiplier) โดยในเชิงเศรษฐศาสตร์แล้ว  $\lambda$  หมายถึงต้นทุนหน่วยสุดท้ายของระบบ (System Marginal Cost) โดยลากรองจ์ฟังก์ชันแสดงดังสมการ(2.20)

$$L = \sum_{j=1}^m C_j(P_{Gj}) + \lambda(P_D - \sum_{j=1}^m P_{Gj}) \quad (2.20)$$

เงื่อนไขสำคัญสำหรับคำตอบของปัญหาสามารถหาได้โดยการอนุพันธ์ลากรองจ์ฟังก์ชันเทียบกับกำลังผลิตของแต่ละโรงไฟฟ้าและตัวคูณลากรองจ์ ให้มีค่าเท่ากับศูนย์

$$\frac{\partial L}{\partial P_{Gj}} = \frac{dC_j(P_{Gj})}{dP_{Gj}} - \lambda = 0 \quad (2.21)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = P_D - \sum_{j=1}^m P_{Gj} = 0 \quad (2.22)$$

ต้นทุนการผลิตรวมของทุกโรงไฟฟ้าจะต่ำที่สุดเมื่อต้นทุนดำเนินงานที่เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มกำลังการผลิต 1 เมกะวัตต์ ของทุกโรงไฟฟ้ามามีค่าเท่ากับตัวคูณลากรองจ์ซึ่งสมการ 2.21 และ 2.22 สรุปได้ว่า

$$\frac{dC_j(P_{Gj})}{dP_{Gj}} = \lambda \quad (2.23)$$

$$\sum_{j=1}^m P_{Gj} = P_D \quad (2.24)$$

ณ จุดที่เหมาะสมที่สุด ต้นทุนหน่วยสุดท้ายของแต่ละโรงไฟฟ้าอาจไม่เท่ากับต้นทุนหน่วยสุดท้ายของระบบ หรือต้นทุนหน่วยสุดท้ายของโรงไฟฟ้าอื่นๆ เทคนิควิธีที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหาการส่งจ่ายไฟฟ้าแบบประหยัดได้แก่ วิธีตัวคูณลากรองจ์ (Lagrange Multiplier Method) วิธีวนซ้ำแลมบ์ดา (Lambda Iteration Method) วิธีนิวตัน (Newton's Method) และวิธีเกรเดียน (Gradient Method) เมื่อกำหนดให้ฟังก์ชันต้นทุนดำเนินงานของหน่วยผลิตไฟฟ้า  $j$  เป็นดังสมการ (2.25)

$$C(P_{Gj}) = a_j + b_j P_{Gj} + C_j P_{Gj}^2 \quad (2.25)$$

โดย  $a$ ,  $b$  และ  $c$  เป็นสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันต้นทุนดำเนินงาน เมื่อทำการอนุพันธ์ลากรองจ์ฟังก์ชันแล้วจะได้

$$\frac{\partial L}{\partial P_{Gj}} = b_j + c_j P_{Gj} - \lambda, j=1,2,3\dots,m \quad (2.26)$$

จัดสมการใหม่ได้ดังนี้

$$P_{Gj} = \frac{1}{2c_j} [\lambda - b_j]; j=1,2\dots,m \quad (2.27)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = P_D - \sum_{j=1}^m \frac{1}{2c_j} [\lambda - b_j] = 0 \quad (2.28)$$

จะได้ค่าต้นทุนหน่วยสุดท้ายของระบบ (System Marginal Cost) เป็นดังนี้

$$\lambda = \frac{P_D + \sum_{j=1}^m b_j / 2c_j}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{2c_j}} \quad (2.29)$$

$$P_{Gj} = \frac{(\lambda - b_j)}{2c_j}; j=1,2\dots,m \quad (2.30)$$

โดย  $C_j (P_{Gj}) =$  ฟังก์ชันต้นทุนดำเนินงานของหน่วยผลิตไฟฟ้า  $j$  มีหน่วยเป็น ดอลลาร์ต่อชั่วโมง[\$/h]

$P_{Gj} =$  กำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมาจากหน่วยผลิตไฟฟ้า  $j$  มีหน่วยเป็น เมกะวัตต์ [MW]

$P_D =$  โหลดของระบบ มีหน่วยเป็น เมกะวัตต์ [MW]

$P_L =$  กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบส่งจ่าย มีหน่วยเป็น เมกะวัตต์ [MW]

$m =$  จำนวนหน่วยผลิตไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

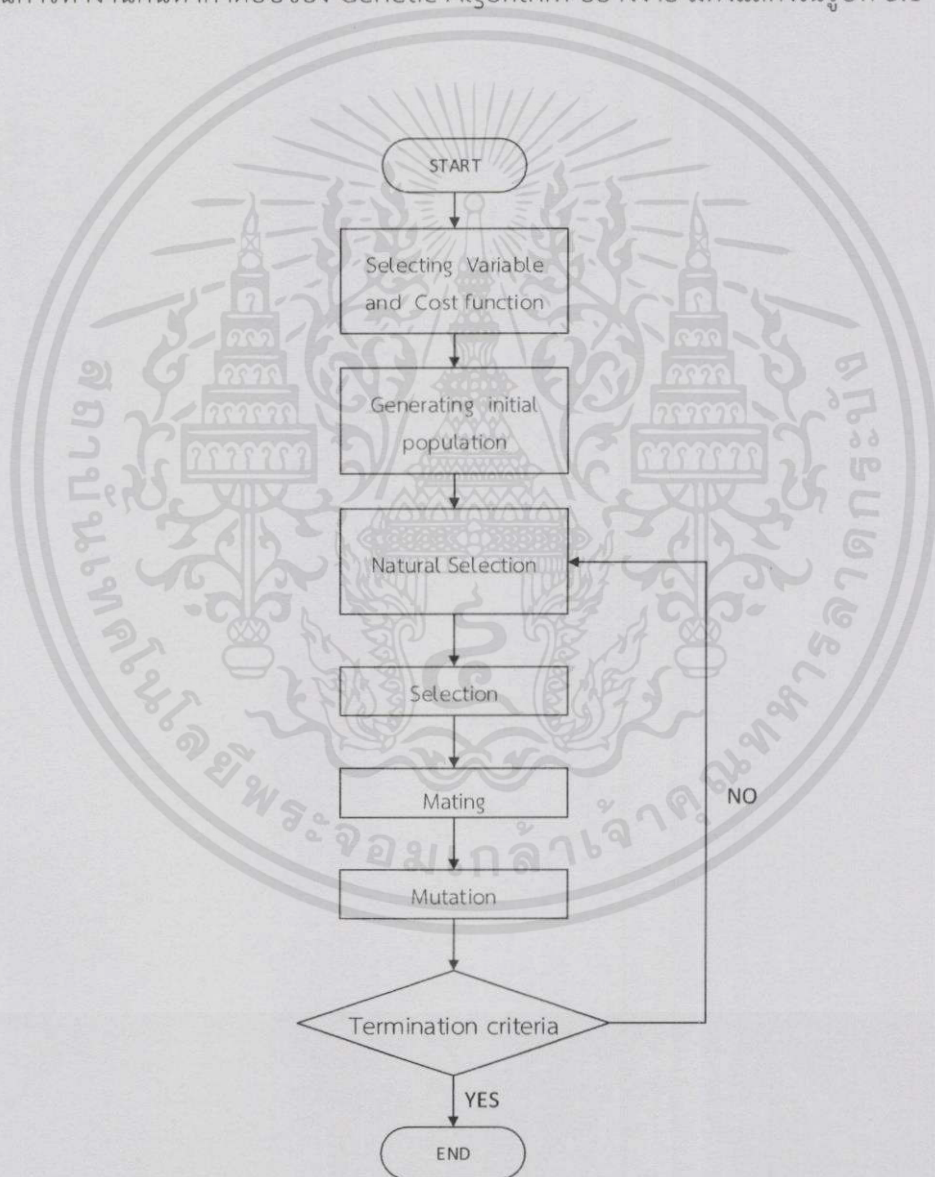
## บทที่ 3

### การออกแบบ

ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการการทำงานของอัลกอริทึมต่างๆและกระบวนการทำงานร่วมกันของระบบจำลองซึ่งประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานลม และระบบสะสมพลังงาน

#### 3.1 วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA)

ขั้นตอนการทำงานค้นหาคำตอบของ Genetic Algorithm อย่างง่าย มีดังแสดงในรูปที่ 3.1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเท่านั้น ไม่ควรนำออกนอกวงจำกัดการนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของการทำงานในแต่ละขั้นมีดังต่อไปนี้

1. การกำหนดค่าตัวแปร สมการค่าใช้จ่ายที่ใช้ในจินเนติก อัลกอริทึม Selection Variable and Cost Function กำหนดว่าในโจทย์ที่ต้องการ Optimize นั้นมีปัจจัยอะไรที่มีผลต่อค่าใช้จ่าย ล้างและทำการสร้างฟังก์ชันสำหรับคำนวณค่าค่าใช้จ่ายขึ้นมาเพื่อใช้ในขั้นต่อไป
2. สร้างประชากรต้นกำเนิด Generate Initial Population ทำการสร้างประชากรชุดแรก เท่ากับจำนวนประชากรสูงสุดที่กำหนดไว้ ซึ่งอาจสร้างขึ้นมาโดยการสุ่ม หรือกำหนดขึ้นเอง
3. การคัดเลือกทางธรรมชาติ Natural Selection เป็นการคัดเลือกโครโมโซม ที่มีค่าใช้จ่ายมากที่สุดออกตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ ทำให้เหลือโครโมโซม อยู่จำนวนหนึ่งสำหรับการเลือก คู่ Mating
4. การเลือกสรร Selection ทำการจับคู่โครโมโซมที่เหลือเพื่อทำการเลือกคู่ Mating โดยใช้วิธีการจับคู่ที่กำหนดขึ้น ซึ่งวิธีการเลือกคู่โครโมโซมขึ้นมา ทำการเลือกคู่ mating
5. การจับคู่ Mating

เป็นการนำโครโมโซมคู่ที่ได้เลือกไว้จากขั้น Selection มาสร้างเป็นโครโมโซม ใหม่โดยการ ทำ Crossover ระหว่างโครโมโซม ทั้งสองซึ่งวิธีการในการทำ Crossover มีหลายวิธีดังต่อไปนี้

1) Single Crossover ทำการสุ่มตำแหน่ง crossover ขึ้นมาหนึ่งตำแหน่ง แล้วทำการ แลกเปลี่ยนยีน ที่อยู่ต่อจากตำแหน่ง Crossover ที่อยู่ติดต่อจากตำแหน่ง Crossover เพื่อสร้างเป็น โครโมโซมใหม่ขึ้นมา 2 โครโมโซม

2) Multipoint crossover ทำการสุ่มตำแหน่ง Crossover ขึ้นมาจำนวนหนึ่งเรียงลำดับจาก น้อยไปหามาก แล้วทำการแลกเปลี่ยนยีน ที่อยู่ระหว่างตำแหน่ง Crossover ที่อยู่ติดกันเพื่อสร้างเป็น โครโมโซมใหม่ขึ้นมา 2 โครโมโซม

3) Uniform crossover mask ซึ่งเป็น bit string ซึ่งมีความยาวเท่ากับโครโมโซมขึ้นมา โดยที่ ค่าของแต่ละบิต Bit ได้มาจากการสุ่ม ซึ่งค่าของแต่ละบิต Bit นี้จะเป็นการกำหนดว่าโครโมโซมที่ สร้างขึ้นใหม่นั้น จะนำค่าของแต่ละยีนมาจากโครโมโซมตัวใด จากโครโมโซม คู่ที่เลือกมาจากขั้น Selection และสร้างอีกโครโมโซมหนึ่งในลักษณะเดียวกันโดยใช้ Inverse ของ Crossover mask ที่ ใช้ข้างต้น

4) Intermediate crossover ใช้สำหรับโครโมโซมที่เป็นแบบ real value string โดยที่ค่าของ แต่ละยีนในโครโมโซมใหม่จะคำนวณจาก

$$O_1 = P_1 \times \alpha (P_2 - P_1) \quad (3.1)$$

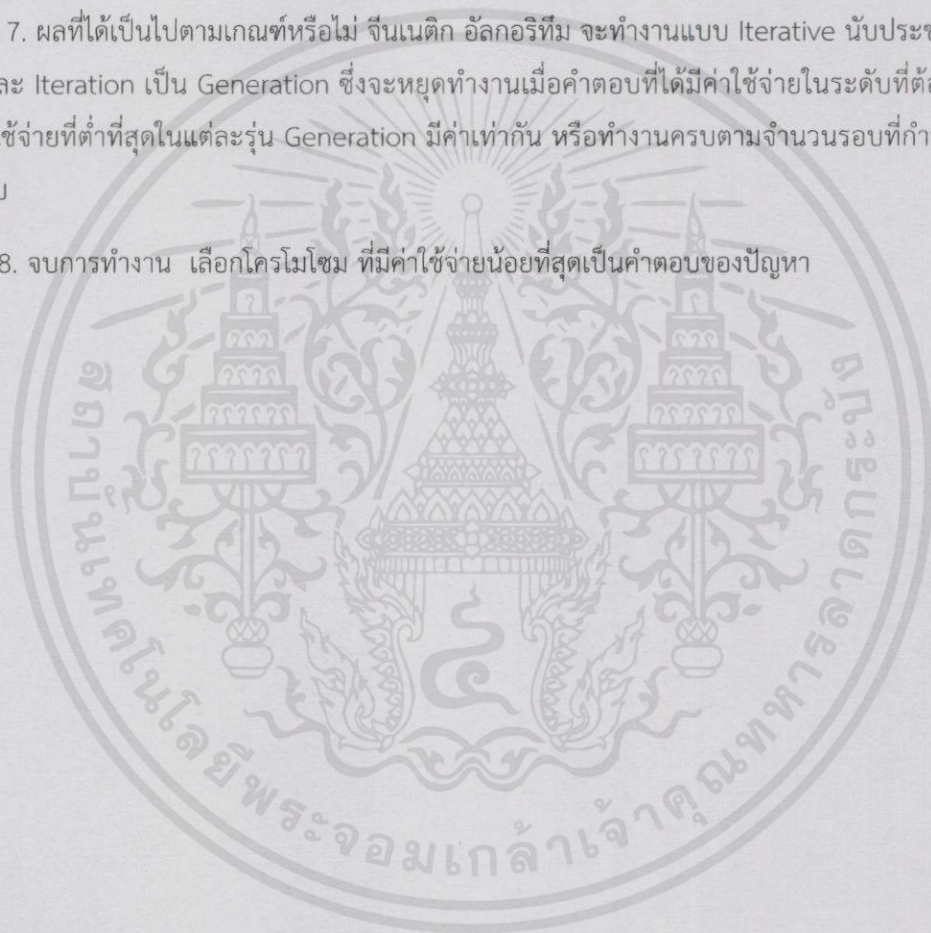
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า โดย  $\alpha$  เป็น Factor ที่ถูกสุ่มมาจากช่วงที่กำหนดขึ้นช่วงหนึ่ง ซึ่งจะทำให้การสุ่มใหม่ทุกครั้งที่จะเปลี่ยน โครโมโซมและ  $P_1, P_2$  เป็นโครโมโซมจากขั้น Selection

5) Line crossover มีลักษณะคล้ายกับ Intermediate crossover แต่ค่า  $\alpha$  ที่ใช้จะคงที่ตลอด

6. การกลายพันธุ์ Mutation ทำการเปลี่ยนแปลงยีนโดยการสับตำแหน่งของยีนที่จะเปลี่ยนแปลง ขึ้นมาตามอัตราส่วนการเกิด Mutation ที่กำหนดไว้โดยการเปลี่ยนแปลงคือการเปลี่ยนค่าของ Bit จาก 0 เป็น 1 หรือ จาก 1 เป็น 0 ในกรณีที่เป็นแบบ Bit string โดยจะยกเว้นไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับโครโมโซมที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดในขณะนั้น และจะไม่มี Mutation ในการทำงานรอบสุดท้าย

7. ผลที่ได้เป็นไปตามเกณฑ์หรือไม่ จินเนติก อัลกอริทึม จะทำงานแบบ Iterative นับประชากรในแต่ละ Iteration เป็น Generation ซึ่งจะหยุดทำงานเมื่อคำตอบที่ได้มีค่าใช้จ่ายในระดับที่ต้องการ, ค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดในแต่ละรุ่น Generation มีค่าเท่ากัน หรือทำงานครบตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้ครบ

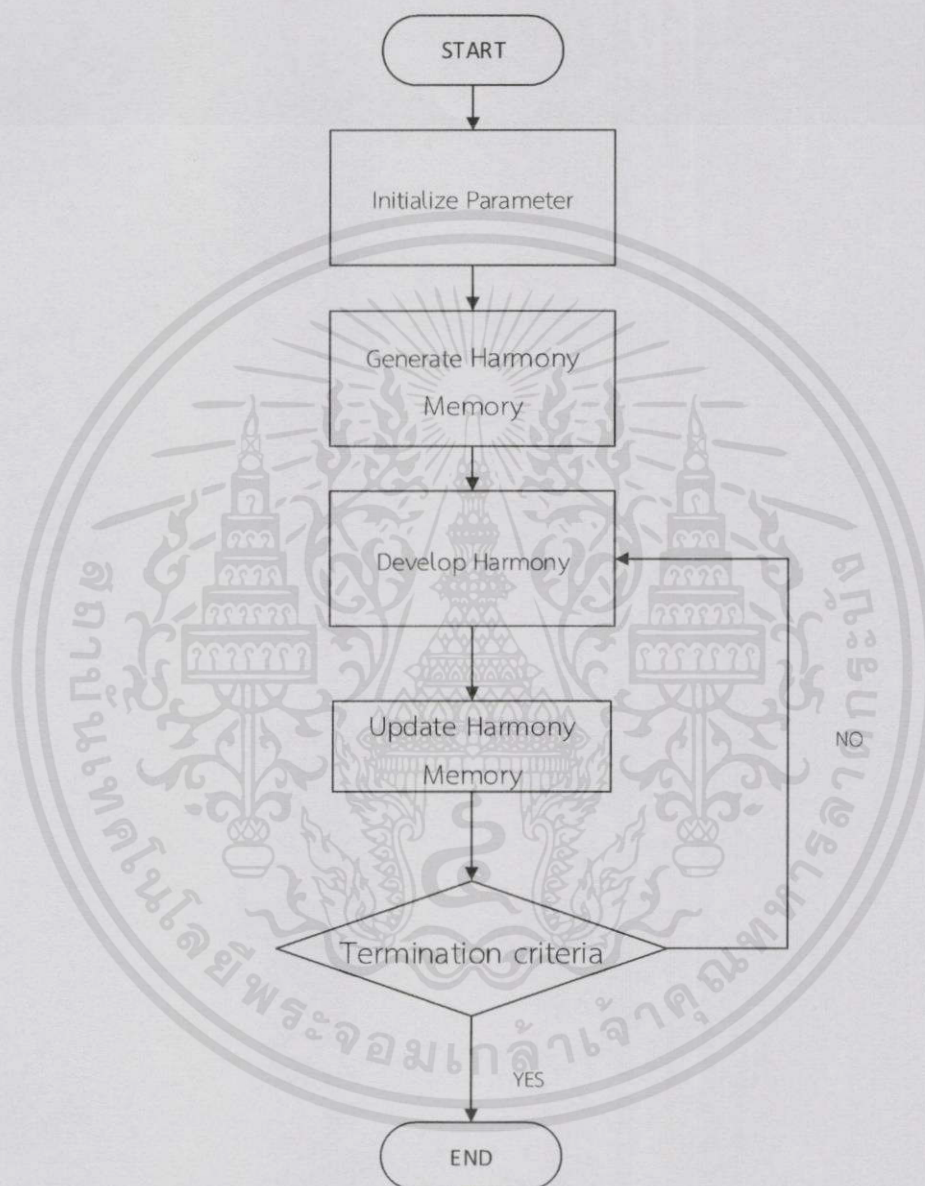
8. จบการทำงาน เลือกโครโมโซม ที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดเป็นคำตอบของปัญหา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 วิธีค้นหาความบรรสาน (Harmony Search : HS)

มีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทำงานของการค้นหาความบรรสาน

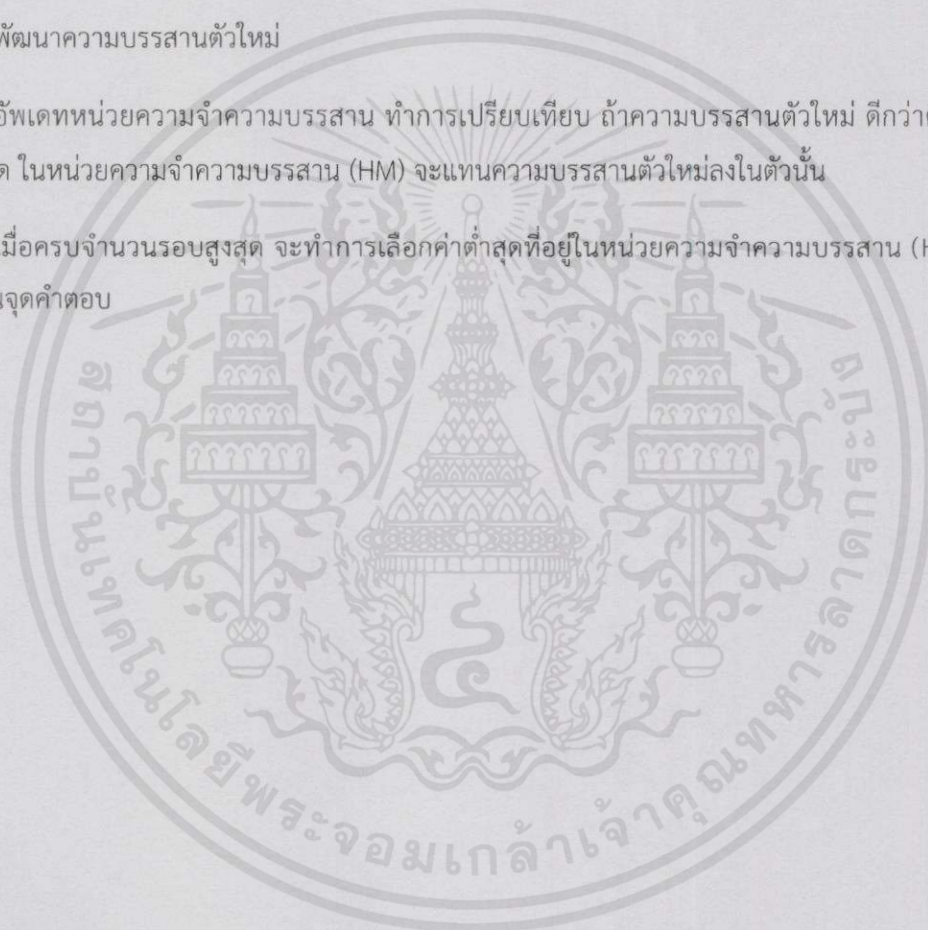
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดของการทำงานในแต่ละขั้นมีดังต่อไปนี้

1. กำหนดพารามิเตอร์หรือตัวแปรควบคุม
2. การสร้างหน่วยความจำความบรรสาน (Harmony Memory : HM) สำหรับจำตัวโน้ตต่าง ๆ ที่เคยทำการเล่นมาแล้ว โดยการสุ่มให้อยู่ในช่วงขอบเขตที่กำหนด แล้วทำการประเมินค่าความฟิต โดยการนำค่าHM มาแทนในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังสมการ

$$HM(j,:) = X_L + (X_U - X_L) \times rand(1,N) \quad (3.2)$$

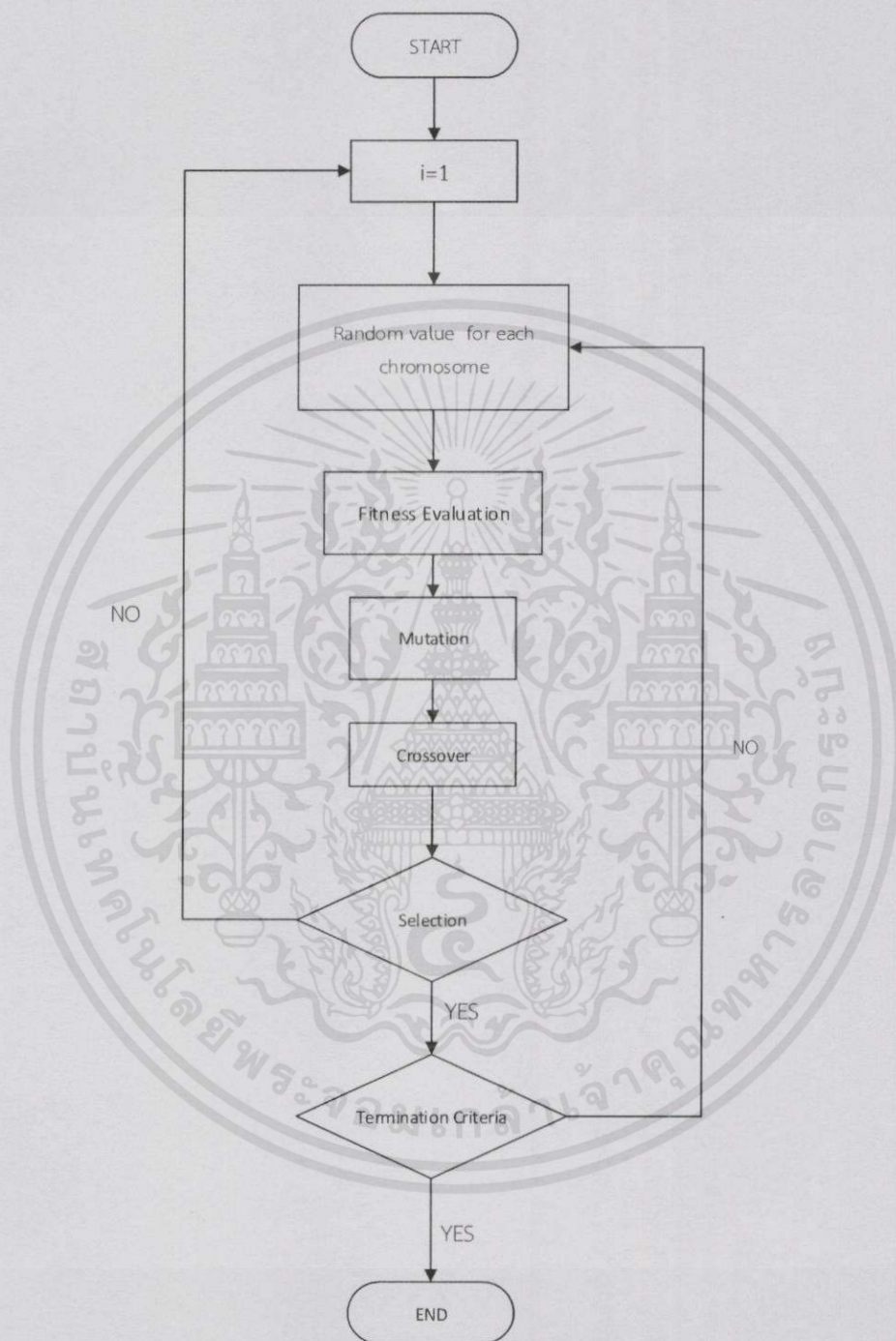
3. พัฒนาความบรรสานตัวใหม่
4. อัปเดตหน่วยความจำความบรรสาน ทำการเปรียบเทียบ ถ้าความบรรสานตัวใหม่ ดีกว่าตัวที่แย่ที่สุด ในหน่วยความจำความบรรสาน (HM) จะแทนความบรรสานตัวใหม่ลงในตัวนั้น
5. เมื่อครบจำนวนรอบสูงสุด จะทำการเลือกค่าต่ำสุดที่อยู่ในหน่วยความจำความบรรสาน (HM) มาเป็นจุดคำตอบ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution : DE)

มีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดการทำงานในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

1. สร้างเวกเตอร์ประชากรเริ่มต้น จากการสุ่ม

$$X_{ij}^0 = X_j^{\min} + rand_{ij} \times (X_j^{\max} - X_j^{\min}) \quad (3.3)$$

2. ทำการคำนวณหา fitness ของเวกเตอร์

$$V_{i,G} = X_{best1,G} + F(X_{r1,G} - X_{r2,G}) \quad (3.4)$$

3. ทำการ crossover เพื่อหา Trial Vector

$$V_{ji,G} \text{ if } (randb(j) < CR) \text{ or } j = j_{rand} \quad (3.5)$$

$$X_{ji,G} \text{ if } (randb(j) > CR) \text{ or } j \neq j_{rand} \quad (3.6)$$

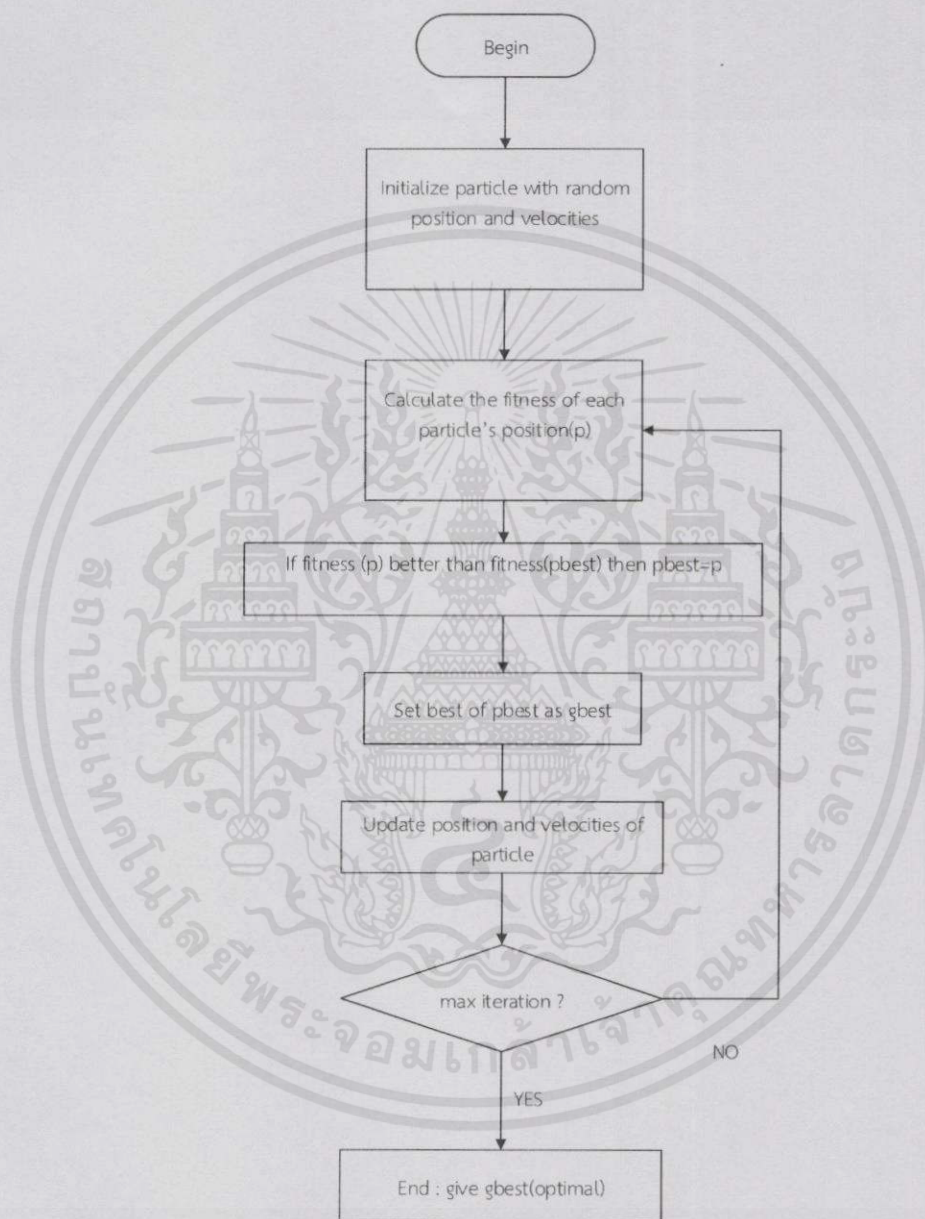
4. ทำการคัดเลือกประชากรในรุ่นต่อไป (G+1)

$$x_i^{G+1} = \begin{cases} u_i^G, & \text{if } f(u_i^G) < f(x_i^G) \\ x_i^G, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.7)$$

5. จบการทำงานเมื่อครบจำนวนรอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) มีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดการทำงานในแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

1. กำหนดค่าตัวแปรเริ่มต้น สมการค่าใช้จ่าย (Objective Function) ที่ต้องการจะนำมา Optimize จะบอกว่ามีปัจจัยอะไรบ้างที่มีผลต่อค่าใช้จ่าย การคำนวณค่าใช้จ่าย จะเริ่มจากการสุ่มหาค่าเริ่มต้น ในที่นี้คือ ตำแหน่งเริ่มต้น และความเร็วเริ่มต้น

$$X_i^{k+1} = X_i^k + V_i^{k+1} \quad (3.8)$$

2. หาค่าฟิตเนสฟังก์ชัน ค่าตำแหน่งเริ่มต้นและความเร็วเริ่มต้นของอนุภาคแต่ละอนุภาคที่ได้จากการสุ่ม จะนำมาแทนลงในสมการค่าใช้จ่าย เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดในแต่ละ iteration

3. เปรียบเทียบค่าที่ได้ โดยนำค่าคำตอบที่ได้จาก iteration ใดๆ มาเปรียบเทียบกับคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละอนุภาค เพื่อหาค่า  $Pbest$  ใหม่

4. หาค่า  $Gbest$  โดยให้เลือกค่าที่ดีที่สุดของ  $Pbest$  นำมาตั้งให้เป็นค่า  $Gbest$

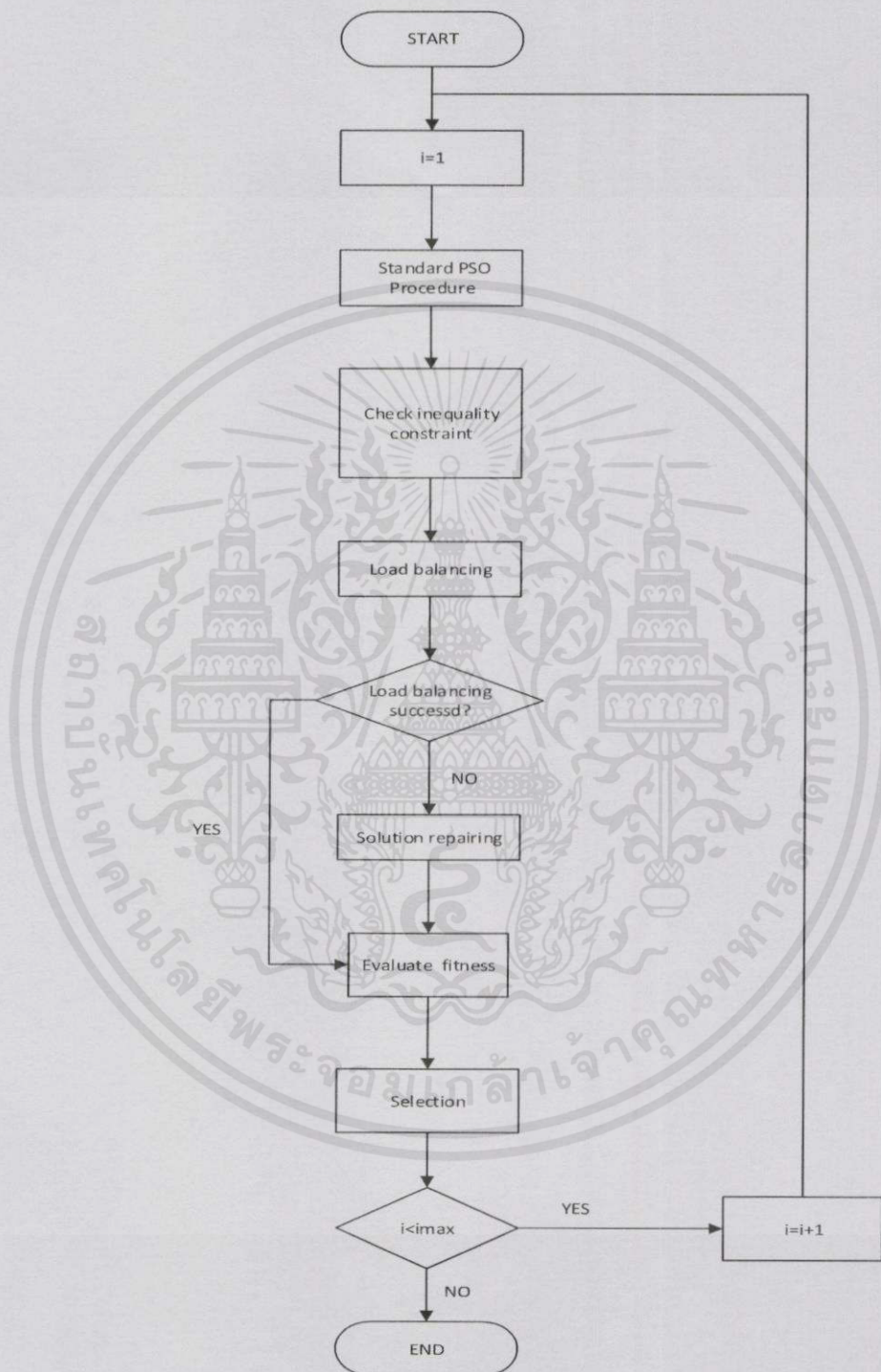
5. อัปเดตค่าของตำแหน่งและความเร็วของอนุภาคใหม่ โดยนำมาจากค่า  $Pbest$  และ  $Gbest$  ที่ได้มาแทนลงในสมการ

$$V_i^{k+1} = \omega \times V_i^k + c_1 \times r_{n1} \times (Pbest_i^k - X_i^k) + c_2 \times r_{n2} \times (Gbest_i^k - X_i^k) \quad (3.9)$$

6. เงื่อนไขการวนรอบ ถ้าถึงรอบสูงสุด จะสิ้นสุดการคำนวณ หรือถ้าไม่จะทำต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดย PSO  
มีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.5



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 3.5 ขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดย PSO ร่วมกับกระบวนการ  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาปรับปรุงคำต้อบอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

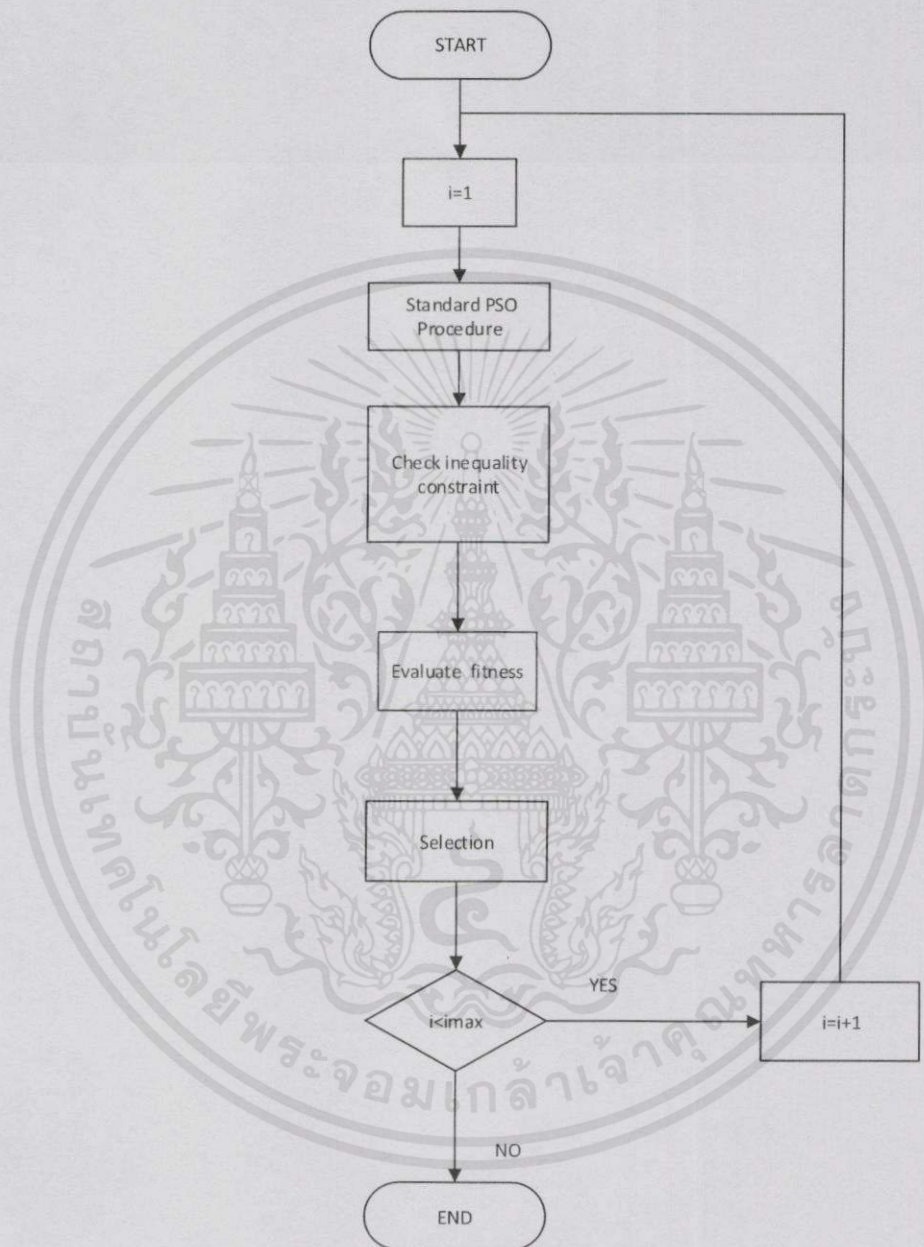
### รายละเอียดการทำงานแต่ละขั้นตอน

1. นำข้อมูลเข้ากระบวนการ PSO เพื่อหาค่ากำลังผลิตที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละชั่วโมง
2. ตรวจสอบเงื่อนไขได้แก่
  - สมดุลของกำลังไฟฟ้า (Power balance)
  - อัตราการเพิ่มของกำลังผลิต (Ramp rate)
  - บริเวณต้องห้ามสำหรับการดำเนินการ (Prohibited operating zone)
  - กำลังไฟฟ้าที่มากที่สุดและน้อยที่สุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถจ่ายได้ (Maximum and Minimum Power Limits)
3. เมื่อค่ากำลังผลิตที่ได้ผ่านเงื่อนไข นำค่าที่ได้เข้าสู่กระบวนการปรับปรุงคำตอบ
4. ค่าที่ผ่านการปรับปรุงคำตอบแล้วจะถูกนำไปประเมินค่า โดยการนำค่ากำลังที่ได้แทนค่าใน objective function ได้เป็นราคาออกมา
5. นำราคาที่ได้เปรียบเทียบกับราคาเดิมหาค่าที่ดีที่สุดเก็บไว้
6. นำค่าที่ดีที่สุดไปใช้เป็นค่าเริ่มต้นของ iteration ถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 กระบวนการหาค่าที่เหมาะสมของระบบสะสมพลังงานโดย PSO

มีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.6

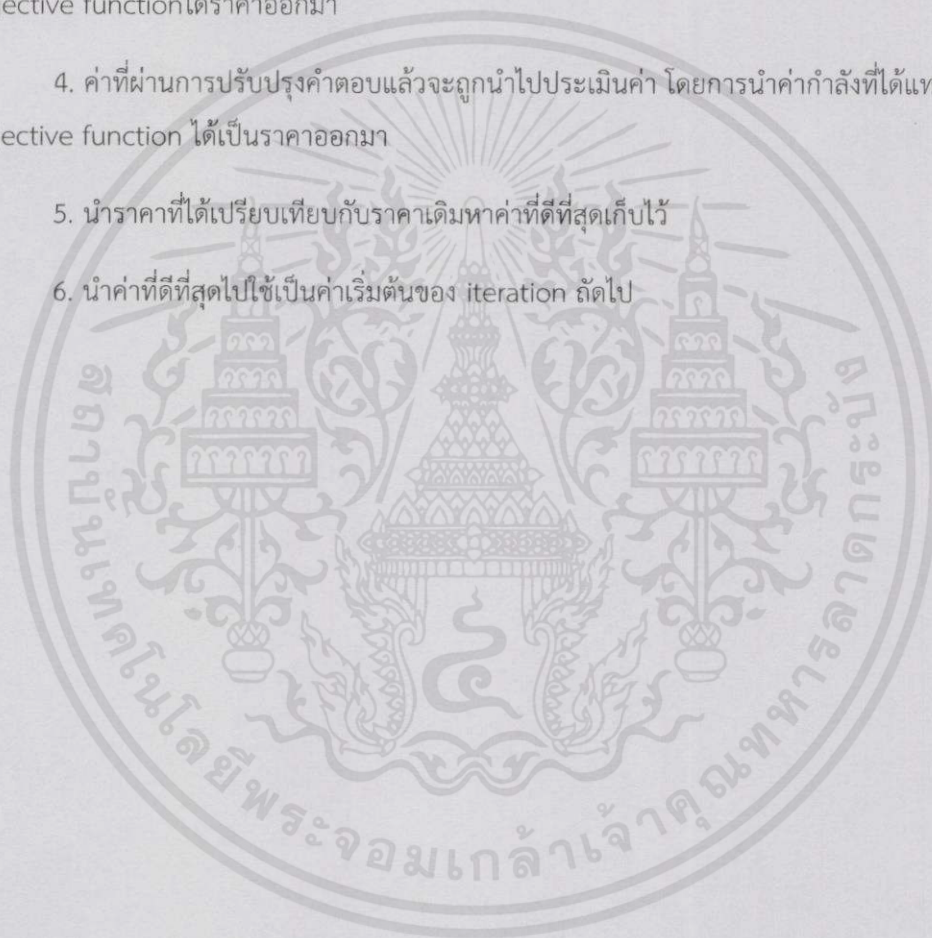


รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะสมของระบบสะสมพลังงานโดย PSO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

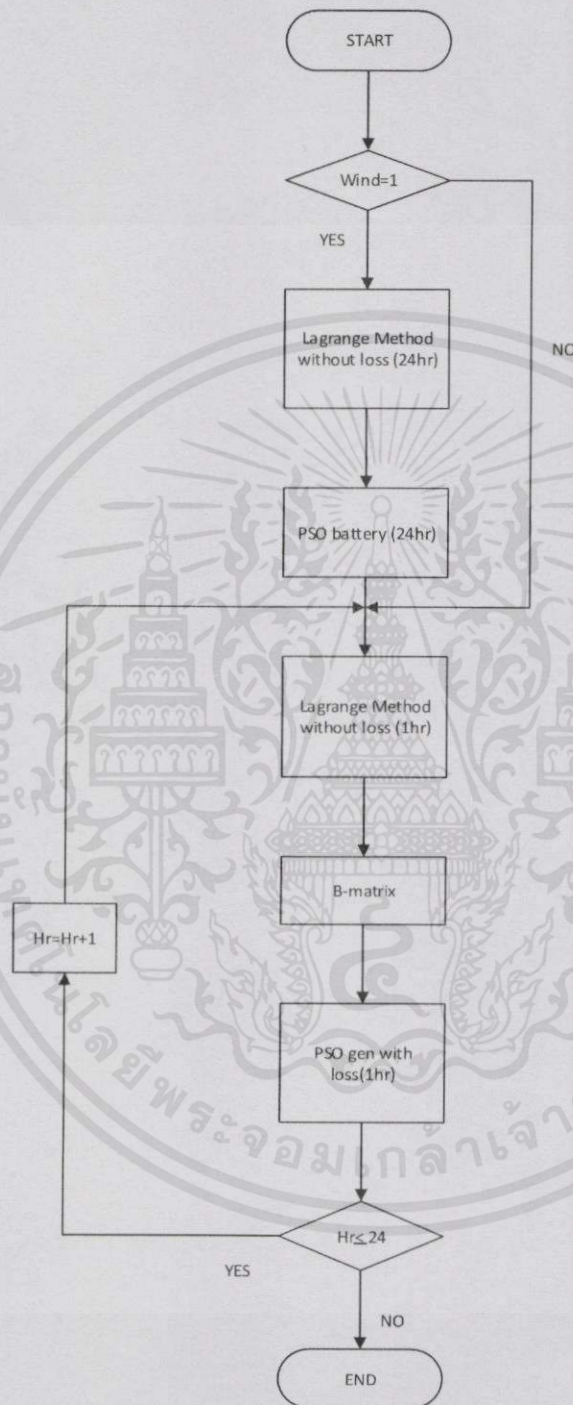
รายละเอียดของการทำงานแต่ละขั้นตอนมีดังนี้

1. นำข้อมูลเข้ากระบวนการ PSO เพื่อหาค่ากำลังผลิตที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละชั่วโมง
2. ตรวจสอบเงื่อนไขของแบตเตอรี่ได้แก่
  - BESS power
  - BESS energy
3. นำข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขแล้วมาประเมินค่าโดยการนำค่ากำลังที่ได้แทนค่าใน objective function ได้ราคาออกมา
4. ค่าที่ผ่านการปรับปรุงคำตอบแล้วจะถูกนำไปประเมินค่า โดยการนำค่ากำลังที่ได้แทนค่าใน objective function ได้เป็นราคาออกมา
5. นำราคาที่ได้เปรียบเทียบกับราคาเดิมหาค่าที่ดีที่สุดเก็บไว้
6. นำค่าที่ดีที่สุดไปใช้เป็นค่าเริ่มต้นของ iteration ถัดไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 แผนผังโปรแกรมการทำงานของกระบวนการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต  
มีขั้นตอนการทำงานดังรูปที่ 3.7



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทำงานของการหาค่าที่เหมาะสมของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดนี้ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดการทำงานของขั้นตอนต่างๆ มีดังนี้

1. แบ่งการพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่พิจารณาพลังงานทดแทนร่วมด้วย (ตัวแปร Wind จะมีค่าเท่ากับ 1 ) และ ไม่พิจารณาพลังงานทดแทน (ตัวแปร Wind จะมีค่าเป็น 0) ซึ่งในกรณีนี้พิจารณาพลังงานทดแทน (พลังงานลม) หากไม่ต้องการพิจารณาพลังงานทดแทนโปรแกรมจะข้ามไปทำงานในขั้นตอนที่ 4

2. นำข้อมูลเข้าโปรแกรมคำนวณโดยวิธี Lagrange โดยไม่พิจารณากำลังสูญเสีย จะได้กำลังผลิตออกมา 24 ค่า 24 ชม. เป็นค่าเริ่มต้น

3. นำค่าที่ได้เข้าโปรแกรมการหาค่าที่เหมาะสมของแบตเตอรี่โดย PSO เพื่อให้ได้สถานะของแบตเตอรี่ในแต่ละชม เมื่อได้สถานะแบตเตอรี่ จะได้ค่ากำลังผลิตมาค่าหนึ่งซึ่งนำไปหักลบกับกำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการ ทำให้กำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเปลี่ยนไป

4. นำค่ากำลังที่ผ่านกระบวนการหาค่าที่เหมาะสมของแบตเตอรี่โดย PSO มาเข้าโปรแกรม Lagrange อีกครั้งเพื่อ หากำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมง

5. คำนวณ ค่า B-Coefficient ของแต่ละชั่วโมง คำนวณกำลังสูญเสียใช้ B-Coefficient แทนในสมการ

6. นำค่ากำลังสูญเสียที่คำนวณได้ มาพิจารณาร่วมเพื่อหาค่ากำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมง เพื่อให้ได้ราคาต้นทุนผลิตต่ำที่สุดโดยผ่านกระบวนการ PSO

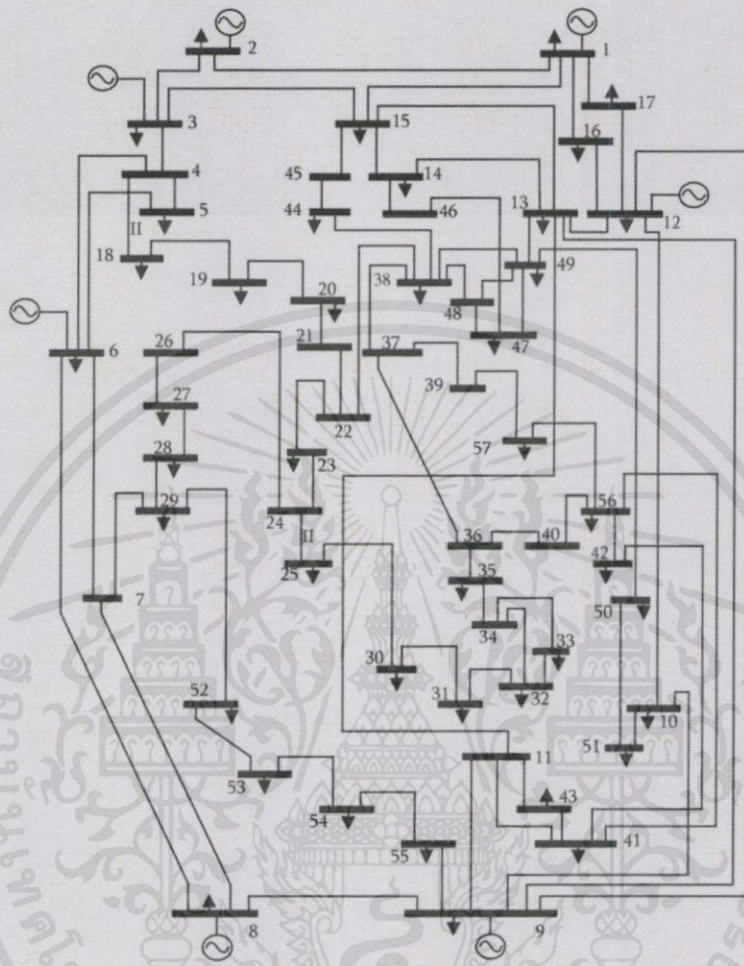
7. คำนวณวงรอบจนครบทั้ง 24 ชั่วโมง

### 3.8 ระบบทดสอบ : 15 Thermal Unit

เป็นระบบที่ใช้ในการจำลองระบบด้วยวิธีการต่างๆ 4 วิธี เพื่อเปรียบเทียบการลู่เข้าของคำตอบ ในระบบนี้ประกอบด้วย Thermal Generator 15 Unit โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สามารถดูได้จาก ภาคผนวก ข. ระบบตั้งค่ากำลังภาระทางไฟฟ้าที่ต้องการไว้ที่ 2630 MW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.9 ระบบทดสอบ : Power Flow Test Case 57 bus (University of Washington Electrical Engineering )



รูปที่ 3.8 ระบบทดสอบที่ใช้ : Power Flow Test Case 57 bus (University of Washington Electrical Engineering )

จากรูปที่ 3.8 แสดงระบบทดสอบ 57 บัส จากระบบกำลังไฟฟ้าของประเทศสหรัฐอเมริกา (แถบมิดเวสต์) ซึ่งอยู่ในช่วงปี 1960 ข้อมูลถูกจัดทำให้โดย Iraj Dabbagchi จาก AEP และถูกนำเข้าฐานข้อมูลของ IEEE โดย Rich Christie ที่ University of Washington ในเดือนสิงหาคมปี 1993.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้ก่อนการเผยแพร่ไปยังหน่วยงานอื่นด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม ลิขสิทธิ์นี้ไม่มีข้อจำกัดในสายส่ง ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

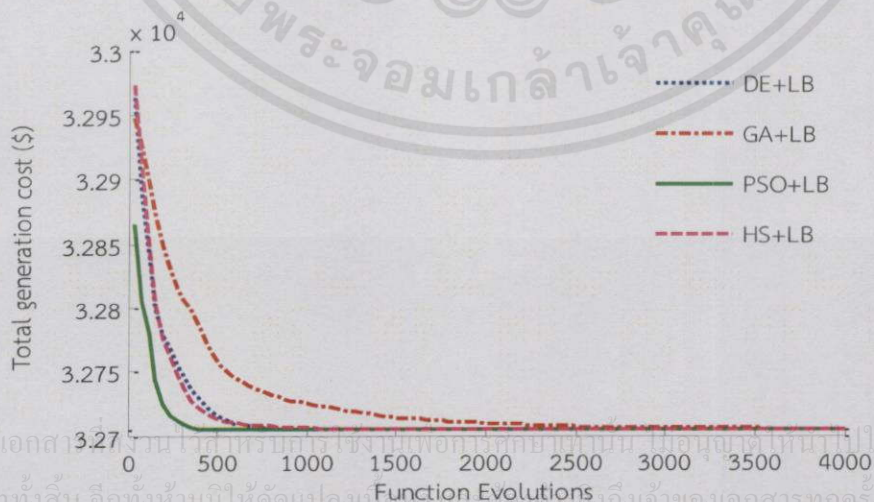
## บทที่ 4 ผลการจำลอง

### 4.1 ผลการจำลองการเปรียบเทียบการปรับปรุงการลู่เข้าโดยวิธีฮิวริสติก

กระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยวิธีการฮิวริสติกมีด้วยกันหลายวิธี ในการหาวิธีที่มีประสิทธิภาพมาใช้ในการแก้ปัญหาอย่างรวดเร็วยังคงมีการพิจารณาหาจุดดำเนินการเพียงจุดเดียว โดยกระบวนการปรับปรุงการลู่เข้าแบ่งออกเป็น 3 กรณี ได้แก่ LB SR และ LB & SR การเปรียบเทียบจะพิจารณาจากการลู่เข้าของราคาต้นทุนเชื้อเพลิง ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว แล้วนำวิธีการดังกล่าวมาหาค่าที่เหมาะสมโดยเปรียบเทียบกัน ระบบทดสอบที่นำมาใช้คือ ระบบ 15 Thermal Unit

#### 4.1.1 การจำลองการลู่เข้าของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของวิธีต่างๆ ร่วมกับการปรับปรุงค่าตอบแบบ LB

ผลการลู่เข้า โดยใช้ 20,000 FEs ดังแสดงในรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าผลเฉลี่ยของคำตอบทั้งหมดจากอัลกอริทึมต่างๆ ได้แก่ DE GA PSO และ HS ลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุด (ราคาต้นทุนทางด้านเชื้อเพลิง) ค่าเดียวกันภายใต้ข้อจำกัดที่กำหนด โดยแต่ละอัลกอริทึมใช้เวลาในการลู่เข้าที่แตกต่างกันซึ่งจะเห็นได้ว่า PSO เมื่อร่วมกับการปรับปรุงค่าตอบ LB แล้ว จะลู่เข้า FEs ที่ 7600



เอกสารนี้เป็นเอกสารงานวิจัยสำหรับโครงการวิจัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาบทประพันธ์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

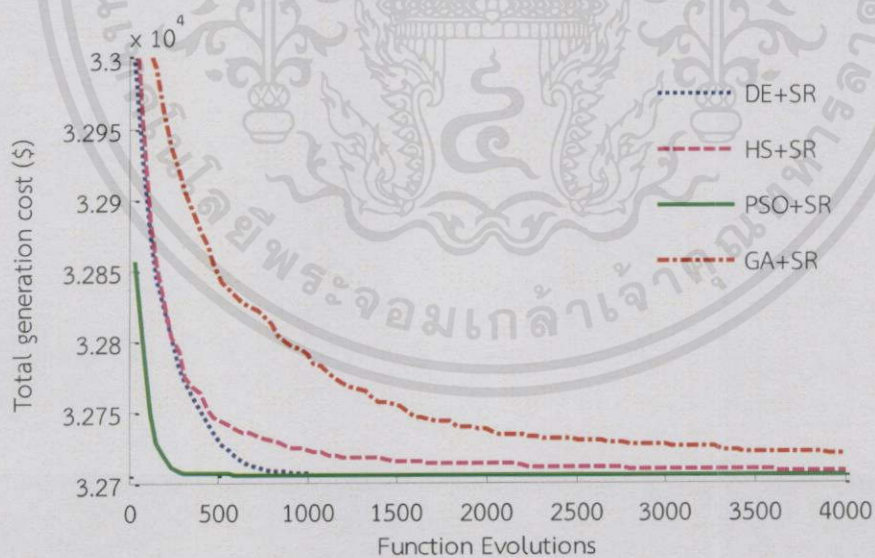
รูปที่ 4.1 การลู่เข้าของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของวิธีต่างๆ ร่วมกับการปรับปรุงค่าตอบแบบ LB

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสำหรับการจ่ายโหลดอย่างประหยัด ของวิธีต่างๆ ร่วมกับการปรับปรุงค่าตอบแบบ LB

|                   | DE+LB    | GA+LB    | HS+LB    | PSO+LB   |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Minimum Cost (\$) | 32704.45 | 32704.45 | 32704.45 | 32704.44 |
| Average Cost (\$) | 32704.45 | 32704.46 | 32704.45 | 32704.46 |
| Maximum Cost(\$)  | 32704.45 | 32704.61 | 32704.47 | 32704.83 |

#### 4.1.2 การจำลองการลู่เข้าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของวิธีต่างๆ ร่วมกับการปรับปรุงค่าตอบแบบ SR

ผลการลู่เข้า โดยใช้ 20,000 FEs ดังแสดงในรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าผลเฉลี่ยขอค่าตอบทั้งหมดจากอัลกอริทึมต่างๆ ได้แก่ DE GA PSO และ HS ลู่เข้าสู่ค่าตอบที่เหมาะสมที่สุด (ราคาต้นทุนทางด้านเชื้อเพลิง) ค่าเดียวกันภายใต้ข้อจำกัดที่กำหนด โดยแต่ละอัลกอริทึมใช้เวลาในการลู่เข้าที่แตกต่างกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่า PSO เมื่อร่วมกับการปรับปรุงค่าตอบ SR แล้ว จะลู่เข้า FEs ที่ 960



รูปที่ 4.2 การลู่เข้าของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของวิธีต่างๆ ร่วมกับการปรับปรุงค่าตอบแบบ SR

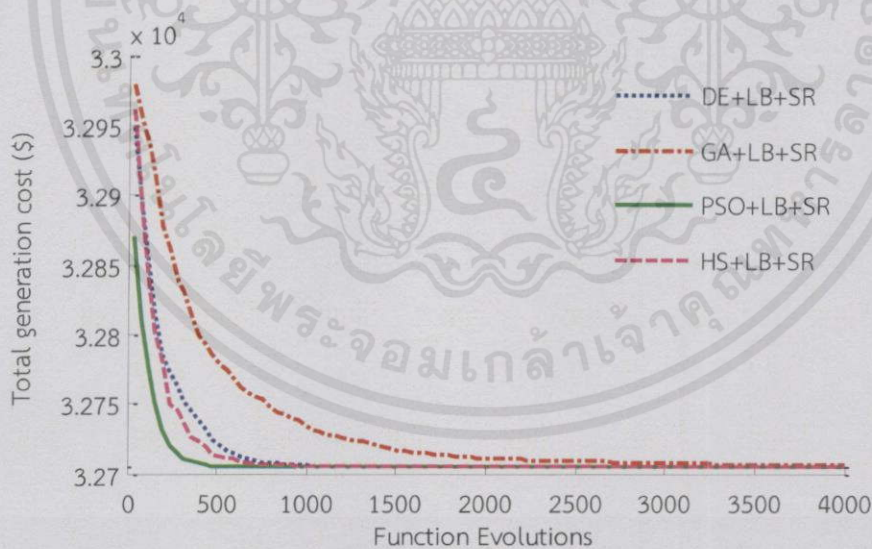
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองสำหรับการลู่เข้าของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของวิธีต่างๆ ร่วมกับการปรับปรุงค่าตอบแบบ SR

|                   | DE+SR    | GA+SR    | HS+SR    | PSO+SR   |
|-------------------|----------|----------|----------|----------|
| Minimum Cost (\$) | 32704.45 | 32705.07 | 32704.45 | 32704.45 |
| Average Cost (\$) | 32709.33 | 32707.13 | 32704.47 | 32704.45 |
| Maximum Cost(\$)  | 32816.66 | 32710.19 | 32704.54 | 32704.45 |

4.1.3 การจำลองการลู่เข้าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของวิธีต่างๆ ร่วมกับการปรับปรุงค่าตอบแบบ LB & SB

ผลการลู่เข้าโดยใช้ 20,000 FEs ดังแสดงในรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าผลเฉลี่ยของค่าตอบทั้งหมดจากอัลกอริทึมต่างๆ ได้แก่ DE GA PSO และ HS ลู่เข้าสู่ค่าตอบที่เหมาะสมที่สุด (ราคาต้นทุนทางด้านเชื้อเพลิง) ค่าเดียวกันภายใต้ข้อจำกัดที่กำหนด โดยแต่ละอัลกอริทึมใช้เวลาในการลู่เข้าที่แตกต่างกันซึ่งจะเห็นได้ว่า PSO เมื่อร่วมกับการปรับปรุงค่าตอบ LB+SR แล้ว จะลู่เข้า FEs ที่ 640



รูปที่ 4.3 การลู่เข้าของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของวิธีต่างๆ ร่วมกับการปรับปรุงค่าตอบแบบ LB & SR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองการจ่ายโหลดอย่างประหยัดของวิธีต่างๆ ร่วมกับการปรับปรุงคำตอบแบบ LB & SR

|                   | DE+(LB+SR) | GA+(LB+SR) | HS+(LB+SR) | PSO+(LB+SR) |
|-------------------|------------|------------|------------|-------------|
| Minimum Cost (\$) | 32704.45   | 32704.45   | 32704.45   | 32704.45    |
| Average Cost (\$) | 32704.45   | 32704.47   | 32704.45   | 32704.45    |
| Maximum Cost(\$)  | 32704.45   | 32704.57   | 32704.47   | 32704.45    |

สามารถสรุปได้ว่า ไม่ว่าจะใช้อัลกอริทึมใดๆสามารถนำมาใช้แก้ปัญหาได้เช่นเดียวกัน ต่างกันที่เวลาในการลู่เข้าที่มีความช้า-เร็วต่างกัน ซึ่งพบว่าผลการจำลอง PSO จะใช้เวลาในการลู่เข้าที่น้อยที่สุด โดย PSO จากการใช้ LB+SR จะใช้เวลาที่น้อยที่สุด รองลงมา คือ HS และ DE สุดท้ายคือ GA โดยพิจารณา Fes (จำนวนรอบในการหาคำตอบ) ซึ่งเป็นค่าในแกน X ในรูปที่ 4.1-4.3

ดังนั้นในปริญญานิพนธ์นี้จึงได้เลือกใช้วิธีการ PSO มาใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมในการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต โดยทำนายล่วงหน้า 1 วัน มีการพิจารณาใช้พลังงานทดแทนมาร่วมในการจ่ายโหลดด้วย (พลังงานลม) จะทำการศึกษาใน 2 กรณี คือการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าร่วมกับพลังงานลม และ การจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานลม และ ระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.2 ผลการเปรียบเทียบผลการจำลองการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต

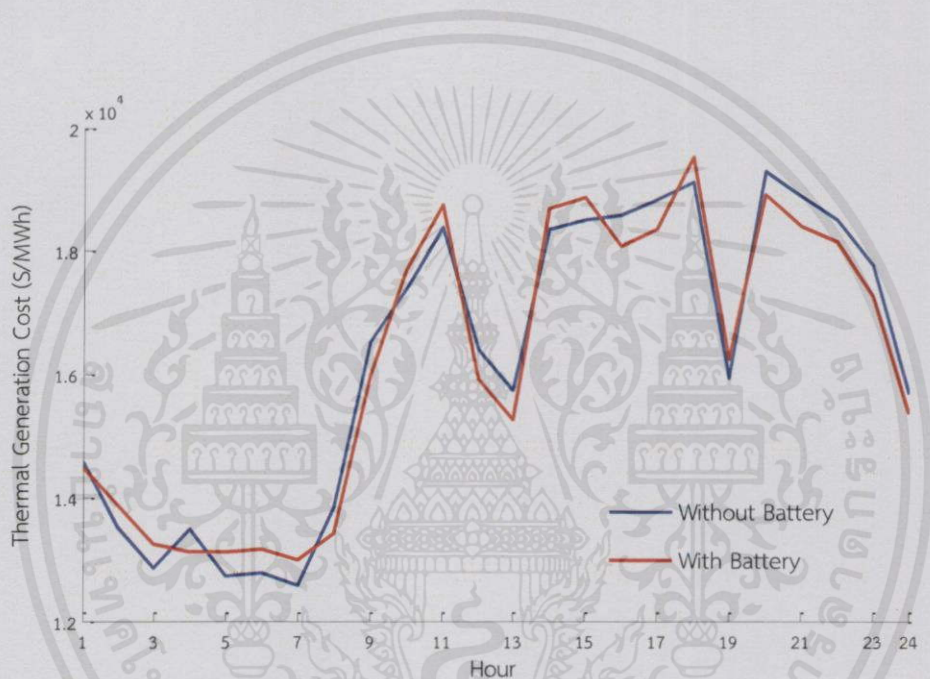
กระบวนการหาค่าเหมาะสมที่สุดโดยวิธี PSO และ Lagrange Method สำหรับแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตที่มีการพิจารณาการจ่ายโหลดล่วงหน้า 1 วัน โดยกระบวนการปรับปรุงการลู่เข้าที่นำมาใช้คือ LB & SR แบ่งการจำลองระบบเป็น 2 กรณี ได้แก่ ระบบที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าร่วมกับพลังงานลม และระบบที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานลม และระบบสะสมพลังงาน ระบบที่นำมาทดสอบคือ Power Flow Test Case 57 bus (University of Washington Electrical Engineering )

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิตต่อชั่วโมงของ 2 กรณีศึกษา

| Thermal Generation Cost (\$)             |                      |                   |                                       |                      |                   |
|--|----------------------|-------------------|---------------------------------------|----------------------|-------------------|
| Hour                                     | Cost without Battery | Cost with Battery | Hour                                  | Cost without Battery | Cost with Battery |
| 1  | 14568.66             | 14474.77          | 13                                    | 15745.29             | 15259.71          |
| 2  | 13511.18             | 13864.09          | 14                                    | 18353.14             | 18680.81          |
| 3  | 12851.05             | 13240.75          | 15                                    | 18501.93             | 18859.36          |
| 4  | 13486.67             | 13100.10          | 16                                    | 18591.77             | 18093.60          |
| 5  | 12719.35             | 13116.60          | 17                                    | 18857.06             | 18365.55          |
| 6  | 12771.40             | 13165.52          | 18                                    | 19128.84             | 19539.82          |
| 7  | 12561.66             | 12968.88          | 19                                    | 15945.22             | 16256.11          |
| 8  | 13842.37             | 13416.97          | 20                                    | 19307.49             | 18920.86          |
| 9  | 16538.13             | 15962.87          | 21                                    | 18902.19             | 18405.92          |
| 10                                       | 17394.89             | 17690.58          | 22                                    | 18512.82             | 18161.22          |
| 11                                       | 18378.75             | 18731.38          | 23                                    | 17773.09             | 17273.24          |
| 12                                       | 16414.09             | 15917.42          | 24                                    | 15706.52             | 15359.54          |
| Total Cost (\$/Day)<br>(Without Battery) |                      | 390363.56         | Total Cost (\$/Day)<br>(With Battery) |                      | 388825.69         |
| Different Cost (\$/Day)                  |                      |                   | 1537.87                               |                      |                   |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่จ่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่า ราคาต้นทุนการผลิตในแต่ละชั่วโมงของกรณีการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าร่วมกับพลังงานลม มีราคาสูงกว่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานลม และระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System) แต่ในบางชั่วโมงการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานลม และระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System) มีต้นทุนที่สูงกว่า เพราะเป็นช่วงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ต้องผลิตกำลังไฟฟ้าไปชาร์จให้กับระบบสะสมพลังงานด้วย นอกเหนือไปจากการจ่ายให้กับโหลด ดังแสดงดังรูปที่ 4.4



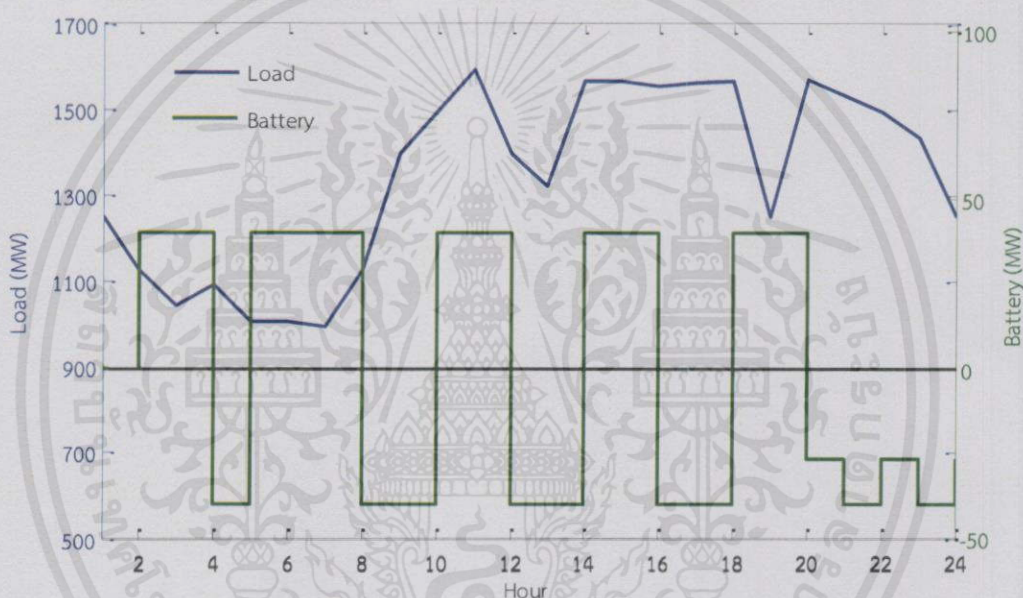
รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบราคาในแต่ละชั่วโมงของทั้ง 2 กรณี

แต่โดยภาพรวม 1 วันราคาต้นทุนการผลิตของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานลม และ ระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System) ยังมีราคาต่ำกว่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าร่วมกับพลังงานลมโดยถูกกว่า 1537.87 \$/วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3 การหาค่าที่เหมาะสมสำหรับสถานะระบบสะสมพลังงานแต่ละชั่วโมง

จากการจำลองระบบสะสมพลังงานโดยใช้ PSO เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของสถานะของระบบสะสมพลังงาน พบว่าการชาร์จหรือดิสชาร์จของระบบสะสมพลังงาน จะอ้างอิงตามตารางโหลด โดยเมื่อโหลดมีแนวโน้มสูงขึ้นระบบสะสมพลังงานจะมีสถานะดิสชาร์จเพื่อช่วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายโหลด ทำให้ราคาของต้นทุนการผลิตจะถูกลงในช่วงนี้ และเมื่อโหลดมีแนวโน้มลดลงระบบสะสมพลังงานจะมีสถานะชาร์จ โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะชาร์จพลังงานให้กับระบบสะสมพลังงาน ซึ่งจะทำให้ราคาต้นทุนสูงขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และตารางที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟสถานะของระบบสะสมพลังงานในแต่ละชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 สถานะของระบบสะสมพลังงานของแต่ละชั่วโมง

| Hour | Battery (MW) | Hour | Battery (MW) |
|------|--------------|------|--------------|
| 1    | 0.00         | 13   | -40.00       |
| 2    | 40.00        | 14   | 40.00        |
| 3    | 40.00        | 15   | 40.00        |
| 4    | -40.00       | 16   | -40.00       |
| 5    | 40.00        | 17   | -40.00       |
| 6    | 40.00        | 18   | 40.00        |
| 7    | 40.00        | 19   | 40.00        |
| 8    | -40.00       | 20   | -26.67       |
| 9    | -40.00       | 21   | -40.00       |
| 10   | 40.00        | 22   | -26.67       |
| 11   | 40.00        | 23   | -40.00       |
| 12   | -40.00       | 24   | -26.67       |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผล

ปริญญาณิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดเพื่อแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด โดยได้ทำการจำลองระบบด้วยวิธีการฮิวริสติก 4 วิธี อันได้แก่วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) วิธีค้นหาความบรรสาน (Harmony Search : HS) วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution : DE) และวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) โดยพบว่าวิธีที่ให้ผลลัพธ์ลู่เข้าเร็วที่สุดคือวิธี PSO จึงได้นำวิธีการนี้มาประยุกต์ใช้ต่อ

การแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตโดยการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) และ Lagrange method เนื่องจากข้อจำกัดสมการและข้อจำกัดทางเทคนิคของเครื่องกำเนิดที่เพิ่มขึ้น การแก้ปัญหาด้วยแคลคูลัสจึงทำได้ยากขึ้น การหาค่าเหมาะสม (Optimization) โดยใช้ PSO จึงมีความเหมาะสมกว่าผลที่ได้คือการจ่ายโหลดเป็นไปอย่างเหมาะสม และราคาของต้นทุนเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดมีราคาที่ลดลงจากเดิม

นอกเหนือไปจากที่กล่าวมาแล้ว ปริญญาณิพนธ์ฉบับนี้ยังพิจารณากำลังไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานลมและระบบสะสมพลังงานร่วมกับระบบเดิมด้วย และใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) และ Lagrange method ในการแก้ปัญหาจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต โดยแบ่งการจำลองออกเป็น 2 กรณีศึกษา กรณีแรกคือ ระบบที่ใช้เครื่องกำเนิดร่วมกับพลังงานลม และกรณีที่สอง คือระบบที่ใช้เครื่องกำเนิด พลังงานลมและระบบสะสมพลังงาน จากผลการจำลองพบว่ากรณีศึกษาที่สอง ที่ประกอบด้วยเครื่องกำเนิด พลังงานลมและระบบสะสมพลังงาน มีราคาต้นทุนค่าเชื้อเพลิงต่ำกว่ากรณีศึกษาแรก ที่มีเฉพาะเครื่องกำเนิดและพลังงานลมเท่ากับ 1537.87 \$/day

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการนำระบบสะสมพลังงานมาร่วมพิจารณากับระบบจำลอง จะพิจารณาเป็นระบบสะสมพลังงานในอุดมคติ เพื่อให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ควรพิจารณาค่าเสื่อมราคาของระบบสะสมพลังงานด้วย และในการหาค่าเหมาะสมของปัญหาการจ่ายโหลด ในปริภูมิตฤษฎีฉบับนี้ได้ทำการหาค่าเหมาะสมของกำลังผลิตของเครื่องกำเนิด แยกกับการหาค่าเหมาะสมของสถานะระบบสะสมพลังงานแล้วนำมาพิจารณาร่วมกัน เพื่อความถูกต้องของผลที่ได้ ระบบสะสมพลังงาน (Battery Energy Storage System) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าควรใช้การ Optimization ในครั้งเดียว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] วรวรรณ นาคะวิโร, “การปรับปรุงการลู่เข้าของวิธีฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต”,การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36, 11-13 ธันวาคม 2556
- [2] Yue Yuan, Xinsong Zhang, Ping Ju, Qiang Li, Kejun Qian and Zhixin Fu, “Determination of economic dispatch of wind farm-battery energy storage system using Genetic Algorithm”,*International Transaction on Electrical Energy System* ,No.24:264-280 DOI: 10.1002/etep,2014.
- [3] Worawat Nakawiro, Istvan Erlich and Yodsaya Nithipattrara, “A Study of Differential Evolution Application to Practical Economic Dispatch”**Master Thesis**,Institute of electric power system,University of Duisburg-Essen, Duisburg
- [4] อรรถน โภชญานาท, “Genetic Algorithm” pp.1-10
- [5] น้ำเพชร สิ้นสุพรรณ และธนัดชัย กุลรวรานิชพงษ์, “การแก้ปัญหาการไหลกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดโดยวิธีหาค่าความบรรสาน”*Technical Education*,Vol.2 No.2,2011,23-26
- [6] Kwang Y. Lee and Mohamed A. El-Sharkawi, “Modern heuristic optimization techniques theory and applications to power system”The United State of America,Wiley-Interscience,2007.
- [7] Available from: <http://archive.lib.cmu.ac.th>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การแก้ปัญหาจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตที่มีการพิจารณาพลังงานทดแทนและระบบสะสมพลังงาน

### Determining dynamic economic dispatch problem with renewable sources and energy storage system

วรินทร์ พิษวัฒน์ วชรินทร์ โนรี วิพรัตน์ วงศาธิลักษณ์ และวิรุฑูร เจียสกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอยคลองกรุง 1 ถนนคลองกรุง 1 ลาดกระบังกรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925

#### บทคัดย่อ

ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต เป็นการหาจุด การดำเนินการของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนในหนึ่งวันล่วงหน้า เพื่อให้ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงรวมมีค่าต่ำที่สุด พลังงานลมที่ต่อเชื่อมเข้ากับระบบ ทำให้ภาระการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิดลดลง ระบบสะสมพลังงานมีความจำเป็น เพื่อเก็บพลังงานส่วนที่เกินจากความต้องการไว้ และสามารถจ่ายพลังงานคืนได้เมื่อระบบมีความต้องการ ด้วยเหตุผลดังกล่าววิธีการฮิวริสติกจึงความเหมาะสมที่จะนำมาใช้สำหรับแก้ปัญหาที่ ปริมาณพันธบัตรนั้นจึงนำเสนอการปรับปรุงวิธีฮิวริสติกเพื่อการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต สำหรับระบบไฟฟ้าที่มีแหล่งพลังงานลมและระบบสะสมพลังงาน ในเบื้องต้นวิธีการฮิวริสติก 4 วิธี ได้ถูกนำมาปรับปรุงเพื่อให้สามารถเข้าสู่ได้เร็วขึ้น จากผลการทดสอบพบว่าวิธี PSO ให้ผลการเข้าสู่เร็วที่สุด จากนั้นได้ทำการทดสอบเพื่อจ่ายโหลดแบบพลวัต โดยใช้ระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบ 57 บัส ซึ่งผลการทดสอบชี้ให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอสามารถช่วยลดค่าเชื้อเพลิงและสามารถใช้พลังงานลมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

**คำสำคัญ:** การจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต วิธีฮิวริสติก

#### Abstract

Dynamic economic dispatch problem is the operation of thermal generator in 1 day forecast at minimum cost. Wind energy is connected to the system for reducing load of the thermal generators. The energy storage system is necessary to keep excess of load demand energy and can restore to the system when needed. Therefore Heuristic methods are suitable for solving this problem. This thesis presents dynamic economic dispatch using 4 heuristic methods in the power system with wind energy and energy storage system. The results showed that PSO is the fastest convergence. Then using PSO to solve economic dispatch in 57-bus power system. The results indicated that the proposed method can reduce the cost of fuel and use wind energy efficiently.

**Keywords:** Dynamic economic dispatch, Heuristic methods

#### 1. บทนำ

ระบบการผลิตและจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ ต้องสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการของโหลดและกำลังสูญเสียของระบบได้ และเพื่อให้เหมาะสมกับโหลดที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การคาดการณ์โหลดในอนาคตจึงมีความสำคัญ การจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตจึงถูกนำมาใช้แทนการจ่ายโหลดแบบดั้งเดิม[1] นอกจากนี้ยังนำพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายพลังงานลมและระบบสะสมพลังงานมาจ่ายร่วมกับระบบที่มีอยู่เดิม เพื่อลดภาระการจ่ายโหลดของเครื่องกำเนิด ด้วยเหตุนี้จำนวนตัวแปรและข้อจำกัดจึงมีมากขึ้น เช่น บริเวณต้องห้ามสำหรับการดำเนินการ (Prohibited operating zones) กำลังไฟฟ้าสูงสุดในการชาร์จและดีสชาร์จของแบตเตอรี่ (Maximum and Minimum Capacity) เป็นต้น ทำให้กระบวนการแก้ปัญหาโดยวิธีแคลคูลัสเป็นไปได้ยากยิ่งขึ้น ด้วยเหตุนี้วิธีการฮิวริสติก (Heuristic method) จึงได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางนำมาแก้ปัญหาดังกล่าว เช่น [2]

ปริณญาพันธบัตรนั้นนำเสนอวิธีฮิวริสติก 4 วิธี ได้แก่วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) วิธีค้นหาความบรรสาน (Harmony Search : HS) วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) และวิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution : DE) และนำวิธีการที่ดีที่สุดดังกล่าว มาหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization) ของปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตที่มีการพิจารณาพลังงานลมและระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System) สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังทดสอบ 57 บัส

โดยใน ส่วนที่ 1 จะกล่าวถึงวิธีการฮิวริสติก ข้อจำกัดที่ใช้ในระบบจำลอง ส่วนที่ 2 จะกล่าวถึงกระบวนการทำงานร่วมกันของระบบจำลองซึ่งประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานลมและระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System) และส่วนที่ 3 จะกล่าวถึงผลการจำลองการเข้าสู่ของวิธีการฮิวริสติกที่ศึกษาและผลการจำลองการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ของปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตที่มีการพิจารณาพลังงานลมและระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System)

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต [1]

วัตถุประสงค์ของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดคือ การลดผลรวมของค่าเชื้อเพลิงของทุกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ถูกสั่งให้เดินเครื่องภายในเวลาที่พิจารณา ดังแสดง

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^n F_{i,t}(P_{Gi,t}) \quad (1)$$

โดย  $n$  เป็นจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  $T$  เป็นจำนวนช่วงเวลาในอนาคคที่พิจารณา ฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  $i$  ที่เวลา  $t$  โดยแสดงได้ดังนี้

$$F_{i,t}(P_{Gi,t}) = a_i P_{Gi,t}^2 + b_i P_{Gi,t} + c_i \quad (2)$$

โดย  $P_{Gi,t}$  เป็นกำลังของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  $i$  ที่เวลา  $t$   $P_{Gi,t \min}$  คือขอบเขตล่างของ  $P_{Gi,t}$  ค่า  $a_i$ ,  $b_i$  และ  $c_i$  เป็นสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า  $i$

ข้อจำกัด (Constraints) ที่พิจารณาประกอบด้วย

- สมดุลของกำลังไฟฟ้า (Power balance)

ผลรวมของกำลังไฟฟ้าจากทุกเครื่องกำเนิดต้องสามารถจ่ายโหลดและกำลังสูญเสียได้

$$\sum_{i=1}^n P_{Gi,t} = P_{D,t} + P_{L,t} \quad (3)$$

เมื่อ  $P_{D,t}$  เป็นกำลังไฟฟ้ารวมที่โหลดต้องการที่เวลา  $t$  และ  $P_{L,t}$  เป็นกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เวลา  $t$  ซึ่งหาได้จาก

$$P_{L,t} = \sum_{i=1}^n B_{ii} P_{Gi,t}^2 \quad (4)$$

เมื่อ  $B_{ii}$  เป็นสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันกำลังสูญเสีย

- อัตราการเพิ่มของกำลังผลิต (Ramp rate)

การเปลี่ยนแปลงของกำลังจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระหว่างช่วงเวลาถูกกำหนดโดย

$$P_{Gi,t \min} \leq P_{Gi,t} \leq P_{Gi,t \max} \quad \forall t \in T \quad (5)$$

โดย  $P_{Gi,t \min}$  และ  $P_{Gi,t \max}$  เป็นขอบเขตล่างและขอบเขตบนของกำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดสามารถจะปรับเปลี่ยนได้ในเวลา  $t$

- บริเวณต้องห้ามสำหรับการดำเนินการ (Prohibited operating zone)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางเครื่องอาจมีปัญหาระดับที่อาจทำให้เกิดความเสียหายในบางช่วงกำลังการผลิต ดังนั้นโปรแกรมการจ่ายโหลดอย่างประหยัดต้องหลีกเลี่ยงค่าตอบภายในช่วงนี้

- กำลังไฟฟ้าที่มากที่สุดและน้อยที่สุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถจ่ายได้ (Maximum and Minimum Power Limits)

$$P_{i,\min} \leq P_i \leq P_{i,\max} \quad (6)$$

### 2.2 วิธีฮิวริสติก [1]

วิธีฮิวริสติก (Heuristic method) เป็นเทคนิคการแก้ปัญหา การเรียนรู้ และการค้นพบคำตอบ โดยอาศัยการสะสมประสบการณ์ สำหรับปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization) เรานิยมนำวิธีฮิวริสติกมาใช้เมื่อเราไม่สามารถหาข้อมูลเกรเดียนต์ได้ หรือฟังก์ชันไม่เป็นรูปนูน (Non-convex) หรือบริเวณค้นหาไม่ต่อเนื่องกัน (Disjoint search space) เป็นต้น ดังเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น บทความนี้ได้เลือกอัลกอริทึมพื้นฐานของวิธีฮิวริสติก 4 วิธี ที่นิยมใช้ในปัญหาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คือ Genetic Algorithm (GA), Harmony Search (HS), Particle Swarm Optimization (PSO) และ Differential Evolution (DE)

### 2.2 ระบบสะสมพลังงาน (Battery Energy Storage System)

[2]

เพื่อที่จะควบคุมกำลังการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลม จึงได้มีการนำระบบสะสมพลังงาน เข้ามาใช้ร่วมกับแหล่งจ่ายพลังงานลม อันเนื่องมาจากความไม่แน่นอนของพลังงานลม ซึ่งระบบสะสมพลังงานจะมีการชาร์จพลังงานไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิด ระบบสะสมพลังงานจึงไม่ได้เพียงแต่จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ระบบอย่างเดียว แต่ยังรับพลังงานจากระบบมาชาร์จด้วย

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$\min EB = \sum_{j=1}^m (DB_j - CB_j) \quad (9)$$

โดยที่  $DB_j$  คือ ค่าใช้จ่ายจากการดิสชาร์จจากแบตเตอรี่

$CB_j$  คือ ค่าใช้จ่ายจากการชาร์จแบตเตอรี่

### 2.3 วิธีการปรับปรุงคำตอบ [3]

สมดุลการจ่ายโหลด (Load Balancing : LB) คือวิธีการสร้างสมดุลใหม่ของข้อจำกัดด้านสมดุลกำลัง โดยการแก้สมการสมดุลกำลังสำหรับกำลังขาออกของ Slack Generator โดย Slack Generator จะสุ่มเลือกจากชุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพสูงๆ และปราศจากบริเวณต้องห้ามสำหรับการดำเนินการ

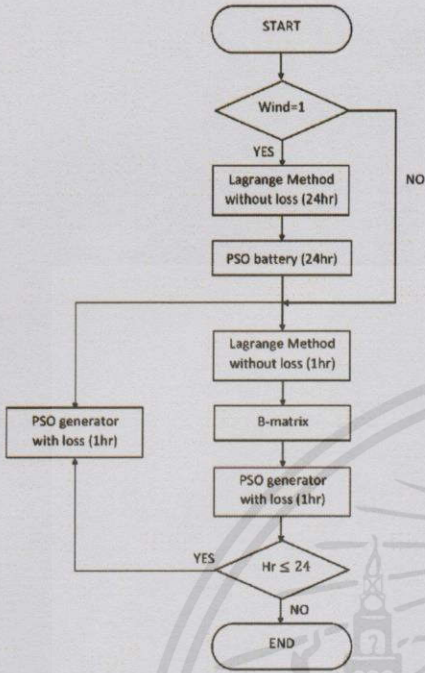
การซ่อมแซมคำตอบ (Solution Repairing :SR) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ซ่อมแซมคำตอบของเวกเตอร์กำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิด โดยลดการเข้าคู่กันอย่างผิดๆ ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ทั้งหมดกับกำลังไฟฟ้าทั้งหมดที่ต้องการรวมถึงค่าการสูญเสียของระบบ

### 3. การออกแบบ

ในปัญหานี้พจนานุกรมนี้ นำเสนอการปรับปรุงการรู้เข้าของปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้วิธีการฮิวริสติกที่ได้กล่าวมาแล้ว และนำวิธีการที่รู้เข้าเร็วที่สุดมาหาค่าเหมาะสม (Optimization) ของระบบจำลองที่พิจารณาพลังงานลมและระบบสะสมพลังงานเข้าไปด้วย

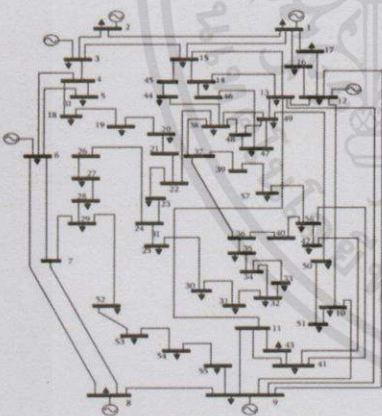
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถเผยแพร่หรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 แผนผังโปรแกรม (Flow Chart)



รูปที่ 1 แผนผังการทำงานของโปรแกรมระบบจำลอง

3.2 ระบบทดสอบที่ใช้ : Power Flow Test Case 57 bus (University of Washington Electrical Engineering )



รูปที่ 2 ภาพจำลองระบบทดสอบที่ใช้

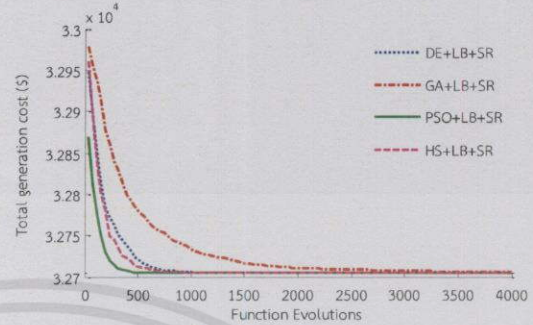
ระบบทดสอบ 57 บัสจากระบบกำลังไฟฟ้าของประเทศสหรัฐอเมริกา ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 7 เครื่อง, โหลด 42 ตำแหน่ง และระบบทดสอบนี้ไม่มีข้อจำกัดในสายส่ง

4. ผลการทดลอง

4.1 ผลการจำลองการเปรียบเทียบวิธีการฮิวริสติก

แบบจำลองที่นำเสนอในบทความนี้ถูกสร้างขึ้นบนโปรแกรม MATLAB สำหรับแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด โดยใช้วิธีการ

ฮิวริสติกที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งพิจารณาเฉพาะระบบที่มีเครื่องกำเนิด แล้วนำวิธีการต่าง ๆ มาหาค่าที่เหมาะสม ในที่นี้จะพิจารณาจากค่าการเข้าสู่ของราคาต้นทุนเชื้อเพลิงแล้วนำแต่ละวิธีมาเปรียบเทียบกัน



รูปที่ 3 ผลการเปรียบเทียบการเข้าสู่

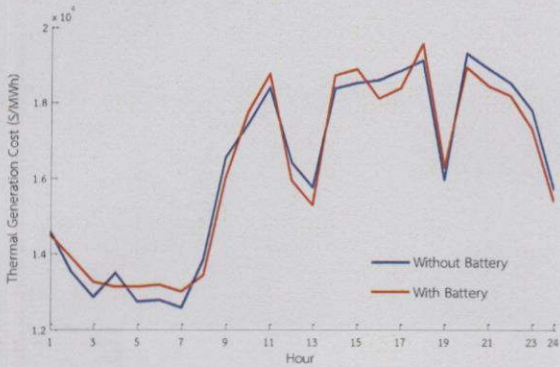
จากรูปสามารถสรุปได้ว่า ไม่ว่าจะใช้อัลกอริทึมใดก็สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาได้เช่นเดียวกัน ต่างกันที่เวลาในการเข้าสู่ที่มีความซ้ำเร็วต่างกัน ซึ่งพบว่าผลการจำลอง PSO จะใช้เวลาในการเข้าสู่ที่น้อย

ดังนั้นในปริศยานี้พจนจึงได้เลือกใช้วิธีการ PSO มาใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมในการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต โดยทำนายล่วงหน้า 1 วัน และมีการใช้พลังงานลมมาร่วมในการจ่ายโหลดด้วยจะแบ่งการศึกษาเป็น 2 กรณี คือการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตของ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าร่วมกับพลังงานลม และ การจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานลมและระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System)

4.2 ผลการเปรียบเทียบผลการจำลอง

| Thermal Generation Cost (\$)          |                      |                   |                                    |                      |                   |
|---------------------------------------|----------------------|-------------------|------------------------------------|----------------------|-------------------|
| Hour                                  | Cost without Battery | Cost with Battery | Hour                               | Cost without Battery | Cost with Battery |
| 1                                     | 14568.66             | 14474.77          | 13                                 | 15745.29             | 15259.71          |
| 2                                     | 13511.18             | 13864.09          | 14                                 | 18353.14             | 18680.81          |
| 3                                     | 12851.05             | 13240.75          | 15                                 | 18501.93             | 18859.36          |
| 4                                     | 13486.67             | 13100.10          | 16                                 | 18591.77             | 18093.60          |
| 5                                     | 12719.35             | 13116.60          | 17                                 | 18857.06             | 18365.55          |
| 6                                     | 12771.40             | 13165.52          | 18                                 | 19128.84             | 19539.82          |
| 7                                     | 12561.66             | 12968.88          | 19                                 | 15945.22             | 16256.11          |
| 8                                     | 13842.37             | 13416.97          | 20                                 | 19307.49             | 18920.86          |
| 9                                     | 16538.13             | 15962.87          | 21                                 | 18902.19             | 18405.92          |
| 10                                    | 17394.89             | 17690.58          | 22                                 | 18512.82             | 18161.22          |
| 11                                    | 18378.75             | 18731.38          | 23                                 | 17773.09             | 17273.24          |
| 12                                    | 16414.09             | 15917.42          | 24                                 | 15706.52             | 15359.54          |
| Total Cost (\$/Day) (Without Battery) |                      | 390363.56         | Total Cost (\$/Day) (With Battery) |                      | 388825.69         |
| Different Cost (\$/Day)               |                      |                   | 1537.87                            |                      |                   |

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิตต่อชั่วโมงของ 2 กรณีศึกษา

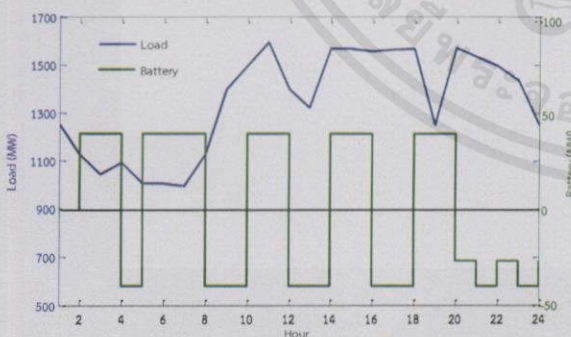


รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบราคาในแต่ละชั่วโมงของทั้ง 2 กรณี

จากรายข้างต้นจะเห็นได้ว่าราคาต้นทุนการผลิตในแต่ละชั่วโมงของในกรณีการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าร่วมกับพลังงานลม มีราคาสูงกว่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานลม และระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System) แต่ในบางชั่วโมงการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานลม และระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System) มีต้นทุนที่สูงกว่า เพราะเป็นช่วงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องผลิตกำลังไฟฟ้าไปชาร์จให้กับระบบสะสมพลังงานด้วย นอกเหนือไปจากการจ่ายให้กับโหลด

แต่โดยภาพรวม 1 วันราคาต้นทุนการผลิตของการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าร่วมกับพลังงานลม และระบบสะสมพลังงาน (Energy Storage System) ยังมีราคาต่ำกว่าการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานลม โดยถูกกว่า 1537.87 \$/วัน

#### 4.3 การหาที่เหมาะสมสำหรับสถานะระบบสะสมพลังงานในแต่ละชั่วโมง



รูปที่ 5 กราฟสถานะของระบบสะสมพลังงานในแต่ละชั่วโมง

จากการจำลองระบบสะสมพลังงานโดยใช้ PSO เพื่อหาที่เหมาะสมของสถานะของระบบสะสมพลังงาน พบว่าการชาร์จหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีสชาร์จของระบบสะสมพลังงาน จะอ้างอิงตามโหลดโดยเมื่อโหลดมีแนวโน้มสูงขึ้น ระบบสะสมพลังงานจะมีสถานะดีสชาร์จเพื่อช่วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจ่ายโหลด ทำให้ราคาของต้นทุนการผลิตจะถูกลงในช่วงนี้ และเมื่อโหลดมีแนวโน้มลดลงระบบสะสมพลังงานจะมีสถานะชาร์จ โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะชาร์จพลังงานให้กับระบบสะสมพลังงาน ซึ่งจะทำให้ราคาต้นทุนสูงขึ้น

#### 5. สรุปผลการจำลอง

ปัญญานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดเพื่อแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด โดยได้ทำการจำลองระบบด้วยวิธีการวิวิธวิธี 4 วิธี อันได้แก่วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) วิธีค้นหาความบรรสาน (Harmony Search : HS) วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution : DE) และวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) โดยพบว่าวิธีที่ให้ผลลัพธ์ลู่เข้าเร็วที่สุด คือวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดของฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO)

จึงนำวิธีดังกล่าวมาใช้ในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต ที่พิจารณาพลังงานลมและระบบสะสมพลังงาน โดยแบ่งการจำลองออกเป็น 2 กรณีศึกษา คือ ระบบที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าร่วมกับพลังงานลม และระบบที่ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้า พลังงานลมและระบบสะสมพลังงาน จากผลการจำลองพบว่ากรณีศึกษาที่สอง ที่ประกอบด้วยเครื่องกำเนิด พลังงานลมและระบบสะสมพลังงาน มีราคาต้นทุนค่าเชื้อเพลิงต่ำกว่าถึง 1537.87 \$/day

#### เอกสารอ้างอิง

- [1] วรารชณ์ นาคะวิโร, "การปรับปรุงการลู่เข้าของวิธีวิวิธวิธีเพื่อแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบพลวัต", การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 36, 11-13 ธันวาคม 2556
- [2] Yue Yuan, Xinsong Zhang, Ping Ju, Qiang Li, Kejun Qian and Zhixin Fu, "Determination of economic dispatch of wind farm-battery energy storage system using Genetic Algorithm", *International Transaction on Electrical Energy System*, No.24:264-280 DOI: 10.1002/etep, 2014.
- [3] Worawat Nakawiro, Istvan Erlich and Yodsaya Nithipatrrara, "Study of Differential Evolution Application to Practical Economic Dispatch" *Master Thesis*, Institute of electric power system, University of Duisburg-Essen, Duisburg



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ข-1 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

| Unit | Pmin<br>(MW) | Pmax<br>(MW) | Alpha<br>(\$) | Beta<br>(\$/MW) | Gama<br>(\$/MW <sup>2</sup> ) | Dri<br>(MW/hr) | Uri<br>(MW/hr) | Pi (MW) |
|------|--------------|--------------|---------------|-----------------|-------------------------------|----------------|----------------|---------|
| 1    | 150          | 455          | 671           | 10.1            | 0.000299                      | 120            | 80             | 40      |
| 2    | 150          | 455          | 574           | 10.2            | 0.000183                      | 120            | 80             | 300     |
| 3    | 20           | 130          | 374           | 8.8             | 0.001126                      | 130            | 130            | 105     |
| 4    | 20           | 130          | 374           | 8.8             | 0.001126                      | 130            | 130            | 100     |
| 5    | 150          | 470          | 461           | 10.4            | 0.000205                      | 120            | 80             | 90      |
| 6    | 135          | 460          | 630           | 10.1            | 0.000301                      | 120            | 80             | 400     |
| 7    | 135          | 465          | 548           | 9.8             | 0.000364                      | 120            | 80             | 350     |
| 8    | 60           | 300          | 227           | 11.2            | 0.000338                      | 100            | 65             | 95      |
| 9    | 25           | 162          | 173           | 11.2            | 0.000807                      | 100            | 60             | 105     |
| 10   | 25           | 160          | 175           | 10.7            | 0.001203                      | 100            | 60             | 110     |
| 11   | 20           | 80           | 186           | 10.2            | 0.003586                      | 80             | 80             | 60      |
| 12   | 20           | 80           | 230           | 9.9             | 0.005513                      | 80             | 80             | 40      |
| 13   | 25           | 85           | 225           | 13.1            | 0.000371                      | 80             | 80             | 30      |
| 14   | 15           | 55           | 309           | 12.1            | 0.001929                      | 55             | 55             | 20      |
| 15   | 15           | 55           | 323           | 12.4            | 0.004447                      | 55             | 55             | 20      |

ตาราง ข - 2 บริเวณต้องห้ามของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

| Unit | Prohibited zones (MW)         |
|------|-------------------------------|
| 2    | [185,225] [305,335] [420,450] |
| 5    | [180,200] [305,335] [390,420] |
| 6    | [230,255] [365,395] [430,455] |
| 12   | [30,40] [55,65]               |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค.

ข้อมูลระบบทดสอบ 57 bus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-1 ข้อมูลของระบบทดสอบ

| Bus No | Bus code | Voltage Mag. | Angle Degree | Load |      | Generator |       |      |      | Injected Mvar |
|--------|----------|--------------|--------------|------|------|-----------|-------|------|------|---------------|
|        |          |              |              | MW   | Mvar | MW        | Mvar  | Qmin | Qmax |               |
| 1      | 1        | 1.04         | 0            | 55   | 0    | 0         | -16.1 | 0    | 0    | 0             |
| 2      | 2        | 1.01         | 0            | 3    | 0    | 0         | -0.8  | -17  | 50   | 0             |
| 3      | 2        | 0.985        | 0            | 41   | 0    | 40        | -1    | -10  | 60   | 0             |
| 4      | 0        | 0.981        | 0            | 0    | 0    | 0         | 0     | -140 | 200  | 0             |
| 5      | 0        | 0.976        | 0            | 13   | 0    | 0         | 0     | -3   | 9    | 0             |
| 6      | 2        | 0.98         | 0            | 75   | 0    | 0         | 0.8   | 0    | 0    | 0             |
| 7      | 0        | 0.984        | 0            | 0    | 0    | 0         | 0     | 0    | 0    | 0             |
| 8      | 2        | 1.005        | 0            | 150  | 0    | 450       | 62.1  | 0    | 0    | 0             |
| 9      | 2        | 0.98         | 0            | 121  | 0    | 0         | 2.2   | -8   | 25   | 0             |
| 10     | 0        | 0.986        | 0            | 5    | 0    | 0         | 0     | 0    | 0    | 0             |
| 11     | 0        | 0.974        | 0            | 0    | 0    | 0         | 0     | -150 | 155  | 0             |
| 12     | 2        | 1.015        | 0            | 377  | 0    | 310       | 128.5 | 0    | 0    | 0             |
| 13     | 0        | 0.979        | 0            | 18   | 0    | 0         | 0     | 0    | 0    | 0             |
| 14     | 0        | 0.97         | 0            | 10.5 | 0    | 0         | 0     | 0    | 0    | 0             |
| 15     | 0        | 0.988        | 0            | 22   | 0    | 0         | 0     | 0    | 0    | 0             |
| 16     | 0        | 1.013        | 0            | 43   | 0    | 0         | 0     | 0    | 0    | 0             |
| 17     | 0        | 1.017        | 0            | 42   | 0    | 0         | 0     | 0    | 0    | 0             |
| 18     | 0        | 1.001        | 0            | 27.2 | 0    | 0         | 0     | 0    | 0    | 0             |
| 19     | 0        | 0.97         | 0            | 3.3  | 0    | 0         | 0     | 0    | 0    | 0             |
| 20     | 0        | 0.964        | 0            | 2.3  | 0    | 0         | 0     | 0    | 0    | 0             |
| 21     | 0        | 1.008        | 0            | 0    | 0    | 0         | 0     | 0    | 0    | 0             |
| 22     | 0        | 1.01         | 0            | 0    | 0    | 0         | 0     | 0    | 0    | 0             |
| 23     | 0        | 1.008        | 0            | 6.3  | 0    | 0         | 0     | 0    | 0    | 0             |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-1 (ต่อ) ข้อมูลของระบบทดสอบ

| Bus No | Bus code | Voltage Mag. | Angle Degree | Load |      | Generator |      |      |      | Injected Mvar |
|--------|----------|--------------|--------------|------|------|-----------|------|------|------|---------------|
|        |          |              |              | MW   | Mvar | MW        | Mvar | Qmin | Qmax |               |
| 24     | 0        | 0.999        | 0            | 0    | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 25     | 0        | 0.982        | 0            | 6.3  | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 26     | 0        | 0.959        | 0            | 0    | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 27     | 0        | 0.982        | 0            | 9.3  | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 28     | 0        | 0.997        | 0            | 4.6  | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 29     | 0        | 1.01         | 0            | 17   | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 30     | 0        | 0.962        | 0            | 3.6  | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 31     | 0        | 0.936        | 0            | 5.8  | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 32     | 0        | 0.949        | 0            | 1.6  | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 33     | 0        | 0.947        | 0            | 3.8  | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 34     | 0        | 0.959        | 0            | 0    | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 35     | 0        | 0.966        | 0            | 6    | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 36     | 0        | 0.976        | 0            | 0    | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 37     | 0        | 0.985        | 0            | 0    | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 38     | 0        | 1.013        | 0            | 14   | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 39     | 0        | 0.983        | 0            | 0    | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 40     | 0        | 0.973        | 0            | 0    | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 41     | 0        | 0.996        | 0            | 6.3  | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 42     | 0        | 0.966        | 0            | 7.1  | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 43     | 0        | 1.01         | 0            | 2    | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 44     | 0        | 1.017        | 0            | 12   | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 45     | 0        | 1.036        | 0            | 0    | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 46     | 0        | 1.05         | 0            | 0    | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ค-1 (ต่อ) ข้อมูลระบบทดสอบ

| Bus No | Bus code | Voltage Mag. | Angle Degree | Load |      | Generator |      |      |      | Injected Mvar |
|--------|----------|--------------|--------------|------|------|-----------|------|------|------|---------------|
|        |          |              |              | MW   | Mvar | MW        | Mvar | Qmin | Qmax |               |
| 47     | 0        | 1.033        | 0            | 29.7 | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 48     | 0        | 1.027        | 0            | 0    | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 49     | 0        | 1.036        | 0            | 18   | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 50     | 0        | 1.023        | 0            | 21   | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 51     | 0        | 1.052        | 0            | 18   | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 52     | 0        | 0.98         | 0            | 4.9  | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 53     | 0        | 0.971        | 0            | 20   | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 54     | 0        | 0.996        | 0            | 4.1  | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 55     | 0        | 1.031        | 0            | 6.8  | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 56     | 0        | 0.968        | 0            | 7.6  | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |
| 57     | 0        | 0.965        | 0            | 6.7  | 0    | 0         | 0    | 0    | 0    | 0             |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง ง-1 ข้อมูลกำลังผลิตของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อมีการพิจารณาร่วมกับพลังงานลม

| Hour | Thermal Generation (MW/hr) |        |       |        |        |        |        | Total Generation (MW/hr) | Power Loss (MW/hr) | Cost (\$/hr) |
|------|----------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------------------------|--------------------|--------------|
|      | P1                         | P2     | P3    | P4     | P5     | P6     | P7     |                          |                    |              |
| 1    | 165.23                     | 150.00 | 58.86 | 130.00 | 151.27 | 230.00 | 215.00 | 1100.36                  | 18.66              | 14568.66     |
| 2    | 150.00                     | 150.00 | 35.44 | 130.00 | 150.00 | 135.00 | 244.05 | 994.49                   | 13.33              | 13511.18     |
| 3    | 150.00                     | 150.00 | 30.09 | 130.00 | 150.00 | 135.00 | 182.52 | 927.60                   | 13.58              | 12851.05     |
| 4    | 150.00                     | 150.00 | 34.48 | 130.00 | 150.00 | 135.00 | 242.45 | 991.93                   | 13.22              | 13486.67     |
| 5    | 150.00                     | 150.00 | 29.10 | 130.00 | 150.00 | 135.00 | 170.13 | 914.23                   | 13.71              | 12719.35     |
| 6    | 150.00                     | 150.00 | 29.22 | 130.00 | 150.00 | 135.00 | 175.27 | 919.49                   | 13.61              | 12771.40     |
| 7    | 150.00                     | 150.00 | 27.69 | 130.00 | 150.00 | 135.00 | 155.50 | 898.18                   | 13.84              | 12561.66     |
| 8    | 150.00                     | 150.00 | 44.92 | 130.00 | 150.00 | 167.60 | 235.50 | 1028.02                  | 14.81              | 13842.37     |
| 9    | 187.29                     | 150.00 | 63.87 | 130.00 | 217.64 | 230.00 | 315.50 | 1294.30                  | 20.82              | 16538.13     |
| 10   | 162.18                     | 150.00 | 67.65 | 130.00 | 165.48 | 310.00 | 395.50 | 1380.81                  | 19.57              | 17394.89     |
| 11   | 152.86                     | 150.00 | 77.35 | 130.00 | 151.31 | 352.47 | 465.00 | 1478.98                  | 20.58              | 18378.75     |
| 12   | 150.00                     | 150.00 | 65.10 | 130.00 | 150.00 | 255.00 | 384.89 | 1284.99                  | 16.06              | 16414.09     |

ตาราง ง-1 (ต่อ) ข้อมูลกำลังผลิตของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อมีการพิจารณาร่วมกับพลังงานลม

|                     | Hour | Thermal Generation (MW/hr) |        |       |        |        |        |        | Total Generation (MW/hr) | Power Loss (MW/hr) | Cost (\$/hr) |
|---------------------|------|----------------------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------------------------|--------------------|--------------|
|                     |      | P1                         | P2     | P3    | P4     | P5     | P6     | P7     |                          |                    |              |
| Without battery     | 13   | 150.00                     | 150.00 | 56.22 | 130.00 | 150.00 | 163.23 | 419.47 | 1218.92                  | 15.23              | 15745.29     |
|                     | 14   | 190.74                     | 150.00 | 79.77 | 130.00 | 230.00 | 230.00 | 465.00 | 1475.51                  | 21.72              | 18353.14     |
|                     | 15   | 173.33                     | 150.00 | 83.08 | 130.00 | 180.00 | 310.00 | 465.00 | 1491.41                  | 21.46              | 18501.93     |
|                     | 16   | 157.26                     | 150.00 | 84.96 | 130.00 | 156.02 | 357.37 | 465.00 | 1500.60                  | 21.49              | 18591.77     |
|                     | 17   | 162.30                     | 150.00 | 92.03 | 130.00 | 162.86 | 365.00 | 465.00 | 1527.18                  | 22.51              | 18857.06     |
|                     | 18   | 170.81                     | 150.00 | 94.67 | 130.00 | 178.25 | 365.00 | 465.00 | 1553.73                  | 23.42              | 19128.84     |
|                     | 19   | 150.00                     | 150.00 | 57.57 | 130.00 | 150.00 | 255.00 | 345.00 | 1237.57                  | 15.29              | 15945.22     |
|                     | 20   | 216.50                     | 150.00 | 81.73 | 130.00 | 230.00 | 335.00 | 425.00 | 1568.24                  | 26.07              | 19307.49     |
|                     | 21   | 165.05                     | 150.00 | 87.01 | 130.00 | 168.80 | 365.00 | 465.00 | 1530.86                  | 22.45              | 18902.19     |
|                     | 22   | 153.25                     | 150.00 | 90.09 | 130.00 | 151.56 | 353.72 | 465.00 | 1493.62                  | 21.45              | 18512.82     |
|                     | 23   | 150.00                     | 150.00 | 82.89 | 130.00 | 150.00 | 292.96 | 465.00 | 1420.85                  | 19.12              | 17773.09     |
|                     | 24   | 150.00                     | 150.00 | 60.89 | 130.00 | 150.00 | 172.96 | 401.67 | 1215.52                  | 15.22              | 15706.52     |
| Total Cost (\$/Day) |      |                            |        |       |        |        |        |        |                          | 390363.56          |              |

ตาราง ง-2 ข้อมูลกำลังผลิตของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อมีการพิจารณาร่วมกับพลังงานลมและระบบสะสมพลังงาน

|              | Hour | Thermal Generation (MW/hr) |        |        |        |        |        |        | Total Generation (MW/hr) | Power Loss (MW/hr) | Cost (\$/hr) |
|--------------|------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------------|--------------------|--------------|
|              |      | P1                         | P2     | P3     | P4     | P5     | P6     | P7     |                          |                    |              |
| With battery | 1    | 150.00                     | 150.00 | 130.00 | 130.00 | 150.00 | 174.58 | 215.00 | 1099.58                  | 17.88              | 14474.77     |
|              | 2    | 150.00                     | 150.00 | 84.71  | 130.00 | 150.00 | 135.00 | 235.30 | 1035.01                  | 13.85              | 13864.09     |
|              | 3    | 150.00                     | 150.00 | 45.96  | 99.46  | 150.00 | 135.00 | 235.30 | 965.72                   | 11.70              | 13240.75     |
|              | 4    | 150.00                     | 150.00 | 37.59  | 92.12  | 150.00 | 135.00 | 235.30 | 950.01                   | 11.30              | 13100.10     |
|              | 5    | 150.00                     | 150.00 | 38.25  | 93.29  | 150.00 | 135.00 | 235.30 | 951.85                   | 11.32              | 13116.60     |
|              | 6    | 150.00                     | 150.00 | 40.74  | 96.27  | 150.00 | 135.00 | 235.30 | 957.31                   | 11.43              | 13165.52     |
|              | 7    | 150.00                     | 150.00 | 30.27  | 84.75  | 150.00 | 135.00 | 235.30 | 935.33                   | 10.98              | 12968.88     |
|              | 8    | 150.00                     | 150.00 | 54.60  | 110.44 | 150.00 | 135.00 | 235.30 | 985.34                   | 12.12              | 13416.97     |
|              | 9    | 150.00                     | 150.00 | 130.00 | 130.00 | 150.00 | 136.56 | 402.10 | 1248.67                  | 15.18              | 15962.87     |
|              | 10   | 150.00                     | 150.00 | 130.00 | 130.00 | 206.50 | 215.00 | 435.30 | 1416.80                  | 15.55              | 17690.58     |
|              | 11   | 227.77                     | 150.00 | 130.00 | 130.00 | 230.00 | 215.00 | 435.30 | 1518.07                  | 19.67              | 18731.38     |
|              | 12   | 150.00                     | 150.00 | 130.00 | 130.00 | 150.00 | 135.11 | 399.06 | 1244.17                  | 15.24              | 15917.42     |

ตาราง ง-2 (ต่อ) ข้อมูลกำลังผลิตของแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเมื่อมีการพิจารณาร่วมกับพลังงานลมและระบบสะสมพลังงาน

|                     | Hour | Thermal Generation (MW/hr) |        |        |        |        |        |        | Total Generation (MW/hr) | Power Loss (MW/hr) | Cost (\$/hr) |
|---------------------|------|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------------------------|--------------------|--------------|
|                     |      | P1                         | P2     | P3     | P4     | P5     | P6     | P7     |                          |                    |              |
| With battery        | 13   | 150.00                     | 150.00 | 130.00 | 130.00 | 150.00 | 135.00 | 333.84 | 1178.84                  | 15.15              | 15259.71     |
|                     | 14   | 222.83                     | 150.00 | 130.00 | 130.00 | 230.00 | 215.00 | 435.30 | 1513.13                  | 19.34              | 18680.81     |
|                     | 15   | 230.00                     | 160.26 | 130.00 | 130.00 | 230.00 | 215.00 | 435.30 | 1530.56                  | 20.60              | 18859.36     |
|                     | 16   | 168.00                     | 150.00 | 130.00 | 130.00 | 227.43 | 215.00 | 435.30 | 1455.73                  | 16.62              | 18093.60     |
|                     | 17   | 192.00                     | 150.00 | 130.00 | 130.00 | 230.00 | 215.00 | 435.30 | 1482.30                  | 17.63              | 18365.55     |
|                     | 18   | 230.00                     | 226.51 | 130.00 | 130.00 | 230.00 | 215.00 | 435.30 | 1596.81                  | 26.50              | 19539.82     |
|                     | 19   | 150.00                     | 150.00 | 130.00 | 130.00 | 150.00 | 151.19 | 416.38 | 1277.58                  | 15.30              | 16256.11     |
|                     | 20   | 230.00                     | 166.25 | 130.00 | 130.00 | 230.00 | 215.00 | 435.30 | 1536.55                  | 21.06              | 18920.86     |
|                     | 21   | 195.95                     | 150.00 | 130.00 | 130.00 | 230.00 | 215.00 | 435.30 | 1486.25                  | 17.83              | 18405.92     |
|                     | 22   | 171.98                     | 150.00 | 130.00 | 130.00 | 230.00 | 215.00 | 435.30 | 1462.28                  | 16.78              | 18161.22     |
|                     | 23   | 150.00                     | 150.00 | 130.00 | 130.00 | 166.67 | 215.00 | 435.30 | 1376.97                  | 15.24              | 17273.24     |
|                     | 24   | 150.00                     | 150.00 | 130.00 | 130.00 | 150.00 | 135.00 | 343.78 | 1188.78                  | 15.14              | 15359.54     |
| Total Cost (\$/Day) |      |                            |        |        |        |        |        |        |                          | 388825.69          |              |

## ประวัติผู้เขียน



นายวรินทร์ พิชยวัฒน์

ที่อยู่: 68 ถ.ถวิลราชฎากรบูรณะ ต.บ่อพลับ อ.เมือง  
นครปฐม จ.นครปฐม

Email: P.Warintron@hotmail.com

เบอร์โทรศัพท์: 084-119-9019



นางสาววชิรินทร์ โนรี

ที่อยู่: 50/4 หมู่ 1 ต.ปากแคว อ.เมืองสุโขทัย จ.สุโขทัย

Email: N.Watcharinthon@hotmail.com

เบอร์โทรศัพท์: 087-520-2492



นางสาววิภารัตน์ วงศาดีลักษณ์

ที่อยู่: 99/33 หมู่ 1 ถ.นวมินทร์ ซ.นวมินทร์24 แขวง  
คลองกุ่ม เขตบึงกุ่ม กทม.

Email: wiparatwongsa@gmail.com

เบอร์โทรศัพท์: 084-132-3646



นายวีรยุทธ เจียสกุล

ที่อยู่: 36/3 ซ.แม่ข้าว ถ.แม่หลวน ต.ตลาดเหนือ อ.เมือง  
ภูเก็ต จ.ภูเก็ต

Email: weerayut.wj@gmail.com

เบอร์โทรศัพท์: 085-918-4655

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้