

การหาตารางการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด

OPTIMAL UNIT COMMITMENT



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

การหาตารางการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด
Optimal Unit Commitment



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ปีการศึกษา 2556
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Optimal Unit Commitment



This PAPER 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
2013

ปีการศึกษา 2556

การหารายการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด

Optimal Unit Commitment



อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.วรวรรณ นาคะวิโร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2556

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การหาตารางการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด

ผู้จัดทำ





..... อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการเรียนการสอน ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
(ดร.วรวรรณ นาคะวิโร)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การหารายการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด

กรุงเทพ รัตนวิชา
ธนภูมิ กอบฝัน
นัฐวุฒิ ช่างน้อย
ปรุจน์ แก้วสุกใส
ดร. วรวรรณ นาคะวิโร อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

ตารางการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือยูนิตคอมมิตเมนต์ใช้ในการเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยคำนึงถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ควบคู่กับข้อจำกัดทางเทคนิค ปริมาณนิพนธ์ฉบับนี้จึงนำวิธีการเชิงพันธุกรรมมาใช้แก้ปัญหายูนิตคอมมิตเมนต์ ในเบื้องต้นได้ทำการพิจารณาระบบที่มีการจ่ายภาระไฟฟ้าภายในเวลา 24 ชั่วโมง พิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 เครื่องและได้ขยายระบบแบบเชิงเส้นเป็น 30, 60 และ 100 เครื่อง ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ แต่ไม่พิจารณาความสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบ การจำลองระบบและการคำนวณค่าถูกสร้างโดยโปรแกรม MATLAB และเพื่อเป็นการปรับปรุงเวลาในการคำนวณและคุณภาพของคำตอบสุดท้าย ดังนั้นปริมาณนิพนธ์ฉบับนี้จึงนำเสนอกระบวนการหาคำตอบโดยการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีทางคณิตศาสตร์โดยคุณภาพคำตอบสุดท้ายนั้นสามารถพิจารณาได้จากค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและเวลาการคำนวณนั้นพิจารณาจากการเปรียบเทียบระหว่างวิธีเชิงพันธุกรรมและวิธีการที่นำเสนอ จากการศึกษาพบว่าวิธีการที่นำเสนอให้คำตอบสุดท้ายที่ต่ำกว่าและให้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าวิธีการเชิงพันธุกรรม ทั้งนี้มีความคาดหวังว่า วิธีการที่นำเสนอจะสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อลดราคาการดำเนินงานในระบบไฟฟ้าและระยะเวลาในการคำนวณได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Optimal Unit Commitment

Thongthep Ratanavicha

Tanapoom Kobfun

Parut Kaewsuksai

Nuttawut changnoi

Dr. Worawat Nakawiro supervisor

Year 2556

ABSTRACT

A unit commitment is used to select a generator through considering economic value and with technical constraints. In this research, genetic algorithm is used in order to solve the unit commitment problem. In this thesis we consider an electrical power system with 10, 30, 60 and 100 generator units 24 hours under many constraints without accounting for the loss. This study aims to reduce computation time and improve the quality of the final solution. Therefore, researchers have created a procedure to find a final solution by applying the genetic algorithm with mathematical process. The qualities of the final solution are justified by mean and standard deviation. And the computation time is compare by comparing between the genetic algorithm and proposed method. With the obtained result, it shows that the proposed method reveals a lower final solution and requires less computation time than the genetic algorithm. Researchers have expected that the proposed method can be applied in order to minimize the operational expenses of electric power system and also lower the computation time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ ดร.วรวรรณ นาคะวิโร ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งทดสอบและตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมตลอดจนประสบการณ์ในการเรียนและการทำวิทยานิพนธ์ทุกขั้นตอนจนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ภาคคอมพิวเตอร์ที่ช่วยให้คำแนะนำในการเขียนโปรแกรม เพื่อนภาควิชาครุศาสตร์ที่ช่วยให้คำแนะนำในการเขียนปริญญาโท

ท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่คอยให้กำลังใจในการเรียนตลอดระยะเวลาที่ศึกษาและยังให้กำลังใจ เอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านตลอดจน อาจารย์ภาควิชาไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกๆท่าน คณะผู้จัดทำขอรระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
ABSTRACT	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการ	2
1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการ	2
1.5 แผนการดำเนินโครงการ	2
1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา	4
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 วิธีจุดภายใน (Interior point Method)	11
2.2 วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA)	14
2.2.1 โครงสร้างข้อมูล	16
2.2.2 ประชากรเริ่มต้น	17
2.2.3 วิธีการหาความเหมาะสม	18
2.2.4 การสืบพันธุ์ / การคัดเลือก	19
2.2.5 การเลือกแบบสุ่ม	20
2.2.6 การดำเนินการทางพันธุกรรม	22
บทที่ 3 การหาตารางการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด	24
3.1 เงื่อนไขของระบบ	25
3.1.1 ความสมดุลกำลังไฟฟ้า (System Power balance)	25
3.1.2 กำลังผลิตไฟฟ้าสำรอง (Spinning Reserve)	26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 เงื่อนไขของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	26
3.2.3 ขีดจำกัดกำลังการผลิต	26
3.2.4 เวลาที่น้อยที่สุดสำหรับการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Minimum up and down Time)	27
3.2.5 ขีดจำกัดการเปลี่ยนแปลงกำลังผลิต (Ramp – rate limit)	27
3.3 วิธีการคำนวณยูนิตคอมมิตเมนต์	28
บทที่ 4 ผลการศึกษา	31
4.1 ผลการคำนวณ	31
4.1.1 การคำนวณโดยใช้วิธี GA โดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 เครื่อง	31
4.1.2 การคำนวณโดยใช้วิธี GA ร่วมกับวิธีจุดภายใน (GA+fmincon) โดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 เครื่อง	34
4.1.3 การคำนวณโดยใช้วิธี GA และวิธี GA ร่วมกับวิธีจุดภายใน (GA+fmincon) โดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากกว่า 10 เครื่อง	36
4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล	38
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	41
5.1 สรุปผล	41
5.2 ข้อเสนอแนะ	41
เอกสารอ้างอิง	42
ภาคผนวก	43
บทความวิชาการ	74
ประวัติผู้เขียน	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 หกประเภทของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด	5
รูปที่ 2.2 Fitness landscape ในปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด	7
รูปที่ 2.3 การลู่เข้าก่อนกำหนด	8
รูปที่ 2.4 ทางเดินในการหาค่าตอบระหว่างวิธีซิมเพลกซ์กับวิธีจุดภายใน	11
รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการทำงานวิธีจุดภายในแบบพริ้มลชดูล	13
รูปที่ 2.6 แผนผังของวิธี GA	15
รูปที่ 2.7 ตัวแทนของโครโมโซมที่เป็นฐานสอง	16
รูปที่ 2.8 ประชากรเริ่มต้นและค่าที่สอดคล้อง	20
รูปที่ 2.9 กระบวนการไขว้เปลี่ยน (a) ประชากรก่อนการไขว้เปลี่ยนรวมถึงจุดไขว้เปลี่ยน (b) ประชากร หลังจากการไขว้เปลี่ยน (c) ฟิตเนส (d) ค่าวัตถุประสงค์	23
รูปที่ 3.1 เงื่อนไขขีดจำกัดการเปลี่ยนแปลงกำลังผลิต (Ramp – rate limit)	27
รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรม GA	29
รูปที่ 3.3 แผนผังการทำงานของโปรแกรม GA ร่วมกับวิธีจุดภายใน	30
รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบราคาต้นทุนระหว่างวิธี GA กับ วิธี GA+fmincon	39
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบเวลาในการคำนวณระหว่างวิธี GA กับ วิธี GA+fmincon	39
รูปที่ 4.3 กราฟความแตกต่างราคาต้นทุนระหว่างวิธี GA กับ วิธี GA+fmincon	40
รูปที่ 4.4 กราฟความแตกต่างเวลาในการคำนวณระหว่างวิธี GA กับ วิธี GA+fmincon	40

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	ระยะเวลาการดำเนินงาน	3
ตารางที่ 4.1	ต้นทุนการผลิตทั้งหมดในแต่ละรอบการคำนวณโดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (GA)	32
ตารางที่ 4.2	สถานะการเปิด-ปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดย 0 คือปิด 1 คือเปิด	33
ตารางที่ 4.3	ต้นทุนการผลิตทั้งหมดในแต่ละรอบการคำนวณโดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (GA) ร่วมกับวิธีการหาค่าต่ำสุด	34
ตารางที่ 4.4	สถานะการเปิด-ปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (GA) ร่วมกับวิธีการหาค่าต่ำสุด (fmincon) โดย 0 คือปิด 1 คือเปิด	35
ตารางที่ 4.5	ราคาต้นทุนและเวลาโดยใช้วิธี GA และ ใช้วิธี GA + fmincon โดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 30 เครื่อง	36
ตารางที่ 4.6	ราคาต้นทุนและเวลาโดยใช้วิธี GA และ ใช้วิธี GA + fmincon โดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 60 เครื่อง	37
ตารางที่ 4.7	ราคาต้นทุนและเวลาโดยใช้วิธี GA และ ใช้วิธี GA + fmincon โดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 100 เครื่อง	38
ตารางก.1	ข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมง	44
ตารางก.2	ข้อมูลจำเพาะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละเครื่องในกรณี 10 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	45
ตารางก.3	พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 เครื่องโดยวิธี GA ในเวลา 24 ชั่วโมง	46
ตารางก.4	พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 เครื่องโดยวิธีที่นำเสนอในเวลา 24 ชั่วโมง	47
ตารางก.5	พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 30 เครื่องโดยวิธี GA ในเวลา 24 ชั่วโมง	48
ตารางก.6	พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 30 เครื่องโดยวิธีที่นำเสนอในเวลา 24 ชั่วโมง	50
ตารางก.7	พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 60 เครื่องโดยวิธี GA ในเวลา 24 ชั่วโมง	52
ตารางก.8	พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 60 เครื่องโดยวิธีที่นำเสนอในเวลา 24 ชั่วโมง	56
ตารางก. 9	พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 100 เครื่องโดยวิธี GA ในเวลา 24 ชั่วโมง	60
ตารางก.10	พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 100 เครื่องโดยวิธีที่นำเสนอ ในเวลา 24 ชั่วโมง	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันมีการศึกษาทางด้านการประมาณค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานทางด้านต่างๆอย่างแพร่หลาย ซึ่งสามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยวิธีการต่างๆ โดยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้วิธีการต่างๆนี้จะช่วยเป็นประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ ทำให้เลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ทำงานได้อย่างเหมาะสมและมีราคาต่ำที่สุด ซึ่งเป็นที่นิยมในการใช้งานสำหรับประเทศต่างๆที่มีการแข่งขันกันทางด้านกรจ่ายกำลังไฟฟ้า ซึ่งในอนาคตอาจจะมีการนำมาใช้งานในประเทศไทยได้

วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) เป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมอีกวิธีหนึ่งที่มีข้อได้เปรียบคือไม่ต้องรอให้กระบวนการประมวลผลเสร็จทั้งหมดเหมือนวิธีอื่นอีกทั้งวิธีการทาง GA นั้นมีความหลากหลายในการประยุกต์ใช้ แต่คำตอบที่ได้อาจไม่ใช่ค่าที่เหมาะสมที่สุดและยังใช้เวลาในการคำนวณเป็นเวลานาน จึงได้มีการนำวิธี GA มาทำงานร่วมกับวิธีที่ทางคณิตศาสตร์จึงมีความคาดหวังว่าวิธีการที่นำเสนอนั้นสามารถหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าภายใต้เวลาที่สมเหตุสมผล วิธีการนี้จึงน่าจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการใช้งานต่อไปในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. ศึกษาเพื่อให้การจ่ายโหลดเป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้งานและมีประสิทธิภาพสูงสุดภายใต้เงื่อนไขต่างๆ
2. ศึกษาเพื่อให้ต้นทุนการผลิตมีราคาต่ำที่สุด
3. เพื่อออกแบบและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถคำนวณราคาและกำลังการผลิตที่ได้ค่าที่เหมาะสมตามการแก้ปัญหาชนิดคอมมิทเมนต์ (Unit Commitment: UC) โดยวิธี GA และวิธีเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีจุดภายใน (วิธีที่นำเสนอ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตและข้อกำหนดของโครงการงาน

1. เพื่อการทดสอบการแก้ปัญหาการจ่ายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 10 หน่วย 30, 60 และ 100 หน่วย ภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ในเวลา 24 ชั่วโมง
2. ไม่พิจารณาเงื่อนไขต่อไปนี้ กำลังคน สิ่งแวดล้อม ชีตจำกัดการส่งกำลังของสายส่ง การผลิต ค่าความสูญเสียของกำลังการผลิต
3. เขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์แก้ปัญหา UC ด้วยโปรแกรมแมทแลป (Matlab)

1.4 วิธีการที่ใช้ในโครงการงาน

การใช้วิธี GA ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้หลักการคัดเลือกแบบธรรมชาติ และอาศัยพื้นฐานความคิดเชิงพันธุกรรมในการถ่ายทอดลักษณะต่างๆ เป็นวิวัฒนาการส่งผลให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาหนึ่ง GA เป็นวิธีการหาคำตอบโดยพิจารณาและดำเนินการจัดการตัวแปรต่างๆ ของปัญหาซึ่งนำมาจัดรูปโครโมโซมแล้วคัดเลือกโครโมโซมที่ดีที่สุดเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด สำหรับการสร้างวิวัฒนาการคำตอบให้ดีขึ้น โดยการแลกเปลี่ยนหรือแปลงค่าตัวแปรต่างๆ ระหว่างโครโมโซมที่ถูกคัดเลือกที่จะทำให้ได้คำตอบถูกปรับปรุงให้ดีขึ้น

การใช้ GA ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของตารางการเดินโหลตเพื่อทราบค่าสถานะการปิด-เปิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและค่าราคาของการเดินโหลต ทำโดยการนำเอาตัวแปรที่ควบคุมต่างๆ มาจัดอยู่ในรูปโครโมโซมที่กำหนด แล้วนำมาทำกระบวนการเชิงพันธุกรรมต่างๆ ได้แก่ การกำหนดขนาดประชากร การครอสโอเวอร์ การมิวเทชัน การคัดลอก

และวิธีที่นำเสนออีกวิธีหนึ่งในการศึกษานี้คือการนำเอาวิธีการวิธี GA หาค่าร่วมกับวิธีจุดภายในมีเป้าหมายเพื่อให้การแก้ปัญหาที่มีความรวดเร็วและถูกต้องมากขึ้น จะเป็นการเอาวิธีทางคณิตศาสตร์และวิธีทางฮิวริสติกมาใช้ร่วมกัน

1.5 แผนการดำเนินโครงการงาน

ขั้นตอนในการศึกษาต่างๆสามารถแบ่งเป็นหัวข้อได้ดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีวิธีการจ่ายโหลตอย่างประหยัด (Economic Dispatch)
2. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของตารางการเดินโหลต (Unit Commitment)
3. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐานของ GA และ วิธีจุดภายใน เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานในชิ้นส่วน

ของโครงการงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานใช้งานเพื่อการศึกษาร่วมกัน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
4. ศึกษาการเขียนโปรแกรมการคำนวณด้วยแมทแลป (Matlab)

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เขียนโปรแกรม GA และ GA ร่วมกับวิธีจุดภายใน ประยุกต์ใช้งานกับแบบจำลอง
6. บันทึกผลการทดลอง
7. สรุปผลการทดลอง พร้อมวิจารณ์การทดลอง และข้อเสนอแนะ

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาการดำเนินงาน

ขั้นตอนการดำเนินงาน	ระยะเวลาดำเนินการ							
	มิถุนายน	กรกฎาคม	สิงหาคม	กันยายน	พฤศจิกายน	ธันวาคม	มกราคม	กุมภาพันธ์
ศึกษาค้นคว้ายูนิ ตคอมมิตเม้น	←→							
ศึกษาค้นคว้าแจ เนติกอัลกอริทึม และวิธีการวิธีจุด ภายใน		←→						
เขียนโปรแกรม สำหรับเดินเครื่อง กำเนิดไฟฟ้า (เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 เครื่อง)			←→					
เพิ่มเงื่อนไขต่างๆ			←→				→	
เขียนโปรแกรม สำหรับเดินเครื่อง กำเนิดไฟฟ้า (เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 30 60 100 เครื่อง)							←→	
ทำรูปเล่มปริยญา นิพนธ์								←→

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษา

1. การใช้ GA ทำให้สามารถออกแบบตารางการเดินโหลดให้ได้ค่าเหมาะสมที่สุด พร้อมทั้งทำให้เราทราบสถานะของการเปิด ปิด เครื่องจักร และราคาของเชื้อเพลิงที่ถูกที่สุดทำให้สามารถทำการวางแผนของการเดินเครื่องจักรได้ในอนาคต
2. การจำลองบนคอมพิวเตอร์ก่อนนั้นทำให้สามารถวางแผนในด้านงบประมาณไว้ได้ในล่วงหน้า ทำให้ประหยัดค่าเชื้อเพลิง
3. สามารถนำโปรแกรมไปประยุกต์ใช้งานในโรงงานผลิตไฟฟ้า และโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

โดยทั่วไปการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเป็นการแก้ไขปัญหาค่าที่ดีที่สุด ในทางวิศวกรรม จุดมุ่งหมายของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดคือการให้ประสิทธิภาพสูงสุดของระบบหรือการประยุกต์ใช้โดยอยู่บนพื้นฐานของการใช้ระยะเวลาการทำงานและทรัพยากรให้น้อยที่สุด นอกจากนี้ การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดเป็นกระบวนการของการปรับอินพุตหรือลักษณะของอุปกรณ์ตามกระบวนการทางคณิตศาสตร์หรือการทดลองเพื่อหาผลที่เป็นค่าสูงสุดหรือต่ำสุด การหาค่าต่ำสุดจำนวนมากได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อจัดการกับปัญหาต่างๆ ซึ่งเป็นการยากหรือแทบจะเป็นไปไม่ได้ที่จะหาวิธีที่ทำงานได้ดีกับทุกปัญหา

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่มใหญ่ คือ การหาค่าตอบที่แน่นอน (Exact Algorithms) และ การสุ่ม (Stochastic Algorithms) ตัวอย่างของการหาค่าตอบที่แน่นอนคือ วิธีแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch and Bound) กำหนดการพลวัต (Dynamic Programming) วิธีจุดภายใน (Interior point Methods) ฯลฯ แต่หากปัญหาที่มีเป็นปัญหาค่าขนาดใหญ่และมีความซับซ้อน วิธีการเหล่านี้จะกลายเป็นวิธีการที่ยากต่อการนำไปใช้ ในบางปัญหาที่มีความซับซ้อนในทางวิทยาศาสตร์ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ไม่สามารถแสดงในรูปแบบวิเคราะห์ เช่น ฟังก์ชันต่อเนื่อง ปัญหาที่ไม่เป็นเชิงเส้น ฯลฯ ขั้นตอนวิธีการสุ่มจะเป็นที่น่าสนใจเพราะวิธีการเหล่านี้สามารถหาค่าตอบได้ มีวิธีการหลายวิธีที่ใช้ในวิธีการสุ่ม วิธีฮิวริสติก (Heuristic) คือกลุ่มของวิธีการสุ่มที่ได้รับความสนใจเนื่องจากความสามารถในการค้นหาที่มีประสิทธิภาพ

ประเภทของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาร่วมกัน, ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.1 ทกประเภทของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

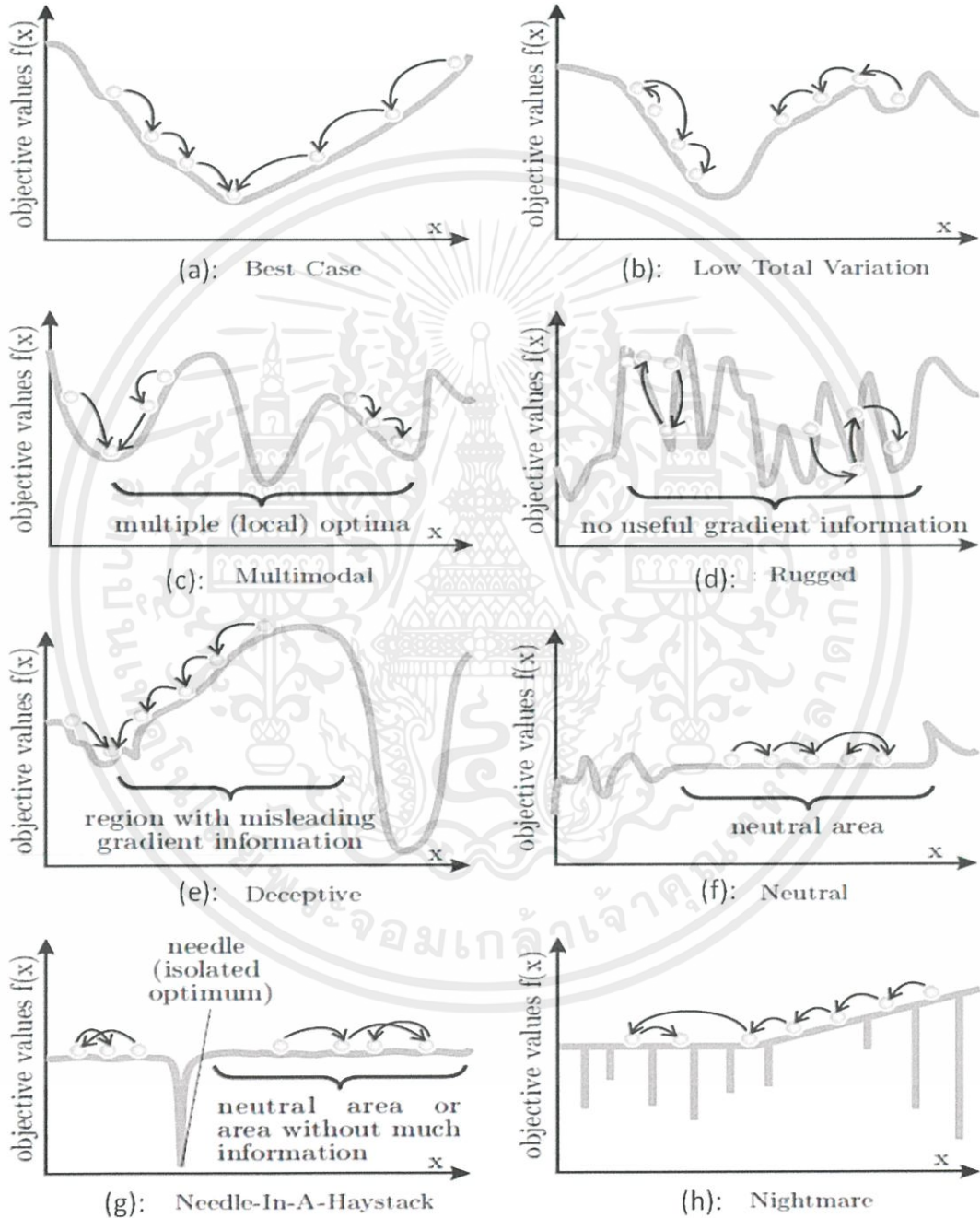
คำอธิบายอย่างย่อของแต่ละประเภท มีดังต่อไปนี้

1. การหาค่าเหมาะสมแบบการลองผิดลองถูก (Trial-and-error) หมายถึงขั้นตอนการสุ่มค่าของตัวแปร ที่ส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์โดยไม่ต้องเข้าใจกระบวนการข้างในของปัญหา ซึ่งก็เป็นกระบวนการทางคณิตศาสตร์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด
2. ถ้าปัญหานั้นมีเพียงฟังก์ชันวัตถุประสงค์เดียว ปัญหานี้เรียกว่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เดียว แต่ในความเป็นจริงปัญหาจะมีหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์และขัดแย้งกัน ซึ่งการหาค่าที่เหมาะสมจะต้องหาไปพร้อมๆกัน ปัญหาดังกล่าวเรียกว่าการหาค่าเหมาะสมหลากหลายฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Multi-objective Optimization)
3. การหาค่าเหมาะสมของปัญหาแบบพลวัต ซึ่งหมายความว่าปัญหาที่เกิดขึ้นจะเป็นฟังก์ชันของเวลา เพราะฉะนั้นการหาค่าเหมาะสมในปัญหานี้ คือ การหาค่าที่ดีที่สุดในแต่ละช่วงของคาบเวลา ในขณะที่ฟังก์ชันแบบสถิตย์จะไม่ขึ้นอยู่กับเวลา
4. ปัญหาการค่าที่เหมาะสมที่สุดยังสามารถแบ่งตามประเภทตัวแปรคือ แบบต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่อง ตัวแปรไม่ต่อเนื่องจะมีค่าที่จำกัดเป็นไปได้ในช่วงหนึ่ง ขณะที่ค่าของตัวแปรต่อเนื่องจะมีค่าไม่จำกัด
5. ตัวแปรมักจะมีขอบเขตหรือข้อจำกัด (Constrained) การหาค่าที่เหมาะสมที่จำกัดสามารถรวมข้อจำกัดที่เป็นเท่ากันหรือไม่เท่ากัน การหาค่าเหมาะสมที่ไม่จำกัด (Unconstrained) จะยอมกับตัวแปรใดๆ สำหรับหาการหาค่าที่เหมาะสมที่จำกัดถ้าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และข้อจำกัดเป็นเชิงเส้นปัญหานั้นจะเรียกว่าปัญหาเชิงเส้น ถ้าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และข้อจำกัดเป็นแบบไม่เชิงเส้นปัญหานั้นจะเรียกว่าปัญหาไม่เชิงเส้น
6. อัลกอริทึมสำหรับการแก้ปัญหา จะขึ้นอยู่กับทิศทางของเกรเดียน (Gradient) โดยเกิดจากการใช้วิธีแคลคูลัส ในขณะที่วิธีการสุ่มใช้ความน่าจะเป็นในการค้นหาวิธีแก้ปัญหา วิธีการเหล่านี้มีที่จะแก้ปัญหาได้ช้ากว่า แต่มีความสำเร็จมากขึ้นในการหาค่าตอบโดยภาพใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fitness landscape

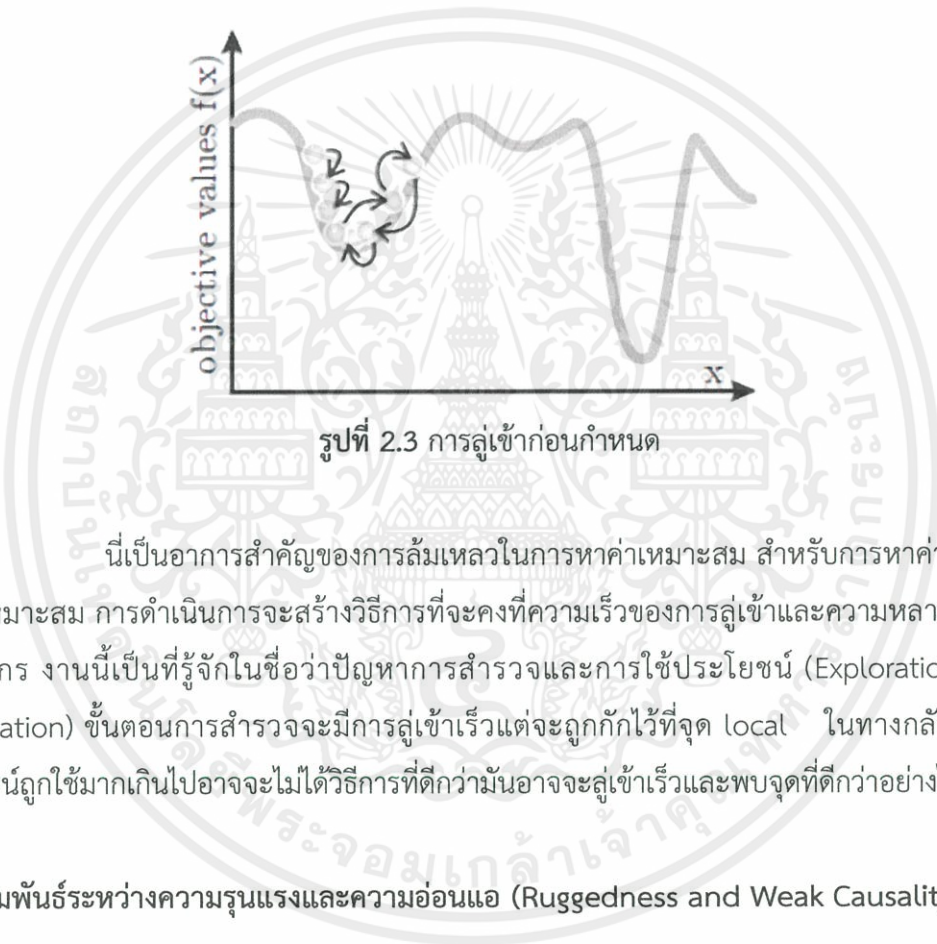
สำหรับการแก้ปัญหาค่าเหมาะสมใดๆ ทิศทางของเกรเดียนที่ทราบ จะเป็นข้อมูลที่ช่วยให้ทิศทางการแก้ปัญหาที่สำคัญที่สุด ฟิตเนสแลนดส์เคป (Fitness landscape) รูปแบบต่างๆที่ทำให้กระบวนการแก้ปัญหาเป็นได้ยาก แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 Fitness landscape ในปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของงานวิจัยของภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ซึ่งประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลู่เข้าก่อนกำหนด Premature Convergence

ขั้นตอนการหาค่าเหมาะสมจะลู่เข้าก่อนกำหนด หากมันไม่สามารถสำรวจส่วนอื่นๆของพื้นที่ค้นหามากกว่า พื้นที่ที่ได้รับการตรวจสอบแล้ว ในสถานการณ์เช่นนี้อาจจะมีพื้นที่อื่นๆ ที่มีคำตอบของปัญหาที่ดีกว่า การลู่เข้าก่อนกำหนดมักจะพบได้ในปัญหาฟังก์ชันแบบ Multimodal ซึ่งเป็นปัญหาที่กราฟของฟังก์ชันนั้นมีจุดเปลี่ยนเว้า ตัวอย่างของการลู่เข้าก่อนกำหนดแสดงดังรูปที่ 2.3



นี่เป็นอาการสำคัญของการล้มเหลวในการหาค่าเหมาะสม สำหรับการหาค่าของวิธีการหาค่าเหมาะสม การดำเนินการจะสร้างวิธีการที่จะคงที่ความเร็วของการลู่เข้าและความหลากหลายของประชากร งานนี้เป็นที่รู้จักในชื่อว่าปัญหาการสำรวจและการใช้ประโยชน์ (Exploration and Exploitation) ขั้นตอนการสำรวจจะมีการลู่เข้าเร็วแต่จะถูกกักไว้ที่จุด local ในทางกลับกันการใช้ประโยชน์ถูกใช้มากเกินไปอาจจะไม่ได้วิธีการที่ดีกว่ามันอาจจะลู่เข้าเร็วและพบจุดที่ดีกว่าอย่างไม่น่าเชื่อ

ความสัมพันธ์ระหว่างความรุนแรงและความอ่อนแอ (Ruggedness and Weak Causality)

Fitness landscape ที่ดีของการหาค่าเหมาะสมจะเป็นขั้นตอนอย่างต่อเนื่องและแสดงการเปลี่ยนแปลงอย่างต่ำเช่นเดียวกับรูปที่ 2.2 (b) ถ้าฟังก์ชันค่าใช้ง่ายในสภาพที่มั่นคงและมีความผันผวนจะกลายเป็นปัญหาที่ซับซ้อนสำหรับแนวทางการหาค่าเหมาะสม ปัญหาที่เรียกว่าความรุนแรง Ruggedness รูปที่ 2.2 (d) จะเกิดขึ้นแสดงให้เห็นถึงค่าวัตถุประสงค์ที่เปลี่ยนแปลงขึ้นและลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำอธิบายสำหรับระดับความรุนแรงเรียกว่าความสัมพันธ์ระหว่างเหตุและผล (Causality)

คำนิยามของ (Strong Causality) คือการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยในคุณสมบัติของวัตถุประสงคืใน พฤติกรรม

หลักการนี้ไม่เพียงแต่เป็นกระบวนการหาค่าเหมาะสม แต่ยังอยู่ในจีโนมธรรมชาติ (Natural Genomes) ตัวอย่างเช่น ลูกหลานที่เกิดจากการสืบพันธุ์แบบอาศัยเพศของปลาจะมีจีโนมที่ แตกต่างกันกว่าพ่อแม่ของตน ในบางรูปแบบนี้สามารถลู่ไปสู่อารมณ์ที่ไม่ซ้ำกันได้ แต่ไม่ได้เป็นสิ่งที่ แตกต่างกันอย่างสมบูรณ์ ในทางตรงกันข้าม Fitness landscape ที่มีความสัมพันธ์ระหว่างเหตุผล อ่อนแอจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างมากมักจะมีการเปลี่ยนแปลงในการแก้ไขปัญหาเล็กน้อย

มาตรการสำหรับปัญหาเหล่านี้จะเป็นปัญหาเฉพาะ ขนาดประชากรขนาดใหญ่อาจจะ ช่วยเพิ่มความหลากหลาย บางเทคนิคพิเศษอาจถูกนำไปใช้กับ Fitness landscape ในบางกรณี การ แก้ไขปัญหาคือที่มาของปัญหา ในกรณีนี้ตัวแปรการตัดสินใจหรือฟังก์ชันวัตถุประสงค์ควรจะนิยามใหม่

การหลอกลวง (Deceptiveness)

เป็นสถานการณ์ที่ยู่ยากที่จะนำไปสู่ขั้นตอนวิธีการที่ดีที่สุดทั่วไปและรองลงมาดังแสดง ในรูป 2.2(e) หากขั้นตอนวิธีการที่พบมีค่าเฉลี่ย Fitness กว่าพื้นที่อื่นๆ จากนั้นขั้นตอนการค้นหาจะเน้น บริเวณนี้ตั้งอยู่บนสมมติฐานว่าพื้นที่นี้จะมีแนวโน้มที่ดีที่สุดจริง ดังนั้นประชากรส่วนใหญ่ที่เป็นเจ้าของพื้นที่ ในพื้นที่หลอกลวงนี้จะไม่ประสบความสำเร็จ

ความเป็นกลาง (Neutrality)

พิจารณาผลของการดำเนินการค้นหาหาค่าเหมาะของพื้นที่การค้นหาที่เป็นกลางถ้ามัน ทำให้การเปลี่ยนแปลงในวัตถุประสงค์ ดังแสดงในรูป 2.2(f) การแก้ปัญหาที่ถูกเลือกจะมีค่าวัตถุประสงค์ เหมือนกันการหาค่าเหมาะสมจะไม่สามารถหาข้อมูลเกรเดียนจึงไม่มีทิศทางที่จะดำเนินการ ในสถานการณ์ การนี้จะทำให้ถูกทำซ้ำขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสามารถในการวิวัฒนาการ (Evolvability)

ในการหาค่าเหมาะสม ความสามารถในการวิวัฒนาการจะกำหนดการดำเนินงานที่มีแนวโน้มการค้นหาไปสู่ปัญหาที่มีค่าดีที่สุด หรือคือความน่าจะเป็นของความสำเร็วจาจะจะถูกกำหนดให้เป็นลูกหลานที่ดีกว่าพ่อแม่

การข่มกันของยีน (Epistasis)

ในทางชีววิทยา การข่มกันของยีนถูกกำหนดให้เป็นรูปแบบของการปฏิสัมพันธ์ระหว่างยีนที่แตกต่างกัน กล่าวคือ Epistasis การพึ่งพา การมีส่วนร่วมของยีนที่จะมีค่าวัตถุประสงค์ของสถานะอื่นๆของยีน

ภาพรวมของการคำนวณแบบวิวัฒนาการ

ในการคำนวณแบบอัจฉริยะ (Computational Intelligence) วิธีการวิวัฒนาการ (Evolutionary Algorithm:EA) เป็นส่วนหนึ่งของการคำนวณวิวัฒนาการ (Evolutionary Computation: EC) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้วิธีอิวิริสติก กลไกการค้นหาของ EA เป็นแรงบันดาลใจจากกระบวนการทางธรรมชาติเช่น วิวัฒนาการทางชีววิทยาการสืบพันธุ์การกลายพันธุ์ การไขว้เปลี่ยนหรือการเลือก การแก้ไขปัญหาแสดงในประชากร คุณภาพของการแก้ไขปัญหาก็ถูกประเมินโดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ประชากรที่จะพัฒนาผ่านตัวดำเนินการ การดำเนินการนี้จะมีค่าต่างกัน EA

การคำนวณ EC จะแตกต่างจากการหาค่าเหมาะสมแบบดั้งเดิมในหลายด้าน หนึ่งในความแตกต่างที่สำคัญคือความต้องการข้อมูลอนุพันธ์ ในโลกแห่งความเป็นจริงปัญหาการหาค่าเหมาะสมเป็นเรื่องยากหรือเป็นไม่ได้ในการคำนวณอนุพันธ์ ข้อดีของกระบวนการ EC จะลดโอกาสการติดอยู่กับที่ โดยการสำรวจประชากรพร้อมกันผ่านการทดลองหลายๆครั้ง

ขั้นตอนการดำเนินการโดยทั่วไปของ EA จะปฏิบัติตามขั้นตอนดังนี้

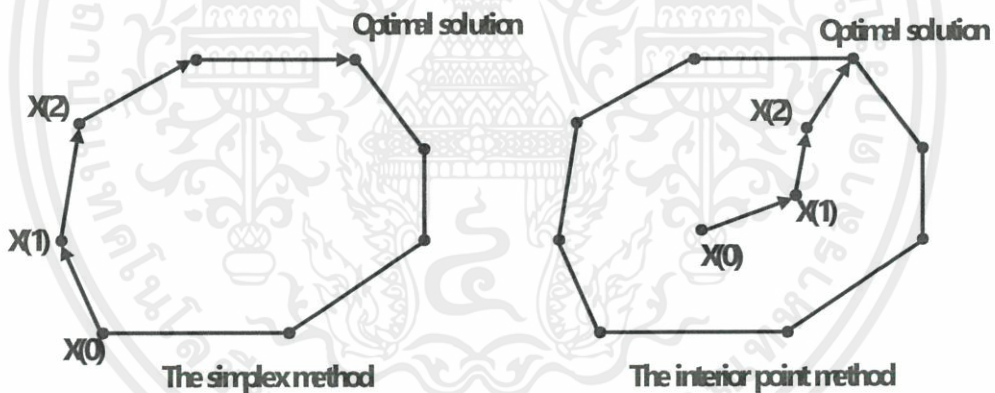
1. เริ่มต้นสุ่มค่าคำตอบ
2. คำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในแต่ละคำตอบ
3. คัดเลือกคำตอบเพื่อสร้างคำตอบใหม่
4. การปรับปรุงคำตอบ เช่นการไขว้เปลี่ยนและการกลายพันธุ์ในคำตอบและเลือก

เอกสาร คำตอบสำหรับปรับปรุงคำตอบไปการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. วนไปที่ขั้นตอนที่ 2 จนจะเจอจุดสิ้นสุด

2.1 วิธีจุดภายใน (Interior point Method)

วิธีจุดภายในเป็นการแก้ปัญหาเชิงเส้นวิธีการหนึ่งถูกนำเสนอครั้งแรกโดย N.K.Karmarkar ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีการคำนวณที่ซับซ้อนสำหรับสัดส่วนขนาดใหญ่ของการแก้ปัญหา กำหนดการเชิงเส้น โดยเริ่มต้นที่จุดเริ่มต้นในบริเวณที่เป็นไปได้ จากนั้นในแต่ละรอบการหมุน จะหาทิศทางที่ปรับปรุงค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และพิสูจน์เงื่อนไขของเส้นตรง จนกว่าจะได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งมีขีดความสามารถดีกว่าการแก้ปัญหาเชิงเส้นแบบเดิมที่เรียกว่า วิธีซิมเพลกซ์ (Simplex Method) การทำซ้ำของวิธีจุดภายในเร็วกว่าวิธีซิมเพลกซ์ถึง 50 เท่า รูปแบบทางเดินการทำซ้ำในการหาคำตอบของวิธีจุดภายในจะเดินอยู่ภายในโดเมนคำตอบรูปหลายเหลี่ยมที่เป็นไปได้จากพฤติกรรมดังกล่าวจึงกลายมาเป็นที่มาของชื่อวิธีนั่นเองซึ่งแตกต่างจากวิธีซิมเพลกซ์ที่จะเดินบนขอบของโดเมนคำตอบรูปหลายเหลี่ยมที่เป็นไปได้ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ทางเดินในการหาคำตอบระหว่างวิธีซิมเพลกซ์กับวิธีจุดภายใน

วิธีจุดภายในแบบปริมาตร-คูอัล อาศัยความสัมพันธ์ระหว่างวิธีจุดภายในสเกลสอดคล้อง (Affine scaling interior point method) กับ ทฤษฎีคูอัล (Dual theory) ดังรูปแบบสมการต่อไปนี้

ปัญหาปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น (2.1)
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$s.t. Ax = b, x \geq 0 \quad (2.2)$$

ปัญหาดูอัล

$$\text{Maximize } b^T w \quad (2.3)$$

$$s.t. A^T w + s = c, s \geq 0, w \quad (2.4)$$

ในการแก้ปัญหาแบบปริมาตร-ดูอัลเพื่อที่จะได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมนั้น จะได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าซึ่งอยู่บนขอบ และเพื่อแก้ปัญหานี้ เราจะทำการเพิ่มฟังก์ชันขวางกัน (Barrier problem) เข้าไปในฟังก์ชันจุดประสงค์เพื่อที่จะแก้ปัญหที่ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้นั้นอยู่บนขอบ

วิธีจุดภายในแบบปริมาตร-ดูอัลมีขั้นตอนดังนี้ เริ่มแรกกำหนดจุดเริ่มต้นของตัวแปรปริมาตรและตัวแปรดูอัลให้สอดคล้องกับเงื่อนไขในสมการที่ (2.1) และสมการที่ (2.3) ตามลำดับ จากนั้นคำนวณหาทิศทางในการเคลื่อนที่ โดยการประยุกต์ใช้ตัวคูณลากรานจ์ (Lagrange multiplier) ในการหาเงื่อนไขที่เหมาะสม เราจะเรียกเงื่อนไขนี้ว่า Karush Kuhn-Tucker (KKT) โดยพิจารณาฟังก์ชันลากรานจ์สำหรับปัญหาดังสมการต่อไปนี้

$$L(x, w, s) = b^T w + \mu \sum_j \ln(s_j) - x^T (A^T w + s - c) \quad (2.5)$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ (2.5) จะได้ตั้งสมการสมการที่ (2.6) และวิธี Newton ดังสมการที่ (2.7) - (2.9)

$$x^T s = \mu \quad (2.6)$$

$$A(x + \Delta x) = b \quad (2.7)$$

$$A^T (w + \Delta w) + (s + \Delta s) = c \quad (2.8)$$

$$(x_j + \Delta x_j) + (s_j + \Delta s) = \mu \quad (2.9)$$

จัดรูปสมการที่ (2.7) - (2.9) ใหม่ได้ตั้งสมการที่ (2.10) - (2.11) จากนั้นแก้สมการหาค่า $\Delta w, \Delta s, \Delta x$

$$A \Delta x = b - Ax \equiv r_p \quad (2.10)$$

$$A^T \Delta w + \Delta s = c - A^T w - s \equiv r_D \quad (2.11)$$

$$S \Delta x + X \Delta s = \mu e - X S e \equiv v(\mu) \quad (2.12)$$

เมื่อ S, X, e, D เป็นเมตริกซ์เส้นทแยงมุมของเวกเตอร์ตัวแปรปริมาตรกับตัวแปรดูอัล เวกเตอร์ที่มีสมาชิกทุกตัวมีค่าเท่ากับ 1 และ $D = S^{-1} X$ ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ $\Delta w = -(ADA^T)^{-1} [AS^{-1}v(\mu) + AD r_D - r_p]$ นำไปใช้ประโยชน์ (2.13) คำ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\Delta s = -A^T \Delta w + r_D \quad (2.14)$$

$$\Delta x = S^{-1}v(\mu) - D\Delta s \quad (2.15)$$

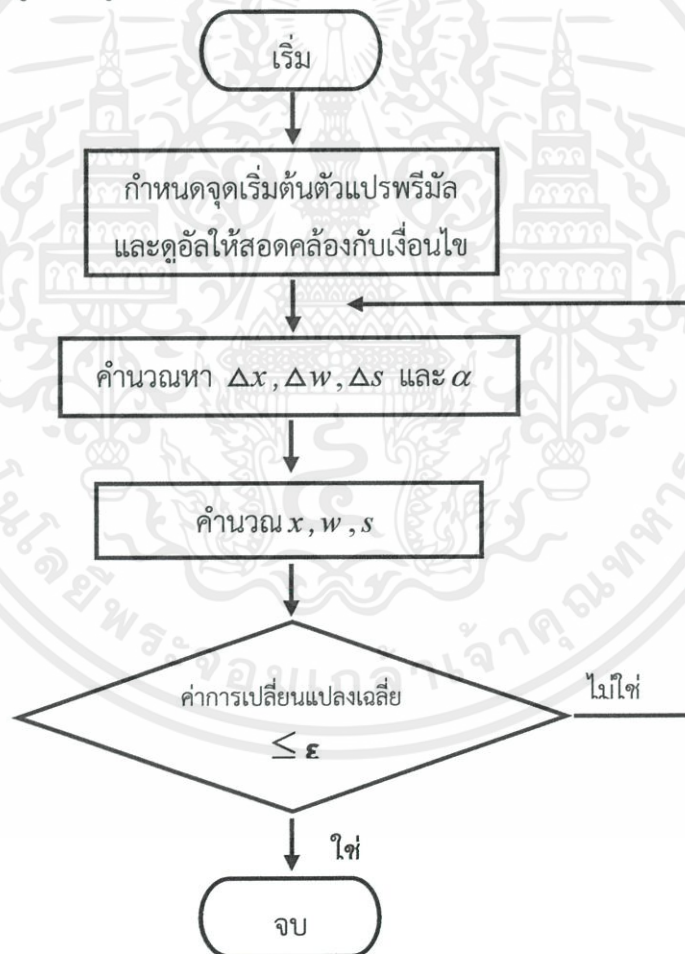
$$x^{k+1} = x^k + \alpha \Delta x \quad (2.16)$$

$$w^{k+1} = w^k + \alpha \Delta w \quad (2.17)$$

$$s^{k+1} = s^k + \alpha \Delta s \quad (2.18)$$

ขณะที่ตัวแปร r_p, r_D เป็นค่าเหลือ (Residual value) จากการคำนวณสมการเงื่อนไขของปัญหา ปริมาตรและดูอัล ส่วนค่าเวกเตอร์ $\Delta w, \Delta s, \Delta x$ เป็นทิศทางในการเคลื่อนที่ เราจะอาศัยค่าเวกเตอร์เดิมของตัวแปรปริมาตรกับดูอัลรวมกับเวกเตอร์ทิศทาง $\Delta w, \Delta s, \Delta x$ เพื่อหาค่าใหม่ของ $w^{k+1}, s^{k+1}, x^{k+1}$ ดังสมการที่ (2.16) - (2.18)

จากลำดับขั้นตอนที่ได้อธิบายมาข้างต้นสามารถนำมาเขียนเป็นแผนผังการทำงานของวิธีจุดภายในแบบปริมาตร-ดูอัล ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการทำงานของวิธีจุดภายในแบบปริมาตรดูอัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาและการวิจัยเท่านั้น เมื่อผู้ใช้เห็นสมควรไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าตัวแปร α ทำหน้าที่เป็นตัวเร่งการลู่เข้าสู่คำตอบ หาได้จากความสัมพันธ์ของสมการที่ (2.19) - (2.22)

$$\alpha_p = \min(-x_j / \Delta x_j) \mid \Delta x_j < 0 \quad (2.19)$$

$$\alpha_D = \min(-s_j / \Delta s_j) \mid \Delta s_j < 0 \quad (2.20)$$

$$\alpha_{\max} = \min(\alpha_p, \alpha_D) \quad (2.21)$$

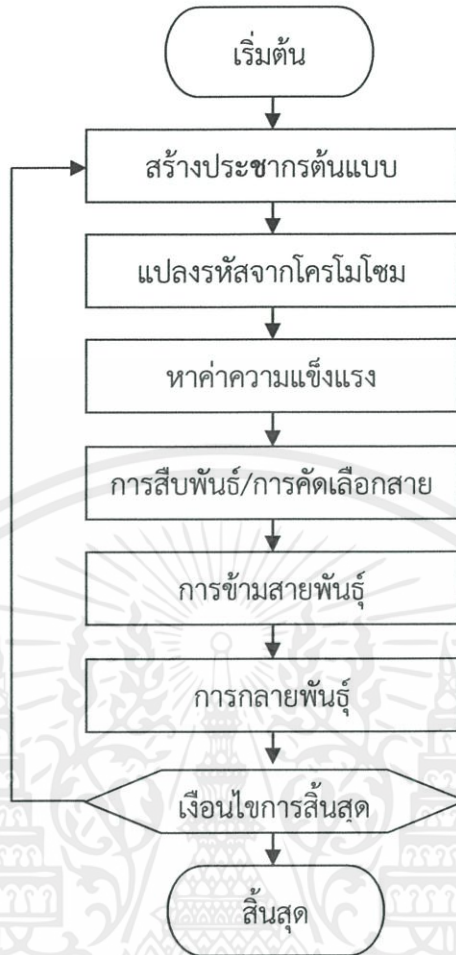
$$\alpha = 0.99999\alpha_{\max} \quad (2.22)$$

2.2 วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA)

วิธี GA คือการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดและใช้เทคนิคการหาคำตอบบนพื้นฐานของหลักทางพันธุกรรมและการคัดเลือกโดยธรรมชาติ วิธีการนี้ได้รับการพัฒนาโดยจอห์นฮอลแลนด์ (John Holland) ในระหว่างปี 1960 ถึงปี 1970 ก่อนที่จะมีการตีพิมพ์เป็นหนังสือในเวลาต่อมา GA เป็นที่นิยมโดยหนึ่งในนักเรียนของเขา เดวิด โกลด์เบิร์ก (David Goldberg) ประสบความสำเร็จในการแก้ไขปัญหาในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของระบบท่อส่งผ่านก๊าซ พื้นหลังทางทฤษฎีวิธีเชิงพันธุกรรมได้รับการพัฒนาอยู่บนพื้นฐานของทฤษฎีบทของฮอลแลนด์ (Holland) เดจอง (DeJong) แสดงให้เห็นประโยชน์ของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันและความพยายามนำเสนอการที่จะหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธีเชิงพันธุกรรมนี้

ในการหาคำตอบจะต้องพิจารณาลักษณะของแต่ละตัวที่เป็นตัวแทนของโครโมโซม (Chromosome) หรือจีโนม (Genome) โครโมโซมเป็นตัวแทนของจุดในพื้นที่ค้นหาซึ่งประกอบด้วยจำนวนของยีน (Genes) ที่ถ่ายทอดทางพันธุกรรม ซึ่งแต่ละยีนจะมีลักษณะเฉพาะตัว ค่าของยีนอยู่ในเทอมของอัลลีล (Allele) ซึ่งถ้าจะพูดในแง่ของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ยีนก็เป็นหนึ่งในพารามิเตอร์ในปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แผนผังของวิธี GA

โดยดั้งเดิมวิธี GA จะเป็นการใช้เลขจำนวนจริงฐานสอง ดังนั้นมิติของแต่ละตัวจะมีความต่างกันซึ่งอาจจะต่างจากมิติของสายโครโมโซม จำนวนบิตที่ใช้ในการแสดงของยีนขึ้นอยู่กับความละเอียดที่ต้องการ โดยการนำเสนอนั้นอาจมีความบกพร่อง เช่น การต้องการหน่วยความจำขนาดใหญ่เพื่อเพิ่มขอบเขตในการค้นหาคำตอบให้มากขึ้น ต่อมานักวิจัยได้ปรับปรุงวิธี GA ที่จะทำงานกับตัวแปรอย่าง ต่อเนื่อง โดยขั้นตอนหลักในการทำงานของวิธีเชิง GA สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.6 ทั้งตัวแปรฐานสอง และตัวแปรต่อเนื่องของวิธี GA เป็นไปตามหลักการรวมตัวกันทางพันธุกรรมและการคัดเลือกโดยธรรมชาติ อย่างไรก็ตามความแตกต่างที่สำคัญระหว่างทั้งสองอย่างนี้คือการถอดรหัสโครโมโซมที่มีอยู่ เฉพาะวิธีเชิง GA ฐานสอง

ในการหาค่าที่เหมาะสม มีตัวแปรที่มีการปรับให้เหมาะสมเพื่อที่จะใช้ในพื้นที่ฟีโนไทป์ เอกสาร (Phenotype Space) และการทำงานของระบบจะขึ้นอยู่กับค่าตัวแปรที่เรียกว่าฟีโนไทป์ (Phenotype) ค่า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การดำเนินงานทางพันธุกรรม เช่น การไขว้เปลี่ยน (Crossover) และการการกลายพันธุ์ (Mutation) ในพื้นที่จีโนไทป์ (Genotype Space) ที่สายของมันจะถูกเรียกว่าจีโนไทป์ (Genotype)

2.2.1 โครงสร้างข้อมูล

ที่ใช้กันทั่วไปหมายถึงการเป็นตัวแทนของการแก้ปัญหาของตัวอักษรฐานสอง 0 และ 1 ตัวแทนอื่น ๆ ที่ใช้ประกอบด้วยค่าเรียงสับเปลี่ยนค่าจำนวนจริงหรือใช้แผนภาพ ฯลฯ ตัวอย่างของโครโมโซมฐานสองสำหรับสองตัวแปร (x_1 และ x_2) โดยปัญหาที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 2.7 เป็นประชากรโครงสร้างข้อมูลที่เก็บไว้ประชากรทั้งหมดจะแสดงให้เห็นดังนี้



รูปที่ 2.7 ตัวแทนของโครโมโซมที่เป็นฐานสอง

ในกรณีนี้ x_1 และ x_2 จะถูกเข้ารหัสด้วย 10 และ 15 บิต (bits) ตามลำดับ จำนวนของโครโมโซม

$$\text{Chrom} = \begin{bmatrix} g_{1,1} & g_{1,2} & \dots & g_{1,Lind} \\ g_{2,1} & g_{2,2} & \dots & g_{2,Lind} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ g_{Nind,1} & g_{Nind,2} & \dots & g_{Nind,Lind} \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{Ind. \#1} \\ \text{Ind. \#2} \\ \vdots \\ \text{Ind. \#Nind} \end{matrix} \quad (2.23)$$

L_{ind} คือจำนวนบิตทั้งหมดของโครโมโซม (เช่นมีจำนวนบิตเท่ากับ 25 ในรูปที่ 2.7)

ตัวแปรในการตัดสินใจของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจะได้มาจากการใช้ฟังก์ชันแผนภาพที่แปลงค่าโครโมโซมไปสู่พื้นที่ตัวแปรการตัดสินใจ ในวิธีเชิงพันธุกรรมมีคำศัพท์ที่ได้อธิบายมาก่อนหน้านี้ เช่นพื้นที่ค้นหาจะถูกเรียกว่าพื้นที่จีโนไทป์และตัวแปรจะถูกเรียกว่าฟีโนไทป์ ตัวอย่างของฟังก์ชันแผนภาพดังกล่าวเป็นฟังก์ชันการถอดรหัสที่สามารถนำไปใช้เป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\mathbf{Phen} = \text{DECODE}(\mathbf{Chrom})$$

$$= \begin{bmatrix} X_{1,1} & X_{1,2} & \dots & X_{1,D} \\ X_{2,1} & X_{2,1} & \dots & X_{2,D} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{Nind,1} & X_{Nind,2} & \dots & X_{Nind,D} \end{bmatrix} \begin{matrix} Ind. \#1 \\ Ind. \#2 \\ \vdots \\ Ind. \# Nind \end{matrix} \quad (2.24)$$

สามารถประเมินคุณภาพของฟีโนไทป์ได้โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งอาจเป็นฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สามารถเป็นได้ทั้งปริมาณทางสเกลาร์ (Scalar) ในกรณีปัญหาวัตถุประสงค์เดียวหรือเป็นปริมาณเวกเตอร์ (Vector) ในกรณีปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์

$$\mathbf{ObjV} = \text{ObjFun}(\mathbf{Phen})$$

$$= \begin{bmatrix} y_{1,1} & y_{1,2} & \dots & y_{1,NObj} \\ y_{2,1} & y_{2,1} & \dots & y_{2,NObj} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ y_{Nind,1} & y_{Nind,2} & \dots & y_{Nind,NObj} \end{bmatrix} \begin{matrix} Ind. \#1 \\ Ind. \#2 \\ \vdots \\ Ind. \# Nind \end{matrix} \quad (2.25)$$

ค่าที่เหมาะสมจะได้อาจมาจากค่าวัตถุประสงค์ผ่านฟังก์ชันการปรับหรือการจัดอันดับ ค่าที่เหมาะสมในแต่ละตัวโดยทั่วไปจะมีค่าที่เป็นเชิงปริมาณที่ไม่เป็นลบ

$$\mathbf{Fitn} = \text{FITNESS}(\mathbf{ObjV})$$

$$= \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ \vdots \\ F_{Nind} \end{bmatrix} \begin{matrix} Ind. \#1 \\ Ind. \#2 \\ \vdots \\ Ind. \# Nind \end{matrix} \quad (2.26)$$

2.2.2 ประชากรเริ่มต้น

ก่อนที่จะเริ่มกระบวนการวิวัฒนาการใดๆ ประชากรเริ่มต้นจะถูกสร้างขึ้น โดยปกติค่าของยีนถูกสุ่มเลือกจากชุดค่าของคำตอบ เพื่อที่จะนำไปใช้ในการแทนที่ในแต่ละพื้นที่ค้นหา หากมีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับปัญหาหรือพื้นที่การค้นหาที่มีอยู่ การวิเคราะห์พฤติกรรมอาจจะถูกใช้เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดประชากรเริ่มต้นซึ่งทำให้มีการแก้ปัญหาที่ดี แต่นี่อาจจะไม่น่าเชื่อถือและไม่สามารถนำไปสู่การหาค่าที่เหมาะสมต่อไปได้ ประชากรเริ่มต้น (รุ่นที่ 0) สามารถเริ่มต้นได้โดยไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Chrom}^0 = \text{round}(C) \quad (2.27)$$

ที่ C คือเมทริกซ์ $N_{ind} \times L_{ind}$ มีองค์ประกอบเป็นตัวเลขสุ่มในขอบเขต $(0,1)$ และ round เป็นฟังก์ชันการปัดเศษให้มีค่าเป็นจำนวนเต็มทีใกล้เคียงที่สุด

เห็นได้ชัดว่าขนาดของประชากรเริ่มต้นมีความสำคัญในการดำเนินการ (ผลของความแม่นยำและเวลาในการเข้าคู่กัน) ถ้าขนาดพื้นที่การค้นหาของจำนวนประชากรมีขนาดเล็ก เวลาในการคำนวณก็จะมีค่าน้อยแต่ในขั้นตอนวิธีนี้อาจจะต้องใช้จำนวนรุ่นที่มากขึ้นในการมาเข้าคู่กันจึงทำให้มีประชากรเริ่มต้นที่มีขนาดใหญ่และครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ในการค้นหาคำตอบ แต่เวลาในการคำนวณที่ในแต่ละรุ่นก็จะมีค่าที่เพิ่มมากขึ้น

2.2.3 วิธีการหาความเหมาะสม

วิธีการหาความเหมาะสมอาจจะเป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดของวิธี GA วิธีการหาความเหมาะสมของฟังก์ชัน F บนที่โครโมโซม \bar{C} บนค่าสเกลาร์ซึ่งก็คือวิธีการหาความเหมาะสมช่วยให้มีการวัดและเป็นการวัด $F: \bar{C} \mapsto R^+$ แต่ละโครโมโซมเป็นการแก้ปัญหาที่มีศักยภาพ การประเมินผลของวิธีการหาความเหมาะสมของการประเมินคุณภาพของโครโมโซม การคัดเลือก การไขว้เปลี่ยน การกลายพันธุ์และการได้คำตอบที่ดีที่สุดมักจะให้ค่าของการประเมินผลการหาค่าที่เหมาะสม

ให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์แสดงโดย $y = f(x)$ รูปแบบทั่วไปของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมสามารถเขียนเป็น

$$F(\mathbf{x}) = g(f(\mathbf{x})) \quad (2.28)$$

สำหรับปัญหาการลด ค่าของความเหมาะสมต่ำซึ่งสอดคล้องกับส่วนที่ดี ฟังก์ชันการหาความเหมาะสมร่วมกันคือการกำหนดสัดส่วนการหาความเหมาะสมเมื่อเทียบกับประชากรทั้งหมดเช่น

$$F(\mathbf{x}_i) = \frac{f(\mathbf{x}_i)}{\sum_{i=1}^{N_{ind}} f(\mathbf{x}_i)}; \quad \forall i = 1, 2, \dots, N_{ind} \quad (2.29)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในของมหาวิทยาลัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟังก์ชันเชิงเส้นยังสามารถใช้ในการกำหนดฟังก์ชันการหาค่าที่เหมาะสมดังต่อไปนี้

$$F(\mathbf{x}_i) = a f(\mathbf{x}_i) + b; \forall i = 1, 2, \dots, N_{ind} \quad (2.30)$$

ที่ a เป็นบวกสำหรับปัญหาค่าสูงสุดและเป็นลบถ้าเป็นปัญหาค่าต่ำที่สุด ปัจจัยที่ชัดเจนจาก b จะใช้ในการตรวจสอบให้แน่ใจว่าค่าที่เหมาะสมไม่เป็นค่าลบ

2.2.4 การสืบพันธุ์ / การคัดเลือก

หลังจากการคำนวณค่าที่เหมาะสม ขั้นตอนการสืบพันธุ์ที่ถูกนำไปใช้เป็นประชากรใหม่ด้วยจำนวนที่เท่ากันจากรุ่นก่อน ขั้นตอนการเลือกสุ่มจะขึ้นอยู่กับค่าที่เหมาะสมของแต่ละตัว เช่นการหาค่าที่มากที่สุดของ $f(x) = \sin(\pi x / 256)$ ในช่วง $0 \leq x \leq 255$ ที่ x ถูกจำกัดให้เป็นจำนวนเต็ม ในตัวอย่างนี้ถ้าโครโมโซมจะถูกแทนด้วยสตริงฐานสอง 8 บิต มาตรฐานในการเข้ารหัสประจำฐานสองจะให้ 00000000 ถึง 0 และ 11111111 ถึง 255 สมมติว่าแปดค่าของประชากรในวิธี GA หลังจากการเริ่มต้นประชากรและการคำนวณค่าที่เหมาะสมของประชากรและค่าที่สอดคล้องกันจะเป็นดังภาพที่แสดงในรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

No.	Individuals	x	$f(x)$	$F(x)$	Cumulative F
1	1 0 1 1 1 1 0 1	189	0.733	0.144	0.144
2	1 1 0 1 1 0 0 0	216	0.471	0.093	0.237
3	0 1 1 0 0 0 1 1	99	0.937	0.184	0.421
4	1 1 1 0 1 1 1 0	236	0.243	0.048	0.469
5	1 0 1 0 1 1 1 0	174	0.845	0.166	0.635
6	0 1 0 0 1 0 1 0	74	0.788	0.155	0.790
7	0 0 1 0 0 0 1 1	35	0.416	0.082	0.872
8	0 0 1 1 0 1 0 1	53	0.650	0.128	1.000
$\Sigma f(x)$			5.083		

รูปที่ 2.8 ประชากรเริ่มต้นและค่าที่สอดคล้อง

ค่าที่เหมาะสมปกติคำนวณโดยสมการ (2.29) ที่ใช้ในกระบวนการที่เรียกว่าการเลือก "ล้อรูเล็ต" ขนาดของล้อรูเล็ตเป็นส่วนกับค่าที่เหมาะสมสะท้อนให้เห็นถึงความน่าจะเป็นที่จะได้รับเลือก เพื่อสร้างตัวเลขแปดตัวใหม่ รูเล็ตจะปั่นแปดครั้งโดยการสร้างตัวเลขสุ่มแปดตัวที่แตกต่างกันใน (0,1) ตัวแรกที่ถูกเลือกถ้าจำนวนสุ่มอยู่ระหว่าง 0 และ 0.144 ในทำนองเดียวกันถ้าจำนวนสุ่มระหว่าง 0.144 และ 0.237, ตัวที่สองจะถูกเลือก

สมมติว่าสุ่มตัวเลขแปดตัว ได้ 0.256, 0.871, 0.160, 0.469, 0.661, 0.568, 0.371 และ 0.109 จากนั้นประชากรใหม่จะประกอบด้วยเลขเป็น 3, 8, 2, 5, 6, 5, 3 และ 1 จำนวนของเทคนิคที่สามารถนำมาใช้ในการทำซ้ำจะสรุปไว้ในส่วนที่ 2.2.5

2.2.5 การเลือกแบบสุ่ม

ในแต่ละตัวที่จะถูกสุ่มเลือกทั้งหมดจะไม่มีการประเมินค่าที่เหมาะสมก่อน ดังนั้นแต่ละตัวไม่ว่าจะดีหรือไม่ดีก็จะมีโอกาสเท่าเทียมกันที่จะถูกเลือก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.1 สัดส่วนการคัดเลือก

โอกาสเลือกเป็นสัดส่วนกับค่าที่เหมาะสมสัดส่วนการกระจายความน่าจะเป็นในค่าที่เหมาะสมจะมีแนวทางการเลือก

$$\Pr\{\bar{C}_i\} = \frac{F(\bar{C}_i)}{\sum_{j=1}^{Nind} F(\bar{C}_j)} \quad (2.31)$$

$\Pr\{\bar{C}_i\}$ หมายถึงความน่าจะเป็นในแต่ละตัวของ \bar{C}_i ที่จะถูกเลือก ความน่าจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าการประเมินค่าของแต่ละตัว อย่างไรก็ตามการเลือกวิธีนี้อาจก่อให้เกิดตัวพ่อแม่ที่ครอบครองการผลิตของลูกหลาน จึงจำกัดความหลากหลายในการผลิตประชากรใหม่ การจำกัดจำนวนของลูกหลานต่อตัวพ่อแม่ก็สามารถป้องกันการครอบครองการผลิตดังกล่าว

2.2.5.2 การคัดเลือกแบบแข่งขัน

ในการคัดเลือกแบบแข่งขัน กลุ่มบุคคลของ k ถูกเลือกแบบสุ่ม บุคคลเหล่านี้มีส่วนร่วมในการแข่งขันที่เป็นบุคคลที่เหมาะสมที่สุดจะถูกเลือก (กลุ่มที่ดีที่สุด) สำหรับการไขว้เปลี่ยนของสองการแข่งขันจะมีขึ้นหนึ่งสำหรับแต่ละพ่อแม่ พ่อแม่จึงอาจจะถูกเลือกในการผลิตมากกว่าหนึ่งครั้งและเป็นหนึ่งในบุคคลที่บางครั้งอาจจะใช้ร่วมกับตัวเอง ประโยชน์ของการเลือกแบบแข่งขันก็คือว่าบุคคลที่เลวร้ายจะไม่ได้รับเลือกและบุคคลที่ดีที่สุดไม่ได้มีอิทธิพลต่อคนรุ่นใหม่

2.2.5.3 การคัดเลือกแบบจัดอันดับ

การเลือกรูปแบบนี้จะใช้การจัดอันดับของค่าการที่เหมาะสมเพื่อตรวจสอบความน่าจะเป็นของการเลือก รูปแบบนี้จะไม่ได้ใช้ค่าที่เหมาะสมของตัวเอง การจัดอันดับที่มีความได้เปรียบที่เป็นบุคคลที่เหมาะสมสูงจะไม่ได้ครองในขั้นตอนการคัดเลือกด้วยฟังก์ชันของขนาดที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5.4 บุคคลที่ดีที่สุด

ชุดของบุคคลจากรุ่นปัจจุบันมีการเลือกเพื่อที่จะให้อยู่รอดในรุ่นต่อไป จำนวนของบุคคลที่อยู่รอดจะเรียกว่าช่องว่างระหว่างวัย ถ้าช่องว่างเป็นศูนย์ คนรุ่นใหม่ทั้งหมดประกอบด้วยของบุคคลใหม่ที่ยังมีชีวิตรอด k ที่ยังมีชีวิตรอดไปยังรุ่นต่อไปสามารถเป็นได้คือ

- k บุคคลที่ดีที่สุด (ค่าที่เหมาะสมสูงสุดถึงจนถึงการเก็บรักษาไว้)
- k หรือบุคคลที่เลือกใช้ได้ ใดๆ ของแผนการเลือกที่นำเสนอ

2.2.6 การดำเนินการทางพันธุกรรม

2.2.6.1 การไขว้เปลี่ยน

หลังจากกระบวนการทำซ้ำลูกที่เกิดขึ้นใหม่จะถูกผลิตโดยการดำเนินการทางพันธุกรรมกับบุคคลที่คัดเลือก อาจดำเนินการผ่านการกลายพันธุ์และการไขว้เปลี่ยน การไขว้เปลี่ยนเป็นกระบวนการของการแลกเปลี่ยนบางส่วนของสายในส่วนตัวของสองพ่อแม่ ความน่าจะเป็นโดยรวมจะกำหนดโดยผู้ใช้เพื่อแสดงให้เห็นความน่าจะเป็นสำหรับคู่ของพ่อแม่ที่เกิดไขว้เปลี่ยน ความน่าจะเป็นนี้บางครั้งเรียกว่าอัตราการไขว้เปลี่ยน ช่วงทั่วไปคือระหว่าง 0.65 และ 0.8 ในตัวอย่างนี้ค่าของ 0.75 มีการตั้งค่าสำหรับพ่อแม่แต่ละคู่ เป็นจำนวนสุ่มใน $(0,1)$ จะถูกสร้างขึ้น ไขว้เปลี่ยนของคู่นี้เกิดขึ้น ถ้าจำนวนสุ่มน้อยกว่าความน่าจะเป็นไขว้เปลี่ยน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Parents		Offspring	x	f(x)
1	2			
0 1 1 0	0 0 1 1	0 1 1 1 0 1 1 1	119	0.994
0 0 1 1	0 1 0 1	0 0 1 0 0 0 0 1	33	0.394
1	2			
1 1	0 1 1 0 0 0	1 0 1 0 1 0 0 0	168	0.882
1 0	1 0 1 1 1 0	1 1 0 1 1 1 1 0	222	0.405
2	1			
0 1 0	0 1 0 1 0	1 0 0 0 1 0 1 0	138	0.992
1 0 1	0 1 1 1 0	0 1 1 0 1 1 1 0	110	0.976
0 1 1 0 0 0 1 1		0 1 1 0 0 0 1 1	99	0.937
1 0 1 1 1 1 0 1		1 0 1 1 1 1 0 1	189	0.733
(a)	(b)	(c)	(d)	

รูปที่ 2.9 กระบวนการไขว้เปลี่ยน (a) ประชากรก่อนการไขว้เปลี่ยนรวมถึงจุดไขว้เปลี่ยน (b) ประชากรหลังจากการไขว้เปลี่ยน (c) ฟิตเนส (d) ค่าวัตถุประสงค์

2.2.6.2 การกลายพันธุ์

การกลายพันธุ์เป็นกระบวนการของการสุ่มเปลี่ยนค่าของยีนในโครโมโซม การกลายพันธุ์เป็นสิ่งที่ดีสำหรับแทรกสารพันธุกรรมใหม่ลงในวัสดุที่มีอยู่ เพื่อให้มีพื้นที่ใหม่ในพื้นที่ค้นหาในฐานสอง การกลายพันธุ์สามารถทำได้โดยการพลิกค่าบิตที่สุ่ม เช่นเดียวกับกับความน่าจะเป็นของการไขว้เปลี่ยน ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์สามารถเปลี่ยนแปลงได้ระหว่าง 0.001 และ 0.01 ซึ่งหมายความว่าบิตที่อยู่พื้นที่การคำนวณมีการพลิก มีเฉลี่ยระหว่าง 0.1-1 เปอร์เซ็นต์ของเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การหาตารางการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด

ในการคำนวณ Unit Commitment นั้นมีเงื่อนไขในการพิจารณามากมายโดยในเครื่องจักรชนิดต่างๆจะมีเงื่อนไขการเดิน-หยุดเครื่องแตกต่างกันทั้งจากตัวเครื่องและจากระบบนอกจากนี้ยังต้องมีการคิดในเรื่องการจ่ายโหลดอย่างระมัดระวัง (Economic Dispatch) รวมอยู่ด้วยเพื่อให้คำนวณการจ่ายโหลดให้ประหยัดที่สุด

จากการที่จะต้องตัดสินใจในการเปิดหรือปิดเครื่องจักรในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งนั้นในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนจะมีต้นทุนในส่วนของต้นทุนเชื้อเพลิง (Fuel Cost) และต้นทุนการเดินเครื่อง (Start up Cost) หากพิจารณาราคาต้นทุนทั้งหมดได้ดังสมการนี้

$$TC = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N (FC_i(t) + SC_i(t)) \quad (3.1)$$

เมื่อ	FC_i	คือ ค่าราคาเชื้อเพลิง (Fuel cost)
	SC_i	คือ ค่าราคาการเดินเครื่อง (Start up cost)
	T	คือ เวลา (ชั่วโมง)
	N	คือ จำนวนเครื่อง

โดยที่สมการราคาเชื้อเพลิงที่มีผลต่อราคาต้นทุนทั้งหมดนั้นจะเป็นไปตามเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นๆมีรายละเอียดตามสมการที่ (3.2)

$$FC_i(t) = a_i + b_i P_i(t) + c_i P_i^2(t) \quad (3.2)$$

เมื่อ	a_i, b_i, c_i	คือ ค่าคงตัวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ i
	P_i	คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับในส่วนของราคาการเริ่มเดินเครื่องจักรไฟฟ้านั้นจะเป็นไปตามเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นๆ ซึ่งมีรายละเอียดดังสมการ (3.3) และ (3.4)

$$SC_i(t) = \begin{cases} \text{hot start up cost}_i : T_i^{off} \leq X_i^{off}(t) \leq H_i^{off} \\ \text{cold start up cost}_i : X_i^{off}(t) > H_i^{off} \end{cases} \quad (3.3)$$

$$H_i^{off} = T_i^{off} + CS, hour_i$$

$$H_i^{off} = T_i^{off}(t) + CS - hour_i \quad (3.4)$$

เมื่อ	$hot\ start\ up\ cost_i$	คือ ราคาการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่กำลังร้อนที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า i
	$cold\ start\ up\ cost_i$	คือ ราคาการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเย็นตัวที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า i
	T_i^{off}	คือ เวลาที่ปิดเครื่องน้อยที่สุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า i
	$X_i^{off}(t)$	คือ เวลาที่หยุดการเดินเครื่องมาแล้วอย่างต่อเนื่องที่เครื่อง i ที่เวลา t
	$CS, hour_i$	คือ ค่าคงที่เวลาในการเกิด Cold Start ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ i
	H_i^{off}	คือ เวลาที่มากที่สุดในการเกิด Hot Start ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ i

จากที่กล่าวมานั้นยังมีปัญหาข้อจำกัดบางอย่างที่ต้องพิจารณาเพิ่มมีจำนวนมากซึ่งสรุปได้

ดังต่อไปนี้

3.1 เงื่อนไขของระบบ

3.1.1 ความสมดุลกำลังไฟฟ้า (System Power balance)

ความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบในแต่ละชั่วโมงจะต้องสัมพันธ์กับผลรวมกำลังที่ผลิตได้ในแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อให้ใช้ไฟฟ้าได้เพียงพอสามารถแสดงได้ดังสมการ (3.5)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$D(t) = \sum_{i=1}^N P_i(t) \quad (3.5)$$

เมื่อ $D(t)$ คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เวลา t
 P_i คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

3.1.2 กำลังผลิตไฟฟ้าสำรอง (Spinning Reserve)

กำลังผลิตสำรองเป็นการอธิบายถึง ค่ากำลังสำรองของโรงจักรที่พร้อมจ่ายเพิ่มทันทีจากการเดินเครื่องในภาวะปกติ โดยปกติการผลิตกำลังสำรองนั้นจะคำนวณตามเปอร์เซ็นต์ของความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดในเวลานั้น เช่นถ้าความต้องการไฟฟ้าเป็น 1000 MW ต้องการกำลังผลิตสำรอง 10 เปอร์เซ็นต์ดังนั้นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบต้องจ่ายกำลังไฟฟ้ามา 1100 MW ทั้งนี้เพื่อว่าในกรณีที่โรงจักรดังกล่าวหยุดทำงานกะทันหันระบบการผลิตไฟฟ้าก็ไม่ต้องหยุดตามไปด้วยเงื่อนไขการผลิตไฟฟ้าสำรองเป็นไปตามสมการที่ (3.6)

$$\sum_{i=1}^N u_i(t) \cdot P_{i,\max}(t) \geq D(t) + R(t) \quad (3.6)$$

เมื่อ $u_i(t)$ คือ สถานะการเปิด - ปิดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i ที่เวลา t
 $R(t)$ คือ กำลังไฟฟ้าสำรองที่ระบบต้องการที่เวลา t

3.2 เงื่อนไขของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

3.2.3 ขีดจำกัดกำลังการผลิต

เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีกำลังการผลิตไม่เท่ากันและผลิตได้อย่างจำกัด เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจึงมีปัญหาในเรื่องขีดจำกัดกำลังการผลิตเพิ่มขึ้นมาดังสมการที่ (3.7)

$$P_{i,\min}(t) \leq P_i(t) \leq P_{i,\max}(t) \quad (3.7)$$

เมื่อ $P_i(t)$ คือ กำลังการผลิตเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i ที่เวลา t

$P_{i,\min}(t)$ และ $P_{i,\max}(t)$ คือ กำลังไฟฟ้าต่ำสุดและสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i ที่เวลา t ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานานาชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 เวลาที่น้อยที่สุดสำหรับการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและหยุดเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Minimum up and down Time)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีระยะเวลาอย่างน้อยที่สุดที่จะเดินเครื่องแตกต่างกันออกไปกล่าวคือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนจะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงจากสถานะการเดินเครื่อง เช่น จากเปิดเป็นปิดได้ อย่างทันทีทันใดได้ต้องอาศัยระยะเวลาหนึ่งก่อนจะเดินเครื่องได้เรียกว่า Minimum up Time ในทำนองเดียวกัน เวลาน้อยที่สุดก่อนจะหยุดการเดินเครื่องได้เรียกว่า Minimum down Time

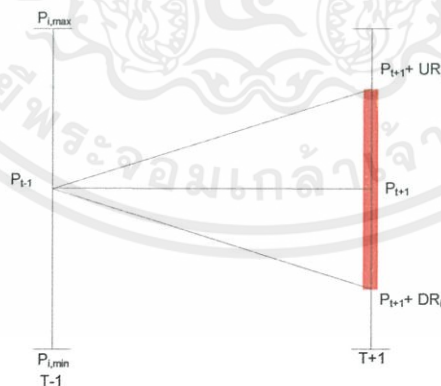
3.2.5 ขีดจำกัดการเปลี่ยนแปลงกำลังผลิต (Ramp – rate limit)

ในขณะที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเดินเครื่อง และจ่ายกำลังไฟฟ้าออกไปค่าหนึ่ง และถ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องมีการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิต โดยปกติแล้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนอาจต้องมีการพิจารณาเงื่อนไขด้วย เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนไม่สามารถเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตได้อย่างทันทีทันใด ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตต้องเป็นไปตามสมการที่ (3.8) และ (3.9)

$$P_i(t) - P_i(t-1) \leq UR_i \quad (3.8)$$

$$P_i(t-1) - P_i(t) \leq DR_i \quad (3.9)$$

เมื่อ UR_i คือ ขีดจำกัดการเปลี่ยนแปลงกำลังผลิตเมื่อมีการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น
 DR_i คือ ขีดจำกัดการเปลี่ยนแปลงกำลังผลิตเมื่อมีการผลิตกำลังไฟฟ้าต่ำลง



รูปที่ 3.1 เงื่อนไขขีดจำกัดการเปลี่ยนแปลงกำลังผลิต (Ramp – rate limit)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณา Up ramp จะได้ว่ากำลังการผลิตสูงสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า i สามารถจ่ายได้ที่เวลา t คือ

$$P_{i,\max}(t+1) = \min \{P_{i,\max}, P_i(t) + UR_i\} \quad (3.10)$$

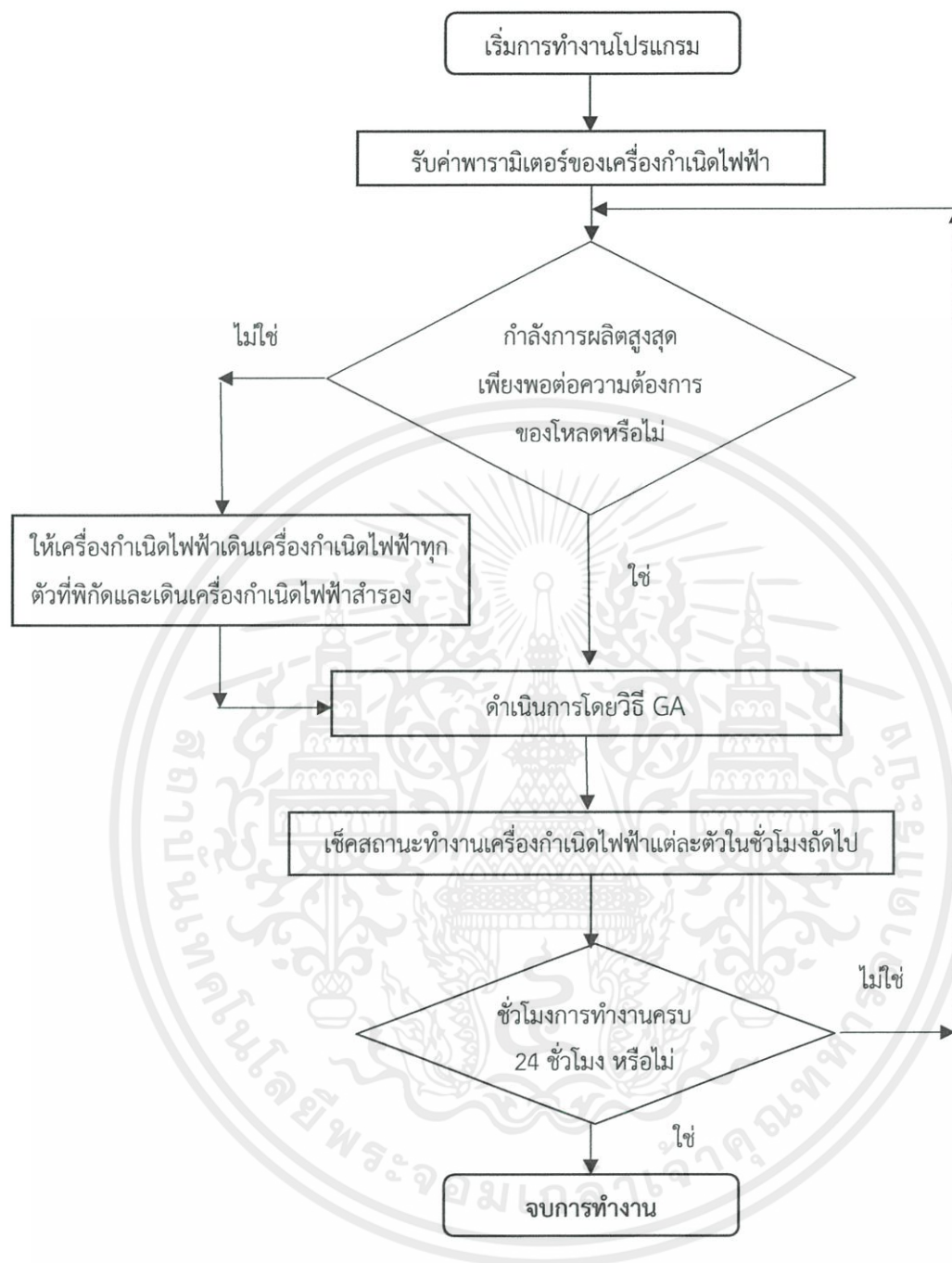
$$P_{i,\min}(t+1) = \max \{P_{i,\min}, P_i(t) - DR_i\} \quad (3.11)$$

3.3 วิธีการคำนวณยูนิตคอมมิตเมนต์

ในปัญหายูนิตคอมมิตเมนต์ ตัวแปรควบคุม (Control Variable) ที่ต้องการทราบค่า ประกอบด้วยตัวแปรสถานะและกำลังการผลิตไฟฟ้าจากทุกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในทุกชั่วโมงการผลิต $[U_i(t), P_i(t)]$ $i=1,\dots,N$ $t=1,\dots,T$ จะได้ตัวแปรควบคุมที่ไม่ทราบค่า $[U_1(1),\dots,U_1(T), U_2(1),\dots,U_2(T), U_N(1),\dots,U_N(T), P_1(1),\dots,P_1(T), P_2(1),\dots,P_2(T), P_N(1),\dots,P_N(T)]$ ดังนั้นจำนวนตัวแปรควบคุม = $2*N*T$

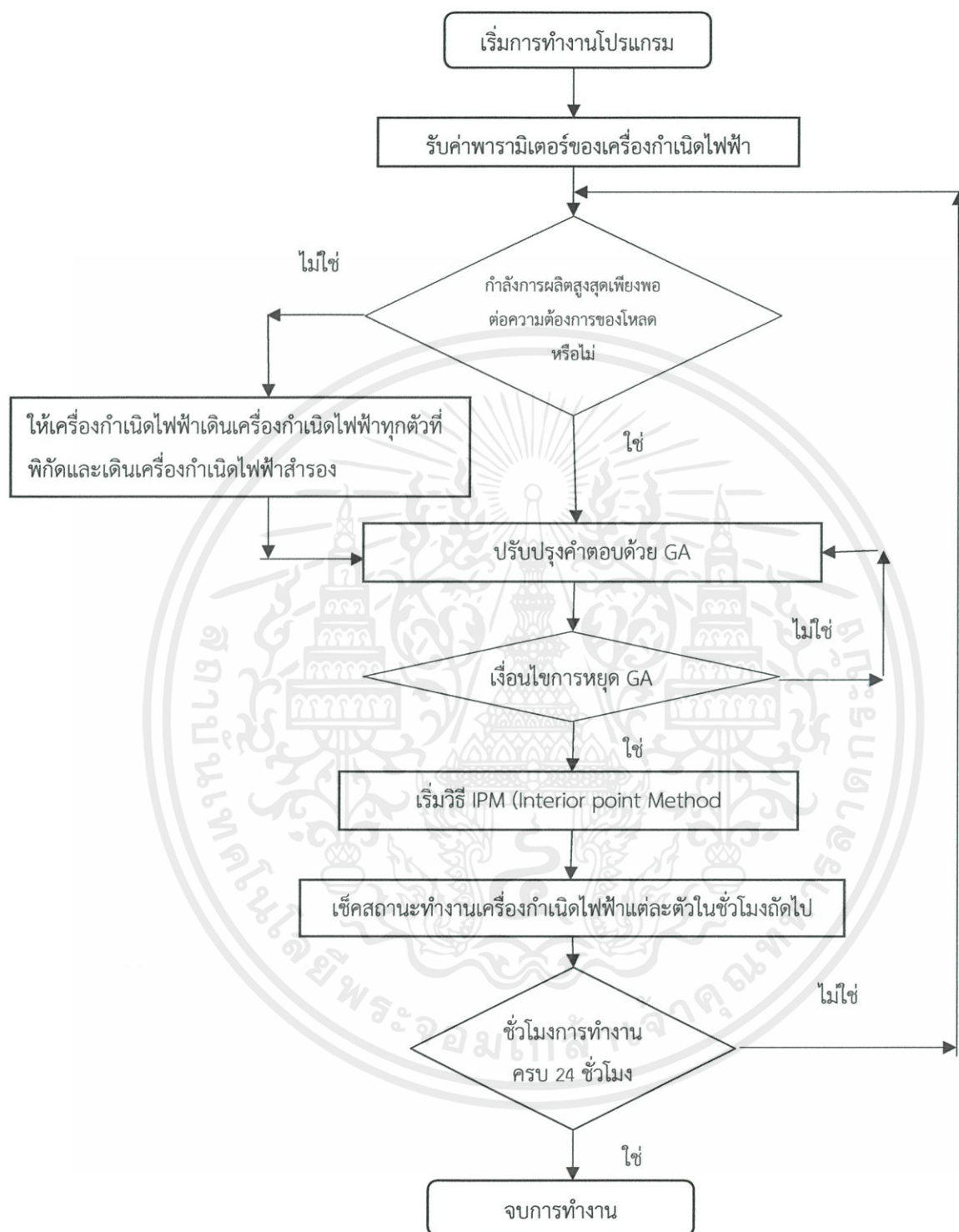
โดยเป็นการหาค่าดำเนินการงานต่ำสุดในการจ่ายโหลด โดยมีขอบเขตคือมี Generator 10 30 60 และ 100 หน่วยในระบบจ่ายโหลดเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจะทำการแยกปัญหาออกเป็น 2 ปัญหาย่อยคือ ตัวแปร $u_i(t)$ แก้ปัญหาโดยวิธี GA และตัวแปร $P_i(t)$ แก้ปัญหาโดยวิธีหาค่าต่ำสุด จากนั้นจึงทำการพิจารณาเงื่อนไขในการจ่ายโหลดซึ่งในที่นี้คือการจ่ายโหลดได้ตามความต้องการของผู้ใช้ จากรูปที่ 3.2 และ รูปที่ 3.3 เมื่อเริ่มทำงาน จะมีการรับค่าตัวแปรต่างๆของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากนั้นจะเป็นการตรวจสอบสถานะในการทำงานเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และมีการเก็บค่ากำลังการผลิตสูงสุดไว้ จากนั้นจะเป็นการพิจารณาว่ากำลังการผลิตที่สามารถผลิตได้ในชั่วโมงนั้นมีความเพียงพอต่อโหลดหรือไม่ หากกำลังการผลิตมีมากกว่าความต้องการโหลดจะมีการหาตารางเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยวิธีทางพันธุกรรม ในทางกลับกัน หากกำลังการผลิตมีน้อยกว่าความต้องการโหลด จะมีการหาตารางเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกตัวที่พิกัด และเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เป็นหน่วยสำรองจนได้ตามความต้องการ และมีการเก็บค่าสถานะการทำงาน ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผลิต และมีการตรวจสอบสถานะการทำงานในชั่วโมงต่อไป และเริ่มต้นทำงานในชั่วโมงถัดไปจนครบช่วงเวลาที่จะพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานของโปรแกรม GA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 แผนผังการทำงานของโปรแกรม GA ร่วมกับวิธีจุดภายใน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการศึกษา

ในบทนี้จะแสดงถึงตัวอย่างการคำนวณยูนิตคอมมิทเมนต์ คำนวณโดยคำนึงถึงข้อจำกัดความสมดุลกำลังไฟฟ้า เงื่อนไขกำลังการผลิตสำรอง เงื่อนไขขีดจำกัดกำลังการผลิต เงื่อนไขเวลาอย่างน้อยที่สุดในการหยุดหรือเดินเครื่องและเงื่อนไขขีดจำกัดกำลังการผลิตไฟฟ้าในช่วงที่ดำเนินงาน แบ่งกรณีพิจารณาออกเป็นสองกรณีคือกรณีที่ 1 ใช้วิธีการวิธีเชิงพันธุกรรม (GA) กรณีที่ 2 วิธีการที่นำเสนอ ใช้วิธีการ GA ร่วมกับวิธียุภายใน (GA+fmincon) มีจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10, 30, 60 และ 100 เครื่องในการพิจารณา คำนวณอิสระต่อกันหาค่าสถิติโดยแสดงค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ใช้คอมพิวเตอร์ CPU Core I7-3573U 2.0GHz RAM 4.00 GB โปรแกรมที่ใช้เขียน คือ MATLAB versions R2011b[8]

4.1 ผลการคำนวณ

4.1.1 การคำนวณโดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรม (GA) โดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 เครื่อง

จากการคำนวณการจ่ายโหลดโดยกำหนดค่าการจำลองคือ Generation $10 \times 50 = 500$, Population = double vector, Population size = 20, Cross over = 0.8, Tolcon = $1e^{-2}$, stallgenlimit = 5,000, Mutation = unifrom ในแต่ละครั้งจะได้ต้นทุนการผลิตในการเดินเครื่องแสดงดังตารางที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 ต้นทุนการผลิตทั้งหมดในแต่ละรอบการคำนวณโดยใช้วิธี GA

รอบที่	ต้นทุนการผลิต(ดอลลาร์)	เวลา(วินาที)	รอบที่	ต้นทุนการผลิต(ดอลลาร์)	เวลา(วินาที)
1	587,316.61	583.7327	11	584,065.85	537.293
2	580,983.60	524.7667	12	584,053.66	514.7902
3	584,065.85	554.6666	13	593,036.94	494.7799
4	584,053.66	549.5562	14	571,518.03	461.2432
5	593,036.94	651.0686	15	586,239.38	508.0619
6	585,296.86	562.6431	16	587,384.92	517.8053
7	586,239.38	603.5725	17	578,656.24	549.4387
8	587,316.61	590.3504	18	578,690.92	532.9711
9	587,316.61	548.2643	19	580,497.93	523.8793
10	580,983.60	598.464	20	587,316.61	458.9629
ต้นทุนการผลิตโดยเฉลี่ย 584,403.51 ดอลลาร์			เวลาโดยเฉลี่ย = 543.31 วินาที		
SD ต้นทุนการผลิต = 4,975.01 ดอลลาร์			SD เวลา = 47.30 วินาที		

จากการคำนวณพบว่าต้นทุนการผลิตโดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 584,403.51 ดอลลาร์ เวลาคำนวณโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 543.31 วินาที SD ต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 4,975.01 ดอลลาร์ SD เวลาอยู่ที่ 47.30 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 สถานะการเปิด-ปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใช้วิธี GA โดย 0 คือปิด 1 คือเปิด

ชั่วโมงที่	unit 1	unit 2	unit 3	unit 4	unit 5	unit 6	unit 7	unit 8	unit 9	unit 10
1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
2	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
4	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
5	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
6	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
7	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
8	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
9	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
11	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
12	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
13	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
14	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
15	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0
16	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0
17	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0
18	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
19	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
20	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
21	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
22	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0
23	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
24	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การคำนวณโดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีจุดภายใน (GA+fmincon) โดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 เครื่อง

จากการคำนวณการจ่ายโหลดโดยกำหนดค่าการจำลองคือ Generation100, Population = double vector, Population size = 20, Cross over = 0.8, Tolcon = $1e^{-2}$, stallgenlimit = 5,000, Mutation = unifrom ในแต่ละครั้งจะได้ต้นทุนการผลิตในการเดินเครื่องแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ต้นทุนการผลิตทั้งหมดในแต่ละรอบการคำนวณโดยใช้วิธี GA

ชั่วโมงที่	ต้นทุนการผลิต(ดอลลาร์)	เวลา(วินาที)	รอบที่	ต้นทุนการผลิต(ดอลลาร์)	เวลา(วินาที)
1	574,919.20	81.91	11	572,367.47	95.57
2	573,301.70	96.83	12	577,239.97	91.49
3	583,875.87	88.57	13	571,052.02	96.63
4	585,385.02	87.81	14	572,835.77	90.69
5	571,022.05	88.53	15	576,502.11	89.28
6	577,023.78	90.04	16	570,261.87	92.05
7	575,105.71	86.73	17	579,901.44	81.71
8	570,779.22	94.41	18	586,616.07	85.75
9	587,215.23	80.67	19	570,010.59	93.34
10	573,990.68	97.44	20	577,966.63	86.52
ต้นทุนการผลิตโดยเฉลี่ย 576,368.62 ดอลลาร์			เวลาโดยเฉลี่ย = 89.79 วินาที		
SD ต้นทุนการผลิต = 5,570.65 ดอลลาร์			SD เวลา = 5.05 วินาที		

จากการคำนวณพบว่าต้นทุนการผลิตโดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 576,368.62 ดอลลาร์ เวลาคำนวณโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 89.79 วินาที SD ต้นทุนการผลิตอยู่ที่ 5570.65 ดอลลาร์ SD เวลาอยู่ที่ 5.05 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 สถานะการเปิด-ปิดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใช้วิธี GA+fmincon 0 คือปิด 1 คือเปิด

รอบที่	unit1	unit2	unit3	unit4	unit5	unit6	unit7	unit8	unit9	unit10
1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
2	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
4	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
5	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
6	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
7	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
8	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
9	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
11	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
14	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
15	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0
16	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
17	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
18	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0
19	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0
20	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0
22	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0
23	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
24	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การคำนวณโดยใช้วิธี GA และวิธี GA ร่วมกับวิธีจุดภายใน (GA+fmincon) โดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากกว่า 10 เครื่อง

ระบบการทดสอบนี้พิจารณาที่ระบบขนาดใหญ่ โดยทำการเพิ่มจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและความต้องการไฟฟ้าเพิ่มแบบเชิงเส้นใช้ข้อมูลจาก ตารางก1 และ ตารางก2 และกำหนดค่าการจำลองคือ Generation ของวิธี GA $30*50 = 1500$ ใน 30 เครื่อง, $60*50 = 3000$ ใน 60 เครื่อง, $100*50 = 5000$ ใน 100 Generation ของวิธีที่นำเสนอ = 300 ใน 30 เครื่อง, 600 ใน 60 เครื่อง, 1000 ใน 100 เครื่อง, Population = double vector, Population size = 20, Cross over = 0.8, Tolcon = $1e^{-2}$, stallgenlimit = 5,000, Mutation = unifrom

ตารางที่ 4.5 ราคาต้นทุนและเวลาโดยใช้วิธี GA และ ใช้วิธี GA + fmincon โดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 30 เครื่อง

	ราคาใช้วิธี GA (ดอลลาร์)	เวลาใช้วิธี GA (วินาที)	ราคาใช้วิธี GA+fmincon (ดอลลาร์)	เวลาใช้วิธี GA+fmincon (วินาที)
รอบที่ 1	1,751,794.89	1,872.36	1,731,085.65	473.5273
รอบที่ 2	1,693,461.99	1,810.57	1,719,342.60	489.928
รอบที่ 3	1,740,390.36	1,983.86	1,735,977.29	442.5399
รอบที่ 4	1,750,154.32	2,130.30	1,726,784.32	376.1042
รอบที่ 5	1,756,812.31	2,225.33	1,730,099.20	362.1248
ค่าเฉลี่ย	1,738,522.78	2,004.48	1,728,657.81	428.84
SD	25,883.93	173.26	6,160.97	57.33

จากการคำนวณในระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 30 เครื่อง พบว่าต้นทุนการผลิตโดยเฉลี่ยของ GA จะอยู่ที่ 1,738,522.78 ดอลลาร์ เวลาคำนวณโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 2,004.48 วินาที SD ราคาอยู่ที่ 25,883.93 ดอลลาร์ SD เวลาอยู่ที่ 173.26 วินาที ส่วนการคำนวณโดยใช้วิธีที่เสนอ พบว่าต้นทุนการผลิตโดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 1,728,657.81 ดอลลาร์ เวลาคำนวณโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 428.84 วินาที SD ราคาอยู่ที่ 6,160.97 ดอลลาร์ SD เวลาอยู่ที่ 57.33 วินาที จะพบว่าการคำนวณโดยใช้วิธีการที่นำเสนอจะได้ผลของราคาโดยเฉลี่ยถูกกว่าและเวลาในการคำนวณรวดเร็วกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ราคาต้นทุนและเวลาโดยใช้วิธี GA และ ใช้วิธี GA + fmincon โดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 60 เครื่อง

	ราคาใช้วิธี GA (ดอลลาร์)	เวลาใช้วิธี GA (วินาที)	ราคาใช้วิธี GA+fmincon (ดอลลาร์)	เวลาใช้วิธี GA+fmincon (วินาที)
รอบที่ 1	3,485,478.08	4,915.87	3,437,785.22	843.91
รอบที่ 2	3,521,452.31	4,177.75	3,464,739.34	810.42
รอบที่ 3	3,512,924.44	3,159.95	3,424,940.70	1,008.73
รอบที่ 4	3,507,789.05	3,207.21	3,443,364.39	940.95
รอบที่ 5	3,513,810.93	3,539.70	3,452,488.75	928.05
ค่าเฉลี่ย	3,508,290.96	3,800.10	3,444,663.68	906.41
SD	13,655.03	744.43	15,018.83	79.45

จากการคำนวณในระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 60 เครื่อง พบว่าต้นทุนการผลิตโดยเฉลี่ยของ GA จะอยู่ที่ 3,508,290.96 ดอลลาร์ เวลาคำนวณโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 3,800.10 วินาที SD ราคาอยู่ที่ 13,655.03 ดอลลาร์ SD เวลาอยู่ที่ 744.43 วินาที ส่วนการคำนวณโดยใช้วิธีที่เสนอ พบว่าต้นทุนการผลิตโดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 3,444,663.68 ดอลลาร์ เวลาคำนวณโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 906.41 วินาที SD ราคาอยู่ที่ 15,018.83 ดอลลาร์ SD เวลาอยู่ที่ 79.45 วินาที จะพบว่าการคำนวณโดยใช้วิธีการที่นำเสนอจะได้ผลของราคาโดยเฉลี่ยถูกกว่าและเวลาในการคำนวณรวดเร็วกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ราคาต้นทุนและเวลาโดยใช้วิธี GA และ ใช้วิธี GA + fmincon โดยมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 100 เครื่อง

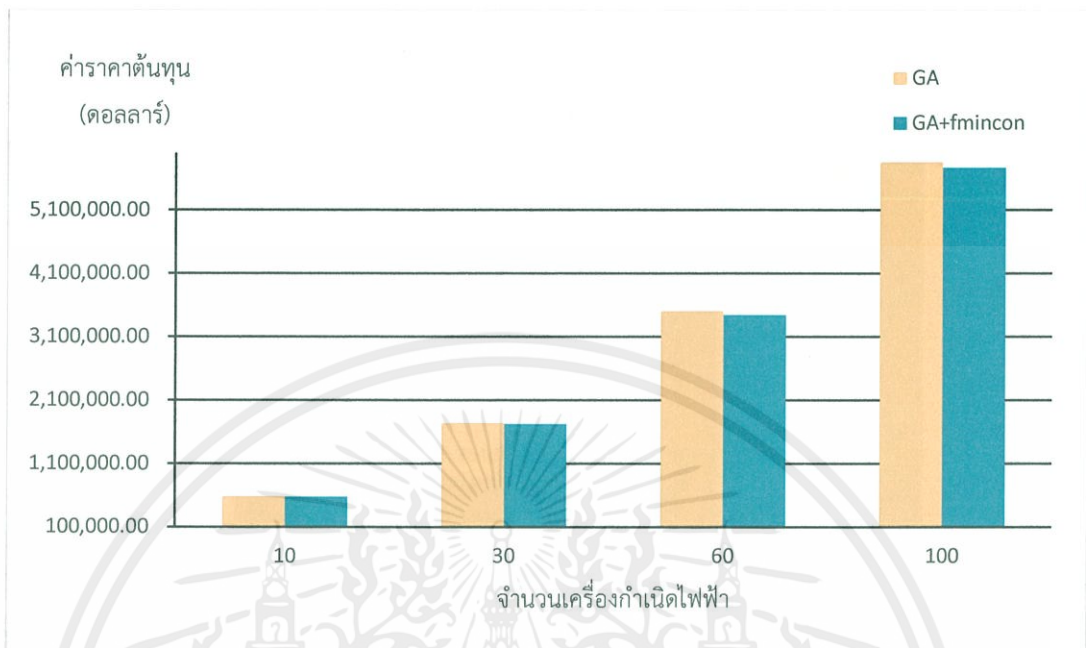
	ราคาใช้วิธี GA (ดอลลาร์)	เวลาใช้วิธี GA (วินาที)	ราคาใช้วิธี GA+fmincon (ดอลลาร์)	เวลาใช้วิธี GA+fmincon (วินาที)
รอบที่ 1	5,873,116.14	7,109.888	5,679,260.44	1,851.21
รอบที่ 2	5,828,927.48	7,964.325	5,774,731.61	1,834.36
รอบที่ 3	5,876,835.64	7,216.223	5,795,725.20	1,909.00
รอบที่ 4	5,829,821.32	9,831.740	5,793,954.83	1,793.42
รอบที่ 5	5,876,835.64	8,355.500	5,811,900.37	1,767.00
ค่าเฉลี่ย	5,857,107.24	8,095.54	5,771,114.49	1,831.00
SD	25,363.97	1,100.44	53,012.04	54.80

จากการคำนวณในระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 100 เครื่อง พบว่าต้นทุนการผลิตโดยเฉลี่ยของ GA จะอยู่ที่ 5,857,107.24 ดอลลาร์ เวลาคำนวณโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 8,095.54 วินาที SD ราคาอยู่ที่ 25,363.97 ดอลลาร์ SD เวลาอยู่ที่ 1,100.44 วินาที ส่วนการคำนวณโดยใช้วิธีที่เสนอ พบว่าต้นทุนการผลิตโดยเฉลี่ยจะอยู่ที่ 5,771,114.49 ดอลลาร์ เวลาคำนวณโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 1,831.00 วินาที SD ราคาอยู่ที่ 53,012.04 ดอลลาร์ SD เวลาอยู่ที่ 54.80 วินาที จะพบว่าการคำนวณโดยใช้วิธีการที่นำเสนอจะได้ผลของราคาโดยเฉลี่ยถูกกว่าและเวลาในการคำนวณรวดเร็วกว่า

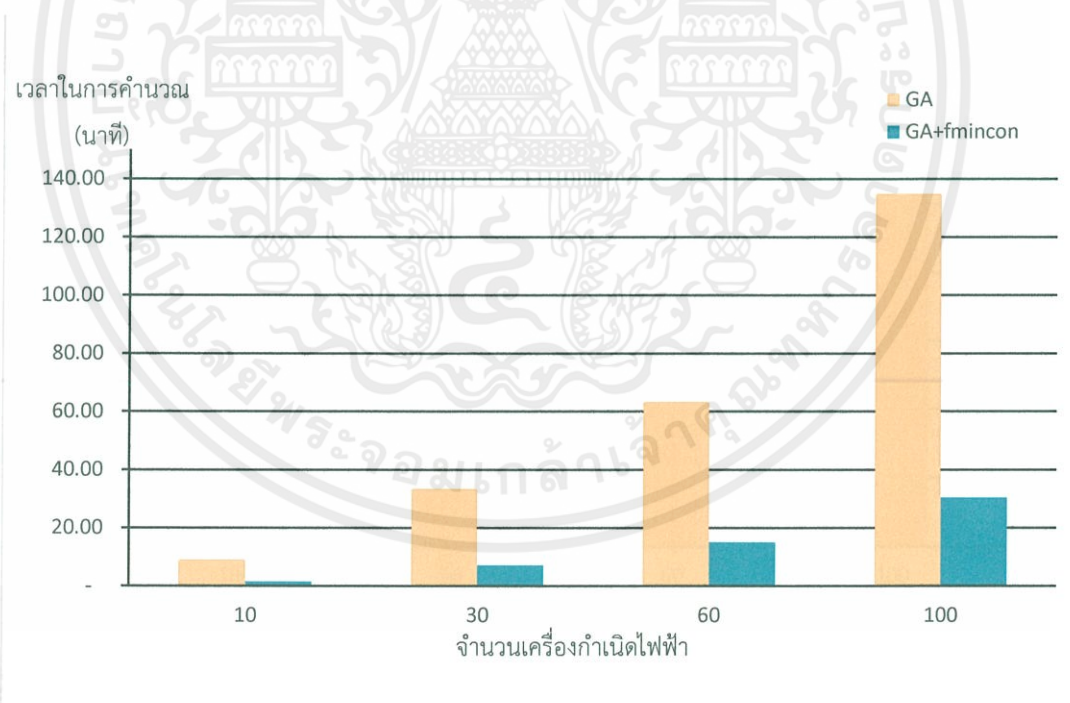
4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากการจำลองระบบ 10 เครื่องพบว่า ราคาเฉลี่ยของวิธี GA นั้นมีราคาสูงกว่าวิธีที่นำเสนอ และ เวลาที่ใช้โดยวิธี GA นั้นใช้เวลานานกว่าวิธีที่นำเสนอ หากได้มีการขยายระบบเป็น 30 60 และ 100 เครื่องพบว่า วิธีที่นำเสนอนั้นราคาการผลิตกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในจำลองระบบนั้นยังดีกว่าวิธี GA ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1, 4.2 และรูปที่ 4.3, 4.4 แสดงความแตกต่างของราคาและเวลาในการคำนวณระหว่างการใช่วิธี GA และวิธีที่นำเสนอ มีค่าเป็นบวกทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าค่าของวิธีที่นำเสนอมีค่าที่ดีกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

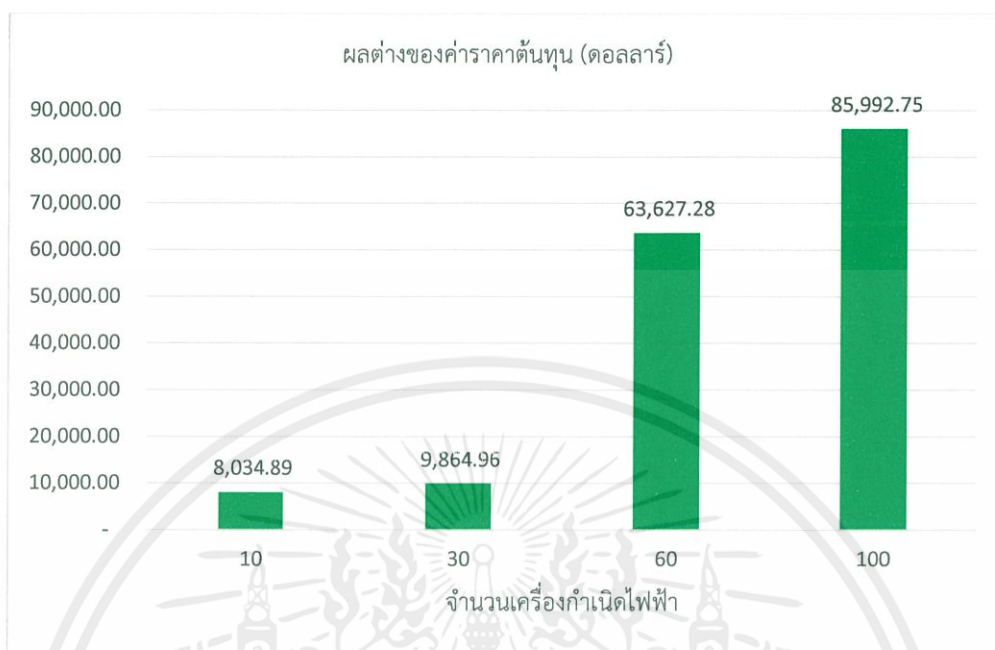


รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบราคาต้นทุนระหว่างวิธี GA กับ วิธี GA+fmincon

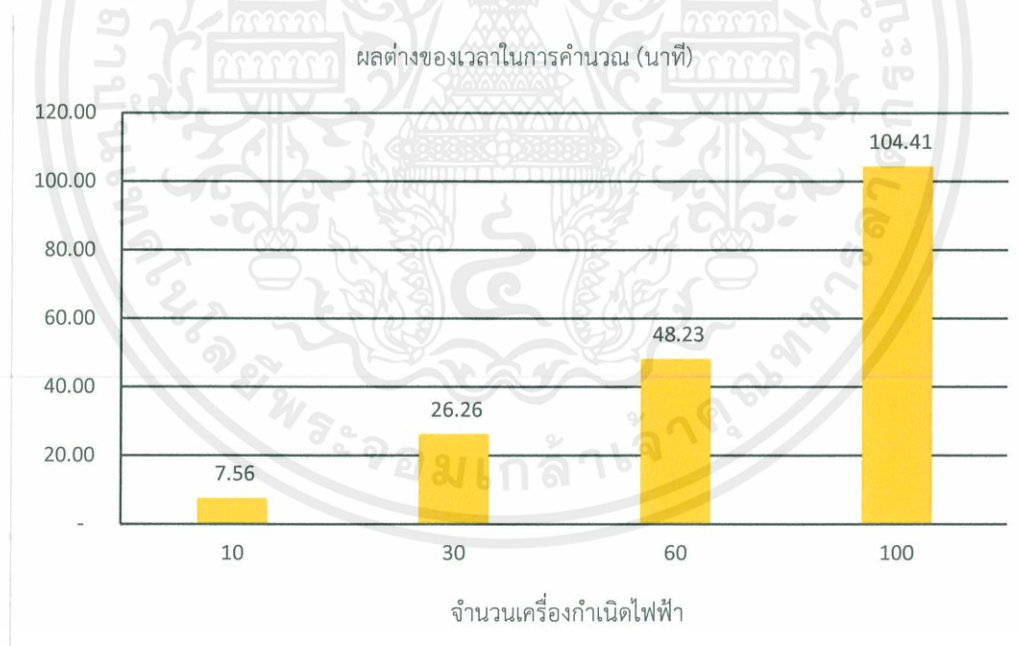


รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบเวลาในการคำนวณระหว่างวิธี GA กับ วิธี GA+fmincon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 กราฟความแตกต่างราคาต้นทุนระหว่างวิธี GA กับ วิธี GA+fmincon



รูปที่ 4.4 กราฟความแตกต่างเวลาในการคำนวณระหว่างวิธี GA กับ วิธี GA+fmincon

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

โครงการนี้เป็นการศึกษาถึงวิธีการแก้ปัญหายูนิทคอมมิทเมนต์ (Unit Commitment: UC) โดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (GA) และวิธีการที่นำเสนอโดยใช้วิธีการ GA ร่วมกับวิธีจุดภายใน (GA+fmincon) ในการแก้ปัญหาโดยแยกพิจารณาปัญหาเป็นสองวิธีเปรียบเทียบกับกันโดยแบ่งกรณีการพิจารณาเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10, 30, 60 และ 100 เครื่อง โดยผลทดสอบและศึกษาสามารถสรุปได้ว่า GA ร่วมกับวิธีจุดภายในสามารถแก้ปัญหายูนิทคอมมิทเมนต์ในเงื่อนไขต่างๆได้ดีกว่าเนื่องจาก GA เป็นวิธีการแบบสุ่มและวิธีจุดภายในเป็นวิธีทางคณิตศาสตร์ซึ่งหาค่าโดยวิธีแคลคูลัส ทำให้การดูเข้าของฟังก์ชันที่เป็นการสุ่มจะช้ากว่าวิธีทางคณิตศาสตร์ การใช้วิธีเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีจุดภายในจึงรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการศึกษานี้สามารถจำแนกได้เป็นข้อๆได้ดังนี้

1. วิธีการเชิงพันธุกรรมที่ใช้นั้นเป็นวิธีการแบบสุ่ม (Random Search) ผลการจำลองที่ได้ อาจจะมีหลายคำตอบดังนั้นจึงควรจำลองหลายรอบและทำการหาค่าเฉลี่ย
2. จากการศึกษานี้เป็นการคำนวณการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อหาราคาต่ำสุดในการผลิตในแต่ละวัน ในทางปฏิบัติจริงๆต้องคำนวณเป็นรายวันรายสัปดาห์หรือรายเดือนซึ่งความเป็นจริงนั้นต้องคำนวณถึงปัจจัยอื่นด้วยเช่น การบำรุงรักษาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
3. ในระบบไฟฟ้ากำความถี่ไฟฟ้าเป็นสิ่งที่สำคัญมากเมื่อความถี่ไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงจะมีผลต่อเสถียรภาพของระบบ เราจึงต้องคำนึงถึงความถี่ไฟฟ้าและคำนึงในเรื่องของราคาควบคู่กันไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Allen J. Wood and Bruce F. Wollenberg., **Power Generation Operation and Control**, 2nd Ed., New York, John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- [2] A.M.S. Zalzal and P.J.Fleming, **Genetic algorithm in engineering system**, London, The institution of Electrical Engineers, 1997.
- [3] D. E. Goldberg, “**Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning**,” Reading, M.A., Addison Wiley
- [4] Prof.Dr.-ng.IErlich, “**Genetic Algorithm lecture**”, University of Duisburg-Essen Germany.
- [5] R. L. Haupt and S. E. Haupt, “**Practical Genetic Algorithms**,” Second Ed., Wiley
- [6] Tomonobu Senjyu, Hirohito Yamashiro, Katsumi Uezato, and Toshihisa Funabashi, **A Unit Commitment Problem by using Genetic Algorithm Based on Unit Characteristic Classification**, IEEE, Power Engineering Society Winter Meeting, vol.1, 2002, pp. 58 – 63.
- [7] T. Weise, M. Zapf, R. Chiong and A. J. Nebro, “**Why is optimization difficult**,” In Nature-Inspired Algorithms for Optimisation, R. Chiong (Ed.), Springer, Heidelberg 2009
- [8] The MathWorks, Inc., “**optimset**”, 1984-2011 The MathWorks, Inc.
- [9] กมล พงศ์ธาดาทพร, “**การทำยูนิตคอมมิตเมนต์ในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่**”วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543
- [10] พลพิพัฒน์ อมรธนาอนุบาล และ คณะ, “**การวางแผนการผลิตพลังงานไฟฟ้าระยะสั้นโดยข้อกำหนดของยูนิตคอมมิตเมนต์**”, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.
- [11] ธนชาติ นุ่มนนท์, “**การแก้ปัญหาการตัดสินใจจ่ายกระแสไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่โดยวิธีเจนนีติก**” รายงานการวิจัย, ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมง

ตารางก.1 ข้อมูลความต้องการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมง

ชั่วโมง	โหลด (MW)	ชั่วโมง	โหลด (MW)
1	700	13	1400
2	750	14	1300
3	850	15	1200
4	950	16	1050
5	1000	17	1000
6	1100	18	1100
7	1150	19	1200
8	1200	20	1400
9	1300	21	1300
10	1400	22	1100
11	1450	23	900
12	1500	24	800

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลจำเพาะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละเครื่อง

ตารางก.2 ข้อมูลจำเพาะของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละเครื่องในกรณี 10 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า

	P_i^{\max}	P_i^{\min}	a_i	b_i	c_i	T_i^{on}	T_i^{off}	$h - \cos t_i$	$c - \cos t_i$	$c-s-hour$	int state
Unit 1	455	150	1000	16.19	0.00048	8	8	4500	9000	5	8
Unit 2	455	150	980	17.26	0.00031	8	8	5000	10000	5	8
Unit 3	130	20	700	16.6	0.002	5	5	550	1100	4	-5
Unit 4	130	20	680	16.5	0.00211	5	5	560	1120	4	-5
Unit 5	162	25	450	19.7	0.00398	6	6	900	1800	4	-6
Unit 6	80	20	370	22.26	0.00712	3	3	170	340	2	-3
Unit 7	85	25	480	27.74	0.00079	3	3	260	520	2	-3
Unit 8	55	10	660	25.92	0.00413	1	1	30	60	0	-1
Unit 9	55	10	665	27.27	0.00222	1	1	30	60	0	-1
Unit 10	55	10	670	27.79	0.00173	1	1	30	60	0	-1

เมื่อ	P_i^{\max}	คือ	พลังงานที่ผลิตได้สูงสุด
	P_i^{\min}	คือ	พลังงานที่ผลิตได้ต่ำสุด
	a_i, b_i, c_i	คือ	ค่าคงตัวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ i
	T_i^{on}	คือ	เวลาที่เปิดเครื่องน้อยที่สุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า i
	T_i^{off}	คือ	เวลาที่ปิดเครื่องน้อยที่สุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า i
	$h - \cos t_i$	คือ	ราคาการเปิดเครื่องแบบ Hot start
	$c - \cos t_i$	คือ	ราคาการเปิดเครื่องแบบ Cold start
	$c - s - hour_i$	คือ	จำนวนเวลา Cold Start ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ i
	int state	คือ	เวลาเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางก.3 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 เครื่องโดยวิธี GA ในเวลา 24 ชั่วโมง

ชั่วโมง	unit 1	unit 2	unit 3	unit 4	unit 5	unit 6	unit 7	unit 8	unit 9	unit 10	ราคาต้นทุน
1	444.4113	255.5787	0	0	0	0	0	0	0	0	699.99
2	345.0505	351.3032	53.63632	0	0	0	0	0	0	0	749.99
3	311.6632	362.7299	103.5198	72.07757	0	0	0	0	0	0	849.9905
4	361.6533	447.2479	75.92371	65.16504	0	0	0	0	0	0	949.99
5	407.0781	392.5933	110.0485	65.34582	0	24.9245	0	0	0	0	999.9903
6	418.423	242.9496	119.354	87.52537	120.6328	47.22348	63.88229	0	0	0	1099.991
7	424.2629	346.1915	80.46088	115.8818	112.8202	33.05922	37.32337	0	0	0	1150
8	433.8548	444.6243	32.36073	121.4456	91.48358	41.44799	34.78361	0	0	0	1200.001
9	447.6825	426.288	70.29414	109.4961	139.0123	67.02851	40.18968	0	0	0	1299.991
10	447.1992	435.951	122.227	123.8838	142.7296	66.59924	61.4033	0	0	0	1399.993
11	449.462	440.4944	126.0477	127.7828	159.8157	71.31672	75.08397	0	0	0	1450.003
12	455	455	130	130	162	80	78	10	0	0	1500
13	445.7119	441.6222	120.913	111.3423	152.0603	67.71131	60.63461	0	0	0	1399.996
14	449.7639	445.2506	113.9281	69.13071	118.6458	39.11176	64.16014	0	0	0	1299.991
15	422.9714	436.3387	93.09	86.96355	128.9416	31.68491	0	0	0	0	1199.99
16	403.7379	400.7267	59.89643	86.06837	99.56071	0	0	0	0	0	1049.99
17	444.9673	405.1492	60.28955	0	89.58619	0	0	0	0	0	999.9922
18	420.3037	442.3562	57.30807	0	116.0525	0	63.96988	0	0	0	1099.99
19	438.7291	453.5554	65.99024	0	116.2797	57.51761	67.91808	0	0	0	1199.99
20	455	455	130	0	162	80	85	33	0	0	1400
21	439.353	445.6007	125.8905	0	134.5603	71.43782	83.15683	0	0	0	1299.999
22	442.0706	348.342	113.7087	0	94.61239	41.80081	59.45579	0	0	0	1099.99
23	349.8234	336.4153	109.2724	104.4789	0	0	0	0	0	0	899.99
24	350.2818	300.6938	72.72834	76.28631	0	0	0	0	0	0	799.9903

ตารางก.4 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 เครื่องโดยวิธีที่นำเสนอในเวลา 24 ชั่วโมง

ชั่วโมงที่	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6	Unit 7	Unit 8	Unit 9	Unit 10	ราคาต้นทุน
1	455	150	0	94.99	0	0	0	0	0	0	699.99
2	455	150	62.26984	82.72016	0	0	0	0	0	0	749.99
3	455	150	114.99	130	0	0	0	0	0	0	849.99
4	455	234.99	130	130	0	0	0	0	0	0	949.99
5	455	284.99	130	130	0	0	0	0	0	0	999.99
6	455	339.99	130	130	0	20	25	0	0	0	1099.99
7	455	364.99	130	130	25	20	25	0	0	0	1149.99
8	455	414.99	130	130	25	20	25	0	0	0	1199.99
9	455	455	130	130	84.99	20	25	0	0	0	1299.99
10	455	455	130	130	162	42.99	25	0	0	0	1399.99
11	455	455	130	130	162	80	37.99	0	0	0	1449.99
12	455	455	130	130	162	80	78	10	0	0	1500
13	455	455	130	130	162	42.99	25	0	0	0	1399.99
14	455	455	130	130	84.99	20	25	0	0	0	1299.99
15	455	439.99	130	130	25	20	0	0	0	0	1199.99
16	455	334.99	130	130	0	0	0	0	0	0	1049.99
17	455	284.99	130	130	0	0	0	0	0	0	999.99
18	455	359.99	130	130	0	0	25	0	0	0	1099.99
19	455	439.99	130	130	0	20	25	0	0	0	1199.99
20	455	455	130	130	0	80	85	55	10	0	1400
21	455	455	130	130	0	80	49.99	0	0	0	1299.99
22	455	314.99	130	130	25	20	25	0	0	0	1099.99
23	455	314.99	130	0	0	0	0	0	0	0	899.99
24	455	344.99	0	0	0	0	0	0	0	0	799.99

ตารางก.5 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 30 เครื่องโดยวิธี GA ในเวลา 24 ชั่วโมง

ชั่วโมง	unit 1	unit 2	unit 3	unit 4	unit 5	unit 6	unit 7	unit 8	unit 9	unit 10	unit 11	unit 12	unit 13	unit 14	unit 15
1	379.16	440.59	258.07	337.58	188.60	337.58	84.80	0.00	20.65	28.05	0.00	24.90	0.00	0.00	0.00
2	373.85	242.82	388.99	224.86	351.05	257.84	93.83	100.09	68.25	100.09	0.00	48.31	0.00	0.00	0.00
3	150.30	454.88	454.94	150.03	454.98	454.98	129.95	20.01	20.02	129.93	0.00	129.98	0.00	0.00	0.00
4	401.10	407.21	403.79	419.05	344.67	438.84	121.61	31.44	90.17	112.86	0.00	79.25	0.00	0.00	0.00
5	401.80	391.51	314.52	347.23	328.97	393.10	96.28	47.98	106.82	105.46	37.37	34.83	89.72	58.43	91.54
6	374.94	335.28	323.10	396.71	345.16	445.96	80.36	116.81	83.21	69.88	49.06	0.00	151.09	116.58	122.77
7	349.82	430.16	315.66	453.64	443.19	439.77	95.61	0.00	106.05	94.03	89.47	0.00	109.13	48.70	152.18
8	436.72	449.54	426.61	384.87	433.58	416.93	105.83	0.00	116.23	83.64	96.97	0.00	78.36	143.67	138.34
9	438.61	449.13	440.31	426.48	451.62	447.80	128.94	0.00	127.86	120.86	125.33	0.00	135.09	157.06	158.86
10	455.00	455.00	455.00	455.00	455.00	455.00	130.00	0.00	130.00	130.00	130.00	0.00	162.00	162.00	162.00
11	455.00	455.00	455.00	455.00	455.00	455.00	130.00	0.00	130.00	130.00	130.00	130.00	162.00	162.00	162.00
12	455.00	455.00	455.00	455.00	455.00	455.00	130.00	130.00	130.00	130.00	130.00	130.00	162.00	162.00	162.00
13	435.19	444.09	448.30	449.66	441.74	450.13	107.90	126.84	113.44	121.91	128.01	129.68	158.54	147.77	159.00
14	425.89	437.83	441.55	379.27	445.34	413.63	128.64	106.41	101.29	94.85	126.49	98.31	136.83	148.88	138.77
15	391.39	434.10	414.17	387.66	352.49	437.94	124.37	117.20	114.39	88.86	104.27	61.91	119.50	102.81	113.37
16	415.21	407.52	403.49	428.33	397.52	443.49	83.77	55.49	38.36	0.00	101.25	98.26	53.94	68.97	115.65
17	435.07	391.89	382.39	397.87	427.49	402.72	114.27	92.60	33.94	0.00	0.00	74.39	123.65	0.00	66.02
18	445.29	408.24	425.55	256.20	434.64	404.23	128.73	108.30	90.98	0.00	0.00	127.31	152.84	0.00	151.96
19	444.35	398.87	449.71	428.08	421.74	451.04	74.31	125.86	126.73	0.00	0.00	73.05	104.11	0.00	144.08
20	455.00	455.00	455.00	455.00	455.00	455.00	130.00	130.00	130.00	0.00	0.00	130.00	162.00	0.00	162.00
21	443.67	448.29	430.52	441.61	438.60	451.19	99.18	102.99	119.16	120.66	0.00	112.02	149.01	0.00	154.11
22	401.30	330.11	401.15	454.41	348.51	390.71	89.67	95.58	34.82	98.28	61.50	39.49	142.65	0.00	119.26
23	260.76	398.08	431.34	370.08	423.31	408.87	99.63	58.68	84.09	93.47	71.68	0.00	0.00	0.00	0.00
24	402.14	391.08	381.76	0.00	433.35	411.72	123.64	0.00	74.40	88.02	93.89	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางก.5 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 30 เครื่องโดยวิธี GA ในเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ชั่วโมง	unit 16	unit 17	unit 18	unit 19	unit 20	unit 21	unit 22	unit 23	unit 24	unit 25	unit 26	unit 27	unit 28	unit 29	unit 30	ราคาต้นทุน
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2099.991
2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2249.991
3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2549.99
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2849.995
5	0.00	0.00	0.00	71.99	35.62	46.83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3000
6	0.00	57.98	35.47	65.82	61.22	68.58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3299.99
7	49.98	43.45	47.53	81.60	54.43	45.59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3450.007
8	54.68	67.21	59.65	50.12	57.04	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3599.993
9	68.13	70.90	75.09	77.93	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3899.992
10	80.00	80.00	80.00	85.00	0.00	0.00	55	55	29	0	0	0	0	0	0	4200
11	80.00	80.00	80.00	85.00	0.00	85.00	55	19	0	0	0	0	0	0	0	4350
12	80.00	80.00	80.00	85.00	85.00	84.00	10	0	0	0	0	0	0	0	0	4500
13	59.22	39.83	25.46	76.51	79.34	57.44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4199.993
14	60.48	70.49	40.27	66.09	38.69	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3900.002
15	64.13	59.18	36.80	75.44	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3599.991
16	0.00	0.00	38.77	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3150.008
17	0.00	0.00	57.71	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2999.995
18	0.00	0.00	37.00	0.00	50.61	78.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3300.004
19	69.74	56.91	48.23	66.01	41.86	75.29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3599.991
20	80.00	80.00	80.00	85.00	85.00	85.00	55	55	21	0	0	0	0	0	0	4200
21	66.98	66.34	70.81	69.08	54.91	60.84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3899.992
22	0.00	64.42	27.83	61.72	77.37	61.22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3300.001
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2699.99
24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2399.99

ตารางก.6 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 30 เครื่องโดยวิธีที่นำเสนอในเวลา 24 ชั่วโมง

ชั่วโมง	unit 1	unit 2	unit 3	unit 4	unit 5	unit 6	unit 7	unit 8	unit 9	unit 10	unit 11	unit 12	unit 13	unit 14	unit 15
1	455	455	455	150	150	150	82.04665	0	0	0	101.4445	101.4988	0	0	0
2	455	455	455	165.00	165.00	165.00	130	0	0	0	130	130	0	0	0
3	455	455	455	221.63	221.67	221.69	130	0	130	0	130	130	0	0	0
4	455	455	455	278.33	278.33	278.33	130	0	130	130	130	130	0	0	0
5	455	455	455	281.67	281.66	281.66	130	0	130	130	130	130	0	25	25
6	455	455	455	366.69	366.27	367.03	130	0	130	130	130	130	25	25	25
7	455	455	455	364.99	365.00	365.00	130	130	130	130	130	130	25	25	25
8	455	455	455	455	455	455	130	130	0	130	130	130	28.33	28.33	28.33
9	455	455	455	455	455	455	130	130	0	130	130	130	128.33	128.33	128.33
10	455	455	455	455	455	455	130	130	0	130	130	130	162	162	162
11	455	455	455	455	455	455	130	130	0	130	130	130	162	162	162
12	455	455	455	455	455	455	130	130	0	130	130	130	162	162	162
13	455	455	455	455	455	455	130	130	130	130	130	130	162	162	162
14	455	455	455	455	455	455	130	130	130	130	130	130	101.66	101.66	101.66
15	455	455	455	431.72	431.64	431.64	130	130	130	130	130	130	25	25	25
16	455	455	455	0	454.99	455	130	130	130	130	130	130	25	25	25
17	455	455	455	0	429.9969	429.9931	130	130	130	130	130	0	25	25	25
18	455	455	455	0	455	455	130	130	130	130	130	0	108.33	108.33	108.33
19	455	455	455	0	455	455	130	130	130	130	130	0	162	162	162
20	455	455	455	0	455	455	130	130	130	130	130	0	162	162	162
21	455	455	455	0	455	455	130	130	130	130	130	0	162	162	162
22	455	455	455	0	455	455	130	130	130	130	130	130	36.663	36.664	36.663
23	455	455	455	0	277.50	277.49	130	130	130	130	130	130	0	0	0
24	455	455	455	150	150	150	87.94187	87.94436	87.94273	107.0546	107.055	107.0514	0	0	0

ตารางก.6 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 30 เครื่องโดยวิธีที่นำเสนอในเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ชั่วโมง	unit 16	unit 17	unit 18	unit 19	unit 20	unit 21	unit 22	unit 23	unit 24	unit 25	unit 26	unit 27	unit 28	unit 29	unit 30	ราคาต้นทุน
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2099.99
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2249.99
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2549.99
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2849.99
5	20	20	0	25	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2999.99
6	20	20	20	25	0	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3299.99
7	20	20	20	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3449.99
8	20	20	20	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3599.99
9	20	20	20	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3899.99
10	80	80	80	31.32	31.36	31.31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4199.99
11	80	80	80	81.44	81.25	81.30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4349.99
12	80	80	80	85	85	85	55	55	29	0	0	0	0	0	0	4500
13	43.00	43.00	43.00	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4199.99
14	20	20	20	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3899.99
15	20	20	20	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3599.99
16	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3149.99
17	0	0	0	0	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2999.99
18	0	0	0	0	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3299.99
19	56.99	57.00	0	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3599.99
20	80	80	80	85	85	85	55	55	55	55	55	19	0	0	0	4200
21	80	80	80	82.99	83.00	83.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3899.99
22	20	20	20	25	25	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3299.99
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2699.99
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2399.99

ตารางก.7 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 60 เครื่องโดยวิธี GA ในเวลา 24 ชั่วโมง

ชั่วโมง	unit 1	unit 2	unit 3	unit 4	unit 5	unit 6	unit 7	unit 8	unit 9	unit 10	unit 11	unit 12	unit 13	unit 14	unit 15
1	411.48	362.43	339.52	402.61	0	356.25	338.42	276.31	296.89	227.34	321.08	338.59	109.99	0	0
2	403.94	367.08	438.68	260.44	0	266.49	412.33	443.81	314.30	285.66	373.64	227.07	97.70	0	58.86
3	310.51	377.47	391.89	328.86	0	393.04	448.10	366.41	340.82	438.98	359.51	423.19	110.61	76.10	80.05
4	438.60	421.37	404.57	452.61	0	450.46	420.08	397.91	431.38	428.53	390.90	388.93	118.44	115.47	65.29
5	385.54	448.26	416.65	450.66	0	420.06	452.17	443.11	439.91	443.53	425.25	448.98	104.44	114.06	126.45
6	359.49	421.11	445.06	428.01	0	428.52	381.17	446.10	434.71	431.09	357.86	425.62	34.24	102.79	60.69
7	386.48	418.76	340.82	400.81	0	431.01	386.72	411.32	383.02	423.56	388.86	429.84	36.92	95.54	107.65
8	366.06	320.84	441.33	453.08	0	383.94	433.16	427.08	442.26	449.62	429.97	405.96	124.06	121.63	78.47
9	443.48	441.33	439.67	451.68	448.06	450.57	436.71	447.44	416.79	450.42	451.50	440.18	117.83	31.69	95.20
10	453.98	453.97	452.84	454.71	454.65	448.17	454.91	454.18	451.83	432.49	454.60	453.52	129.37	128.58	128.54
11	455.00	455.00	455.00	455.00	454.98	455.00	455.00	455.00	454.88	455.00	455.00	454.95	127.59	129.92	130.00
12	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	130	130	130
13	443.23	448.04	449.37	451.65	453.87	444.74	452.68	448.54	450.35	451.03	452.60	452.59	123.52	120.92	0
14	439.02	421.05	422.64	452.01	383.54	449.07	425.81	452.82	434.40	441.52	389.71	443.48	111.36	121.05	0
15	444.44	437.84	444.35	439.82	423.91	429.32	397.09	297.66	397.56	442.72	429.62	427.79	101.46	0	0
16	383.45	416.13	376.07	428.77	414.60	340.30	428.65	358.06	408.55	432.16	419.55	377.55	64.13	0	0
17	421.81	454.60	445.55	453.52	450.33	442.25	448.75	450.73	402.70	447.22	436.67	449.06	93.83	0	0
18	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	130	0	130
19	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	130	0	130
20	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	130	130	130
21	455	454.15	455	455	455	455	454.27	455	455	455	455	455	130	130	130
22	358.68	428.37	392.90	433.27	440.49	365.88	424.75	435.45	255.79	377.16	397.74	360.24	60.80	71.34	124.6847
23	415.17	436.54	295.86	410.08	432.23	366.95	417.13	398.48	289.85	401.28	363.92	414.51	0	115.32	125.29
24	454.94	454.96	454.96	455.00	150.05	150.10	454.92	454.94	150.08	454.99	454.99	150.14	0	129.99	0

ตารางก.7 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 60 เครื่องโดยวิธี GA ในเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ชั่วโมง	unit 16	unit 17	unit 18	unit 19	unit 20	unit 21	unit 22	unit 23	unit 24	unit 25	unit 26	unit 27	unit 28	unit 29	unit 30
1	71.29	73.59	100.49	73.90	0	0	99.81	0	0	0	0	0	0	0	0
2	66.76	108.41	35.60	93.04	127.02	0	87.13	32.03	0	0	0	0	0	0	0
3	73.84	108.10	107.51	94.23	69.20	48.46	79.08	74.03	0	0	0	0	0	0	0
4	104.27	61.06	112.24	113.76	89.37	84.33	113.18	97.22	0	0	0	0	0	0	0
5	120.40	95.66	104.85	79.72	102.84	119.30	116.68	121.48	20	0	0	0	0	0	0
6	86.13	94.65	90.75	75.40	119.47	95.88	121.13	60.10	117.87	111.05	125.16	121.06	129.80	0	150.78
7	122.46	94.25	91.58	56.31	105.76	119.81	100.35	77.63	114.33	77.23	139.85	99.04	136.31	33.61	148.09
8	99.75	116.97	126.86	108.28	104.59	60.48	90.45	120.46	48.73	156.88	146.34	40.68	143.35	131.24	121.53
9	98.24	121.05	129.26	100.85	63.20	93.62	93.39	98.79	30.57	151.32	151.25	51.19	137.96	110.24	101.50
10	75.60	95.41	129.46	129.78	88.13	128.37	129.83	129.70	126.54	161.36	154.21	148.52	161.85	161.65	161.29
11	129.99	126.87	129.99	130.00	130.00	130.00	130.00	127.92	128.12	162.00	162.00	161.86	162.00	162.00	162.00
12	130	130	130	130	130	130	130	130	130	162	162	162	162	162	162
13	127.51	115.85	129.53	126.37	126.87	128.42	121.26	128.79	126.84	153.37	160.21	156.62	161.08	155.59	157.40
14	118.35	93.17	127.60	95.55	0	128.58	97.92	119.48	109.04	139.96	79.22	51.77	147.90	153.17	133.58
15	112.40	0	89.45	101.50	0	72.52	104.85	123.11	108.64	0	130.544	130.02	135.16	135.61	110.46
16	90.94	0	101.26	109.91	0	64.53	74.34	91.05	78.94	0	0	46.04	151.47	101.40	92.45
17	127.66	0	123.60	0	0	121.49	116.78	113.43	0	0	0	0	0	0	0
18	130	0	130	0	0	130	130	130	0	0	0	0	0	0	0
19	130	0	130	0	130	130	130	130	0	0	0	0	0	0	0
20	130	130	130	0	130	130	130	130	0	0	0	0	0	0	0
21	126.54	129.47	130	0	130	130	130	130	0	162	0	0	0	0	0
22	0	123.59	121.14	117.58	102.96	118.47	61.40	104.59	103.72	91.03357	116.9296	0	0	0	0
23	0	68.18	43.89	81.21	74.03	108.14	64.24	57.70	20.00	0	0	0	0	0	0
24	0	129.97	129.99	20.02	0	129.98	0	0	20	0	0	0	0	0	0

ตารางก.7 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 60 เครื่องโดยวิธี GA ในเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ชั่วโมง	unit 31	unit 32	unit 33	unit 34	unit 35	unit 36	unit 37	unit 38	unit 39	unit 40	unit 41	unit 42	unit 43	unit 44	unit 45
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	53.46	0	0	40.17	77.51	36.26	0	0	55.26	81.62	0	0	0	0	0
7	67.58	47.00	57.94	57.10	54.88	72.35	71.32	61.84	67.46	44.85	77.21	62.52	0	0	0
8	67.22	30.02	56.99	77.61	76.63	58.66	31.15	49.25	77.50	60.35	35.82	84.74	0	0	0
9	0	62.70	46.68	74.94	50.28	70.94	76.37	83.11	43.10	78.00	55.02	63.89	0	0	0
10	0	78.85	60.09	20.47	0	0	80.35	84.94	84.72	84.75	33.48	84.29	0	0	0
11	0	79.99	80.00	79.93	0	0	85.00	61.50	84.99	76.72	84.81	85.00	0	0	0
12	80	80	80	80	0	0	85	85	85	85	85	55	55	55	55
13	78.11	25.57	75.21	56.65	56.24	0	84.18	32.27	80.97	80.89	29.63	81.47	0	0	0
14	77.09	51.93	32.93	75.58	62.80	65.72	81.82	78.07	63.14	65.87	83.26	79.03	0	0	0
15	74.07	56.50	46.23	72.11	63.41	70.28	77.18	77.95	71.38	34.76	29.58	58.72	0	0	0
16	50.18	32.38	70.60	0	0	51.90	0	0	64.39	51.17	64.21	64.89	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	55	55	55
19	0	0	0	80	80	0	85	85	0	0	0	0	55	55	55
20	80	80	80	80	80	80	85	85	85	85	85	55	55	55	55
21	80	80	80	80	80	80	85	25	54.19	85	79.30	75.07	0	0	0
22	34.48	60.14	42.70	32.17	58.25	63.02	32.38	35.43	26.61	72.26	74.01	79.58	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางก.7 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 60 เครื่องโดยวิธี GA ในเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ชั่วโมง	unit 46	unit 47	unit 48	unit 49	unit 50	unit 51	unit 52	unit 53	unit 54	unit 55	unit 56	unit 57	unit 58	unit 59	unit 60	ราคาต้นทุน
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4199.991
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4499.998
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5099.99
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5699.992
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6000.01
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6599.995
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6899.994
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7200.005
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7799.997
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8399.991
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8699.992
12	43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9000
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8400.005
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7800.004
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7200.004
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6299.996
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5999.99
18	55	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6600
19	55	55	55	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7200
20	55	55	55	55	55	55	55	55	55	20	0	0	0	0	0	8400
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7799.994
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6599.999
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5400.01
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4800.01

ตารางก.8 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 60 เครื่องโดยวิธีที่นำเสนอในเวลา 24 ชั่วโมง

ชั่วโมง	unit 1	unit 2	unit 3	unit 4	unit 5	unit 6	unit 7	unit 8	unit 9	unit 10	unit 11	unit 12	unit 13	unit 14	unit 15
1	0	455	455	455	455	455	150	150	150	150	150	150	127.06	127.00	127.04
2	0	455	0	455	455	455	230.00	229.99	230.00	230.00	230.00	230.00	130	130	130
3	0	455	0	455	455	455	286.66	286.66	286.66	286.67	286.67	286.67	130	130	130
4	0	455	0	455	455	455	386.67	386.66	386.66	386.67	386.66	386.67	130	130	130
5	0	455	0	455	455	455	388.33	388.33	388.34	388.33	388.33	388.33	130	130	130
6	0	455	0	455	455	455	455	455	455	455	455	455	130	130	130
7	0	455	0	455	455	455	455	455	455	455	455	455	130	130	130
8	0	455	0	455	455	455	455	455	455	455	455	455	130	130	130
9	455	455	0	455	455	455	455	455	455	455	455	455	130	130	130
10	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	130	130	130
11	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	130	130	130
12	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	130	130	130
13	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	130	130	130
14	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	0	130	130
15	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	0	0	130
16	455	455	455	455	455	455	375.00	375.00	375.00	375.00	375.00	374.99	0	0	130
17	455	455	455	455	455	455	415.76	415.69	415.73	415.87	415.84	416.10	0	0	0
18	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	0	0	0
19	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	130	0	0
20	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	130	130	0
21	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	130	130	0
22	455	455	455	455	455	455	373.26	373.35	373.29	373.35	373.39	373.35	130	130	0
23	455	455	455	455	455	455	206.66	206.66	206.66	206.67	206.66	206.67	130	130	0
24	455	455	455	455	455	455	150	150	150	150	150	150	0	130.00	130

ตารางก.8 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 60 เครื่องโดยวิธีที่นำเสนอในเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ชั่วโมง	unit 16	unit 17	unit 18	unit 19	unit 20	unit 21	unit 22	unit 23	unit 24	unit 25	unit 26	unit 27	unit 28	unit 29	unit 30
1	126.9118	126.9803	0	130	0	130	0	130	0	0	0	0	0	0	0
2	130	130	0	130	0	130	130	130	130	0	0	0	0	0	0
3	130	130	130	130	130	130	130	130	130	0	0	0	0	0	0
4	130	130	130	130	130	130	130	130	130	0	0	0	0	0	0
5	130	130	130	130	130	130	130	130	130	25	25	25	0	25	25
6	130	130	130	130	130	130	130	130	130	40.00	40.00	40.00	39.99	40.00	40.00
7	130	130	130	130	130	130	130	130	130	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
8	130	130	130	130	130	130	130	130	130	136.66	136.66	136.66	136.67	136.66	136.67
9	130	0	130	130	130	130	130	130	130	162	162	162	162	162	162
10	130	0	130	130	130	130	130	130	130	162	162	162	162	162	162
11	130	0	130	130	130	130	130	130	130	162	162	162	162	162	162
12	130	0	130	130	130	130	130	130	130	162	162	162	162	162	162
13	130	0	130	130	130	130	130	130	130	162	162	162	162	162	162
14	130	130	130	130	130	130	130	130	130	110.00	110.00	110.01	110.00	110.00	110.00
15	130	130	130	130	130	130	130	130	130	35.83	35.83	35.83	35.83	35.83	35.83
16	130	130	130	130	0	130	0	130	130	25	25	25	25	25	0
17	130	130	130	130	0	0	0	0	0	25	25	25	25	25	0
18	130	130	130	130	0	0	0	0	0	98.00	98.00	98.00	98.00	98.00	0
19	130	130	130	130	0	0	0	0	0	162	162	162	162	162	0
20	130	130	130	130	0	0	0	0	0	162	162	162	162	162	0
21	130	130	130	130	130	0	130	0	0	162	162	162	162	162	0
22	130	130	130	130	130	130	130	130	0	0	25	0	25	25	25
23	130	130	130	130	130	130	130	130	130	0	0	0	0	0	0
24	0	129.993	0	130	130	130	130	130	130	0	0	0	0	0	0

ตารางก.8 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 60 เครื่องโดยวิธีที่นำเสนอในเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ชั่วโมง	unit 31	unit 32	unit 33	unit 34	unit 35	unit 36	unit 37	unit 38	unit 39	unit 40	unit 41	unit 42	unit 43	unit 44	unit 45
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	20	0	0	20	0	0	0	25	25	25	25	25	0	0	0
6	20	0	20	20	20	20	25	25	25	25	25	25	0	0	0
7	20	0	20	20	20	20	25	25	25	25	25	25	0	0	0
8	20	20	20	20	20	20	25	25	25	25	25	25	0	0	0
9	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	40.50	25	25	25	25	25	25	0	0	0
10	73.00	73.00	73.00	73.00	73.00	73.00	0	0	25	25	25	25	0	0	0
11	80	80	80	80	80	80	0	0	85	85	85	55	48	0	0
12	80	80	80	80	80	80	0	0	85	85	85	55	55	55	55
13	64.67	64.66	64.67	64.67	64.66	64.67	25	25	25	25	25	25	0	0	0
14	20	20	0	20	20	20	25	25	25	25	25	25	0	0	0
15	20	20	0	20	20	20	25	25	25	25	25	0	0	0	0
16	20	20	0	0	20	20	0	25	25	25	0	0	0	0	0
17	20	0	20	0	20	20	0	25	0	25	0	0	0	0	0
18	20	0	20	0	20	20	0	25	0	0	0	25	0	0	0
19	36.00	0	36.00	36.00	36.00	36.00	25	25	0	0	25	25	0	0	0
20	80	80	80	80	80	80	85	85	85	0	85	55	55	55	55
21	0	73.01	73.00	73.00	72.99	73.00	25	25	25	0	25	25	0	0	0
22	0	20	20	20	20	0	25	25	25	25	25	25	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางก.8 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 60 เครื่องโดยวิธีที่นำเสนอในเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ชั่วโมง	unit 46	unit 47	unit 48	unit 49	unit 50	unit 51	unit 52	unit 53	unit 54	unit 55	unit 56	unit 57	unit 58	unit 59	unit 60	ราคาต้นทุน
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4199.99
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4499.99
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5099.99
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5699.99
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5999.99
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6599.99
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6899.99
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7199.99
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7799.99
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8399.99
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8700
12	55	55	55	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9000
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8399.99
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7799.99
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7199.99
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6299.99
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5999.99
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6599.99
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7199.99
20	55	55	55	55	55	35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8400
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7799.99
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6599.99
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5399.99
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4799.99

ตารางก. 9 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 100 เครื่องโดยวิธี GA ในเวลา 24 ชั่วโมง

ชั่วโมง	unit 1	unit 2	unit 3	unit 4	unit 5	unit 6	unit 7	unit 8	unit 9	unit 10	unit 11	unit 12	unit 13	unit 14	unit 15
1	384.46	407.22	238.19	0	433.43	279.69	365.54	414.14	438.81	429.28	421.87	384.21	360.24	0	0
2	445.09	234.54	379.44	0	387.30	405.24	336.33	377.05	374.89	324.94	402.39	401.69	348.90	0	0
3	417.62	420.95	435.12	0	288.10	363.40	412.04	304.00	438.35	419.07	385.63	423.76	443.99	0	0
4	436.96	454.80	443.23	0	453.76	444.61	449.09	452.64	449.92	452.28	436.87	441.67	453.32	0	0
5	454.95	454.97	454.88	0	454.72	454.99	455.00	455.00	454.95	454.94	454.96	454.90	454.78	0	0
6	395.02	441.08	401.63	0	443.99	431.18	430.10	441.18	366.03	423.66	428.39	449.37	427.31	0	0
7	451.20	451.97	448.74	0	436.87	450.54	435.30	375.49	449.81	413.53	425.96	415.73	448.05	0	0
8	451.38	447.48	453.84	0	454.08	450.14	430.72	431.72	453.61	451.01	416.24	438.77	432.57	0	0
9	451.57	454.43	453.56	449.26	454.86	451.35	452.13	454.39	452.36	453.84	454.32	443.33	454.43	454.07	453.18
10	454.93	455.00	455.00	455.00	455.00	455.00	454.99	455.00	455.00	455.00	454.99	455.00	455.00	454.99	454.98
11	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455
12	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455
13	454.87	454.97	454.92	454.99	454.90	454.78	454.73	454.90	454.91	454.98	454.82	454.78	454.86	453.33	454.20
14	455.00	454.99	455.00	455.00	454.99	455.00	455.00	455.00	454.99	455.00	455.00	455.00	455.00	455.00	454.99
15	454.93	454.62	454.25	150.99	454.99	454.84	454.73	454.89	454.88	454.62	454.89	454.95	454.22	454.97	454.67
16	438.84	368.36	382.13	412.35	389.38	423.99	444.38	413.88	373.95	329.06	397.25	394.63	361.15	376.28	395.15
17	429.25	447.18	451.51	445.74	440.89	443.25	427.64	442.25	447.24	452.30	449.41	446.90	445.24	431.20	291.29
18	454.94	446.09	454.87	454.63	454.66	454.48	454.97	453.51	423.83	439.27	454.50	454.89	454.50	454.79	454.92
19	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455
20	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455
21	454.91	454.90	454.95	454.97	454.88	454.46	454.97	454.76	454.93	454.97	454.97	454.97	454.95	454.98	452.16
22	350.03	451.33	453.01	442.20	287.93	450.44	450.57	398.02	454.28	443.46	452.93	454.72	405.82	426.82	231.48
23	269.89	431.23	407.40	404.99	265.79	423.86	413.74	273.28	359.43	329.34	401.93	357.26	360.28	441.18	403.84
24	334.71	306.49	329.04	437.58	340.58	0	286.80	417.64	375.51	438.08	413.67	262.10	347.89	302.39	426.48

ตารางก.10 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 100 เครื่องโดยวิธี GA ในเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ชั่วโมง	unit 16	unit 17	unit 18	unit 19	unit 20	unit 21	unit 22	unit 23	unit 24	unit 25	unit 26	unit 27	unit 28	unit 29	unit 30
1	396.86	270.01	399.03	327.11	402.63	0	74.30	0	0	0	0	80.12	40.13	0	111.44
2	429.46	264.27	380.23	374.25	381.62	0	115.69	64.58	0	82.59	47.57	93.88	60.12	0	46.51
3	428.32	404.98	402.05	324.04	401.34	115.12	85.29	67.28	119.58	124.41	80.00	123.64	57.02	80.68	74.78
4	445.96	454.21	452.56	432.53	440.69	102.85	89.09	122.19	84.71	127.26	54.29	105.11	112.47	123.86	127.25
5	450.15	454.97	454.97	454.87	454.93	130.00	129.99	129.01	129.99	129.97	127.59	119.53	129.98	129.81	39.40
6	418.34	453.56	410.09	375.72	416.43	21.12	70.79	97.31	118.13	114.06	84.31	0	119.43	42.89	69.81
7	437.54	432.28	409.30	448.13	450.80	97.51	95.70	124.87	85.63	96.66	108.50	0	107.99	120.52	106.52
8	445.60	451.77	450.95	430.59	443.31	48.08	123.01	90.98	70.49	112.69	91.82	0	68.14	90.23	129.09
9	314.23	453.90	453.75	452.95	454.16	128.31	129.46	127.96	127.43	128.93	128.56	0	0	0	88.11
10	455	454.78	454.90	455.00	455.00	130.00	0	0	129.89	130.00	129.95	0	0	0	0
11	455	455	455	455	455	130	0	0	130	130	130	130	0	0	0
12	455	455	455	455	455	130	0	0	130	130	130	130	0	0	0
13	454.87	452.89	454.96	452.77	454.88	129.83	0	0	130.00	129.98	94.53	124.70	0	0	0
14	455.00	455.00	455.00	455.00	455.00	130.00	0	0	0	129.96	127.77	130.00	123.26	20.00	0
15	454.55	454.98	454.95	454.83	454.73	129.81	0	129.99	0	0	0	129.86	129.96	127.64	123.10
16	438.06	313.74	371.63	352.43	365.46	75.85	29.17	117.54	0	0	0	0	73.53	92.61	79.37
17	408.13	436.67	435.19	447.73	413.49	112.98	57.43	77.24	0	0	0	0	99.79	70.95	119.92
18	453.86	454.94	454.35	452.79	454.95	129.99	129.95	129.98	0	0	0	0	129.96	128.56	129.92
19	455	455	455	455	455	130	130	130	130	0	0	0	130	130	130
20	455	455	455	455	455	130	130	130	130	130	130	0	130	130	130
21	454.81	454.99	454.98	454.61	454.67	129.88	82.44	129.91	129.65	83.40	129.24	128.60	49.44	129.93	129.5751
22	408.07	354.79	356.40	453.86	427.46	44.86	116.60	41.96	118.73	106.51	102.73	83.96	103.15	77.28	100.6447
23	371.72	420.12	401.20	404.64	289.60	0	48.04	64.96	86.43	123.76	104.14	102.50	101.22	64.31	0
24	293.18	398.74	412.79	403.28	392.01	0	0	0	90.30	91.15	68.41	105.42	0	94.13	0

ตารางก.10 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 100 เครื่องโดยวิธี GA ในเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ชั่วโมง	unit 31	unit 32	unit 33	unit 34	unit 35	unit 36	unit 37	unit 38	unit 39	unit 40	unit 41	unit 42	unit 43	unit 44	unit 45
1	47.341	0	0	81.01	100.51	0	0	41.161	26.280	44.993	0	0	0	0	0
2	56.437	95.91	50.12	88.33	99.25	58.48	82.21	118.46	39.48	52.75	0	0	0	0	0
3	80.257	85.32	48.69	122.92	65.97	91.93	85.27	108.74	114.30	56.04	0	0	0	0	0
4	129.70	49.43	129.85	110.85	112.98	126.22	25.57	79.17	34.27	57.79	0	0	0	0	0
5	129.89	129.61	129.75	20.01	129.98	127.36	130.00	20.10	129.09	130.00	0	0	0	0	0
6	61.87	60.11	50.25	82.72	21.58	104.06	126.26	32.15	98.70	107.80	106.19	140.99	151.98	148.76	148.18
7	115.60	106.63	122.08	113.44	59.67	84.97	105.21	81.35	66.37	64.43	153.72	153.22	122.67	124.77	127.05
8	113.65	0	123.44	128.62	98.44	102.36	34.28	118.55	129.71	126.26	146.34	116.74	160.07	144.03	156.15
9	128.35	0	120.37	128.30	127.12	126.46	73.49	127.34	128.71	80.26	159.70	158.28	161.18	159.50	51.31
10	129.62	0	129.89	129.99	130.00	129.66	130.00	129.91	0	130.00	161.94	161.98	162.00	162.00	161.98
11	130	0	130	130	130	130	130	130	0	130	162	162	162	162	162
12	130	0	130	130	130	130	130	130	0	130	162	162	162	162	162
13	129.48	129.88	128.92	129.86	129.96	129.79	129.29	128.2282	0	129.94	161.64	161.74	161.91	157.76	161.94
14	22.31	130.00	130.00	20.00	130.00	20.00	130.00	130	0	130.00	162.00	162.00	162.00	162.00	162.00
15	20.13	129.98	129.94	0	129.84	20.24	129.83	20.19	129.99	129.81	161.98	161.96	25.10	25.35	161.80
16	30.58	48.42	106.19	0	84.58	74.62	0	93.25	111.33	114.71	102.23	154.33	93.48	100.12	91.81
17	95.90	123.96	122.79	0	102.71	64.66	0	123.26	76.91	119.01	0	0	0	0	0
18	127.94	128.06	129.94	0	0	129.94	0	129.88	129.75	129.98	0	0	0	0	0
19	130	130	130	0	0	130	0	130	130	130	0	0	0	0	0
20	130	130	130	130	0	130	0	130	130	130	0	0	0	0	0
21	129.94	129.89	129.96	129.98	0	119.08	0	126.87	129.60	129.99	0	0	0	0	0
22	42.52	69.98	123.84	124.51	0	110.15	100.025	0	79.23	76.85	0	0	0	0	0
23	69.83	99.01	95.97	101.55	106.99	126.07	123.074	0	62.90	88.52	0	0	0	0	0
24	0	120.51	62.58	74.23	108.99	0	87.801	0	69.52	107.99	0	0	0	0	0

ตารางก.10 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 100 เครื่องโดยวิธี GA ในเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ชั่วโมง	unit 46	unit 47	unit 48	unit 49	unit 50	unit 51	unit 52	unit 53	unit 54	unit 55	unit 56	unit 57	unit 58	unit 59	unit 60
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	152.77	160.13	56.00	71.80	116.67	55.04	76.56	67.19	77.22	0	63.70	0	44.92	40.00	51.67
7	133.92	150.39	103.86	55.58	124.00	30.87	25.43	60.80	33.90	68.61	36.95	32.89	64.15	43.15	71.95
8	134.78	152.97	159.83	161.38	84.36	43.66	77.99	64.85	77.92	43.54	60.50	78.05	75.49	31.71	55.49
9	132.72	161.79	47.67	158.94	147.18	74.84	78.82	46.45	68.94	62.48	0	23.97	79.27	0	25.36
10	162.00	162.00	162.00	161.91	161.81	79.57	80.00	79.21	37.23	80.00	0	0	79.78	0	79.99
11	162	162	162	162	162	80	80	80	80	80	0	0	80	0	80
12	162	162	162	162	162	80	80	80	80	80	80	0	80	80	80
13	161.96	156.04	161.64	161.83	161.84	22.62	79.89	79.981	0	0	77.03	79.70	78.07	79.90	80.00
14	157.43	162.00	162.00	162.00	0	20.00	27.38	20.00529	0	0	31.48	75.38	20.00	20.00	80.00
15	25.12	161.66	25.33	0	0	20.08	79.99	79.98899	0	0	79.86	79.97	20.08	20.17	20.01
16	140.37	75.80	148.30	0	0	57.79	41.14	0	53.71	45.26	65.06	62.17	54.73	44.35	59.17
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	162	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
21	0	0	0	161.60	161.96	79.70	77.22	59.30	77.56	80.00	79.55	79.82	20.19	80.00	20.04
22	0	0	0	156.93	84.49	78.61	64.90	0	77.43	54.03	49.76	75.01	66.79	79.78	79.24
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางก.10 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 100 เครื่องโดยวิธี GA ในเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ชั่วโมง	unit 61	unit 62	unit 63	unit 64	unit 65	unit 66	unit 67	unit 68	unit 69	unit 70	unit 71	unit 72	unit 73	unit 74	unit 75
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	79.45	68.27	76.26	77.23	40.02	47.06	49.23	70.38	53.56	72.33	0	0	0	0	0
7	51.36	67.60	73.90	56.25	46.12	38.30	77.29	30.73	62.94	32.67	0	0	0	0	0
8	38.11	57.75	83.37	83.57	84.45	78.66	25.14	27.94	79.67	81.87	0	0	0	0	0
9	0.00	52.01	26.12	80.89	34.13	82.19	0	26.82	0	84.22	0	0	0	0	0
10	0	0	84.33	0	85.00	84.66	0	84.95	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	85	0	85	85	0	85	0	0	55	55	55	55	55
12	85	0	85	0	85	85	85	85	85	0	55	55	55	55	55
13	84.97	84.97	84.76	0	84.71	82.02	84.87	82.87	26.02	84.85	0	0	0	0	0
14	85.00	84.87	31.55	25.00	83.30	0	84.99	85.00	84.39	84.98	0	0	0	0	0
15	84.93	84.98	84.97	84.73	0	0	0	0	25.16	84.98	0	0	0	0	0
16	64.46	73.86	0	57.13	0	0	0	0	0	40.88	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	49.03	61.44	84.98	84.97	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	85	0	85	85	85	85	85	0	55	55	55	55	55
20	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	55	55	55	55	55
21	77.38	84.96	84.97	84.93	84.98	83.12	84.97	84.97	25.40	84.78	0	0	0	0	0
22	40.97	77.52	45.97	49.66	0	29.37	0	83.17	0	29.20	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางก.10 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 100 เครื่องโดยวิธี GA ในเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

unit 76	unit 77	unit 78	unit 79	unit 80	unit 81	unit 82	unit 83	unit 84	unit 85	unit 86	unit 87	unit 88	unit 89	unit 90
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	55	55	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	53	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางก.10 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 100 เครื่องโดยวิธี GA ในเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ชั่วโมง	unit 91	unit 92	unit 93	unit 94	unit 95	unit 96	unit 97	unit 98	unit 99	unit 100	ราคาต้นทุน
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6999.997
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7500.002
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8499.999
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9500
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9999.991
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10999.99
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11499.99
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11999.99
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13000
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13132.77
11	55	35	0	0	0	0	0	0	0	0	14500
12	55	55	55	10	0	0	0	0	0	0	15000
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13751.24
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13000
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11999.99
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10500.01
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9999.991
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10999.99
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12000
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14000
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12999.55
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10999.99
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8999.991
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7999.996

ตารางก.10 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 100 เครื่องโดยวิธีที่นำเสนอ ในเวลา 24 ชั่วโมง

ชั่วโมง	unit 1	unit 2	unit 3	unit 4	unit 5	unit 6	unit 7	unit 8	unit 9	unit 10	unit 11	unit 12	unit 13	unit 14	unit 15
1	202.93	312.24	271.18	271.29	394.14	329.39	335.03	324.57	428.16	305.13	201.63	305.34	393.27	341.94	0
2	265.07	401.87	360.10	237.90	351.68	362.96	262.45	369.84	301.95	329.02	322.75	395.09	399.11	406.88	0
3	406.63	363.21	274.03	404.60	404.68	419.14	321.71	210.55	435.25	424.35	301.47	291.33	427.95	435.79	0
4	455.00	455.00	150.01	455.00	455.00	454.96	454.99	455.00	455.00	455.00	455.00	455.00	150.00	455.00	0
5	455	455.00	455.00	455.00	455.00	455.00	455.00	455.00	455.00	455.00	455.00	455.00	455.00	455	0
6	401.90	431.66	389.87	413.30	444.63	399.42	431.72	415.76	306.89	407.32	411.71	408.11	309.99	378.47	0
7	433.87	430.47	363.31	432.56	413.24	428.10	411.42	415.27	453.15	414.67	376.91	357.49	426.89	424.46	0
8	441.17	447.10	437.94	403.40	426.54	444.27	443.48	448.80	441.51	430.61	443.44	356.27	453.48	452.71	0
9	449.76	436.10	446.73	453.43	453.79	452.82	404.70	450.64	454.68	454.72	444.82	453.97	416.12	454.37	436.67
10	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455
11	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455
12	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455
13	453.66	453.49	452.93	454.06	452.81	452.91	454.67	454.61	454.24	454.80	454.18	450.51	451.95	453.44	453.57
14	444.43	306.16	442.15	433.08	451.77	447.54	430.65	448.48	341.62	449.98	447.49	437.15	386.40	447.03	414.05
15	430.50	453.21	433.08	404.28	272.43	431.40	433.71	416.76	234.82	380.20	443.88	400.46	403.50	447.75	433.44
16	327.67	365.43	389.01	330.97	370.25	402.19	338.97	413.80	416.54	430.83	349.92	266.07	439.85	337.71	328.27
17	445.48	415.32	453.37	449.95	399.21	387.95	410.15	382.08	448.14	430.32	412.14	421.54	437.06	428.47	437.69
18	453.57	452.33	452.82	445.20	449.49	435.17	452.16	453.60	454.73	450.97	401.78	454.40	453.54	454.49	454.31
19	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455
20	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455
21	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455	455
22	407.03	362.89	437.04	392.03	433.02	450.95	384.65	403.71	415.33	357.65	396.33	434.19	386.06	394.85	410.26
23	289.42	394.41	412.38	420.96	370.01	434.54	414.34	347.89	338.92	441.52	450.47	443.54	434.04	378.02	417.13
24	384.61	422.05	320.64	353.03	411.69	442.80	224.15	214.40	424.60	413.28	329.11	253.15	439.84	241.69	291.04

ตารางก.10 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 100 เครื่องโดยวิธีที่นำเสนอ ในเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ชั่วโมง	unit 16	unit 17	unit 18	unit 19	unit 20	unit 21	unit 22	unit 23	unit 24	unit 25	unit 26	unit 27	unit 28	unit 29	unit 30
1	365.65	347.60	407.73	401.05	340.59	0	65.76	59.30	0	57.13	0	0	103.04	92.04	0
2	422.34	173.35	356.76	331.69	228.32	56.62	78.12	71.13	83.08	127.58	105.88	79.93	65.39	63.55	86.10
3	344.08	376.29	338.31	390.50	442.26	108.22	98.35	50.85	96.66	78.38	116.13	81.38	81.34	93.49	56.54
4	150.01	455.00	455.00	150.00	150.11	130.00	129.99	130.00	129.99	129.96	129.99	130.00	130	20.05211	129.96
5	455.00	455.00	150.00	150.01	150.00	130.00	20.00	130.00	130.00	130.00	130.00	20.00	130.00	130.00	130.00
6	427.95	412.15	431.33	418.52	253.78	62.35	93.32	114.32	87.29	0	94.9719	114.7034	111.39	98.75	118.67
7	351.75	355.38	425.64	436.02	407.43	113.41	94.62	33.89	0	0	100.74	97.40	102.17	61.36	0
8	425.69	433.33	451.07	360.24	403.28	124.08	103.73	123.09	0	0	0	0	56.49	65.95	0
9	448.83	453.14	450.40	454.93	453.66	119.50	128.80	88.84	0	0	0	0	129.93	125.62	0
10	455	455	455	455	455	130	0	130	0	0	0	0	130	130	0
11	455	455	455	455	455	130	0	130	0	130	0	0	130	130	0
12	455	455	455	455	455	130	0	130	130	130	0	0	130	130	130
13	454.69	453.56	454.16	454.33	454.09	129.25	0	128.52	128.88	31.65	129.70	126.44	123.74	128.51	129.11
14	430.94	445.50	419.90	445.27	440.55	0	0	103.59	121.00	95.10	123.11	115.23	81.73	113.96	124.57
15	454.10	426.03	391.98	450.84	383.94	0	108.36	110.34	118.03	91.21	107.33	70.96	67.46	85.79	107.35
16	407.57	438.82	370.67	445.80	374.19	0	98.56	30.02	89.13	54.28	76.77	88.65	53.58	43.07	59.35
17	425.55	439.38	432.43	453.42	393.95	0	25.56	112.85	96.63	106.74	101.76	69.89	61.23	100.84	51.95
18	404.88	451.98	446.53	454.20	450.63	0	94.18	99.27	121.97	124.11	0	112.70	129.38	122.11	123.31
19	455	455	455	455	455	130	130	130	130	130	0	130	130	130	130
20	455	455	455	455	455	130	130	130	130	130	0	130	130	130	130
21	455	455	455	455	455	130	130	130	130	130	0	130	130	0	130
22	402.81	440.02	397.82	444.17	428.83	54.23	73.41	89.60	81.37	43.93	0	71.10	126.23	0	96.62
23	377.41	335.17	239.27	346.36	354.04	103.03	74.76	118.24	109.93	110.53	100.35	95.23	74.86	0	114.75
24	324.31	436.57	442.86	418.10	296.10	121.20	125.45	0	33.73	0	117.16	77.82	0	0	30.24

ตารางก.10 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 100 เครื่องโดยวิธีที่นำเสนอ ในเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ชั่วโมง	unit 31	unit 32	unit 33	unit 34	unit 35	unit 36	unit 37	unit 38	unit 39	unit 40	unit 41	unit 42	unit 43	unit 44	unit 45
1	0	0	97.90	0	0	105.34	0	32.92	32.67	75.06	0	0	0	0	0
2	0	0	55.65	0	0	72.01	0	99.62	60.14	116.08	0	0	0	0	0
3	122.65	103.38	49.39	0	0	57.57	46.71	95.09	74.64	77.10	0	0	0	0	0
4	130.00	130.00	130.00	130.00	130.00	20.00	130.00	130.00	130.00	130.00	0	0	0	0	0
5	130	130.00	130.00	130.00	130.00	130.00	130.00	130.00	20.00	130.00	0	0	0	0	0
6	121.05	106.76	108.63	121.36	76.11	114.58	38.57	95.52	110.08	85.89	92.49	88.41	0	138.47	52.71
7	95.60	118.58	86.65	119.72	98.36	121.08	119.25	69.49	0	95.63	110.29	51.53	116.75	121.81	70.19
8	108.69	118.16	119.46	121.20	124.85	75.45	129.28	117.14	0	71.40	145.06	153.96	121.48	154.19	91.24
9	125.48	124.66	92.49	92.03	127.51	129.10	125.22	116.40	0	123.51	148.02	97.91	152.30	39.46	161.20
10	130	130	130	130	130	130	130	130	0	130	162	162	162	162	162
11	130	130	130	130	130	130	130	130	0	130	162	162	162	162	162
12	130	130	130	130	130	130	130	130	130	130	162	162	162	162	162
13	43.52	120.12	129.12	127.49	129.37	35.00	129.66	121.00	129.27	127.03	160.82	156.59	151.50	156.42	159.12
14	67.57	84.36	88.27	128.93	117.89	129.51	89.11	86.17	125.82	126.41	126.08	159.40	0	153.41	159.39
15	85.62	87.04	77.84	116.72	99.37	118.98	51.48	95.91	122.43	46.58	135.43	132.03	0	147.38	83.74
16	122.29	99.66	86.08	97.13	105.22	121.21	106.63	65.27	127.31	57.31	0	137.08	0	132.49	122.46
17	125.03	117.29	89.95	122.78	0	50.98	93.93	75.22	59.24	34.53	0	0	0	0	0
18	119.27	127.35	129.72	127.82	0	128.86	123.63	129.88	118.16	82.47	0	0	0	0	0
19	130	130	130	130	0	130	130	130	130	130	0	0	0	0	0
20	130	130	130	130	0	130	130	130	130	130	0	0	162	0	0
21	130	130	0	130	0	130	130	0	0	130	0	0	162	0	0
22	103.35	114.54	0	112.35	81.31	111.18	0	0	0	85.95	151.83	0	62.16	0	0
23	21.31	127.49	0	67.16	69.66	46.36	0	0	0	126.49	0	0	0	0	0
24	69.28	118.07	0	77.50	94.41	51.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางก.10 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 100 เครื่องโดยวิธีที่นำเสนอ ในเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ชั่วโมง	unit 46	unit 47	unit 48	unit 49	unit 50	unit 51	unit 52	unit 53	unit 54	unit 55	unit 56	unit 57	unit 58	unit 59	unit 60
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	114.04	93.34	82.47	69.93	77.92	52.16	68.02	0	34.94	55.49	50.68	25.26	76.95	0	34.17
7	147.05	83.35	76.39	137.31	142.78	63.92	63.68	0	48.51	51.58	62.59	68.54	65.78	0	72.16
8	86.55	146.76	154.72	118.28	146.74	27.86	74.89	25.73	78.09	64.21	33.57	70.46	26.74	49.36	78.82
9	31.63	159.91	137.35	157.56	143.30	78.58	28.40	78.69	75.36	74.74	0	30.74	26.05	21.17	75.04
10	162	162	162	162	162	80	80	80	80	0	0	80	80	80	0
11	162	162	162	162	162	80	80	80	80	0	0	80	80	80	0
12	162	162	162	162	162	80	80	80	80	0	80	80	80	80	0
13	159.70	152.96	152.87	161.21	38.05	79.12	74.33	76.65	73.61	78.02	69.07	79.64	31.40	78.15	25.15
14	128.75	137.63	139.23	148.54	117.30	69.77	76.50	57.96	72.26	64.54	59.03	72.86	77.71	75.87	27.89
15	94.56	65.59	155.71	0.00	133.52	75.42	71.25	51.41	70.96	67.26	74.21	44.67	62.05	52.88	57.41
16	0	75.62	147.69	0	0	28.50	0	35.00	66.14	72.02	43.43	40.37	61.13	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	80	0	0	0	0	0	0	80	80
20	0	0	0	0	0	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
21	0	0	0	162	0	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
22	132.10	0	0	58.48	116.14	64.23	0	58.93	75.58	58.18	44.39	69.81	77.19	71.28	31.31
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางก.10 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 100 เครื่องโดยวิธีที่นำเสนอ ในเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ชั่วโมง	unit 61	unit 62	unit 63	unit 64	unit 65	unit 66	unit 67	unit 68	unit 69	unit 70	unit 71	unit 72	unit 73	unit 74	unit 75
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	68.81	0	44.15	55.07	61.96	39.58	50.76	0	57.98	45.44	0	0	0	0	0
7	79.00	62.32	59.28	61.21	83.51	65.03	82.11	67.69	39.87	59.82	0	0	0	0	0
8	70.13	59.88	69.56	33.99	33.17	31.99	81.29	67.53	68.75	31.66	0	0	0	0	0
9	83.76	83.58	0	55.95	79.86	84.22	75.83	79.44	84.02	82.55	0	0	0	0	0
10	0	85	0	85	85	85	0	0	85	85	0	0	0	0	0
11	0	85	0	85	85	85	0	0	85	85	55	55	55	55	55
12	0	85	85	85	85	85	0	0	85	85	55	55	55	55	55
13	28.91	84.08	32.28	83.01	73.44	83.75	30.07	83.36	84.29	82.37	0	0	0	0	0
14	71.40	69.84	57.83	38.65	77.42	59.66	71.37	71.19	48.13	77.91	0	0	0	0	0
15	73.49	74.19	0	0	76.60	71.40	73.62	30.96	72.78	56.42	0	0	0	0	0
16	52.81	29.61	0	0	67.08	65.28	56.86	42.34	47.95	50.10	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	25.01	34.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	85	85	0	0	0	0	0	0	55	55	40	0	0
20	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	55	55	55	55	55
21	85	85	85	85	85	85	85	85	85	85	0	0	0	0	0
22	43.85	56.91	75.65	43.18	36.53	54.53	61.29	45.29	48.50	37.83	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางก.10 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 100 เครื่องโดยวิธีที่นำเสนอ ในเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ชั่วโมง	unit 76	unit 77	unit 78	unit 79	unit 80	unit 81	unit 82	unit 83	unit 84	unit 85	unit 86	unit 87	unit 88	unit 89	unit 90
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	10	10	10	10
12	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	10	10	10	10	10
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	55	55	55	55	55	55	55	55	33	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางก.10 พลังงานที่ใช้ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 100 เครื่องโดยวิธีที่นำเสนอ ในเวลา 24 ชั่วโมง (ต่อ)

ชั่วโมง	unit 91	unit 92	unit 93	unit 94	unit 95	unit 96	unit 97	unit 98	unit 99	unit 100	ราคาต้นทุน
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6999.99
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7500.001
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8499.992
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9499.991
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10000
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11000
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11500
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12000
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13000.01
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13480
11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	14630
12	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	15140
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13999.99
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12999.99
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12000
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10499.99
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10000
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10999.99
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12000
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14000
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12894
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11000
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9000.002
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7999.999

การหารายการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด

Optimal Unit Commitment

รศ.ดร.รัตนา วิชา ทัศนภูมิ กอบพันธ์ นัฐวุฒิ ช้างน้อย และ ประจักษ์ แก้วสุกใส

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1 ซอย ฉลองกรุง 1 ลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 โทรศัพท์ 02-329-8000 ต่อ 3925 E-Mail: prasopchok_ho@hotmail.com

บทคัดย่อ

ตารางการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรือยูนิตคอมมิทเมนต์ใช้ในการเลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยคำนึงถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ควบคู่กับข้อจำกัดทางเทคนิค ปัญญาวิธีฉบับนี้จึงนำวิธีการเชิงพันธุกรรมมาใช้แก้ปัญหายูนิตคอมมิทเมนต์ ในเบื้องต้นได้ทำการพิจารณาแบบที่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้าภายในเวลา 24 ชั่วโมง พิจารณาเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 เครื่อง และได้ขยายระบบแบบเชิงเส้นเป็น 30, 60 และ 100 เครื่อง ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ แต่ไม่พิจารณาความสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบ การจำลองระบบและการคำนวณค่าถูกสร้างโดยโปรแกรม MATLAB และเพื่อเป็นการปรับปรุงเวลาในการคำนวณและคุณภาพของคำตอบสุดท้าย ดังนั้นปัญญาวิธีฉบับนี้จึงนำเสนอกระบวนการหาคำตอบโดยการประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมร่วมกับวิธีทางคณิตศาสตร์โดยคุณภาพคำตอบสุดท้ายนั้นสามารถพิจารณาได้จากค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและเวลาการคำนวณนั้นพิจารณาจากการเปรียบเทียบระหว่างวิธีเชิงพันธุกรรมและวิธีการที่นำเสนอ จากการศึกษาพบว่าวิธีการที่นำเสนอให้คำตอบสุดท้ายที่ต่ำกว่าและให้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าวิธีการเชิงพันธุกรรม ทั้งนี้มีความคาดหวังว่า วิธีการที่นำเสนอ จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อลดราคาค่าดำเนินงานในระบบไฟฟ้าและระยะเวลาในการคำนวณได้

คำสำคัญ : ยูนิตคอมมิทเมนต์ วิธีการเชิงพันธุกรรม

ABSTRACT

A unit commitment is used to select a generator through considering economic value and with technical constraints. In this research, genetic algorithm is used in order to solve the unit commitment problem. In this thesis we consider an electrical power system with 10, 30, 60 and 100 generator units 24 hours under many constraints without accounting for the loss. This study aims to reduce computation time and improve the quality of the final solution. Therefore, researchers have

created a procedure to find a final solution by applying the genetic algorithm with mathematical process. The qualities of the final solution are justified by mean and standard deviation. And the computation time is compare by comparing between the genetic algorithm and proposed method. With the obtained result, it shows that the proposed method reveals a lower final solution and requires less computation time than the genetic algorithm. Researchers have expected that the proposed method can be applied in order to minimize the operational expenses of electric power system and also lower the computation time

Key word : Unit commitment, Genetic algorithm

1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันมีการศึกษาทางด้านการประมาณค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานทางด้านต่างๆอย่างแพร่หลาย ซึ่งสามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าด้วยวิธีการต่างๆ โดยวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยใช้วิธีการต่างๆนี้จะช่วยเป็นประโยชน์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ ทำให้เลือกเครื่องกำเนิดไฟฟ้าให้ทำงานได้อย่างเหมาะสมและมีราคาต่ำที่สุด ซึ่งเป็นที่นิยมในการใช้งานสำหรับประเทศต่างๆที่มีการแข่งขันกันทางด้านกรจ่ายกำลังไฟฟ้า ซึ่งในอนาคตอาจจะมีกรนำมาใช้งานในประเทศไทยได้

วิธีการทางเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) เป็นวิธีการหาค่าที่เหมาะสมอีกวิธีหนึ่งที่มีข้อได้เปรียบคือ แต่คำตอบที่ได้อาจไม่ใช่ค่าที่เหมาะสมที่สุดและยังใช้เวลาในการคำนวณเป็นเวลานาน จึงได้มีการนำวิธี GA มาทำงานร่วมกับวิธีที่ทางคณิตศาสตร์จึงมีความคาดหวังว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเดินเครื่องกำเนิด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าภายใต้เวลาที่สมเหตุสมผล วิธีการนี้จึงน่าจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการใช้งานต่อไปในอนาคต

2. ปัญหาชนิดคอมมิตเมนต์ (Unit Commitment)

ในการคำนวณ Unit commitment นั้นมีเงื่อนไขในการพิจารณามากมาย โดยในเครื่องจักรชนิดต่างๆจะมีเงื่อนไขแตกต่างกันทั้งจากตัวเครื่อง และจากระบบนอกจากนี้ยังต้องมีการคิดในเรื่องการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch) รวมอยู่ด้วยเพื่อให้คำนวณการจ่ายโหลดให้ประหยัดที่สุด

จากการที่ต้องตัดสินใจในการเปิดหรือปิดเครื่องจักรในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งนั้นในกรณีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนจะมีต้นทุนในส่วนของการเชื้อเพลิง (Fuel cost) และต้นทุนการเดินเครื่อง (Start up cost) หากพิจารณาราคาต้นทุนทั้งหมดได้ดังสมการนี้

$$TC = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^N (FC_i(t) + SC_i(t)) \quad (1)$$

เมื่อ FC_i คือ ค่าราคาเชื้อเพลิง (Fuel cost)
 SC_i คือ ค่าราคาการเดินเครื่อง (Start up cost)
 T คือ เวลา (ชั่วโมง)
 N คือ จำนวนเครื่อง
 โดยที่สมการราคาเชื้อเพลิงที่มีผลต่อราคาต้นทุนทั้งหมดนั้นจะเป็นไปตามเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นๆ มีรายละเอียดตามสมการที่ (2)

$$FC_i(t) = a_i + b_i P_i(t) + c_i P_i^2(t) \quad (2)$$

เมื่อ a_i, b_i, c_i คือ ค่าคงตัวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ i
 P_i คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า i
 สำหรับในส่วนของการเริ่มเดินเครื่องจักรไฟฟ้านั้นจะเป็นไปตามเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นๆ โดยมีการเริ่มเดินแบบ hot start และ cold start

จากที่กล่าวมานั้นยังมีปัญหาข้อจำกัดบางอย่างที่ต้องพิจารณาเพิ่มมีจำนวนมากซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

2.1 เงื่อนไขความสมดุลกำลังไฟฟ้า (System Power balance)

ความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบในแต่ละชั่วโมงจะต้องสัมพันธ์กับผลรวมกำลังที่ผลิตได้ดังสมการ (3)

$$D(t) = \sum_{i=1}^N P_i(t) \quad (3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ผลิตขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $D(t)$ คือ ความต้องการพลังงานไฟฟ้าที่เวลา t
 P_i คือ พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

2.2 เงื่อนไขกำลังผลิตไฟฟ้าสำรอง (Spinning Reserve)

กำลังผลิตสำรองเป็นการอธิบายถึง ค่ากำลังสำรองของโรงจักรที่พร้อมจ่ายเพิ่มทันทีจากการเดินเครื่องในภาวะปกติ โดยปกติการผลิตกำลังสำรองนั้นจะคำนวณตามเปอร์เซ็นต์ของความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุด ณ เวลานั้นตามสมการที่ 4

$$\sum_{i=1}^N u_i(t) \cdot P_i^{\max} \geq D(t) + R(t) \quad (4)$$

2.3 เงื่อนไขขีดจำกัดกำลังการผลิต

$$P_i^{\min} \leq P_i(t) \leq P_i^{\max} \quad (5)$$

2.4 เงื่อนไขเวลาอย่างน้อยที่สุดที่จะหยุดและเดินเครื่อง (Minimum up time, down time)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนจะไม่สามารถเดินหรือหยุดเครื่องได้ในทันทีทันใด ต้องอาศัยระยะเวลาหนึ่งในการดำเนินการ

2.5 เงื่อนไขขีดจำกัดการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิต (ramp - rate limit)

เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนไม่สามารถเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตได้อย่างทันทีทันใด ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตต้องเป็นไปตามสมการที่ (6) และ (7)

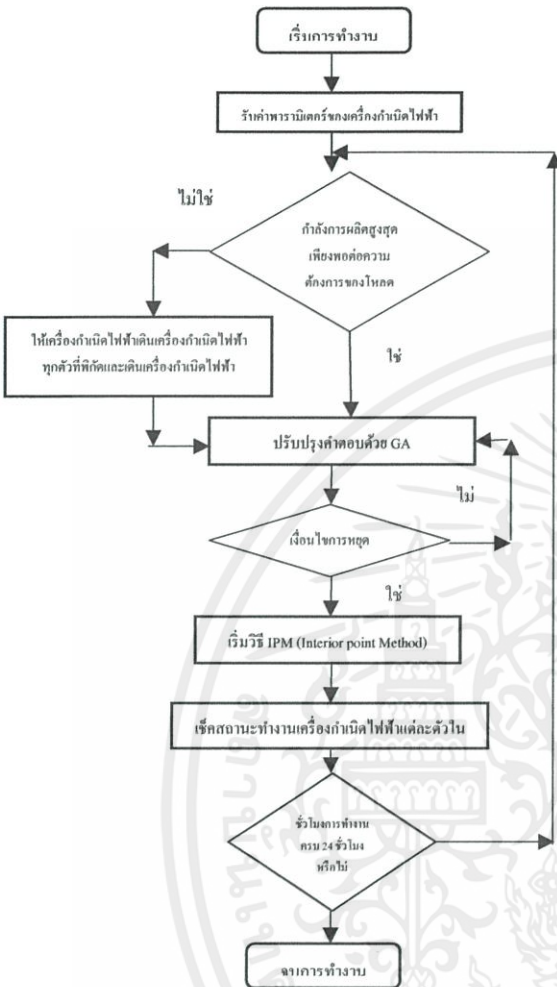
$$P_{it} - P_{i(t-1)} \leq UR_i \quad (6)$$

$$P_{i(t-1)} - P_{it} \leq DR_i \quad (7)$$

UR_j คือ ขีดจำกัดการเปลี่ยนแปลงกำลังผลิตเมื่อมีการผลิตกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น

DR_j คือ ขีดจำกัดการเปลี่ยนแปลงกำลังผลิตเมื่อมีการผลิตกำลังไฟฟ้าต่ำลง

3. วิธีการคำนวณยูนิตคอมมิตเมนต์

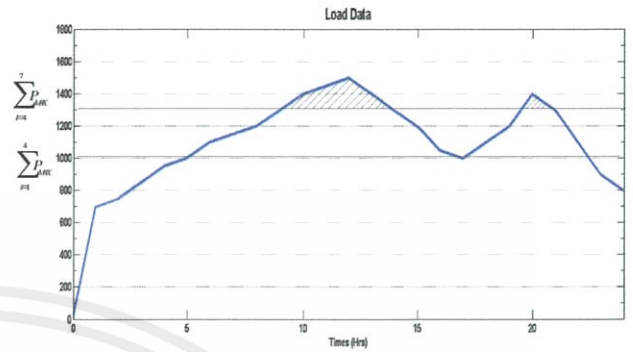


รูปที่ 1 ผังการทำงานยูนิตคอมมิตเมนต์

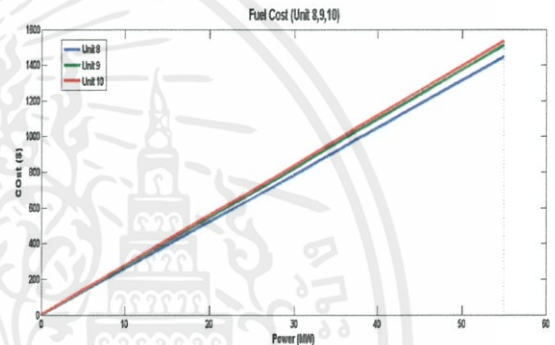
ในการคำนวณยูนิตคอมมิตเมนต์นั้นจะมีขั้นตอนการทำงานดังผังการทำงาน ในรูปที่ 1 เมื่อเริ่มทำงานจะมีการรับค่าตัวแปรต่างๆของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากนั้นจะเป็นการตรวจสอบสถานะในการทำงานเบื้องต้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และมีการเก็บค่ากำลังการผลิตสูงสุดไว้ จากนั้นจะเป็นการพิจารณาว่ากำลังการผลิตที่สามารถผลิตได้ในชั่วโมงนั้นมีความเพียงพอต่อโหลดหรือไม่ ซึ่งพฤติกรรมของโหลคนั้นแสดงในรูปที่ 2 หากกำลังการผลิตมีมากกว่าความต้องการ โหลดจะมีการหารางเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยวิธีทางพันธุกรรม ในทางกลับกัน หากกำลังการผลิตมีน้อยกว่าความต้องการ โหลดจะมีการหารางเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทุกตัวที่ติดตั้ง และเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่เป็นหน่วยสำรอง โดยมีหลักเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามรูปที่ 3 อธิบายไว้ว่าจะเลือกเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีราคาต่ำสุดก่อน จากนั้นมีการเก็บค่าสถานะการทำงาน ค่า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำลังไฟฟ้าที่ผลิต ขั้นตอนสุดท้ายมีการตรวจสอบสถานะการทำงานในชั่วโมงต่อไป และเริ่มคืนทำงานในชั่วโมงถัดไปจนครบช่วงเวลาที่ยังพิจารณา



รูปที่ 2 ข้อมูลการใช้กำลังไฟฟ้าภายใน 24 ชั่วโมง



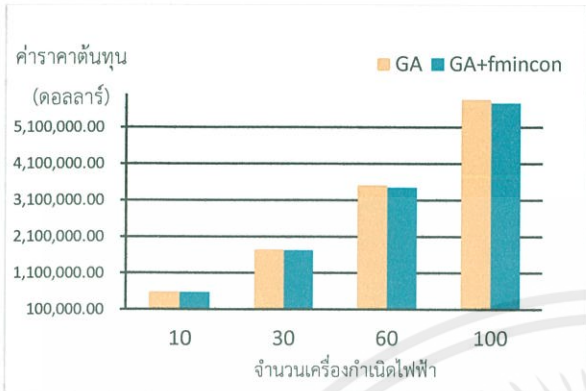
รูปที่ 3 ราคาการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (เครื่องที่ 8,9,10)

4. ผลการคำนวณ

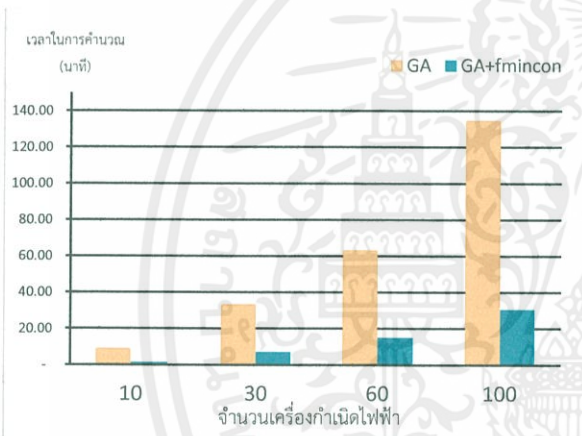
การคำนวณนั้นจะ แบ่งกรณีพิจารณาออกเป็นสองกรณีคือกรณีที่ 1 ใช้วิธีการวิธีเชิงพันธุกรรม (GA) กรณีที่ 2 วิธีการที่นำเสนอ ใช้วิธีการ GA ร่วมกับวิธีจุดภายใน มีจำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10, 30, 60 และ 100 เครื่องในการพิจารณา จำนวนอิสระต่อกัน ใช้คอมพิวเตอร์ CPU Core I7-3573U 2.0GHz RAM 4.00 GB โปรแกรมที่ใช้เขียน คือ MATLAB versions R2011b จะได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการคำนวณระหว่างวิธี GA และวิธีที่นำเสนอ

Unit	GA		GA+Fmincon	
	ต้นทุนการผลิตโดยเฉลี่ย (ดอลลาร์)	เวลาโดยเฉลี่ย (วินาที)	ต้นทุนการผลิตโดยเฉลี่ย (ดอลลาร์)	เวลาโดยเฉลี่ย (วินาที)
10	584,403.51	543.31	576,368.62	89.79
30	1,738,522.78	2,004.48	1,728,657.81	428.84
60	3,508,290.96	3,800.10	3,444,663.68	906.41
100	5,829,240.32	15,229.85	5,771,114.49	1,831.00



รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบราคาค่าต้นทุนระหว่างวิธี GA กับ วิธี ที่นำเสนอ



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบเวลาในการคำนวณระหว่างวิธี GA กับ วิธี ที่นำเสนอ

จากการจำลองระบบ 10 เครื่อง พบว่าราคาเฉลี่ยของวิธี GA นั้นมีราคาสูงกว่าวิธีที่นำเสนอ และเวลาที่ใช้โดยวิธี GA นั้นใช้เวลานานกว่าวิธีที่นำเสนอ หากได้มีการขยายระบบเป็น 30 60 และ 100 เครื่อง พบว่าวิธีที่นำเสนอนั้นราคาการผลิตกำลังไฟฟ้าและเวลาที่ใช้ในการจำลองระบบนั้นยังดีกว่าวิธี GA ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 และรูปที่ 5 แสดงความแตกต่างของราคาและเวลาในการคำนวณระหว่างการใช้วิธี GA

5. สรุป

ปริญญาโทฉบับนี้เป็นการศึกษาถึงวิธีการแก้ปัญหาชนิดคอมมิทเมนต์ (Unit Commitment: UC) โดยใช้วิธีการวิเชิงพันธุกรรม (GA) และวิธีการที่นำเสนอโดยใช้วิธีการ GA ร่วมกับวิธีจุกภายใน (GA+fmincon) ในการแก้ปัญหาโดยแยกพิจารณาปัญหาเป็นสองวิธีเปรียบเทียบกัน โดยแบ่งกรณีการพิจารณาเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10, 30, 60 และ 100 เครื่อง โดยไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลทดสอบและศึกษาสามารถสรุปได้ว่าวิธีการ GA+fmincon สามารถแก้ปัญหาชนิดคอมมิทเมนต์ในเงื่อนไขต่างๆ ได้ดีกว่าเนื่องจาก GA เป็นวิธีการแบบสุ่มและวิธีจุกภายใน เป็นวิธีทางคณิตศาสตร์ซึ่งหาค่าโดยวิธีแคลคูลัส ทำให้การลู่เข้าของฟังก์ชันที่เป็นการสุ่มจะช้ากว่าวิธีทางคณิตศาสตร์ การใช้วิธีที่นำเสนอ จึงรวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากกว่า

เอกสารอ้างอิง

- [1] Allen J. Wood and Bruce F. Wollenberg., **Power Generation Operation and Control**, 2nd Ed., New York, John Wiley & Sons, Inc., 1996.
- [2] A.M.S. Zalzal and P.J.Fleming, **Genetic algorithm in engineering system**, London, The institution of Electrical Engineers, 1997.
- [3] D. E. Goldberg, **“Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning,”** Reading, M.A., Addison Wiley
- [4] Prof.Dr.-ng.IErich, **“Genetic Algorithm lecture”**, University of Duisburg-Essen Germany.
- [5] R. L. Haupt and S. E. Haupt, **“Practical Genetic Algorithms,”** Second Ed., Wiley
- [6] Tomonobu Senjyu, Hirohito Yamashiro, Katsumi Uezato, and Toshihisa Funabashi, **A Unit Commitment Problem by using Genetic Algorithm Based on Unit Characteristic Classification**, IEEE, Power Engineering Society Winter Meeting, vol.1, 2002, pp. 58 – 63.
- [7] T. Weise, M. Zapf, R. Chiong and A. J. Nebro, **“Why is optimization difficult,”** In *Nature-Inspired Algorithms for Optimisation*, R. Chiong (Ed.), Springer, Heidelberg 2009
- [8] The MathWorks, Inc., **“optimset”**, 1984-2011 The MathWorks, Inc.
- [9] กมล พงษ์ชาติพร, **“การทำชนิดคอมมิทเมนต์ในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่”**วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543
- [10] พลทีพัฒน์ อมรรณานูบาล และ คณะ, **“การวางแผนการผลิตพลังงานไฟฟ้าระยะสั้นโดยข้อกำหนดของชนิดคอมมิทเมนต์”**, วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.

ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ประวัติผู้เขียน



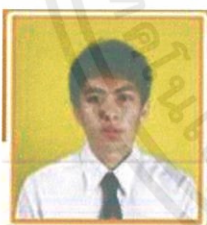
นายชงเทพ รัตน์วิชา

60/107 ซ.นวลจันทร์ ถ.รามอินทรา บึงกุ่ม คลองกุ่ม กรุงเทพฯ 10230

E-mail ratanavicaa@gmail.com tel 081-450-1045

นาย ชาญภูมิ กอบฝัน

17/28 ถนนสวรรควิถึ ตำบลแม่สอด อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก 63110

E-mail tanapoom.kobfun@facebook.com tel 088-155-2151

นายณัฐวุฒิ ช้างน้อย

138 ม.11 ต.คลองจินดา อ.สามพราน จ.นครปฐม 73110

E-mail aminor.ronima@facebook.com tel 087-361-0179

นายปรุจน์ แก้วสุกใส

57/3 หมู่ 11 ตำบลที่วัง อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80310

E-mail aiiz.tpk@gmail.com tel 090-107-6396

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้