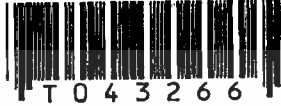


การจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิก โดยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม

DYNAMIC GENERATION DISPATCH BY MEANS OF  
GENETIC ALGORITHMS



วท.

ว. ๕๐๐

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 43266  
วัน, เดือน, ปี..... 8 ส.ค. 2545

b..... 11297440  
i..... 12115800

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาคตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า  
บัณฑิตวิทยาลัย  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
พ.ศ. 2545

ISBN 974-648-741-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



**COPYRIGHT 2002**

**SCHOOL OF GRADUATE STUDIES**

**KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DYNAMIC GENERATION DISPATCH BY MEANS OF  
GENETIC ALGORITHMS**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING  
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2002**

**ISBN 974-648-741-8**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี จากความสนับสนุนของอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาของผู้เขียน ซึ่งท่านทั้งสองไม่เพียงแต่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในด้านวิชาการต่อลูกศิษย์เพียงอย่างเดียว ท่านยังให้แนวคิดในด้านต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อผู้เขียนเป็นอย่างยิ่ง ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณท่านทั้งสองมา ณ. ที่นี้

ผู้เขียนถือ โอกาสนี้ในการขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ในงานวิจัย

ผู้เขียนขอขอบพระคุณน้องๆ ห้องวิจัย STAFF2 ที่มีน้ำใจช่วยเหลือผู้เขียนตลอดมา

ท้ายที่สุดนี้ ผู้เขียนขอขอบพระคุณแผนกซอฟต์แวร์จัดการพลังงาน (Energy Management System Software Selection) กองเทคโนโลยีศูนย์ควบคุม และ ศูนย์ควบคุมระบบกำลังไฟฟ้าแห่งชาติ ฝ่ายควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้โอกาสผู้เขียนเข้าร่วมทำงาน และให้โอกาสในการเรียนรู้ระบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการควบคุมการผลิตและส่งจ่ายไฟฟ้า ในระยะเวลาที่ทำงานร่วมกันนั้น ผู้เขียนขอขอบพระคุณที่ท่านได้ถ่ายทอดความรู้และประสบการณ์อย่างไม่มีปิดบัง และผู้เขียนจะถ่ายทอดความรู้ที่ได้รับและความรู้ที่ผู้เขียน ได้ศึกษาค้นคว้าสู่สาธารณะต่อไป

ความคิดของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบให้อาจารย์ของผู้เขียนทุกท่าน

ฉันทกร จำศิลป์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การจัดการกำลังการผลิตไฟฟ้าในลักษณะโคเนมิก โดยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม  
ชื่อนักศึกษา นายฉันทกร จำศิลป์  
รหัสประจำตัว 40061014  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า  
พ. ศ. 2545  
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ รศ. ศิริวัฒน์ โทธิเวชกุล  
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ร่วม ผศ. ดร. วีรกร อ่องสกุล

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แสดงวิธีการจัดการกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ทั้งในลักษณะสแตติกและโคเนมิก โดยวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง เนื้อหาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบอัลกอริทึมเฉพาะสำหรับการจัดการกับข้อจำกัดในการผลิตที่มีอยู่ในระบบอย่างเหมาะสม วิธีแชรริงอัลกอริทึมเป็นวิธีที่หนึ่งที่พัฒนาขึ้นในการจัดการกับข้อจำกัดการผลิตไฟฟ้าให้สมดุลอย่างเที่ยงตรง โดยการจัดแบ่งกำลังการผลิตไปยังหน่วยผลิตไฟฟ้าต่างๆ ร่วมกับเทคนิคการเข้ารหัสด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม ซึ่งสามารถใช้ทดแทนวิธีการใช้ฟังก์ชันการปรับโทษได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิธีที่นำเสนอนี้ สามารถช่วยลดพื้นที่คำตอบทั้งหมดลงได้อย่างมาก อีกทั้งยังช่วยขจัดผลกระทบที่ตามมาจากการออกแบบฟังก์ชันปรับโทษที่ไม่เหมาะสม เช่นผลของการค้นหาคำตอบของปัญหาที่มีฟังก์ชันหลายเป้าหมาย ซึ่งนำไปสู่พฤติกรรมการค้นหาคำตอบที่ไม่ถูกต้อง ลดผลของการลู่เข้าที่รวดเร็วมากเกินไป โดยวิธีที่นำเสนอนี้สามารถนำไปใช้กับปัญหาการจัดการกำลังการผลิตโดยทั่วไปและปัญหาที่ไม่สามารถคำนวณได้โดยตรงเนื่องจากข้อจำกัดการคำนวณทางคณิตศาสตร์ การปรับปรุงความสามารถของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมเริ่มจากการทดสอบและเฝ้าสังเกต โดยใช้ฟังก์ชัน De Jong ที่มีความซับซ้อนสูง และเมื่อนำไปใช้คำนวณการจัดการกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ที่มีจำนวนหน่วยผลิตที่มากขึ้น พบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถคำนวณหาคำตอบได้อย่างถูกต้องใกล้เคียงกับคำตอบที่ได้จากวิธีโคเนมิกโปรแกรมมิ่งที่มีการปรับปรุงเทคนิคการชุม จากการทดสอบระบบไฟฟ้ากำลังจำลอง, ระบบไฟฟ้ากำลังตามมาตรฐาน IEEE, และระบบไฟฟ้ากำลังจริง เช่นระบบไฟฟ้ากำลังของประเทศไทย ซึ่งจากผลการทดสอบในด้านต่างๆ ทั้งหมดแสดงให้เห็นว่าศาสตร์ทางด้าน การคำนวณแบบอ่อน เช่นวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีนิชซึ่งอัลกอริทึมนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาการจัดการกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ได้เป็นอย่างดี

<b>Thesis Title</b>	Dynamic Generation Dispatch by Means of Genetic Algorithms
<b>Student</b>	Mr. Chantakorn Chamsilp
<b>Student ID.</b>	40061014
<b>Degree</b>	Master of Engineering
<b>Programme</b>	Electrical Engineering
<b>Year</b>	2002
<b>Thesis Advisor</b>	Assoc. Prof. Siriwat Potivejkul Assist. Prof. Dr. Weerakorn Ongsakul

### ABSTRACT

This thesis proposes genetic algorithms and niching genetic algorithms with advanced genetic operators for static and dynamic economic dispatch problems. Various sophisticated techniques designed specifically for constraint manipulation in the problems are described in details. Stochastically allocating power generation among all generating units, energy sharing algorithms provide new strategies satisfying exactly a power balancing equation formed as an equality constraint in the optimization problem without any conventional penalization techniques. By using the proposed algorithms, not only can the objective function be deviated from contaminating of improper scaling factor initialization as well as penalty function designation, but it can also be employed to decrease dramatically a solution space. Therefore, the conclusive efficiency of searching is much improved. Consolidated into advanced operator genetic algorithms and niching genetic algorithms, energy sharing algorithms also reduce adverse effect of multi-objective function weighting, thereby preventing premature convergence. Moreover, their capabilities of even mathematically restricted constraint manipulation are demonstrated. The proposed algorithms are first analyzed by De Jong's complex functions for assessing capability of robust global-optimum searching. For both small-scale and large-scale test problems, dynamic economic dispatching plans of simulated power systems, IEEE test systems and realistic EGAT power systems with highly complicated generator cost curves are reported. The experimental results with comparisons of those from modified zooming dynamic programming method substantiated advantages of the proposed methods for practical implementation.

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	X
สารบัญภาพ .....	XII
บทที่ 1 บทนำและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	3
1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา .....	8
1.4 ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย .....	8
1.5 สมมติฐานของการศึกษาและขอบเขตการวิจัย .....	8
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา .....	9
บทที่ 2 การจัดทำผลการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ .....	10
2.1 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า .....	10
2.2 กราฟคุณลักษณะการผลิตไฟฟ้าของหน่วยผลิต .....	11
2.2.1 กราฟอินพุท-เอาต์พุท .....	11
2.2.2 กราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิต .....	13
2.2.3 กราฟอัตราความร้อน .....	15
2.2.4 กราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิง .....	17
2.2.5 กราฟอัตราพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้น .....	19
2.2.6 กราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น .....	21
2.3 ลักษณะความสัมพันธ์ที่สำคัญระหว่างอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงและอัตราต้นทุนราคา เชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น .....	24
2.3.1 กลุ่มโรงไฟฟ้าโดยทั่วไป .....	24
2.3.2 กลุ่มโรงไฟฟ้าบางประเภท .....	24
2.4 ผลกระทบจากควาล์วเปิด/ปิดไอน้ำ .....	26
2.5 ผลกระทบจากช่วงการผลิตไฟฟ้าต้องห้าม .....	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน **iv** การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 ปัญหาการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติก .....	28
2.6.1 เมื่อไม่คำนึงถึงความสูญเสียจากการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านสายส่งไฟฟ้าแรงสูง .....	28
2.6.1.1 การแก้ปัญหาด้วยวิธีสมการลากรางซ์ .....	30
2.6.1.2 หลักการการจัดค่าแลมปีดาให้มีระดับเท่ากันทั้งระบบ .....	31
2.6.2 เมื่อคำนึงถึงความสูญเสียจากการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านสายส่งไฟฟ้าแรงสูง .....	32
2.6.2.1 การแก้ปัญหาด้วยวิธีสมการลากรางซ์ .....	32
2.6.2.2 หลักการการจัดค่าแลมปีดาให้มีระดับเท่ากันทั้งระบบ .....	32
2.7 ปัญหาการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าในลักษณะโคเนมิก .....	34
2.8 สมการความสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในระบบส่ง .....	38
บทที่ 3 ทฤษฎีและบทวิเคราะห์วิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่ง .....	46
3.1 วิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่งสำหรับการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้า .....	46
3.1.1 เมื่อไม่คำนึงถึงความสูญเสียในระบบส่ง .....	46
3.1.2 เมื่อคำนึงถึงความสูญเสียในระบบส่ง .....	47
3.2 เทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดสำหรับวิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่ง .....	48
3.2.1 หน่วยความจำที่ใช้ในเทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดสำหรับวิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่ง .....	51
3.3 การคำนวณด้วยวิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่งร่วมกับผลการทำนายความต้องการโหลดระยะสั้น .....	51
บทที่ 4 ทฤษฎีและบทวิเคราะห์วิธีเจเนติกอัลกอริทึม .....	53
4.1 แนวคิดพื้นฐานของวิธีเจเนติกอัลกอริทึม .....	53
4.1.1 การสร้างชุดรหัสขึ้นใหม่ .....	54
4.1.2 การแลกเปลี่ยนรหัส .....	55
4.1.3 การผ่าเหล่ารหัส .....	56
4.2 การวิเคราะห์การทำงานของวิธีเจเนติกอัลกอริทึม .....	57
4.2.1 ขบวนการคัดเลือก .....	57
4.2.2 ทฤษฎีสถิติ .....	58
4.2.2.1 สถิติ .....	58
4.2.2.2 บิวติงบลิ๊ต .....	59

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2.3 การวิเคราะห์สัทภิมาค้วสมการทางคณิตศาสตร์ .....	59
4.2.2.4 ผลกระทบของการแลกเปลี่ยนขึ้น .....	60
4.2.2.5 ผลกระทบของการผ่านล่าขึ้น .....	61
4.2.2.6 ผลกระทบของฟังก์ชันความเหมาะสม .....	62
4.2.3 การทำงานที่ขนานกันภายในวิธีเจเนติกอัลกอริทึม .....	63
4.2.4 เจเนติกคริปต์ .....	64
4.3 การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของวิธีเจเนติกอัลกอริทึม .....	64
4.3.1 การเข้ารหัสโครโมโซมที่แข็งแรง .....	64
4.3.1.1 การเข้ารหัสไบนารี .....	65
4.3.1.2 การเข้ารหัสเกรย์ .....	66
4.3.1.3 การเข้ารหัสพารามิเตอร์ .....	67
4.3.1.4 การเข้ารหัสโดยการเปลี่ยนลำดับ .....	67
4.3.2 การปรับค่าความเหมาะสม .....	67
4.3.2.1 การปรับค่าความเหมาะสม โดยการตัดค่าจิกมา .....	67
4.3.3 วิธีการคัดเลือกที่ดี .....	68
4.3.3.1 วิธีการคัดเลือกแบบทัวนาเมนต์ .....	68
4.3.3.2 วิธีการคัดเลือกทั้งหมดแบบสุ่ม .....	68
4.3.4 การแลกเปลี่ยนขึ้น .....	69
4.3.4.1 การแลกเปลี่ยนขึ้นอย่างสม่ำเสมอ .....	69
4.3.4.2 การอยู่รอดของสภิมาภายหลังการแลกเปลี่ยนขึ้น .....	70
4.3.5 เทคนิคการปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนขึ้นและการผ่านล่าขึ้น ..	72
4.3.6 การป้องกันการลู่เข้าที่เร็วเกินไป .....	73
4.3.6.1 วิธีการคัดเลือกคู่ชุดโครโมโซมสำหรับการปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ .....	73
4.3.6.2 วิธีการสร้างชุดโครโมโซมใหม่ .....	74
4.3.6.3 วิธีการนำชุดโครโมโซมใหม่แทนที่ชุดโครโมโซมเดิม .....	74
บทที่ 5 ทฤษฎีและบทวิเคราะห์วิธีนิชังเจเนติกอัลกอริทึม .....	75
5.1 วิธีนิชังเจเนติกอัลกอริทึม .....	75
5.2 วิธีการใช้ฟังก์ชันแซร์ริง .....	75

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.3 วิธีคราวด์ิง .....	77
5.4 วิธีคิเทอร์มินนิสติกคราวด์ิง .....	77
<b>บทที่ 6 วิธีแชร์ริงอัลกอริทึมและการเข้ารหัสสำหรับวิธีเจเนติกอัลกอริทึม .....</b>	<b>79</b>
6.1 วิธีการจัดการกับข้อจำกัดการผลิตไฟฟ้า .....	79
6.1.1 สมการปรับโทษ .....	79
6.1.2 สมการจากฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง .....	80
6.1.3 สมการจากฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น .....	81
6.1.4 สมการจากค่าแลมปีดาของระบบ .....	81
6.2 วิธีการคำนวณหาค่าการผลิตอ้างอิงเมื่อคำนึงถึงความสูญเสียในระบบส่ง .....	82
6.3 วิธีแชร์ริงอัลกอริทึม .....	83
6.4 การประยุกต์ใช้วิธีแชร์ริงอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดการผลิตในลักษณะ ไดเนมิก .....	85
<b>บทที่ 7 การประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดการผลิต ไฟฟ้าที่คุ้มค่าในทาง     เศรษฐศาสตร์ .....</b>	<b>88</b>
7.1 การจัดการกับสมการและอสมการข้อจำกัดในการผลิต ไฟฟ้า .....	88
7.1.1 อสมการกำลังการผลิตสูง/ต่ำสุดของหน่วยผลิต ไฟฟ้า .....	88
7.1.2 อสมการอัตราการผลิตที่เพิ่ม/ลดของหน่วยผลิต ไฟฟ้า .....	89
7.1.3 สมการการผลิต ไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการ โหลดรวมถึงความสูญเสียใน ระบบส่ง .....	89
7.1.4 เงื่อนไขในการหยุดสร้างกลุ่มประชากรรุ่นใหม่ .....	89
7.2 ขั้นตอนการทำงานของจัดการกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์โดยวิธีเจเนติก อัลกอริทึมและวิธีนิชชิงเจเนติกอัลกอริทึม .....	90
7.2.1 การจัดการกำลังการผลิตในลักษณะสแตติก .....	90
7.2.2 การจัดการกำลังการผลิตในลักษณะ ไดเนมิก .....	94
<b>บทที่ 8 ผลการทดสอบและบทวิเคราะห์ผลลัพธ์ .....</b>	<b>97</b>
8.1 การทดสอบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ .....	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ VII ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

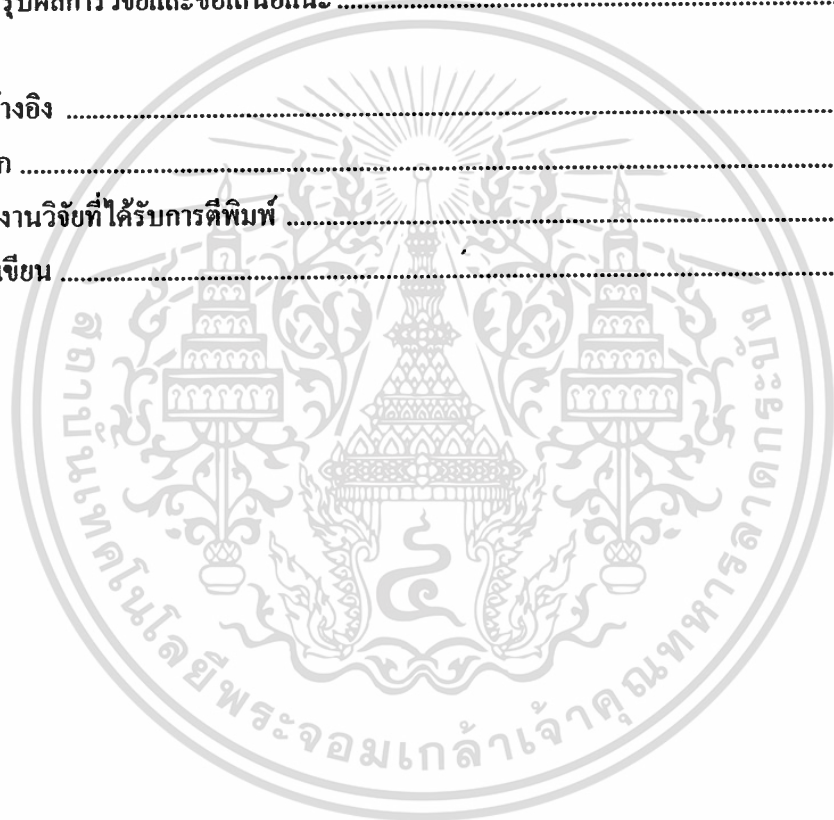
## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
8.1.1 ฟังก์ชัน $F1$ (De Jong's function) .....	99
8.1.2 ฟังก์ชัน $F2$ (Rosenbrock's valley function) .....	110
8.1.3 ฟังก์ชัน $F5$ (Shekel's Foxholes function) .....	121
8.1.4 ฟังก์ชัน $F6$ (Rastrigin's function) .....	132
8.1.5 ฟังก์ชัน $F7$ (Schwefel's function) .....	143
8.1.6 ฟังก์ชัน $F8$ (Griewangk's function) .....	154
8.1.7 ฟังก์ชัน $F9$ (De Jong's function) .....	165
8.1.8 ฟังก์ชัน $F10$ (De Jong's function) .....	176
8.2 การทดสอบปัญหาการจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ .....	187
8.2.1 การทดสอบความสามารถของวิธีแฮร์ริงอัลกอริทึม .....	195
8.2.1.1 ระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย .....	195
8.2.1.2 ระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 10 หน่วย .....	197
8.2.2 การทดสอบความสามารถในการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติก .....	199
8.2.2.1 ระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย .....	199
8.2.2.2 ระบบทดสอบ IEEE 118 Bus .....	213
8.2.2.3 ระบบทดสอบ THA 424 Bus .....	221
8.2.3 การทดสอบความสามารถในการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิก .....	233
8.2.3.1 ระบบทดสอบ IEEE 30 Bus .....	233
8.2.3.2 ระบบทดสอบ IEEE 118 Bus .....	251
8.2.3.3 ระบบทดสอบ THA 424 Bus .....	259
8.3 บทวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบ .....	274
8.3.1 ปัญหาการจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ .....	274
8.3.2 วิธีเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง ...	276
8.3.3 วิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง .....	277
8.3.4 วิธีแฮร์ริงอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดกำลังการผลิต .....	280
8.3.5 วิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งสำหรับการจัดกำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าที่คุ้มค่า ในทางเศรษฐศาสตร์ .....	282

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

8.3.6 วิจัยเนติกัลลการที่มาร่วมกับตัวปฏิบัติทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง สำหรับการจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ในลักษณะสเตติก .....	283
8.3.7 วิจัยเนติกัลลการที่มาร่วมกับตัวปฏิบัติทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง สำหรับการจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ในลักษณะไดเนมิก ....	285
บทที่ 9 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ .....	287
เอกสารอ้างอิง .....	290
ภาคผนวก .....	297
บทความงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ .....	298
ประวัติผู้เขียน .....	305



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ตัวอย่างค่าความเหมาะสมของปัญหาการปรับตั้งค่าสวิตช์ .....	55
4.2 ตัวอย่างการคำนวณในช่วงขบวนการคัดเลือก .....	57
4.3 ตัวอย่างการคำนวณในช่วงการดำเนินการทางพันธุศาสตร์ .....	57
8.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ด้วยวิธี AOGAs .....	98
8.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ด้วยวิธี AONGAs .....	98
8.3 ผลการทดสอบฟังก์ชัน $F1$ จำนวน 100 ครั้ง .....	100
8.4 ผลการทดสอบฟังก์ชัน $F2$ จำนวน 100 ครั้ง .....	111
8.5 ผลการทดสอบฟังก์ชัน $F5$ จำนวน 100 ครั้ง .....	122
8.6 ผลการทดสอบฟังก์ชัน $F6$ จำนวน 100 ครั้ง .....	133
8.7 ผลการทดสอบฟังก์ชัน $F7$ จำนวน 100 ครั้ง .....	144
8.8 ผลการทดสอบฟังก์ชัน $F8$ จำนวน 100 ครั้ง .....	155
8.9 ผลการทดสอบฟังก์ชัน $F9$ จำนวน 100 ครั้ง .....	166
8.10 ผลการทดสอบฟังก์ชัน $F10$ จำนวน 100 ครั้ง .....	177
8.11 ฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงสำหรับระบบที่ใช้ทดสอบ .....	188
8.12 ผลลัพธ์การจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์สำหรับระบบไฟฟ้าทดสอบที่มีหน่วย ผลิตไฟฟ้า 10 หน่วย .....	198
8.13 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบ ที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วยด้วยวิธี AOGAs และวิธี AONGAs .....	203
8.14 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะสแตติกของระบบไฟฟ้าที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วยจำนวน 100 ครั้ง .....	209
8.15 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกของระบบ ไฟฟ้า IEEE 118 Bus ด้วยวิธี AOGAs และ AONGAs .....	214
8.16 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะสแตติกของระบบไฟฟ้า IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง .....	215
8.17 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกของระบบ ไฟฟ้า THA 424 Bus ด้วยวิธี AOGAs และ AONGAs .....	223
8.18 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะสแตติกของระบบไฟฟ้า THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง .....	225

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
8.19 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกของระบบไฟฟ้า IEEE 30 Bus ด้วยวิธี AOGAs และ AONGAs .....	234
8.20 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกของระบบไฟฟ้า IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	243
8.21 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกของระบบไฟฟ้า IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	247
8.22 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกของระบบไฟฟ้า IEEE 118 Bus ด้วยวิธี AOGAs และ AONGAs .....	251
8.23 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกของระบบไฟฟ้า IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง .....	252
8.24 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกของระบบไฟฟ้า THA 424 Bus ด้วยวิธี AOGAs และ AONGAs .....	259
8.25 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกของระบบไฟฟ้า THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง .....	261
8.26 ผลการเปรียบเทียบค่าผลลัพธ์จากการทดสอบทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี AOGAs และ AONGAs .	279
8.27 ผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี AOGAs และ AONGAs .....	279
8.28 ผลการเปรียบเทียบค่าผลลัพธ์จากการทดสอบการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าด้วยวิธี AOGAs และ AONGAs .....	286
8.29 ผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าด้วยวิธี AOGAs และ AONGAs .....	286

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ตัวอย่างฟังก์ชันควอคราติกที่ได้จากประมาณข้อมูลการทดสอบหน่วยผลิตไฟฟ้า .....	10
2.2 ตัวอย่างกราฟอินพุท-เอาต์พุทของหน่วยผลิต ไฟฟ้าพลังความร้อน (SB-T1) .....	11
2.3 ตัวอย่างกราฟอินพุท-เอาต์พุทของหน่วยผลิต ไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (BPK-C1) .....	12
2.4 ตัวอย่างกราฟอินพุท-เอาต์พุทของหน่วยผลิต ไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (RB-C1) .....	12
2.5 ตัวอย่างกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงของหน่วยผลิต ไฟฟ้าพลังความร้อน (SB-T1) .....	13
2.6 ตัวอย่างกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงของหน่วยผลิต ไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (BPK-C1) .....	14
2.7 ตัวอย่างกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงของหน่วยผลิต ไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (RB-C1) .....	14
2.8 ตัวอย่างกราฟอัตราความร้อนของหน่วยผลิต ไฟฟ้าพลังความร้อน (SB-T1) .....	15
2.9 ตัวอย่างกราฟอัตราความร้อนของหน่วยผลิต ไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (BPK-C1) .....	16
2.10 ตัวอย่างกราฟอัตราความร้อนของหน่วยผลิต ไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (RB-C1) .....	16
2.11 ตัวอย่างกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงของหน่วยผลิต ไฟฟ้าพลังความร้อน (SB-T1) .....	17
2.12 ตัวอย่างกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงของหน่วยผลิต ไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (BPK-C1) .....	18
2.13 ตัวอย่างกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงของหน่วยผลิต ไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (RB-C1) .....	18
2.14 ตัวอย่างกราฟอัตราพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้นของหน่วยผลิต ไฟฟ้าพลังความร้อน (SB-T1) .....	19
2.15 ตัวอย่างกราฟอัตราพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้นของหน่วยผลิต ไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (BPK-C1) .....	20
2.16 ตัวอย่างกราฟอัตราพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้นของหน่วยผลิต ไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (RB-C1) .....	20
2.17 ตัวอย่างกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นของหน่วยผลิต ไฟฟ้าพลังความร้อน (SB-T1) .....	21
2.18 ตัวอย่างกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นของหน่วยผลิต ไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (BPK-C1) .....	22
2.19 ตัวอย่างกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นของหน่วยผลิต ไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (RB-C1) .....	22
2.20 ตัวอย่างกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงและอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นของหน่วยผลิต ไฟฟ้าพลังความร้อน (SB-T1) .....	23
2.21 ตัวอย่างกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงและอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นของหน่วยผลิต ไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (BPK-C1) .....	23

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.22 ตัวอย่างกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงและอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (RB-C1) .....	24
2.23 ลักษณะพารามิเตอร์ที่สำคัญของของฟังก์ชันอินพุท-เอาต์พุท .....	25
2.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย ( $\alpha$ ) และค่าอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ( $\beta$ ) .....	25
2.25 ตัวอย่างกราฟอัตราอินพุท-เอาต์พุทหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบจากวาล์วปิด/เปิดไอน้ำ .....	26
2.26 ตัวอย่างกราฟอัตราพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้น สำหรับหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบจากวาล์วปิด/เปิด ไอน้ำ .....	27
2.27 ตัวอย่างกราฟอัตราอินพุท-เอาต์พุทหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน เมื่อพิจารณาถึงช่วงการผลิตไฟฟ้าต้องห้าม .....	28
2.28 ตัวอย่างสภาวะการควบคุมระบบเมื่อ ไม่คำนึงถึงความคุ้มทุนในทางเศรษฐศาสตร์ .....	35
2.29 ตัวอย่างสภาวะการควบคุมระบบเมื่อคำนึงถึงความคุ้มทุนในทางเศรษฐศาสตร์ตามหลักการจัดแฟคเตอร์แลมปีดาให้มีค่าเดียวกันทั้งระบบ .....	36
2.30 ตัวอย่างสภาวะการควบคุมระบบเมื่อคำนึงถึงความคุ้มทุน ในทางเศรษฐศาสตร์ตามหลักการจัดแฟคเตอร์แลมปีดาให้มีค่าเดียวกันทั้งระบบ แต่มีสายส่งไฟฟ้าที่รับส่งพลังงานในระดับเกินพิกัด .....	37
3.1 ขั้นตอนการคำนวณตามวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่ง เมื่อคำนึงถึงความสูญเสียในระบบส่ง .....	49
3.2 ลักษณะการชุมในรอบการคำนวณที่ 1 และ 2 .....	52
4.1 แนวคิดของการเข้ารหัสและการวัดค่าเอาต์พุท สำหรับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสม .....	54
4.2 กงล้อรูเล็ตที่ใช้ในขบวนการคัดเลือกสุทธ้อย่างง่าย .....	55
4.3 ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนรหัสอย่างง่าย .....	56
4.4 ตัวอย่างการผ่าเหล่ารหัสอย่างง่าย .....	56
4.5 โครงสร้างของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมอย่างง่าย .....	56
4.6 ไฮเปอร์เพลนของสทิกมาขนาดความยาวเท่ากับ 3 .....	59
4.7 การจัดเรียงตัวของประชากร .....	66
4.8 การทำงานของการคัดเลือกแบบทัวนาเมนต์ .....	68
4.9 วิธีการคัดเลือกทั้งหมดแบบสุ่ม .....	69
4.10 การแลกเปลี่ยนยีนด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนยีนอย่างสม่ำเสมอ .....	69

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.11 ตำแหน่งที่เกิดการแลกเปลี่ยนเงิน โดยตรงเทียบกับวิธีการแลกเปลี่ยนเงินชนิดต่างๆ .....	70
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างชุดโครโมโซม, สกิวมา $A$ , และตำแหน่งการแลกเปลี่ยนจากวิธีการแลกเปลี่ยนเงินสองจุด .....	71
5.1 ชุดการแข่งขันที่เกิดขึ้นจากวิถีคิเทอร์มินนิสติกคร่าว์ดิ่ง .....	78
5.2 การทำงานของวิถีคิเทอร์มินนิสติกคร่าว์ดิ่ง .....	78
6.1 แนวคิดของวิธีแชรร์ริงอัลกอริทึม .....	83
6.2 การทำงานของวิธีแชรร์ริงอัลกอริทึม .....	85
6.3 แนวคิดของวิธีแชรร์ริงอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดเนมิก .....	86
6.4 วิธีแชรร์ริงอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดเนมิก .....	87
7.1 การจัดการข้อจำกัดกำลังการผลิตสูง/ต่ำสุดของหน่วยผลิตไฟฟ้าด้วยการเข้ารหัส .....	88
7.2 ขั้นตอนการทำงาน โดยสรุปของการจัดกำลังการผลิตในลักษณะสแตติกที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้วิธีเงินเดคอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง .....	92
7.3 ขั้นตอนการทำงาน โดยสรุปของการจัดกำลังการผลิตในลักษณะสแตติกที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้วิธีนิชซึ่งเงินเดคอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง .....	93
7.4 ขั้นตอนการทำงาน โดยสรุปของการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดเนมิกที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้วิธีเงินเดคอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง .....	95
7.5 ขั้นตอนการทำงาน โดยสรุปของการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดเนมิกที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้วิธีนิชซึ่งเงินเดคอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง .....	96
8.1 ลักษณะฟังก์ชัน $F1$ .....	99
8.2 ลักษณะเส้นโครงร่างฟังก์ชัน $F1$ .....	99
8.3 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน $F1$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	104
8.4 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F1$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	104
8.5 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F1$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	105
8.6 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน $F1$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	105
8.7 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F1$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	106
8.8 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F1$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	106
8.9 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F1$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	107

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.10 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน $F1$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	107
8.11 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F1$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	108
8.12 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน $F1$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	108
8.13 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F1$ จำนวน 100 ครั้ง .....	109
8.14 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F1$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) ....	109
8.15 ลักษณะฟังก์ชัน $F2$ .....	110
8.16 ลักษณะเส้น โครงร่างฟังก์ชัน $F2$ .....	110
8.17 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน $F2$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	115
8.18 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F2$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	115
8.19 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F2$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	116
8.20 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน $F2$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	116
8.21 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F2$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	117
8.22 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F2$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	117
8.23 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F2$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	118
8.24 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน $F2$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	118
8.25 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F2$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	119
8.26 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน $F2$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	119
8.27 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F2$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	120
8.28 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F2$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) ...	120
8.29 ลักษณะฟังก์ชัน $F5$ .....	121
8.30 ลักษณะเส้น โครงร่างฟังก์ชัน $F5$ .....	121
8.31 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน $F5$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	126
8.32 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F5$ จำนวน 100 ครั้ง .....	126
8.33 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F5$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	127
8.34 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน $F5$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	127
8.35 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F5$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	128
8.36 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F5$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	128
8.37 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F5$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	129
8.38 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน $F5$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	129

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.39 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F5$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	130
8.40 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน $F5$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	130
8.41 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F5$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	131
8.42 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F5$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) ....	131
8.43 ลักษณะฟังก์ชัน $F6$ .....	132
8.44 ลักษณะเส้นโครงร่างฟังก์ชัน $F6$ .....	132
8.45 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน $F6$ .....	137
8.46 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F6$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	137
8.47 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F6$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	138
8.48 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน $F6$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	138
8.49 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F6$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	139
8.50 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F6$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	139
8.51 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F6$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	140
8.52 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน $F6$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	140
8.53 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F6$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	141
8.54 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน $F6$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	141
8.55 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F6$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	142
8.56 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F6$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	142
8.57 ลักษณะฟังก์ชัน $F7$ .....	143
8.58 ลักษณะเส้นโครงร่างฟังก์ชัน $F7$ .....	143
8.59 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน $F7$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	148
8.60 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F7$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	148
8.61 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F7$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	149
8.62 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน $F7$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	149
8.63 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F7$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	150
8.64 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F7$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	150
8.65 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F7$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ **XVI** ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.66 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน F7 จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	151
8.67 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน F7 จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	152
8.68 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน F7 จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	152
8.69 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน F7 จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	153
8.70 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน F7 จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) ...	153
8.71 ลักษณะฟังก์ชัน F8 .....	154
8.72 ลักษณะเส้น โครงร่างฟังก์ชัน F8 .....	154
8.73 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน F8 จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	159
8.74 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน F8 จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	159
8.75 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน F8 จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	160
8.76 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน F8 จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	160
8.77 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน F8 จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	161
8.78 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน F8 จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	161
8.79 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน F8 จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	162
8.80 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน F8 จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	162
8.81 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน F8 จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	163
8.82 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน F8 จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	163
8.83 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน F8 จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	164
8.84 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน F8 จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) ....	164
8.85 ลักษณะฟังก์ชัน F9 .....	165
8.86 ลักษณะเส้น โครงร่างฟังก์ชัน F9 .....	165
8.87 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน F9 จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	170
8.88 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน F9 จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	170
8.89 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน F9 จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	171
8.90 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน F9 จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	171
8.91 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน F9 จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	172
8.92 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน F9 จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	172
8.93 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน F9 จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	173
8.94 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน F9 จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	173

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.95 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F9$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	174
8.96 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน $F9$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	174
8.97 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F9$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	175
8.98 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F9$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) ....	175
8.99 ลักษณะฟังก์ชัน $F10$ .....	176
8.100 ลักษณะเส้นโครงร่างฟังก์ชัน $F10$ .....	176
8.101 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน $F10$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	181
8.102 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F10$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	181
8.103 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F10$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	182
8.104 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน $F10$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	182
8.105 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F10$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	183
8.106 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน $F10$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	183
8.107 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F10$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	184
8.108 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน $F10$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	184
8.109 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F10$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	185
8.110 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน $F10$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	185
8.111 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F10$ จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) ...	186
8.112 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน $F10$ จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	187
8.113 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ .....	189
8.114 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง $C_1(P_{g,1})$ .....	190
8.115 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง $C_2(P_{g,2})$ .....	190
8.116 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง $C_3(P_{g,3})$ .....	191
8.117 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง $C_4(P_{g,4})$ .....	191
8.118 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง $C_5(P_{g,5})$ .....	192
8.119 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง $C_6(P_{g,6})$ .....	192
8.120 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง $C_7(P_{g,7})$ .....	193
8.121 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง $C_8(P_{g,8})$ .....	193
8.122 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง $C_9(P_{g,9})$ .....	194

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ xviii ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.123 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง $C_{10}(P_{g,10})$ .....	194
8.124 พื้นที่คำตอบและการกระจายตัวของชุดโครโมโซมในลักษณะฟีโนไทป์ ในกลุ่มประชากร รุ่นต่างๆ และผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบระหว่างเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีนิชซึ่งเจเนติก อัลกอริทึม ร่วมกับเทคนิคการปรับโทษและวิธีแชร์ริงอัลกอริทึม .....	196
8.125 ลักษณะประสิทธิภาพพอฟไลนด์ของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่ มีประสิทธิภาพสูงเมื่อไม่คำนวณร่วมกับวิธีแชร์ริงอัลกอริทึม (บน) และคำนวณร่วมกับวิธี แชร์ริงอัลกอริทึม (ล่าง) .....	197
8.126 พื้นที่คำตอบทั้งหมดจากค่าโหลดสำหรับปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจาก ระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย .....	200
8.127 โครงร่างพื้นที่คำตอบจากค่าโหลดทั้งหมดสำหรับปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะ สแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย .....	200
8.128 พื้นที่ความสูญเสียในระบบส่งทั้งหมดสำหรับปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะ สแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย .....	201
8.129 พื้นที่เปอร์เซ็นต์ความสูญเสียในระบบส่งทั้งหมดสำหรับปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าใน ลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย .....	201
8.130 พื้นที่ค่าโหลดทั้งหมดที่ระบบนี้สามารถจ่ายได้สำหรับปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าใน ลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย .....	202
8.131 พื้นที่คำตอบจากค่าโหลดทั้งหมดและเส้นคำตอบของค่าโหลด 900 เมกกะวัตต์สำหรับปัญหา การจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย .....	202
8.132 จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดและราคาเชื้อเพลิงรวม สำหรับปัญหาการจัดกำลังผลิต ไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย .....	203
8.133 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบ ทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	204
8.134 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่ มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	204
8.135 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วย ผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	205
8.136 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติก จากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	205

# สารบัญรูป (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
8.137 ประสิทธิภาพของฟูลอนจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	206
8.138 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย จำนวน 100 ครั้ง (โดยใช้วิธีเปอร์เซ็นต์ค่าการปรับโทษ) .....	206
8.139 ค่าความผิดพลาดจากสมการการผลิตไฟฟ้าที่สมดุลย์จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย จำนวน 100 ครั้ง (โดยใช้วิธีเปอร์เซ็นต์ค่าการปรับโทษ) .....	207
8.140 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย จำนวน 100 ครั้ง (โดยใช้วิธีเปอร์เซ็นต์ค่าการปรับโทษ) .....	207
8.141 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย จำนวน 100 ครั้ง (โดยใช้วิธีเปอร์เซ็นต์ค่าการปรับโทษ) .....	208
8.142 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย จำนวน 100 ครั้ง ระหว่างวิธีเปอร์เซ็นต์ค่าการปรับโทษและวิธีแซร์ริงอัลกอริทึม .....	208
8.143 ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus ที่ใช้ในการทดสอบ .....	213
8.144 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	216
8.145 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	216
8.146 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	217
8.147 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	217
8.148 ประสิทธิภาพของฟูลอนจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	218
8.149 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	218

# สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.150 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบ ไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	219
8.151 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	219
8.152 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจาก ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	220
8.153 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจาก ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	220
8.154 ระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus ที่ใช้ในการทดสอบ .....	221
8.155 เส้นกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงของหน่วยผลิตที่ใช้ในการทดสอบการจัดกำลังการผลิตของ ระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus .....	221
8.156 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบ ไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	228
8.157 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบ ไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	228
8.158 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	229
8.159 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจาก ระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	229
8.160 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจาก ระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	230
8.161 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบ ไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	230
8.162 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบ ไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	231
8.163 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	231
8.164 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจาก ระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	232

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.165 ประสิทธิภาพของฟีดไลน์จากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	232
8.166 ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus ที่ใช้ในการทดสอบ .....	234
8.167 พื้นที่คำตอบทั้งหมดและช่วงการผลิตต้องห้ามจากการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกสำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus .....	235
8.168 การเปรียบเทียบค่าความต้องการโหลดที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละคาบเวลา (บน) ต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมจากวิธี AOGAs (กลาง) และต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมจากวิธี AONGAs (ล่าง) ....	235
8.169 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตและต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมในแต่ละคาบเวลาจากการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกสำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus (AOGAs) .....	236
8.170 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตและต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมในแต่ละคาบเวลาจากการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกสำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus (AONGAs) .....	236
8.171 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตและต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมในแต่ละคาบเวลาที่ดีที่สุดจากการทดสอบด้วยวิธี AOGAs .....	237
8.172 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตและต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมในแต่ละคาบเวลาที่ดีที่สุดจากการทดสอบด้วยวิธี AONGAs .....	237
8.173 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	238
8.174 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	238
8.175 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	239
8.176 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	239
8.177 ประสิทธิภาพของฟีดไลน์จากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	240
8.178 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	240

## สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.179 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดแนมิกจากระบบ ไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	241
8.180 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดแนมิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	241
8.181 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดแนมิกจาก ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	242
8.182 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดแนมิกจาก ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	242
8.183 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดแนมิกจากระบบ ไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	254
8.184 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะ ไดแนมิกจากระบบ ไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	254
8.185 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดแนมิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	255
8.186 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะ ไดแนมิกจาก ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	255
8.187 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดแนมิกจาก ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	256
8.188 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะ ไดแนมิกจากระบบ ไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	256
8.189 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะ ไดแนมิกจากระบบ ไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	257
8.190 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดแนมิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	257
8.191 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดแนมิกจาก ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	258
8.192 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะ ไดแนมิกจาก ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	258

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
8.193 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะใดเนมิคจากระบบ ไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	269
8.194 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะใดเนมิคจากระบบ ไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	269
8.195 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะใดเนมิคจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	270
8.196 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะใดเนมิคจาก ระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	270
8.197 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะใดเนมิคจาก ระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) .....	271
8.198 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะใดเนมิคจากระบบ ไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	271
8.199 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะใดเนมิคจากระบบ ไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	272
8.200 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะใดเนมิคจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	272
8.201 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะใดเนมิคจาก ระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	273
8.202 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะใดเนมิคจาก ระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) .....	273
8.203 เวลาที่ใช้ในการคำนวณในการทำงานภายในวิธีเจเนติกและนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมจาก การคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะใดเนมิค .....	273

# บทที่ 1

## บทนำและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน การขยายตัวทางเศรษฐกิจ และการเพิ่มขึ้นของประชากรอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้มีอัตราความต้องการพลังงานสูงขึ้นตามลำดับ หน่วยงานที่มีหน้าที่รับผิดชอบในด้านพลังงานจะต้องวางแผนการจัดหาและจัดส่งพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการของผู้บริโภค ครอบคลุมทั้งในภาคอุตสาหกรรมและครัวเรือน โดยพลังงานที่ส่งถึงผู้บริโภคจะต้องมีคุณภาพและเสถียรภาพอยู่ในระดับเกณฑ์มาตรฐาน

การจัดกำลังการผลิตให้ได้เพียงพอต่อความต้องการใช้ไฟฟ้านับว่าเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างยิ่ง สำหรับการควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า ทั้งนี้เนื่องจากความต้องการใช้ไฟฟ้ามีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาตามพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าจากกลุ่มการใช้ไฟฟ้าประเภทต่างๆ ซึ่งส่งผลให้ความถี่ของรูปคลื่นพลังงานไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงจากระดับมาตรฐาน อีกทั้งหน่วยผลิตไฟฟ้าจะต้องถูกปรับเปลี่ยนกำลังการผลิตให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมสอดคล้องกับปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น (ลดลง) ในช่วงเวลาหนึ่ง และรักษาระดับความถี่ให้อยู่ภายในระดับการเบี่ยงเบนที่ยอมรับได้ รวมทั้งการชดเชยความสูญเสียจากการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านสายส่งไฟฟ้าแรงสูง

ในการจัดกำลังผลิตของหน่วยผลิตไฟฟ้าที่มีอยู่ทั้งหมดในระบบนั้น สิ่งหนึ่งที่จะต้องพิจารณาควข้องไปกับการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะระบบปกติ คือความคุ้มทุนในทางเศรษฐศาสตร์ของกำลังการผลิตไฟฟ้ารวม เทียบกับมูลค่าเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าทั้งระบบ เนื่องจากต้นทุนเชื้อเพลิงเป็นต้นทุนหลักสำหรับการผลิตไฟฟ้า และต้นทุนของการใช้เชื้อเพลิงสำหรับการผลิตไฟฟ้ารวมทั้งระบบมีมูลค่ามหาศาลในแต่ละวัน ดังนั้นการคำนวณกำลังการผลิตของหน่วยผลิตไฟฟ้า จำเป็นต้องใช้เทคนิคและวิธีการคำนวณตามหลักคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน เพื่อให้ได้รูปแบบและกลยุทธ์ที่เหมาะสม สำหรับการสั่งเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งระบบ ภายใต้ข้อจำกัดในการผลิตไฟฟ้าต่างๆ โดยวิธีการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่มีหลักการและเหตุผล นอกจากจะช่วยให้ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าอยู่ในระดับที่ต่ำที่สุดแล้ว ยังส่งผลให้การใช้เชื้อเพลิงจากทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่จำกัด เกิดประสิทธิภาพสูงสุดอีกด้วย

การวิเคราะห์กำลังการผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสมในแต่ละหน่วยผลิตนับว่าเป็นปัญหาที่มีฟังก์ชันเป้าหมายที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น มีความซับซ้อนสูง และเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากระบบไฟฟ้ากำลังมีขนาดใหญ่ อีกทั้งยังมีข้อจำกัดในการผลิตไฟฟ้าอยู่มากมาย โดยถ้าฟังก์ชันอัตราพลังงานความร้อนของแต่ละหน่วยผลิต มีลักษณะไม่เป็นฟังก์ชัน โค้งเรียบหรือมีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างไม่สม่ำเสมอ ทำให้ฟังก์ชันเป้าหมายโดยรวมทั้งระบบ ทวีความไม่เป็นเชิงเส้นมากขึ้นอีก

การวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าวโดยทั่วไปจะใช้วิธีตามหลักการของการจัดแฟกเตอร์แลมปีดาให้มีค่าเท่าๆกัน การผลิตโดยหลักการดังกล่าวมีพื้นฐานมาจากการแก้สมการลากรางซ์ของฟังก์ชันเป้าหมาย รวมทั้งข้อจำกัดสมการการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการ และสมการการชดเชยความสูญเสียในการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าผ่านสายส่งไฟฟ้าแรงสูง วิธีการนี้เป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างมากสำหรับระบบซอฟต์แวร์จัดการพลังงาน โดยทั่วไป เนื่องจากมีความสามารถในการคำนวณหาค่าตอบได้อย่างรวดเร็ว สามารถใช้ในการคำนวณ ณ. เวลาจริงได้เป็นอย่างดี แต่วิธีการคำนวณดังกล่าวมีข้อจำกัดในเรื่องการหาค่าอนุพันธ์ของสมการต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าของแต่ละหน่วยผลิต และข้อจำกัดในการคำนวณในกรณีที่ฟังก์ชันอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นต่อกำลังการผลิต มีลักษณะลดลง

ในสภาวะการทำงานจริงของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนหรือพลังงานความร้อนร่วมนั้น การผลิตพลังงานไฟฟ้าในบางช่วงจะเกิดปัญหาเรื่องความสูญเสียจากการปิด/เปิดวาล์วไอน้ำ โดยจะพบมากในหน่วยผลิตที่มีวาล์วควบคุมปริมาณไอน้ำอยู่หลายตัว ทำให้ฟังก์ชันอัตราความร้อนมีค่าเพิ่มขึ้นไม่สม่ำเสมอตลอดช่วงการผลิตทั้งหมด ส่งผลให้ต้องมีการประมาณฟังก์ชันดังกล่าวเป็นลักษณะเป็นสมการควอดราติกที่มีลักษณะเรียบ เพื่อที่จะสามารถนำไปคำนวณค่าอนุพันธ์ได้ ซึ่งการแก้ปัญหาโดยวิธีนี้ นอกจากจะทำให้เกิดความยุ่งยากในการหาค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมที่สุดแล้ว ยังส่งผลต่อผลลัพธ์ที่ไม่สะท้อนต้นทุนที่แท้จริงของการผลิตไฟฟ้า และถ้าพิจารณาถึงต้นทุนรวมที่ใช้ในการผลิตในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ (ล้านบาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง) ทำให้การวิเคราะห์และปรับปรุงวิธีการจัดกำลังการผลิตให้ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น จะช่วยให้สามารถลดต้นทุนสะสมในการผลิตไฟฟ้าได้เป็นอย่างมาก

ในกรณีโรงผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนที่ไม่สามารถผลิตไฟฟ้าในช่วงการผลิตหนึ่งได้ (หรือมีความสามารถในการผลิตแต่ทำให้อายุการใช้งานสั้นลง) ทั้งนี้จากต้นตัวของแกนเพลลา หรือการทำงานที่ผิดปกติของอุปกรณ์เสริมต่างๆ ทำให้ฟังก์ชันอัตราความร้อนมีค่าไม่ต่อเนื่องตลอดช่วงการผลิต ทำให้การวิเคราะห์การจัดกำลังการผลิตเป็นไปด้วยความยุ่งยากมากขึ้นอีก

สำหรับระบบการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย ประกอบไปด้วยหน่วยผลิตหลายประเภท ร่วมกันผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยกระจายอยู่ตามสภาพทางภูมิศาสตร์, ข้อจำกัดในการก่อสร้าง, และเหตุผลจากการวางแผน ซึ่งประกอบไปด้วยโรงไฟฟ้าพลังน้ำ, โรงไฟฟ้าพลังความร้อน, โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส และ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม เป็นต้น โดยหน่วยผลิตไฟฟ้าจากประเภทต่างๆ ก็มีค่าอัตราการใช้เชื้อเพลิง และฟังก์ชันอัตราพลังงานความร้อนที่ต่างกันไปตามชนิดและลักษณะทางกายภาพของหน่วยผลิต

โรงไฟฟ้าบางประเภทนั้นมีค่าอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ในลักษณะลดลง เช่น โรงไฟฟ้าประเภทพลังความร้อนร่วม เป็นต้น หรือโรงไฟฟ้าบางแห่งที่มีกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงเป็นชุดของสมการเส้นตรง เช่น โรงไฟฟ้าสมัยใหม่ ทำให้ผลลัพธ์จากการแก้ปัญหาการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าทั้งระบบด้วยวิธีข้างต้นนั้น มีค่าไม่ถูกต้อง

## 1.2 วิธีที่ใช้ในการแก้ปัญหาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาขบวนการแก้ไขปัญหาคำถามการคัดค้านการผลิต... ประสิทธิภาพสูงในการจัดการข้อจำกัด รวมถึงการคำนวณหาตำแหน่งการผลิตที่ใช้ต้นทุนเชื้อเพลิงรวมต่ำที่สุด และมีความรวดเร็วในการหาผลลัพธ์ของปัญหาดังกล่าว เป็นสิ่งที่นักวิจัยหลายท่านพยายามค้นคว้าวิจัย เพื่อที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์คำนวณและสั่งการผลิตได้ในลักษณะเวลาจริง [1-5]

วิธีในทางคณิตศาสตร์แบบเดิมที่เป็นนิยามกันอย่างมากระบบซอฟต์แวร์จัดการพลังงาน คือวิธีการคำนวณรอบแบบปัด โดยเป็นวิธีที่สะดวกและมีความรวดเร็วในการคำนวณ และนิยมใช้ในโปรแกรมที่ทำงานในลักษณะเวลาจริง แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดอยู่ที่ลักษณะกราฟฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่จะต้องสามารถนำมาหาค่าอนุพันธ์ได้ตลอดช่วงการผลิต อีกทั้งฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นของทุกหน่วยผลิตที่จะต้องมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

วิธีไดนามิก โปรแกรมมิ่ง เป็นวิธีที่นิยมมากอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งใช้การวนรอบค้นหาคำตอบตลอดช่วงการผลิตในลักษณะคิสิกติกแทนการหาคำตอบโดยตรงจากวิธีทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจากหลักการนี้ ทำให้การแก้ปัญหาคำถามการคัดค้านการผลิตด้วยวิธีไดนามิก โปรแกรมมิ่ง จะไม่ขึ้นกับลักษณะของฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง โดยสามารถใช้ได้กับฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงหลายประเภท เช่น ฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงของหน่วยผลิตความร้อนหรือความร้อนร่วมที่คิดผลของความสูญเสียจากลิ้นปิด/เปิด ioni และฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เป็นลักษณะเส้นตรงหลายเส้นเชื่อมต่อกัน เป็นต้น แต่เนื่องจากวิธีนี้อาศัยการคำนวณจากขั้นการผลิตที่กำหนดขึ้น ทำให้ต้องใช้เวลาในการคำนวณเป็นอย่างมาก โดยถ้าปรับขนาดของขั้นการคำนวณให้เล็กลง เพื่อให้คำตอบที่ได้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น ก็ต้องใช้เวลาในการคำนวณสูงขึ้น ตามลำดับ ซึ่งวิธีนี้จะไม่เหมาะสมกับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่

วิธีการค้นหาโดยใช้ค่าเกรเดียนต์เป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถใช้คำนวณสำหรับปัญหาดังกล่าวได้จากพื้นฐานของหลักการของการลดลงของค่าเกรเดียนต์ เป็นทิศทางในการปรับค่าตัวแปรควบคุม วิธีนี้ต้องใช้เวลาในการคำนวณมาก และมีแนวโน้มสูงที่จะได้คำตอบที่ไม่ถูกต้องจากปัญหาที่ซับซ้อนและมีจุดยอดหลายจุด อีกทั้งยังมีความยุ่งยากในการจัดการกับข้อจำกัดในลักษณะอสมการ

วิธีนิวตัน ได้ปรับปรุงจากวิธีการค้นหาโดยใช้ค่าเกรเดียนต์ให้รวดเร็วขึ้น โดยเพิ่มการวิเคราะห์ในส่วนของการหาค่าเฮสเซียนท์จากสมการลากรางจ์ แต่ก็ยังคงมีความยุ่งยากในการจัดการกับข้อจำกัดในลักษณะอสมการ ซึ่งวิธีปกติจะใช้ฟังก์ชันปรับโทษในการแสดงความเหมาะสมของคำตอบจากข้อจำกัดในลักษณะอสมการ

วิธีการโปรแกรมเชิงเส้น ในปัจจุบันได้พัฒนาขึ้นใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยการปรับเปลี่ยนรูปแบบการสร้างสมการของปัญหาให้อยู่ในรูปของสมการของการ โปรแกรมเชิงเส้น โดยวิธีนี้จะต้องใช้การประมาณฟังก์ชันเป้าหมายที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น มาเป็นฟังก์ชันใหม่ที่มีลักษณะเชิงเส้น ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ขาดความเที่ยงตรงไปบ้าง แต่โดยวิธีนี้จะสามารถจัดการกับข้อจำกัดในลักษณะอสมการได้เป็นอย่างดี

วิธีอินที่เรีพเพอท์ เป็นวิธีที่พัฒนาต่อจากวิธีการ โปรแกรมเชิงเส้น โดยการ ใช้เส้นทาง การค้นหา ภายในขอบเขตของค่า การค้นหาจากจุดค่าตอบ เช่นวิธีซิมเพิร์กซ์ ดังนั้นวิธีนี้ใช้เวลาในการ คำนวณน้อยกว่าวิธีการ โปรแกรมเชิงเส้นเป็นอย่างมาก อีกทั้งยังจัดการกับข้อจำกัดในลักษณะอสมการ ได้ดีเช่นกัน

จากวิธีที่กล่าวถึงข้างต้นนั้น จะพบว่าส่วนใหญ่จะมีพื้นฐานจากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ และ การคำนวณหาค่าอนุพันธ์จากฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงหลักพร้อมกับฟังก์ชันการจำกัดการผลิต โดย เมื่อถ้าพิจารณาถึงลักษณะของฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงตามความเป็นจริงซึ่งอาจจะไม่มีลักษณะเรียบ หรือมีความไม่ต่อเนื่องเกิดขึ้นในบางช่วงการผลิต ทำให้การจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มค่าในทาง เศรษฐศาสตร์ ด้วยวิธีดังกล่าวไม่สามารถคำนวณได้โดยตรง

ในช่วงหลายทศวรรษที่ผ่านมา นักวิจัยหลายท่านได้คิดค้นศาสตร์การคำนวณประเภทใหม่ๆ จากแนวคิดทางธรรมชาติหลายประเภท เช่นการทำงานของกลุ่มเซลล์ประสาท การคัดเลือกและการ ถ่ายทอดลักษณะทางพันธุศาสตร์ทางธรรมชาติ และลักษณะการเข็นตัวลงของวัตถุที่ถูกทำให้ลอม ละลาย เป็นต้น โดยพัฒนามาเป็นวิธีการคำนวณวิธีต่างๆ เช่น นิเวรอลเน็ตเวิร์ค, เจเนติกอัลกอริทึม, และ ซิมูเลเตดแอนนิลิ่ง ซึ่งจากผลการทดสอบความสามารถของวิธีเหล่านี้ก็ได้รับการยอมรับว่ามี ประสิทธิภาพสูงเมื่อเทียบกับการคำนวณทางคณิตศาสตร์แบบเดิม [6-9]

ศาสตร์การคำนวณแบบอ่อนนั้น ได้ถูกนำมาใช้แก้ปัญหาในทางระบบไฟฟ้ากำลังหลายประเภท ด้วยกัน [10-13] เช่น ปัญหาการแยกประเภท การตีความปัญหา การวิเคราะห์ปัญหา การประยุกต์ใช้ใน ด้านการเรียนรู้ปัญหา และ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การหาค่าตอบที่เหมาะสมของปัญหา เป็นต้น ซึ่งจาก ความสามารถในการแก้ไขปัญหาโดยไม่ต้องพึ่งการคำนวณที่ซับซ้อนจากหลักคณิตศาสตร์ ทำให้วิธีการ คำนวณแบบใหม่นี้มีความโดดเด่นสำหรับปัญหาที่ไม่สามารถหาค่าตอบได้โดยตรงโดยวิธีคณิตศาสตร์ เดิม หรือปัญหาที่ยากต่อการจัดสร้างสมการคณิตศาสตร์ให้สอดคล้องกับปัญหาเหล่านั้น

วิธีเจเนติกอัลกอริทึมได้แนวคิดจากขบวนการทางพันธุศาสตร์จากธรรมชาติ มาพัฒนาเป็น อัลกอริทึมที่ทำงานบนคอมพิวเตอร์ซึ่งสามารถแก้ไขปัญหาทั้งในด้านการหาค่าที่เหมาะสมและการ ประยุกต์ใช้ในด้านการศึกษา ซึ่งจากปัญหาการจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ข้างต้น วิธี เจเนติกอัลกอริทึมสามารถนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาระเบิดลักษณะฟังก์ชันการเพิ่มขึ้นของอัตราการใช้ เชื้อเพลิงที่ไม่สามารถหาอนุพันธ์ได้เป็นอย่างดี เนื่องจากวิธีเจเนติกอัลกอริทึมมองปัญหาในลักษณะเป็น “กล่องดำ” กล่าวคือวิธีเจเนติกไม่พิจารณาถึงสมการทางคณิตศาสตร์หรือข้อจำกัดทางคณิตศาสตร์ที่ แสดงถึงปัญหาการจัดกำลังการผลิต และไม่มีข้อกำหนดในเรื่องลักษณะของสมการเป้าหมาย ทำให้ไม่ ต้องทำการประมาณค่าฟังก์ชันให้เป็นสมการที่สามารถหาค่าอนุพันธ์ได้ หรือเปลี่ยนฟังก์ชันให้อยู่ในรูป เชิงเส้น ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ มีความเที่ยงตรงสูง อีกทั้งวิธีเจเนติกอัลกอริทึมสามารถจัดการกับข้อจำกัด ต่างๆ ได้ดีกว่าวิธีทาง คณิตศาสตร์แบบเดิม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในกรณีของข้อจำกัดในลักษณะดีสครีตข้าง ต้น

เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติของจุดเด่นของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมในการวิเคราะห์หาค่าเหมาะที่สุดที่เหมาะสมแบบขนาน ทำให้เจเนติกอัลกอริทึมมีโอกาสที่จะให้ผลลัพธ์ที่เป็น <sup>๑</sup> *สุ่ม* น้อยกว่าวิธีในทางคณิตศาสตร์ที่ใช้หลักการค้นหาโดยใช้ค่าแกรเดียนต์เป็นพื้นฐาน เจเนติกอัลกอริทึมจะใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้นหรือไม่เป็นเชิงเส้น (ในอัตราที่น้อย) เมื่อจำนวนหน่วยผลิตที่ต้องทำการจัดกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อเทียบกับวิธีโคเนมิกโปรแกรมมิ่ง จะพบว่าวิธีโคเนมิกโปรแกรมมิ่ง ใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นในลักษณะเอ็กโปเนนเชียล เมื่อจำนวนหน่วยผลิตที่ต้องทำการจัดกำลังการผลิตเพิ่มขึ้น โดยที่ผลลัพธ์ที่ได้จากทั้งสองวิธีคล้ายคลึงกัน

Walters และคณะ [14] เริ่มประยุกต์วิธีเจเนติกอัลกอริทึมในการจัดกำลังการผลิต ไฟฟ้าที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์เมื่อคำนึงถึงความสูญเสียในระบบส่ง โดยพิจารณาผลกระทบจากความสูญเสียจากล้นปิด/เปิดไอน้ำ ที่มีต่อฟังก์ชันอินพุต-เอาต์พุตของหน่วยผลิต โดยจำลองการเพิ่มเทอมฟังก์ชันไซนัสในสมการเคม Walters และคณะ ยังได้นำเสนอแนวคิดการเข้ารหัสของค่ากำลังการผลิตใน 2 ลักษณะคือการนำโครโมโซมไบนารีสดริงมาเชื่อมต่อกันเป็นลูกโซ่ และการแยกบิต (ยีน) ในแต่ละโครโมโซมมาเชื่อมต่อกันในลำดับเลขน้อยเดียวกัน ฟังก์ชันความเหมาะสมจะใช้สมการต้นทุนการผลิตไฟฟ้ารวมร่วมกับการปรับค่าความผิดพลาดจากสมการการผลิตไฟฟ้า โดยทำการปรับค่าความผิดพลาดจากค่าสูงสุด/ต่ำสุด ของสมการทั้งสองส่วน และนำมารวมเป็นฟังก์ชันความเหมาะสมสุดท้าย โดยมีแฟคเตอร์การปรับค่าของทั้งสองส่วน เป็นการปรับค่าให้เหมาะสม ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีเจเนติกอัลกอริทึมมีความใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีโคเนมิกโปรแกรมมิ่ง แต่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า และเมื่อใช้คำนวณในปัญหาที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้ามากขึ้น เวลาที่ใช้ในการคำนวณก็มีลักษณะเพิ่มขึ้นอย่างสม่ำเสมอ วิธีเจเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีที่สามารถใช้กับฟังก์ชันอินพุต-เอาต์พุตประเภทต่างๆ ได้เป็นอย่างดี และเมื่อพัฒนาวิธีการเข้ารหัสให้ดีขึ้นก็สามารถลดเวลาในการคำนวณลงได้ เช่นวิธีในการเข้ารหัสในลักษณะที่ 2 เป็นต้น

Sheble และคณะ [15] ได้ปรับปรุงการทำงานของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมให้ดีขึ้นโดยการใช้อัลกอริทึมที่ผสมร่วมกับค่าการปรับโทษ สำหรับการปรับค่าความน่าจะเป็นในแลกเปลี่ยนยีน และการผ่าเหล่าจากเดิมที่กำหนดให้มีค่าคงที่ มาเป็นแฟคเตอร์ที่เปลี่ยนแปลง โดยที่เมื่อรอบในการคำนวณสูงขึ้นค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนยีนจะลดลงในลักษณะเอ็กโปเนนเชียล ส่วนค่าความน่าจะเป็นในการผ่าเหล่าจะเพิ่มขึ้นในลักษณะเอ็กโปเนนเชียล ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อรอบการคำนวณสูงขึ้นความหลากหลายของยีนในประชากรรุ่นนั้นจะลดลง ค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากรอบการคำนวณจะถูกรับไปสู่อันดับที่เหมาะสม ดังนั้นการแลกเปลี่ยนยีนที่เกิดขึ้นจะไม่ช่วยให้เกิดการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใหม่ๆ ซึ่งต้องใช้ในการผ่าเหล่าเป็นการทดแทน โดยผลที่ได้ทำให้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมใช้เวลาในการเข้าสู่คำตอบได้เร็วขึ้น

Bakirtzis และคณะ [16] ได้ทดสอบวิธีเจเนติกอัลกอริทึมกับระบบไฟฟ้ากำลังที่มีจำนวนหน่วยผลิตไฟฟ้าสูงถึง 72 หน่วย โดยปรับปรุงตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ เพื่อกระตุ้นการแลกเปลี่ยนลักษณะทางพันธุศาสตร์ในรอบการคำนวณ โดยที่ตัวปฏิบัติการ “การเปลี่ยนหน่วยผลิต” จะเลือกหน่วย

ผลิต 2 หน่วย ทำการเปลี่ยนค่ากำลังการผลิตของหน่วยผลิตคู่นั้นด้วยค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1 และ  
 ด้ปฏิบัติการ “การเลื่อนกำลัง . . . . .” เลือกหน่วยผลิตขึ้นมา 1 หน่วย ทำการเพิ่ม/ลดกำลังการผลิต  
 นั้นด้วยจำนวนที่สุ่มขึ้น โดยที่ผลต่างระหว่างกำลังการผลิตทั้งหมดและความต้องการโหลดจะถูก  
 กระจายกลับไปยังหน่วยผลิตกลุ่มหนึ่ง (ที่ได้จากสุ่ม) ในอัตราที่เท่ากัน การทดสอบจะใช้หน่วยผลิตที่  
 คำนึงถึงผลกระทบจากความสูญเสียจากล้นปิด/เปิดไอน้ำ เทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีโคเนมิก  
 โปรแกรมมิ่ง เวลาที่ใช้ในการคำนวณจะลดลงเมื่อเทียบกับวิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่งและวิธีเจเนติก  
 อัลกอริทึมเดิม

Wong และคณะ [17] ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธีเจเนติกอัลกอริทึม โดย  
 การรวมความสามารถของเทคนิคชิมูเลเตดแอนนิวาลิ่ง เพื่อลดการใช้หน่วยความจำในการคำนวณ ลด  
 ผลจากการแปลงกำลังการผลิตเป็นค่าคริสทิตในส่วนการเข้ารหัส และใช้วิธีหน่วยผลิต “อ้างอิง” ในการ  
 ชดเชยความสูญเสียจากส่งผ่านพลังงานในระบบส่ง โดยทดสอบกับหน่วยผลิตที่คำนึงถึงผลกระทบจาก  
 ความสูญเสียจากล้นปิด/เปิดไอน้ำ และผลของอัตราการผลิตเพิ่ม/ลดกำลังการผลิต เทียบกับวิธีเจเนติก  
 อัลกอริทึมเดิม, วิธีอินคริเมนทอลเจเนติกอัลกอริทึม, วิธีเจเนติกแอนนิวาลิ่ง 2 วิธี และวิธีชิมูเลเตดแอนนิว  
 ลิ่ง พบว่าวิธีเจเนติกแอนนิวาลิ่งให้คำตอบที่ดีกว่าทั้งในค่าที่ดีที่สุดและคำตอบที่แย่ที่สุดในการคำนวณ 30  
 ครั้ง อีกทั้งยังใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าวิธีที่ทดสอบทั้งหมด

Li และคณะ [18] นำเสนอการจัดการกับข้อจำกัดทางด้านสิ่งแวดล้อม สำหรับปัญหาการจัด  
 กำลังการผลิตภายใต้ข้อจำกัดอัตราอัตราการผลิตเพิ่ม/ลดกำลังการผลิต ด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม ซึ่งจะช่วย  
 ลดความยุ่งยากในการพิจารณาเป้าหมายการจัดกำลังการผลิตที่มีค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุด และ  
 การลดมลภาวะที่เกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อม จากการใช้คาร์บอนระหว่างผลลัพธ์ในการคำนวณเทียบกับ  
 ตำแหน่งการผลิตไฟฟ้าที่เป็นไปได้ร่วมกับแฟคเตอร์ค่าน้ำหนัก มาเป็นตัวปรับการค้นหของวิธีเจเนติก  
 อัลกอริทึม แทนการใช้สมการข้อจำกัดเพิ่มในสมการฟังก์ชันความเหมาะสม ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้เป็นกำลัง  
 การผลิตที่เหมาะสมในแต่ละหน่วยผลิตภายใต้ระดับการควบคุมการปล่อยมลภาวะสู่สิ่งแวดล้อม

Chen และคณะ [19] พัฒนาวิธีเจเนติกอัลกอริทึม สำหรับปัญหาการจัดกำลังการผลิตขนาดใหญ่  
 โดยใช้ค่าแลมปีดาเป็นตัวแปรในการค้นหา แทนการใช้กำลังการผลิตของแต่ละหน่วยผลิต และ  
 ปรับเปลี่ยนสมการความเหมาะสมให้เป็นฟังก์ชันของค่าความผิดพลาดในการจัดกำลังการผลิต และค่า  
 ความต้องการโหลด ซึ่งจากการทดสอบพบว่าวิธีดังกล่าวให้ผลลัพธ์ค่าต้นทุนการผลิตที่ใกล้เคียงกับ  
 วิธีการคำนวณวนรอบแลมปีดา และจำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก เมื่อ  
 คำนวณปัญหาที่มีจำนวนหน่วยผลิตมีค่าสูงขึ้น เวลาที่ใช้ในการคำนวณจะมีค่าสูงกว่าวิธีการคำนวณ  
 วนรอบแลมปีดาสำหรับปัญหาขนาดเล็ก แต่จะมีค่าเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้นเมื่อจำนวนหน่วยผลิตมีค่าสูงขึ้น  
 โดยที่เมื่อใช้จำนวนการจัดกำลังการผลิตสำหรับปัญหาที่มีจำนวนหน่วยผลิตเท่ากับ 34 หรือมากกว่า จะ  
 พบว่าวิธีที่นำเสนอใช้เวลาในการคำนวณ (เฉลี่ย) ต่ำกว่าวิธีการคำนวณวนรอบแลมปีดา

Orero และคณะ [20] นำเสนอวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีคิเทอร์มินิสติกคร่าวๆ สำหรับการ  
 จัดกำลังการผลิตเมื่อคำนึงผลกระทบจากการผลิตต้องห้าม โดยใช้การปรับโทษในฟังก์ชันเป้าหมาย

เมื่อกำลังการผลิตของหน่วยผลิตอยู่ในช่วงการผลิตต้องห้าม ทำให้ค่าความเหมาะสมในชุดโครโมโซม นั้นมีค่าน้อยมาก ผลการทดสอบพบว่าวิธีดีเทอร์มินนิสติกคร่าวๆ ด้ให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีเจเนติกอัลกอริทึม และวิธีนี้มีประสิทธิภาพที่ดีเมื่อทดสอบจากผลกระทบของตัวปฏิบัติการผ่านเหล่า

Yang และคณะ [21] เสนอวิธีอีวลูชันนารีโปรแกรมมิ่งสำหรับปัญหาการจัดกำลังการผลิต เมื่อหน่วยผลิตไฟฟ้ามีฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงที่ไม่สม่ำเสมอ โดยทดสอบเทียบกับวิธีโคแนมิกโปรแกรมมิ่ง และวิธีเจเนติกอัลกอริทึม ซึ่งพบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีที่นำเสนอ มีความเที่ยงตรง โดยใช้เวลาในการคำนวณที่เป็นเหตุเป็นผลสำหรับหน่วยผลิตที่มีลักษณะฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงในลักษณะต่างๆ ได้

Song และคณะ [22] เสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธีเจเนติกอัลกอริทึม โดยการใช้เทคนิคต่างๆ สำหรับวิธีการเข้า/ถอดรหัส, การสร้างฟังก์ชันเป้าหมายและฟังก์ชันความเหมาะสมภายใต้การจัดการกับสมการข้อจำกัดการผลิต, ตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์, การผสมผสานระหว่างวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและตัวปฏิบัติการที่ปรับปรุงให้มีความสามารถสูง โดยเมื่อทดสอบเทียบกับวิธีเจเนติกอัลกอริทึมเดิม สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่มีจำนวนหน่วยผลิต 6 หน่วย พบว่าอัตราความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทดสอบผลกระทบการแปลงค่าความเหมาะสมที่ไม่เป็นเชิงเส้น, การทดสอบผลจากการแลกเปลี่ยนขึ้น, ผลกระทบจากการผ่าเหล่า, ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิง, และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ โดยรวมมีค่าน้อยกว่าวิธีเจเนติกอัลกอริทึมเดิม

Li และคณะ [23] เสนอการจัดกำลังการผลิตในลักษณะโคแนมิกด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม ภายใต้ข้อจำกัดอัตราการเพิ่ม/ลดกำลังการผลิต โดยทดสอบกับระบบไฟฟ้ากำลังที่มีจำนวนหน่วยผลิต 25 หน่วย ซึ่งพบว่าข้อจำกัดดังกล่าวมีผลกระทบต่อต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวม โดยถ้าจำกัดค่าอัตราการเพิ่ม/ลดกำลังการผลิต จะช่วยลดค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมได้

Ongsakul และคณะ [24] เสนอการทำงานแบบขนานด้วยวิธีไมโครเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับวิธีเมอริทอเคอร์โหลดคิง และการย้ายชุดโครโมโซมที่ดีที่สุดสำหรับส่วนประมวลผลที่ใกล้เคียงกัน สำหรับการจัดกำลังการผลิตภายใต้ข้อจำกัดอัตราการเพิ่ม/ลดกำลังการผลิต สำหรับหน่วยผลิตชนิดความร้อนร่วมที่มีฟังก์ชันต้นทุนการผลิตที่เพิ่มขึ้น ในลักษณะลดลงเป็นขั้นบันได โดยใช้ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีเมอริทอเคอร์โหลดคิง (การจัดกำลังการผลิตตามราคาต้นทุนการผลิต) มาเป็นค่าเริ่มต้นสำหรับวิธีไมโครเจเนติกอัลกอริทึม ซึ่งจะช่วยลดเวลาการคำนวณลง เมื่อเทียบกับผลลัพธ์จากการคำนวณของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมเดิม, วิธีไมโครเจเนติกอัลกอริทึม, และวิธีเมอริทอเคอร์โหลดคิง

Ongsakul และคณะ [25] ยังได้พัฒนาวิธีเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับวิธีซิมูเลเตดแอนนิวาลิ่ง สำหรับปัญหาการจัดกำลังการผลิตในลักษณะโคแนมิก เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการคำนวณลง โดยใช้ผลลัพธ์จากวิธีซิมูเลเตดแอนนิวาลิ่ง มาเป็นค่ากำลังการผลิตเริ่มต้นสำหรับวิธีเจเนติกอัลกอริทึม ทำให้การค้นหาคำตอบจากวิธีนี้ มีความรวดเร็วขึ้นจากเดิมเป็นอย่างมาก อีกทั้งยังให้คำตอบที่ดีกว่าเมื่อเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีอื่นๆ เช่น วิธีเจเนติกอัลกอริทึม, วิธีซิมูเลเตดแอนนิวาลิ่ง, วิธีเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับวิธีเมอริทอเคอร์โหลดคิง, และวิธีการโลคอลเซิร์ช เป็นต้น

Lin และคณะ [26] เสนอวิธีอีวอลลูชันนารี โปรแกรมมิ่งร่วมกับแทบูเซิร์ชและควอคราติก โปรแกรมมิ่งสำหรับการแก้ไขปัญหาล้างการผลิตที่หน่วยผลิตจากผลกระทบของความสูญเสียจากล้นปิด/เปิดไอน้ำ รวมทั้งช่วงการผลิตต้องห้าม โดยใช้การสร้างฟังก์ชันความเหมาะสมจากความแตกต่างระหว่างเวกเตอร์จากชุดโครโซมนั้นเทียบกับเวกเตอร์จากชุดคำตอบที่ดีที่สุด และจากผลลัพธ์ที่ทดสอบ พบว่าวิธีที่นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพสูงมากกว่าวิธีอีวอลลูชันนารี โปรแกรมมิ่งเดิม

### 1.3 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความมุ่งหมายการศึกษาวิจัยหาวิธีการแก้ปัญหาค่าการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มทุนในทางเศรษฐศาสตร์ในลักษณะสแตติกและไดนามิกแบบใหม่ โดยใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมเป็นพื้นฐานในการคำนวณ โดยศึกษาวิจัยหาวิธีการจัดการกับข้อจำกัดในการผลิตที่มีอยู่อย่างเหมาะสม จัดทำแผนการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีต้นทุนกำลังการผลิตต่ำ สำหรับหน่วยผลิตไฟฟ้าที่มีอยู่โดยทั่วไป ร่วมกับหน่วยผลิตไฟฟ้าที่มีฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงแตกต่างออกไปจากผลกระทบของข้อจำกัดต่างๆ รวมถึงฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงชนิดอื่นที่ไม่สามารถหาค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงได้ หรือปัญหาการจัดการกำลังการผลิตที่ไม่สามารถแก้ไขได้โดยวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อยู่โดยทั่วไป

### 1.4 ทฤษฎีและแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แสดงการแก้ปัญหาค่าการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มทุนในทางเศรษฐศาสตร์ในลักษณะสแตติกและไดนามิก โดยใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึม และนำเสนอการพัฒนาวิธีการคำนวณที่เหมาะสมสำหรับปัญหาดังกล่าว รวมถึงการจัดการกับสมการข้อจำกัดภายใต้ปัญหาดังกล่าว เช่น จัดกำลังการผลิตให้มีความสมดุล นอกจากนั้นการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้ยังใช้วิธีการแก้ปัญหามีพื้นฐานมาจากวิธีไดนามิก โปรแกรมมิ่ง โดยมี การปรับปรุงวิธีการคำนวณให้ดีขึ้น โดยปรับเปลี่ยนการทำงานจากเทคนิคการสุ่มพื้นฐาน ทั้งนี้เพื่อช่วยลดเวลาในการคำนวณและช่วยลดการใช้หน่วยความจำ อีกทั้งยังมีการปรับเปลี่ยนอัลกอริทึมในหลายส่วนเพื่อให้เหมาะสมเฉพาะสำหรับปัญหาการจัดการผลิตไฟฟ้า และมีการทดสอบความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมเทียบกับผลลัพธ์จากโปรแกรมที่ใช้แก้ปัญหาคด้วยวิธีอื่นๆ โดยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถรองรับกราฟอัตราการผลิตเพิ่มขึ้นของต้นทุนเชื้อเพลิงได้หลายรูปแบบ ทั้งในแบบที่ใช้ในจัดกำลังการผลิตจริง และแบบที่มีข้อจำกัดในการผลิตในช่วงการผลิตต่างๆ ตามลักษณะของหน่วยผลิตต่างๆ รวมถึงกราฟที่มีลักษณะเฉพาะของประเทศไทยทั้งหมด

### 1.5 สมมติฐานของการศึกษาและขอบเขตการวิจัย

การจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ทั้งระบบนั้นประกอบไปด้วยปัญหาการคำนวณย่อยหลายส่วนด้วยกัน เช่น ปัญหาการวางแผนการเดินเครื่องล่วงหน้า ปัญหาข้อจำกัดการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื้อเพลิง, ปัญหาการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำร่วมกับหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน และปัญหาการจัดกำลังการผลิตให้สอดคล้องกับข้อตกลงที่ระบุไว้ในสัญญาการซื้อขายไฟฟ้า เป็นต้น ในงานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้า โดยพิจารณากลุ่มโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม ซึ่งสามารถใช้เชื้อเพลิงของหน่วยผลิตไฟฟ้าได้หลายชนิด และ โรงไฟฟ้ากังหันแก๊ส เป็นสำคัญ ทั้งนี้หน่วยผลิตไฟฟ้าประเภทอื่น เช่นหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ หน่วยผลิตไฟฟ้าโดยใช้พลังงานชีวมวล หรือใช้เชื้อเพลิงจากกาก เศษวัสดุเหลือทางอุตสาหกรรม ที่สามารถทดสอบหาต้นทุนกำลังการผลิตผันแปรตลอดช่วงกำลังการผลิต ก็สามารถนำมาคำนวณการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าได้

การวิเคราะห์ข้อจำกัดการผลิตไฟฟ้าต่างๆ จะกำหนดให้อยู่ภายใต้การนิยามปัญหาการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มทุนในทางเศรษฐศาสตร์ในลักษณะสเตติกและไดนามิก โดยสมการและอสมการข้อจำกัดในการคำนวณประกอบไปด้วย สมการการผลิตไฟฟ้าให้มีความสมดุล, อสมการขีดจำกัดสูง/ต่ำสุด ในการผลิตไฟฟ้าของหน่วยผลิตไฟฟ้า และ อสมการอัตราการเพิ่ม/ลดกำลังการผลิตไฟฟ้าในช่วงเวลาหนึ่ง

การคำนวณความสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบส่งจะใช้วิธีการจากสัมประสิทธิ์ความสูญเสียในระบบส่ง ในลักษณะเดียวกับโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ทำงานบนเครื่องเมนเฟรม ณ. ศูนย์ควบคุมกำลังไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ปรับปรุงค่าดังกล่าวอย่างอัตโนมัติ ส่วนในงานวิจัยนี้ใช้การประมาณค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสีย จากสมมุติฐานการเปลี่ยนแปลงของโหลดที่ไม่ทำให้สภาวะการไหลของพลังงานในระบบกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนรูปแบบอย่างฉับพลัน โดยไม่เน้นถึงสภาวะการไหลของพลังงานภายหลังจากการจัดกำลังการผลิต เนื่องจากการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ดังกล่าว

## 1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาปัญหาการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้ารวมถึงข้อจำกัดที่มีในการผลิตไฟฟ้า
2. ศึกษาแนวทางที่เหมาะสมในการแก้ไขปัญหา
3. ศึกษาและวิจัยหาอัลกอริทึมที่เหมาะสมในการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้า รวมถึงการพัฒนาอัลกอริทึมขึ้นใหม่เพื่อแก้ปัญหาข้อจำกัดในการจัดกำลังการผลิตที่มีอยู่เดิม ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น
4. พัฒนาและทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตามอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้น
5. ทดสอบการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ ภายใต้ข้อจำกัดการผลิตไฟฟ้าสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่แตกต่างกัน

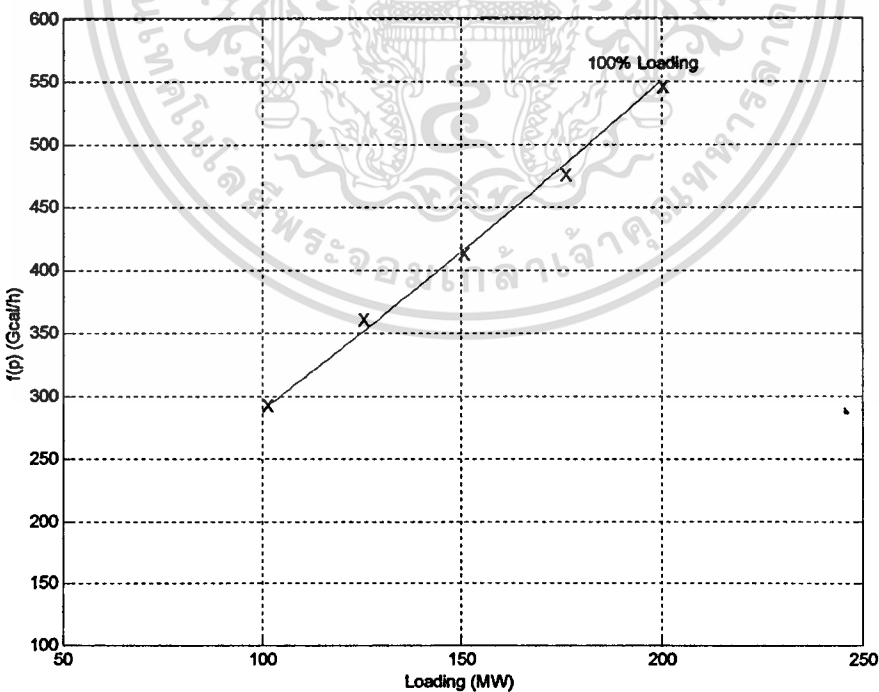
## บทที่ 2

# การจำกัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์

ในบทนี้ กล่าวถึงที่มาและวิธีการแก้ปัญหาการจำกัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ทั้งในลักษณะสแตติกและไดนามิก ซึ่งพิจารณาต้นทุนการผลิตไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าประเภทต่างๆ เป็นส่วนสำคัญ รวมถึงข้อจำกัดในการผลิตไฟฟ้าที่มีอยู่ เช่น ผลกระทบจากควาล์วปิด/เปิด ไอน้ำของหน่วยผลิตพลังงานความร้อน เป็นต้น

### 2.1 ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า

ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า โดยทั่วไปประกอบด้วยต้นทุนเชื้อเพลิง, ต้นทุนการจัดการผลิต, และต้นทุนการบำรุงรักษา แต่ในส่วนของการวิเคราะห์การจำกัดกำลังการผลิตไฟฟ้านั้น เราจะพิจารณาเพียงต้นทุนเชื้อเพลิงในลักษณะต้นทุนผันแปรที่เกิดขึ้นในการผลิตไฟฟ้า ตลอดช่วงกำลังการผลิตของหน่วยผลิตไฟฟ้า สำหรับหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนและพลังงานความร้อนร่วมนั้น ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าอาจแสดงอยู่ในสมการราคาเชื้อเพลิงที่ใช้รายชั่วโมง เทียบเป็นฟังก์ชันกับกำลังการผลิตที่ได้รับจากหน่วยผลิตนั้น โดยสัมประสิทธิ์ในสมการดังกล่าวจะคำนวณมาจากข้อมูลดิบที่ได้จากการทดสอบหน่วยผลิตไฟฟ้า



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างฟังก์ชันควอคราติกที่ได้จากประมาณข้อมูลการทดสอบหน่วยผลิตไฟฟ้า

## 2.2 กราฟคุณลักษณะการผลิตไฟฟ้าของหน่วยผลิต

### 2.2.1 กราฟอินพุต-เอาต์พุต

กราฟอินพุต-เอาต์พุตแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้าสู่หน่วยผลิต (อินพุต) เทียบกับกำลังการผลิตที่ได้จากหน่วยผลิตนั้น (เอาต์พุต) โดยที่หน่วยวัดปริมาณความร้อนที่นิยมใช้คือ “พันล้านแคลอรี” หรือ “ล้านบีทียู” และหน่วยวัดกำลังการผลิตคือ “เมกกะวัตต์” ซึ่งแสดงอยู่ในเทอมสมการควอดราติกอันดับสอง ดังต่อไปนี้

$$F_i(P_{g,i}) = a_i + b_i * P_{g,i} + c_i * P_{g,i}^2 + \dots \quad (2.1)$$

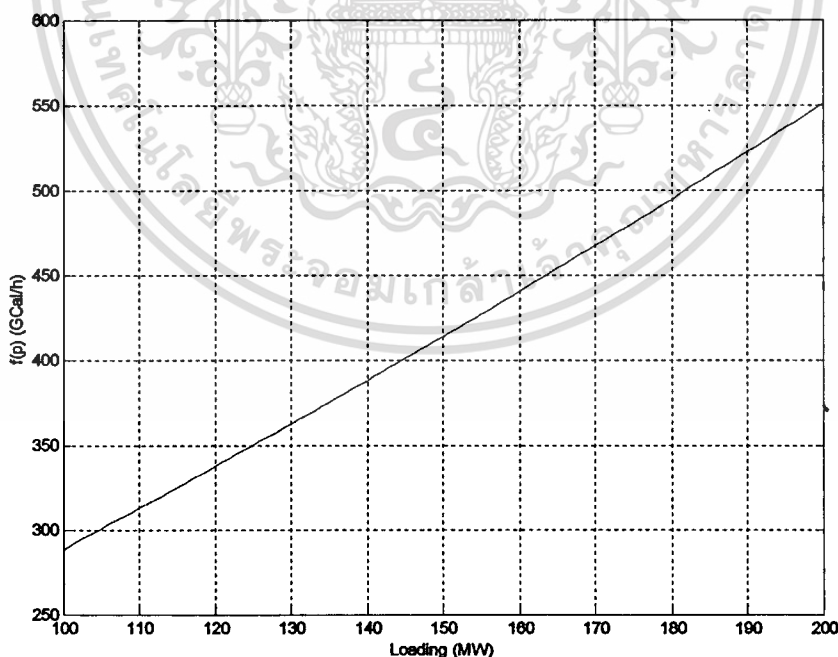
สำหรับโรงไฟฟ้าบางประเภทอาจจะแสดงในรูปของสมการที่เป็นเชิงเส้น

$$\begin{aligned} F_i(P_{g,i}) &= a_i + b_i * P_{g,i}; & P_{g,i}^{\min} \leq P_{g,i} < P_{g,i}^{\text{int}} \\ &= c_i + d_i * P_{g,i}; & P_{g,i}^{\text{int}} \leq P_{g,i} \leq P_{g,i}^{\max} \end{aligned} \quad (2.2)$$

โดยที่  $F_i(P_{g,i})$  คือ ฟังก์ชันปริมาณความร้อนที่ป้อนเข้าสู่หน่วยผลิตไฟฟ้าลำดับ  $i$  สำหรับการผลิตไฟฟ้าในระดับ  $P_{g,i}$  (เมกกะวัตต์) ในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง (พันล้านแคลอรี/ชั่วโมง หรือ ล้านบีทียู/ชั่วโมง)

$P_{g,i}$  คือ กำลังการผลิตของหน่วยผลิตไฟฟ้าลำดับ  $i$  (เมกกะวัตต์)

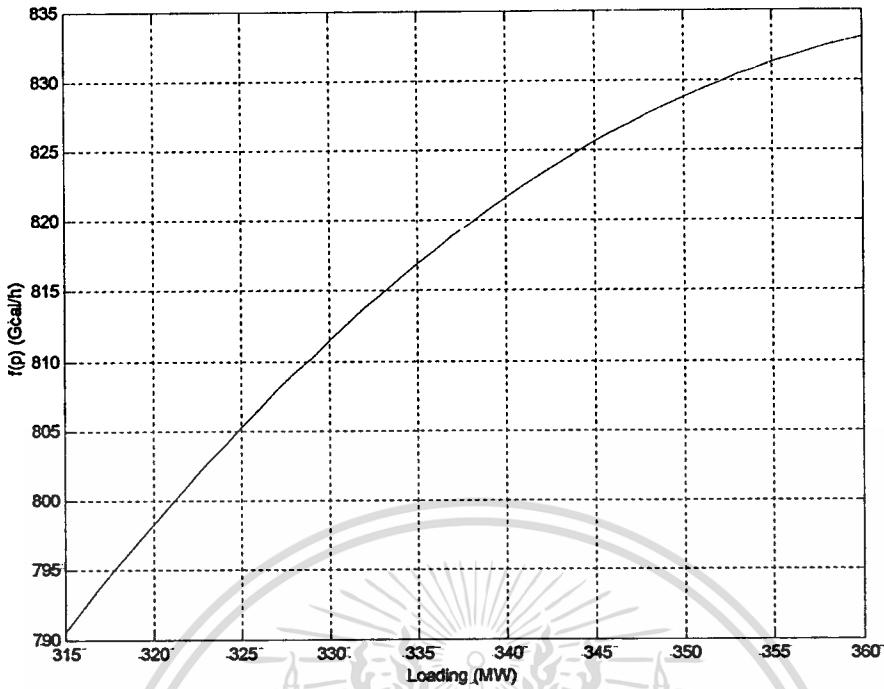
$a_i, b_i, c_i, d_i$  คือ สัมประสิทธิ์ของสมการ



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างกราฟอินพุต-เอาต์พุตของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน

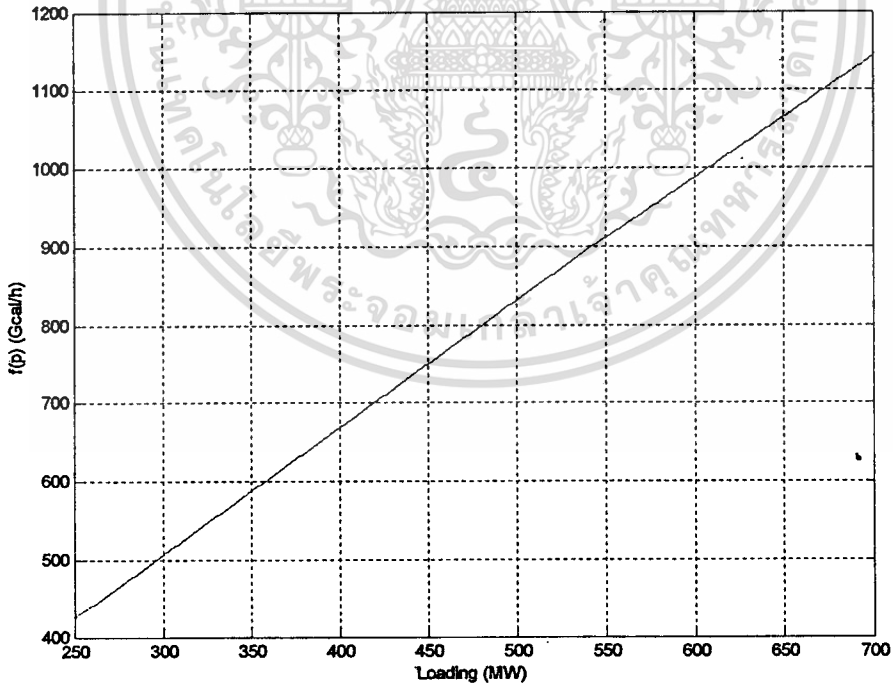
$$(SB-T1: f(p) = 72.69 + 1.94 * p + 0.002255 * p^{**2})$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างกราฟอินพุต-เอาต์พุตของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

$$(BPk-C1: f(p) = -1212.21 + 11.09558 * p - 0.01504 * p^{**2})$$



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างกราฟอินพุต-เอาต์พุตของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

$$(RB-C1: f1(p) = 17.08 + 1.63 * p; 250 \leq p < 550)$$

$$f2(p) = 64.67 + 1.54 * p; 550 < p \leq 700)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.2.2 กราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิต

กราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตแสดงความสัมพันธ์ระหว่างราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตเทียบกับกำลังการผลิตที่ได้จากหน่วยผลิตนั้น ซึ่งแสดงอยู่ในเทอมสมการควอดราติกอันดับสอง ดังต่อไปนี้

$$C_i(P_{g,i}) = FC_i * F_i(P_{g,i}) \quad (2.3)$$

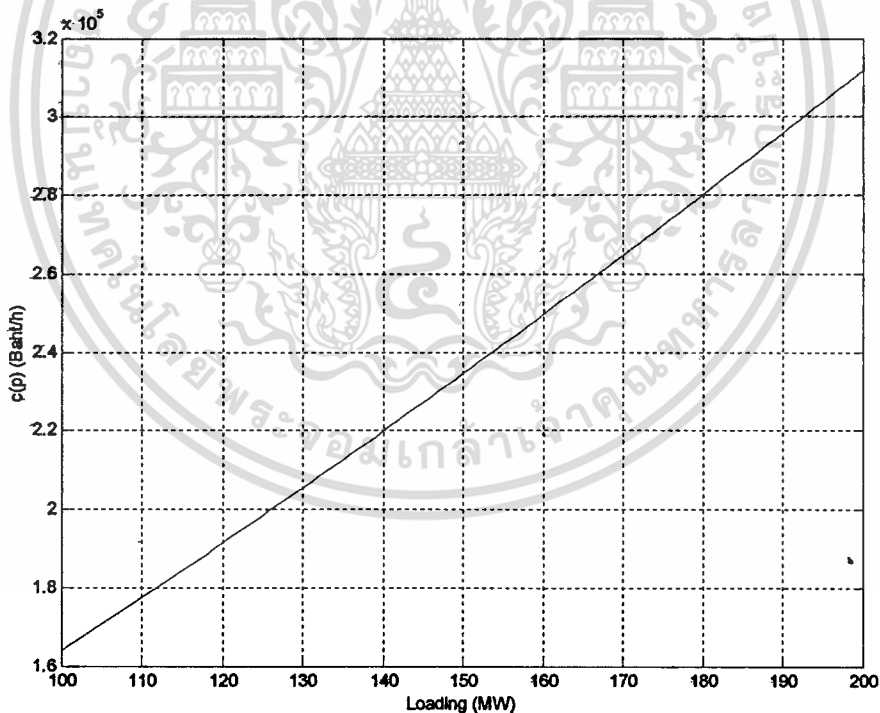
$$C_i(P_{g,i}) = FC_i * (a_i + b_i * P_{g,i} + c_i * P_{g,i}^2 + \dots) \quad (2.4)$$

สำหรับโรงไฟฟ้าบางประเภทอาจจะแสดงในรูปของสมการที่เป็นเชิงเส้น

$$\begin{aligned} C_i(P_{g,i}) &= FC_i(a_i + b_i * P_{g,i}) & P_{g,i}^{\min} \leq P_{g,i} < P_{g,i}^{\text{int}} \\ &= FC_i(c_i + d_i * P_{g,i}) & P_{g,i}^{\text{int}} \leq P_{g,i} \leq P_{g,i}^{\max} \end{aligned} \quad (2.5)$$

โดยที่  $C_i(P_{g,i})$  คือ ฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในหน่วยผลิตไฟฟ้าลำดับ  $i$  สำหรับผลิตไฟฟ้าในระดับ  $P_{g,i}$  (เมกะวัตต์) ในช่วงเวลา 1 ชั่วโมง (บาท/พันล้าน แคลอรี หรือ บาท/ล้านบีทียู)

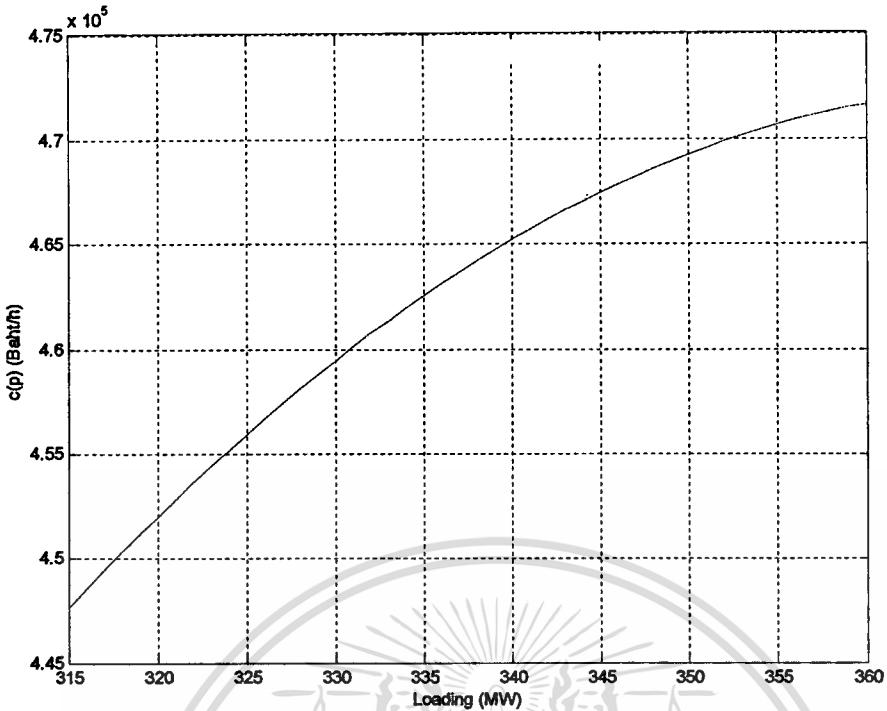
$FC_i$  คือ ราคาเชื้อเพลิงต่อหน่วยพลังงานความร้อน (บาท/ชั่วโมง)



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน

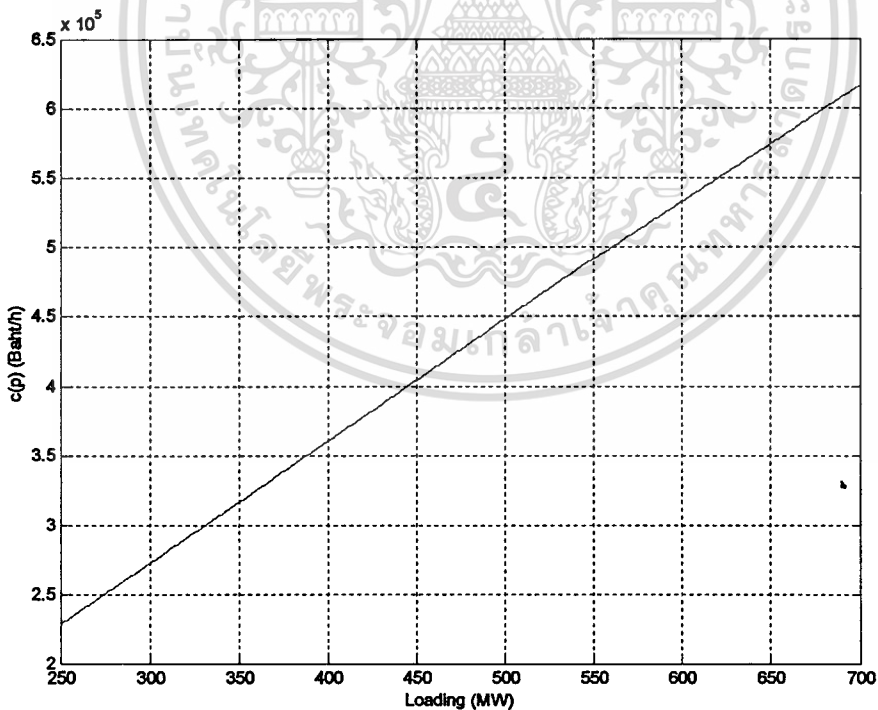
$$(SB-T1: c(p) = 566.23 * (72.69 + 1.94 * p + 0.002255 * p^2))$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

$$(BPK-C1: f(p) = 566.23 * (-1212.21 + 11.09558 * p - 0.01504 * p^{**2}))$$



รูปที่ 2.7 ตัวอย่างกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

$$(RB-C1: c_1(p) = 539.36 * (17.08 + 1.63 * p); 250 \leq p < 550$$

$$c_2(p) = 539.36 * (64.67 + 1.54 * p); 550 < p \leq 700)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

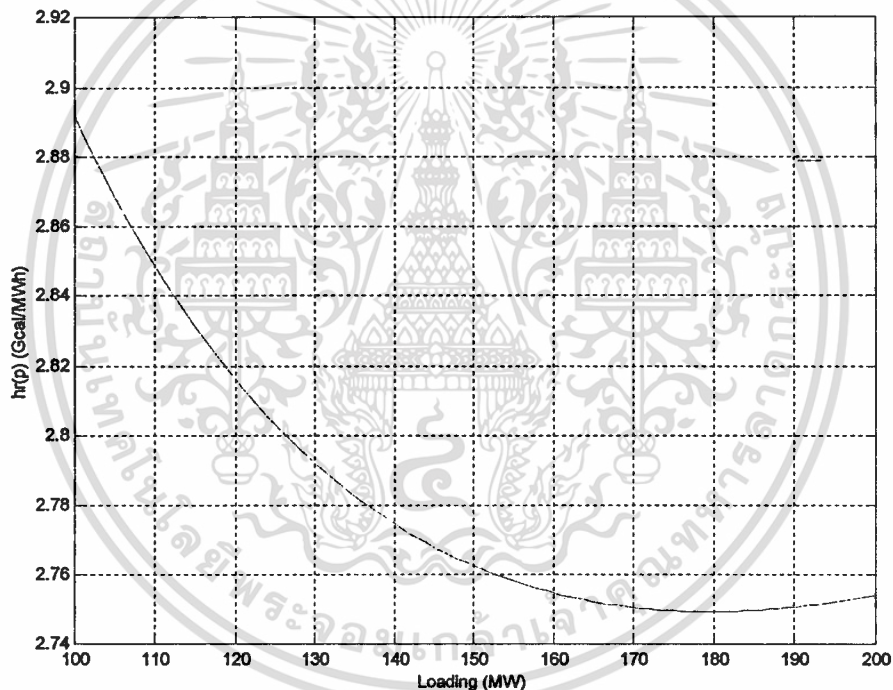
### 2.2.3 กราฟอัตราความร้อน

กราฟอัตราความร้อนแสดงอัตราส่วนของพลังงานความร้อนโดยเฉลี่ยเมื่อเทียบกับกำลังการผลิตที่ได้จากหน่วยผลิตนั้น ค่าจากอัตราความร้อนนี้สามารถใช้ในการสะท้อนถึงประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของหน่วยผลิตไฟฟ้านั้น โดยที่ค่าแห่งที่มีค่าต่ำสุดจะพิจารณาเป็นค่าแห่งที่หน่วยผลิตมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าสูงสุด

$$HR_i(P_{g,i}) = \text{พลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าสู่หน่วยผลิต} / \text{กำลังการผลิตที่ได้} \quad (2.6)$$

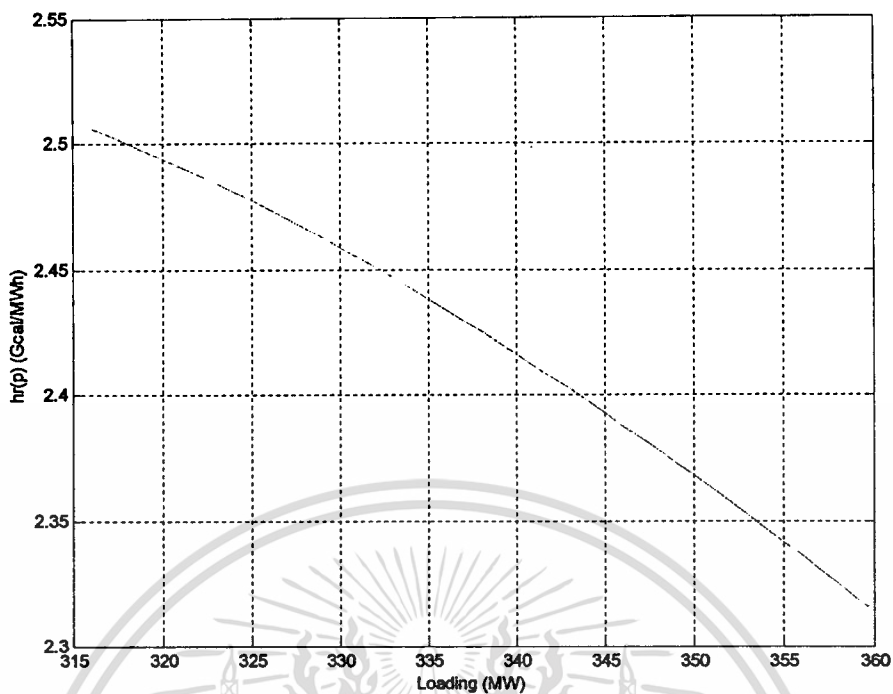
$$= F_i(P_{g,i}) / P_{g,i} \quad (2.7)$$

โดยที่  $HR_i(P_{g,i})$  คือ ฟังก์ชันอัตราความร้อนเฉลี่ยที่ใช้ในหน่วยผลิตไฟฟ้าลำดับ  $i$  สำหรับผลิตไฟฟ้าในระดับ  $P_{g,i}$  (เมกกะวัตต์) (พื้นล้านแคลอรี/เมกกะวัตต์-ชั่วโมง หรือ ล้านบีทียู/เมกกะวัตต์-ชั่วโมง)



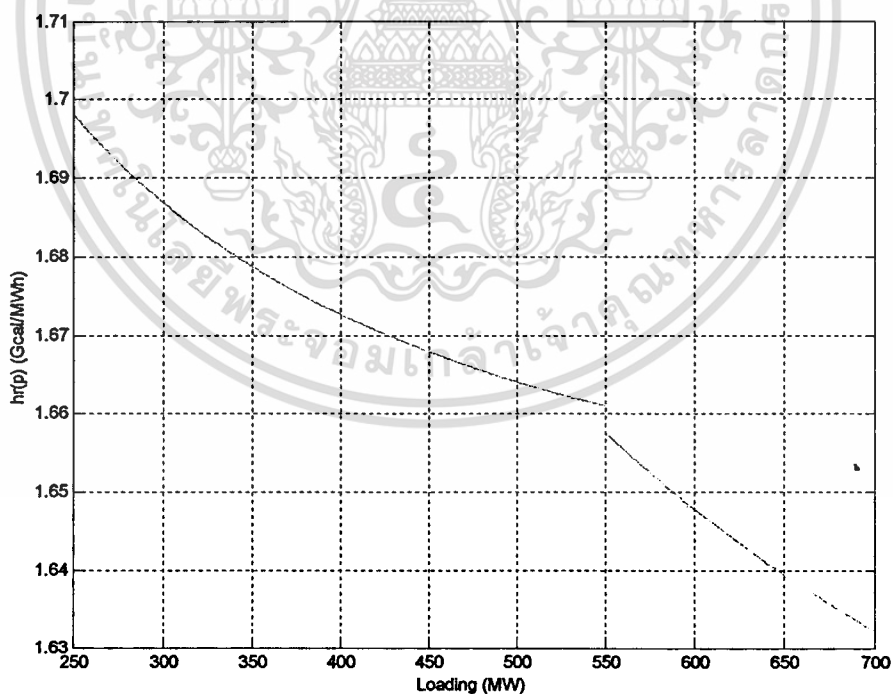
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างกราฟอัตราความร้อนของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน

$$(SB-T1: hr(p) = f(p)/p)$$



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างกราฟอัตราความร้อนของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

$$(BPK-C1: hr(p) = f(p)/p)$$



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างกราฟอัตราความร้อนของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

$$(RB-C1: hr(p) = f(p)/p)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

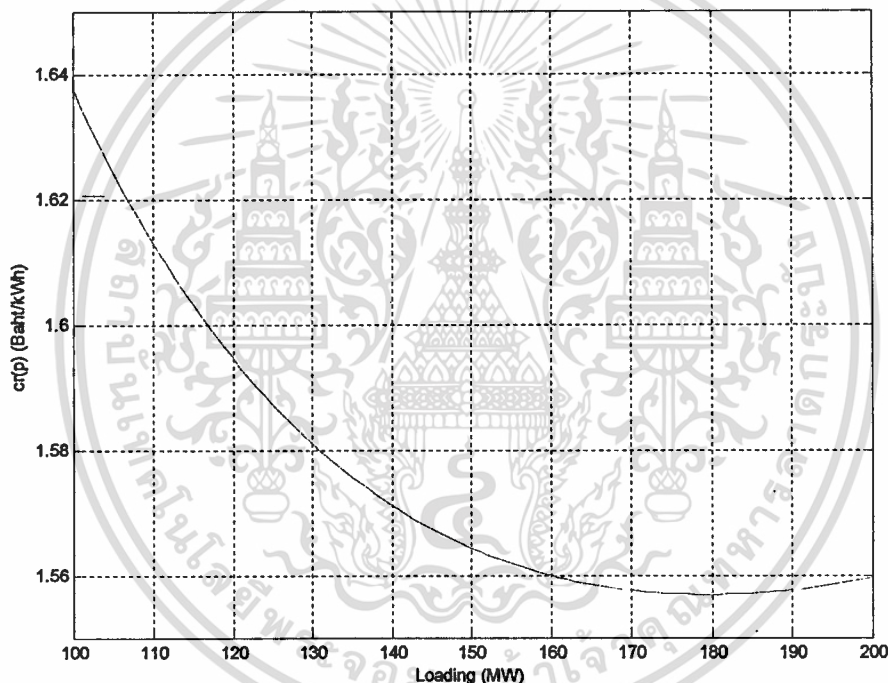
### 2.2.3 กราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิง

กราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงแสดงอัตราต้นทุนเฉลี่ยเมื่อเทียบกับกำลังการผลิตที่ได้จากหน่วยผลิตนั้น ในลักษณะคล้ายคลึงกับค่าอัตราความร้อน ค่าจากอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงนี้สามารถใช้ในการสะท้อนถึงประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าของหน่วยผลิตไฟฟ้านั้น โดยที่ตำแหน่งที่มีค่าต่ำสุดจะพิจารณาเป็นตำแหน่งที่หน่วยผลิตมีประสิทธิภาพในการผลิตไฟฟ้าสูงสุด

$$CR_i(P_{g,i}) = \text{ต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิต} / \text{กำลังการผลิตที่ได้} \quad (2.8)$$

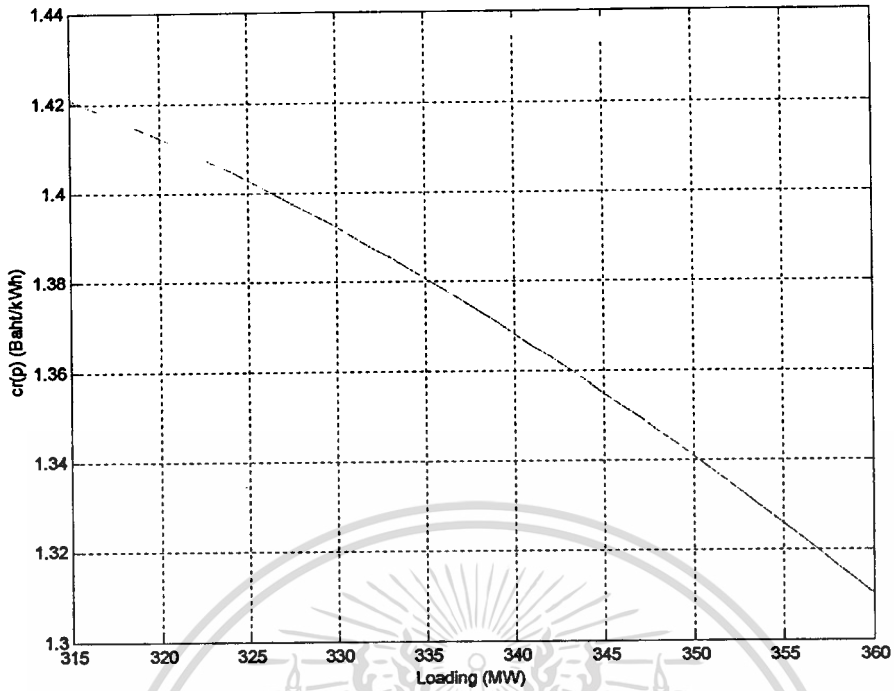
$$= C_i(P_{g,i}) / P_{g,i} \quad (2.9)$$

โดยที่  $CR_i(P_{g,i})$  คือ ฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ยที่ใช้ในหน่วยผลิตไฟฟ้าลำดับ  $i$  สำหรับผลิตไฟฟ้าในระดับ  $P_{g,i}$  (เมกะวัตต์) (บาท/เมกะวัตต์-ชั่วโมง)



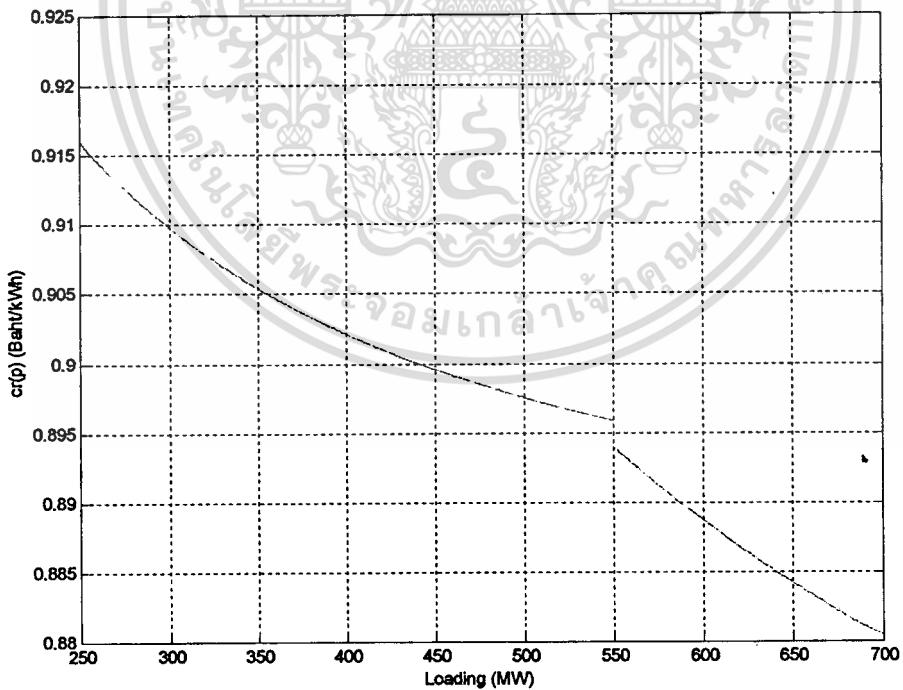
รูปที่ 2.11 ตัวอย่างกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน

(SB-T1:  $cr(p) = c(p)/p$ )



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

$$(BPK-C1: cr(p) = c(p)/p)$$



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

$$(RB-C1: cr(p) = c(p)/p)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

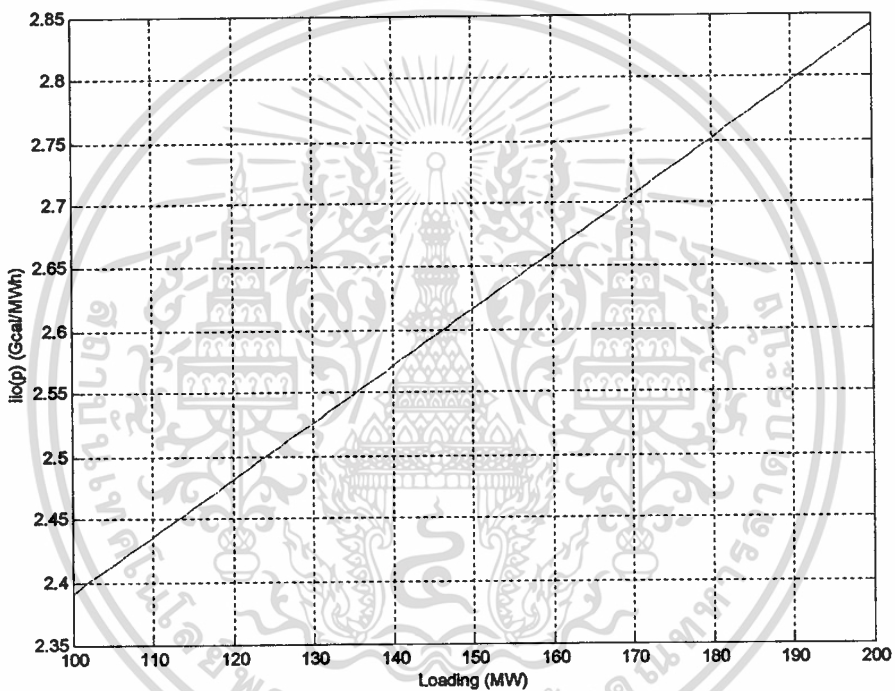
### 2.2.5 กราฟอัตราพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้น

กราฟอัตราพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้นแสดงอัตราการใช้พลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นจากหน่วยผลิตนั้น โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$IIO_i(P_{g,i}) = \text{อัตราพลังงานความร้อนที่ใช้เพิ่มขึ้น} / \text{กำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น} \quad (2.10)$$

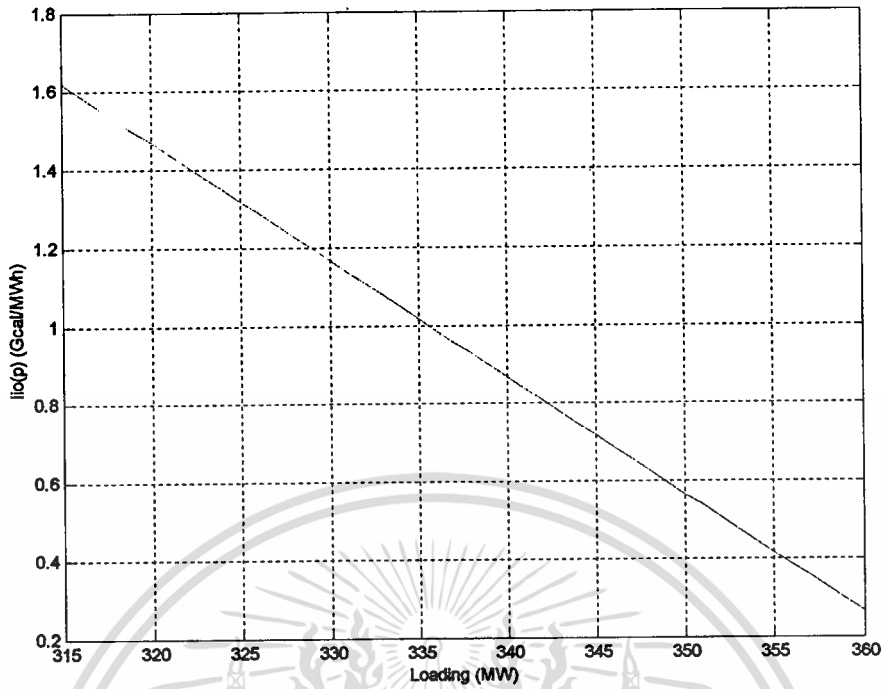
$$= \partial(F_i(P_{g,i}))/\partial P_{g,i} \quad (2.11)$$

โดยที่  $IIO_i(P_{g,i})$  คือ ฟังก์ชันอัตราพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้น ในหน่วยผลิตไฟฟ้าลำดับ  $i$  สำหรับการผลิตไฟฟ้าในระดับ  $P_{g,i}$  (เมกะวัตต์) (พันล้านแคลอรี/เมกะวัตต์-ชั่วโมง หรือ ล้านบีทียู/เมกะวัตต์-ชั่วโมง)

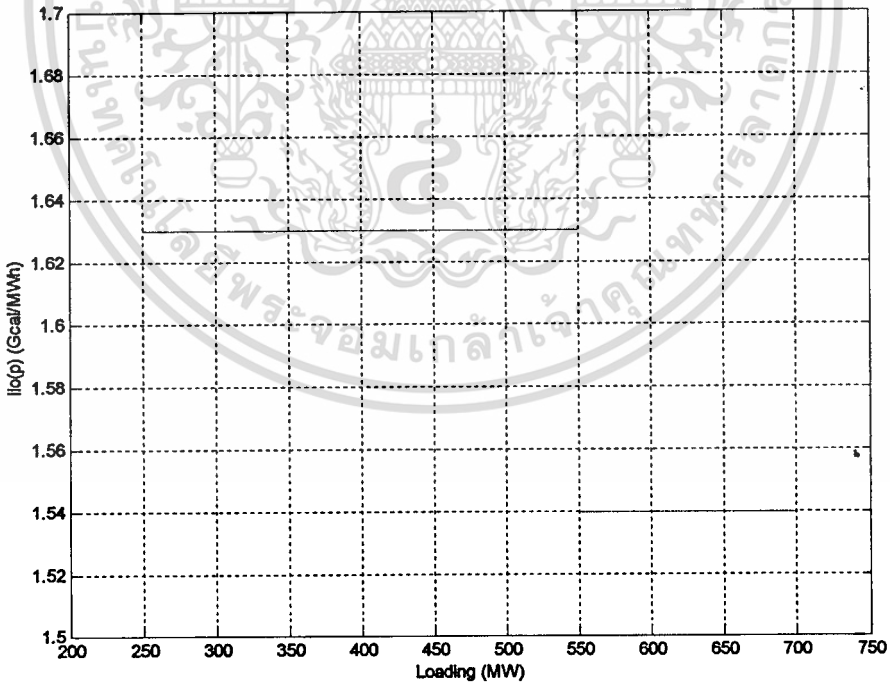


รูปที่ 2.14 ตัวอย่างกราฟอัตราพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้นของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อน

$$(SB-T1: iio(p) = 1.94 + 0.002255 * 2 * p)$$



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างกราฟอัตราพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้นของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลัง  
ความร้อนร่วม (BPK-C1:  $iio(p) = 11.09558 - 0.01504 * 2 * p$ )



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างกราฟอัตราพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้นของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลัง  
ความร้อนร่วม (RB-C1:  $iio1(p) = 1.63; 250 \leq p < 550$   
 $iio2(p) = 1.54; 550 < p \leq 700$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

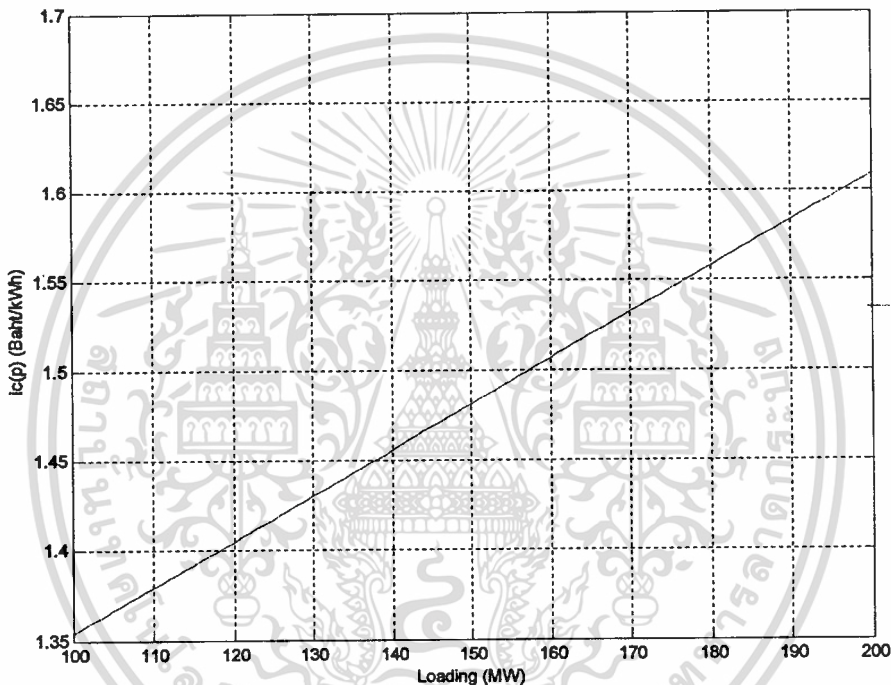
## 2.2.6 กราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น

กราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นแสดงอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นจากหน่วยผลิตนั้น โดยสามารถคำนวณได้จาก

$$IC_i(P_{g,i}) = \text{อัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ใช้เพิ่มขึ้น} / \text{กำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น} \quad (2.12)$$

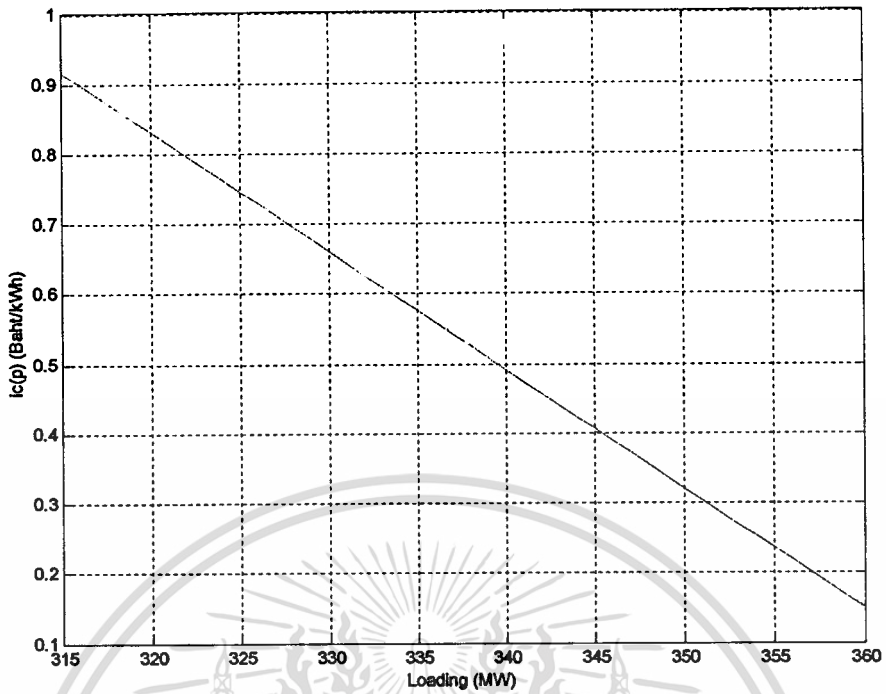
$$= \partial(C_i(P_{g,i})) / \partial P_{g,i} \quad (2.13)$$

โดยที่  $IC_i(P_{g,i})$  คือ ฟังก์ชันอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นในหน่วยผลิตไฟฟ้าลำดับ  $i$  สำหรับการผลิตไฟฟ้าในระดับ  $P_{g,i}$  (เมกกะวัตต์) (บาท/เมกกะวัตต์-ชั่วโมง)

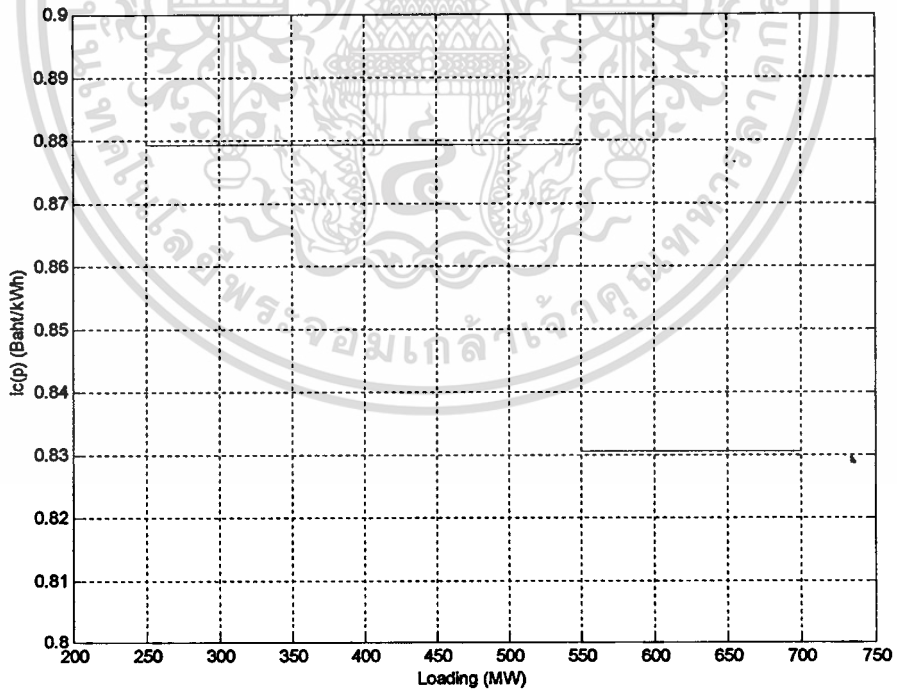


รูปที่ 2.17 ตัวอย่างกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นของหน่วยผลิตไฟฟ้า

พลังความร้อน (SB-T1:  $ic(p) = 566.23*(1.94+0.002255*2*p)$ )

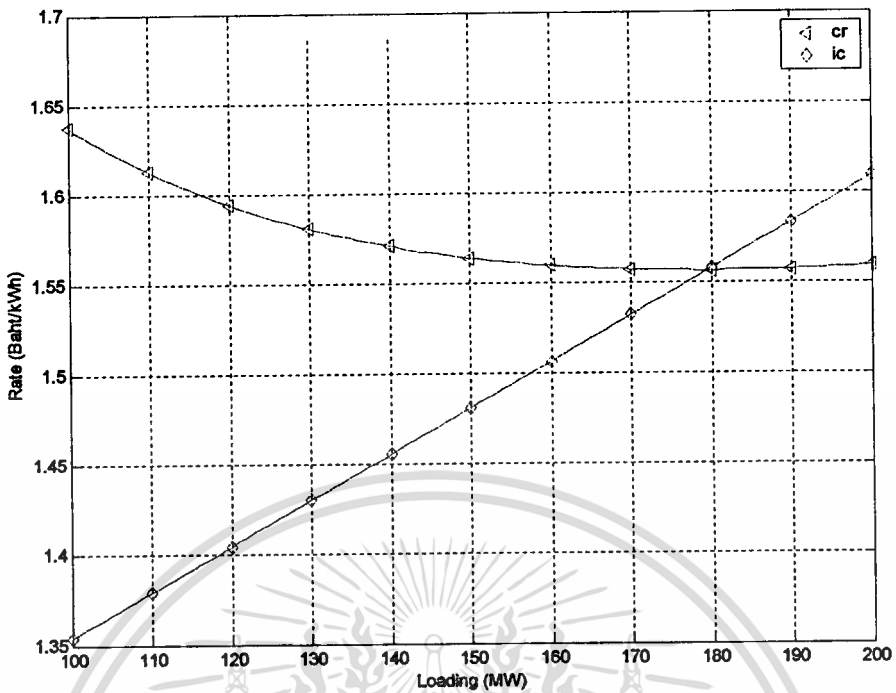


รูปที่ 2.18 ตัวอย่างกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นของหน่วยผลิตไฟฟ้า  
พลังความร้อนร่วม (BPK-C1:  $ic(p) = 566.23 * (11.09558 - 0.01504 * p^2)$ )

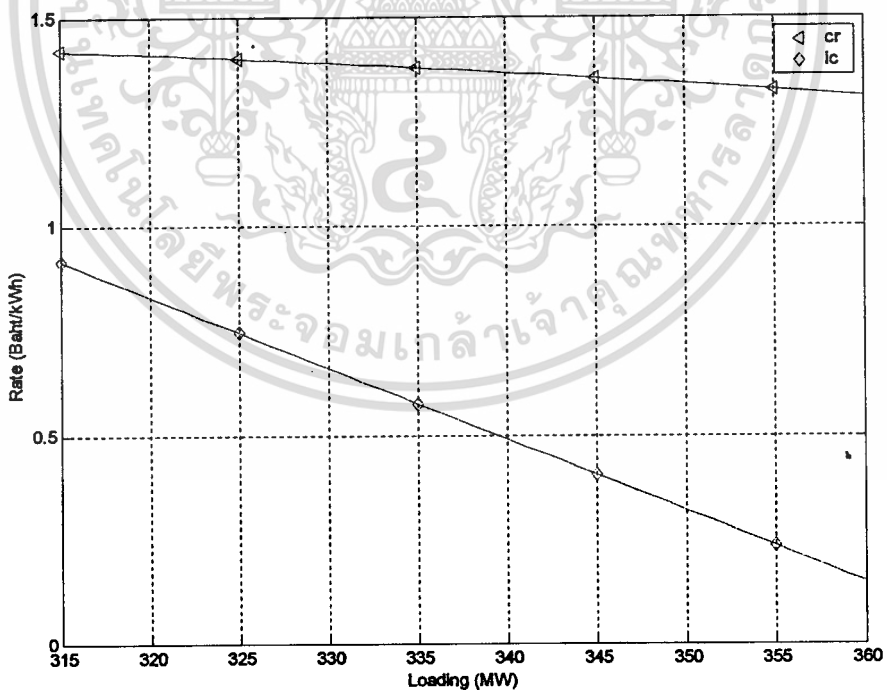


รูปที่ 2.19 ตัวอย่างกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นของหน่วยผลิตไฟฟ้า  
พลังความร้อนร่วม (RB-C1:  $ic1(p) = 539.36 * 1.63$ ;  $250 \leq p < 550$   
 $ic2(p) = 539.36 * 1.54$ ;  $550 < p \leq 700$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

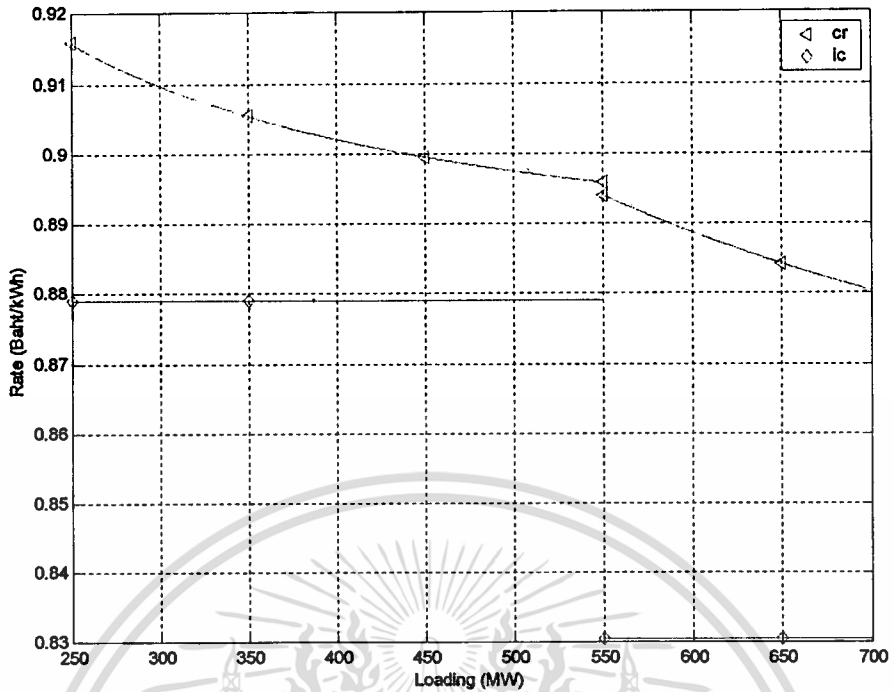


รูปที่ 2.20 ตัวอย่างกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงและอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน (SB-T1)



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงและอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (BPK-C1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงและอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นของหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม (RB-C1)

## 2.3 ลักษณะความสัมพันธ์ที่สำคัญระหว่างอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงและอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงกราฟคุณลักษณะเฉพาะของหน่วยผลิตไฟฟ้า ซึ่งมีรูปร่างแตกต่างกันไปตามชนิดของหน่วยผลิตไฟฟ้า ลักษณะทางกายภาพของหน่วยผลิตไฟฟ้า รวมถึงค่าราคาเชื้อเพลิงตามประเภทต่างๆ สามารถแบ่งกลุ่มตามลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของมุมที่สำคัญได้ดังนี้

### 2.3.1 กลุ่มโรงไฟฟ้าโดยทั่วไป

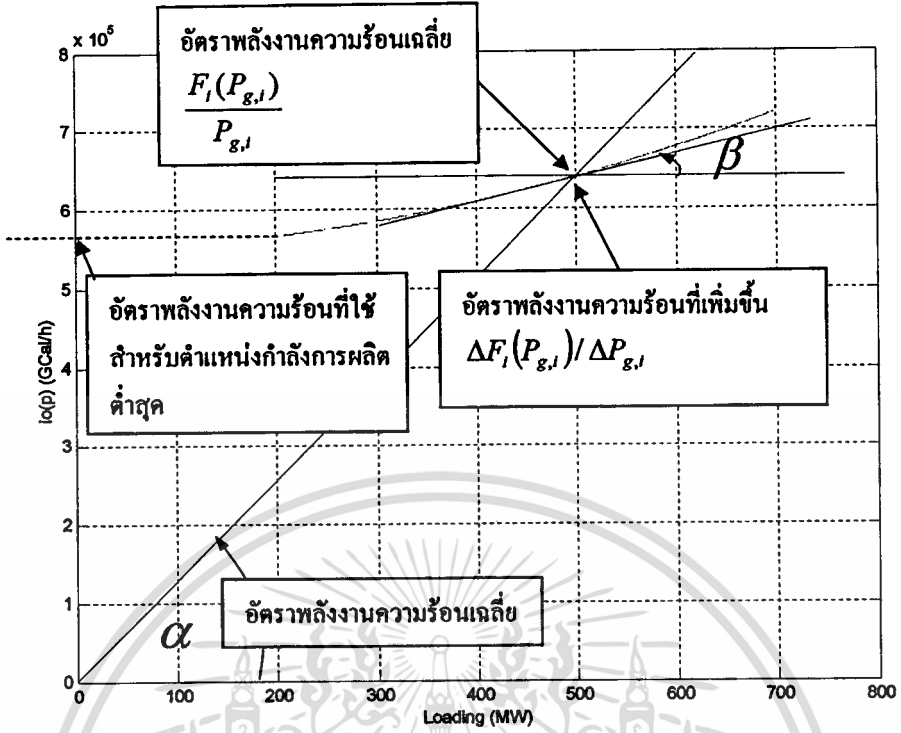
- ค่าอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย จะมีค่าลดลงเมื่อกำลังผลิตสูงขึ้น ( $\alpha_2 < \alpha_1$ )
- ค่าอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกำลังผลิตสูงขึ้น ( $\beta_2 > \beta_1$ )
- ค่าอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น จะมีค่าน้อยกว่าค่าอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย ( $\beta_2 < \alpha_2$ )

### 2.3.2 กลุ่มโรงไฟฟ้าบางประเภท

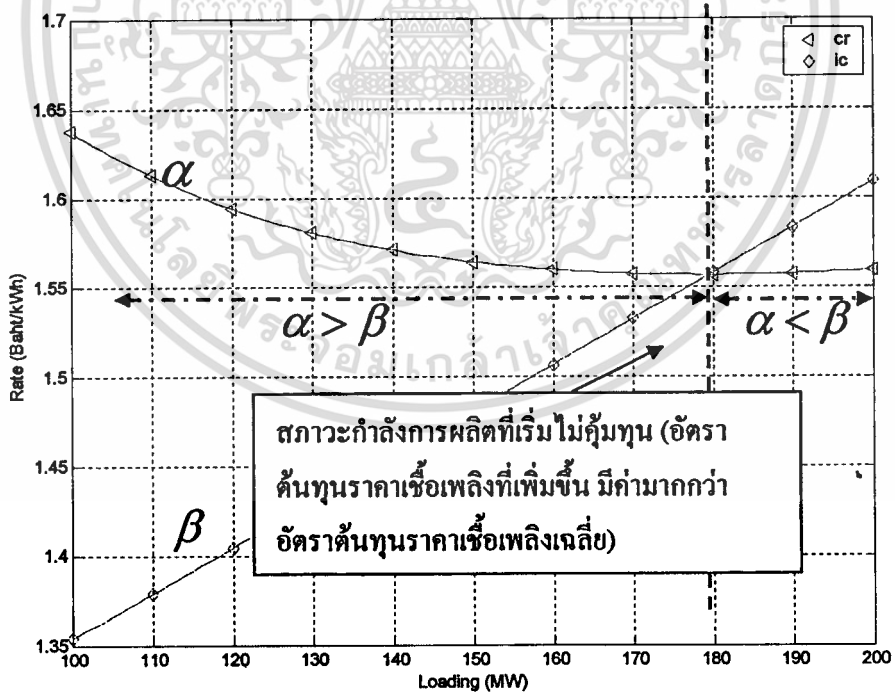
- จะมีตำแหน่งการผลิตหนึ่งที่ ค่าอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย จะมีค่าเท่ากับค่าอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ( $\beta_1 = \alpha_1$ )
- สำหรับตำแหน่งที่มีกำลังการผลิตสูงชันกว่านี้ ค่าอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อกำลังผลิตสูงขึ้น ( $\alpha_2 > \alpha_1$ ) และค่าอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น จะมีค่ามากกว่าค่าอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย ( $\beta_2 > \alpha_2$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.23 ลักษณะพารามิเตอร์ที่สำคัญของของฟังก์ชันอินพุท-เอาต์พุท



รูปที่ 2.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงเฉลี่ย ( $\alpha$ ) และค่าอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ( $\beta$ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

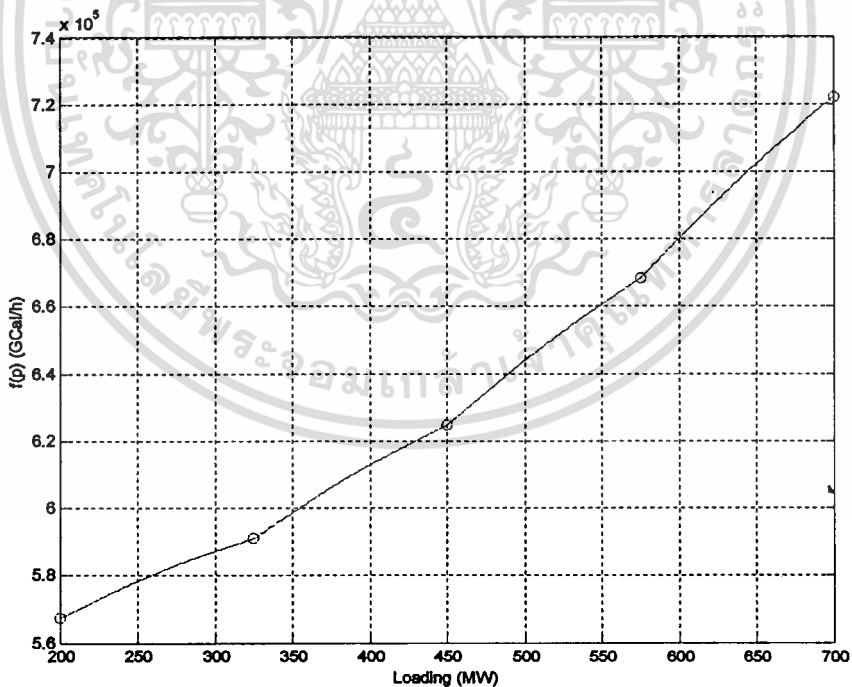
## 2.4 ผลกระทบจากวาล์วปิด/เปิดไอน้ำ

สำหรับหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนขนาดใหญ่ จะประกอบไปด้วยวาล์วปิด/เปิดไอน้ำจำนวนมาก สำหรับควบคุมปริมาณไอน้ำที่ป้อนเข้าสู่เทอร์ไบน์ โดยเมื่อหน่วยผลิตไฟฟ้าเพิ่มกำลังการผลิตให้สูงขึ้น จะต้องใช้ปริมาณไอน้ำมากขึ้น ซึ่งอัตราการใช้พลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้น จะมีลักษณะที่ลดลงในช่วงการปิด/เปิดวาล์ว และในขณะที่เริ่มเปิดวาล์วไอน้ำ ความสูญเสียจากวาล์วปิด/เปิดไอน้ำจะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้อัตราการใช้พลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้น มีค่าสูงขึ้นอย่างมาก โดยเมื่อพิจารณาผลกระทบดังกล่าวต่อกราฟอินพุท-เอาต์พุทที่ได้ตลอดช่วงการผลิต จะพบว่ากราฟจะมีลักษณะไม่เรียบ และกราฟอัตราพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้นก็มีลักษณะที่ไม่ต่อเนื่อง ทำให้ไม่สามารถนำไปรวมคำนวณการสังเคินหน่วยผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ต้องการกราฟคุณลักษณะคอนเวกซ์ หรือวิธีการอื่นที่ต้องคำนวณหาค่าอนุพันธ์จากกราฟดังกล่าว

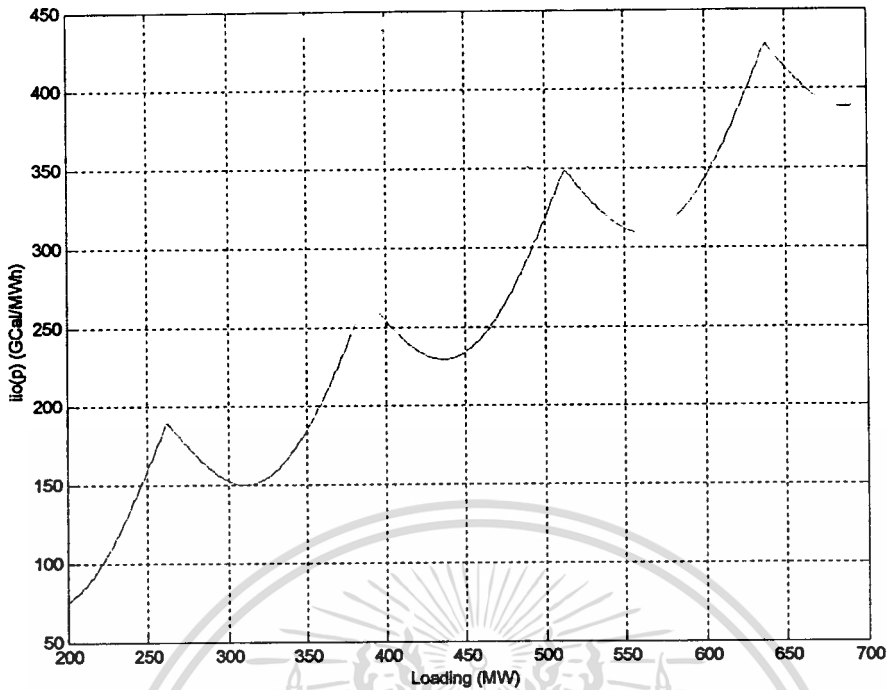
สำหรับการจำลองผลกระทบจากวาล์วปิด/เปิดไอน้ำสำหรับการคำนวณในคอมพิวเตอร์นั้น โดยทั่วไปจะใช้การเพิ่มเทอมที่เป็นรูปคลื่นไซน์ รวมเข้ากับฟังก์ชันอินพุท-เอาต์พุทหลัก โดยแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$F_i(P_{g,i}) = a_i + b_i * P_{g,i} + c_i * P_{g,i}^2 + |d_i * \sin(e_i * (P_{g,i}^{\min} - P_{g,i}))| \quad (2.14)$$

โดยที่  $a_i, b_i, c_i, d_i, e_i$  คือ สัมประสิทธิ์ของสมการ



รูปที่ 2.25 ตัวอย่างกราฟอัตราอินพุท-เอาต์พุทหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบจากวาล์วปิด/เปิดไอน้ำ



รูปที่ 2.26 ตัวอย่างกราฟอัตราพลังงานความร้อนที่เพิ่มขึ้น สำหรับหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบจากวาล์วปิด/เปิดไอน้ำ

## 2.5 ผลกระทบจากช่วงการผลิตไฟฟ้าต้องห้าม

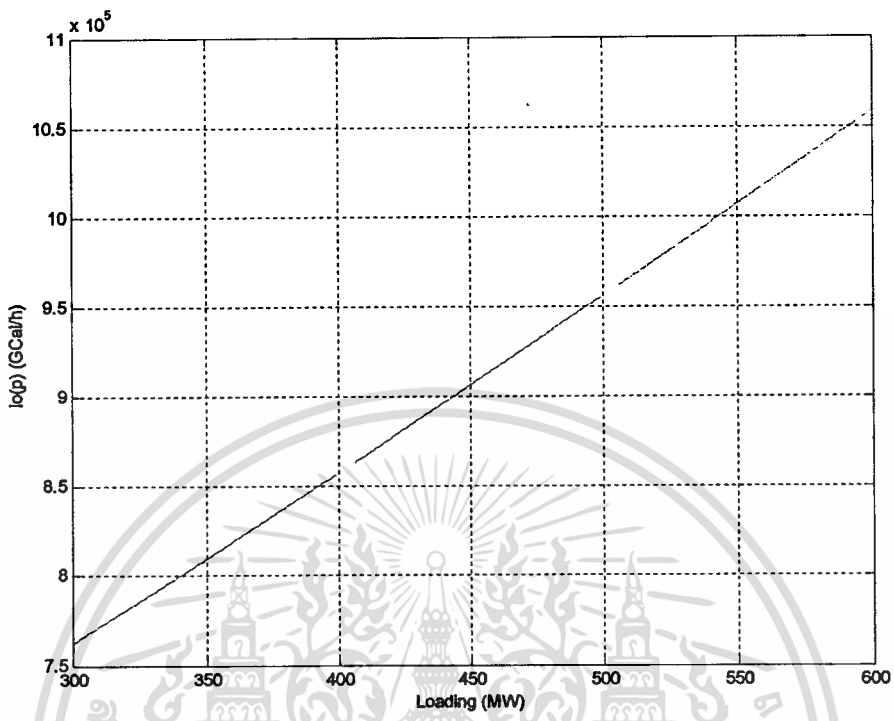
สำหรับหน่วยผลิตไฟฟ้าบางประเภทนั้น จะมีช่วงการผลิตในช่วงหนึ่งซึ่งอาจก่อให้เกิดการสั่นตัวของแกนเพลลาที่เชื่อมต่อระหว่างเทอร์ไบน์และแกนโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า หรือเกิดความไม่เสถียรภาพในการผลิตไฟฟ้าในช่วงการผลิตหนึ่ง จากการดำเนินงานที่ผิดปกติของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหรืออุปกรณ์ชนิดอื่น ส่งผลให้หน่วยผลิตไฟฟ้าไม่สามารถผลิตไฟฟ้าในช่วงการผลิตดังกล่าวได้ หรือถ้ามีความสามารถในการผลิตไฟฟ้าได้แต่จะทำให้อายุการใช้งานของหน่วยผลิตไฟฟ้านั้นสั้นลง

ข้อจำกัดดังกล่าวส่งผลกระทบโดยตรงสำหรับกราฟอินพุท-เอาต์พุทหลัก ซึ่งมีลักษณะไม่ต่อเนื่อง และไม่อยู่ในลักษณะคอนเวกซ์ทำให้ไม่สามารถนำไปรวมคำนวณการสั่งเดินหน่วยผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ต้องคำนวณหาค่าอนุพันธ์จากกราฟดังกล่าว เช่น ทฤษฎีการจับคู่ค่าแลมabda ของระบบให้เท่ากัน เป็นต้น

สำหรับการจำลองผลกระทบจากช่วงการผลิตไฟฟ้าที่ไม่สามารถผลิตได้ สำหรับการคำนวณในคอมพิวเตอร์นั้น สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
 F_i(P_{g,i}) &= a_i + b_i * P_{g,i} + c_i * P_{g,i}^2 + \dots; \quad P_{g,i}^{\min} \leq P_{g,i} \leq P_{g,i}^{\max} \\
 &= \infty; \quad P_{g,i} \in P_{g,i}^{PZ}
 \end{aligned}
 \quad (2.15)$$

โดยที่  $P_{g,i}^{PZ}$  คือช่วงตำแหน่งการผลิตไฟฟ้าที่ไม่สามารถผลิตได้สำหรับหน่วยผลิตลำดับ  $i$



รูปที่ 2.27 ตัวอย่างกราฟอัตราอินพุต-เอาต์พุตหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน เมื่อพิจารณาถึงช่วงการผลิตไฟฟ้าต้องห้าม

### 2.6 ปัญหาการจำกัดกำลังการผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติก

#### 2.6.1 เมื่อไม่คำนึงถึงความสูญเสียจากการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านสายส่งไฟฟ้าแรงสูง

การจำกัดกำลังการผลิตไฟฟ้าให้มีความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ คือการจำกัดกำลังการผลิตไฟฟ้าสำหรับแต่ละหน่วยผลิต ให้มีต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าต่ำที่สุด โดยกำลังการผลิตไฟฟ้ารวมจะต้องมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการ รวมถึงการชดเชยความสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบส่ง

ประเด็นที่สำคัญสำหรับการพิจารณาปัญหานี้คือ การปรับเปลี่ยนกำลังการผลิตของแต่ละเครื่องที่ขนานอยู่ในระบบ ณ. ขณะนั้น ให้อยู่บนพื้นฐานของต้นทุนราคาเชื้อเพลิงของหน่วยผลิตไฟฟ้าในลักษณะรวมทั้งระบบ โดยคำนึงถึงความแตกต่างของต้นทุนราคาเชื้อเพลิงในแต่ละหน่วยผลิตเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

การจำกัดกำลังการผลิตไฟฟ้าให้มีความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์นั้น จะนำมาพิจารณาในสภาวะที่การควบคุมระบบไฟฟ้านั้นอยู่ในสภาวะปกติ กล่าวคือสภาวะที่ไม่เกิดเหตุการณ์ที่ผิดปกติขึ้น และสายส่งไฟฟ้าทุกเส้นมีความสามารถในการส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าได้โดยค่าการไหลของพลังงานในขณะนั้นไม่เกินขีดจำกัดทางความร้อนของสายส่งไฟฟ้า โดยพิจารณาเฉพาะหน่วยผลิตไฟฟ้าที่ขนานเครื่องอยู่ในระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะเป็นแผนการส่งเดินเครื่องสำหรับหน่วยผลิตไฟฟ้าทุกหน่วยที่มีค่าเหมาะสมที่สุดตามสภาพระบบขณะนั้น โดยมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งการผลิตเดิม

$$P_{g,i,desired} = P_{g,i,base} + pf_i * \Delta P_{g,total} \quad (2.16)$$

โดยที่แฟคเตอร์การผลิตไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป

$$pf_i = \Delta P_{g,i} / \Delta P_{g,total} \quad (2.17)$$

- โดยที่  $P_{g,i,desired}$  คือ กำลังการผลิตที่ต้องการสำหรับหน่วยผลิตไฟฟ้าลำดับ  $i$  (เมกกะวัตต์)  
 $P_{g,i,base}$  คือ กำลังการผลิตของหน่วยผลิตไฟฟ้าลำดับ  $i$  ที่ผลิตอยู่เดิม (เมกกะวัตต์)  
 $pf_i$  คือ แฟคเตอร์ส่วนแบ่งการจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำหรับหน่วยผลิตไฟฟ้าลำดับ  $i$   
 $\Delta P_{g,i}$  คือ ปริมาณกำลังการผลิตที่เปลี่ยนแปลงสำหรับหน่วยผลิตไฟฟ้าลำดับ  $i$  (เมกกะวัตต์)  
 $\Delta P_{g,total}$  คือ ปริมาณกำลังการผลิตที่เปลี่ยนแปลงรวมทั้งระบบ

เมื่อพิจารณาถึงสมการต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ทั้งระบบ แสดงถึงฟังก์ชันเป้าหมายของปัญหาการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์

$$C_t = C_1(P_{g,1}) + C_2(P_{g,2}) + \dots + C_n(P_{g,n}) = \sum_{i=1}^n C_i(P_{g,i}) \quad (2.18)$$

$$C_t = \sum_{i=1}^n (F_i(P_{g,i})) * FC_i \quad (2.19)$$

โดยคำนวณหาค่าที่ต่ำสุดของ

$$C_t = \sum_{i=1}^n C_i(P_{g,i,desired}) \quad (2.20)$$

ภายใต้ข้อจำกัดกำลังการผลิตรวม จะต้องมีความเท่ากับความต้องการใช้ไฟฟ้า

$$\sum_{i=1}^n P_{g,i,desired} = P_{demand} \quad (2.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทั้งนี้ กำลังการผลิตที่ต้องการจะต้องมีค่าอยู่ภายใต้ขีดจำกัดสูงสุดและขีดจำกัดต่ำสุดของหน่วยผลิต ที่มี  
 ๕. สามารถในการผลิตได้

$$P_{g,i,desired} \geq P_{g,i}^{\min}, \quad (2.22)$$

$$P_{g,i,desired} \leq P_{g,i}^{\max}, \quad (2.23)$$

อีกทั้งกำลังการผลิตที่ต้องการจะต้องมีค่าเพิ่มขึ้น (ลดลง) จากตำแหน่งการผลิตเดิมไม่เกินค่า อัตรากำลัง  
 การผลิตที่เพิ่มขึ้น (ลดลง) ได้ภายในช่วงเวลาหนึ่ง

$$P_{g,i,desired} \leq P_{g,i,base} + UR_i, \quad (2.24)$$

$$P_{g,i,desired} \geq P_{g,i,base} - DR_i, \quad (2.25)$$

โดยที่  $n$  คือ จำนวนหน่วยผลิตไฟฟ้าที่ขนานเครื่องเข้ามาในระบบ

$C_T()$  คือ ฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

$P_{demand}$  คือ จำนวนความต้องการพลังงานไฟฟ้ารวมในระบบ

$P_{g,i}^{\min}$  คือ ค่ากำลังการผลิตต่ำสุดของหน่วยผลิตไฟฟ้าลำดับ  $i$  ที่สามารถผลิตได้ (กิโลวัตต์)

$P_{g,i}^{\max}$  คือ ค่ากำลังการผลิตสูงสุดของหน่วยผลิตไฟฟ้าลำดับ  $i$  ที่สามารถผลิตได้ (กิโลวัตต์)

$UR_i$  คือ ค่ากำลังการผลิตที่หน่วยผลิตไฟฟ้าลำดับ  $i$  สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ในช่วง  
 เวลาหนึ่ง (กิโลวัตต์)

$DR_i$  คือ ค่ากำลังการผลิตที่หน่วยผลิตไฟฟ้าลำดับ  $i$  สามารถลดกำลังการผลิตได้ในช่วง  
 เวลาหนึ่ง (กิโลวัตต์)

### 2.6.1.1 การแก้ปัญหาด้วยวิธีสมการลากรางจ์

วิธีสมการลากรางจ์ เป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มทุนในทาง  
 เศรษฐศาสตร์ โดยใช้การแปลงสมการข้อจำกัดการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอคือความต้องการ และสมการ  
 เป้าหมายเดิม ให้อยู่ในรูปแบบของสมการลากรางจ์ โดยใช้ตัวคูณลากรางจ์เข้ามาปรับค่าสมการข้อจำกัด  
 การผลิต ไฟฟ้าเดิม ซึ่งแสดงได้ดังต่อไปนี้

$$L(P_{g,i,desired}, \lambda) = \sum_{i=1}^n C_i(P_{g,i,desired}) + \lambda \left( P_{demand} - \sum_{i=1}^n P_{g,i,desired} \right) \quad (2.26)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $L()$  คือ สมการลากรางจ์

$\lambda$  คือ ตัวคูณลากรางจ์

และจากสภาวะการคำนวณหาค่าที่เหมาะสม

$$\frac{\partial L(P_{g,i,desired}, \lambda)}{\partial P_{g,i,desired}} = \frac{\partial C_i(P_{g,i,desired})}{\partial P_{g,i,desired}} + \lambda(-1) = 0 \quad (2.27)$$

$$\frac{\partial L(P_{g,i,desired}, \lambda)}{\partial \lambda} = P_{demand} - \sum_{i=1}^N P_{g,i,desired} = 0 \quad (2.28)$$

เมื่อจัดรูปสมการที่ 2.28 ใหม่จะได้สมการที่แสดงถึงข้อจำกัดในการผลิตไฟฟ้า (สมการ 2.21) และสำหรับสมการที่ 2.27 เมื่อจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$\lambda = \frac{\partial C_i(P_{g,i,desired})}{\partial P_{g,i,desired}} = b_i + 2 * c_i * P_{g,i,desired} + \dots \quad (2.29)$$

$$\lambda_{sys} = \frac{\partial C_1(P_{g,1,desired})}{\partial P_{g_1}} = \frac{\partial C_2(P_{g,2,desired})}{\partial P_{g_2}} = \dots \quad (2.30)$$

โดยถ้าหน่วยผลิตไฟฟ้าใดมีกำลังผลิตสูงถึงขีดจำกัดของการผลิตไฟฟ้าจากสมการ 2.24

$$\lambda_{sys} \geq \frac{\partial C_i(P_{g,i,desired})}{\partial P_{g_i}} \quad (2.31)$$

และถ้าหน่วยผลิตไฟฟ้าใดมีกำลังผลิตต่ำถึงขีดจำกัดของการผลิตไฟฟ้าจากสมการ 2.25

$$\lambda_{sys} \leq \frac{\partial C_i(P_{g,i,desired})}{\partial P_{g_i}} \quad (2.32)$$

### 2.6.1.2 หลักการการจกค่าแลมปีดาให้มีระดับเท่ากันทั้งระบบ

จากสมการที่ 2.30 แสดงให้เห็นว่า สภาวะต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมในการผลิตไฟฟ้ามีค่าต่ำที่สุด จะเกิดขึ้นเมื่อค่าอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ของแต่ละหน่วยผลิตไฟฟ้ามีระดับมีระดับที่เท่ากันทั้งระบบ โดยที่ค่าแลมปีดาของระบบ สะท้อนให้เห็นถึงต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นของทั้งระบบ ณ. ขณะนั้น และการจัดกำลังการผลิตในลักษณะดังกล่าวนี้ เรียกว่าหลักการ “การจกค่าแลมปีดาให้มีระดับเท่ากันทั้งระบบ” หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่าหลักการ “อีควอร์แลมปีดา”

## 2.6.2 เมื่อคำนึงถึงความสูญเสียจากการส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านสายส่งไฟฟ้าแรงสูง

### 2.6.2.1 การแก้ปัญหาการรวมการลากรางซ์

#### 2.6.2.2 หลักการการจัดค่าแอมป์ค่าให้มีระดับเท่ากันทั้งระบบ

เมื่อพิจารณาการจัดกำลังการผลิตที่รวมผลกระทบจากความสูญเสียในระบบส่ง สามารถพิจารณาได้ดังต่อไปนี้ โดยจากสมการที่ 2.21 เขียนอยู่ในรูปใหม่ได้เป็น

$$\sum_{i=1}^n P_{g,i,desired} = P_{demand} + P_{loss} \quad (2.33)$$

โดยที่  $P_{loss}$  คือ ค่าความสูญเสียพลังงานไฟฟ้ารวมในระบบส่ง (เมกกะวัตต์) และถ้าทำการปรับสมการลากรางซ์ (สมการที่ 2.26) ใหม่ ด้วยสมการ 2.33 จะได้

$$L(P_{g,i,desired}, \lambda) = \sum_{i=1}^n C_i(P_{g,i,desired}) + \lambda \left( P_{demand} + P_{loss} - \sum_{i=1}^n P_{g,i,desired} \right) \quad (2.34)$$

และจากสภาวะการคำนวณหาค่าที่เหมาะสม

$$\frac{\partial L(P_{g,i,desired}, \lambda)}{\partial P_{g,i,desired}} = \frac{\partial C_i(P_{g,i,desired})}{\partial P_{g,i}} + \lambda \left( \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{g,i,desired}} - 1 \right) = 0 \quad (2.35)$$

$$\frac{\partial L(P_{g,i,desired}, \lambda)}{\partial \lambda} = P_{demand} + P_{loss} - \sum_{i=1}^n P_{g,i,desired} = 0 \quad (2.36)$$

ในลักษณะคล้ายกับสมการ 2.28 เมื่อจัดรูปสมการที่ 2.36 ใหม่จะได้สมการที่แสดงถึงข้อจำกัดในการผลิตไฟฟ้า (สมการ 2.33) และสำหรับสมการที่ 2.35 เมื่อจัดรูปสมการใหม่จะได้

$$\lambda = \left( \frac{1}{1 - \frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{g,i,desired}}} \right) * \frac{\partial C_i(P_{g,i,desired})}{\partial P_{g,i,desired}} \quad (2.37)$$

$$\lambda = PF_1 * \frac{\partial C_1(P_{g,1,desired})}{\partial P_{g,1,desired}} \quad (2.38)$$

$$\lambda_{sys} = PF_1 * \frac{\partial C_1(P_{g,1,desired})}{\partial P_{g_1}} = PF_2 * \frac{\partial C_2(P_{g,2,desired})}{\partial P_{g_2}} = \dots \quad (2.39)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $PF_i$  คือ ค่าแฟคเตอร์การปรับค่าจากผลกระทบของความสูญเสียในระบบส่ง จากหน่วยผลิตลำดับ  $i$  และในการคำนวณโดยทั่วไป

$PF_i > 1.0$  ถ้ากำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นจากหน่วยผลิตนั้นทำให้เกิดความสูญเสียในระบบมากขึ้น

$PF_i = 1.0$  ถ้ากำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นจากหน่วยผลิตนั้นไม่ทำให้เกิดความสูญเสียในระบบ

$PF_i < 1.0$  ถ้ากำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นจากหน่วยผลิตนั้นทำให้เกิดความสูญเสียในระบบลดลง

ตัวอย่างเช่นถ้าโหลดส่วนใหญ่ที่อยู่ในเขตภาคกลางของประเทศไทยต้องการกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น 1 เมกะวัตต์ ซึ่งถ้าทำการเพิ่มกำลังการผลิตของหน่วยผลิตไฟฟ้าที่อยู่ไกลออกไป เช่นหน่วยผลิตไฟฟ้าแม่เมาะเนื่องจากมีต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าต่ำ เพื่อให้ระบบมีความสมดุลในสภาวะการไหลของพลังงานและชดเชยค่าความถี่ที่เบี่ยงเบนออกไป จะพบว่าจะต้องมีการส่งผ่านพลังงานผ่านสายส่งไฟฟ้าแรงสูงเข้ามาสู่ศูนย์กลางโหลดมากขึ้น ทำให้เกิดความสูญเสียพลังงานอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นถ้าพิจารณาผลของค่าแฟคเตอร์การปรับโทษร่วมกับค่าอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นในแต่ละหน่วยผลิต ดังสมการที่ 2.39 จะมีการปรับเปลี่ยนค่าจากผลของแฟคเตอร์ดังกล่าวให้มีค่าเพิ่มขึ้นหรือลดลงโดยสะท้อนตามค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบ เช่นจากสภาวะตามตัวอย่างการเพิ่มกำลังการผลิตที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ ทำให้ความสูญเสียในระบบมีค่ามากขึ้น ดังนั้นค่าแฟคเตอร์การปรับโทษจะมีค่ามากกว่า 1 และเมื่อพิจารณาพร้อมกับค่าอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าดังกล่าวมีค่าสูงขึ้นจากเดิม ส่งผลให้การพิจารณาตั้งเงินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป โดยพิจารณาค่าจากหน่วยผลิตไฟฟ้าอื่นที่มีค่าถูกกว่า ทั้งนี้หน่วยผลิตไฟฟ้าที่อยู่ใกล้ศูนย์กลางโหลดอาจจะได้รับการตั้งเพิ่มกำลังการผลิต ถ้าค่าผลของการปรับโทษดังกล่าวมีค่าถูกกว่าค่าจากหน่วยผลิตไฟฟ้าที่อยู่ไกลออกไป ซึ่งค่าแฟคเตอร์การปรับโทษอาจมีค่าน้อยกว่า 1 ได้ ถ้าการเพิ่มกำลังการผลิตของหน่วยผลิตนั้นทำให้เกิดความสูญเสียในระบบส่งน้อยลงจากเดิม ซึ่งอาจพบเห็นได้มากในหน่วยผลิตที่อยู่ใกล้กับศูนย์กลางโหลด ทั้งนี้ ถ้าหน่วยผลิตไฟฟ้าใดมีกำลังผลิตสูงถึงขีดจำกัดของการผลิตไฟฟ้าจากสมการ 2.24

$$\lambda_{\text{sys}} \geq PF_i * \frac{\partial C_i(P_{g,i,\text{desired}})}{\partial P_{g_i}} \quad (2.31)$$

และถ้าหน่วยผลิตไฟฟ้าใดมีกำลังผลิตต่ำถึงขีดจำกัดของการผลิตไฟฟ้าจากสมการ 2.25

$$\lambda_{\text{sys}} \leq PF_i * \frac{\partial C_i(P_{g,i,\text{desired}})}{\partial P_{g_i}} \quad (2.32)$$

รูปที่ 2.28-2.30 แสดงตัวอย่างการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าในระบบขนาด 7 บัส โดยเมื่อพิจารณาการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าในพื้นที่ด้านบน ซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 3 เครื่องจ่ายไฟฟ้าเข้าในระบบ รูปที่ 2.28 แสดงตัวอย่างการจัดกำลังการผลิตของแต่ละหน่วยผลิตรวมถึงสภาวะการ

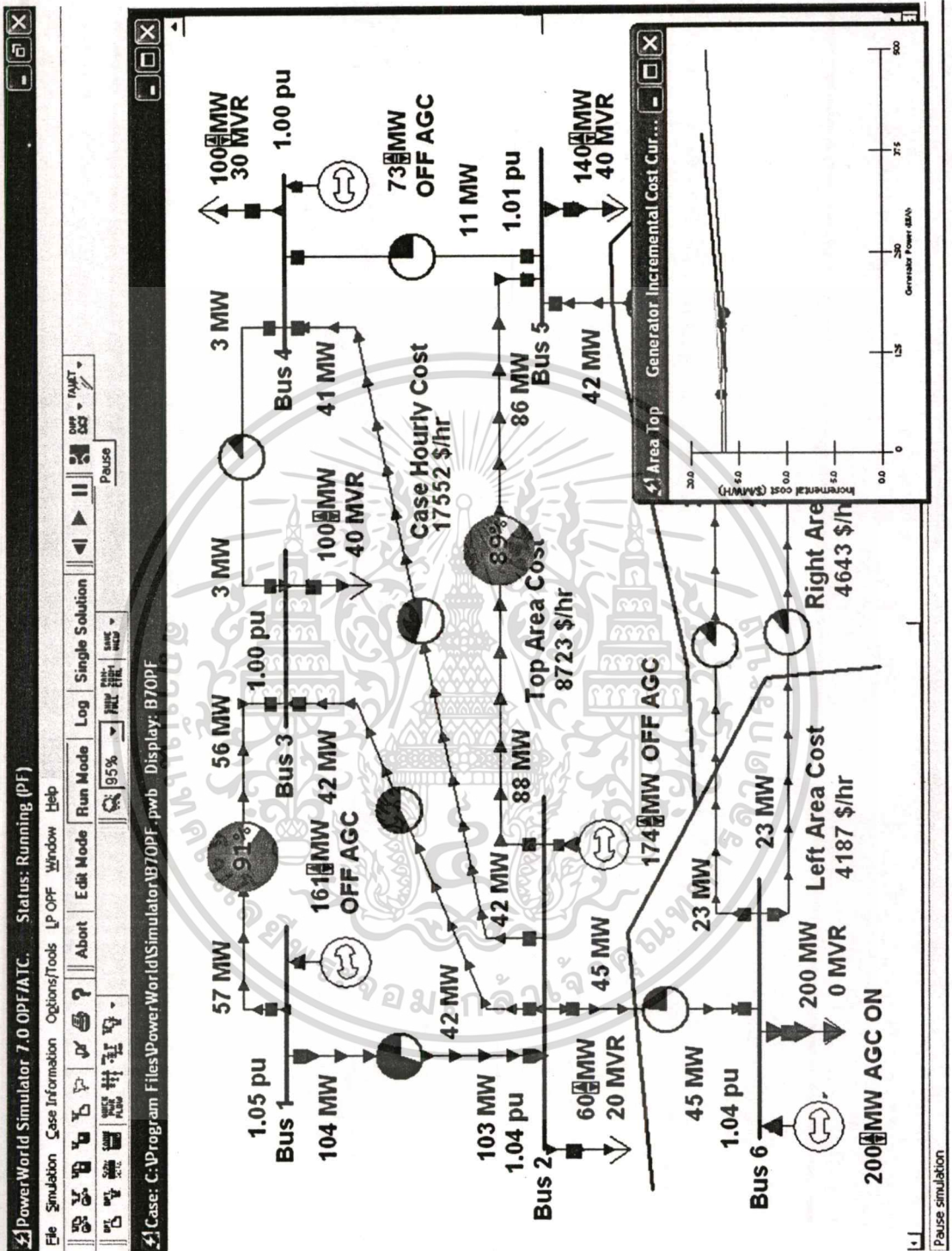
ไหลของพลังงานในระบบเมื่อการจัดกำลังการผลิตดังกล่าวไม่คำนึงความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งจะพบว่าต้นทุนการผลิตรวมที่ใช้ในการผลิต  $\bar{P}$  ณ เวลาดังกล่าวมีค่าเท่ากับ 8,723 เหรียญ (สหรัฐอเมริกา) ต่อชั่วโมง แต่ถ้าจัดกำลังการผลิตในแต่ละหน่วยผลิตใหม่ให้ค่าแอมป์คาของทุกหน่วยมีค่าเท่ากัน ดังรูปที่ 2.29 จะพบว่าต้นทุนการผลิตรวมมีค่าลดลงเหลือ 8,667 เหรียญต่อชั่วโมง โดยที่ระบบยังคงสามารถจ่ายกำลังงานไฟฟ้าตามค่าโหลดที่ต้องการได้ รูปที่ 2.30 แสดงสถานะการจ่ายกำลังงานไฟฟ้าที่มีค่าสูงขึ้น แต่ยังจัดกำลังการผลิตตามหลักการจัดค่าแอมป์คาให้มีค่าเท่ากันระบบ ซึ่งส่งผลให้เกิดของสถานะการไหลของพลังงานไฟฟ้าที่เกิดพิภักความสามารถของสายส่งไฟฟ้าที่รองรับได้ (สายส่งจากบัส 2 ไปยังบัส 5) ซึ่งเป็นจุดค้อยของวิธีการจัดกำลังการผลิตโดยจัดค่าแอมป์คาให้มีค่าเท่ากันทั้งระบบ ที่ไม่สามารถรองรับข้อจำกัดดังกล่าว โดยต้องปรับรูปแบบการจัดกำลังการผลิตใหม่โดยใช้วิธีอื่น เช่น การจัดกำลังการผลิตให้มีรูปแบบการไหลของพลังงานที่เหมาะสม (ออปติมอลเพาเวอร์ฟลว์) เป็นต้น

## 2.7 ปัญหาการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าในลักษณะใดเนมิก

เป้าหมายของการจัดกำลังการผลิตให้คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์คือการปรับกำลังการผลิตของหน่วยผลิตไฟฟ้าที่ขนานอยู่ในระบบ ให้เพียงพอต่อความต้องการโหลดสุทธิในพื้นที่ โดยให้ต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมทุกหน่วยผลิต มีค่าต่ำที่สุด ถ้าพิจารณาการจัดกำลังการผลิตโดยทั่วไปที่จัดอยู่ในลักษณะ “สแตติก” นั้น ไม่สามารถใช้วางแผนการผลิตล่วงหน้า (ร่วมกับค่าพยากรณ์แนวโน้มความต้องการโหลด) ได้ ซึ่งการจัดกำลังการผลิตล่วงหน้า หรือการจัดกำลังการผลิตในลักษณะ “ใดเนมิก” นอกจากจะช่วยลดปัญหาต่างๆ จากการจัดกำลังการผลิตแบบเดิม เช่น ปัญหาความแตกต่างระหว่างค่าความต้องการโหลดที่เปลี่ยนแปลงอยู่ ณ เวลาจริงและค่าความต้องการโหลดที่นำมาใช้ในการคำนวณ แล้ว จะยังช่วยปรับกำลังการผลิตให้สอดคล้องกับโหลดที่จะเกิดขึ้นในอนาคตอันใกล้อีกด้วย โดยคำนึงถึงข้อจำกัดอัตราการเพิ่ม/ลดกำลังผลิตไฟฟ้าในช่วงเวลาหนึ่ง อีกทั้งถ้าโหลดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว การจัดกำลังการผลิตในลักษณะ “ใดเนมิก” จะช่วยให้การวางแผนการปรับกำลังการผลิต รวมทั้งการควบคุมการผลิตไฟฟ้าโดยอัตโนมัติ มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จากการพิจารณาค่าความต้องการโหลดปัจจุบันร่วมกับค่าความต้องการโหลดในอนาคตอันใกล้

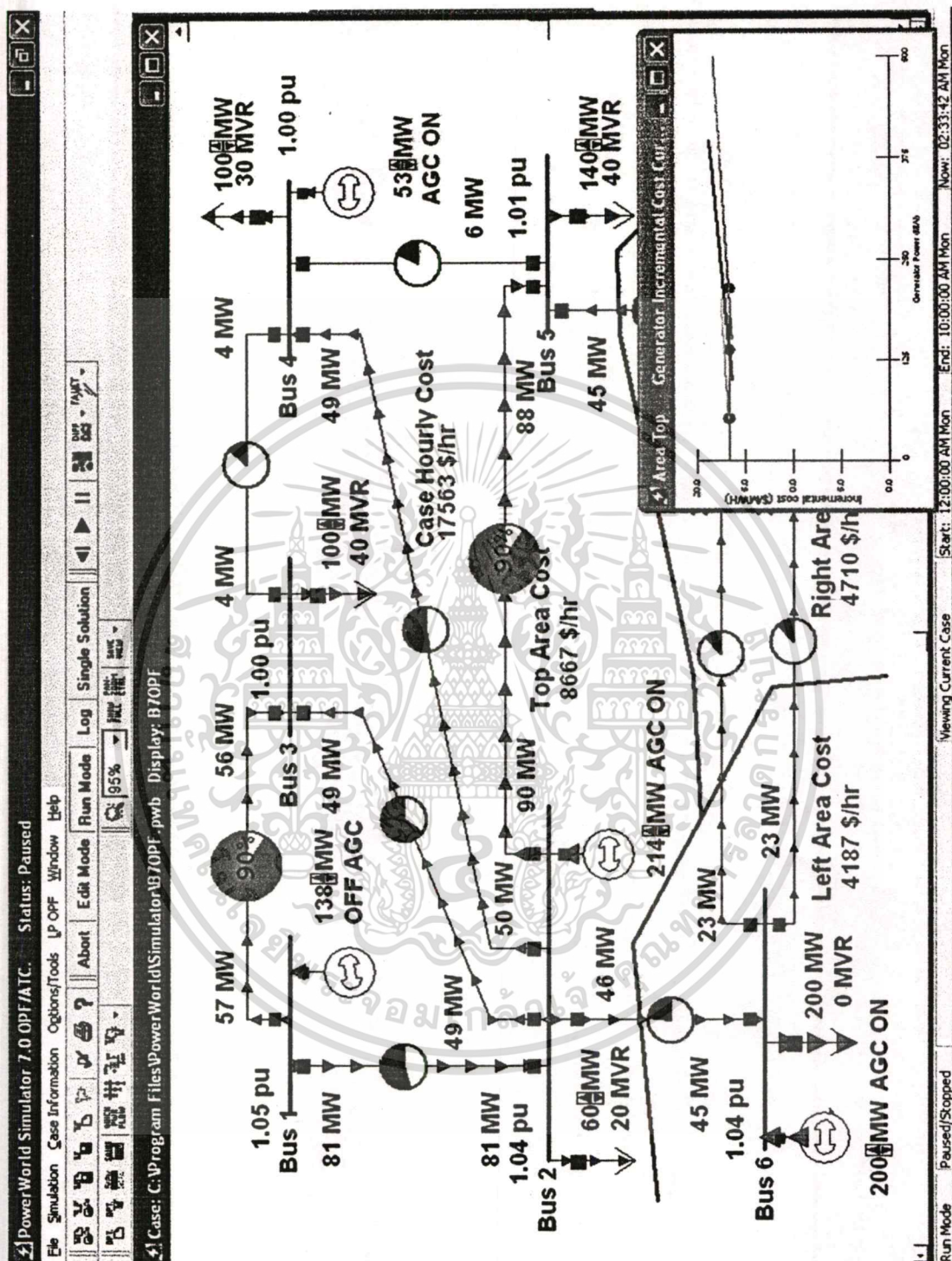
กรรมวิธีการคำนวณการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าในลักษณะใดเนมิก เป็นการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าล่วงหน้าโดยนำผลการทำนายการเปลี่ยนแปลงของโหลดระยะสั้นมาใช้ในการปรับเปลี่ยนกำลังการผลิตของหน่วยผลิตไฟฟ้า ในคาบเวลาที่พิจารณา ภายใต้ข้อจำกัดในการเพิ่ม/ลดกำลังการผลิตในช่วงระยะเวลาหนึ่งจากหน่วยผลิตไฟฟ้านั้น

ถ้ากำหนดให้มีจำนวนหน่วยผลิตไฟฟ้าที่สามารถควบคุมกำลังการผลิตได้เท่ากับ  $n$  และมีค่าความต้องการโหลดล่วงหน้าจากการทำนายโหลด (ประมาณ 1-2 ชั่วโมง หรือ มากกว่านั้น) ในลักษณะเป็นขั้นตามช่วงเวลา  $t = 0, 1, 2, \dots$  จนถึงคาบเวลาในการคำนวณ  $T$  การคำนวณการจัดกำลังการผลิต



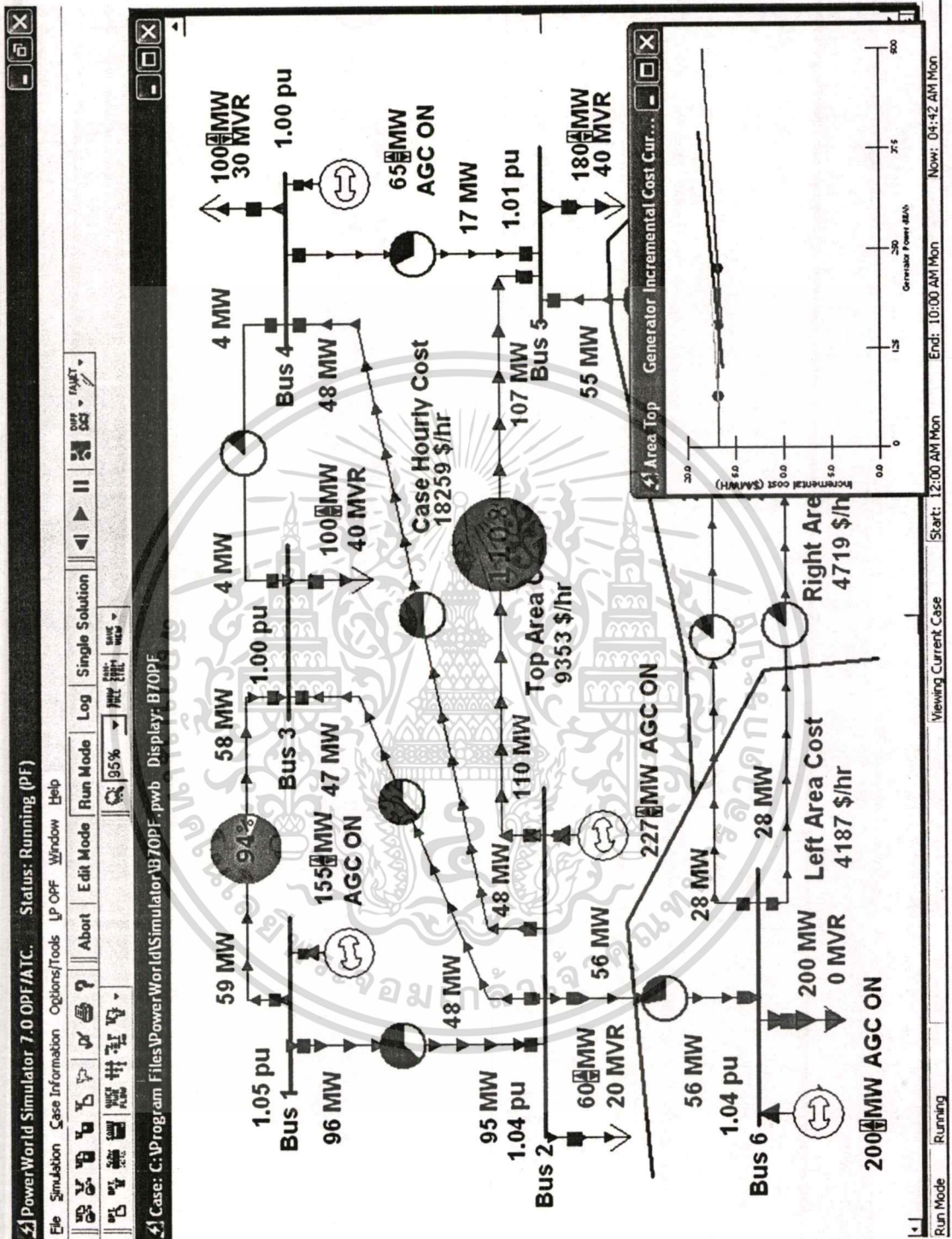
รูปที่ 2.28 ตัวอย่างสถานะการควบคุมระบบเมื่อไม่คำนึงถึงความคุ้มทุนในทางเศรษฐศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 ตัวอย่างสถานะการควบคุมระบบเมื่อคำนึงถึงความคุ้มทุนในทางเศรษฐศาสตร์ตามหลักการ จัดแพคเตอร์แลมปีดาให้มีค่าเดียวกันทั้งระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.30 ตัวอย่างสถานะการควบคุมระบบเมื่อคำนึงถึงความคุ้มทุนในทางเศรษฐศาสตร์ตามหลักการจัดแฟกเตอร์แลมปีดาให้มีความเดียวกันทั้งระบบ แต่มีสายส่งไฟฟ้าที่รับส่งพลังงานในระดับเกินพิกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าจะพิจารณาค่าความต้องการ โหลดสุทธิในพื้นที่ รวมถึงปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่แลกเปลี่ยนจากพื้นที่อื่น ดังสมการต่อไปนี้

$$\sum_{j=1}^n P_{g,j}(t) = NETG(t), \quad t = 0, 1, \dots, T \quad (2.33)$$

โดยที่ค่ากำลังการผลิตของหน่วยผลิตไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

$$P_{g,i}(t+1) = P_{g,i}(t) + \Delta P_{g,i}(t) \quad (2.34)$$

อีกทั้งอัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตจะต้องอยู่ในขีดจำกัดที่หน่วยผลิตไฟฟ้าสามารถผลิตได้จริง

$$DR_i \leq \Delta P_{g,i} \leq UR_i \quad (2.35)$$

และสิ่งที่สำคัญที่พิจารณา คือค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้าตลอดคาบที่พิจารณา

$$C_{T,i} = \sum_{t=1}^T C_i(P_{g,i}(t)) \quad (2.36)$$

การจัดกำลังการผลิตในลักษณะ “ไดแนมิก” นั้น จะคำนวณหาค่ากำลังการผลิตที่เหมาะสมตลอดคาบเวลาที่พิจารณา จากค่ากำลังการผลิตของทุกหน่วยที่เปลี่ยนแปลงไปตามขั้นเวลา ( $\Delta P_{g,i}(t)$ ) โดยที่หน่วยผลิตไฟฟ้ามีค่ากำลังการผลิตเริ่มต้นเท่ากับ  $P_{g,i}(0)$  โดยการคำนวณหาค่าที่น้อยที่สุดของสมการต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวม

$$C_T = \sum_{i=1}^n C_{T,i} = \sum_{i=1}^n \sum_{t=1}^T C_i(P_{g,i}(t)) \quad (2.37)$$

ภายใต้ข้อจำกัดในการผลิตไฟฟ้าตามสมการข้อจำกัดต่างๆ

## 2.8 สมการความสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในระบบส่ง

ขบวนการที่สำคัญในการคำนวณหาสถานะการกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์คือการหาสมการความสูญเสียในระบบส่งให้อยู่ในฟังก์ชันของกำลังการผลิตในแต่ละหน่วยผลิตไฟฟ้า ซึ่งโดยทั่วไปนั้นจะสามารถคำนวณหาฟังก์ชันดังกล่าวได้หลายวิธี โดยที่วิธีหนึ่งซึ่งถูกนำเสนอโดย Kron และ Kirchmayer ได้นำมาใช้คำนวณหาสัมประสิทธิ์ความสูญเสียในระบบส่งไฟฟ้า แสดงได้ดังต่อไปนี้

ถ้ากำหนดให้จำนวนกำลังไฟฟ้าปรากฏ,  $S_i$ , โหลดเข้าที่บัส  $i$  ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.38)$$

ผลรวมของกำลังไฟฟ้าในทุกบัสจะแสดงถึงค่าความสูญเสียในระบบส่งไฟฟ้า ดังสมการ

$$P_L + jQ_L = \sum_{i=1}^n V_i I_i^* = V_{bus}^T I_{bus}^T \quad (2.39)$$

โดยที่  $P_L$  คือ ค่าความสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอกทีฟของระบบส่งไฟฟ้าทั้งระบบ  
 $Q_L$  คือ ค่าความสูญเสียกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟของระบบส่งไฟฟ้าทั้งระบบ  
 $V_{bus}$  คือ เวกเตอร์ของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส  
 $I_{bus}$  คือ เวกเตอร์ของกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่บัส

ถ้าจัดรูปเวกเตอร์แรงดันไฟฟ้าใหม่ให้อยู่ในรูป

$$V_{bus} = Y_{bus}^{-1} I_{bus} = Z_{bus} I_{bus} \quad (2.40)$$

โดยที่ส่วนกลับของเมตริกซ์บัสแอดมิตแตนซ์ในสมการ 2.39 แสดงถึงเมตริกซ์บัสอิมพีแดนซ์ และค่าของเมตริกซ์บัสแอดมิตแตนซ์จะมีลักษณะไม่เป็นซิงกูลาร์ถ้ามีส่วนของโครงข่ายที่ต่อขนานโดยตรงกับกราวด์ (บัสลำดับ 0) เช่นค่าชัตเซบแดนซ์ของคาปาซิเตอร์

โดยทั่วไปนั้นเมตริกซ์บัสแอดมิตแตนซ์จะมีลักษณะสเปาร์ซ กล่าวคือ ค่าในเมตริกซ์จะรวมอยู่ในค่าทแยงมุม ( $Y_{bus}(i, j): i = j$ ) เป็นส่วนใหญ่ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของโครงข่ายระบบไฟฟ้ากำลังที่มีการเชื่อมโยงของบัสต่างๆ ที่อยู่ใกล้กัน

ถ้าแทนสมการ 2.40 ลงในสมการ 2.39 จะได้

$$\begin{aligned} P_L + jQ_L &= [Z_{bus} I_{bus}]^T I_{bus}^* \\ &= I_{bus}^T Z_{bus}^T I_{bus}^* \end{aligned} \quad (2.41)$$

เมตริกซ์  $Z_{bus}$  ที่ได้มีลักษณะสมมาตร ดังนั้น  $Z_{bus} = Z_{bus}^T$  และสมการความสูญเสียในระบบส่งจะกลายเป็น

$$P_L + jQ_L = I_{bus}^T Z_{bus} I_{bus}^* \quad (2.42)$$

โดยที่สมการดังกล่าวสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของดัชนีเมตริกซ์ดังนี้

$$P_L + jQ_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_i Z_{ij} I_j^* \quad (2.43)$$

และจากคุณลักษณะความสมมาตรของเมตริกซ์บัสอิมพีแดนซ์ จักรูปสมการใหม่ได้เป็น

$$P_L + jQ_L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n Z_{ij} (I_i I_j^* + I_j I_i^*) \quad (2.44)$$

จะพบว่าค่าในวงเล็บจากสมการ 2.44 จะเป็นค่าจำนวนจริง ดังนั้นค่าความสูญเสียในระบบส่งสามารถแยกออกได้เป็นส่วนประกอบค่าจำนวนจริงและค่าจำนวนจินตภาพ ดังต่อไปนี้

$$P_L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n R_{ij} (I_i I_j^* + I_j I_i^*) \quad (2.45)$$

$$Q_L = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n X_{ij} (I_i I_j^* + I_j I_i^*) \quad (2.46)$$

โดยที่ค่า  $R_{ij}$  และ  $X_{ij}$  คือส่วนประกอบค่าจำนวนจริงและค่าจำนวนจินตภาพของเมตริกซ์บัสอิมพีแดนซ์ ตามลำดับ และถ้า  $R_{ij} = R_{ji}$  สมการความสูญเสียกำลังไฟฟ้าจริงในระบบส่งสามารถแปลงกลับไปเป็น

$$P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_i R_{ij} I_j^* \quad (2.47)$$

หรือถ้าจัดให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ จะได้

$$P_L = I_{bus}^T R_{bus} I_{bus}^* \quad (2.48)$$

โดยที่  $R_{bus}$  คือส่วนประกอบค่าจำนวนจริงของเมตริกซ์บัสอิมพีแดนซ์

ในการสร้างสมการของความสูญเสียในระบบส่งให้อยู่ในรูปฟังก์ชันของกำลังไฟฟ้าแอกทีฟในแต่ละหน่วยผลิตนั้น จะพิจารณาได้จากกระแสโวลตรวม ดังสมการ

$$I_{L1} + I_{L2} + \dots + I_{Ln_d} = I_D \quad (2.49)$$

โดยที่  $n_d$  คือจำนวนของบัสโวลต์ และ  $I_D$  คือกระแสโวลตรวม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากำหนดให้ค่ากระแสไหลในแต่ละบัสมีค่าเป็นสัดส่วนกับค่ากระแสไหลรวม

$$I_{Lk} = I_k I_D \quad k = 1, 2, \dots, n_d \quad (2.50)$$

และถ้ากำหนดบัส 1 เป็นบัสอ้างอิง (สแลคต์บัส) จะได้สมการ

$$V_1 = Z_{11}I_1 + Z_{12}I_2 + \dots + Z_{1n}I_n \quad (2.51)$$

ซึ่งถ้ากำหนดให้  $n_g$  คือจำนวนบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สมการข้างต้นสามารถเขียนใหม่ให้อยู่ในรูปของกระแสไหลและกระแสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นดังนี้

$$V_1 = \sum_{i=1}^{n_g} Z_{1i} I_{gi} + \sum_{k=1}^{n_d} Z_{1k} I_{Lk} \quad (2.52)$$

แทน  $I_{Lk}$  ในสมการ 2.50 ลงในสมการ 2.52 จะได้

$$\begin{aligned} V_1 &= \sum_{i=1}^{n_g} Z_{1i} I_{gi} + I_D \sum_{k=1}^{n_d} I_k Z_{1k} \\ &= \sum_{i=1}^{n_g} Z_{1i} I_{gi} + I_D T \end{aligned} \quad (2.53)$$

โดยที่

$$T = \sum_{k=1}^{n_d} I_k Z_{1k} \quad (2.54)$$

ถ้ากำหนดให้  $I_0$  คือค่ากระแสที่ไหลออกจากบัส 1 โดยที่กระแสไหลที่บัสอื่นมีค่าเป็น 0 จะทำให้

$$V_1 = -Z_{11}I_0 \quad (2.55)$$

แทนค่าสมการ  $V_1$  ในสมการ 2.53 และคำนวณหาค่า  $I_D$  จะได้

$$I_D = -\frac{1}{T} \sum_{i=1}^{n_g} Z_{1i} I_{gi} - \frac{1}{T} Z_{11} I_0 \quad (2.56)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นแทนค่า  $I_D$  ที่ได้ลงในสมการ 2.50 ค่ากระแสโหลดสามารถเขียนได้เป็น

$$I_{Lk} = -\frac{l_k}{T} \sum_{i=1}^{n_g} Z_{1i} I_{gi} - \frac{l_k}{T} Z_{11} I_0 \quad (2.57)$$

ซึ่งถ้า

$$\rho = -\frac{l_k}{T} \quad (2.58)$$

ดังนั้น

$$I_{Lk} = \rho_k \sum_{i=1}^{n_g} Z_{1i} I_{gi} + \rho_k Z_{11} I_0 \quad (2.59)$$

ค่ากระแสทั้งหมดสามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} I_{g1} \\ I_{g2} \\ \vdots \\ I_{gn_g} \\ I_{L1} \\ I_{L2} \\ \vdots \\ I_{Ln_d} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 & 0 \\ \rho_1 Z_{11} & \rho_1 Z_{12} & \cdots & \rho_1 Z_{1n_g} & \rho_1 Z_{11} \\ \rho_2 Z_{11} & \rho_2 Z_{12} & \cdots & \rho_2 Z_{1n_g} & \rho_2 Z_{11} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \rho_k Z_{11} & \rho_k Z_{12} & \cdots & \rho_k Z_{1n_g} & \rho_k Z_{11} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{g1} \\ I_{g2} \\ \vdots \\ I_{gn_g} \\ I_0 \end{bmatrix} \quad (2.60)$$

ถ้าแทนเมทริกซ์ข้างต้นด้วยตัวแปร  $C$  จะได้

$$I_{bus} = CI_{new} \quad (2.61)$$

นำค่า  $I_{bus}$  แทนค่าลงในสมการ 2.48 ดังนั้น

$$\begin{aligned} P_L &= [CI_{new}]^T R_{bus} C^* I_{new}^* \\ &= I_{new}^T C^T R_{bus} C^* I_{new}^* \end{aligned} \quad (2.62)$$

โดยถ้า  $S_{gi}$  คือค่ากำลังไฟฟ้าที่บัส  $i$  กระแสของหน่วยผลิตไฟฟ้าคือ

$$I_{gi} = \frac{S_{gi}^*}{V_i^*} = \frac{P_{gi} - jQ_{gi}}{V_i^*} \quad (2.63)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$1 - j \frac{Q_{gi}}{P_{gi}} = \frac{1 - j \frac{Q_{gi}}{P_{gi}}}{V_i^*} P_{gi}$$

หรือ

$$I_{gi} = \psi_i P_{gi} \quad (2.64)$$

โดยที่

$$\psi_i = \frac{1 - j \frac{Q_{gi}}{P_{gi}}}{V_i^*} \quad (2.65)$$

ถ้าเพิ่มค่ากระแส  $I_0$  ลงในเวกเตอร์กระแส  $I_{gi}$  จะได้

$$\begin{bmatrix} I_{g1} \\ I_{g2} \\ \vdots \\ I_{gn_g} \\ I_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \psi_1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & \psi_2 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \psi_{n_g} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & I_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{g1} \\ P_{g2} \\ \vdots \\ P_{gn_g} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.66)$$

หรือ

$$I_{new} = \Psi P_{G1} \quad (2.65)$$

โดยที่

$$P_{G1} = \begin{bmatrix} P_{g1} \\ P_{g2} \\ \vdots \\ P_{gn_g} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.66)$$

นำสมการ 2.65 แทนลงในสมการ 2.62 สมการความสูญเสียในระบบส่งจะได้เป็น

$$\begin{aligned} P_L &= [\Psi P_{G1}]^T C^T R_{bus} C^* \Psi^* P_{G1}^* \\ &= P_{G1}^T \Psi^T C^T R_{bus} C^* \Psi^* P_{G1}^* \end{aligned} \quad (2.67)$$

โดยค่าเมตริกซ์ที่ได้นั้นจะอยู่ในรูปค่าตัวประกอบเชิงซ้อน ซึ่งถ้าพิจารณาค่าความสูญเสียในระบบส่งที่อยู่ในรูปของกำลังไฟฟ้าแอกทีฟเพียงอย่างเดียว จะได้จากส่วนประกอบจำนวนจริงจากสมการข้างต้น

$$P_L = P_{G1}^T \Re[H] P_{G1}^* \quad (2.68)$$

โดยที่

$$H = \Psi^T C^T R_{bus} C \Psi^* \quad (2.69)$$

เนื่องจากส่วนประกอบของเมทริกซ์  $H$  เป็นค่าจำนวนเชิงซ้อน ดังนั้นจะใช้เพียงส่วนประกอบค่าจำนวนจริงในการคำนวณหาค่าความสูญเสียกำลังไฟฟ้าแอกทีฟในระบบส่ง โดยเมทริกซ์  $H$  จะเรียกว่าเฮอริมีตเดียนท์เมทริกซ์ ซึ่งหมายความว่าเมทริกซ์  $H$  มีลักษณะสมมาตร และ  $H = H^*$  ดังนั้นค่าจำนวนจริงของเมทริกซ์  $H$  จะสามารถคำนวณได้จาก

$$\Re[H] = \frac{H + H^*}{2} \quad (2.70)$$

ถ้าเขียน  $\Re[H]$  ให้อยู่ในรูปเมทริกซ์

$$\Re[H] = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \cdots & B_{1n_g} & B_{01}/2 \\ B_{21} & B_{22} & \cdots & B_{2n_g} & B_{02}/2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ B_{n_g1} & B_{n_g2} & \cdots & B_{n_g n_g} & B_{0n_g}/2 \\ B_{01}/2 & B_{02}/2 & \cdots & B_{0n_g}/2 & B_{00} \end{bmatrix} \quad (2.71)$$

แทนค่าลงในสมการ 2.68 จะได้

$$P_L = \begin{bmatrix} P_{g1} & P_{g2} & \cdots & P_{gn_g} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \cdots & B_{1n_g} & B_{01}/2 \\ B_{21} & B_{22} & \cdots & B_{2n_g} & B_{02}/2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ B_{n_g1} & B_{n_g2} & \cdots & B_{n_g n_g} & B_{0n_g}/2 \\ B_{01}/2 & B_{02}/2 & \cdots & B_{0n_g}/2 & B_{00} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{g1} \\ P_{g2} \\ \cdots \\ P_{gn_g} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2.72)$$

หรือ

$$P_L = \begin{bmatrix} P_{g1} & P_{g2} & \cdots & P_{gn_g} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & \cdots & B_{1n_g} \\ B_{21} & B_{22} & \cdots & B_{2n_g} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{n_g1} & B_{n_g2} & \cdots & B_{n_g n_g} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{g1} \\ P_{g2} \\ \cdots \\ P_{gn_g} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} P_{g1} & P_{g2} & \cdots & P_{gn_g} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B_{01}/2 \\ B_{02}/2 \\ \cdots \\ B_{0n_g}/2 \end{bmatrix} + B_{00} \quad (2.73)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสมการความสูญเสียพลังงานไฟฟ้าดังกล่าวสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบทั่วไปได้  
ดังนี้

$$P_{loss} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{i,desired} B_{ij} B_j + \sum_{j=1}^n B_{i0} P_{i,desired} + B_{00} \quad (2.74)$$

$$\frac{\partial P_{loss}}{\partial P_{i,desired}} = \frac{1}{1 - 2 \sum_j B_{ij} P_j - B_{i0}} \quad (2.75)$$

โดยที่  $B_{ij}, B_{i0}, B_{00}$  คือ สัมประสิทธิ์ความสูญเสียในระบบส่งไฟฟ้า



### บทที่ 3

## ทฤษฎีและบทวิเคราะห์โคเนมิกโปรแกรมมิ่ง

ในบทนี้กล่าวถึงทฤษฎีของโคเนมิก โปรแกรมมิ่งในการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมและการนำทฤษฎีของโคเนมิก โปรแกรมมิ่งมาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ รวมถึงการปรับปรุงพัฒนาอัลกอริทึมของโคเนมิก โปรแกรมมิ่งเพื่อเพิ่มความเร็วในการหาค่าตอบ และในด้านการประหยัดหน่วยความจำที่ใช้สำหรับการคำนวณ โดยเทคนิคการซุ่ม

### 3.1 วิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่งสำหรับการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้า

วิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่งมีความแตกต่างจากวิธีการคำนวณเดิมที่มีพื้นฐานจากสมการลากรางซ์ ซึ่งมีข้อจำกัดในการคำนวณเฉพาะหน่วยผลิตไฟฟ้าที่มีกราฟอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ในลักษณะที่มีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่สำหรับวิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่งนั้น ไม่มีข้อจำกัดใดๆ จากลักษณะกราฟอัตราต้นทุนดังกล่าว ทำให้สามารถใช้กราฟรูปแบบต่างๆ ที่ได้จากการวิเคราะห์หรือการทดสอบจากการผลิตไฟฟ้าจริง เพื่อสะท้อนถึงต้นทุนที่แท้จริงจากลักษณะเฉพาะทางกายภาพของหน่วยผลิตนั้นๆ

วิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่งจะช่วยลดขั้นตอนการปรับเปลี่ยนลักษณะกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงให้ตรงตามข้อกำหนดจากการใช้วิธีการคำนวณเดิม เช่นการปรับกราฟให้มีลักษณะแบน หรือการปรับส่วนของกราฟที่มีอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น ในลักษณะที่มีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่น ตำแหน่งการปิด/เปิดลิ้นไอน้ำ เป็นต้น ซึ่งขบวนการในการปรับเปลี่ยนดังกล่าวทำให้ไม่ได้ผลการจัดการผลิตไฟฟ้าที่ถูกต้อง

เนื่องจากความยืดหยุ่นจากการคำนวณด้วยวิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่งนี้ สามารถนำไปพัฒนาร่วมกับระบบการตรวจสอบและปรับค่าต้นทุนการผลิตอัตโนมัติได้ ทำให้การจัดการผลิตไฟฟ้ามีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

ข้อดีของการประยุกต์ใช้วิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่งสำหรับปัญหาการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ คือความสามารถในการคำนวณหาค่าตอบที่ถูกต้องได้โดยไม่คำนึงถึงลักษณะของกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิง อีกทั้งการคำนวณโดยใช้วิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่งนั้น สามารถพิจารณาการจัดกำลังการผลิตร่วมกับผลการทำนายความต้องการ โหลดระยะสั้น และอัตราค่ากำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้นได้ ทำให้การจัดการกำลังการผลิตไฟฟ้ามีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

#### 3.1.1 เมื่อไม่คำนึงถึงความสูญเสียในระบบส่ง

สามารถพิจารณาได้จากสมการความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$C_n(D) = \min \{C_{n-1} * (D - P_{g,i}) + C_i(P_{g,i})\} \quad (3.1)$$

โดยที่  $C_n(D)$  คือค่าผลรวมต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุดสำหรับการผลิตไฟฟ้าปริมาณ  $D$  เมกกะวัตต์ ด้วยหน่วยผลิตลำดับ  $n, n-1, n-2, \dots, 1$

ถ้ากำหนดให้ขนาดลำดับช่วง ( $\Delta$ ) ของกำลังการผลิตของแต่ละหน่วยผลิตเท่ากับขนาดลำดับช่วงปริมาณความต้องการโหลด ในช่วงเวลาหนึ่ง ดังสมการ

$$\sum_{i=1}^n P_{g,i}^{\min} \leq P_D \leq \sum_{i=1}^n P_{g,i}^{\max} \quad (3.2)$$

เทคนิคการคำนวณด้วยวิธีไดนามิก โปรแกรมมิ่งนั้น จะพิจารณาแยกการคำนวณออกเป็นขั้นๆ โดยที่แต่ละขั้นของการคำนวณจะเทียบได้กับกำลังการผลิตไฟฟ้าของแต่ละหน่วยผลิต ที่ไม่ต้องเรียงตามลำดับหน่วยผลิตไฟฟ้า และขั้นการคำนวณแรก ( $n=1$ ) จะใช้หน่วยผลิตที่ 1 ในการคำนวณ โดยจะพิจารณาถึงต้นทุนราคาเชื้อเพลิงในแต่ละหน่วยผลิตที่แปรเปลี่ยนไปตามกำลังการผลิตในช่วงต่างๆ ซึ่งถ้ากำลังการผลิตที่คำนวณได้มีค่าเกินกว่ากำลังการผลิตที่ผลิตได้จริงของแต่ละหน่วยผลิต จะกำหนดให้มีค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงสูงเป็นอนันต์

ในขั้นการคำนวณที่ 2 จะใช้หน่วยผลิตที่ 1 และ 2 ในการคำนวณ และจากสมการที่ 1 จะกำหนดให้ค่า  $n=2$  ซึ่งแสดงอยู่ในรูปเมตริกซ์ 2 มิติ โดยที่มีค่าตามสมการที่ 1 จากการคำนวณค่าความต้องการโหลดและกำลังการผลิตในหน่วยการผลิตที่ 2 สำหรับช่วงการผลิตที่แบ่งไว้โดยขนาดลำดับช่วง ( $\Delta$ ) วิธีไดนามิก โปรแกรมมิ่งจะค้นหาตำแหน่งการผลิตในขั้นการคำนวณที่ 2 ที่มีต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวม  $C_2(P_D)$  ที่ถูกที่สุด

สำหรับการคำนวณในขั้นการคำนวณที่  $n$  นั้น จะใช้หน่วยผลิตที่  $1, 2, \dots, n$  ตามลำดับ และแสดงอยู่ในรูปเมตริกซ์ 2 มิติ โดยที่ค่ากำลังการผลิตของหน่วยผลิตนั้นคำนวณได้จากสมการที่ 1 และเมื่อขั้นการคำนวณสุดท้ายสิ้นสุดลง จะใช้ตำแหน่งของเมตริกซ์ที่ชี้ไปยังค่าความต้องการโหลด เป็นตำแหน่งอ้างอิงในการค้นหาค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เหมาะสม ย้อนกลับไปยังเมตริกซ์ที่ได้จากขั้นการคำนวณแรก ผลลัพธ์ที่ได้จากการค้นหานี้จะทำให้ทราบถึงค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ต่ำที่สุด  $C_n(P_D)$  ในการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการโหลด  $P_D$  และค่ากำลังการผลิตในแต่ละหน่วยผลิต  $P_{g,i}$

### 3.1.2 เมื่อคำนึงถึงความสูญเสียในระบบส่ง

เมื่อคำนึงถึงความสูญเสียในระบบส่ง จะใช้วิธีการชดเชยความสูญเสียในระบบจากค่าแฟกเตอร์การปรับโทษ โดยในรอบคำนวณแรกนั้น จะเริ่มจากการคำนวณจากวิธีข้างต้น โดยเมื่อได้ค่ากำลังการผลิตเริ่มต้นในแต่ละหน่วยผลิตแล้ว จะคำนวณหาความสูญเสียในระบบส่งและค่าการปรับโทษจากสมการ

$$PF_n = \frac{1}{1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_i}} \quad (3.3)$$

ในรอบการคำนวณที่ 2 นั้น จะปรับเปลี่ยนฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงของหน่วยผลิต โดยการคูณค่าการปรับโทษ เพื่อชดเชยความสูญเสียในระบบส่งที่เกิดขึ้นจากค่ากำลังการผลิตของหน่วยผลิตนั้น และคำนวณจากวิธีข้างต้น โดยปรับเปลี่ยนค่าความต้องการ โหลดเป็น

$$C'_n = C_n * PF_{n,i-1} \quad (3.4)$$

$$P'_D = P_D + P_L \quad (3.5)$$

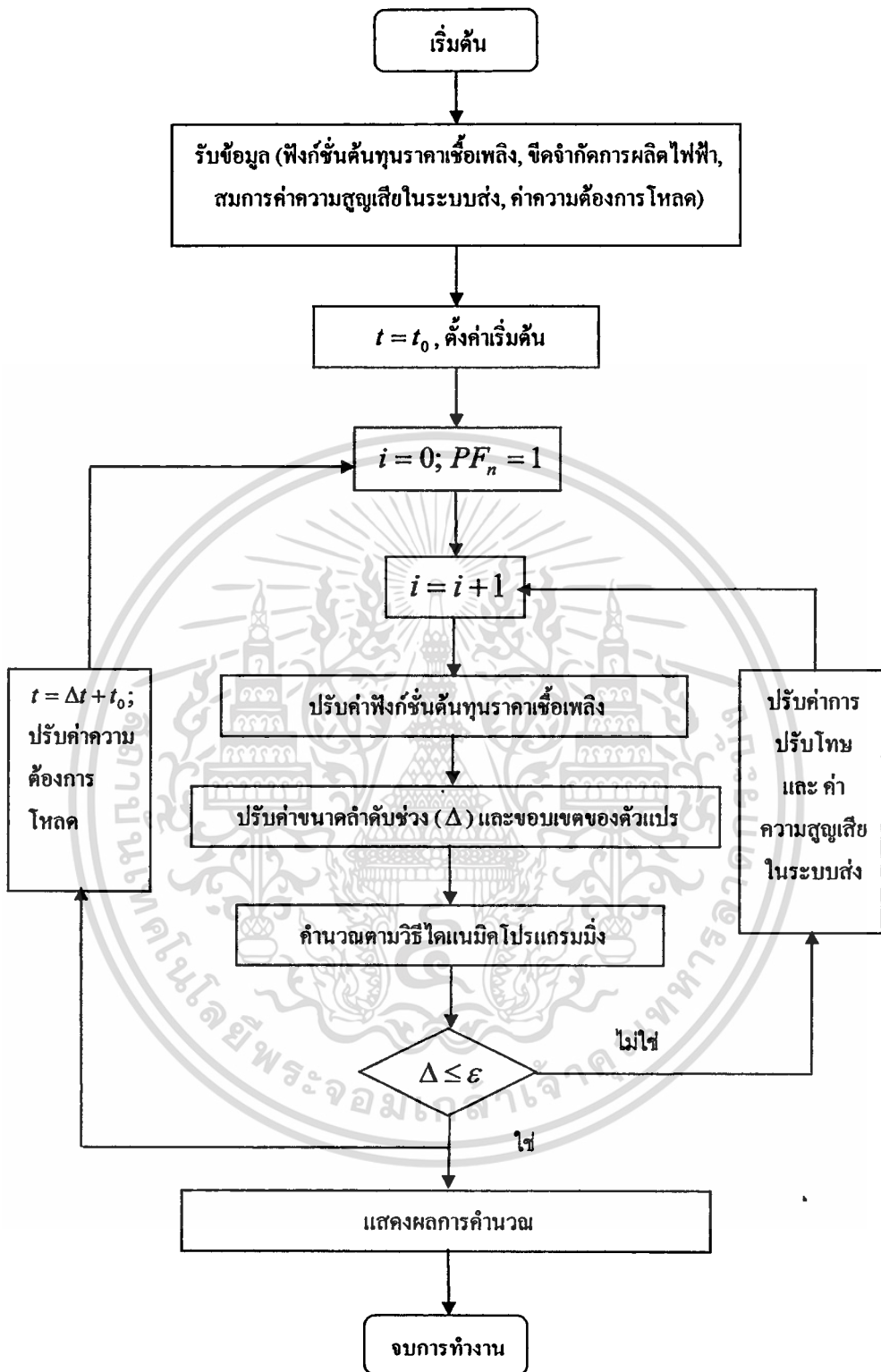
ในรอบการคำนวณต่อไปนั้น จะเปลี่ยนแปลงค่าความสูญเสียในระบบส่งและการปรับโทษอีกครั้ง จากค่ากำลังการผลิตของแต่ละหน่วยผลิตที่ได้จากรอบการคำนวณที่แล้ว โดยการคำนวณจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งค่าความผิดพลาดในการคำนวณน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความผิดพลาดในการคำนวณที่กำหนดไว้ ขั้นตอนการคำนวณทั้งหมดสรุปได้ดังรูปที่ 3.1

### 3.2 เทคนิคการหาค่าสำหรับการคำนวณวิธีโคเนมิกโปรแกรมมิ่ง

การแก้ไขปัญหาค่ากำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่ง นั้น มีจุดเด่นในเรื่องการคำนวณหาผลลัพธ์ที่ไม่ขึ้นกับชนิดหรือประเภทของลักษณะกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิง ทั้งนี้เนื่องจากการคำนวณด้วยวิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่ง ไม่ใช้วิธีการหาอนุพันธ์เป็นแนวทางในการหาคำตอบของปัญหา อีกทั้งสามารถใช้การคำนวณวิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่งร่วมกับผลของการทำนายความต้องการ โหลดระยะสั้น, ข้อจำกัดการเพิ่ม/ลดกำลังการผลิต หรือข้อจำกัดอื่นๆ ในการคำนวณหาแผนการเดินเครื่องที่เหมาะสมได้เป็นอย่างดี

เนื่องจากพื้นฐานของการคำนวณด้วยวิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่งที่ใช้การค้นหาคำตอบจากการแบ่งลำดับขั้นของตัวแปรออกเป็นส่วนย่อย ซึ่งความถูกต้องแม่นยำของผลลัพธ์ในการคำนวณจะขึ้นอยู่กับขนาดของการแบ่งส่วนดังกล่าว โดยถ้าทำการแบ่งลำดับขั้นตัวแปร (กำลังการผลิตของแต่ละหน่วยผลิตไฟฟ้า) ให้ละเอียดมากขึ้นเท่าไร ก็จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความแม่นยำสูงมากยิ่งขึ้น แต่ก็จะต้องใช้เวลาและหน่วยความจำในการคำนวณสูงขึ้นไปด้วย

เทคนิคการหาค่าจะช่วยลดเวลาและหน่วยความจำที่ต้องใช้ในการคำนวณ โดยใช้วิธีการขยายขอบเขตของลำดับขั้นตัวแปรในรอบการคำนวณใหม่ ให้สอดคล้องกับผลลัพธ์ที่ได้ในแต่ละรอบการคำนวณเดิม จากการปรับค่าความละเอียดการแบ่งลำดับขั้นตัวแปรที่เปลี่ยนแปลงตามอัตราขยาย โดยมีรายละเอียดและขั้นตอนในการคำนวณดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการคำนวณตามวิธีโคเนมิกโปรแกรมมิ่งเมื่อคำนึงถึงความสูญเสียในระบบส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรอบการคำนวณแรก (ไม่คิดความสูญเสียในระบบส่ง) และรอบการคำนวณที่สองนั้น จะใช้ค่าขนาดลำดับช่วง ( $\Delta_i$ ) ในกรณีที่ค่าความต้องการ โหลดและกำลังการผลิตของแต่ละหน่วยผลิต ออกเป็นค่าย่อย และทำการค้นหาตำแหน่งการผลิตที่เหมาะสมโดยวิธีโคเนมิกโปรแกรมมิ่ง จนกระทั่งหลังจากรอบการคำนวณที่สอง ค่าขนาดลำดับช่วงจะถูกปรับเปลี่ยนให้มีค่าน้อยลงตามสมการ

$$\Delta_i = \Delta_{i-1} / K_\Delta \quad (3.6)$$

โดยที่  $K_\Delta$  คือค่าแฟกเตอร์การปรับขนาดลำดับช่วง โดยทั่วไปจะมีค่ามากกว่า 1

และช่วงของกำลังการผลิตของแต่ละหน่วยผลิต จะถูกปรับเปลี่ยนตามสัดส่วนกับค่าขนาดลำดับช่วงที่ลดลงจากรอบการคำนวณเดิม โดยใช้ค่ากำลังการผลิตที่คำนวณได้จากรอบการคำนวณเดิม เป็นตำแหน่งศูนย์กลางในการลดช่วงกำลังการผลิตของแต่ละหน่วยผลิตสำหรับการคำนวณในรอบต่อไป จากสมการ

$$P_{g,n,i-1} - \Delta_i * (N_p / 2) \leq P_{g,n,i} \leq P_{g,n,i-1} + \Delta_i * (N_p / 2) \quad (3.7)$$

โดยที่  $N_p$  คือจำนวนค่ากำลังการผลิตที่แบ่งออกเป็นขั้น ตามขนาดลำดับช่วงที่กำหนดไว้

จากการปรับค่าขนาดลำดับช่วงให้มีค่าลดลงตามรอบการคำนวณ จะพบว่าผลของการแบ่งช่วง จะมีค่าที่ละเอียดมากยิ่งขึ้นจากรอบการคำนวณเดิม ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณมีความละเอียดสูงขึ้นไปด้วยตามลำดับ แต่ขนาดของเมตริกซ์ที่ใช้ในการคำนวณ จะไม่เพิ่มขึ้นตาม ทำให้สามารถลดการใช้หน่วยความจำลงได้อย่างมากเมื่อเทียบกับวิธีโคเนมิกโปรแกรมมิ่งเดิมที่ใช้ค่าขนาดลำดับช่วงเล็กในรอบการคำนวณทั้งหมด

ตัวอย่างเช่นถ้าใช้ค่าขนาดลำดับช่วงเริ่มต้นเท่ากับ 100 เมกะวัตต์ และค่าแฟกเตอร์การปรับขนาดลำดับช่วงเท่ากับ 5 ภายหลังจากเริ่มการคำนวณ ค่าขนาดลำดับช่วง จะลดลงเป็น 20, 4, 0.8, 0.16, ... ตามลำดับ

โดยถ้าตำแหน่งการผลิตของหน่วยผลิตใดที่อยู่ในช่วงขอบของช่วงการผลิต (ขีดจำกัดต่ำสุด/สูงสุดในการผลิตไฟฟ้าของหน่วยผลิตนั้น) จะใช้ช่วงการผลิตที่อยู่นอกช่วงการผลิตของโรงไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ แต่ค่าต้นทุนเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิต ณ ตำแหน่งดังกล่าวจะกำหนดให้มีค่าเป็นอนันต์

ข้อพึงระวังในการคำนวณด้วยวิธีโคเนมิกโปรแกรมมิ่งคือ ลักษณะของหน่วยผลิต ไฟฟ้าที่เรียงติดกันนั้น จะต้องไม่เหมือนกัน โดยสิ้นเชิง กล่าวคือช่วงการผลิตไฟฟ้าและฟังก์ชันต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าของหน่วยผลิตไฟฟ้าที่เรียงติดกัน เช่นในกรณี  $P_{g,n-1}$  และ  $P_{g,n}$  หรือในกรณี  $P_{g,n}$  และ  $P_{g,n+1}$  จะทำให้ในระหว่างแต่ละขั้นการคำนวณไม่สามารถหาคำตอบได้

### 3.2.1 หน่วยความจำที่ใช้ในเทคนิคการซุ่มสำหรับวิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่ง

การคำนวณตามวิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่งนั้น ส่วนใหญ่จะใช้หน่วยความจำในการจัดเก็บเมตริกซ์ค่าต้นทุนการผลิตในทุกขั้นการคำนวณ ซึ่งขนาดของเมตริกซ์ดังกล่าวจะแปรผันตามจำนวนหน่วยผลิตไฟฟ้า และค่าขนาดลำดับช่วงที่ใช้ในการแปลงค่ากำลังการผลิต โดยสำหรับขั้นการคำนวณสุดท้าย ขนาดของแถวเมตริกซ์ในแนวนอน แสดงได้เป็นสมการ

$$COLs = \max_i (P_{g,i}^{\max} - P_{g,i}^{\min}) / \Delta \quad (3.8)$$

และขนาดของแถวเมตริกซ์ในแนวตั้ง แสดงได้เป็นสมการ

$$ROWS = \left( \sum_{i=1}^n P_{g,i}^{\max} - \sum_{i=1}^n P_{g,i}^{\min} \right) / \Delta \quad (3.9)$$

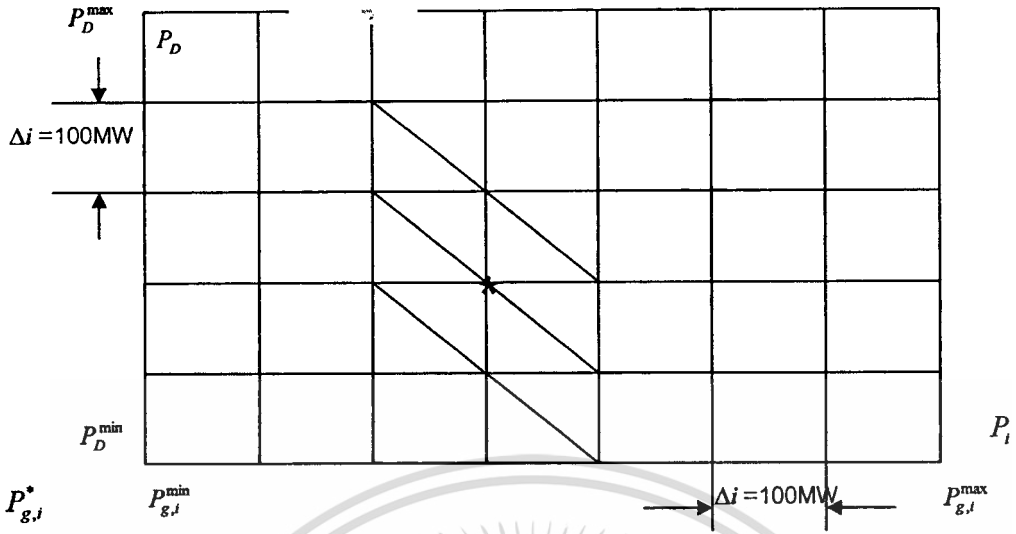
### 3.3 การคำนวณด้วยวิธีไดแนมิกโปรแกรมมิ่งร่วมกับผลการทำนายความต้องการโหลดระยะสั้น

วิธีไดแนมิก โปรแกรมมิ่งสามารถใช้คำนวณการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้า ณ เวลาปัจจุบันและอนาคตอันใกล้ได้ โดยใช้ร่วมกับผลจากการทำนายโหลดระยะสั้น ในคาบเวลาประมาณ 2-5 นาที จนถึง 30-120 นาที ซึ่งจะช่วยให้สามารถวางแผนการผลิตไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

การคำนวณจะเป็นไปตามขั้นตอนดังรูปที่ 3.1 โดยปรับเปลี่ยนค่าความต้องการโหลดอัตโนมัติจากผลของการทำนาย และปรับปรุงการคำนวณซ้ำตามคาบการคำนวณ ข้อจำกัดในการเพิ่ม/ลดกำลังการผลิตจะสามารถรวมเข้าในการคำนวณได้โดยใช้วิธีการปรับช่วงกำลังการผลิตจากกำลังการผลิตเริ่มต้นของแต่ละหน่วยผลิต ดังสมการ

$$P_{g,i}(t) - DR_i \leq P_{g,i}(t+1) \leq P_{g,i}(t) + UR_i \quad (3.10)$$

ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นกำลังการผลิตที่เหมาะสมสำหรับความต้องการโหลดล่วงหน้า ภายใต้ข้อจำกัดขีดความสามารถในการเพิ่ม/ลดกำลังการผลิตของทุกหน่วยผลิตไฟฟ้า



รูปที่ 3.2 ลักษณะการชุมในรอบการคำนวณที่ 1 และ 2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# ทฤษฎีและบทวิเคราะห์วิธีเจเนติกอัลกอริทึม

ในบทนี้กล่าวถึงที่มาและแนวคิดพื้นฐานของวิธีเจเนติกอัลกอริทึม ที่สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ ได้เป็นอย่างดี รวมถึงบทวิเคราะห์การพฤติกรรมทำงานและการปรับปรุงตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่จะช่วยทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมโดยรวมสูงขึ้นเป็นอย่างมาก

วิธีเจเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการค้นหาตอบที่มีพื้นฐานมาจากกลไกของขบวนการคัดเลือกและการถ่ายทอดพันธุกรรมตามธรรมชาติ ซึ่งจากหลักการที่ว่า สิ่งมีชีวิตที่แข็งแรงมากกว่าจะมีโอกาสอยู่รอดและเป็นผู้ผลิตทายาทในรุ่นต่อไปได้มากกว่า ซึ่งในปัจจุบันวิธีเจเนติกอัลกอริทึมได้นำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง ในลักษณะการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมและปัญหาการเรียนรู้ วิธีเจเนติกอัลกอริทึมประสบความสำเร็จอย่างสูงสำหรับการแก้ปัญหาที่มีรูปแบบที่ซับซ้อน ปัญหาที่มีหลายคำตอบ โกลบอล (ที่ใกล้เคียงกับคำตอบ โกลบอล) หรือปัญหาที่ไม่สามารถหาอนุพันธ์ได้ เมื่อเทียบกับเทคนิคการคำนวณที่มีพื้นฐานจากการหาอนุพันธ์และวิธีการไต่เขา (การหาคำตอบที่ดีขึ้นจากตำแหน่งคำตอบเดิม)

จุดเด่นของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมที่เหนือกว่าวิธีการค้นหาแบบเดิม เช่นวิธีที่มีพื้นฐานบนการคำนวณแคลคูลัสทั้งวิธีตรงและวิธีอ้อม วิธีการค้นหาโดยการแจกแจงคำตอบ และ วิธีการค้นหาโดยการสุ่ม คือ

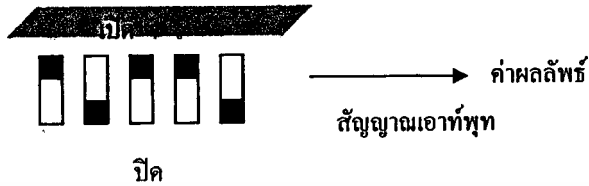
1. วิธีเจเนติกอัลกอริทึม ทำงานโดยอาศัยการเข้ารหัสของค่าพารามิเตอร์ของปัญหา ซึ่งไม่ใช้การค้นหาคำตอบจากค่าพารามิเตอร์เหล่านั้น โดยตรง
2. วิธีเจเนติกอัลกอริทึม ค้นหาผลลัพธ์ในการคำนวณจากกลุ่มของคำตอบ ซึ่งไม่ใช้การค้นหาจากคำตอบเดียว
3. วิธีเจเนติกอัลกอริทึม ใช้เฉพาะค่าความเหมาะสมจากฟังก์ชันเป้าหมาย มาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการค้นหาคำตอบ ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้ความรู้ในการหาค่าอนุพันธ์ หรือความรู้ในทางคณิตศาสตร์อื่นๆ
4. วิธีเจเนติกอัลกอริทึม ค้นหาผลลัพธ์จากวิธีการจากความน่าจะเป็น ซึ่งไม่ใช้กรรมวิธีการคำนวณโดยตรง

### 4.1 แนวคิดพื้นฐานของวิธีเจเนติกอัลกอริทึม

ถ้าพิจารณาปัญหาการหาคำตอบที่เหมาะสม ในลักษณะกล่องดำที่มีดีฟสวิตซ์ในการปรับค่า ดังรูปที่ 4.1 โดยถ้ามีจำนวนสัญญาณอินพุตเท่ากับ  $s$  ซึ่งการปรับค่าสวิตซ์จะให้สัญญาณเอาต์พุตที่แตกต่างกันออกไป ถ้ากำหนดให้ฟังก์ชัน  $f(s)$  เป็นฟังก์ชันการทำงานของกล่องดำ และ  $s$  เป็นลักษณะการปรับตั้งสวิตซ์ทั้งหมด เป้าหมายของปัญหานี้คือการปรับตั้งสวิตซ์เพื่อให้มีสัญญาณเอาต์พุตที่สูงที่สุด ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าใช้วิธีการแก้ปัญหาโดยวิธีอื่นจำเป็นจะต้องทราบถึงฟังก์ชันการทำงานที่แท้จริงของกล่องคำเพื่อใช้คำนวณหาผลลัพธ์จากค่าสวิทช์ วิธีเจเนติกอัลกอริทึมจะพิจารณาเพียงลักษณะการปรับตั้งสวิทช์ (อินพุท) และค่าผลลัพธ์ที่ได้ (เอาต์พุท) สำหรับการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในการปรับตั้งสวิทช์



รูปที่ 4.1 แนวคิดของการเข้ารหัสและการวัดค่าเอาต์พุท สำหรับปัญหาการหาค่าที่เหมาะสม

สำหรับวิธีเจเนติกอัลกอริทึมนั้น ขบวนการค้นหาคำตอบจะเริ่มจากการเข้ารหัสสถานะของสวิทช์ทั้งหมดเป็นไบนารีบิตสตริง โดยจากปัญหาดังกล่าวสามารถใช้บิตสตริงขนาด 1 บิต แทนสถานะของอินพุทในแต่ละค่า ซึ่งเมื่อนำมาเรียงต่อกันทั้งหมดจะได้เป็นชุดรหัส 10110 โดยที่รหัส 0 แสดงสถานะ “ปิด” ของสวิทช์ และรหัส 1 แสดงสถานะ “เปิด” ของสวิทช์ จากนั้นสร้างกลุ่มของรหัสทั้งหมดขึ้นมาโดยการสุ่ม ซึ่งถ้ากำหนดขนาดของจำนวนรหัสทั้งหมดเท่ากับ 4 จะได้เป็นดังนี้

01101

11000

01000

10011

วิธีเจเนติกอัลกอริทึม จะค้นหาคำตอบจากที่ดีที่สุดจากกลุ่มของชุดรหัสเหล่านี้ โดยคำนวณหาผลลัพธ์จากชุดรหัสทั้งหมด เพื่อเป็นข้อมูลเริ่มต้นสำหรับกรรมวิธีการค้นหาคำตอบ

#### 4.1.1 การสร้างชุดรหัสขึ้นมาใหม่

การสร้างชุดรหัสขึ้นมาใหม่เป็นขบวนการคัดลอกชุดรหัส โดยสอดคล้องกับค่าความเหมาะสม (คำนวณจากฟังก์ชันเป้าหมายของปัญหา) จากชุดรหัสที่มีอยู่เดิม ซึ่งอาจจะพิจารณาได้ชุดรหัสใดที่มีความเหมาะสมที่สูง ก็มีโอกาที่จะถูกเลือกเป็นชุดรหัสต้นแบบในการคัดลอกรหัส สำหรับกลุ่มของชุดรหัสชุดใหม่

ขบวนการคัดเลือกชุดรหัสเพื่อเป็นต้นแบบนั้นมีหลากหลายวิธี ซึ่งวิธีหนึ่งในการคัดเลือกชุดรหัสอย่างง่ายคือ การพิจารณาค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าความเหมาะสมจากชุดรหัสเหล่านั้น หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าวิธีการคัดเลือกโดยใช้กงล้อรูเล็ต โดยถ้าชุดสตริงใดมีเปอร์เซ็นต์ของค่าความเหมาะสมสูงก็จะมีส่วนพื้นที่ในกงล้อรูเล็ตมาก ซึ่งจากปัญหาดังกล่าวเราสามารถเขียนแสดงได้ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างค่าความเหมาะสมของปัญหาการปรับตั้งค่าสวิทช์

ลำดับที่	ตติรึง	ค่าความเหมาะสม	% ผลรวม
1	01101	169	14.4
2	11000	576	49.2
3	01000	64	5.5
4	10011	361	30.9
ผลรวม		1170	100.0



รูปที่ 4.2 กงล้อรูเล็ทที่ใช้ในขบวนการคัดเลือกชุดรหัสอย่างง่าย

โดยเมื่อหมุนกงล้อรูเล็ท และทำการเลือกชุดรหัสต้นแบบจะพบว่าชุดรหัสที่ 1 ซึ่งมีค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าความเหมาะสมเท่ากับ 14.4 จะมีค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกได้รับการคัดเลือกเท่ากับ 0.144 และเมื่อชุดรหัสใดได้รับการคัดเลือกก็ถูกคัดลอกรหัสทั้งหมดและสร้างเป็นชุดรหัสต้นแบบ

#### 4.1.2 การแลกเปลี่ยนรหัส

หลังจากที่ได้ชุดรหัสต้นแบบคู่หนึ่ง ขบวนการแลกเปลี่ยนรหัสอย่างง่าย หรือการแลกเปลี่ยนรหัสชนิดหนึ่งจุด จะเริ่มขึ้นจากการสุ่มตำแหน่งของรหัสที่ต้องการแลกเปลี่ยน ที่อยู่ในช่วง 1 ถึง  $l-1$  โดยที่  $l$  คือขนาดของชุดรหัส จากนั้นทำการแลกเปลี่ยนรหัสจากตำแหน่งดังกล่าว และสร้างเป็นชุดรหัสขึ้นใหม่ขึ้นมาดังรูป

ตำแหน่งของการแลกเปลี่ยน - 4

ชุดรหัสต้นแบบที่ 1 - 0 1 1 0 | 1

ชุดรหัสต้นแบบที่ 2 - 1 1 0 0 | 0

ชุดรหัสใหม่ที่ 1 - 0 1 1 0 | 0

ชุดรหัสใหม่ที่ 2 - 1 1 0 0 | 1

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนรหัสอย่างง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.1.3 การผ่าเหล่ารหัส

การผ่าเหล่ารหัส  $^{\text{๓.๑๑}}$  เปลี่ยนค่านัยในแต่ละบิตได้โดยตรง เนื่องจากการแลกเปลี่ยนรหัสมันอาจจะสูญเสียรหัสบางตัวที่มีความสำคัญ อีกทั้งการแลกเปลี่ยนดังกล่าวไม่ได้ทำให้เกิดส่วนของรหัสขึ้นมาใหม่ ดังนั้นเพื่อชดเชยผลกระทบดังกล่าว ชุดรหัสใหม่ที่เกิดขึ้นจะถูกเปลี่ยนค่านัย จากตำแหน่งที่ได้จากการสุ่ม โดยมีค่าอยู่ในช่วง 1 ถึง 7 ซึ่งโดยทั่วไปนั้น จะการผ่าเหล่ารหัสนั้นจะมีโอกาสเกิดขึ้นต่ำมาก จากการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการผ่าเหล่า โดยชุดรหัสใหม่ที่ผ่านขบวนการผ่าเหล่าจะมีลักษณะดังรูป

ตำแหน่งของการผ่าเหล่า - 3

ชุดรหัสเดิม - 01101

ชุดรหัสใหม่ - 01001

### รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการผ่าเหล่ารหัสอย่างง่าย

เจเนติกอัลกอริทึมอย่างง่าย()

{

สร้างประชากรเริ่มต้นโดยการสุ่ม;

คำนวณค่าความเหมาะสมของชุดโครโมโซม;

ถ้าการคำนวณยังไม่เข้าสู่

{

ปรับแต่งค่าความเหมาะสม;

คัดเลือกชุดโครโมโซมต้นแบบ;

ดำเนินการแลกเปลี่ยนยีนและการผ่าเหล่ายีน โดยการสุ่ม;

คำนวณค่าความเหมาะสมของชุดโครโมโซมใหม่;

}

}

### รูปที่ 4.5 โครงสร้างของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมอย่างง่าย

เพื่อความเข้าใจที่ดีขึ้น ถ้าสมมุติให้การทำงานของกล่องดำนี้คือ  $f(x) = x^2$  โดยที่ค่า  $x$  อยู่ในช่วง 0 ถึง 31 และทำการเข้ารหัสค่า  $x$  เป็นชุดสตริงไบนารีขนาด 5 บิต จากตัวอย่างข้างต้น ถ้าชุดรหัสมีค่าเป็น 10011 จะสามารถคำนวณค่าฟังก์ชันเป้าหมายได้ดังนี้

$$1 * 2^4 + 0 * 2^3 + 0 * 2^2 + 1 * 2^1 + 1 * 2^0 = 16 + 0 + 0 + 2 + 1 = 19$$

โดยที่ชุดรหัสจะสามารถแสดงค่าฟังก์ชันเป้าหมายในช่วงระหว่าง 0 (00000) ถึง 31 (11111)

ตัวอย่างการคำนวณการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน  $f(x) = x^2$  ด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึมสามารถแสดงได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 ตัวอย่างการคำนวณในช่วงขบวนการคัดเลือก

ชุดรหัสที่	ชุดรหัสเริ่มต้น (จากการสุ่มค่า)	ค่าตัวแปร $x$	$f(x)$	ค่าความน่าจะเป็นในการคัดเลือก $f_i / \sum_i f_i$	ค่าการคัดเลือก ที่คาดหวัง $f_i / \bar{f}_i$	ค่าการคัดเลือก ที่เกิดขึ้นจากวงจรรูเอ็ท
1	01101	13	169	0.14	0.58	1
2	11000	24	576	0.49	1.97	2
3	01000	8	64	0.06	0.22	0
4	10011	19	361	0.31	1.23	1
ผลรวม			1170	1.00	4.00	4.0
ค่าเฉลี่ย			293	0.25	1.00	1.0
ค่าที่มากที่สุด			576	0.49	1.97	2.0

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างการคำนวณในช่วงการดำเนินการทางพันธุศาสตร์

ชุดรหัสที่	ชุดรหัสจากการสร้างชุดรหัสขึ้นใหม่	คู่ของชุดรหัส	ตำแหน่งการแลกเปลี่ยนรหัส	ชุดรหัสใหม่	ค่าตัวแปร $x$	$f(x)$
1	0110 1	2	4	01100	12	144
2	1100 0	1	4	11001	25	625
3	11 000	4	2	11011	27	729
4	10 011	3	2	10000	16	256
ผลรวม						1754
ค่าเฉลี่ย						439
ค่าที่มากที่สุด						729

## 4.2 การวิเคราะห์การทำงานของวิธีเจเนติกอัลกอริทึม

### 4.2.1 ขบวนการคัดเลือก

ถ้าพิจารณาการทำงานของขบวนการคัดเลือกทั้งหมด สามารถแยกออกเป็นส่วนของการคัดเลือกชุดโครโมโซมและส่วนของการสุ่มตัวอย่าง ในส่วนของการคัดเลือกนั้นจะเป็นการคัดเลือกโครโมโซมต้นแบบจากประชากรที่มีอยู่ โดยจะกำหนดค่าอัตราการสุ่มเป้าหมาย  $r_{sr}(x, t)$  จากชุดโครโมโซม  $x$  เป็นตัวชี้บอกค่าคาดการณ์จำนวนชุดโครโมโซมใหม่ที่เกิดขึ้นจากชุดโครโมโซม  $x$  นี้ ในช่วงรุ่นประชากร  $t$  และในส่วนของ การสุ่มตัวอย่างนั้น จะสร้างประชากรรุ่นใหม่โดยการคัดลอกชุดของโครโมโซม จากสัดส่วนของค่าอัตราการสุ่ม ซึ่งจะต้องพิจารณาวิธีการสุ่มตัวอย่างด้วยความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระมัดระวัง เพื่อไม่ให้เกิดข้อผิดพลาดจากการสุ่มค่า เช่น ผลการแปลงค่าจำนวนจริง  $tsr$  ไปเป็นค่าจำนวนเต็มจากจำนวนการคัดลอก,  $tsr$  รวมที่เกิดขึ้นจริง โดยค่าอัตราการสุ่มเป้าหมาย  $tsr(x, t)$  แสดงได้ดังสมการ

$$tsr(H, t) =_{def} \sum_{i=1}^{m(H,t)} \frac{tsr(x_i, t)}{m(H, t)} \quad (4.1)$$

โดยที่  $x_i \in H$  และ  $m(H, t)$  แทนจำนวนของตัวแทนของไฮเปอร์เพลน  $H$  ในประชากร  $P(t)$  ซึ่งโดยปกติ ค่าอัตราการสุ่มเป้าหมาย อาจพิจารณาได้เป็นค่าอัตราการเติบโตของไฮเปอร์เพลน  $H$  ในช่วงเวลา  $t$  และไมคำนึงถึงผลของความสูญเสียจากตัวปฏิบัติการรวมโครโมโซม

ขบวนการคัดเลือกตามสัดส่วนของค่าความเหมาะสมนั้น เป็นวิธีการที่ใช้โดยทั่วไป ซึ่งสามารถคำนวณได้อย่างง่ายแต่ก็มีเหตุผลพอเพียงสำหรับใช้ในการคัดเลือกชุดโครโมโซม ดังสมการ

$$tsr(x, t) = \frac{u(x)}{\bar{u}(t)} \quad (4.2)$$

โดยที่  $u(x)$  คือค่าฟังก์ชันความเหมาะสม และ  $\bar{u}(t)$  คือค่าความเหมาะสมเฉลี่ยในประชากร  $P(t)$  ซึ่งถ้าพิจารณาขบวนการคัดเลือกจากสัดส่วนค่าความเหมาะสม สิ่งที่น่าสนใจคือวิธีนี้จะสร้างอัตราการสุ่มเป้าหมายสำหรับไฮเปอร์เพลนในกลุ่มประชากรที่พิจารณา

$$\begin{aligned} tsr(H, t) &= \sum_{i=1}^{m(H,t)} \frac{tsr(x_i, t)}{m(H, t)} \\ &= \sum_{i=1}^{m(H,t)} \frac{u(x_i)}{\bar{u}(t)m(H, t)} \\ &= \frac{u(H, t)}{\bar{u}(t)} \end{aligned} \quad (4.3)$$

โดยที่  $u(H, t)$  คือค่าความเหมาะสมเฉลี่ยของตัวแทนของไฮเปอร์เพลน  $H$  ในประชากร  $P(t)$  ซึ่งผลที่ได้นี้คือหัวใจของทฤษฎีสถิติ (Holland ปี 1975) และถูกเรียกว่าเป็นทฤษฎีพื้นฐานของวิธีเจเนติกอัลกอริทึม (Goldberg, 1989)

## 4.2.2 ทฤษฎีสถิติ

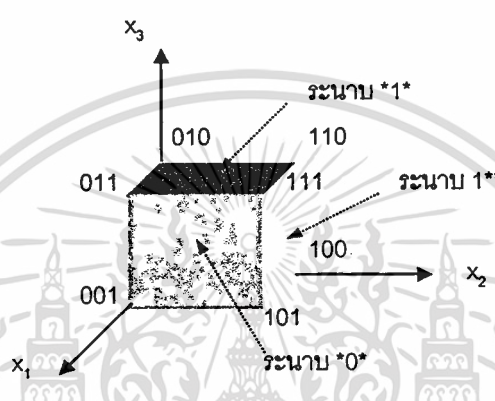
### 4.2.2.1 สถิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภิกมาคือกลุ่มของยีนต้นแบบในบิตสตริงที่มีความคล้ายคลึงกันหลายตำแหน่งบิต ถ้ากำหนดให้สัญลักษณ์ \* แสดงถึงค่าของบิตที่อาจจะมืค่าเป็น 0 หรือ 1 (ในไบนารีบิต) เราสามารถสร้างสภิกมาตา (สตริงย่อยหลายชุด) จากค่าอักขระ {0, 1, \*} ดังตัวอย่างดังต่อไปนี้

ถ้ากำหนดให้สตริงและสภิกมาตามความยาวเท่ากับ 5 สภิกมาตา 00000 จะสัมพันธ์กับสตริง 2 ชุดคือ {10000, 00000} ในทำนองเดียวกันสภิกมา \*111\* จะสัมพันธ์กับสตริง 4 ชุดคือ {01110, 01111, 11110, 11111} ซึ่งจะพบว่า ท่ามกลางสตริงที่มีความยาวอนันต์และอักขระที่เป็นไปได้จำนวนมากมายในกลุ่มประชากร จะมีสภิกมาตาที่คล้ายคลึงกันปรากฏอยู่อย่างมากมาย

ถ้ากำหนดให้สภิกมามีความยาวเท่ากับ 3 จะสามารถพิจารณาคล้ายกับไฮเปอร์เพลนดังรูป



รูปที่ 4.6 ไฮเปอร์เพลนของสภิกมาขนาดความยาวเท่ากับ 3

#### 4.2.2.2 บิวคิงบลิ๊อค

บิวคิงบลิ๊อคจะนิยามได้จากสภิกมาที่มีขนาดสั้นและมีค่าความเหมาะสมสูง ซึ่งจะสามารถถอดรูดได้จากผลของขบวนการคัดเลือกและขบวนการสร้างชุดโครโมโซมไปเป็นประชากรรุ่นใหม่ในระดับการเติบโตในอัตราเอ็กโปเนนเชียล ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัวของวิวัฒนาการที่คัดเลือกสรรหาแบบขนาน

#### 4.2.2.3 การวิเคราะห์สภิกมาด้วยสมการทางคณิตศาสตร์

ถ้ากำหนดให้  $\delta(H)$  คือความยาวของสภิกมา  $H$  ที่แสดงระยะระหว่างตำแหน่งของบิตแรกและบิตสุดท้ายที่ระบุค่าไว้อย่างชัดเจน เช่นสภิกมา 011\*1\*\* จะมีค่าความยาวที่กำหนดเท่ากับ 4 จากการหาระยะระหว่างลำดับของบิตแรก  $O_f(H) = 1$  และลำดับของบิตสุดท้าย  $O_r(H) = 5$  โดยถ้ามีจำนวนตัวอย่าง  $m$  ของสภิกมา  $H$  ที่กระจายอยู่ในประชากร  $A(t)$  จะสามารถเขียนได้ดังสมการ  $m = m(H, t)$

ในช่วงของการสร้างชุดโครโมโซมใหม่นั้น สตริงต่างๆ จะมีโอกาสที่จะถูกคัดเลือกจากอัตรา  $p_i = f_i / \sum f_j$  ซึ่งค่าคาดหวังตัวอย่าง  $m$  ของสภิกมา  $H$  ที่กระจายอยู่ในประชากรในรุ่นต่อไป  $m(H, t+1)$  จะมีค่าดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$m(H, t+1) = m(H, t) * n * \frac{f(H)}{\sum f_j} \quad (4.4)$$

ถ้ากำหนดให้ค่าความเหมาะสมเฉลี่ย  $\bar{f} = \sum f_j / n$  จะสามารถแสดงสมการการเติบโตของสปีชีส์ได้ดังนี้

$$m(H, t+1) = m(H, t) * \frac{f(H)}{\bar{f}} \quad (4.5)$$

จากสมการดังกล่าวพบว่าสปีชีส์จะเติบโตในอัตราของค่าความเหมาะสมเฉลี่ยของสปีชีส์ต่อค่าความเหมาะสมเฉลี่ยของประชากร และสปีชีส์ที่มีค่าความเหมาะสมสูงกว่าค่าอัตราความเหมาะสมเฉลี่ยของประชากรจะมีจำนวนมากขึ้นในกลุ่มประชากรรุ่นต่อไป ในขณะที่สปีชีส์ที่มีค่าความเหมาะสมต่ำกว่าค่าอัตราความเหมาะสมเฉลี่ยของประชากรจะมีจำนวนต่ำลงในกลุ่มประชากรรุ่นต่อไป โดยที่ค่าที่คาดหวังนี้จะเกิดขึ้นทุกๆ สปีชีส์  $H$  ในลักษณะขนาน

ถ้าสปีชีส์  $H$  มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ย  $c\bar{f}$  เมื่อ  $c$  คือค่าคงที่ สมการข้างต้นสามารถจัดรูปใหม่เป็น

$$m(H, t+1) = m(H, t) \frac{(\bar{f} + c\bar{f})}{\bar{f}} = (1+c) * m(H, t) \quad (4.6)$$

ถ้าประชากรรุ่นแรก  $t = 0$  และค่าอัตราดังกล่าวมีค่าคงที่ตลอด จะพบว่าในประชากรรุ่นใดๆ นั้น

$$m(H, t) = m(H, 0) * (1+c)^t \quad (4.7)$$

#### 4.2.2.4 ผลกระทบของการแลกเปลี่ยนยีน

และเนื่องจากสปีชีส์จะอยู่รอดเมื่อตำแหน่งการแลกเปลี่ยนยีนอยู่นอกช่วงความยาว ดังนั้นความน่าจะเป็นภายใต้วิธีการแลกเปลี่ยนยีนหนึ่งจุดคือ  $p_s = 1 - \delta(H)/(l-1)$  และถ้าการแลกเปลี่ยนยีนจะเกิดขึ้นจากความน่าจะเป็น  $p_c$  ดังนั้นความน่าจะเป็นในการอยู่รอด แสดงได้ใหม่ดังนี้

$$p_s \geq 1 - p_c \frac{\delta(H)}{l-1} \quad (4.8)$$

และจำนวนของสปีชีส์  $H$  ที่คาดหวังว่าจะเกิดขึ้นในประชากรรุ่นต่อไปคือ

$$m(H, t+1) \geq m(H, t) * \frac{f(H)}{\bar{f}} * \left[ 1 - p_c * \frac{\delta(H)}{l-1} \right] \quad (4.9)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการข้างต้น พบว่าสภิกมา  $H$  จะเติบโตหรือล้มตายลงจากแฟคเตอร์การคูณที่เกิดขึ้น โดย  $f$  ,  $f'$  เอร์ของการแลกเปลี่ยนขึ้นและการสร้างชุดโครโมโซมใหม่ดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับลักษณะสภิกมา ที่มีค่าความเหมาะสมสูง/ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยในประชากร และลักษณะความยาวของสภิกมาที่กำหนดไว้

#### 4.2.2.5 ผลกระทบของการผ่าเหล่ายีน

ทฤษฎีสภิกมาสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้โดยการเพิ่มเทอมที่แสดงผลด้านลบของการผ่าเหล่ายีน และตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์อื่นๆ แต่หัวใจสำคัญของทฤษฎีนี้แสดงให้เห็นว่าการค้นหาที่เกิดขึ้นจะเป็นการทำงานแบบขนาน โดยค้นหาจากไฮเปอร์เพลนที่มีอยู่มากมายในกลุ่มประชากร และจากส่วนไฮเปอร์เพลนขนาดเล็ก ซึ่งสอดคล้องกับสมการอัตราการสุ่มข้างต้น เมื่อความสูญเสียจากตัวปฏิบัติการรวมโครโมโซมมีค่าน้อย

ถ้าพิจารณาถึงผลกระทบของการผ่าเหล่ายีนจากอัตราความน่าจะเป็น  $p_m$  ดังนั้นถ้าสภิกมา  $H$  จะอยู่รอดได้ ถ้าการผ่าเหล่าที่เกิดขึ้น ไม่อยู่ในตำแหน่งของสภิกมาที่ระบุไว้ทั้งหมด ดังนั้นค่ารหัส  $\mathcal{H}$ . ตำแหน่งดังกล่าวหรือแอลลีจะอยู่รอดในอัตรา  $1 - p_m$  และสภิกมาจะอยู่รอดเมื่อลำดับ  $O(H)$  ทั้งหมดที่ระบุในสภิกมานั้นคงอยู่ โดยถ้าความน่าจะเป็นในการอยู่รอด  $(1 - p_m)$  ด้วยลำดับ  $O(H)$  ของตัวมัน ค่าความน่าจะเป็นของการอยู่รอดจากการผ่าเหล่าคือ  $(1 - p_m)^{O(H)}$  ซึ่งสำหรับความน่าจะเป็นของการผ่าเหล่าที่มีค่าน้อยมาก  $p_m \ll 1$  ความน่าจะเป็นที่สภิกมาจะอยู่รอดจะสามารถประมาณเป็น  $(1 - O(H)p_m)$  ดังนั้นจะมีจำนวนคาดหวังของการคัดลอกสภิกมา  $H$  ในประชากรรุ่นต่อไปภายใต้ขบวนการสร้างชุดโครโมโซมใหม่ การแลกเปลี่ยนยีน และการผ่าเหล่ายีน ดังสมการต่อไปนี้

$$m(H, t+1) \geq m(H, t) * \frac{f(H)}{f} * \left[ 1 - p_c \frac{\delta(H)}{l-1} - O(H)p_m \right] \quad (4.10)$$

จากผลของการคัดเลือกที่เกิดขึ้นนี้ จะพบว่าจำนวนการค้นหาที่ถูกแบ่งออกไปตามไฮเปอร์เพลนที่มีขนาดสั้น และมีค่าความเหมาะสมที่สูงกว่าค่าเฉลี่ย จะมีจำนวนมากขึ้นอย่างต่อเนื่องในอัตราเอ็กโปเนนเชียล โดยที่การค้นหาที่มีค่าความเหมาะสมที่ต่ำกว่าค่าเฉลี่ยจะมีจำนวนลดลงอย่างต่อเนื่องในทำนองกลับกัน

ลักษณะการคัดเลือกตามสัดส่วนของค่าความเหมาะสมอีกรูปแบบหนึ่งคือ การคัดเลือกโดยการเรียงเป็นเชิงเส้น

$$tsr(x, t) = \min + (\max - \min) \frac{rank(x, t) - 1}{N - 1} \quad (4.11)$$

โดยที่  $rank(x, t)$  คือตัวชี้ไปยัง  $x$  เมื่อเรียงลำดับชุดโครโมโซมในประชากรตามค่า  $u(x)$  ที่เพิ่มขึ้น ชุดโครโมโซมที่แย่ที่สุดจะกำหนดให้  $tsr$  มีค่าน้อยที่สุด (ค่า  $\min$  ตามสมการ) และชุดโครโมโซมที่ดีที่สุด

จะกำหนดให้  $tsr$  มีค่าสูงที่สุด (ค่า  $\max$  ตามสมการ) ซึ่งค่า  $tsr$  สำหรับชุดโครโมโซมอื่นจะกำหนดตามการเรียงลำดับที่เกิดขึ้น โดยที่มีข้อกำหนดสำหรับเงิ  $r(x,t)$  และ  $\sum tsr(x,t) = N$  ว่า  $1 \leq \max \leq 2$  และ  $\min = 2 - \max$

ประโยชน์ที่สำคัญของการเรียงลำดับตลอดการคัดเลือกนี้ ส่งผลต่อการเข้าสู่ค่าตอบ โดยที่จะลดผลของแนวโน้มการเข้าสู่ค่าตอบที่เร็วมากเกินไป

#### 4.2.2.6 ผลกระทบของฟังก์ชันความเหมาะสม

โดยปกติแล้ว ค่าฟังก์ชันค่าความเหมาะสม  $u$  จะประกอบด้วย 2 ฟังก์ชันซ้อนกัน ดังสมการ

$$u(x) = g(f(x)) \quad (4.12)$$

โดยที่  $f$  คือค่าฟังก์ชันเป้าหมาย และ  $g$  คือฟังก์ชันความเหมาะสม ซึ่งจะแปลงค่าของฟังก์ชันเป้าหมายจากปัญหาที่พิจารณาไปสู่ค่าจำนวนจริงค่าบวก โดยการแปลงค่าที่เกิดขึ้น จะขึ้นอยู่กับปัญหาที่ต้องการหาค่าเหมาะสม โดยฟังก์ชันเป้าหมายที่มีค่าต่ำ จะต้องแปลงไปเป็นค่าความเหมาะสมที่สูง หรือเมื่อฟังก์ชันเป้าหมายอาจจะให้ค่าเป็นลบ ซึ่งฟังก์ชันค่าความเหมาะสม  $u$  โดยทั่วไปจะใช้การแปลงฟังก์ชันเป้าหมายในลักษณะเชิงเส้น ดังสมการ

$$u(x) = af(x) + b \quad (4.13)$$

โดยที่  $a$  จะมีค่าเป็นบวกถ้าต้องการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจากฟังก์ชัน  $f$  และมีค่าเป็นลบเมื่อต้องการหาค่าที่เหมาะสมที่ต่ำสุดจากฟังก์ชัน  $f$  และ  $b$  เป็นค่าที่ชดเชยเพื่อให้ผลลัพธ์จากฟังก์ชันค่าความเหมาะสมไม่เป็นค่าลบ

ผลกระทบจากการแปลงค่าดังกล่าวส่งผลต่อทฤษฎีเสถียรภาพ ตัวอย่างเช่น ถ้าพิจารณาวิธีเจเนติกอัลกอริทึม 2 วิธี ที่ใช้การคัดเลือกโดยสัดส่วนค่าความเหมาะสม แต่แตกต่างกันตรงที่ วิธีหนึ่งใช้ฟังก์ชันค่าความเหมาะสมเป็น

$$u_1(x) = af(x) + b \quad (4.14)$$

และอีกวิธีหนึ่งใช้ฟังก์ชันค่าความเหมาะสมเป็น

$$u_2(x) = af(x) + b + c, \quad c \neq 0 \quad (4.15)$$

สำหรับไฮเปอร์เพลน  $H$  ที่มีขนาดสั้นนั้น จะมีอัตราการเติบโตในประชากรรุ่นแรกเป็น

$$tsr_1(H,t) = \frac{u_1(H,t)}{\bar{u}_1(t)} \quad (4.16)$$

ในขณะที่อัตราดอกเบี้ยโตในประชากรรุ่นที่ 2 คือ

$$\begin{aligned} tsr_2(H,t) &= \frac{u_2(H,t)}{\bar{u}_2(t)} \\ &= \frac{u_1(H,t) + c}{\bar{u}_1(t) + c} \end{aligned} \quad (4.17)$$

ถึงแม้ว่าวิธีเจเนติก อัลกอริทึมทั้ง 2 วิธี จะมีพฤติกรรมการค้นหาตามทฤษฎีสถิติมา แต่วิธีทั้งสองจะแบ่งการค้นหาไปสู่ไฮเปอร์เพลนในอัตราที่ต่างกัน ซึ่งการตีความของทฤษฎีสถิตินั้นจะเปลี่ยนแปลงไปถ้ามีการปรับระดับฟังก์ชันค่าความเหมาะสมในช่วงระหว่างการคำนวณ โดยสาเหตุในการปรับระดับฟังก์ชันค่าความเหมาะสม มาจากแนวคิดที่วิธีเจเนติกอัลกอริทึมที่จะเปลี่ยนแปลงลักษณะประชากรอย่างรวดเร็ว โดยค่าของ  $f(x)$  จะมีแนวโน้มที่จะเข้าสู่ช่วงแคบๆ ซึ่งถ้าปรับค่าคงที่ในการแปลง (ในสมการที่ 4.8) ผลของแรงกดดันในการคัดเลือก จะลดลงเป็นอย่างมาก ในลักษณะที่จุดโครโมโซมในประชากรจะเข้าสู่ระดับค่าความเหมาะสมที่เท่าๆกัน ตัวอย่างของการแปลงค่าความเหมาะสมคือ ฟังก์ชันค่าความเหมาะสมเชิงเส้นพลวัต [1]

$$u(x) = af(x) + b(t) \quad (4.18)$$

โดยที่  $b(t)$  จะกำหนดจาก ผลกระทบของการปรับเปลี่ยน ตัวอย่างเช่นถ้ากำหนดให้ปัญหาที่กำลังพิจารณาเป็นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของ  $f(x)$

$$b(t) = -\min\{f(x) \mid x \in P(t)\} \quad (4.19)$$

โดยทั่วไปนั้น ควรที่จะปรับเปลี่ยน  $b(t)$  อย่างเหมาะสม เพื่อที่จะทำให้เกิดฟังก์ชันค่าความเหมาะสมที่มีเสถียรภาพ

#### 4.2.3 การทำงานที่ขนานกันภายในวิธีเจเนติกอัลกอริทึม

ลักษณะที่แตกต่างของวิธีเจเนติก อัลกอริทึม คือความสามารถในการดำเนินการสทิมิตาแบบขนาน โดยที่สทิมิตาที่มีอยู่ในประชากรจะถูกนำมาเป็นต้นแบบการคัดเลือกใหม่ที่เกิดขึ้น และสทิมิตาที่มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยจะเติบโตในอัตราอีกโปเนนเชียล

สิ่งสำคัญอย่างหนึ่งที่ควรพิจารณาในระหว่างการแลกเปลี่ยนยีนคือผลของการรักษาความหลากหลายทางพันธุศาสตร์ในกลุ่มประชากรและการค้นหาพื้นที่คำตอบใหม่จากกลุ่มประชากรที่มีอยู่

ซึ่งสำหรับการประยุกต์ใช้งานในทางปฏิบัติ เช่นการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสม และการเรียนรู้ การสร้างจำนวนประชากรที่มาก อาจจะไม่ก่อให้เกิดประโยชน์มากนัก ซึ่งถ้าใช้จำนวนประชากรที่น้อย ตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ อาจจะทำให้เกิดแนวโน้มการรู้เข้าที่เร็วมากเกินไป ซึ่งเกิดความล้มเหลวในการค้นหาสมมติฐานใหม่ ๆ

#### 4.2.4 เจเนติกคริปต์

ถ้าพิจารณาปัญหาที่มีจุดยอดหลายจุดแล้วนั้น ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากวิธีเจเนติกอัลกอริทึมคือการรู้เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุดของประชากร เจเนติกคริปต์จะนิยามได้จากสภาวะการรู้เข้าของประชากรจำนวนอนันต์เมื่อมีผลกระทบจากการแลกเปลี่ยนยีน และขบวนการทางพันธุศาสตร์อื่นๆ ในการลดผลกระทบจากเจเนติกคริปต์นั้น จะต้องพัฒนาวิธีเจเนติกอัลกอริทึมให้สามารถสร้างและรักษากลุ่มประชากรย่อยที่มีเสถียรภาพได้ วิธีเจเนติกอัลกอริทึมที่ใช้กลไกนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมจะมีความสามารถในการหาคำตอบที่เป็นไปได้หลายคำตอบได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะกล่าวในรายละเอียดต่อไป

### 4.3 การปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของวิธีเจเนติกอัลกอริทึม

#### 4.3.1 การเข้ารหัสโครโมโซมที่แข็งแรง

การเข้ารหัสโครโมโซมคือการแปลงค่าพารามิเตอร์ควบคุมไปเป็นสตริงของอักขระหรือบิตต่างๆ ตามประเภทของการเข้ารหัส ซึ่งมีแนวคิดมากจากการเลียนแบบลักษณะทางพันธุศาสตร์ วิธีการเข้ารหัสที่ใช้กันโดยทั่วไปคือแบบไบนารี แบบค่าจำนวนจริง และแบบการเปลี่ยนลำดับ

การวิเคราะห์การเข้ารหัสนั้นสามารถพิจารณาในเรื่องของเจโนไทป์ที่ไม่แสดงพื้นที่คำตอบได้ทั้งหมด การเทียบค่าในการจำลองระหว่างเจโนไทป์และฟีโนไทป์ ตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ บิวติงบล็อก ไอโซมอร์ฟิซึมในการเปลี่ยนรูปร่าง และการเข้ารหัสแบบผสม

วิธีเจเนติกอัลกอริทึมนั้นเป็นแบบจำลองในการคำนวณที่ได้แนวคิดจากทางชีววิทยา และขบวนการทำงานส่วนใหญ่ นั้น ได้จากลักษณะที่เกิดขึ้นในทางพันธุศาสตร์ ซึ่งในทางพันธุศาสตร์นั้น กลุ่มยีนจะประกอบขึ้นเป็น โมเลกุลที่มีความยาว ซึ่งเรียกว่า Deoxyribonucleic acid หรือ DNA ในแต่ละเซลล์ จะเกิดการจัดรูปร่างดีเอ็นเอร่วมกับโปรตีน เป็นโครงสร้างที่เรียกว่าเจโนไทป์ ซึ่งสำหรับการวิธีเจเนติกอัลกอริทึมนั้น จะพิจารณาเพียงเพียงให้สตริงของยีนแสดงถึงเจโนไทป์ โดยที่ยีนเหล่านั้นจะอยู่ในตำแหน่ง (โลคัส) และมีค่า (แอลลี) ที่แตกต่างกันออกไปในเจโนไทป์ โครงสร้างที่ประกอบไปด้วยยีนเหล่านี้ จะเรียกว่าโครโมโซม โดยในธรรมชาตินั้น การเทียบเคียงระหว่างเจโนไทป์และคุณลักษณะของสิ่งมีชีวิต (ฟีโนไทป์) จะมีความซับซ้อนสูง ยีนในแค่ตัวจะมีผลกับคุณภาพของฟีโนไทป์ ซึ่งเรียกว่า Pleiotropy การเทียบเคียงอื่นๆ จะพิจารณาจากอักขระในฟีโนไทป์ที่ถูกควบคุมหรือผลจากยีนหลายตัว โดยในวิธีเจเนติกอัลกอริทึมโดยทั่วไปจะเป็นการแปลงค่า (แบบหนึ่งต่อหนึ่ง) ไปสู่คุณลักษณะทางฟีโนไทป์ ซึ่งสะท้อนถึงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตทางธรรมชาติอย่างง่าย

การเข้ารหัสจะพิจารณาตามคุณสมบัติดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเข้ารหัสจะรวมเอาบิตเชิงบล็อคลักษณะจำนวนหลายส่วนเข้ารวมกัน ซึ่งเป็นสิ่งที่มีความสำคัญสำหรับ... ปัญหา
2. การเข้ารหัสจะสอดคล้องกับกลุ่มของตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ซึ่งสามารถส่งผ่านบิตเชิงบล็อคจากเจโนไทป์พ่อแม่ไปสู่เจโนไทป์ของลูกได้เป็นอย่างดี
3. การเข้ารหัสจะทำให้รหัสทางยีนมีค่าน้อยที่สุด โดยที่ผลกระทบจากยีนหนึ่งจะลดผลการกระทำของยีนอื่นๆ
4. การเข้ารหัสจะสามารถจัดการการเทียบค่าไปสู่ฟีโนไทป์นั้นได้อย่างง่าย และสามารถแปลงค่าความเหมาะสมโดยใช้การคำนวณไม่มากนัก
5. การเข้ารหัสจะใช้ขบวนการเทียบค่าเจโนไทป์และฟีโนไทป์ที่เหมาะสมให้เกิดประโยชน์ ถ้าการเทียบค่าอย่างง่ายไปสู่เจโนไทป์นั้นไม่สามารถกระทำได้โดยตรง
6. การเข้ารหัสจะต้องรวมเอาคำตอบที่เป็นไปได้เข้าไว้ด้วยกัน (ถ้าเป็นไปได้) หรืออาจจะใช้วิธีการปรับโทษหรือเทคนิคอื่นเข้าช่วย ถ้ามีคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ (ไม่อยู่ในข้อจำกัด) เกิดขึ้น
7. การเข้ารหัสจะลดผลรูปร่างไอโซมอร์ฟิก
8. การเข้ารหัสจะใช้ค่ายีนที่ได้จากอักษระของคาดีนอลลิตีที่เป็นไปได้ที่น้อยที่สุด โดยการเข้ารหัสไบนารีจะถูกพิจารณาว่าเป็นวิธีที่ดีที่สุดถ้าเหมาะสมกับปัญหาที่พิจารณา
9. การเข้ารหัสจะก่อให้เกิดปัญหาจากช่วงตำแหน่งในพื้นที่คำตอบ และกลุ่มคำตอบที่เป็นไปได้

ปัญหาวิธีเจเนติกอัลกอริทึมจะต้องการการเข้ารหัสที่มีความเฉพาะตัว ซึ่งก็ไม่มีวิธีพื้นฐานที่จะเหมาะสมกับทุกปัญหา ทั้งนี้จะต้องพิจารณาลักษณะเฉพาะของแต่ละปัญหาเป็นสำคัญ

#### 4.3.1.1 การเข้ารหัสไบนารี

การเข้ารหัสไบนารีเป็นวิธีที่ดีสำหรับปัญหาที่ซึ่งตัวแปรของปัญหานั้นสามารถเทียบค่าไปสู่สตริงของค่าศูนย์หรือหนึ่ง คล้ายกับลักษณะทางธรรมชาติ ไบนารีสตริงส่วนใหญ่จะใช้ในการแสดงการเข้ารหัส เช่น  $E = [10001010]$  ประกอบด้วย 8 ยีน โดยที่โลดิส (ตำแหน่ง) ของยีนลำดับ  $i$  แสดงถึงบิตลำดับ  $i$  ในสตริงไบนารีโดยตรง และแอดลิสของบิตต่างๆ แสดงได้ด้วย  $E[i]$

สำหรับปัญหาอื่นนั้น การเข้ารหัสไบนารีอาจจะไม่เหมาะสมเนื่องจากว่า

1. **อีพิสทาทิส** โดยค่าของบิตอาจจะมีผลกระทบกับการแสดงความเหมาะสมจากบิตอื่น ซึ่งสามารถที่จะส่งผลไปสู่ความเหมาะสมของเจโนไทป์โดยไม่มีอิทธิพลจากค่าของบิตอื่น และอาจจะเป็นผลทางลบในการแลกเปลี่ยนสกีมาตาของวิธีเจเนติกอัลกอริทึม
2. **ลักษณะทางธรรมชาติ** สำหรับปัญหาที่กำลังพิจารณานั้น จะต้องการบิตที่มีลำดับความหมายสูงกว่าการใช้ไบนารี และบิตนั้นสามารถจัดเรียงเข้าด้วยกันเพื่อสร้างบิตเชิงบล็อคที่เทียบไปสู่คุณลักษณะเฉพาะของปัญหาที่สามารถแยกออกเป็นส่วนได้ ซึ่งในกรณีนี้อักษระที่มีลำดับสูงจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมาก

3. คำตอบที่เป็นไปไม่ได้ ตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์นั้นสามารถสร้างคำตอบที่เป็นไปไม่ได้  
ขึ้นจากการเข้ารหัสไบนารี

ถ้าพิจารณาปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมคือ การหาค่าที่มากที่สุดของ  $f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_m)$  เมื่อตัวแปรควบคุม  $x_i$  เป็นค่าจำนวนจริง ตามสมการข้อจำกัด  $a_i \leq x_i \leq b_i$  วิธีการเข้ารหัสไบนารีโดยทั่วไปจะใช้สตริงไบนารีขนาด  $n$  บิต แสดงค่าจำนวนจริงในช่วง

$$a_i + k \frac{(b_i - a_i)}{2^n} \leq x_i \leq a_i + (k+1) \frac{b_i - a_i}{2^n} \quad (4.20)$$

ซึ่งสอดคล้องกับรหัสไบนารีพื้นฐานสำหรับค่าจำนวนเต็ม  $k$  โดยที่  $0 \leq k \leq 2^n$

ถ้าไม่พิจารณาถึงช่วงค่าจำนวนจริงที่ได้จากรหัสไบนารี จะสามารถเทียบเคียงกับรหัสไบนารีสำหรับค่าจำนวนเต็ม  $k$  ได้จาก  $k \frac{(b_i - a_i)}{2^n}$



รูปที่ 4.7 การจัดเรียงตัวของประชากร

#### 4.3.1.2 การเข้ารหัสเกรย์

การเข้ารหัสเกรย์เป็นวิธีในการเข้ารหัสไบนารีที่มีลักษณะพิเศษ ถ้ามีการเพิ่มค่าตัวแปรควบคุมจากช่วงค่าของการเข้ารหัส จะเกิดการเปลี่ยนค่าบิตเพียงแค่นั้นในตำแหน่งเดียว สมการการแปลงจากค่าไบนารีไปเป็นค่าเกรย์แสดงได้ดังนี้

$$\gamma_k = \begin{cases} \beta_1; & \text{if } k = 1 \\ \text{comp}(\beta_k); & \text{if } k > 1 \end{cases} \quad (4.21)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $r_k$  คือรหัสเกรย์ในลำดับ  $k$  และ  $\beta_k$  คือรหัสไบนารีในลำดับ  $k$  และบิตที่ 1 จะเริ่มจากตำแหน่งซ้าย และ  $comp(\ )$  คือฟังก์ชันการหาค่าคอมพลิเมนต์

การเข้ารหัสเกรย์นั้นนอกจากที่จะลดผลของแฮมมิงคลิฟฟี่ (เกิดขึ้นเมื่อค่าจำนวนเลขที่อยู่ติดกันเป็นค่าคอมพลิเมนต์ของไบนารี) แล้ว จะยังคงมีความเป็นไปได้ในการลดจำนวนคำตอบโลกคอลในพื่นที่คำตอบใหม่ การเข้ารหัสเกรย์จะสร้างฟังก์ชันการเทียบค่าที่แตกต่างออกไปจากเดิม ทำให้เกิดความสัมพันธ์ไฮเปอร์เพลนในลักษณะใหม่ ซึ่งเปลี่ยนแปลงการแข่งขันสกีมาตาในการค้นหาทางพันธุศาสตร์

#### 4.3.1.3 การเข้ารหัสพารามิเตอร์

ในปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมของฟังก์ชันขนาด  $n$  มิติ  $f(x, y, z)$  นั้น เป้าหมายของการหาค่าที่เหมาะสมโดยปกติคือการหาค่าที่มาก/น้อยที่สุด ของฟังก์ชันใน โดเมนที่พิจารณา ซึ่งสำหรับวิธีเจเนติก อัลกอริทึมเดิม ตัวแปรควบคุมของปัญหาจะถูกนำมาเข้ารหัสเป็นบิตสตริง และถ้าพิจารณาฟังก์ชันขนาด  $n$  มิติ ค่า  $x, y, z$  จะนำมาเข้ารหัสเป็นสตริงไบนารีย่อย 3 ส่วน โดยที่สตริงย่อยเหล่านี้จะถูกนำมาเรียงต่อกันเป็นเจโนไทป์บิตสตริงชุดเดียว โดยพารามิเตอร์อาจจะถูกเข้ารหัสโดยสตริงไบนารีหรือจำนวนค่าจำนวนจริงเดิมจากการกำหนดบิตเครื่องหมาย บิตค่าเลขฐาน และบิตค่ากำลัง

#### 4.3.1.4 การเข้ารหัสโดยการเปลี่ยนลำดับ

ปัญหาการเปลี่ยนลำดับนั้นจะต้องการการจัดเรียงชุดของบิตใน โครงสร้างการเชื่อมโยงให้มีความเหมาะสม เช่นปัญหาการเดินทางของพนักงานขายของ การเข้ารหัสโดยการเปลี่ยนลำดับอย่างเดียวยังไม่สามารถรวบรวมบิตดิงบล็อทที่มีอยู่ได้คีนัก ในปัญหาการเปลี่ยนลำดับนั้น บิตดิงบล็อทที่เกิดขึ้นจะถูกกำหนดจากลักษณะทางธรรมชาติของฟังก์ชันความเหมาะสมของปัญหา ตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์และการเข้ารหัส

### 4.3.2 การปรับค่าความเหมาะสม

#### 4.3.2.1 การปรับค่าความเหมาะสมโดยการตัดค่าซิกมา

วิธีการการปรับค่าความเหมาะสมเป็นส่วนหนึ่งที่จะช่วยลดผลกระทบจากชุดโครโมโซมที่มีความเหมาะสมที่สูงมาก เมื่อเทียบกับชุดโครโมโซมอื่น โดยการปรับค่าความเหมาะสมของชุดโครโมโซมทั้งหมดก่อนที่จะบวกราคาคัดเลือกจะเริ่มขึ้น เทคนิคการปรับค่าความเหมาะสมโดยการตัดส่วนซิกมาจะพิจารณาถึงความผันแปรของค่าความเหมาะสมในประชากรมาใช้ในการปรับค่าความเหมาะสมเดิม ดังสมการต่อไปนี้

$$f' = f - (f - c\sigma) \quad (4.22)$$

ค่าคงที่  $c$  จะกำหนดให้อยู่ในช่วง 1 ถึง 3 สำหรับการปรับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และถ้าผลลัพธ์จากสมการ  $f' > c \cdot \sigma$  ค่าเป็นลบ ค่า  $f'$  จะถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0

### 4.3.3 วิธีการคัดเลือกที่ดี

#### 4.3.3.1 วิธีการคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนต์

ถ้าเทียบวิธีการคัดเลือกที่ใช้อยู่กัน โดยทั่วไปแล้ว วิธีการคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนต์เป็นวิธีที่มีจุดเด่นเหนือกว่าวิธีอื่นๆ เนื่องจากวิธีนี้ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการคำนวณระหว่างชุดโครโมโซม ซึ่งเป็นการจำลองวิธีทางธรรมชาติในการคัดเลือกจากการเรียงลำดับค่าความเหมาะสม อีกทั้งวิธีนี้จะมีผลกระทบจากการรบกวนของขบวนการคัดเลือก น้อยที่สุด และไม่ขึ้นกับจำนวนขนาดของประชากรมากนัก

วิธีการคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนต์นิยมใช้มากในวิเจเนติกอัลกอริทึมประเภทสถานะคงตัว โดยจะคัดเลือกทัวร์นาเมนต์ของชุดโครโมโซมขึ้นมาอย่างสุ่ม และชุดโครโมโซมที่ดีที่สุดที่ทัวร์นาเมนต์นั้นจะถูกกำหนดให้เป็นชุดโครโมโซมต้นแบบ และกระทำซ้ำจนกระทั่งได้ชุดโครโมโซมต้นแบบที่ต้องการครบตามจำนวน โดยที่พารามิเตอร์ขนาดทัวร์นาเมนต์จะมีค่าอยู่ในช่วง 2 ถึง จำนวนชุดโครโมโซมทั้งหมดในประชากร

#### Tournament Selection

Input: The population  $\vec{P} = (P_1, \dots, P_N)$

The fitness values of the population  $\vec{\phi} = (\phi_1, \dots, \phi_N)$ .

The tournament size  $t = \{1, 2, \dots, N\}$

Output: The population after selection  $\vec{P}' = (P'_1, \dots, P'_N)$

Tournament( $t, \vec{J}, \vec{\phi}$ ):

For  $i \leftarrow 1$  to  $N$  do

$P'_i \leftarrow$  The best fit individual out of  $t$  uniform randomly

Pick individuals from  $\vec{P}$

End

Return  $\vec{P}'$

### รูปที่ 4.8 การทำงานของการคัดเลือกแบบทัวร์นาเมนต์

#### 4.3.3.2 วิธีการคัดเลือกทั้งหมดแบบสุ่ม

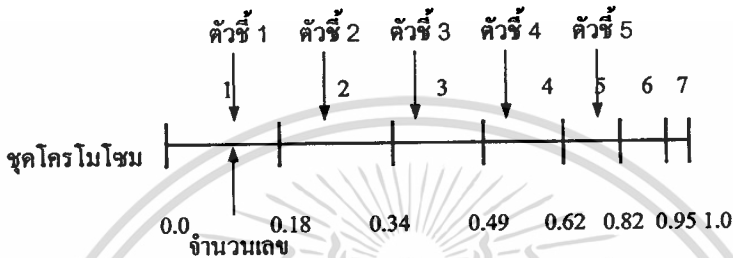
วิธีการคัดเลือกทั้งหมดแบบสุ่มถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อลดความโน้มเอียงในขบวนการคัดเลือกจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีกึ่งสุ่ม และให้ชุดโครโมโซมที่กระจายไปทั่วประชากร โดยที่ค่าของความเหมาะสมจากแต่ละชุดโครโมโซมทั้งหมดจะนำมาเรียงต่อกันคล้ายกับวิธีกึ่งสุ่ม ค่าที่เหมาะสมค่าหนึ่งและใช้ค่าสุ่มนั้นในการแบ่งระยะค่าความเหมาะสมรวมทั้งหมดออกเป็นส่วนเท่าๆกัน ดังรูป โดยตำแหน่งจุดแบ่งในแต่ละส่วนจะแทนถึงชุดโครโมโซมที่ถูกคัดเลือกขึ้นมา

ถ้ากำหนดให้  $N_{pr}$  คือจำนวนชุดโครโมโซมที่ต้องการคัดเลือก ระยะทางระหว่างตัวชี้คือ  $\frac{1}{N_{pr}}$

โดยที่ตำแหน่งของตัวชี้แรก จะได้จากค่าจำนวนสุ่มในช่วง  $\left[0, \frac{1}{N_{pr}}\right]$



รูปที่ 4.9 วิธีการคัดเลือกทั้งหมดแบบสุ่ม

#### 4.3.4 การแลกเปลี่ยนยีน

##### 4.3.4 การแลกเปลี่ยนยีนอย่างสม่ำเสมอ

การแลกเปลี่ยนยีนหนึ่งจุด และสองจุด เป็นวิธีที่ใช้ในการดำเนินการทางพันธุศาสตร์ของวิเจเนติกอัลกอริทึม โดยทั่วไป ซึ่งแสดงถึงจำนวนจุดที่เกิดการแลกเปลี่ยนกลุ่มยีนระหว่างคู่โครโมโซมค้นแบบ

ถ้ากำหนดตำแหน่งที่เกิดการแลกเปลี่ยนยีนโดยตรง สำหรับขบวนการแลกเปลี่ยนยีน จะสามารถแสดงได้เป็นสตริงไบนารีที่มีความยาวเท่ากับขนาดของชุดโครโมโซม ตำแหน่งที่ต้องการแลกเปลี่ยนยีนจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 ดังรูป

ชุดโครโมโซมค้นแบบที่ 1: 001111  
 ชุดโครโมโซมค้นแบบที่ 2: 111100  
 ตำแหน่งการแลกเปลี่ยนยีน: 010101  
 ชุดโครโมโซมใหม่ที่ 1: 011110  
 ชุดโครโมโซมใหม่ที่ 2: 101101

รูปที่ 4.10 การแลกเปลี่ยนยีนด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนยีนอย่างสม่ำเสมอ

หรือถ้าพิจารณาคำแหน่งที่เกิดการแลกเปลี่ยนยีนโดยตรง เทียบกับวิธีการแลกเปลี่ยนยีนหนึ่งจุด และสองจุด จะมีลักษณะดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งการแลกเปลี่ยนสินค้าวิธี	
การแลกเปลี่ยนสินค้าหนึ่งจุด:	1 1 1 1 1 0 0 0 0 0
การแลกเปลี่ยนสินค้าสองจุด:	0 0 1 1 1 1 1 0 0 0
การแลกเปลี่ยนสินค้าอย่างสม่ำเสมอ:	0 1 0 0 1 0 1 1 0 1

รูปที่ 4.11 ตำแหน่งที่เกิดการแลกเปลี่ยนสินค้า โดยตรงเทียบกับวิธีการแลกเปลี่ยนสินค้าชนิดต่างๆ

สำหรับการแลกเปลี่ยนสินค้าอย่างสม่ำเสมอ นั้น จะสร้างสตรึงตำแหน่งการแลกเปลี่ยนสินค้า โดยการสุ่มค่าบิตตลอดความยาวของชุดโคโรโมโซมต้นแบบ ด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.5 และจากทฤษฎีสถิติมาในรูปแบบทั่วไป

$$m(S, t+1) = m(S, t) \frac{f(S)}{\bar{f}} (1 - \varepsilon) \quad (4.16)$$

โดยที่  $\varepsilon$  คือค่าความสูญเสียที่สะท้อนถึงความเสียหายจากตัวปฏิบัติการการแลกเปลี่ยนและการผ่าเหล่ายีน และเทอม  $1 - \varepsilon$  หมายถึงอัตราการอยู่รอด

#### 4.3.4.2 การอยู่รอดของสัทิมายหลังการแลกเปลี่ยนยีน

สัทิมาย  $A$  สามารถที่จะอยู่รอดภายหลังการแลกเปลี่ยนยีน ถ้าสัทิมายนั้นปรากฏอยู่ในชุดโคโรโมโซมลูกที่เกิดขึ้น (ในชุดโคโรโมโซมชุดใดชุดหนึ่ง) ซึ่งถ้ากำหนด  $P_1(n_A)$  และ  $P_2(n_A)$  แสดงโอกาสที่ สัทิมาย  $A$  สามารถอยู่รอด เมื่อ จำนวนบิต  $n_A$  จะถูกกำหนดโดยตำแหน่งที่เกิดการแลกเปลี่ยนยีน และ  $P_S(n_A)$  แสดงโอกาสการอยู่รอดทั้งหมด เมื่อจำนวนบิต  $n_A$  ของสัทิมาย  $A$  ถูกกำหนดขึ้น ถ้าพิจารณาโอกาส  $P_{ok}$  ของบิตที่ถูกกำหนดไว้ จะสามารถอยู่รอดได้ดังสมการ

$$P_1(n_A) = P_{ok}^{(n_A)} \quad (4.17)$$

$$P_2(n_A) = P_{ok}^{(b_A - n_A)}$$

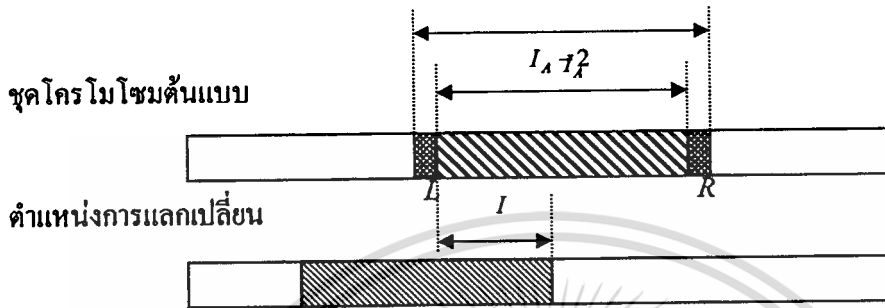
และ

$$P_S(n_A) = P_1(n_A) + [1 - P_1(n_A)]P_2(n_A) \quad (4.18)$$

โดยที่  $P_{ok}$  คือโอกาสของบิตในชุดโคโรโมโซมต้นแบบจะตรงกับบิตของสัทิมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้ากำหนดให้  $M(m)$  เป็นจำนวนของวิธีที่จะกำหนดการแลกเปลี่ยนจำนวน  $m$  บิต บนชุดโครโมโซมใดๆ จะพบว่าสำหรับการแลกเปลี่ยนขึ้นหนึ่งจุด จะมีค่าเท่ากับ  $(m-1)!$  ตำแหน่งการแลกเปลี่ยนขึ้น สำหรับการแลกเปลี่ยนขึ้นสองจุดจะมีค่าเท่ากับ  $l$  วิธี ถ้ามีตำแหน่งการแลกเปลี่ยนขึ้น 1 บิต และจะมีค่าเท่ากับ  $l-n-1$  วิธี ถ้ามีตำแหน่งการแลกเปลี่ยนขึ้น  $n$  บิต และสำหรับการแลกเปลี่ยนขึ้นสม่ำเสมอจะมีค่าเท่ากับ  $\binom{l}{i}$  สำหรับจำนวน  $i$  บิต



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างชุดโครโมโซม, สกิมมา  $A$ , และตำแหน่งการแลกเปลี่ยนจากวิธีการแลกเปลี่ยนขึ้นสองจุด

จากการทดสอบ [51] พบว่าถ้าพิจารณาอัตราการอยู่รอดเฉลี่ยสำหรับสกิมมาตา ด้วยค่าความยาวที่กำหนดไว้ ในโครโมโซมขนาด 30 บิต พบว่า อัตราการอยู่รอดเฉลี่ยจากวิธีการแลกเปลี่ยนขึ้นสม่ำเสมอจะมีค่าน้อยกว่าอัตราการอยู่รอดเฉลี่ยจากวิธีการแลกเปลี่ยนขึ้นหนึ่งจุดและสองจุด และอัตราทั้งสามจะมีค่าลดลงเมื่อจำนวนความยาวที่กำหนดมีค่าสูงขึ้น โดยถ้าพิจารณาสกิมมาตาที่มีขนาด 5 บิต ในโครโมโซมขนาด 30 บิต พบว่าอัตราการอยู่รอดเฉลี่ยจากวิธีการแลกเปลี่ยนขึ้นสม่ำเสมอจะมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่อัตราการอยู่รอดเฉลี่ยจากวิธีการแลกเปลี่ยนขึ้นหนึ่งจุดจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อจำนวนความยาวที่กำหนดมีค่ามากขึ้น อัตราการอยู่รอดเฉลี่ยจากวิธีการแลกเปลี่ยนขึ้นสองจุดจะลดลงถึงจุดหนึ่งแล้วจะคงตัว

และถ้าพิจารณาอัตราการรวมตัวของสกิมมาตา ด้วยค่าความยาวที่กำหนดไว้ ในโครโมโซมขนาด 30 บิต พบว่า อัตราการอยู่รอดเฉลี่ยจากวิธีการแลกเปลี่ยนขึ้นสม่ำเสมอจะมีค่าสูงกว่าอัตราการอยู่รอดเฉลี่ยจากวิธีการแลกเปลี่ยนขึ้นหนึ่งจุดและสองจุดเพียงเล็กน้อย และอัตราทั้งสามจะมีค่าลดลงเมื่อจำนวนความยาวที่กำหนดมีค่าสูงขึ้น โดยถ้าพิจารณาสกิมมาตาที่มีขนาด 5 บิต ในโครโมโซมขนาด 30 บิต พบว่าอัตราการรวมตัว จากวิธีการแลกเปลี่ยนขึ้นสม่ำเสมอจะมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่อัตราการอยู่รอดเฉลี่ยจากวิธีการแลกเปลี่ยนขึ้นหนึ่งจุดและสองจุดจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ เมื่อจำนวนความยาวที่กำหนดมีค่ามากขึ้น แล้วจะคงตัวสำหรับค่าความยาวที่กำหนดค่าหนึ่ง (ประมาณ 23)

ซึ่งจากผลการทดสอบและการเฝ้าสังเกต [51] พบว่า ในกรณีส่วนใหญ่ นั้น วิธีการแลกเปลี่ยนขึ้นสม่ำเสมอจะประสิทธิภาพในการรวมสกิมมาเหนือกว่าการแลกเปลี่ยนขึ้นหนึ่งจุดและสองจุด วิธีการแลกเปลี่ยนขึ้นสม่ำเสมอถูกแสดงให้เห็นแล้วว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่าสำหรับการใช้ในปัญหาการหาค่าที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.3.5 เทคนิคการปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนยีนและการผ่าเหล่ายีน

วิธีเจเนติกอัลกอริทึมทำงาน โดยอาศัยความน่าจะเป็นสำหรับการดำเนินงานทางพันธุศาสตร์ สำหรับชุดโครโมโซมในประชากรรุ่นต่างๆ โดยที่ชุดโครโมโซมจะเปลี่ยนแปลงไปในแต่ละรุ่น ในช่วงการคัดเลือก ชุดโครโมโซมจะถูกคัดเลือกตามโอกาสจากค่าความเหมาะสม ซึ่งชุดโครโมโซมที่ดีจะถูกเลือกเป็นชุดโครโมโซมต้นแบบ ในขณะที่ชุดโครโมโซมที่ไม่ดี จะไม่ได้รับการคัดเลือก ตามกฎของการคัดเลือกทางธรรมชาติ ถ้าพิจารณาจากเหตุผลข้างต้น สิ่งที่ใช้วัดชุดโครโมโซมว่า “ดี” หรือ “ไม่ดี” คือค่าความเหมาะสมของชุดโครโมโซมนั้น

การแลกเปลี่ยนยีนของชุดโครโมโซมต้นแบบ มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับวิธีเจเนติกอัลกอริทึม เนื่องจากจะเป็นการแลกเปลี่ยนส่วนประกอบของโครโมโซมแบบสุ่ม ซึ่งเป็นไปได้ที่ว่าถ้ามีชุดโครโมโซมต้นแบบที่ดีจะให้ชุดโครโมโซมใหม่ที่ดีกว่า ซึ่งโดยปกติแล้วการแลกเปลี่ยนยีนจะเกิดขึ้นด้วยความน่าจะเป็น  $p_c$  โดยถ้า  $p_c$  มีค่าสูง ก็จะทำให้มีโอกาสที่จะทำให้เกิดชุดโครโมโซมใหม่ได้เร็วขึ้น แต่ชุดโครโมโซมที่มีอยู่เดิมก็จะถูกทำลายเร็วขึ้นกว่าขบวนการคัดเลือกจะพิจารณาชุดโครโมโซมนั้น โดยทั่วไปนั้นจะกำหนดค่า  $p_c$  ในช่วง 0.5-1.0

การผ่าเหล่ายีน เป็นอีกส่วนหนึ่งของการดำเนินงานทางพันธุศาสตร์ โดยจะช่วยนำส่วนประกอบของโครโมโซมที่สูญเสียไป กลับคืนมา อีกทั้งยังช่วยเพิ่มส่วนประกอบของโครโมโซมที่ไม่มีอยู่เดิม ให้เกิดขึ้นในประชากรใหม่อีกด้วย โดยที่การผ่าเหล่ายีนเป็นการทำงานที่สำคัญในการป้องกันการเข้าสู่ค่าตอบที่เร็วมากเกินไป และป้องกันไม่ให้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมเข้าสู่ค่าตอบโลคอล ซึ่งโดยปกติแล้วการผ่าเหล่ายีนจะเกิดขึ้นด้วยความน่าจะเป็น  $p_m$  โดยถ้า  $p_m$  มีค่าสูงก็จะทำให้การค้นหาของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมมีลักษณะคล้ายกับการค้นหาแบบสุ่ม โดยทั่วไปนั้นจะกำหนดค่า  $p_m$  ในช่วง 0.001-0.05

การกำหนดค่า  $p_c$  และ  $p_m$  ให้เหมาะสมนั้น ควรที่จะมีการปรับเปลี่ยนค่าก่อนการดำเนินการทางพันธุศาสตร์ทุกครั้ง แทนการใช้เป็นค่าคงที่จากวิธี โดยทั่วไป ซึ่ง Srinivas และพวก [53] ได้นำเสนอสมการการปรับค่าไว้ดังนี้

$$p_c = k_1 (f_{\max} - f_{lrg}) / (f_{\max} - f_{ave}), \quad f_{lrg} \geq f_{ave}, \quad (4.19)$$

$$p_c = k_3, \quad f_{lrg} \leq f_{ave}, \quad (4.20)$$

$$p_m = k_2 (f_{\max} - f) / (f_{\max} - f_{ave}), \quad f_{lrg} \geq f_{ave}, \quad (4.21)$$

$$p_m = k_4, \quad f < f_{ave}, \quad (4.22)$$

โดยที่  $k_1, k_2, k_3, k_4 \leq 1.0$  และ  $f_{lrg}$  คือค่าความเหมาะสมที่มากที่สุดจากชุดโครโมโซมต้นแบบ

จากสมการข้างต้น จะพบว่า กลไกการปรับค่า  $p_c$  และ  $p_m$  จะทำ 2 หน้าที่หลัก คือ เมื่อการคำนวณเข้าสู่จุดค่า  $f_{max}$  (มีค่าใกล้เคียงกับ  $f_{ave}$ ) ค่า  $p_c$  และ  $p_m$  จะถูกปรับให้มีค่าเพิ่มขึ้น เพื่อสร้างส่วนประกอบชุดโครโมโซมใหม่ๆ สำหรับการค้นหาคำตอบอื่น อีกส่วนหนึ่งคือถ้าชุดโครโมโซมต้นแบบ “ดี” ( $f_{max}$  มีค่าใกล้เคียงกับ  $f_{avg}$ ) ค่า  $p_c$  จะถูกปรับให้มีค่าลดลง เพื่อที่จะรักษาชุดโครโมโซมกลุ่มนั้นเอาไว้ และในทำนองเดียวกัน ค่า  $p_m$  จะถูกปรับให้มีค่าลดลง ตามสัดส่วนของ  $f_{max} - f$

จากการทดสอบ [53] การใช้วิธีการปรับค่า  $p_c$  และ  $p_m$  นี้จะช่วยลดอัตราการลู่เข้าสู่จุดค่าสุดแบบโลคอล เมื่อเทียบกับการใช้ค่า  $p_c$  และ  $p_m$  แบบคงที่ และค่าแฟคเตอร์  $k_1, k_2, k_3, k_4$  ที่แนะนำ คือ 1.0, 0.5, 1.0, 0.5 ตามลำดับ เพื่อที่จะให้เกิดการแลกเปลี่ยนยีนเสมอเมื่อชุดโครโมโซมต้นแบบมีค่าความเหมาะสมน้อยกว่าค่าความเหมาะสมเฉลี่ย

#### 4.3.6 การป้องกันการลู่เข้าที่เร็วเกินไป

สภาวะการลู่เข้าที่เร็วเกินไป อาจจะมีพิจารณาได้จากการสูญเสียความหลากหลายทางพันธุศาสตร์ในประชากร ก่อนที่จะได้คำตอบที่เหมาะสม โดยวิธีการลดผลกระทบที่เกิดขึ้น มีดังนี้

1. การป้องกันการแลกเปลี่ยนยีนระหว่างชุดโครโมโซมที่มาจากชุดโครโมโซมพ่อ-แม่เดียวกัน
2. การแลกเปลี่ยนยีนสม่ำเสมอ
3. การกำจัดชุดโครโมโซมที่มีลักษณะเหมือนกัน

กลยุทธ์การรักษาความหลากหลายทางพันธุศาสตร์ในประชากรสามารถแยกออกพิจารณาได้ดังนี้

##### 4.3.6.1 วิธีการคัดเลือกชุดโครโมโซมสำหรับการปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์

สำหรับกลยุทธ์การคัดเลือกชุดโครโมโซมโดยทั่วไปแล้วจะมีเป้าหมายในการป้องกันชุดโครโมโซมที่ไม่เหมือนกัน อย่างสิ้นเชิง ทฤษฎีฟังก์ชันการแบ่งส่วนค่าความเหมาะสม (Goldberg [1]) จะลดค่าความเหมาะสมของชุดโครโมโซม จากฟังก์ชันที่เทียบค่าความเหมือนกันของชุดโครโมโซมกับชุดโครโมโซมอื่นในประชากร ซึ่งวิธีดังกล่าวจะลดผลการคัดเลือกชุดโครโมโซมในสปีชีส์เดียวกัน จากสปีชีส์ที่มีอิทธิพลต่อขบวนการคัดเลือกสูง

วิธีการป้องกันการแลกเปลี่ยนยีนระหว่างชุดโครโมโซมที่มาจากชุดโครโมโซมพ่อ-แม่เดียวกันของ Eshelman เป็นอีกวิธีการหนึ่ง โดยการจับคู่ชุดโครโมโซมแบบสุ่ม แต่จะพิจารณาค่าระยะทางแฮมมิงระหว่างคู่โครโมโซมนั้น โดยจะต้องมีค่ามากกว่าค่าเทรสโฮลด์ที่กำหนด ซึ่งในช่วงเริ่มต้น จะปรับค่าเทรสโฮลด์ให้เท่ากับค่าระยะทางแฮมมิงเฉลี่ยคาดหวังของประชากรรุ่นแรก และจะมีค่าลดลงเมื่อประชากรลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบ กลยุทธ์ในการคัดเลือกชุดโครโมโซมพ่อ-แม่ที่เลือกชุดโครโมโซมที่แตกต่างนั้น จะมีผลข้างเคียงเกิดขึ้นจากการทำลายสปีชีสมาจากการแลกเปลี่ยนยีน เนื่องจากมีเพียงสปีชีสมาเพียงส่วนน้อยที่แลกเปลี่ยนกัน

#### 4.3.6.2 วิธีการสร้างชุดโครโมโซมใหม่

กลยุทธ์นี้จะใช้การแลกเปลี่ยน การส่งเสริมความหลากหลายในทางพันธุศาสตร์ในประชากร โดยที่วิธีโดยตรงคือการเพิ่มอัตราของการแลกเปลี่ยนยีน และวิธีอื่นคือการทำให้การแลกเปลี่ยนยีนที่เกิดขึ้นทำงานบนค่าบิตที่แตกต่างกัน เช่นถ้าคู่โครโมโซมพ่อแม่แตกต่างกัน 2 บิต ชุดโครโมโซมลูกก็จะแตกต่างไปจากชุดโครโมโซมพ่อแม่ โดยที่วิธีหนึ่งที่จะช่วยได้มากกว่าคือการแลกเปลี่ยนยีนสม่ำเสมอ ซึ่งไม่เหมือนกับการแลกเปลี่ยนยีนชนิดเดิมที่จะสร้างชุดโครโมโซมลูก (ทั้ง 2 ชุดโครโมโซม) ที่เหมือนกัน โดยมีแนวโน้มที่จะแลกเปลี่ยนยีนที่แตกต่างกันในจำนวนประมาณจำนวนครึ่งหนึ่งของความยาวชุดโครโมโซม ดังนั้นจะรักษาสกิมตาได้น้อยกว่าการแลกเปลี่ยนยีนหนึ่งจุดหรือสองจุด ซึ่งถ้าพิจารณาโดยรวมแล้ว วิธีนี้จะสร้างชุดโครโมโซมลูกที่แตกต่างกับชุดโครโมโซมพ่อแม่ที่ใกล้เคียงที่สุด ในจำนวนประมาณเศษหนึ่งส่วนสี่ของบิตที่แตกต่างกัน

#### 4.3.6.3 วิธีการนำชุดโครโมโซมใหม่แทนที่ชุดโครโมโซมเดิม

De Jong ได้นำเสนอวิธีการวาดึง สำหรับการแทนที่ชุดโครโมโซมเดิม โดยที่ชุดโครโมโซมใหม่ที่เกิดขึ้นจะนำไปแทนชุดโครโมโซมที่ใกล้เคียงกันในประชากรชุดเดิม ซึ่งวิธีของ Syswerda และ Whitley จะแทนที่ชุดโครโมโซมใหม่ลงไปในประชากรชุดเดิม ถ้าไม่มีชุดโครโมโซมที่เหมือนกับชุดโครโมโซมใหม่อยู่ในประชากร อย่างไรก็ตามวิธีนี้ยังคงมีผลต่อสกิมตาที่ถูกทำลายจากการแลกเปลี่ยนยีน ถึงแม้ว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นจะไม่รุนแรงเท่ากันก็ตาม

## บทที่ 5

# ทฤษฎีและบทวิเคราะห์วิธีนิชชิ่งเจเนติกอัลกอริทึม

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของวิธีนิชชิ่งเจเนติกอัลกอริทึมที่ถูกพัฒนาขึ้น จากวิธีเจเนติกอัลกอริทึมเดิมเพื่อให้มีความสามารถในการรักษาพื้นที่คำตอบที่ดี รวมถึงทฤษฎีและ สมการของวิธีนิชชิ่งเจเนติกอัลกอริทึมจากวิธีต่างๆ ที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

### 5.1 วิธีนิชชิ่งเจเนติกอัลกอริทึม

วิธีเจเนติกอัลกอริทึมพื้นฐานนั้น มีความเหมาะสมในการใช้ค้นหาคำตอบของฟังก์ชันที่มีจุด ยอดเดียวในพื้นที่คำตอบทั้งหมด แต่ในปัญหาที่มีอยู่ในความเป็นจริงแล้ว ปัญหาส่วนใหญ่จะเป็น ฟังก์ชันที่มีหลายจุดยอด ซึ่งวิธีเจเนติกอัลกอริทึมพื้นฐานไม่สามารถค้นหาคำตอบหลายค่าของปัญหา ดังกล่าวได้ [1, 67] โดยต้องใช้กลไกการสร้างและการรักษากลุ่มประชากรย่อย ภายในพื้นที่คำตอบ เพื่อที่จะแยกแยะคำตอบ โกลบอลจากกลุ่มคำตอบ โลกอล และสามารถคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุดจาก กลุ่มประชากรย่อยนั้นได้

วิธีนิชชิ่งเจเนติกอัลกอริทึมถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดผลกระทบของเจเนติกดริฟท์ที่เกิดจากขบวนการ คัดเลือกในวิธีเจเนติกอัลกอริทึมพื้นฐาน วิธีนี้จะรักษาความหลากหลายทางพันธุศาสตร์ในประชากรและ ค้นหาจุดยอดอื่นๆที่มีอยู่ ในลักษณะการทำงานแบบขนาน ลดโอกาสที่คำตอบสุดท้ายที่ได้จะเป็น คำตอบโลกอล

วิธีนิชชิ่งเจเนติกอัลกอริทึมมีพื้นฐานมาจากการแบ่งทรัพยากรที่มีอยู่จำกัดภายในกลุ่มประชากร ย่อย โดยที่ประชากรทั้งหมดจะถูกจัดแบ่งเป็นกลุ่มต่างๆ ตามลักษณะที่คล้ายคลึงกัน สมาชิกที่อยู่ในแต่ละกลุ่มจะแข่งขันกันเพื่อแย่งชิงทรัพยากรของกลุ่มนั้นๆ โดยที่ถ้ามีจำนวนกลุ่มประชากรย่อยมาก ก็จะทำให้ทรัพยากรถูกแบ่งไปสู่กลุ่มต่างๆ มากขึ้น และทรัพยากร ในแต่ละส่วนก็จะมีจำนวนน้อยลง ซึ่ง นำไปสู่สถานะคงตัวที่ซึ่งขนาดของประชากรย่อย จะเป็นสัดส่วนกับจำนวนของทรัพยากรรวมที่สามารถ จัดหาได้

### 5.2 วิธีการใช้ฟังก์ชันแฮร์ริง

วิธีนิชชิ่งวิธีหนึ่งซึ่งนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายคือ การใช้ฟังก์ชันแฮร์ริง วิธีนี้ที่มีการทดสอบแล้ว ว่ามีประสิทธิภาพในการการคำตอบที่เหมาะสมสำหรับฟังก์ชันที่มีหลายจุดยอด ได้ [67] วิธีการใช้ ฟังก์ชันแฮร์ริงจะทำให้แน่ใจได้ว่าประชากรจะกระจายกันอยู่ตลอดในพื้นที่คำตอบ และรักษาพื้นที่ คำตอบที่ดีไว้ได้

วิธีการใช้ฟังก์ชันแฮร์ริงทำการแบ่งค่าความเหมาะสมจากชุดโครโมโซมต่างๆ ในกลุ่มชุดโครโมโซมที่คล้ายกัน โดยการทำให้ค่าความเหมาะสมนั้นลดลงตาม  $\alpha$  ของความคล้ายคลึงกันกับชุดโครโมโซมอื่น ดังสมการต่อไปนี้

$$f'_i = \frac{f_i}{m_i} \quad (5.1)$$

$$f'_i = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^n sh(d_{ij})} \quad (5.2)$$

เทอมของส่วนในสมการอาจเรียกได้ว่า จำนวนนิช  $m_i$  ซึ่งมีค่าเท่ากับผลรวมของฟังก์ชันการแฮร์ริง  $sh( )$  ระหว่างชุดโครโมโซมและทุกชุดโครโมโซมอื่นในประชากร ฟังก์ชันการแฮร์ริงคือฟังก์ชันของระยะทาง  $d$  ระหว่างชุดโครโมโซม ซึ่งจะให้ค่าเป็น 1 ถ้าชุดโครโมโซมเหมือนกัน และจะมีค่า 0 ถ้ามีค่าน้อยกว่าค่าเรสโวลด์ของความไม่เหมือนกันที่กำหนดไว้  $\sigma_{share}$  ดังสมการต่อไปนี้

$$sh(d_{ij}) = \begin{cases} 1 - \left( \frac{d_{ij}}{\sigma_{share}} \right)^\alpha; & \text{if } d < \sigma_{share} \\ 0; & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5.3)$$

โดยที่  $d_{ij}$  คือความแตกต่างสมบูรณ์ (ในลักษณะค่าเจโนไทป์หรือฟีโนไทป์) ระหว่างชุดโครโมโซม  $i$  และ  $j$  ความเหมือนกันในลักษณะเจโนไทป์จะเกี่ยวข้องกับการแสดงค่าในบิตสตริงและใช้ระยะทางแฮมมิงเป็นตัววัด ส่วนความเหมือนกันในลักษณะฟีโนไทป์เกี่ยวข้องกับการวัดระยะทางจริงในพื้นที่คำตอบโดยตรงและใช้ระยะทางยูคลิดเป็นตัวแทน โดยที่การวัดระยะทางจากลักษณะฟีโนไทป์จะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเพียงเล็กน้อย  $\alpha$  คือค่าคงที่ที่ใช้ในการปรับรูปร่างของฟังก์ชันแฮร์ริง ซึ่ง  $\alpha$  จะนิยามกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 เพื่อที่ผลจากฟังก์ชันที่ได้จะมีลักษณะคล้ายกับฟังก์ชันสามเหลี่ยม

วิธีการแฮร์ริงส่วนมากจะใช้ร่วมกับวิธีการคัดเลือกส่วนที่เหลืออยู่แบบสุ่ม และวิธีการคัดเลือกทั้งหมดแบบสุ่ม โดยที่ถ้าใช้ร่วมกับวิธีการคัดเลือกแบบทวนถามนัดจะต้องคำนึงถึงปัญหาของเสถียรภาพ [54]

ข้อเสียของวิธีการใช้ฟังก์ชันแฮร์ริงคือเวลาที่ใช้ในการคำนวณทั้งนี้เนื่องจากการวัดค่าระยะทางดังกล่าวจะต้องเทียบทุกชุดประชากรที่มีอยู่ทั้งหมดในประชากร ทำให้ถ้าขนาดของจำนวนประชากรมีค่ามากทำให้เวลาที่ใช้มีค่าสูงชันอย่างมาก  $\approx T(n^2)$  อีกทั้งวิธีนี้ไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างระหว่างคำตอบโลกอลที่มีค่าใกล้เคียงกับคำตอบโลกอลอื่นมากกว่าค่ารัศมีนิช

### 5.3 วิธีคร่าว์ดิง

De Jong (ค.ศ. 1975) ได้เสนออัลกอริทึมที่เรียกว่า คร่าว์ดิงแฟคเตอร์ ที่ใช้วิธีนี้ จะคล้ายกับวิธีเจเนติกอัลกอริทึมสถานะคงตัวจาก Syswerda (ค.ศ. 1989) เนื่องจากส่วนของประชากรจะสร้างขึ้นใหม่และล้มตายลงในแต่ละรุ่น โดยที่สมาชิกของประชากรใหม่ที่สร้างขึ้นจะนำไปแทนสมาชิกของประชากรรุ่นเก่าที่มีลักษณะคล้ายกันมากที่สุด

วิธีคร่าว์ดิงเริ่มจากคำนวณค่าเงินเนอเรชั่นแก๊ป (GG) โดยการคัดเลือกชุดโครโมโซมตามค่าความเหมาะสม และผ่านขบวนการแลกเปลี่ยนชิ้นและการผ่าเหล่ายีน โดยภายหลังจากขบวนการแลกเปลี่ยนชิ้นและการผ่าเหล่ายีน ชุดโครโมโซมจำนวน  $GG \times n$  จากประชากรรุ่นเดิมจะถูกเลือกขึ้นมาเพื่อทำลายทิ้งโดยการเพิ่มชุดโครโมโซมที่เกิดขึ้นใหม่ที่ ชุดโครโมโซมใหม่จะค้นหาชุดโครโมโซมที่จะทำลายจากค่าตัวอย่างแบบสุ่มจากแฟคเตอร์คร่าว์ดิง (CF) และแทนที่ชุดโครโมโซมที่คล้ายคลึงกันที่สุดจากกลุ่มตัวอย่างนั้น ความคล้ายคลึงดังกล่าวจะกำหนดโดยใช้การเทียบบิดในพื้นที่แฮมมิง หรือการวัดระยะทางในลักษณะเจโนไทป์ และโดยทั่วไป CF จะมีค่าประมาณ 2 หรือ 3 และ GG มีค่าประมาณ 10%

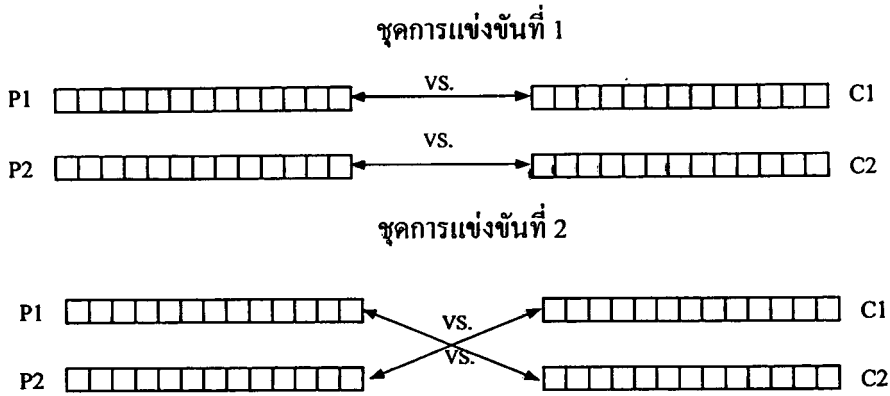
วิธีคร่าว์ดิงไม่ได้เป็นวิธีที่ซึ่งลักษณะประชากรจะมีเสถียรภาพในสปีชีชที่รวมกันอยู่ แต่จะช่วยรักษาความหลากหลายที่มีอยู่ก่อนนั้น เป้าหมายของ De Jong ในการออกแบบคร่าว์ดิงคือการรักษาความหลากหลายของแอลลีเพื่อที่จะป้องกันสถานะการลู่เข้าที่เร็วเกินไป วิธีคร่าว์ดิงนี้ประสบผลสำเร็จมากในการรักษาความหลากหลายของแอลลี แต่จะมีความผิดพลาดแบบสุ่มเกิดขึ้นจากการกำหนดค่า CF ที่ต่ำ และจากแฟคเตอร์อื่นที่เป็นผลจากอัลกอริทึมที่เปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ไปสู่การกำหนดตำแหน่งแอลลีอย่างถาวร

### 5.4 วิธีดิเทอร์มินิสติกคร่าว์ดิง

Mahfoud (ค.ศ. 1995) ได้ปรับปรุงการทำงานของวิธีคร่าว์ดิงพื้นฐานโดยนำเสนอแนวคิดการแข่งขันระหว่างพ่อแม่และลูกที่เกิดขึ้น ในกลุ่มสถานะแวดล้อมเดียวกัน โดยที่เมื่อชุดโครโมโซมถูกผ่านขบวนการแลกเปลี่ยนชิ้นและการผ่าเหล่ายีน ชุดโครโมโซมลูกแต่ละชุดจะนำมาแทนที่ชุดโครโมโซมพ่อแม่ที่มีลักษณะใกล้เคียงกันมากที่สุด ถ้าชุดโครโมโซมลูกมีความเหมาะสมสูงกว่า วิธีดิเทอร์มินิสติกคร่าว์ดิงจะพิจารณา (ในลักษณะที่คล้ายกับวิธีทัวนาเมนต์) การเปรียบเทียบระหว่างชุดโครโมโซมดั่งรูป โดยวิธีการวัดความคล้ายคลึงกันระหว่างชุดโครโมโซมระยะทางตามค่าฟีโนไทป์

ในการวัดค่าระยะห่างจากค่าฟีโนไทป์ของชุดโครโมโซม ระหว่างเวกเตอร์  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  และ  $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_n)^T$  จะใช้ระยะห่างยูคลิเดียน ดังสมการต่อไปนี้

$$d(x, x') = [(x_1 - x'_1)^2 + (x_2 - x'_2)^2 + \dots + (x_n - x'_n)^2]^{1/2} \quad (5.4)$$



รูปที่ 5.1 ชุดการแข่งขันที่เกิดขึ้นจากวิธีคัดเลือกมินิมิสติกคราว์ดิง

(REPEAT for  $g$  generation)

DO  $m/2$  times:

1. Select 2 parents,  $p_1$  and  $p_2$ , randomly, no replacement
2. Cross them, yielding  $c_1$  and  $c_2$
3. Apply mutation / other operators, yield  $c'_1$  and  $c'_2$
4. If  $[d(p_1, c'_1) + d(p_2, c'_2)] \leq [d(p_1, c'_2) + d(p_2, c'_1)]$ 
  - If  $f(c'_1) > f(p_1)$  then replace  $p_1$  with  $c'_1$
  - If  $f(c'_2) > f(p_2)$  then replace  $p_2$  with  $c'_2$
- Else
  - If  $f(c'_2) > f(p_1)$  then replace  $p_1$  with  $c'_2$
  - If  $f(c'_1) > f(p_2)$  then replace  $p_2$  with  $c'_1$

รูปที่ 5.2 การทำงานของวิธีคัดเลือกมินิมิสติกคราว์ดิง

## บทที่ 6

# วิธีเข้ารหัสอัลกอริทึมและการเข้ารหัสสำหรับวิธีเจเนติกอัลกอริทึม

ในบทนี้ กล่าวถึงเทคนิคการเข้ารหัสของชุดโครโมโซมให้เหมาะสมกับปัญหาการจัดกำลังการผลิตให้คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้แนวคิดการแบ่งโหลดไปสู่แต่ละหน่วยผลิต เพื่อให้กำลังการผลิตรวมเพียงพอต่อความต้องการ โหลดรวมถึงการชดเชยความเสี่ยงในระบบส่ง เทคนิคนี้จะช่วยจัดการข้อจำกัดการในการผลิตที่มีอยู่ได้เป็นอย่างดี และเหมาะสำหรับการจัดกำลังการผลิตโดยใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึม โดยใช้แทนเทคนิคการปรับโทษค่าฟังก์ชันเป้าหมายที่ใช้อยู่เดิม สำหรับในกรณีที่กำลังการผลิตมีค่าไม่ถูกต้องตามข้อจำกัด เช่นกำลังการผลิตรวมมีค่าไม่เท่ากับความต้องการโหลดรวมถึงค่าความเสี่ยงในระบบ เป็นต้น

เทคนิคนี้นอกจากจะช่วยแก้ปัญหาการออกแบบฟังก์ชันปรับโทษและแฟลคเตอร์ค่าการปรับโทษแล้วยังช่วยลดผลกระทบจากการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับฟังก์ชันเป้าหมายหลายกลุ่ม ลดการออกแบบแฟลคเตอร์ค่าน้ำหนักที่ใช้ในการปรับค่าในแต่ละฟังก์ชันเป้าหมาย และผลกระทบที่จะตามมาจากออกแบบฟังก์ชันและแฟลคเตอร์ที่ไม่เหมาะสม เช่นคุณลักษณะการเข้าสู่ค่าตอบ, ผลของการเข้าสู่ค่าตอบที่เร็วมากเกินไป และผลของขบวนการคัดเลือกและการดำเนินการทางพันธุศาสตร์จากความแตกต่างระหว่างค่าความเหมาะสมของชุดโครโมโซม

จากผลของการแบ่งโหลดไปสู่แต่ละหน่วยผลิต โดยไม่ต้องใช้ฟังก์ชันการปรับโทษ ทำให้พื้นที่ค่าตอบที่เป็นไปได้ลดลงอย่างมาก ดังนั้นเวลาที่ขบวนการทางพันธุศาสตร์ต้องใช้ในการคำนวณเพื่อค้นหาค่าตอบที่เหมาะสมของปัญหาจึงลดลง นอกจากนั้นถ้ามองถึงแฟลคเตอร์ความหนาแน่นของจำนวนชุดของโครโมโซม (ขนาดของจำนวนประชากรที่กำหนดไว้) เทียบต่อพื้นที่ค่าตอบที่เป็นไปได้ การใช้แนวคิดการแบ่งโหลดนี้จะช่วยให้แฟลคเตอร์ดังกล่าวมีค่าสูงขึ้น และเป็นเหตุผลที่สำคัญในการลดเวลาในการค้นหาค่าตอบของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

### 6.1 วิธีการจัดการกับข้อจำกัดการผลิตไฟฟ้า

จากสมการข้อจำกัดการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการ โหลดรวมถึงการชดเชยความเสี่ยงจากการส่งผ่านพลังงานผ่านสายส่งไฟฟ้าแรงสูง สามารถสร้างสมการข้อจำกัดสำหรับวิธีเจเนติกอัลกอริทึมได้จาก

#### 6.1.1 สมการปรับโทษ

เนื่องจากวิธีเจเนติกอัลกอริทึม จะใช้ค่าความเหมาะสมในการสะท้อนถึงโอกาสที่จะถูกคัดเลือกเป็นชุดโครโมโซมพ่อแม่ สำหรับสร้างชุดโครโมโซมใหม่ในประชากรรุ่นต่อไป ทำให้ต้องออกแบบค่าสมการค่าความเหมาะสมให้สอดคล้องกับสมการเป้าหมายจากปัญหาที่พิจารณาวิธีการใช้สมการปรับ

โทษนี้เป็นวิธีการคำนวณที่ง่าย โดยใช้ทอมสมการปรับโทษร่วมกับฟังก์ชันเป้าหมายเดิมดั้งเดิม ถ้ากำหนดให้ปัญหา  $f_{obj}$  เป็นปัญหาการคำนวณหาค่าเหมาะสมที่สุด

$$f'_{obj} = f_{obj} + \Phi(P_{g,i}) \quad (6.1)$$

$$f_i = \frac{1}{\left( w_1 f'_{obj} + w_2 \Phi \left( \sum_{i=1}^n P_{g,i} - P_L - P_D \right) \right)} \quad (6.2)$$

โดยที่  $\Phi(\ )$  คือฟังก์ชันการปรับโทษ

$w_1, w_2$  คือแฟกเตอร์ถ่วงน้ำหนัก

### 6.1.2 สมการจากฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง

วิธีนี้จะใช้ค่าความผิดพลาดสูงสุดและต่ำสุดมาใช้ในการปรับอัตราความสูญเสียที่เกิดขึ้น ดัง  
สมการ

$$l_{err} = \left| \sum_{i=1}^n P_{g,i} - P_L - P_D \right| \quad (6.3)$$

$$\%l_{err} = \frac{l_{err} - l_{err}^{\min}}{l_{err}^{\max} - l_{err}^{\min}} \quad (6.4)$$

โดยที่  $l_{err}$  คือค่าผิดพลาดจากการผลิตกำลังไฟฟ้า (เมกกะวัตต์)

$l_{err}^{\max}$  คือค่าผิดพลาดมากที่สุดจากการผลิตกำลังไฟฟ้า (เมกกะวัตต์)

$l_{err}^{\min}$  คือค่าผิดพลาดน้อยที่สุดจากการผลิตกำลังไฟฟ้า (เมกกะวัตต์)

ในทำนองเดียวกันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง ก็สามารถสร้างเป็นสมการในลักษณะเดียวกัน

$$\%C_i = \frac{C_i - C^{\min}}{C^{\max} - C^{\min}} \quad (6.5)$$

โดยที่  $C_i$  คือค่าต้นทุนการผลิตรวมจากชุดโครโมโซม  $i$  (บาท)

$C^{\max}$  คือค่าต้นทุนการผลิตรวมสูงสุดในประชากร (บาท)

$C^{\min}$  คือค่าต้นทุนการผลิตรวมต่ำสุดในประชากร (บาท)

ฟังก์ชันความเหมาะสมที่ได้คือ

$$f_i = SF_1 * [(1 - \%FC_i)^{SP_1}] + SF_2 [(1 - \%l_{err})^{SP_2}] \quad (6.6)$$

โดยที่  $SF_1, SF_2, SP_1$  และ  $SP_2$  คือแฟกเตอร์การปรับค่า

### 6.1.3 สมการจากฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น

จากทฤษฎีการจัดค่าแลมปีดาให้เท่ากันทั้งระบบ สามารถสร้างสมการความผิดพลาดแลมปีดาได้เป็น

$$\lambda_{err} = \sum |\lambda_{ave} - \lambda_i| \quad (6.7)$$

$$\% \lambda_{err} = \frac{\lambda_{err} - \lambda_{err}^{\min}}{\lambda_{err}^{\max} - \lambda_{err}^{\min}} \quad (6.8)$$

โดยที่	$\lambda_{err}$	คือค่าความผิดพลาดของค่าแลมปีดา (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
	$\lambda_{ave}$	คือค่าแลมปีดาเฉลี่ย (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
	$\lambda_i$	คือค่าแลมปีดาจากหน่วยผลิตไฟฟ้า $i$ (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
	$\lambda_{err}^{\max}$	คือค่าความผิดพลาดสูงสุดของค่าแลมปีดาในประชากร (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
	$\lambda_{err}^{\min}$	คือค่าความผิดพลาดต่ำสุดของค่าแลมปีดาในประชากร (บาท/กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

ฟังก์ชันความเหมาะสมที่ได้คือ

$$f_i = SF_1 * [(1 - \% \lambda_{err})^{SP_1}] + SF_2 [(1 - \%l_{err})^{SP_2}] \quad (6.9)$$

โดยที่  $SF_1, SF_2, SP_1$  และ  $SP_2$  คือแฟกเตอร์การปรับค่า

\*ข้อสังเกต วิธีนี้จะใช้ในกรณีที่ฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงมีลักษณะคอนเวกซ์เท่านั้น

### 6.1.4 สมการจากค่าแลมปีดาของระบบ

วิธีนี้ใช้ค่าแลมปีดาของระบบมาใช้คำนวณหากำลังการผลิตในแต่ละหน่วยผลิตที่ต้องการ โดยใช้ฟังก์ชันความเหมาะสมดังนี้

$$f_i = \frac{1}{1 + k \left( \frac{l_{err}}{P_D} \right)} \quad (6.10)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่  $k$  คือแฟกเตอร์การปรับค่า

\*ข้อสังเกต วิธีนี้จะใช้ในกรณีที่ฟังก์ชันต้นทุน มีลักษณะคอนเวกซ์เท่านั้น

## 6.2 วิธีการคำนวณหาค่ากำลังการผลิตอ้างอิงเมื่อคำนึงถึงความสูญเสียในระบบส่ง

การกำหนดหน่วยผลิตอ้างอิงเพื่อใช้ชดเชยความสูญเสียในระบบส่ง จะใช้เพื่อคำนวณหาค่ากำลังการผลิตของหน่วยผลิตอ้างอิง  $P_n$  จากสมการข้อจำกัดการผลิตไฟฟ้าเมื่อกำหนดค่ากำลังการผลิต  $P_i$  ถึง  $P_{n-1}$  โดยที่

$$P_n = P_{demand} + P_{loss} - \sum_{i=1}^{n-1} P_i \quad (6.11)$$

และสมการความสูญเสียของระบบส่งสามารถจัดรูปใหม่ให้สอดคล้องกับลักษณะของหน่วยผลิตอ้างอิง

$$P_{loss} = [P_j^T P_n] \begin{bmatrix} B_{jj} & B_{jn} \\ B_{nj} & B_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_j \\ P_n \end{bmatrix} + [P_j^T P_n] \begin{bmatrix} B_{j0} \\ B_{n0} \end{bmatrix} + B_{00} \quad (6.12)$$

นำสมการที่ 6.12 แทนเข้าในสมการ 6.11 และจัดรูปสมการใหม่

$$P_n = P_{demand} + [P_j^T P_n] \begin{bmatrix} B_{jj} & B_{jn} \\ B_{nj} & B_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_j \\ P_n \end{bmatrix} + [P_j^T P_n] \begin{bmatrix} B_{j0} \\ B_{n0} \end{bmatrix} + B_{00} - \sum_{i=1}^{n-1} P_i \quad (6.13)$$

$$P_n = P_{demand} + (P_j^T B_{jj} + P_n B_{nj}) P_j + (P_j^T B_{jn} + P_n B_{nn}) P_n + P_j^T B_{j0} + P_n B_{n0} + B_{00} - \sum_{i=1}^{n-1} P_i \quad (6.14)$$

เขียนเป็นสมการในรูปทั่วไปได้ดังนี้

$$aP_n^2 + bP_n + c = 0, \quad (6.15)$$

โดยที่

$$a = -B_{nn}, \quad (6.16)$$

$$b = 1 - B_{nj}P_j - P_j^T B_{jn} - B_{n0}, \quad (6.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$c = -P_j^T B_{jj} P_j - P_j^T B_{j0} - B_{00} - P_{demand} + \sum_{i=1}^{n-1} P_i. \quad (6.17)$$

ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการเลือกหน่วยผลิตอ้างอิงจะเลือกจากหน่วยผลิตที่มีขนาดกำลังการผลิตที่ใหญ่ที่สุดในระบบ เพื่อให้มีช่วงกำลังการผลิตที่กว้างพอ และสามารถรองรับค่าความสูญเสียของระบบส่งที่เกิดขึ้นได้

### 6.3 วิธีแซร์ริงอัลกอริทึม

เมื่อพิจารณาถึงปัญหาการจัดกำลังการผลิตที่เหมาะสมในทางเศรษฐศาสตร์นั้น ค่าฟังก์ชันเป้าหมายจะแทนด้วยสมการต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวม และสมการข้อจำกัดจะแทนด้วยสมการกำลังการผลิตไฟฟ้ารวม ซึ่งจากสมการดังกล่าวจะพบว่า ในการออกแบบฟังก์ชันปรับโทษ แพลกเตอร์ ปรับโทษ และแพลกเตอร์ค่านำหนักให้เหมาะสมกับปัญหาการจัดกำลังการผลิตนั้นมีความยุ่งยากมาก โดยต้องคำนึงถึงหน่วยของสมการต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวม (ล้านบาท) และหน่วยที่ได้จากการปรับโทษสมการข้อจำกัดในการผลิตให้เพียงพอ

วิธีการแบ่งโหลดเป็นวิธีที่ช่วยกระจายกำลังการผลิตไปสู่หน่วยผลิตต่างๆ ให้เหมาะสม เมื่อคำนึงถึงกำลังการผลิตที่แต่ละหน่วยผลิตสามารถผลิตได้ ดังรูปต่อไปนี้ [80]



รูปที่ 6.1 แนวคิดของวิธีแซร์ริงอัลกอริทึม

จากรูปจะพบว่า ถ้ากำลังการผลิตของหน่วยผลิตที่สามารถผลิตได้จะมีค่าอยู่ในช่วงตามสมการ

$$\max(P_{i,\min}, P_{i,\text{base}} - R_{i,\text{down}}) \leq P_{i,\text{desired}} \leq \min(P_{i,\text{max}}, P_{i,\text{base}} + R_{i,\text{up}}) \quad (6.18)$$

เมื่อ  $P_{i,\text{desired}}$  คือกำลังการผลิตของหน่วยผลิต  $i$  ที่ต้องการ (เมกะวัตต์)

$P_{i,\text{base}}$  คือกำลังการผลิตเดิมของหน่วยผลิต  $i$  (เมกะวัตต์)

$P_{i,\text{max}}$  คือกำลังการผลิตที่มากที่สุดของหน่วยผลิต  $i$  ที่สามารถผลิตได้ (เมกะวัตต์)

$P_{i,\text{min}}$  คือกำลังการผลิตที่น้อยที่สุดของหน่วยผลิต  $i$  ที่สามารถผลิตได้ (เมกะวัตต์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$R_{i,up}$  คือกำลังการผลิตที่หน่วยผลิต  $i$  สามารถผลิตเพิ่มขึ้นได้ในช่วงระยะเวลาที่พิจารณา (เมกกะวัตต์)

$R_{i,down}$  คือกำลังการผลิตที่หน่วยผลิต  $i$  สามารถผลิตลดลงได้ในช่วงระยะเวลาที่พิจารณา (เมกกะวัตต์)

วิธีแซร์ริงอัลกอริทึมเริ่มต้นจากการนำค่าความต้องการของโหนดที่ต้องการร่วมกับกำลังการผลิตเริ่มต้นของหน่วยผลิต มาทำการคำนวณค่าประมาณการกำลังการผลิตรวม จากนั้นเริ่มสุ่มค่าเริ่มต้นให้กับหน่วยผลิตแรกในช่วงการผลิตที่เป็นไปได้ และคำนวณหาลำดับการผลิตที่เหลืออยู่ โดยถ้ากำลังการผลิตที่เหลืออยู่ มีค่าในช่วงผลรวมของกำลังการผลิตที่ต่ำที่สุดของหน่วยผลิตที่เหลือ และผลรวมของกำลังการผลิตที่สูงที่สุดของหน่วยผลิตที่เหลือ ค่าการสุ่มนั้นจะเป็นค่าที่ยอมรับได้

แต่ถ้ากำลังการผลิตที่เหลืออยู่มีค่าน้อยกว่าผลรวมของกำลังการผลิตที่ต่ำที่สุดของหน่วยผลิตที่เหลือ จะต้องทำการเพิ่มกำลังการผลิตขึ้นจากการสุ่มค่าในช่วงกำลังการผลิตใหม่ ในทำนองเดียวกัน ถ้ากำลังการผลิตที่เหลืออยู่มีค่ามากกว่าผลรวมของกำลังการผลิตที่มากที่สุดของหน่วยผลิตที่เหลือ จะต้องทำการลดกำลังการผลิตขึ้นจากการสุ่มค่าในช่วงกำลังการผลิตใหม่เช่นเดียวกัน

เมื่อการสุ่มค่าทั้งหมดสิ้นสุดลง จะสามารถคำนวณหาลำดับการผลิตของหน่วยผลิตอ้างอิงจากสมการ 6.15 ถึง 6.17 โดยถ้ากำลังการผลิตที่ได้อยู่ในช่วงที่กำหนด ก็เริ่มขบวนการทางพันธุศาสตร์ได้ตามปกติ แต่ถ้ากำลังการผลิตที่ได้ไม่อยู่ในช่วงที่กำหนด ก็จะกลับไปเริ่มการปรับค่าใหม่ โดยการปรับค่าความสูญเสียใหม่จากสัดส่วนของส่วนต่างของค่ากำลังการผลิตนั้น โดยการทำงานของวิธีแซร์ริงอัลกอริทึม แสดงไว้ดังรูปที่ 6.2

ในส่วนของข้อจำกัดการผลิต ไฟฟ้าสูงสุด/ต่ำสุดของแต่ละหน่วยผลิตสามารถแทนด้วยเทคนิคการเข้ารหัสตามสูตรจริงไบนารี ดังนี้

$$P_{i,norm} = \sum_{i=1}^I \frac{d_i}{2^i} \quad d_i \in \{0,1\} \quad (6.19)$$

$$P_{i,desired} = P_{i,base} - R_{i,down} + P_{i,norm} (R_{i,up} + R_{i,down}) \quad d_i \in \{0,1\} \quad (6.20)$$

ซึ่งจากวิธีแซร์ริงอัลกอริทึมดังกล่าวทำให้ไม่ต้องใช้การปรับโทซจากสมการหรือสมการต่างๆ ที่มีอยู่ในปัญหาการจัดกำลังการผลิต ทำให้สามารถใช้สมการค่าความเหมาะสมจากค่าต้นทุนกำลังการผลิตรวมได้โดยตรง ลดผลกระทบจากการออกแบบฟังก์ชันปรับโทซที่เหมาะสมและผลกระทบจากฟังก์ชันหลายเป้าหมาย ลดจำนวนของชุดโครโมโซมที่ใช้ในการเข้ารหัสลงได้ 1 ชุด เมื่อเทียบกับการเข้ารหัสโดยใช้ฟังก์ชันการปรับโทซแบบเดิม อีกทั้งวิธีแซร์ริงอัลกอริทึมยังช่วยลดพื้นที่คำตอบที่ไม่

[For any individual]

1. Estimate total transmission loss,  $P_{loss}^e$ , from the current generation
2. Randomly generate initial power output in feasible range
3. Set  $MWLeft = P_{load} + P_{loss}^e - P_{1,desired}$
4. While igen != n-1
5. Random the next power output of a generation in a feasible range
6. Compute new  $MWLeft$
7. If  $\sum_{i=1}^{genleft} P_{i,min} \leq MWLeft \leq \sum_{i=1}^{genleft} P_{i,max}$  then goto 13
8. Else if  $\sum_{i=1}^{genleft} P_{i,min} \geq MWLeft$  then
9. forceup = true; bias randomly power output with higher level;
10. Else if  $\sum_{i=1}^{genleft} P_{i,max} \leq MWLeft$  then
11. forcedn = true; bias randomly power output with lower level;
12. End
13. Check power balancing constraint
14. If violation = true then goto 2
15. Perform all genetic operators

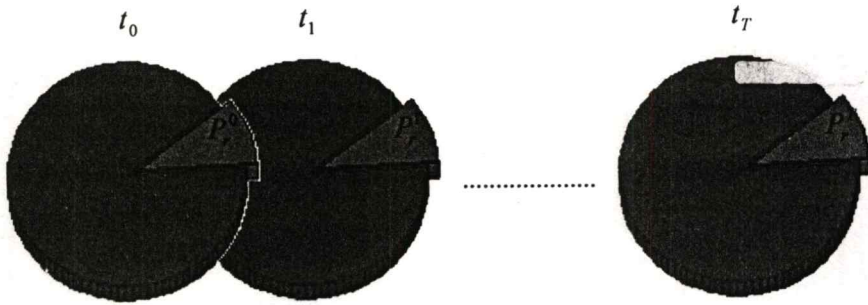
## รูปที่ 6.2 การทำงานของวิธีแชร์ริงอัลกอริทึม

จำเป็นออกไปได้เป็นอย่างมาก โดยสมการฟังก์ชันความเหมาะสมใหม่คือ

$$f_1 = \frac{1}{C_T} \quad (6.10)$$

## 6.4 การประยุกต์ใช้วิธีแชร์ริงอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิก

จากแนวคิดของวิธีแชร์ริงอัลกอริทึมเดิมที่ใช้สำหรับช่วงเวลาหนึ่ง ขอบเขตกำลังการผลิตต่ำ/สูงสุดจะพิจารณาจากกำลังการผลิตเริ่มต้นของแต่ละหน่วยผลิต ซึ่งเทคนิคนี้การแบ่งโหนดนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในปัญหาการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกได้ดังรูปต่อไปนี้



$$\max(P_{i,\min}, P_{i,\text{base}} - R_{i,\text{down}}) \leq P_{i,\text{desired}}^0 \leq \min(P_{i,\text{max}}, P_{i,\text{base}} + R_{i,\text{up}})$$

$$\max(P_{i,\min}, P_{i,\text{desired}}^0 - R_{i,\text{down}}) \leq P_{i,\text{desired}}^1 \leq \min(P_{i,\text{max}}, P_{i,\text{desired}}^0 + R_{i,\text{up}})$$

...

$$\max(P_{i,\min}, P_{i,\text{desired}}^{T-1} - R_{i,\text{down}}) \leq P_{i,\text{desired}}^T \leq \min(P_{i,\text{max}}, P_{i,\text{desired}}^{T-1} + R_{i,\text{up}})$$

### รูปที่ 6.3 แนวคิดของวิธีแชร์ริงอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิก

แนวคิดการแบ่งโหลดสำหรับปัญหาการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกมีลักษณะการทำงานที่เป็นคาบเวลา ตามลักษณะของค่าโหลดที่เปลี่ยนไป โดยที่การจัดกำลังการผลิตที่อยู่ในคาบเวลาที่สูงกว่า  $(t+1)$  จะมีค่าอยู่ภายใต้ข้อจำกัดดังสมการ 6.18

การคำนวณเริ่มจากคาบการคำนวณเริ่มต้น โดยคำนวณตามวิธีแชร์ริงอัลกอริทึมและคำนวณกำลังผลิตอ้างอิงในคาบเวลาดังกล่าว จากนั้นทำการคำนวณแบ่งโหลดในคาบการคำนวณถัดไปโดยข้อจำกัดการผลิตตามสมการที่ 6.18 โดยมีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่ากำลังการผลิตที่ได้จากคาบการคำนวณก่อนหน้านั้น และเมื่อการคำนวณการแบ่งโหลดสิ้นสุดลง ค่ากำลังการผลิตที่ได้ในแต่ละหน่วยผลิตจะเป็นค่ากำลังการผลิตเริ่มต้นในคาบการคำนวณถัดไป จนกระทั่งถึงรอบการคำนวณสุดท้าย กำลังการผลิตของแต่ละหน่วยผลิตที่คำนวณได้ในแต่ละคาบเวลาจะเป็นแผนการเดินเครื่องในลักษณะไดนามิก ภายใต้ข้อกำหนดกำลังการผลิตที่เพิ่ม/ลด ได้ในแต่ละช่วงเวลา การทำงานโดยสรุปของอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิก แสดงไว้ดังรูป ต่อไปนี้

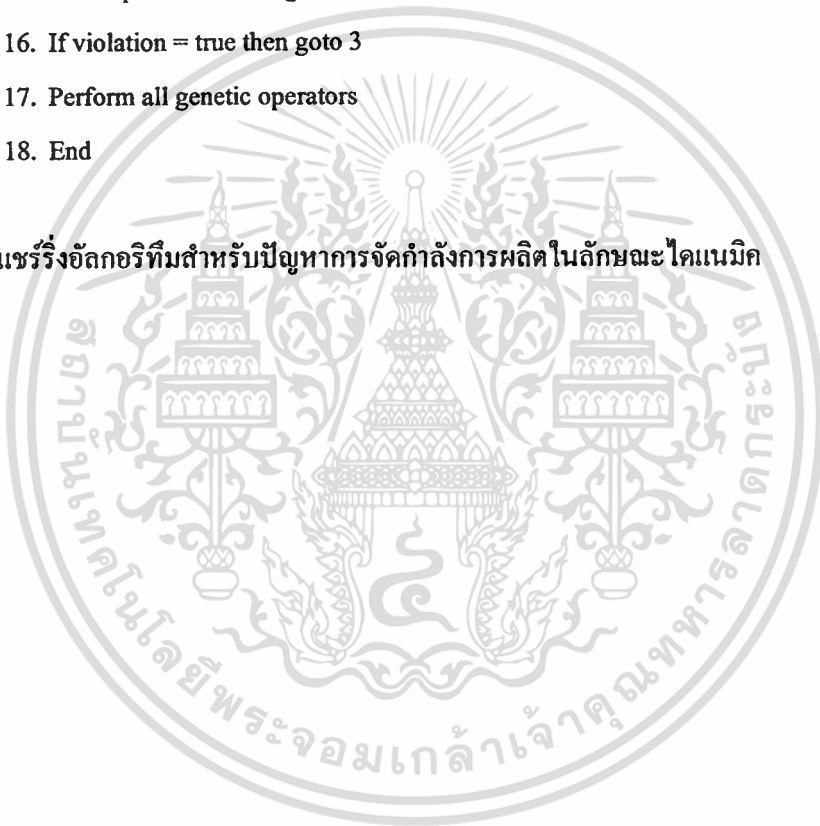
[For any individual]

1. While intval != T
2. Estimate total transmission loss,  $P_{\text{loss}}^e$ , from the  $t$  condition
3. Randomly generate initial power output in feasible range
4. Set  $MWLeft = P_{\text{load}} + P_{\text{loss}}^e - P_{1,\text{desired}}$
5. While igen != n-1
6. Calculate new operating limits
7. Random the next power output of a generation in a feasible range

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. Compute new  $MWLeft$
9. If  $\sum_{i=1}^{genleft} P_{i,min} \leq MWLeft \leq \sum_{i=1}^{genleft} P_{i,max}$  then goto 15
10. Else if  $\sum_{i=1}^{genleft} P_{i,min} \geq MWLeft$  then
11. forceup = true; bias randomly power output with higher level;
12. Else if  $\sum_{i=1}^{genleft} P_{i,max} \leq MWLeft$  then
13. forcedn = true; bias randomly power output with lower level;
14. End
15. Check power balancing constraint
16. If violation = true then goto 3
17. Perform all genetic operators
18. End

**รูปที่ 6.4** วิธีแชร์ริงอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิก



## บทที่ 7

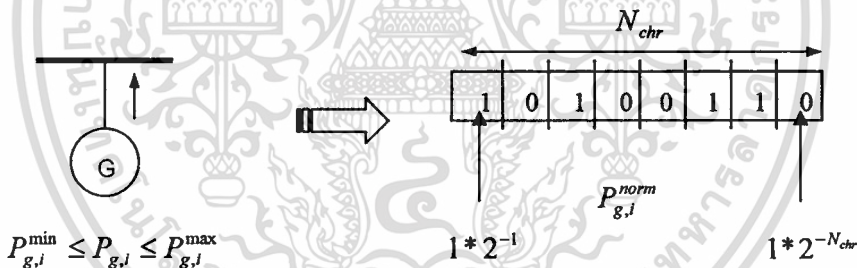
# การประยุกต์ใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมสำหรับ ปัญหาการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์

ในบทนี้กล่าวถึงบทสรุปการประยุกต์ใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ รวมถึงเทคนิคและวิธีการที่ใช้ในการปรับขบวนการคำนวณตามวิธีเจเนติกอัลกอริทึมเดิม ให้มีความเหมาะสมกับลักษณะเฉพาะของปัญหา เช่นการจัดการกับข้อจำกัดในการผลิตไฟฟ้าต่างๆ เป็นต้น

### 7.1 การจัดการกับสมการและอสมการข้อจำกัดในการผลิตไฟฟ้า

#### 7.1.1 อสมการกำลังการผลิตสูง/ต่ำสุดของหน่วยผลิตไฟฟ้า

การจัดการกับข้อจำกัดกำลังการผลิตสูง/ต่ำสุดของหน่วยผลิตไฟฟ้าด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึมนั้น สามารถจัดการได้อย่างง่ายโดยการใช้เทคนิคการเข้ารหัสของวิธีเจเนติกอัลกอริทึม ทำการปรับเปลี่ยนขอบเขตสูง/ต่ำสุดของการเข้ารหัส แทนการใช้ฟังก์ชันการปรับ โทษที่ใช้อยู่เดิม ดังรูป



รูปที่ 7.1 การจัดการข้อจำกัดกำลังการผลิตสูง/ต่ำสุดของหน่วยผลิตไฟฟ้าด้วยการเข้ารหัส

จากรูปค่าขนาดของโครโมโซม  $N_{chr}$  สามารถกำหนดได้จากความละเอียดของค่ากำลังการผลิตที่ต้องการ  $s$  โดยถ้าต้องการความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง และค่ากำลังการผลิตต่ำสุดและสูงสุดมีค่าเท่ากับ 100 และ 400 ตามลำดับ จะสามารถคำนวณค่าจำนวนค่ากำลังการผลิตที่เป็นไปได้และ  $N_{chr}$  ได้จากสมการ

$$\text{จำนวนค่ากำลังการผลิตที่เป็นไปได้} = \frac{(P_{g,i}^{max} - P_{g,i}^{min})}{s} + 1 \quad (7.1)$$

และ

$$2^{-N_{chr}} \leq \frac{s}{P_{g,i}^{\max} - P_{g,i}^{\min}} \quad (7.2)$$

โดยถ้า  $s = 0.01$  ดังนั้น  $N_{chr} \geq 15$  และค่ากำลังการผลิตจริงสามารถคำนวณได้จาก

$$P_{g,i}^{norm} = \frac{P_{g,i} - P_{g,i}^{\min}}{P_{g,i}^{\max} - P_{g,i}^{\min}} \quad (7.3)$$

$$P_{g,i} = P_{g,i}^{norm} * (P_{g,i}^{\max} - P_{g,i}^{\min}) + P_{g,i}^{\min} \quad (7.4)$$

โดยที่  $P_{g,i}^{norm}$  คือค่าที่ได้จากการถอดรหัสโครโมโซม

### 7.1.2 อสมการอัตรากำลังการผลิตที่เพิ่ม/ลดของหน่วยผลิตไฟฟ้า

สำหรับการจัดการกับข้อจำกัดอัตรากำลังการผลิตที่เพิ่ม/ลดของหน่วยผลิตไฟฟ้าก็สามารถกระทำได้ในลักษณะคล้ายกับการจัดการกับข้อจำกัดกำลังการผลิตสูง/ต่ำสุดของหน่วยผลิตไฟฟ้า โดยการปรับลดค่าขอบเขตของกำลังการผลิตลงมาให้อยู่ในสมการข้อจำกัดดังกล่าว ซึ่งค่ากำลังการผลิตจริงสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$P_{g,i}^{norm} = \frac{P_{g,i} - \max\{P_{g,i}^{\min}, P_{g,i}(t) - DR_t\}}{\min\{P_{g,i}^{\max}, P_{g,i}(t) + UR_t\} - \max\{P_{g,i}^{\min}, P_{g,i}(t) - DR_t\}} \quad (7.5)$$

$$P_{g,i} = P_{g,i}^{norm} * (\min\{P_{g,i}^{\max}, P_{g,i}(t) + UR_t\} - \max\{P_{g,i}^{\min}, P_{g,i}(t) - DR_t\}) + \max\{P_{g,i}^{\min}, P_{g,i}(t) - DR_t\} \quad (7.6)$$

### 7.1.3 สมการการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการโหลดรวมถึงความสูญเสียในระบบส่ง

การจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการโหลดรวมถึงความสูญเสียในระบบส่งนั้น จะใช้วิธีแชร์ริงอัลกอริทึมเพื่อช่วยกระจายกำลังการผลิตไปสู่หน่วยผลิตไฟฟ้าต่างๆ รวมถึงการปรับค่ากำลังการผลิตของหน่วยผลิตอ้างอิงโดยอัตโนมัติ เพื่อชดเชยความสูญเสียโหลดได้อย่างเที่ยงตรง ไม่เกิดสถานะกำลังการผลิตหรือค่าโหลดที่ไม่เหมาะสมขึ้นในระบบ ดังที่แสดงไว้อย่างละเอียดในบทที่ 6

### 7.1.4 เงื่อนไขในการหยุดสร้างกลุ่มประชากรรุ่นใหม่

สถานะที่ทำให้การคำนวณยุติการสร้างกลุ่มประชากรรุ่นใหม่สามารถพิจารณาได้จากหลาย

วิธี เช่น หลักการที่พิจารณาว่ากลุ่มประชากรที่มีอยู่ ไม่สามารถสร้างชุดโครโมโซมที่ดีไปกว่าชุดโครโมโซมที่ดีที่สุดที่เก็บรักษาไว้ ทั้งนี้จะสามารถคำนวณได้จากจำนวนรอบสะสมที่ค่าความเหมาะสมของชุดโครโมโซมที่ดีที่สุดไม่มีการเปลี่ยนแปลง โดยกำหนดให้มีการตรวจสอบกับค่าจำนวนรอบสูงสุดที่ตั้งไว้

อีกวิธีหนึ่งคือการพิจารณาความคล้ายคลึงกันของยีนในกลุ่มโครโมโซมในตำแหน่งโลคัสเดียวกัน ซึ่งถ้ายีนในชุดโครโมโซมมีลักษณะที่คล้ายคลึงกันมาก ทำให้การแลกเปลี่ยนยีนในแต่ละรุ่นประชากรจะไม่ก่อให้เกิดการค้นหายีนที่ค่าตอบใหม่ๆ ได้

## 7.2 ขั้นตอนการทำงานของ การจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้วิธี เจเนติกอัลกอริทึมและวิธีนิซิงเจเนติกอัลกอริทึม

จากการออกแบบและวิเคราะห์การทำงานของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีแชร์ริงอัลกอริทึม รวมถึงตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถสรุปการทำงานของอัลกอริทึมการจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ทั้งในแบบสเตติกและไดนามิก ได้เป็นดังนี้

### 7.2.1 การจัดกำลังการผลิตในลักษณะสเตติก

ขั้นตอนการทำงานของ การจัดกำลังการผลิตในลักษณะสเตติกที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง มีขบวนการทำงานโดยสรุปดังนี้

การทำงานเริ่มต้นจากการคำนวณตัวแปรทางระบบไฟฟ้ากำลังที่สำคัญ เช่น เมตริกซ์บัสแอดมิตแตนซ์ จากนั้นทำการคำนวณหาสถานะการไหลของพลังงาน และคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความสูญเสียในระบบส่งเพื่อใช้ในสมการสำหรับคำนวณหาค่าความสูญเสียในระบบส่ง จากค่ากำลังการผลิตในแต่ละหน่วยผลิตในขณะนั้น

การคำนวณในทางวิธีเจเนติกอัลกอริทึมเริ่มขึ้น โดยการปรับขนาดความยาวของโครโมโซมให้เหมาะสมตามค่ากำลังการผลิตที่ต้องการ และสุ่มค่าเพื่อสร้างเมตริกซ์กลุ่มประชากรเริ่มต้นในลักษณะสตริงไบนารี จากนั้นนำชุดโครโมโซมแต่ละชุดเข้าสู่วิธีแชร์ริงอัลกอริทึม คำนวณหาค่ากำลังการผลิตอ้างอิง และค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้ารวม เพื่อนำไปคำนวณค่าความเหมาะสมในแต่ละชุดโครโมโซม โดยถ้าชุดโครโมโซมชุดใดให้ค่าความเหมาะสมที่สูงกว่าค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุด จะถูกเก็บค่ายีนตลอดชุดโครโมโซมไว้แทนชุดโครโมโซมที่ดีที่สุดเดิม

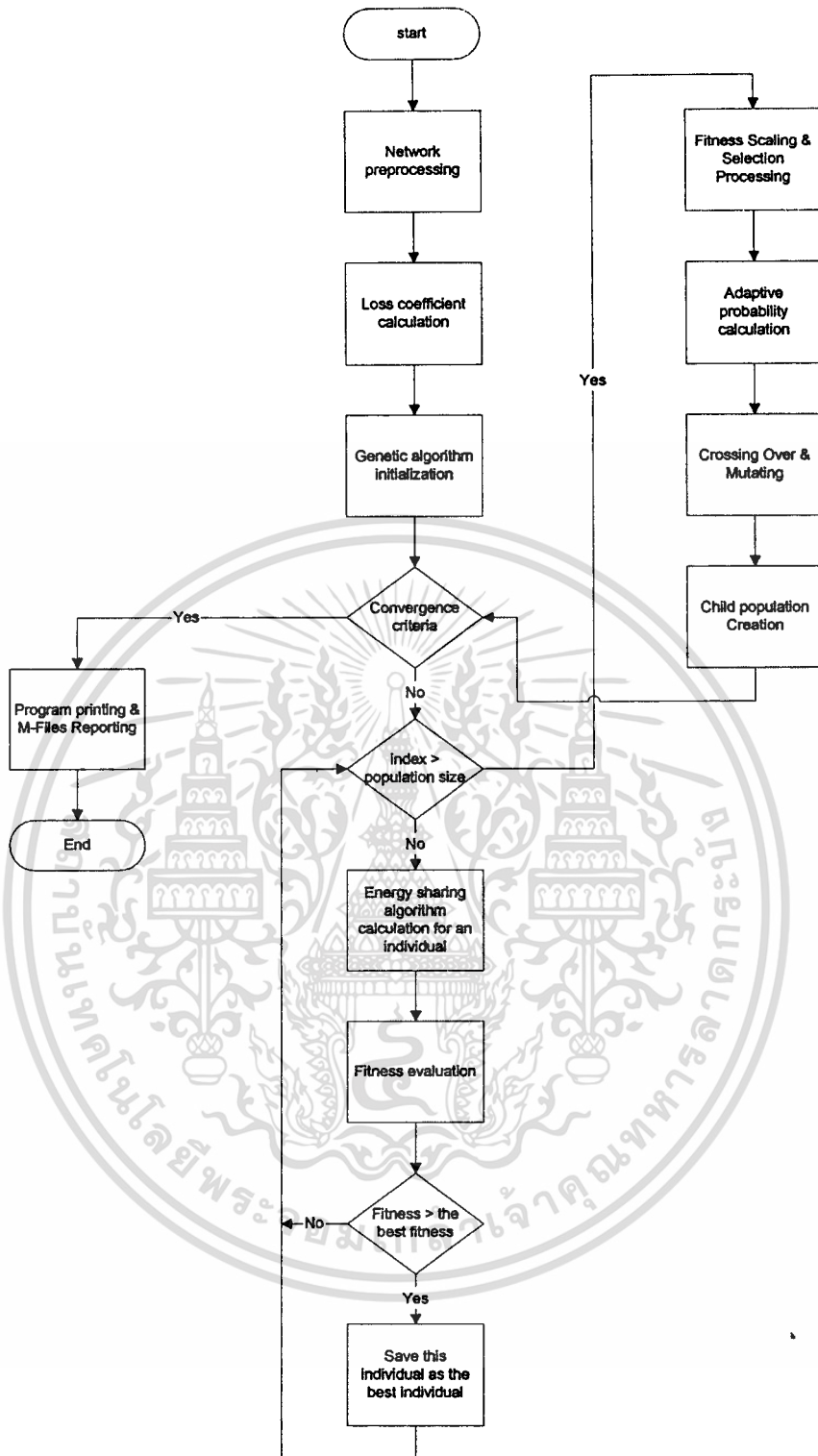
เมื่อคำนวณหาค่าความเหมาะสมได้ครบทั้งกลุ่มประชากรแล้ว จะเริ่มเข้าสู่ขบวนการคัดเลือกชุดโครโมโซม และประเมินค่าความเหมาะสมของชุดโครโมโซมนั้นเทียบกับค่าจากชุดโครโมโซมอื่นในกลุ่มประชากร เพื่อนำไปปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนยีนและความน่าจะเป็นในการผ่าเหล่ายีนใหม่ ให้เหมาะสมสำหรับชุดโครโมโซมนั้นๆ

การปฏิบัติการในทางเจเนติก จะเริ่มขึ้นโดยการแลกเปลี่ยนยีนระหว่างคู่ของชุดโครโมโซมที่คัดเลือกว่าจะยกก่อนหน้านั้น ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนอย่างสม่ำเสมอ ตามค่าความน่าจะเป็นที่คำนวณได้จากนั้นทำการผ่าเหล่ายีนในชุดโครโมโซมลูกที่ได้ โดยมีค่าตามสัดส่วนความน่าจะเป็นข้างต้น ซึ่งชุดโครโมโซมที่ได้จะนำมาเก็บไว้เป็นกลุ่มประชากรลูก และใช้เป็นชุดโครโมโซมในการคำนวณในรุ่นประชากรถัดไป การคำนวณจะกระทำซ้ำไปจนกระทั่งได้จำนวนชุดโครโมโซมลูก ตามต้องการ โดยก่อนที่จะเริ่มการสร้างกลุ่มประชากรรุ่นต่อไป โปรแกรมจะตรวจสอบว่าตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ได้ทำลายชุดโครโมโซมที่ดีที่สุดในกลุ่มประชากรหรือไม่ ถ้ามีการทำลายชุดโครโมโซมที่ดีที่สุดจริง โปรแกรมจะนำชุดโครโมโซมที่ดีที่สุดที่เก็บรักษาไว้มาใส่ลงในกลุ่มประชากรใหม่โดยใช้วิธีการสุ่ม ทั้งนี้เพื่อให้แน่ใจได้ว่าชุดโครโมโซมที่ดีที่สุดจะถูกรักษาไว้ในกลุ่มประชากรอยู่เสมอ

การคำนวณจะดำเนินต่อไป และประชากรรุ่นใหม่มักจะถูกผลิตขึ้นมาอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งเงื่อนไขการหยุดคำนวณมีค่าตรรกะเป็นจริง การคำนวณจะสิ้นสุดลง โดยโปรแกรมจะทำการจัดเก็บผลลัพธ์ในการคำนวณ และสร้างชุดคำสั่ง Matlab โดยอัตโนมัติ เพื่อใช้ในการสร้างรายงานเป็นแผนภูมิและกราฟต่างๆ ต่อไป

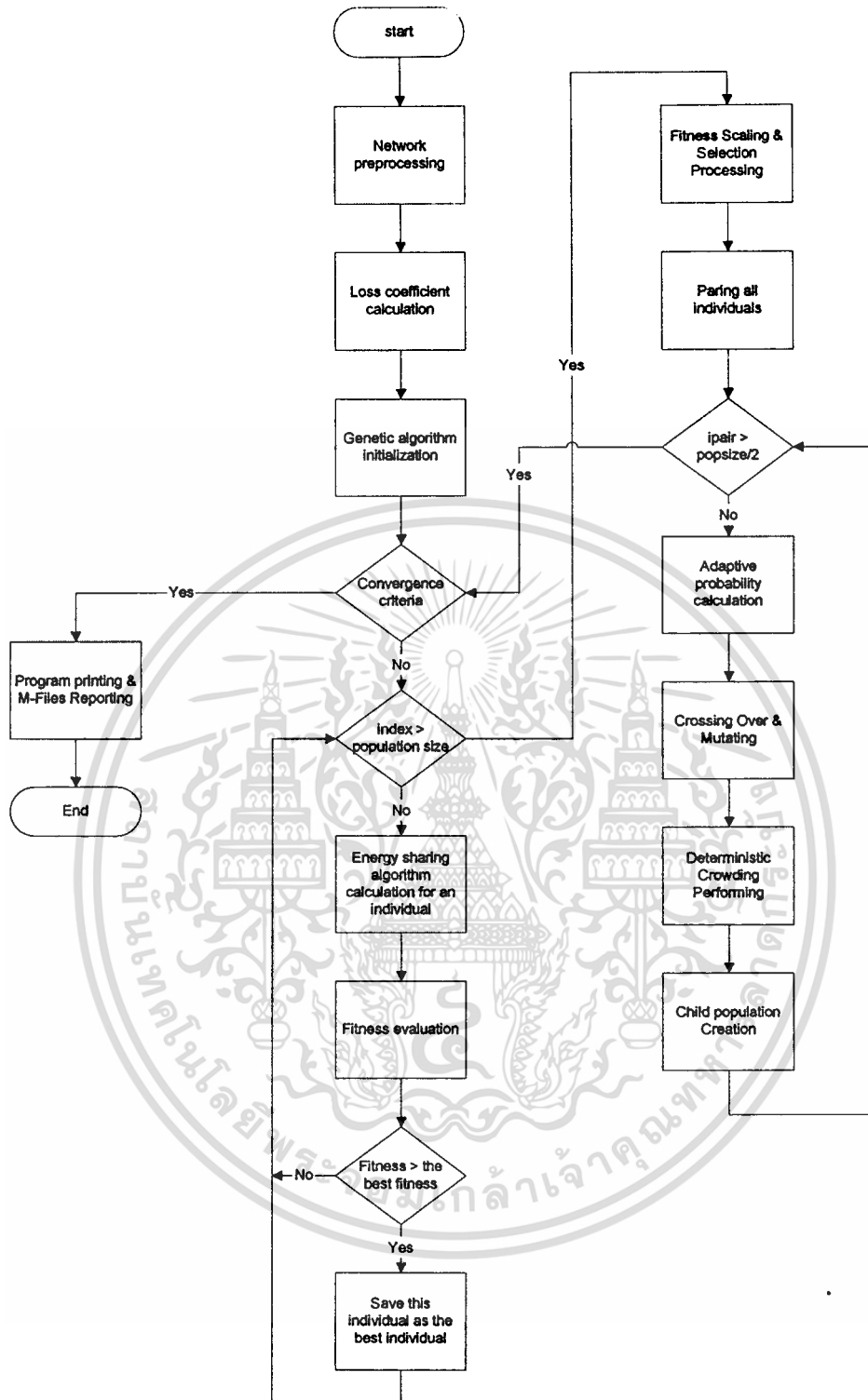
การทำงานโดยสรุปแสดงไว้ในรูปที่ 7.2 ซึ่งอธิบายการทำงานของการจัดกำลังการผลิตในลักษณะสแตติกที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้วิธียีนเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง รูปที่ 7.3 แสดงวิธีวิชันซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง ในการเพิ่มความสามารถในการค้นหาค่าตอบของการจัดกำลังการผลิตในลักษณะสแตติกที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ให้ดีขึ้น

วิชันซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมจะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการสร้างกลุ่มประชากรขึ้นมาใหม่ตามวิธีของคิเทอร์มินนิสติกคราว์ดิง โดยทำการสร้างคู่ของชุดโครโมโซมต้นแบบขึ้นมา จากนั้นนำชุดโครโมโซมดังกล่าวเข้าสู่ขบวนการทางพันธุศาสตร์ สร้างเป็นชุดโครโมโซมลูก และคำนวณหาค่าความเหมาะสมในแต่ละชุดโครโมโซมลูก จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับค่าความเหมาะสมจากชุดโครโมโซมพ่อแม่ โดยที่ชุดโครโมโซมใดมีค่าความเหมาะสมที่ดีกว่า และเมื่อเทียบระยะเวลาทางความแตกต่างระหว่างชุดโครโมโซม โครโมโซมสุดท้ายที่ได้จะถูกนำมาเก็บไว้ในกลุ่มประชากรรุ่นใหม่ ทั้งนี้การทำงานของวิชันซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมได้แสดงไว้อย่างละเอียดในบทที่ 5



**รูปที่ 7.2** ขั้นตอนการทำงานโดยสรุปของการจัดกำลังการผลิตในลักษณะสแตติกที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 7.3** ขั้นตอนการทำงานโดยสรุปของการจัดกำลังการผลิตในลักษณะสแตคที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้วิธีวิซิงเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

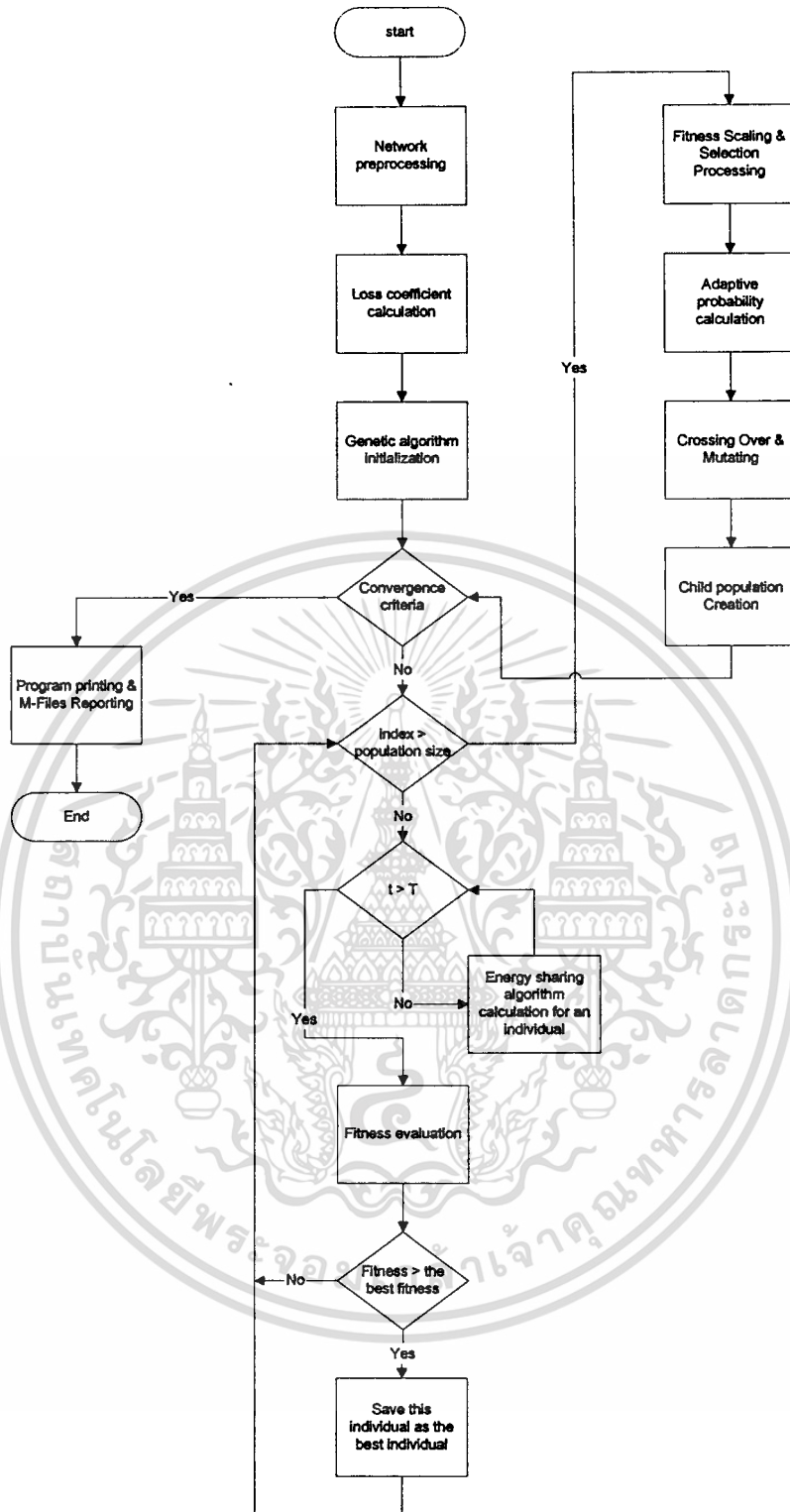
## 7.2.2 การจัดทำล้งการผลิตในลักษณะใดแนมิก

ขั้นตอนการทำงานขอ รจัดทำล้งการผลิตในลักษณะใดแนมิกที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง มีขบวนการทำงานดังต่อไปนี้

การทำงานเริ่มต้นจากการคำนวณตัวแปรทางระบบไฟฟ้ากำลังที่สำคัญ คล้ายกับวิธีการจัดทำล้งการผลิตในลักษณะสแตติก โดยทำการคำนวณหาสภาวะการไหลของพลังงาน และคำนวณหาสัมประสิทธิ์ความสูญเสียในระบบส่ง

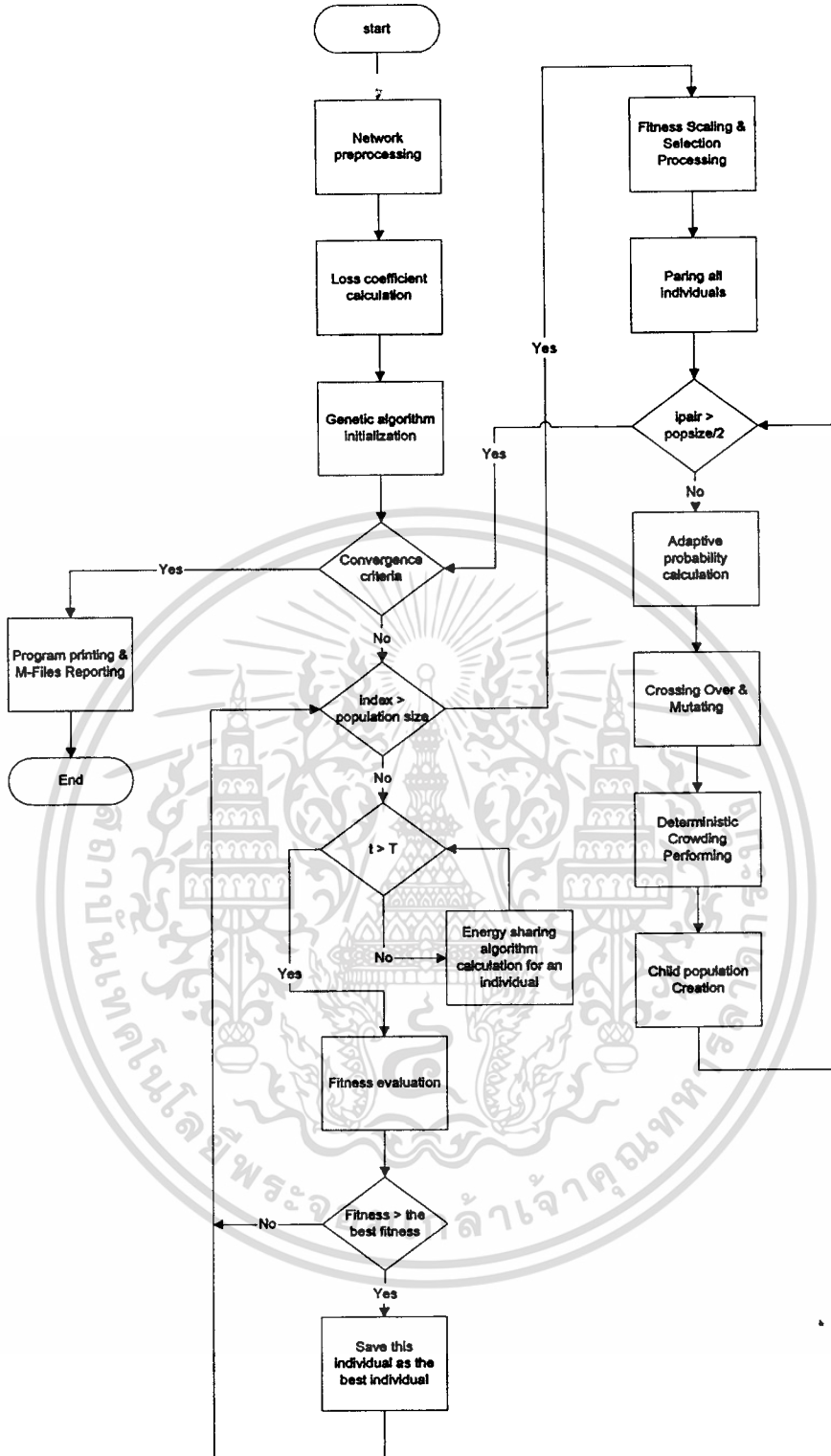
จากนั้นจะเริ่มการคำนวณในทางวิธีเจเนติกอัลกอริทึม โดยการปรับขนาดความยาวของโครโมโซมให้เหมาะสมตามค่าล้งการผลิตที่ต้องการ คุ้มค่าเพื่อสร้างเมตริกซ์กลุ่มประชากรเริ่มต้นในลักษณะสตริงไบนารี นำชุดโครโมโซมแต่ละชุดเข้าสู่วิธีแซร์ริงอัลกอริทึมในลักษณะใดแนมิก โดยการคำนวณค่าล้งการผลิตที่เหมาะสมและค่าล้งการผลิตอ้างอิงในแต่ละค่าเวลา โปรแกรมจะทำการปรับเปลี่ยนค่าข้อจำกัดในการผลิตกำลังไฟฟ้าอัตโนมัติในคาบเวลาการคำนวณที่สูงกว่า ตามอัลกอริทึมที่แสดงไว้ในบทที่ 6 จากนั้นจะคำนวณหาค่าต้นทุนการผลิตไฟฟ้ารวมในแต่ละคาบเวลา คำนวณค่าความเหมาะสมในแต่ละชุดโครโมโซม โดยถ้าชุดโครโมโซมชุดใดให้ค่าความเหมาะสมที่สูงกว่าค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุด จะถูกเก็บค่าขึ้นตลอดชุดโครโมโซมไว้แทนชุดโครโมโซมที่ดีที่สุดเดิม เช่นเดียวกัน

ขบวนการคำนวณในทางพันธุศาสตร์ รวมถึงการหุคการสร้างประชากรรุ่นใหม่และการจัดเก็บผลลัพธ์ มีลักษณะเหมือนกับ การทำงานในหัวข้อ 7.2.1 โดยที่การทำงานโดยสรุปแสดงไว้ในรูปที่ 7.4 ซึ่งอธิบายการทำงานของกรจัดทำล้งการผลิตในลักษณะใดแนมิกที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง รูปที่ 7.5 แสดงวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง ในการเพิ่มความสามารถในการค้นหาคำตอบของการจัดทำล้งการผลิตในลักษณะใดแนมิกที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ให้ดีขึ้น



**รูปที่ 7.4** ขั้นตอนการทำงานโดยสรุปของการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ โดยใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.5 ขั้นตอนการทำงานโดยสรุปของการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกที่คุ้มค่าในทาง เศรษฐศาสตร์โดยใช้วิธีนิชชิงเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มี ประสิทธิภาพสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 8

### ผลการทดสอบและบทวิเคราะห์ผลลัพธ์

ในบทนี้ แสดงถึงวิธีการทดสอบและผลการทดสอบโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น โดยแยก ส่วนของการทดสอบเป็น 2 ส่วนหลัก โดยในส่วนแรกจะเป็นการออกแบบโครงสร้างและพารามิเตอร์ ของวิธีเจเนติกอัลกอริทึม, วิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึม, และตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มี ประสิทธิภาพสูง รวมถึงการทดสอบความสามารถในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาที่พิจารณา รวมถึงการแยกแยะคำตอบระหว่างคำตอบที่ดีที่สุด (คำตอบโกลบอล) และคำตอบที่ดี (คำตอบโลคอล) จากฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ [1, 76] ที่มีความซับซ้อนสูงมากและเป็นฟังก์ชันที่มีจุดยอดหลายจุด โดยใช้ ฟังก์ชัน De Jong จำนวน 8 ฟังก์ชัน อีกทั้งยังเป็นการทดสอบถึงพฤติกรรมของอัลกอริทึมในการค้นหา คำตอบที่ถูกต้อง ในส่วนที่สองจะเป็นการนำส่วนของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตามวิธีเจเนติกอัลกอริทึม และวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมที่ได้ ผสมกับวิธีการแบ่งโหนดและเทคนิคการจัดการกับข้อจำกัด สมการและอสมการต่างๆ ทำการทดสอบกับปัญหาการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่มีความซับซ้อนในทาง เศรษฐศาสตร์ทั้งในลักษณะสแตติกและไดนามิก โดยใช้ระบบไฟฟ้ากำลังมาตรฐาน IEEE 30 บัส, IEEE 118 บัส และระบบไฟฟ้ากำลังของประเทศไทยเป็นระบบไฟฟ้ากำลังพื้นฐาน ในการทดสอบ รวมถึงการ ทดสอบความถูกต้องของคำตอบจากผลลัพธ์จากวิธีทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น อีกทั้งยังได้ทดสอบกับ ระบบไฟฟ้ากำลังจำลองโดยทดสอบความสามารถในการคำนวณสำหรับหน่วยผลิตที่มีกราฟคุณลักษณะ ต้นทุนราคาเชื้อเพลิงในลักษณะโดยทั่วไป ร่วมกับหน่วยผลิตที่มีกราฟคุณลักษณะต้นทุนราคาเชื้อเพลิง ไม่เป็นเชิงเส้น และกราฟมีลักษณะไม่ต่อเนื่อง

#### 8.1 การทดสอบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์

การทดสอบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์นี้มุ่งเน้นถึงการวัดประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบโกลบอลของอัลกอริทึม การปรับปรุงประสิทธิภาพของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมจากพฤติกรรมการค้นหาคำตอบ ที่ได้จากวิธีเจเนติกอัลกอริทึมเดิม โดยใช้ผลลัพธ์ของการคำนวณหาพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด มาใช้ในการเปรียบเทียบคำตอบ ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบจะใช้ตัวแปรอินพุต 2 จำนวน ทั้งนี้เพื่อความ เข้าใจต่อลักษณะการเข้าสู่ของคำตอบ ได้ดีขึ้น สามารถพิจารณาถึงพฤติกรรมดังกล่าวได้จากรูปพื้นที่ คำตอบที่แสดงไว้ ซึ่งจากลักษณะฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ทั้งหมด จะพบว่ามีความซับซ้อนสูงมาก และ ยังมีจุดยอดหลายจุด มีลักษณะการแยกตัวออกจากกัน และลักษณะฟังก์ชันที่นำไปสู่จุดยอดโลคอล โดย พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ FORTRAN โดยใช้ GNU FORTRAN Compiler ที่ทำงานบน เครื่อง คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล Pentium III ความเร็วสัญญาณนาฬิกา 800MHz ระบบปฏิบัติการ Linux Mandrake 8.1 (Kernel 2.4.8) และพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมด แสดงไว้ในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 8.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ด้วยวิธี AOGAs

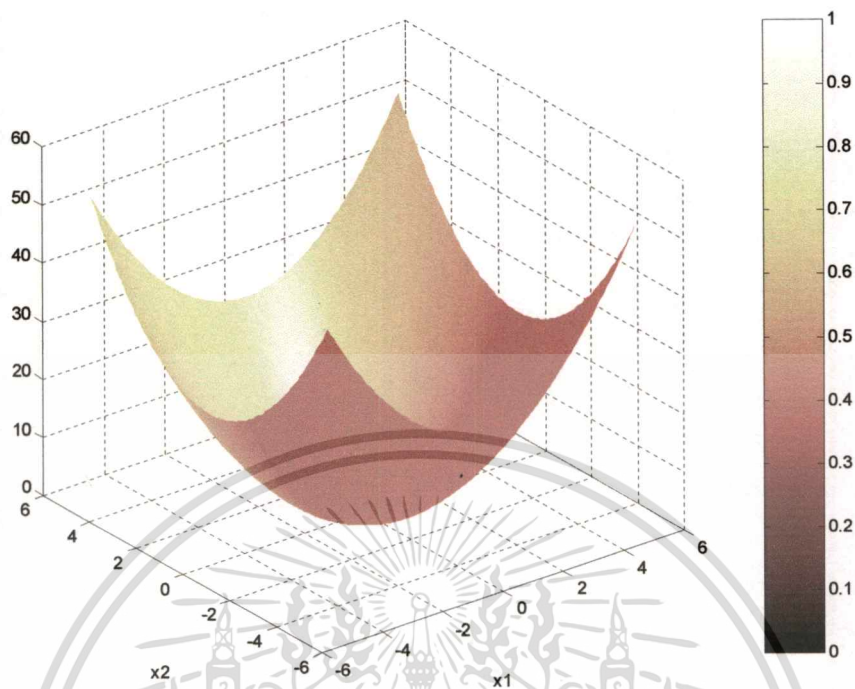
พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
ขนาดโครโมโซม, $N_c$	10
ความน่าจะเป็นในการผ่าเหล่ายีน, $P_m$	$k_2 = 1.0, k_4 = 0.5$
ความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนยีน, $P_c$	$k_1 = 1.0, k_3 = 0.5$
จำนวนประชากร, $N_p$	$3 \cdot (2 N_c)$
วิธีการเข้ารหัส	เกรย์
วิธีการคัดเลือก	ทัวนาเมนต์ (ขนาดทัวนาเมนต์ = 4)
วิธีการปรับค่าความเหมาะสม	ตัดค่าซิกมา
วิธีการผ่าเหล่ายีน	คลออดโครโมโซม (ปรับค่าอัตรา โนมัติ)
วิธีการแลกเปลี่ยนยีน	สม่าเสมอ (ปรับค่าอัตรา โนมัติ)
วิธีการสร้างชุดโครโมโซมใหม่	สภาวะคงตัว (อีลิทซิส)
วิธีแสดงการดูเข้า	ค่าชุดโครโมโซมที่ดีที่สุดไม่เปลี่ยนแปลงใน จำนวน 150 รุ่นประชากร

ตารางที่ 8.2 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ ด้วยวิธี AONGAs

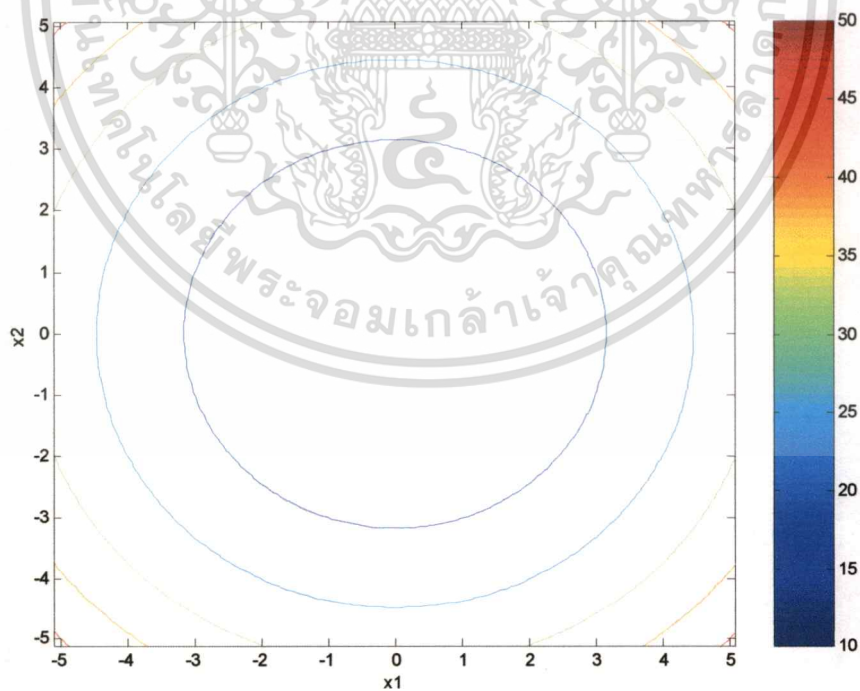
พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
ขนาดโครโมโซม, $N_c$	10
ความน่าจะเป็นในการผ่าเหล่ายีน, $P_m$	$k_2 = 1.0, k_4 = 0.5$
ความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนยีน, $P_c$	$k_1 = 1.0, k_3 = 0.5$
จำนวนประชากร, $N_p$	$3 \cdot (2 N_c)$
วิธีการเข้ารหัส	เกรย์
วิธีการคัดเลือก	ทัวนาเมนต์ (ขนาดทัวนาเมนต์ = 4)
วิธีการปรับค่าความเหมาะสม	ตัดค่าซิกมา
วิธีการผ่าเหล่ายีน	คลออดโครโมโซม (ปรับค่าอัตรา โนมัติ)
วิธีการแลกเปลี่ยนยีน	สม่าเสมอ (ปรับค่าอัตรา โนมัติ)
วิธีการสร้างชุดโครโมโซมใหม่	ดีเทอร์มินนิสติกคราว์ดิง
วิธีแสดงการดูเข้า	ค่าชุดโครโมโซมที่ดีที่สุดไม่เปลี่ยนแปลงใน จำนวน 150 รุ่นประชากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8.1.1 ฟังก์ชัน $F1$ (De Jong's function)



รูปที่ 8.1 ลักษณะฟังก์ชัน  $F1: f(x_i |_{i=1,2}) = \sum_{i=1}^2 (x_i^2) \quad x_i \in [-5.12, 5.12]$



รูปที่ 8.2 ลักษณะเส้นโครงร่างฟังก์ชัน  $F1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.3 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F1 จำนวน 100 ครั้ง

การทดสอบ ครั้งที่	BF		AOGAs					AONGAs					
	X1	X2	Fval	X1	X2	Fval	Iter	Time (sec.)	X1	X2	Fval	Iter	Time (sec.)
	1	0.0	0.0	0.0	0.05	-0.03	0.0034	211	0.27	0.02	0.01	0.0005	295
2				0.06	-0.02	0.004	220	0.27	-0.02	0.01	0.0005	535	1.32
3				-0.01	0.01	0.0002	282	0.39	0.19	0.08	0.0425	215	0.55
4				-0.04	0.02	0.002	226	0.27	-0.02	0.03	0.0013	223	0.55
5				-0.01	0.04	0.0017	449	0.55	0.05	-0.04	0.0041	235	0.55
6				-0.01	-0.03	0.001	613	0.77	-0.01	-0.01	0.0002	347	0.88
7				-0.05	-0.01	0.0026	343	0.44	0	-0.02	0.0004	656	1.59
8				-0.05	-0.01	0.0026	283	0.39	0.01	0.01	0.0002	337	0.82
9				-0.02	-0.09	0.0085	322	0.38	-0.07	0.01	0.005	236	0.61
10				0.02	0.01	0.0005	355	0.44	0.01	0.02	0.0005	404	0.99
11				-0.09	0	0.0081	268	0.33	-0.07	0.08	0.0113	234	0.55
12				-0.02	-0.01	0.0005	341	0.38	-0.01	0	1.00E-04	654	1.59
13				-0.02	0.01	0.0005	270	0.38	-0.02	0.02	0.0008	426	1.04
14				-0.02	0.03	0.0013	328	0.39	0.05	0.02	0.0029	288	0.72
15				0	0.01	1.00E-04	424	0.55	0.02	-0.03	0.0013	352	0.88
16				-0.02	-0.02	0.0008	227	0.27	0	-0.04	0.0016	299	0.71
17				0	0.05	0.0025	989	1.27	0.02	-0.02	0.0008	288	0.7199999
18				0.03	-0.04	0.0025	411	0.49	0.04	-0.04	0.0032	245	0.6
19				-0.04	0.07	0.0065	212	0.28	-0.04	0.08	0.008	351	0.88
20				0.04	0.08	0.008	311	0.38	-0.04	0	0.0016	311	0.77
21				-0.01	0.05	0.0026	214	0.28	-0.01	0.01	0.0002	440	1.0399999
22				0.03	-0.03	0.0018	338	0.4400001	-0.05	0.04	0.0041	236	0.5500001
23				-0.03	-0.01	0.001	429	0.54	0.02	-0.01	0.0005	248	0.6
24				0.03	0.05	0.0034	223	0.28	0.03	0	0.0009	262	0.66
25				0.01	0.01	0.0002	499	0.66	0.04	-0.05	0.0041	204	0.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.3 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F1 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

26	-0.03	0.03	0.0018	202	0.22	0.01	-0.04	0.0017	375	0.940001
27	0.01	-0.12	0.0145	224	0.27	0.1	0.08	0.0164	211	0.49
28	-0.01	-0.05	0.0026	393	0.5	0.09	0.06	0.0117	241	0.609999
29	-0.08	0.08	0.0128	239	0.33	-0.01	-0.01	0.0002	273	0.66
30	0.02	-0.04	0.0002	420	0.55	0.02	-0.04	0.0002	337	0.820002
31	-0.02	-0.02	0.0008	564	0.709999	-0.05	0.03	0.0034	243	0.609999
32	-0.02	-0.24	0.058	237	0.280001	-0.03	-0.02	0.0013	326	0.82
33	-0.01	0	1.00E-04	538	0.71	-0.03	-0.01	0.001	444	1.040001
34	0.01	-0.04	0.0017	289	0.33	-0.02	0.01	0.0005	251	0.66
35	0	0	0	438	0.55	0.02	-0.02	0.0008	217	0.5
36	0.04	0.03	0.0025	352	0.49	0	0.04	0.0016	209	0.549999
37	-0.03	0.04	0.0025	232	0.280001	0.01	-0.02	0.0005	361	0.880001
38	-0.03	0.02	0.0013	229	0.269999	-0.01	0.05	0.0026	439	1.039999
39	0.02	-0.04	0.002	266	0.33	-0.03	-0.01	0.001	240	0.6
40	0.05	0	0.0025	504	0.66	0.02	-0.02	0.0008	397	0.99
41	0.02	-0.06	0.004	203	0.280001	0.01	-0.03	0.001	307	0.77
42	-0.05	-0.03	0.0034	466	0.549999	-0.04	-0.03	0.0025	460	1.099998
43	0.03	-0.06	0.0045	632	0.820002	0.01	0.03	0.001	495	1.210003
44	0.05	0.03	0.0034	259	0.33	-0.04	-0.03	0.0025	265	0.66
45	-0.02	-0.01	0.0005	280	0.33	-0.03	0.04	0.0025	558	1.369999
46	0.03	0.03	0.0018	281	0.379999	0.02	0.04	0.002	463	1.16
47	0	0.03	0.0009	362	0.440001	-0.02	-0.02	0.0008	299	0.709999
48	-0.01	0.05	0.0026	453	0.610001	0.02	0.03	0.0013	283	0.720001
49	-0.04	0.06	0.0052	406	0.49	0.03	-0.04	0.0025	283	0.709999
50	0.08	-0.01	0.0065	265	0.33	-0.08	0	0.0064	473	1.150002
51	-0.06	-0.01	0.0037	317	0.389999	0.01	0.01	0.0002	205	0.5
52	0.03	-0.12	0.0153	231	0.33	-0.02	0.01	0.0005	454	1.099998
53	-0.04	0.02	0.002	422	0.49	-0.05	-0.03	0.0034	247	0.600002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.3 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F1 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

54	0.05	-0.01	0.0026	361	0.5	-0.04	0.1	0.0116	253	0.609997
55	-0.04	0.09	0.0097	286	0.33	0.02	0.04	0.002	355	0.880001
56	0.01	-0.04	0.0017	523	0.66	0.05	0.01	0.0026	348	0.869999
57	0.05	0.03	0.0034	316	0.380001	-0.03	-0.06	0.0045	289	0.720001
58	-0.18	0.08	0.0388	211	0.27	-0.02	-0.07	0.0053	472	1.150002
59	-0.02	0.01	0.0005	583	0.769999	0.02	0	0.0004	314	0.77
60	-0.01	-0.02	0.0005	314	0.390001	-0.02	0.09	0.0085	293	0.719997
61	0.03	0.02	0.0013	722	0.929998	-0.04	-0.01	0.0017	213	0.549999
62	-0.05	0.05	0.005	236	0.280001	-0.15	0.08	0.0289	228	0.540001
63	-0.03	0.02	0.0013	404	0.49	0.02	0.01	0.0005	324	0.77
64	-0.04	-0.03	0.0025	216	0.280001	0.02	0.08	0.0068	300	0.77
65	0.07	-0.02	0.0035	285	0.33	0.01	0.03	0.001	254	0.610001
66	0.02	0.01	0.0005	243	0.27	-0.01	-0.01	0.0002	274	0.66
67	-0.02	-0.02	0.0008	446	0.609999	0	0.01	1.00E-04	595	1.48
68	0.01	0.05	0.0026	213	0.27	-0.05	0.01	0.0026	276	0.66
69	-0.03	-0.03	0.0018	473	0.549999	0.02	-0.01	0.0005	219	0.549999
70	0.03	0.01	0.001	569	0.710001	-0.01	0	1.00E-04	221	0.549999
71	-0.05	-0.02	0.0029	330	0.440001	0.02	0	0.0004	421	1.040001
72	0.03	0.06	0.0045	478	0.610001	-0.02	-0.04	0.002	399	0.990002
73	0.03	-0.01	0.001	233	0.27	-0.01	-0.03	0.001	624	1.489998
74	0.04	0.01	0.0017	405	0.549999	-0.03	-0.03	0.0018	368	0.93
75	-0.01	0.08	0.0065	206	0.279999	-0.05	0.02	0.0029	424	1.040001
76	0.01	0	1.00E-04	506	0.599998	-0.01	0.03	0.001	325	0.77
77	-0.03	-0.02	0.0013	212	0.280003	0.03	0.04	0.0025	542	1.380001
78	-0.01	0.04	0.0017	230	0.27	-0.01	-0.04	0.0017	243	0.549995
79	0.05	0.01	0.0026	252	0.329998	0	0.04	0.0016	225	0.600006
80	-0.05	-0.02	0.0029	245	0.330002	-0.01	0.02	0.0005	518	1.259995
81	-0.03	0.12	0.0153	204	0.219997	0.04	-0.06	0.0052	375	0.880005

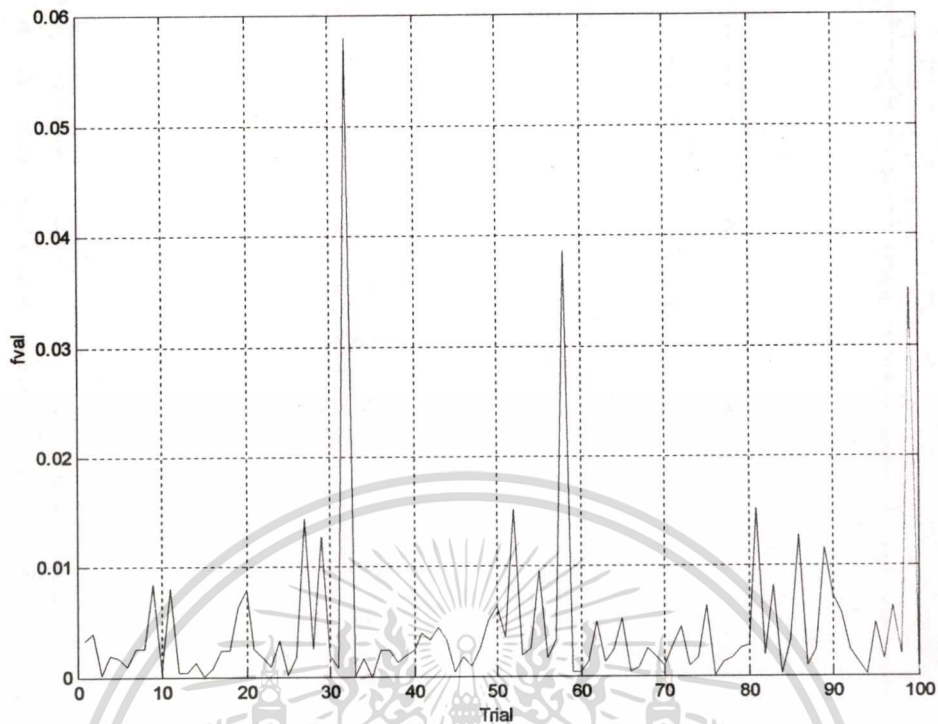
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.3 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F1 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

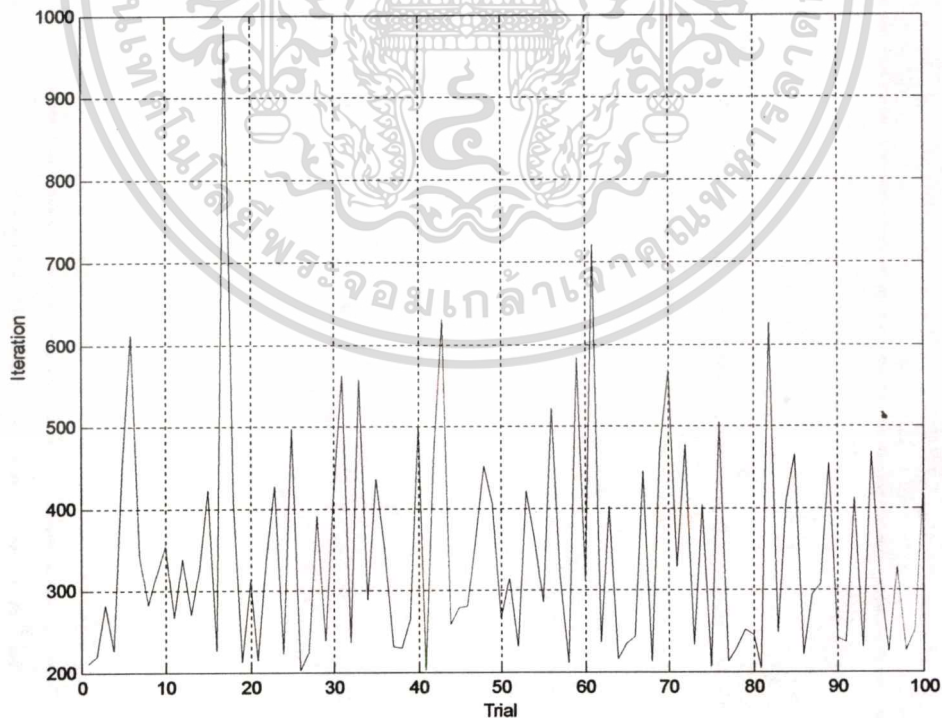
82	0.02	0.04	0.002	627	0.82	-0.01	-0.01	-0.01	0.0002	491	1.209999
83	0.01	-0.09	0.0082	248	0.330002	0.04	0.04	0.02	0.002	258	0.659996
84	0.01	0.01	0.0002	411	0.5	0.03	0.03	-0.12	0.0153	210	0.5
85	0.05	0.03	-0.0034	467	0.599998	-0.03	-0.03	0.01	0.001	462	1.150002
86	-0.08	0.08	0.0128	221	0.280003	-0.07	-0.07	0.08	0.0113	213	0.489998
87	-0.01	-0.03	0.001	295	0.379997	0.01	0.01	0.03	0.001	208	0.550003
88	0.04	0.03	0.0025	308	0.390003	0.02	0.02	-0.04	0.002	442	1.099998
89	-0.06	-0.09	0.0117	456	0.549999	0.03	0.03	-0.01	0.001	288	0.660004
90	0.05	-0.07	0.0074	241	0.329998	0.01	0.01	-0.02	0.0005	348	0.879997
91	0.03	-0.07	0.0058	236	0.27	0.01	0.01	0.01	0.0002	318	0.770004
92	0.04	-0.03	0.0025	413	0.549999	-0.01	-0.01	0.04	0.0017	349	0.879997
93	-0.02	0.03	0.0013	229	0.27	-0.01	-0.01	0.03	0.001	249	0.599998
94	-0.01	-0.01	0.0002	469	0.610001	0.02	0.02	-0.02	0.0008	412	0.989998
95	0	0.07	0.0049	315	0.380001	0.01	0.01	-0.03	0.001	220	0.550003
96	-0.04	0	0.0016	224	0.279999	0.04	0.04	0	0.0016	369	0.940002
97	0	-0.08	0.0064	331	0.440002	0.03	0.03	-0.04	0.0025	272	0.659996
98	0.02	0.04	0.002	227	0.269997	0.04	0.04	-0.04	0.0032	491	1.200005
99	-0.17	0.08	0.0353	250	0.330002	0.01	0.01	0.01	0.0002	329	0.769997
100	-0.02	0.01	0.0005	421	0.5	-0.02	-0.02	-0.02	0.0008	540	1.379997
ค่าที่ดีที่สุด	0	0	0	438	0.55	-0.01	-0.01	0	1.00E-04	221	0.549999
ค่าเฉลี่ย			0.4547	345.53	43.62				0.003139	338.38	0.8307
ค่าแย่ที่สุด	-0.02	-0.24	0.058	237	0.280001	0.19	0.19	0.08	0.0425	215	0.55

\*\*\* หมายถึง ฟังก์ชันการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 8.1-8.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

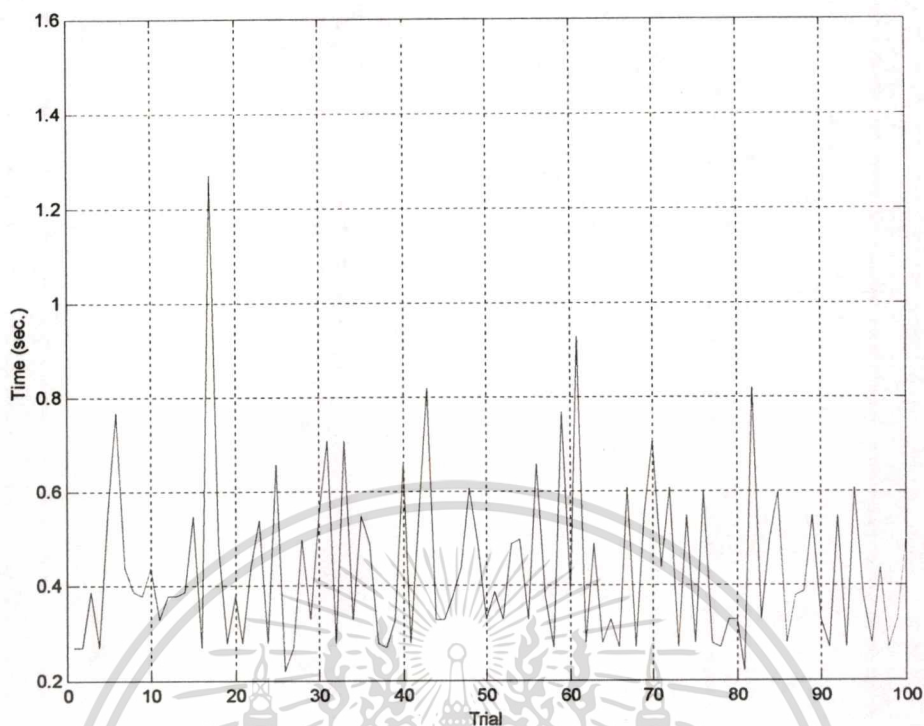


รูปที่ 8.3 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F1$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

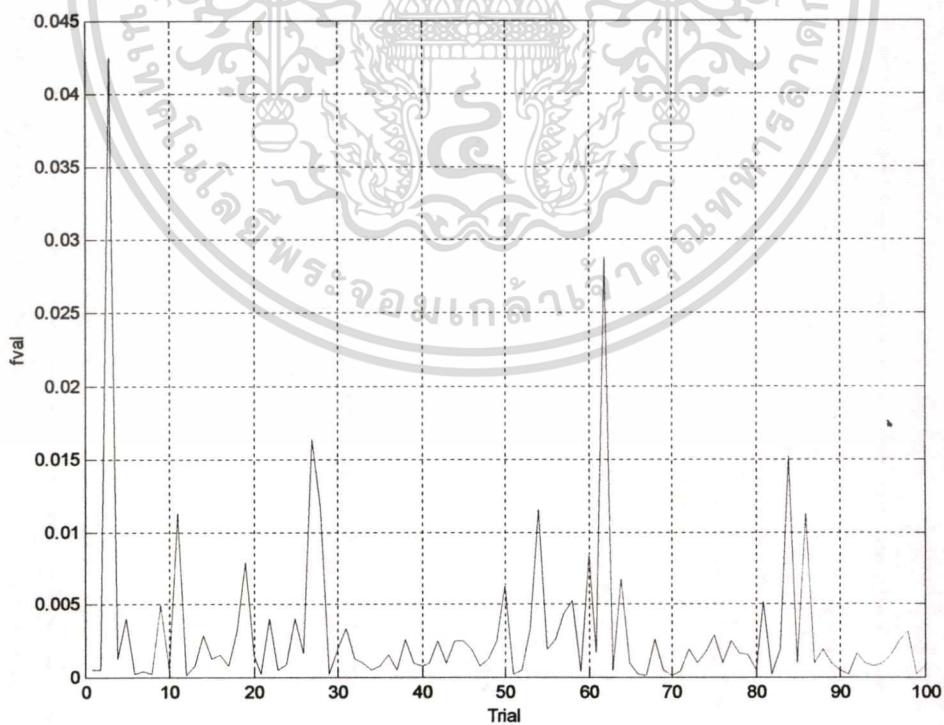


รูปที่ 8.4 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F1$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

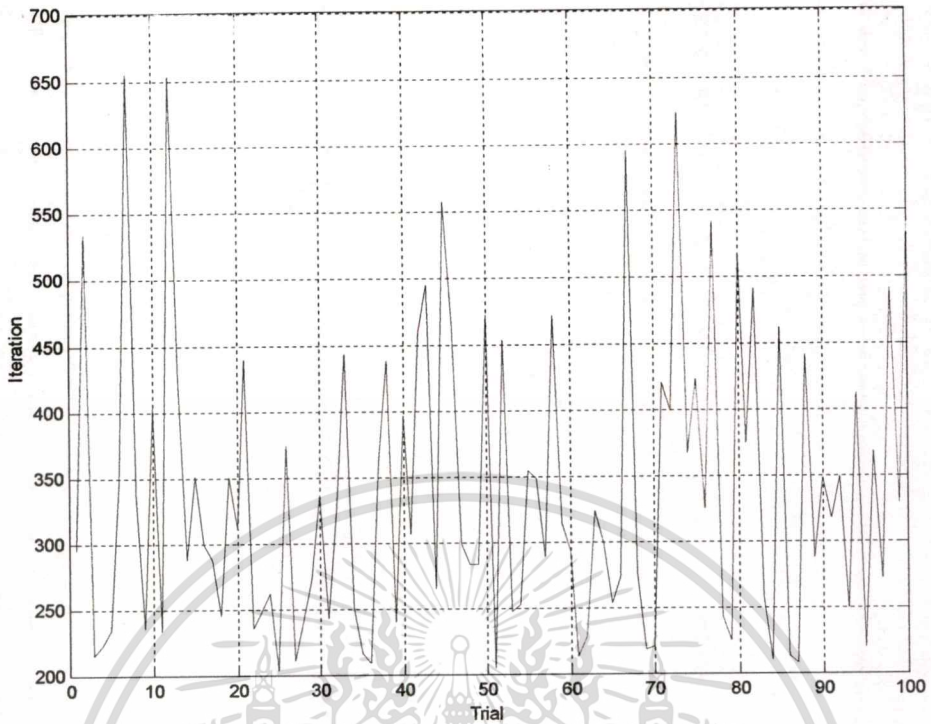


รูปที่ 8.5 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังค์ชั้น  $F1$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

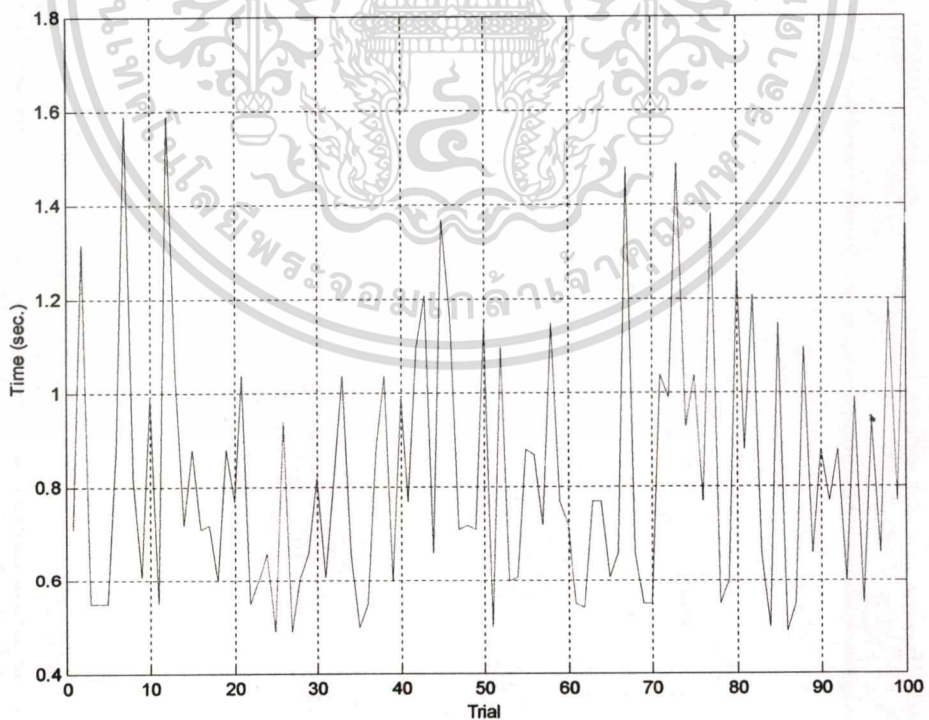


รูปที่ 8.6 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังค์ชั้น  $F1$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

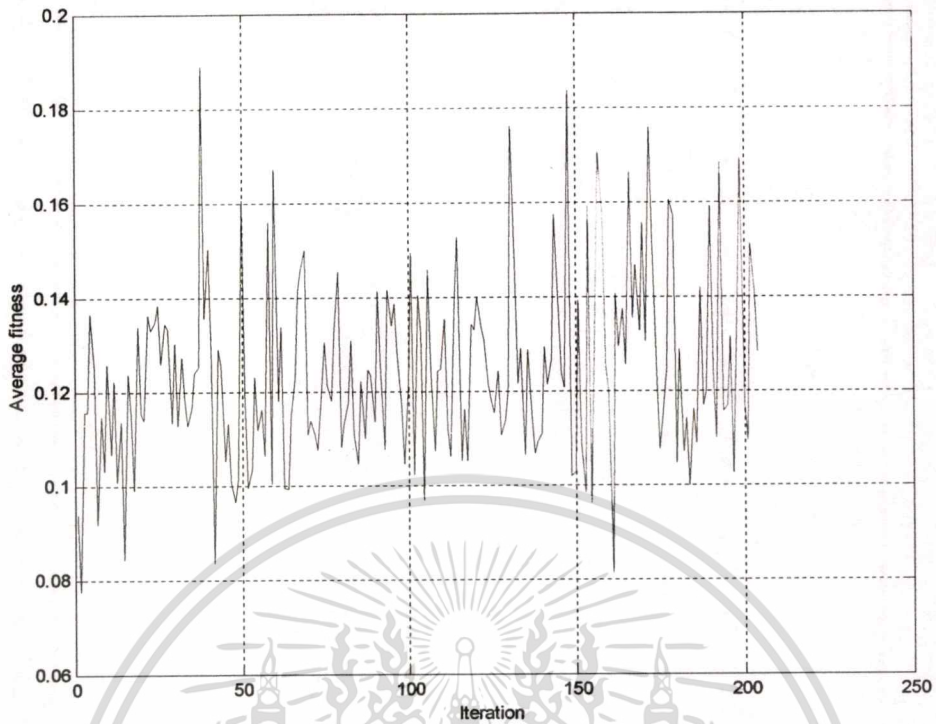


รูปที่ 8.7 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F1$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

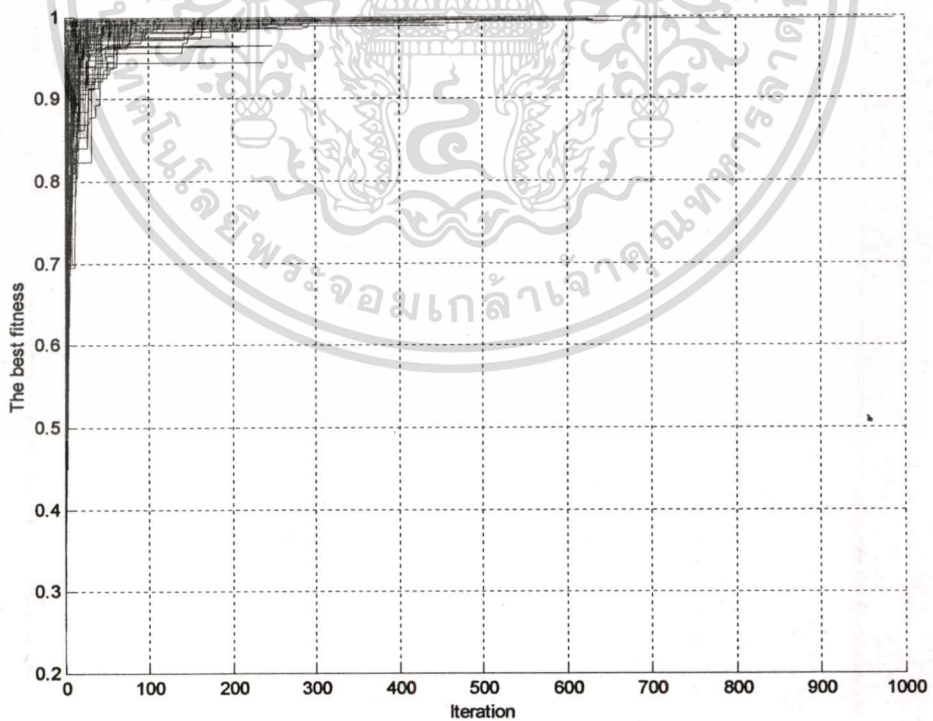


รูปที่ 8.8 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F1$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

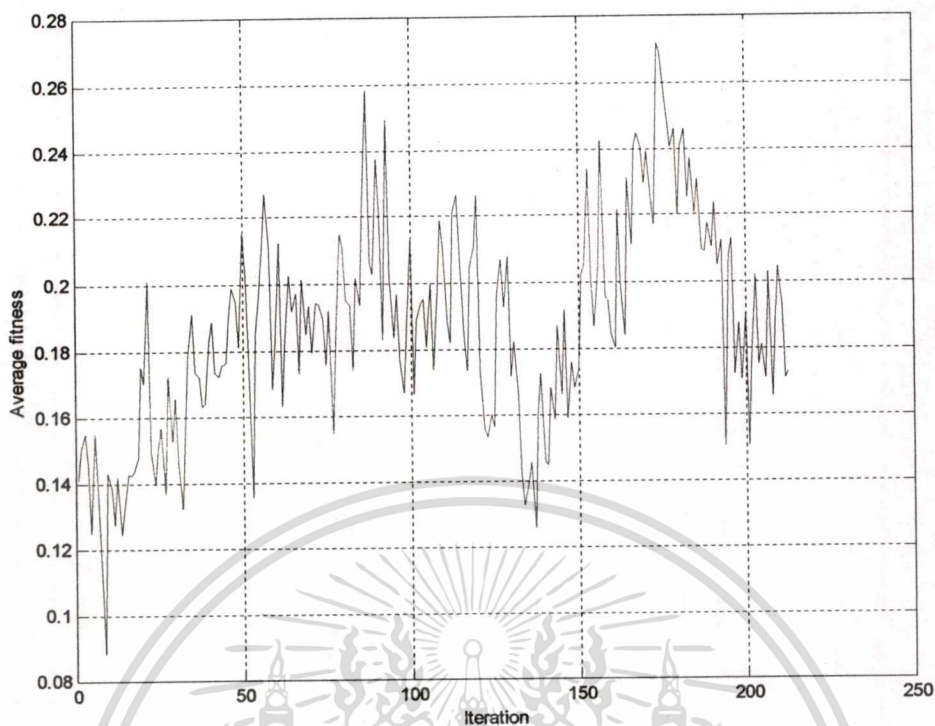


รูปที่ 8.9 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F1$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

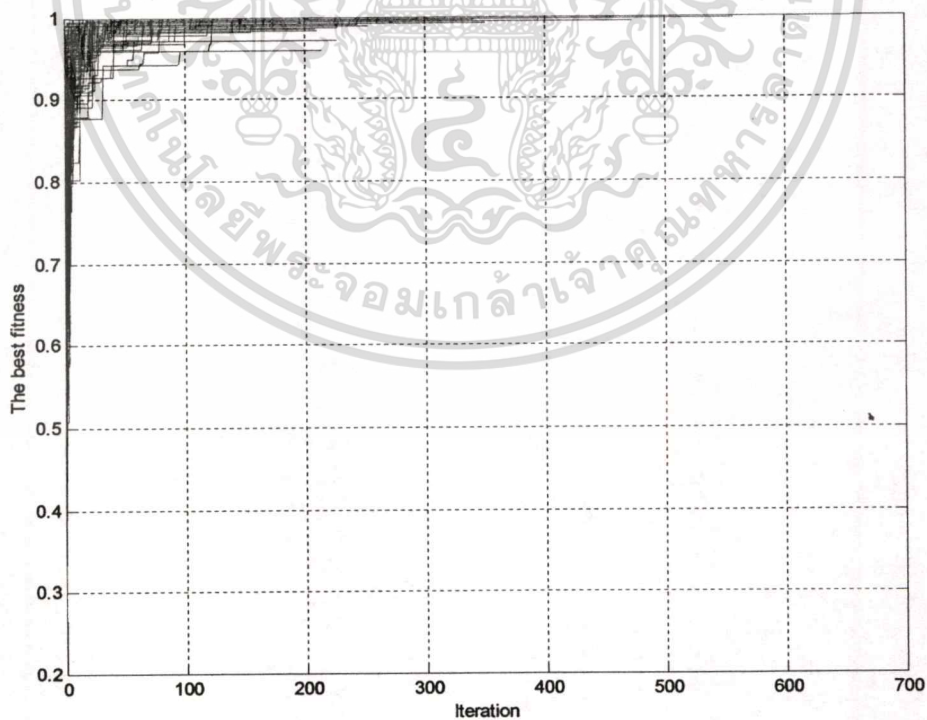


รูปที่ 8.10 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F1$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

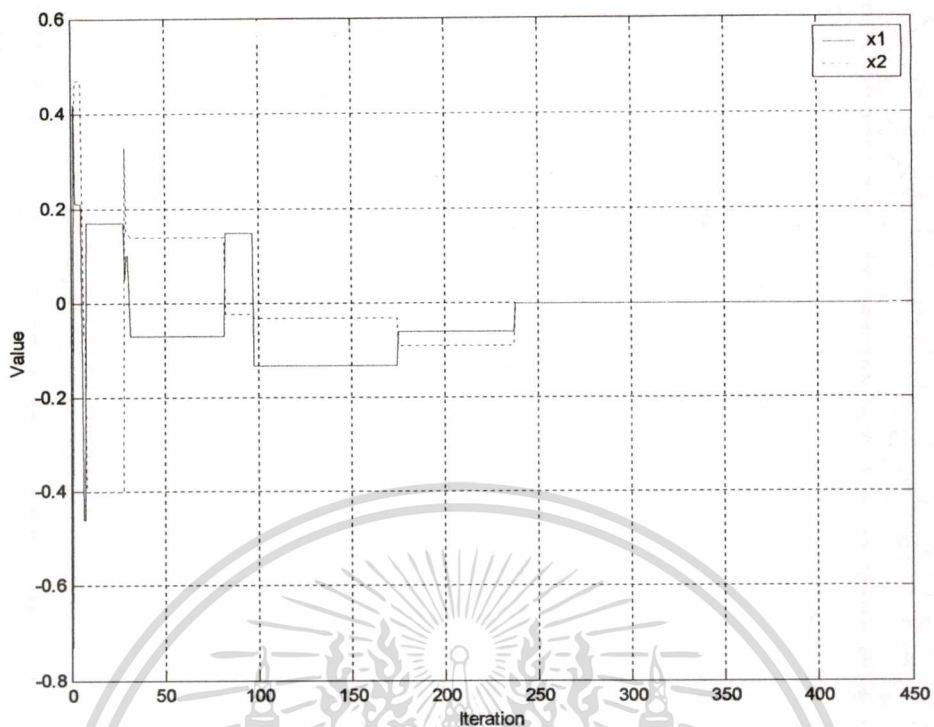


รูปที่ 8.11 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F1$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

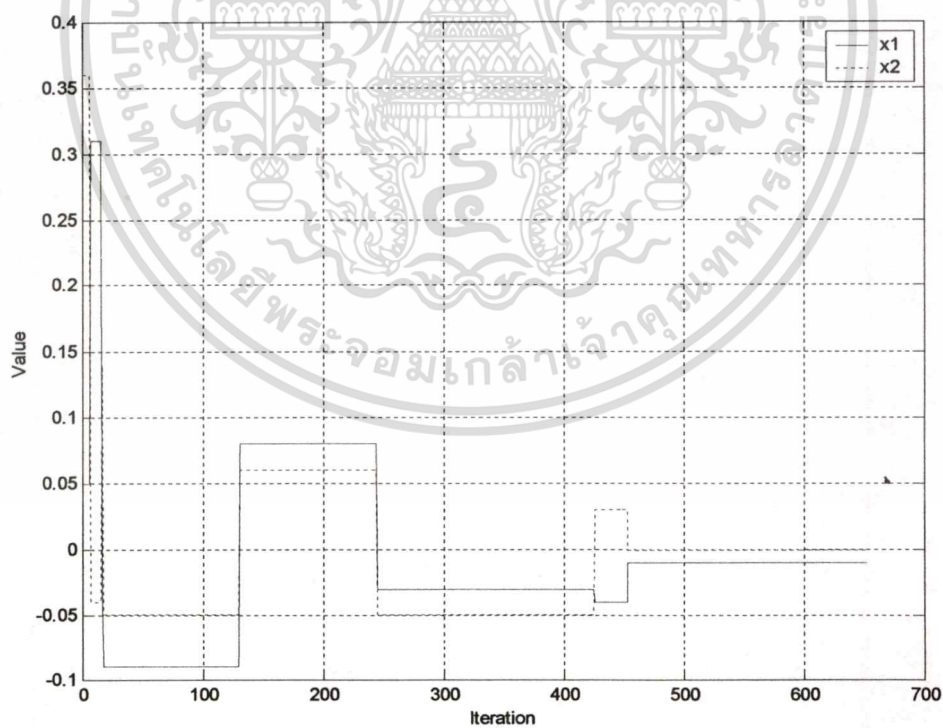


รูปที่ 8.12 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F1$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



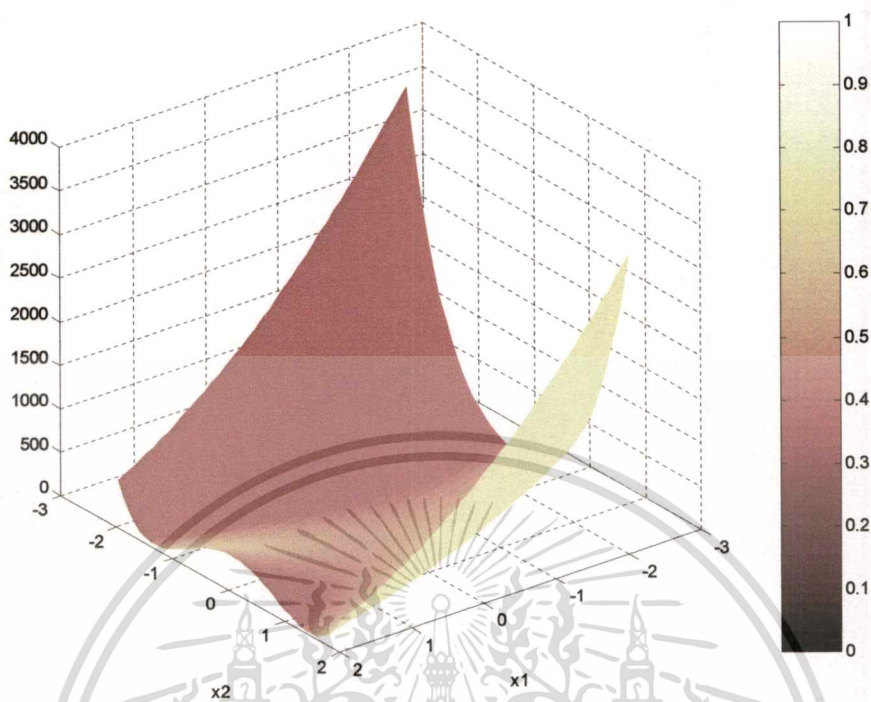
รูปที่ 8.13 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F1$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)



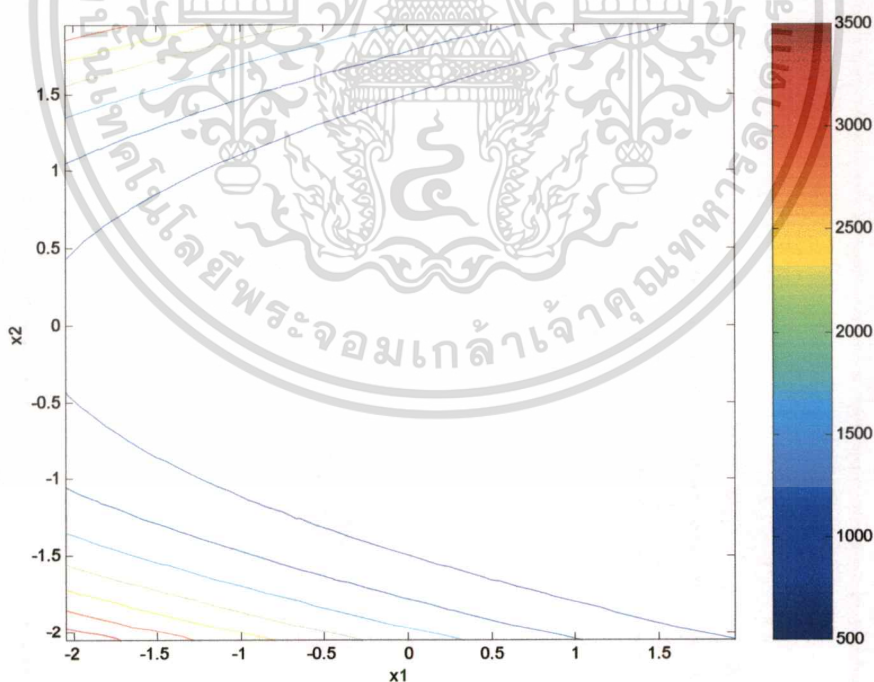
รูปที่ 8.14 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F1$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8.1.2 ฟังก์ชัน $F_2$ (Rosenbrock's valley function)



รูปที่ 8.15 ลักษณะฟังก์ชัน  $F_2 : f(x_i |_{i=1,2}) = 100(x_1^2 - x_2)^2 + (1 - x_1)^2$   $x_i \in [-2.048, 2.047]$



รูปที่ 8.16 ลักษณะเส้น โครงร่างฟังก์ชัน  $F_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.4 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F2 จำนวน 100 ครั้ง

การทดสอบ ครั้งที่	BF		AOGAs				AONGAs						
	X1	X2	Val	X1	X2	Val	iter	Time (sec.)	X1	X2	Val	iter	Time (sec.)
1	1.0	1.0	0.0	1.064	1.132	0.004097	238	0.32	1.004	1.016	0.00639	202	0.49
2				0.908	0.828	0.009714	536	0.72	1.052	1.112	0.005509	257	0.66
3				0.956	0.912	0.002311	257	0.33	1.08	1.16	0.010496	434	1.04
4				1.008	1.02	0.001613	473	0.6	0.944	0.888	0.004119	292	0.72
5				0.956	0.92	0.005613	504	0.61	0.992	0.984	6.44E-05	241	0.6
6				1	0.984	0.0256	225	0.33	1.004	1.004	0.001629	337	0.83
7				0.992	0.984	6.44E-05	494	0.6	1.04	1.076	0.004736	382	0.98
8				1.032	1.06	0.003548	238	0.28	1.028	1.06	0.001818	340	0.83
9				1.04	1.076	0.004736	244	0.33	0.888	0.784	0.014609	328	0.77
10				0.9	0.816	0.0136	415	0.55	0.952	0.904	0.002835	480	1.21
11				1.036	1.076	0.002027	251	0.27	0.976	0.952	0.000609	427	1.04
12				0.872	0.756	0.018306	347	0.44	1.016	1.028	0.002067	571	1.43
13				0.98	0.956	0.002336	447	0.6	1.048	1.1	0.002592	251	0.5999999
14				1.028	1.048	0.0085	269	0.33	0.972	0.944	0.000845	374	0.9400001
15				1.064	1.132	0.004097	226	0.28	0.996	0.988	0.001629	334	0.77
16				1.076	1.16	0.006271	285	0.38	0.968	0.936	0.001129	640	1.59
17				1.028	1.056	0.000845	317	0.39	1.056	1.112	0.004119	263	0.66
18				0.984	0.972	0.001688	357	0.44	0.936	0.884	0.010343	282	0.66
19				1.004	1.004	0.001629	317	0.44	0.96	0.928	0.005696	481	1.2100001
20				1.004	1.016	0.00639	305	0.38	1.02	1.052	0.013856	429	1.0399999
21				1.036	1.072	0.001464	211	0.28	1.06	1.124	0.003616	390	0.99
22				1.04	1.084	0.002176	845	1.04	0.956	0.916	0.002362	465	1.1
23				0.996	0.992	1.60E-05	441	0.55	0.98	0.96	0.000416	253	0.66
24				0.94	0.884	0.003616	574	0.71	1.032	1.068	0.00191	453	1.1
25				1.008	1.02	0.001613	455	0.6100001	0.976	0.956	0.001748	338	0.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.4 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F2 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

26	0.976	0.96	0.006087	219	0.27	1.06	1.124	0.003616	395	0.99
27	0.992	0.988	0.001613	449	0.55	1.032	1.064	0.001129	340	0.83
28	0.944	0.892	0.003211	225	0.28	0.984	0.972	0.001658	292	0.710001
29	0.9	0.804	0.0136	299	0.38	0.98	0.96	0.000416	444	1.1
30	1.008	1.016	6.44E-05	407	0.55	0.992	0.996	0.014311	282	0.66
31	1.012	1.024	0.000146	496	0.61	0.96	0.916	0.004736	253	0.66
32	1.116	1.248	0.014103	261	0.33	0.92	0.84	0.010496	211	0.49
33	1.052	1.116	0.011345	326	0.43	0.996	0.996	0.001603	400	0.99
34	1.128	1.272	0.016399	227	0.28	0.912	0.828	0.009146	214	0.549999
35	0.984	0.968	0.000263	302	0.38	0.952	0.9	0.006278	226	0.550001
36	0.988	0.976	0.000146	426	0.55	1.076	1.16	0.006271	408	0.99
37	0.984	0.96	0.007072	270	0.33	1	1.004	0.0016	723	1.809999
38	0.908	0.824	0.008486	298	0.389999	0.996	0.988	0.001629	355	0.830002
39	1.036	1.072	0.001464	626	0.77	0.952	0.9	0.006278	397	0.989998
40	1.016	1.032	0.000263	498	0.66	0.98	0.956	0.002336	350	0.869999
41	1	0.996	0.0016	640	0.77	0.94	0.892	0.010656	208	0.5
42	1.016	1.044	0.014048	225	0.33	1.028	1.06	0.001818	555	1.370003
43	0.98	0.964	0.001696	235	0.27	1.004	1.012	0.001603	467	1.16
44	1.028	1.056	0.000845	217	0.269999	1.016	1.032	0.000263	329	0.82
45	1.048	1.1	0.002592	726	0.940001	1.032	1.064	0.001129	359	0.880001
46	0.984	0.972	0.001636	433	0.550001	0.988	0.976	0.000146	279	0.66
47	1.036	1.072	0.001464	350	0.439999	0.996	0.992	1.60E-05	332	0.82
48	0.996	0.996	0.001603	288	0.380001	1.044	1.096	0.005613	279	0.66
49	1.004	1.008	1.60E-05	441	0.549999	0.948	0.892	0.007199	419	1.049999
50	0.92	0.852	0.009536	560	0.720001	0.996	0.992	1.60E-05	470	1.150002
51	0.984	0.968	0.000263	443	0.549999	1.056	1.12	0.005502	229	0.599998
52	1.008	1.02	0.001613	346	0.440001	1.036	1.08	0.00379	276	0.66
53	1.004	1.012	0.001603	786	0.98	0.976	0.96	0.006087	494	1.209999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.4 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F2 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

54	1.024	1.044	0.00267	300	0.389999	1.048	1.096	0.002835	328	0.830002
55	0.984	0.968	0.000263	444	0.550001	1.02	1.04	0.000416	598	1.43
56	1.032	1.068	0.00191	216	0.269999	1	0.992	0.0064	310	0.759998
57	0.996	0.996	0.001603	232	0.280001	0.996	0.996	0.001603	367	0.939999
58	0.936	0.88	0.00562	330	0.440001	0.98	0.968	0.006176	315	0.77
59	0.984	0.976	0.006253	291	0.379999	1.02	1.032	0.007456	434	1.040001
60	0.98	0.964	0.001696	324	0.389999	1.008	1.008	0.006567	260	0.66
61	1.044	1.088	0.002311	364	0.490002	0.992	0.876	0.010064	402	0.990002
62	1	0.988	0.0144	277	0.33	0.976	0.948	0.00267	221	0.549999
63	0.916	0.84	0.007145	367	0.5	1.044	1.088	0.002311	430	1.040001
64	0.924	0.852	0.006091	421	0.49	0.992	0.988	0.001613	432	1.049999
65	1.004	1	0.006442	390	0.49	0.992	0.98	0.001716	248	0.599998
66	0.892	0.8	0.013544	381	0.5	0.968	0.932	0.003548	293	0.720001
67	0.948	0.896	0.003435	507	0.66	0.932	0.904	0.002835	363	0.93
68	0.948	0.892	0.007199	361	0.440001	1.04	1.08	0.001856	294	0.709999
69	1.02	1.036	0.002336	379	0.489998	0.86	0.74	0.019616	226	0.549999
70	0.988	0.98	0.001631	409	0.5	0.948	0.888	0.014162	201	0.5
71	0.984	0.972	0.001658	241	0.330002	0.984	0.972	0.001658	388	0.93
72	1.004	1.004	0.001629	201	0.220001	0.98	0.96	0.000416	337	0.830002
73	1.028	1.06	0.001818	492	0.66	0.948	0.9	0.002872	262	0.66
74	0.98	0.956	0.002336	239	0.27	0.948	0.9	0.002872	221	0.549995
75	0.992	0.988	0.001613	493	0.66	0.976	0.948	0.00267	275	0.660004
76	0.996	0.992	1.60E-05	388	0.439999	0.968	0.94	0.00191	464	1.150002
77	1.052	1.112	0.005509	206	0.27	0.976	0.96	0.006087	331	0.82
78	0.94	0.884	0.003616	206	0.279999	1.004	1.008	1.60E-05	448	1.099998
79	1.072	1.148	0.003324	264	0.330002	1.036	1.072	0.001464	323	0.769997
80	1.052	1.108	0.002872	436	0.549999	0.972	0.948	0.001818	517	1.320007
81	1.024	1.048	0.000609	524	0.66	0.976	0.956	0.001748	505	1.209999

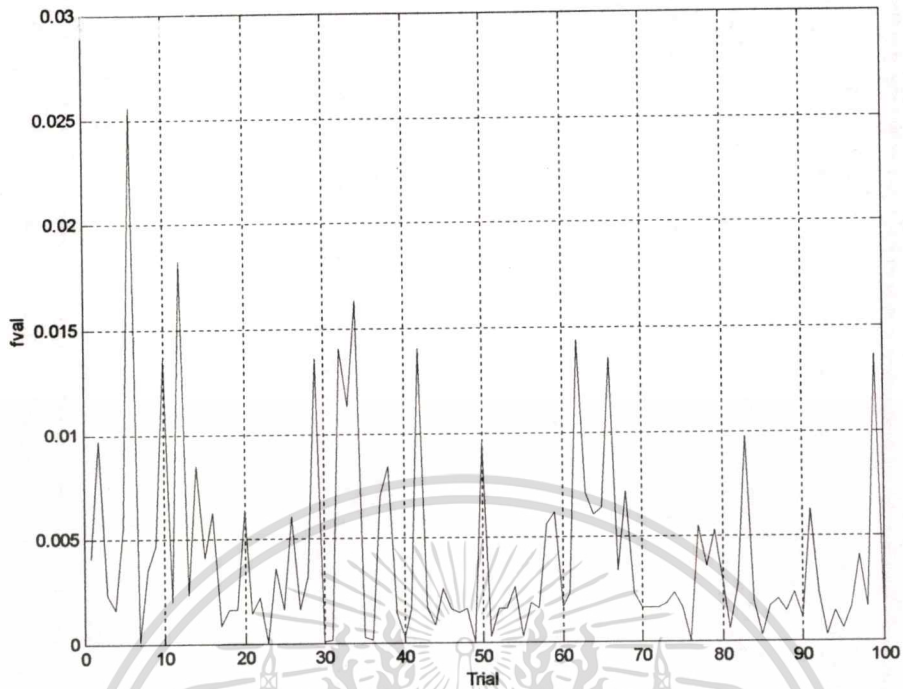
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.4 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F2 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

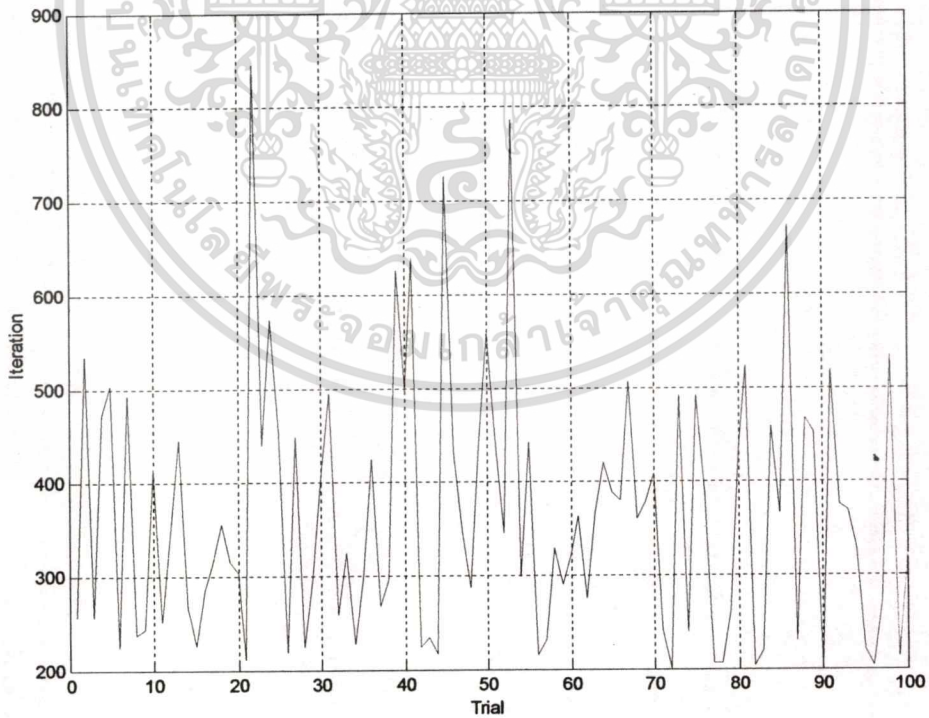
82	1.024	1.044	0.00267	204	0.27	1.04	1.084	0.002176	255	0.659996
83	1.072	1.156	0.00983	220	0.279999	0.988	0.98	0.001631	407	0.989998
84	1.04	1.08	0.001856	460	0.599998	1.084	1.18	0.0095	313	0.770004
85	1.016	1.032	0.000263	368	0.440002	1.092	1.188	0.010457	329	0.82
86	1.02	1.044	0.001696	673	0.880001	0.98	0.968	0.006176	318	0.769997
87	1.036	1.076	0.002027	231	0.269997	1.084	1.172	0.00799	756	1.870003
88	1.036	1.072	0.001464	469	0.610001	1.048	1.092	0.006278	476	1.150002
89	0.98	0.956	0.002336	454	0.549999	0.952	0.904	0.002835	211	0.5
90	1.032	1.064	0.001129	201	0.27	0.936	0.888	0.018266	261	0.659996
91	1.048	1.092	0.006278	520	0.66	1.008	1.024	0.006362	298	0.709999
92	1.044	1.088	0.002311	376	0.5	1.008	1.02	0.001613	295	0.770004
93	1.016	1.032	0.000263	371	0.440002	1.016	1.036	0.001658	323	0.769997
94	1.036	1.072	0.001464	331	0.439999	1.004	1	0.006442	217	0.550003
95	0.976	0.952	0.000609	222	0.27	0.972	0.952	0.005991	278	0.659996
96	0.992	0.988	0.001613	204	0.279999	1.056	1.12	0.005502	459	1.150002
97	1.064	1.132	0.004097	274	0.32	1.056	1.12	0.005502	417	0.990005
98	0.996	0.996	0.001603	534	0.66	1.028	1.06	0.001818	273	0.709999
99	0.928	0.852	0.013619	213	0.280003	1.008	1.012	0.001716	464	1.099998
100	1.004	1.004	0.001629	323	0.439999	0.976	0.96	0.006087	347	0.879997
ค่าต่ำสุด	0.996	0.992	1.60E-05	388	0.43999	0.996	0.992	1.60E-05	332	0.82
ค่าเฉลี่ย			0.00423	366.41	0.4648			0.004459	357.2	0.8785
ค่ามากที่สุด	1	0.984	0.0256	225	0.33	0.86	0.74	0.019616	226	0.549999

\*\*\*หมายเหตุ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 8.1-8.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

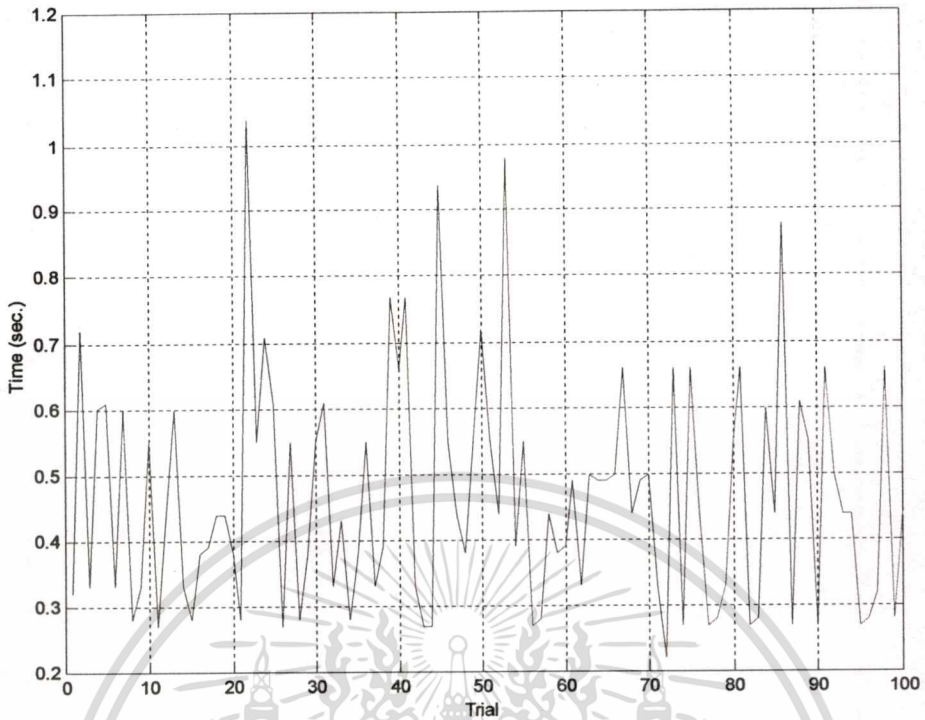


รูปที่ 8.17 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F2$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

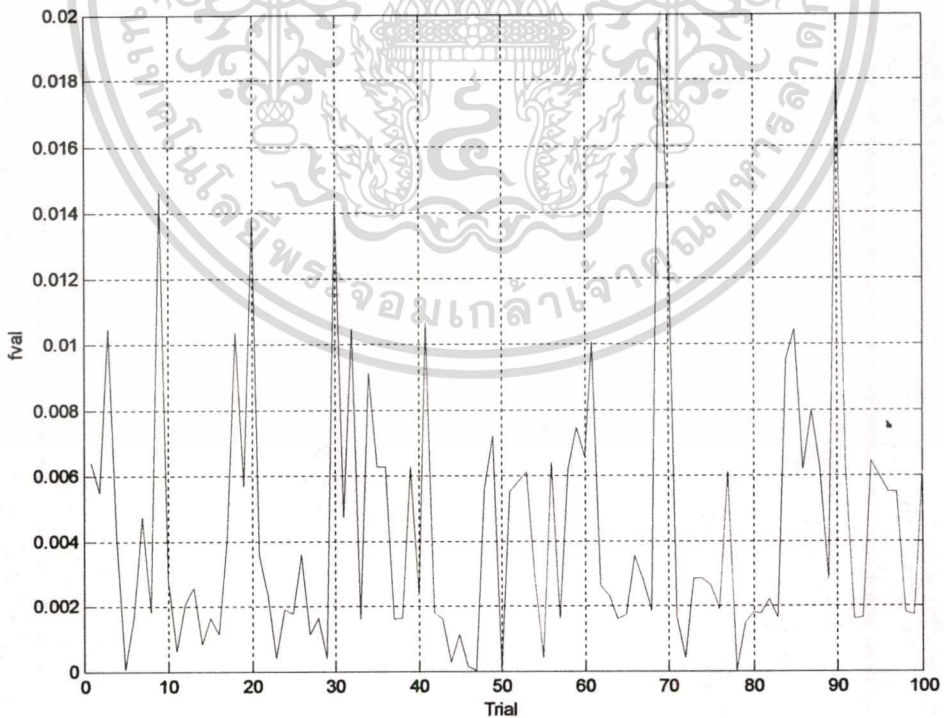


รูปที่ 8.18 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F2$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

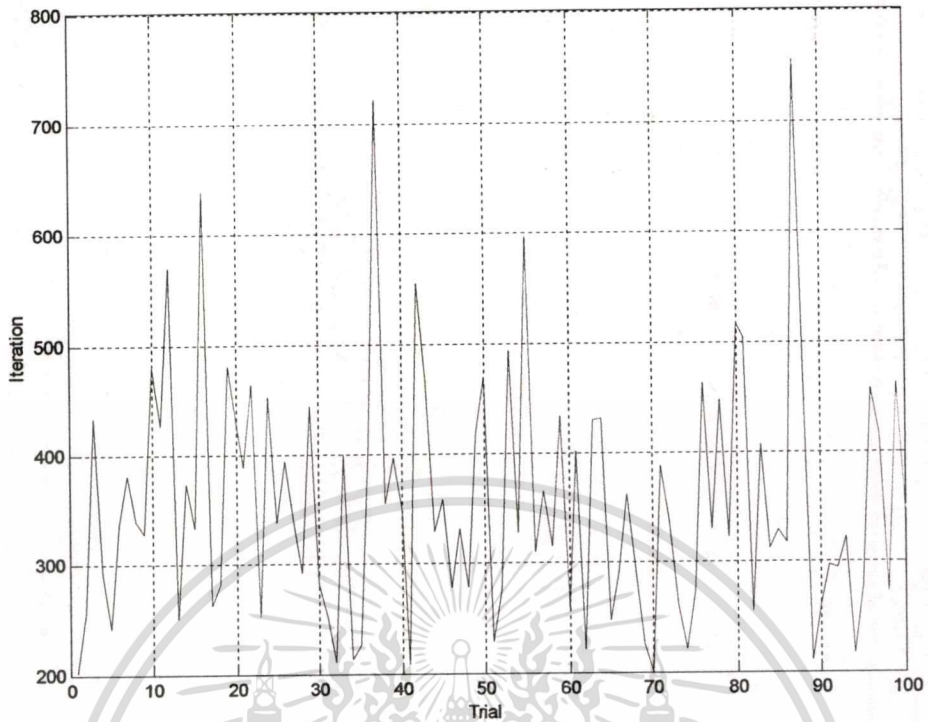


รูปที่ 8.19 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F2$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

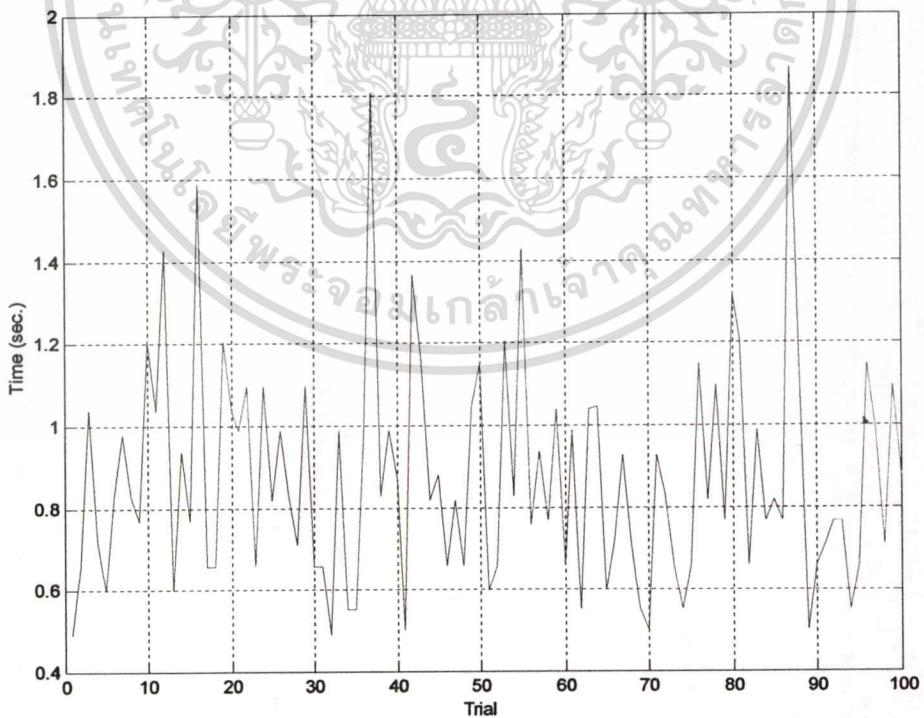


รูปที่ 8.20 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F2$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

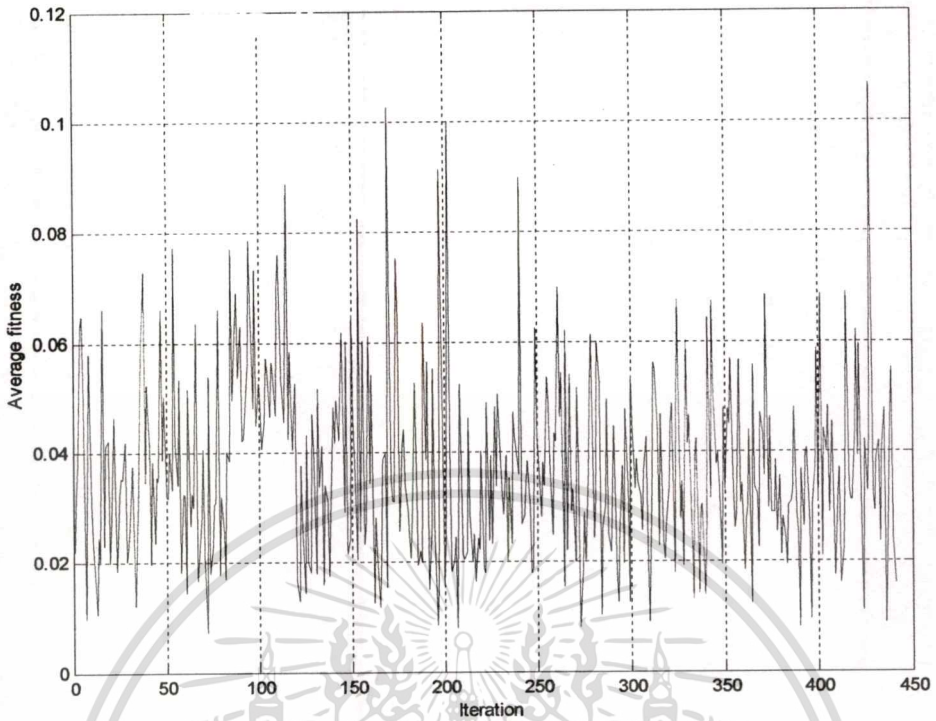


รูปที่ 8.21 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังค์ชั้น  $F_2$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

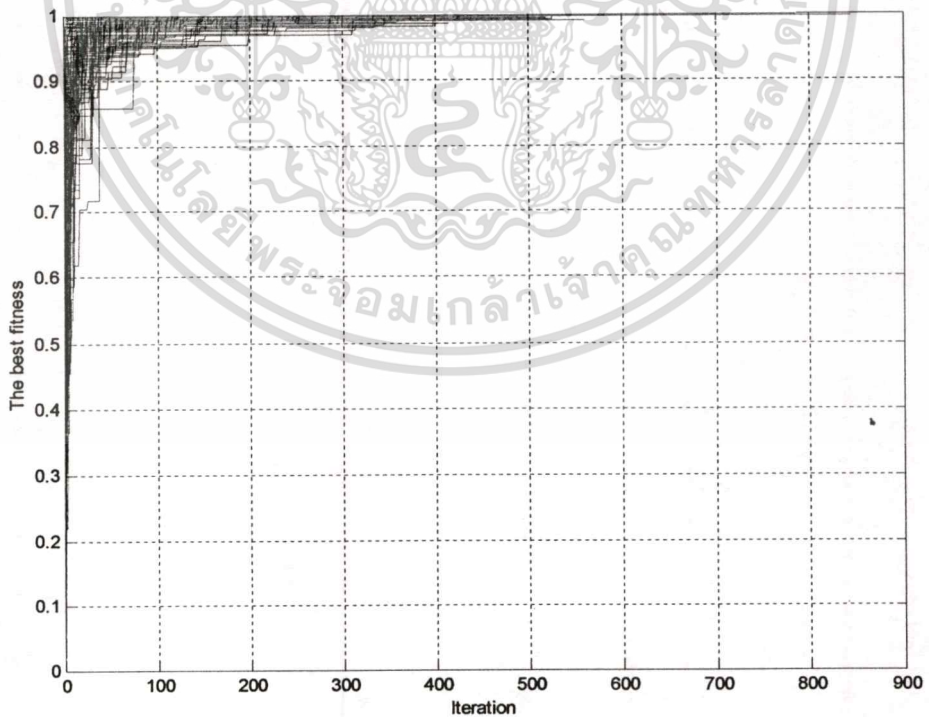


รูปที่ 8.22 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังค์ชั้น  $F_2$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

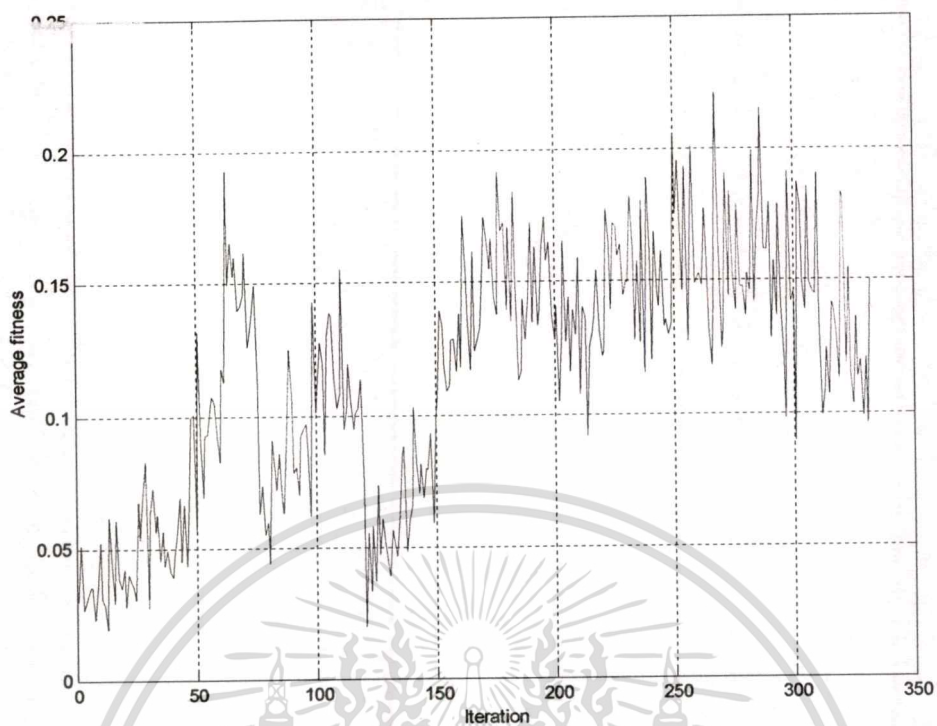


รูปที่ 8.23 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F2$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

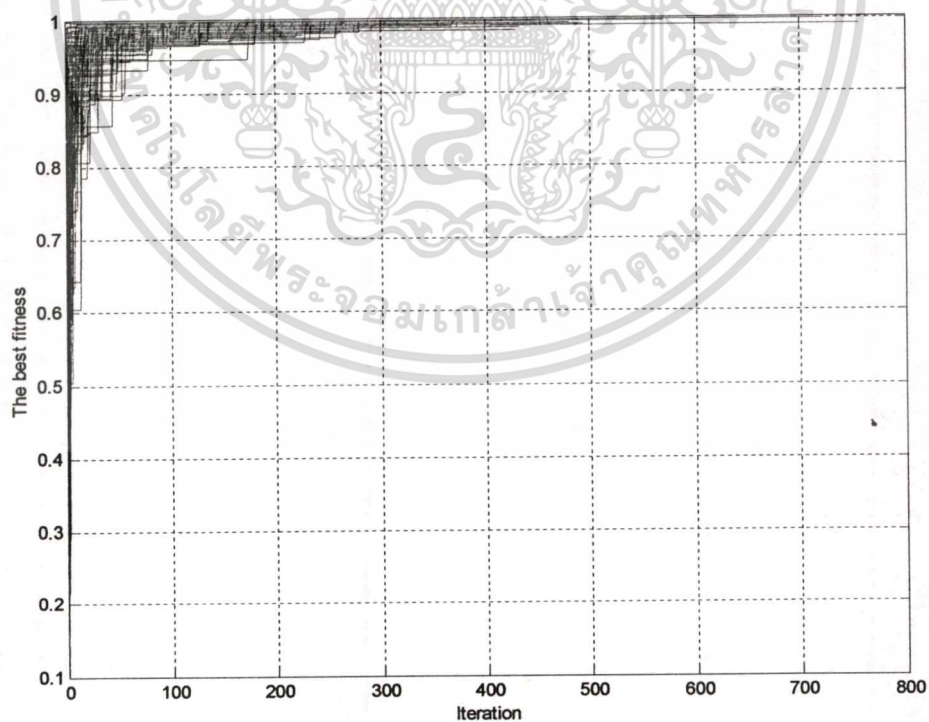


รูปที่ 8.24 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F2$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

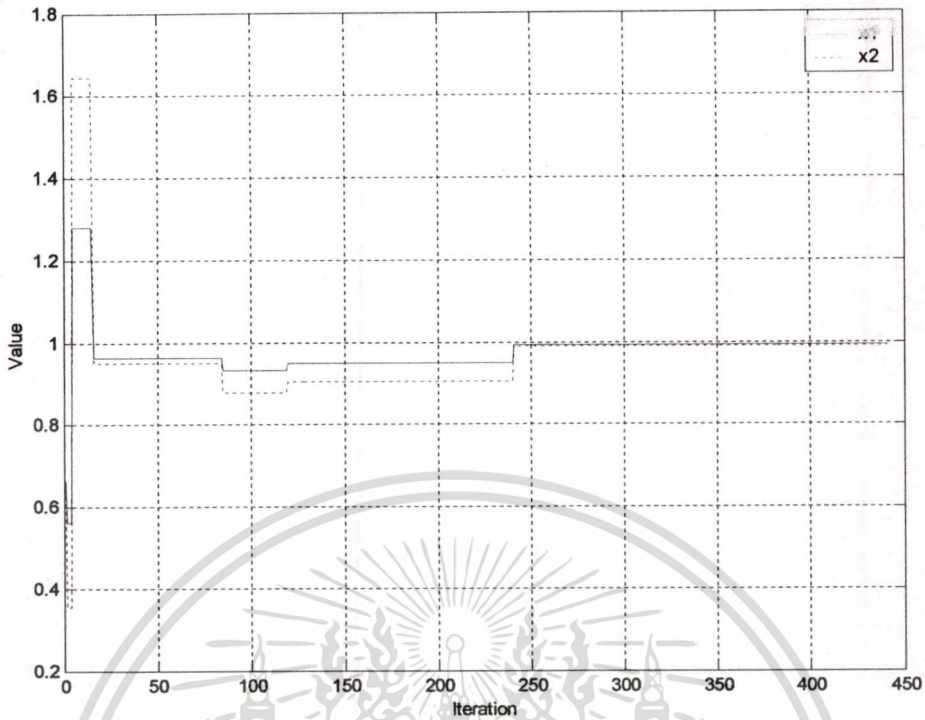


รูปที่ 8.25 ประสิทธิภาพของออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F2$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

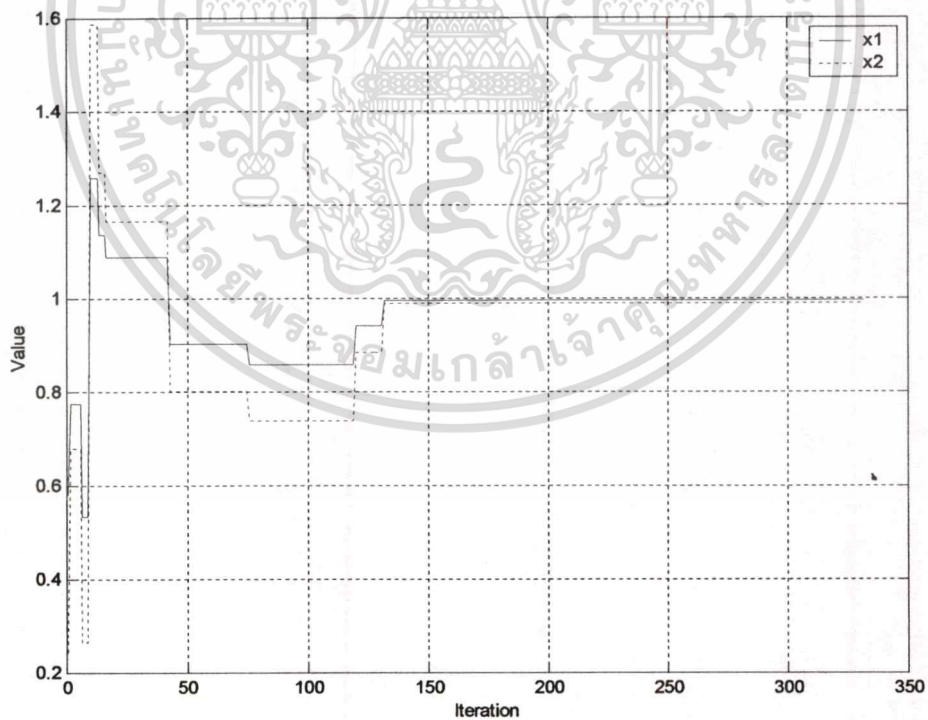


รูปที่ 8.26 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F2$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



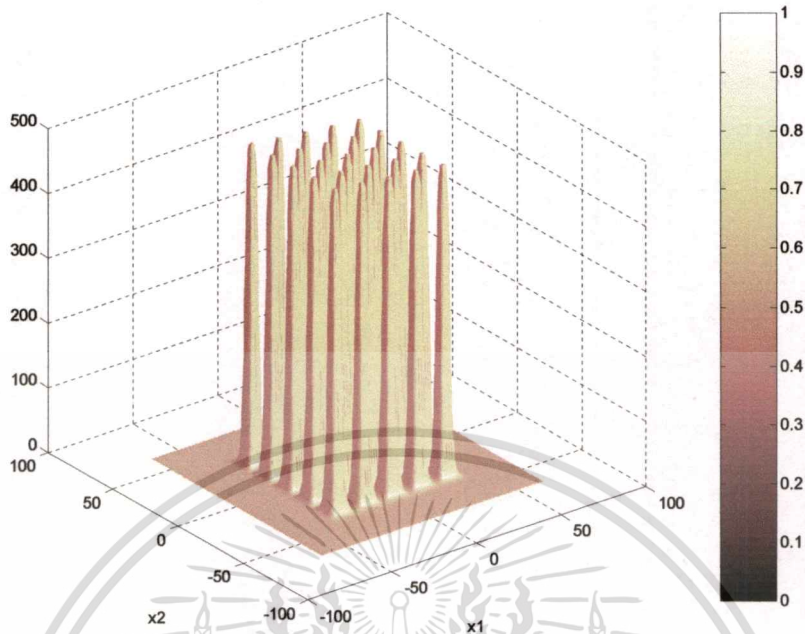
รูปที่ 8.27 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F_2$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)



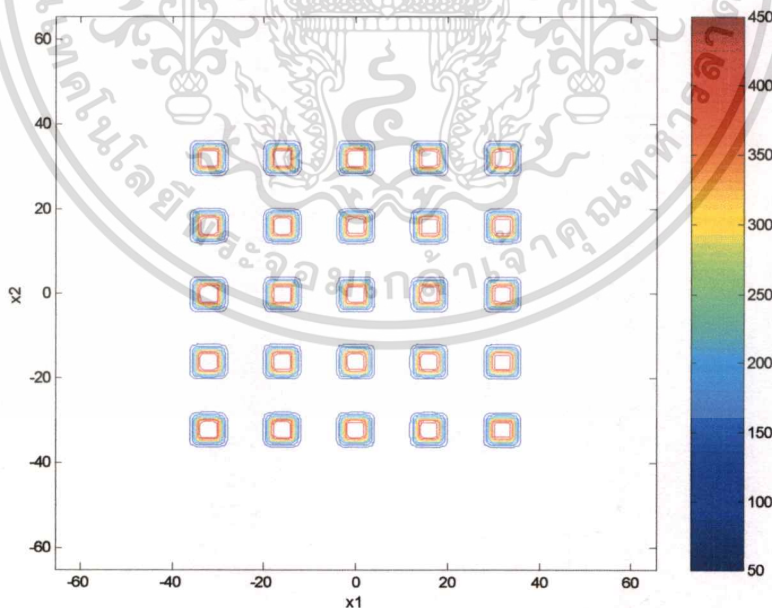
รูปที่ 8.28 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F_2$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8.1.3 ฟังก์ชัน $F5$ (Shekel's Foxholes function)



รูปที่ 8.29 ลักษณะฟังก์ชัน  $F5: f(x_i |_{i=1,2}) = 500 + \frac{1}{0.002 + \sum_{i=0}^{24} \frac{1}{1+i+(x_1-a_i)^6+(x_2-b_i)^6}}$   
 โดยที่  $x_i \in [-65.536, 65.536]$ ,  $a_i = 16[(i \bmod 5) - 2]$ , และ  $b_i = 16\lfloor i/5 \rfloor - 2$



รูปที่ 8.30 ลักษณะเส้นโครงร่างฟังก์ชัน  $F5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.5 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F5 จำนวน 100 ครั้ง

การทดสอบ ครั้งที่	BF		AOGAs				AONGAs					
	X1	X2	X1	X2	fval	iter	Time (sec.)	X1	X2	fval	iter	Time (sec.)
1	-32.0	-32.0	-31.808	-31.876	499.002	707	5.65	-32.324	-31.872	499.0009	369	4.06
2			-31.92	-31.908	499.002	668	5.39	-31.696	-32.216	499.0011	549	6.04
3			-31.796	-31.724	499.0015	489	3.9	-32.336	-31.412	498.9594	306	3.36
4			-31.76	-32.076	499.0018	542	4.34	-32.156	-31.62	498.999	351	3.9
5			-32.528	-32.404	498.9761	328	2.64	-32.116	-31.988	499.002	424	4.61
6			-31.956	-32.148	499.002	263	2.14	-32.352	-32.344	498.9984	493	5.44
7			-32.076	-31.948	499.002	612	4.89	-32.044	-31.864	499.002	532	5.83
8			-32.104	-31.94	499.002	416	3.35	-31.916	-32.236	499.0018	582	6.43
9			-32.116	-32.092	499.002	494	3.96	-31.852	-32.164	499.002	457	5
10			-32.012	-32.156	499.002	425	3.41	-31.824	-31.904	499.002	291	3.18
11			-31.908	-31.868	499.002	268	2.14	-31.948	-31.88	499.002	542	5.99
12			-31.632	-31.688	498.9986	270	2.2	-32.088	-32.388	498.9986	343	3.79
13			-31.936	-32.364	498.9997	269	2.14	-32.244	-32.48	498.9896	286	3.13
14			-31.928	-32.06	499.002	385	3.08	-31.844	-31.892	499.002	613	6.71
15			-32.384	-32.036	498.9988	426	3.4	-32.02	-31.664	499.0006	259	2.85
16			-31.956	-32.128	499.002	439	3.52	-31.712	-32.02	499.0014	296	3.25
17			-31.692	-31.84	499.0011	333	2.69	-32.056	-32.02	499.002	431	4.78
18			-31.912	-32.032	499.002	690	5.55	-32.052	-32.104	499.002	308	3.35
19			-31.864	-32.06	499.002	370	2.97	-31.732	-31.392	498.9513	265	2.91
20			-31.792	-32.28	499.0014	386	3.07	-32.04	-32.308	499.0012	274	3.02
21			-32.292	-32.076	499.0014	480	3.85	-32.06	-32.076	499.002	388	4.29
22			-32.152	-32.008	499.002	607	4.84	-32.228	-31.872	499.0019	321	3.51
23			-31.364	-31.532	498.9256	269	2.18999	-31.928	-31.96	499.002	488	5.33
24			-31.884	-32.192	499.002	256	2.04	-31.728	-32.02	499.0016	514	5.66
25			-31.82	-31.964	499.002	612	4.94	-31.92	-31.428	498.9671	270	2.97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.5 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F5 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

26	-31.968	-31.6	498.9979	336	2.69	-31.684	-32.128	499.001	407	4.51
27	-32.528	-32.5	498.9648	287	2.25999	-32.076	-31.848	499.002	321	3.51
28	-31.572	-32.224	498.9958	607	4.89	-32.352	-31.748	498.9999	284	3.13
29	-31.804	-32.096	499.002	418	3.35001	-31.992	-32.428	498.9959	460	5.06
30	-32.172	-31.916	499.002	574	4.60999	-31.884	-31.772	499.0019	344	3.79
31	-32.252	-32.148	499.0017	538	4.34	-32.04	-31.988	499.002	263	2.86
32	-31.84	-32.248	499.0017	531	4.24	-31.932	-31.892	499.002	284	3.13
33	-32.028	-32.104	499.002	308	2.47	-31.584	-32.08	498.9968	469	5.15999
34	-32.276	-31.696	499.0008	602	4.83	-32.272	-32.104	499.0016	611	6.71001
35	-32.024	-32.072	499.002	452	3.63	-31.932	-32.236	499.0018	431	4.72
36	-32.112	-32.296	499.0013	593	4.78001	-32.072	-32.488	498.9886	424	4.67
37	-32.064	-32.228	499.0019	553	4.39999	-31.692	-32.04	499.0012	741	8.14
38	-31.988	-32.28	499.0015	414	3.35001	-31.92	-31.764	499.0018	704	7.74001
39	-31.892	-32.172	499.002	746	5.98999	-32.212	-32.176	499.0019	612	6.70999
40	-31.756	-31.912	499.0018	285	2.25	-31.884	-32.004	499.002	689	7.58
41	-31.628	-31.348	498.9229	256	2.09001	-31.856	-32.064	499.002	521	5.71001
42	-31.708	-31.948	499.0014	575	4.61	-31.624	-32.192	498.9992	253	2.8
43	-31.832	-31.952	499.002	530	4.23	-31.636	-32.42	498.9942	463	5.06
44	-31.728	-32.04	499.0016	370	2.97	-31.772	-31.84	499.0018	577	6.37
45	-32.072	-32.236	499.0018	352	2.8	-32.02	-31.624	498.9992	275	3.03
46	-31.952	-31.92	499.002	470	3.78999	-32.224	-32.408	498.9973	434	4.78
47	-31.876	-32.404	498.9977	578	4.62	-31.52	-31.836	498.9898	722	7.91
48	-31.892	-31.94	499.002	551	4.45	-31.944	-31.952	499.002	298	3.28999
49	-31.948	-32.188	499.002	404	3.24001	-32.156	-31.96	499.002	312	3.41
50	-31.684	-32.224	499.0009	499	3.96001	-32.264	-32.112	499.0017	493	5.44
51	-32.288	-32.144	499.0014	457	3.67999	-32.088	-32.004	499.002	512	5.60001
52	-31.756	-31.94	499.0018	303	2.42	-31.956	-31.828	499.002	687	7.59
53	-32.052	-32.104	499.002	773	6.2	-32.16	-31.616	498.9888	437	4.78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.5 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F5 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

54	-32.24	-32.088	499.0018	730	5.88	-32.576	-31.744	498.9653	278	3.06999
55	-31.856	-31.948	499.002	491	3.90001	-31.568	-32.076	498.9955	503	5.5
56	-32	-32.164	499.002	599	4.84	-32.2	-32.244	499.0017	529	5.82001
57	-32.396	-31.9	498.9982	264	2.09	-32.18	-31.84	499.002	777	8.51999
58	-31.904	-32.316	499.001	283	2.31	-32.032	-31.448	499.002	915	10.05002
59	-31.856	-31.908	499.002	485	3.90001	-32.428	-31.804	498.9958	1001	10.98999
60	-32.176	-31.968	499.002	305	2.40999	-31.876	-3.84	499.002	346	3.85001
61	-32.328	-31.432	498.9673	307	2.48001	-31.956	-32.388	498.9986	274	2.97
62	-32.124	-32.168	499.002	881	4.67	-31.668	-1.92	499.0007	533	5.88
63	-32.052	-32.22	499.0019	366	2.91	-31.744	-31.66	499.0002	261	2.84998
64	-31.888	-32.144	499.002	582	4.67	-31.916	-2.136	499.002	409	4.51001
65	-32.476	-32.016	498.9904	266	2.14	-31.936	-31.724	499.0016	375	4.12
66	-31.712	-31.724	499.001	695	5.54999	-31.768	-5.188	499.0018	309	3.41
67	-32.796	-32.196	498.7487	255	2.09001	-32.14	-32.204	499.0019	316	3.45999
68	-32.032	-32.148	499.002	622	4.94	-31.52	-31.52	498.9776	309	3.40002
69	-32.036	-31.92	499.002	277	2.25999	-32.056	-31.876	499.002	287	3.13998
70	-32.388	-32.232	498.9984	398	3.17999	-31.844	-32.152	499.002	287	3.17999
71	-31.692	-32.236	499.001	295	2.37	-31.936	-32.16	499.002	286	3.13
72	-32.104	-32.012	499.002	1001	8.02002	-31.612	-32.3	498.9979	383	4.24002
73	-31.724	-32.18	499.0015	276	2.19998	-31.564	-31.756	498.9949	484	5.26999
74	-31.728	-31.988	499.0016	290	2.36002	-32.252	-31.664	499.0003	418	4.62
75	-32.204	-32.204	499.0019	263	2.09	-32.204	-32.108	499.0019	352	3.84
76	-32.06	-31.928	499.002	878	7.03	-31.86	-32.024	499.002	317	3.52002
77	-32.1	-32.332	499.0007	284	2.31	-32.088	-31.968	499.002	419	4.60999
78	-31.82	-31.788	499.0019	395	3.13	-32.028	-32.056	499.002	281	3.14001
79	-32.056	-31.84	499.002	520	4.17999	-32.38	-32.192	498.999	289	3.17999
80	-32.008	-32.108	499.002	559	4.5	-32.056	-31.796	499.0019	385	4.22998
81	-32.028	-32	499.002	327	2.64001	-32.24	-32.22	499.0017	349	3.79001

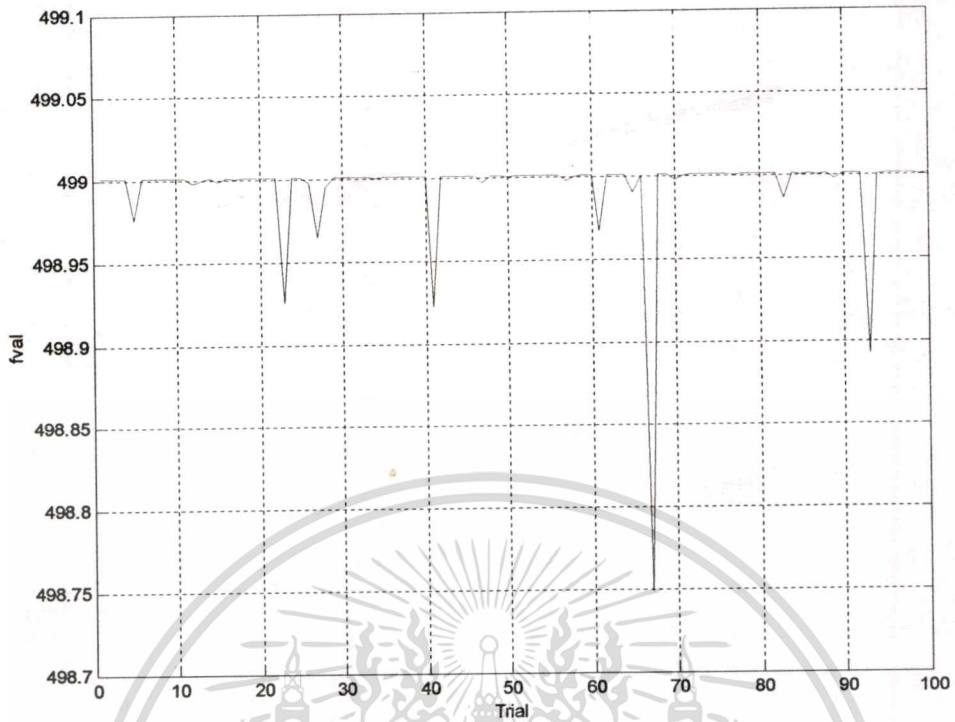
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.5 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F5 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

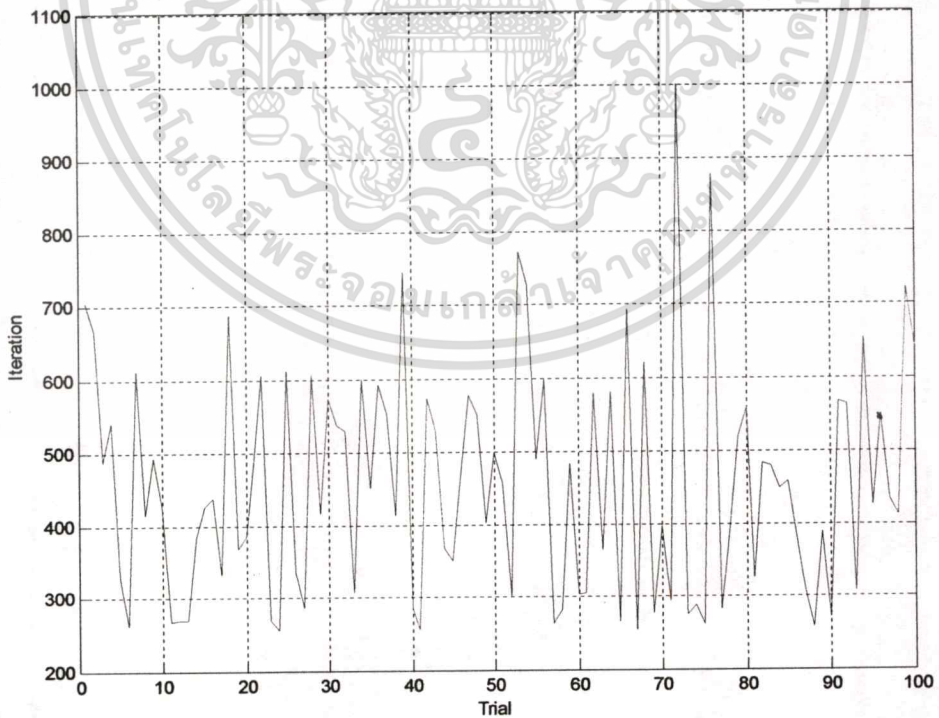
82	-32.156	-32.06	499.002	484	3.84	-32.056	-32.16	499.002	277	3.08002
83	-31.532	-32.412	498.9867	480	3.85001	-31.888	-31.748	499.0017	659	7.25
84	-32.292	-32.172	499.0013	449	3.62997	-31.928	-31.828	499.002	315	3.47
85	-32.332	-32.12	499.0007	460	3.68002	-31.868	-31.7	499.0013	263	2.84998
86	-32.3	-31.912	499.0013	382	3.07999	-32.224	-32.124	499.0019	423	4.67001
87	-32.312	-31.98	499.0011	310	2.47	-32.028	-32.14	499.002	636	6.98001
88	-31.96	-31.852	499.002	258	2.09	-32.172	-32.208	499.0019	668	7.35999
89	-31.952	-31.612	498.9986	390	3.13	-32.192	-31.716	499.0014	268	2.92001
90	-31.948	-32.036	499.002	271	2.14001	-31.832	-31.54	498.9925	430	4.78
91	-32.02	-31.824	499.002	569	4.56	-32.228	-32.22	499.0017	420	4.56
92	-32.064	-32	499.002	564	4.56	-31.92	-32.24	499.0018	421	4.66998
93	-32.468	-32.68	498.8931	308	2.41998	-32.012	-32.204	499.0019	444	4.89001
94	-31.98	-31.696	499.0012	654	5.27002	-32.016	-31.908	499.002	572	6.25998
95	-32.196	-31.992	499.002	427	3.40997	-32.148	-32.144	499.002	388	4.29001
96	-32.004	-32.012	499.002	552	4.45001	-31.528	-31.688	498.9901	334	3.62
97	-32.168	-31.908	499.002	434	3.45999	-31.884	-31.832	499.002	290	3.19
98	-32.288	-31.944	499.0014	414	3.35001	-32.172	-31.724	499.0015	303	3.35001
99	-31.856	-31.696	499.0012	724	5.77002	-32.012	-32.08	499.002	636	6.98001
100	-31.768	-32.088	499.0018	644	5.16998	-32.096	-31.812	499.002	745	8.19
ค่าเฉลี่ย	-32.004	-32.012	499.002	552	4.45001	-32.056	-32.02	499.002	431	4.78
ค่าเฉลี่ย	-32.796	-32.196	498.995	457.34	3.6681			498.9986	431.44	4.7423
ค่าเฉลี่ยที่สุด			498.7487	255	2.09001	-31.732	-31.392	498.9513	265	2.91

\*\*\*หมายเหตุ ค่าทั้งหมดในตารางมีหน่วยเป็น 1.0e+003 และการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 8.1-8.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

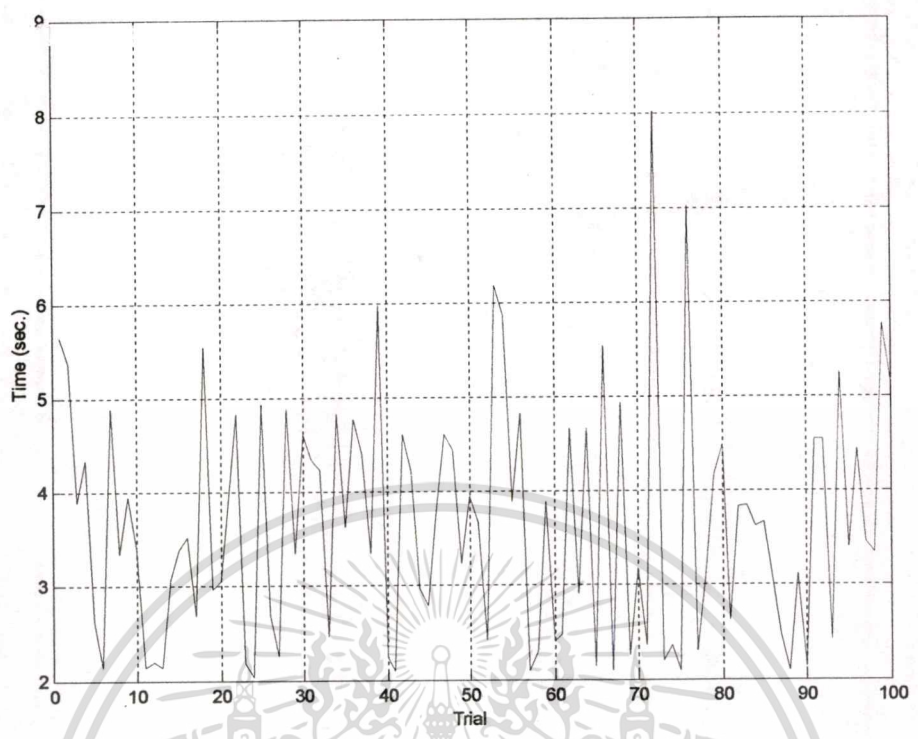


รูปที่ 8.31 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F5$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGs)

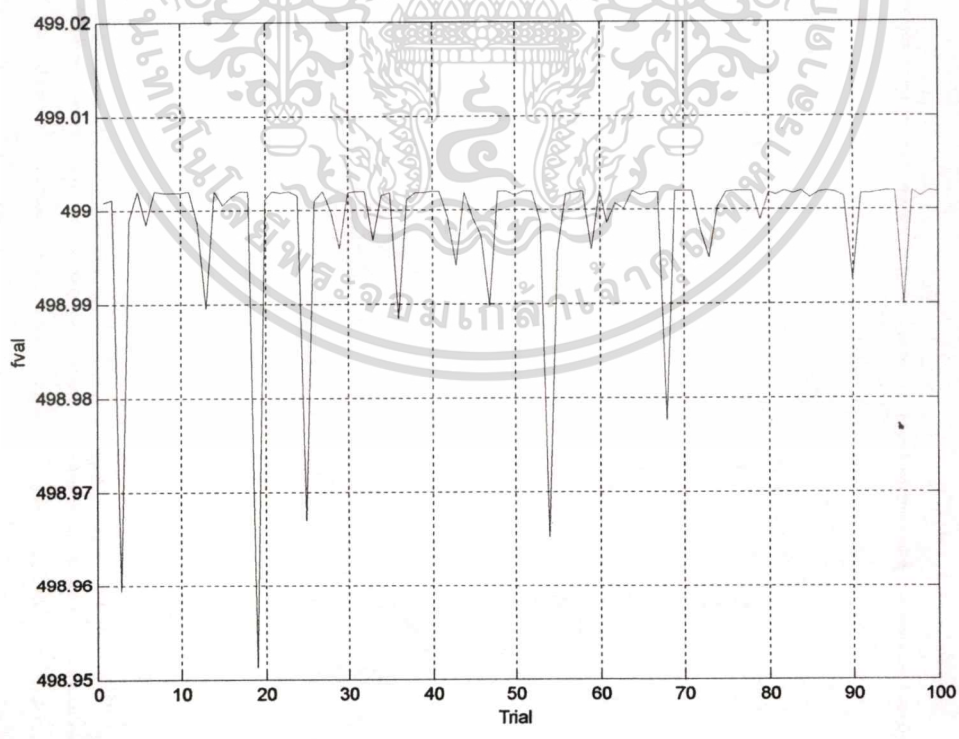


รูปที่ 8.32 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F5$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

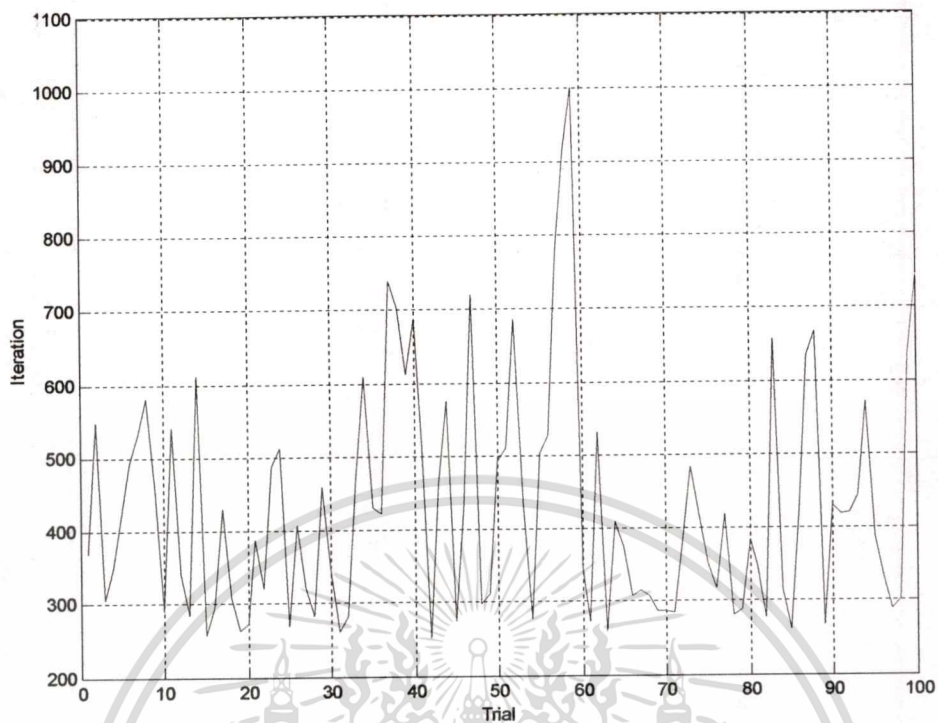


รูปที่ 8.33 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F5$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

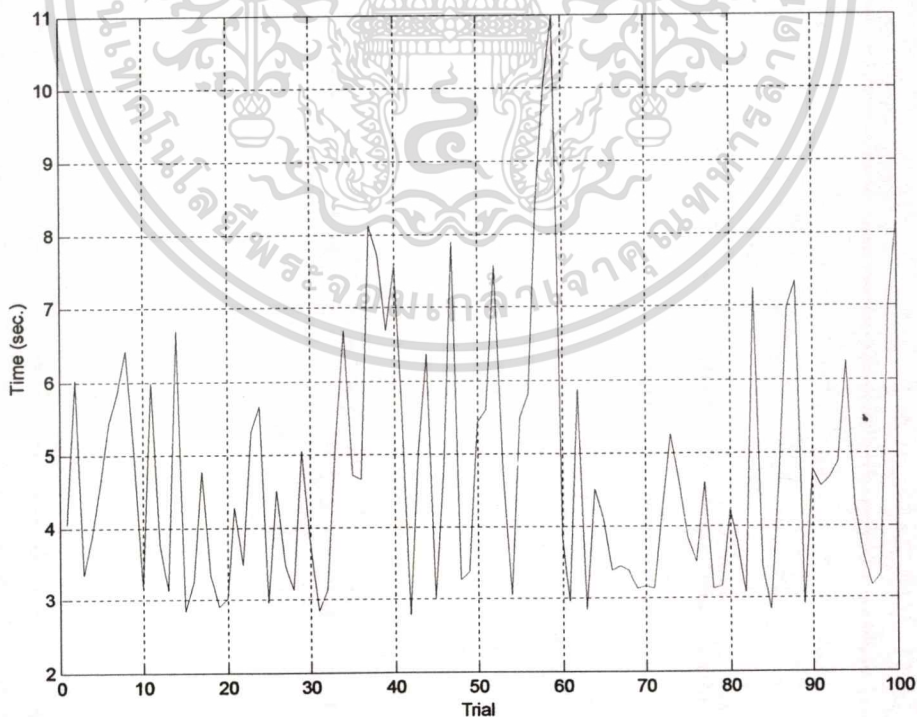


รูปที่ 8.34 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F5$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

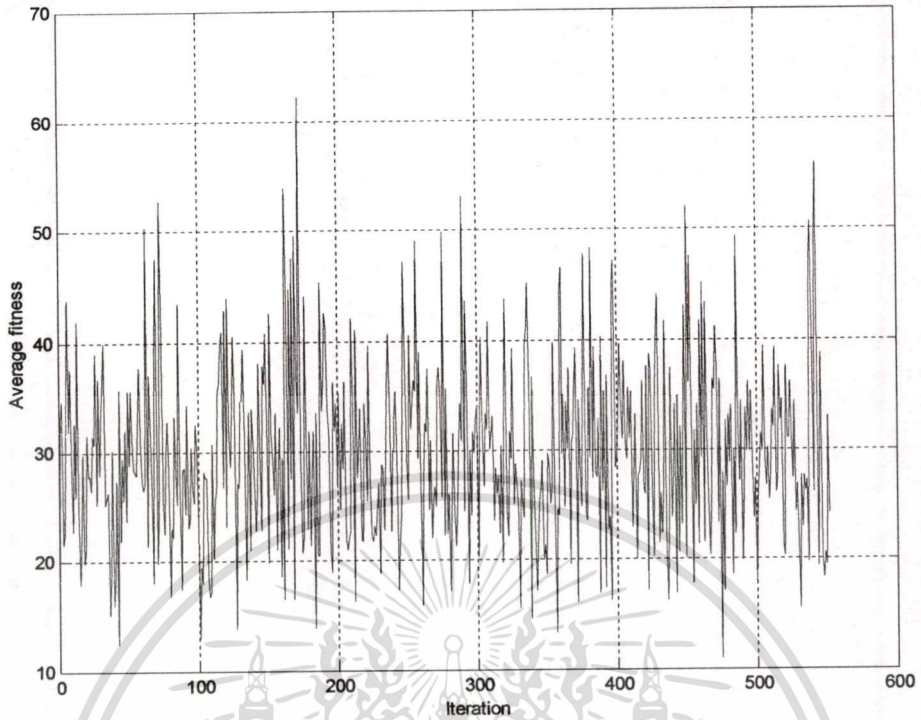


รูปที่ 8.35 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F5$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

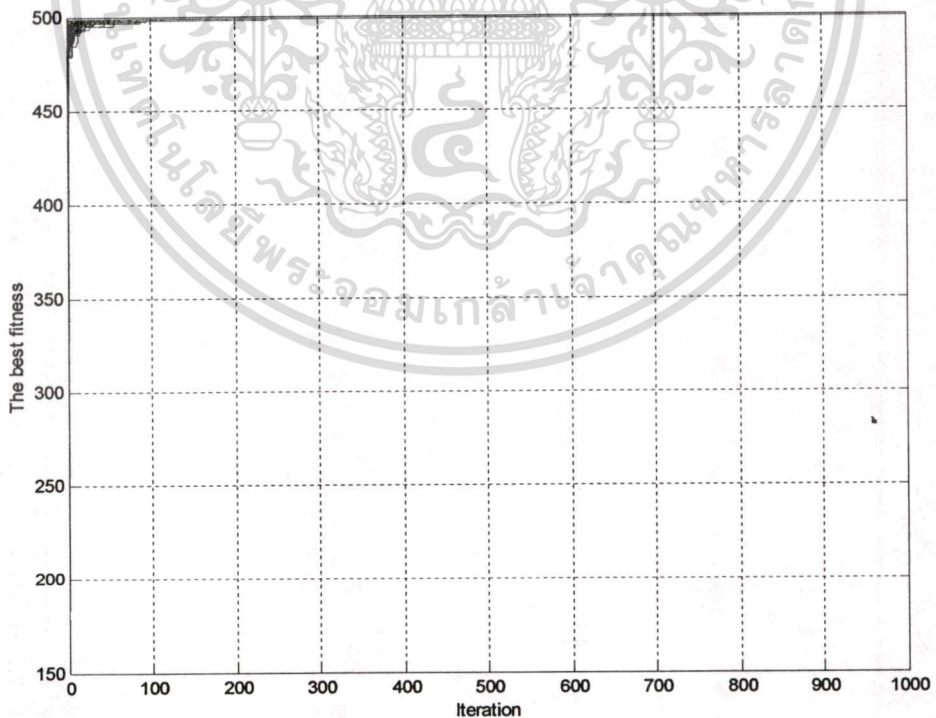


รูปที่ 8.36 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F5$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

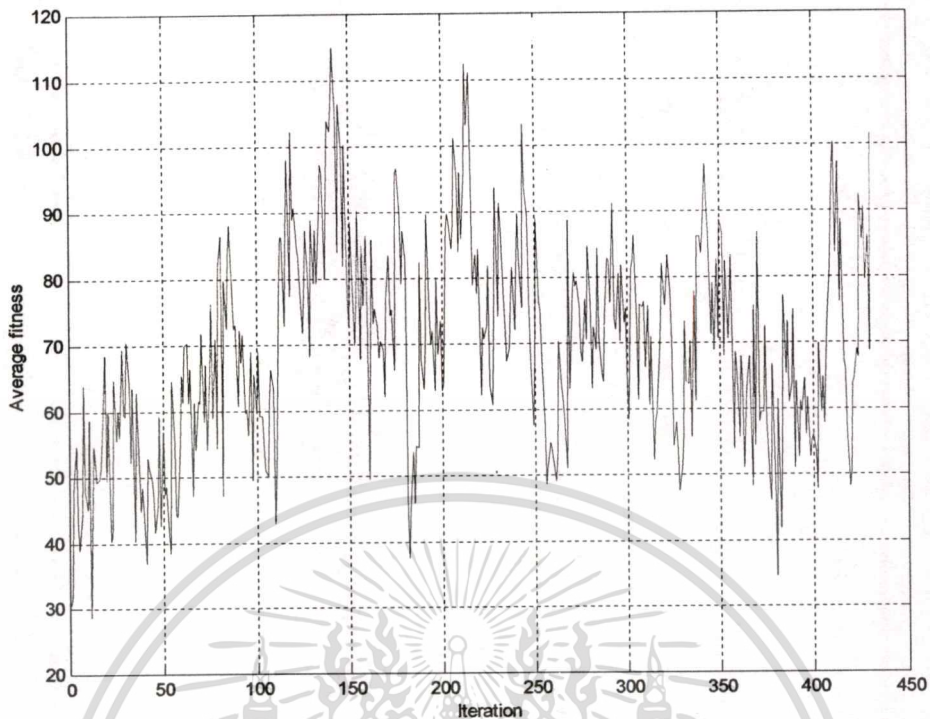


รูปที่ 8.37 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F5$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

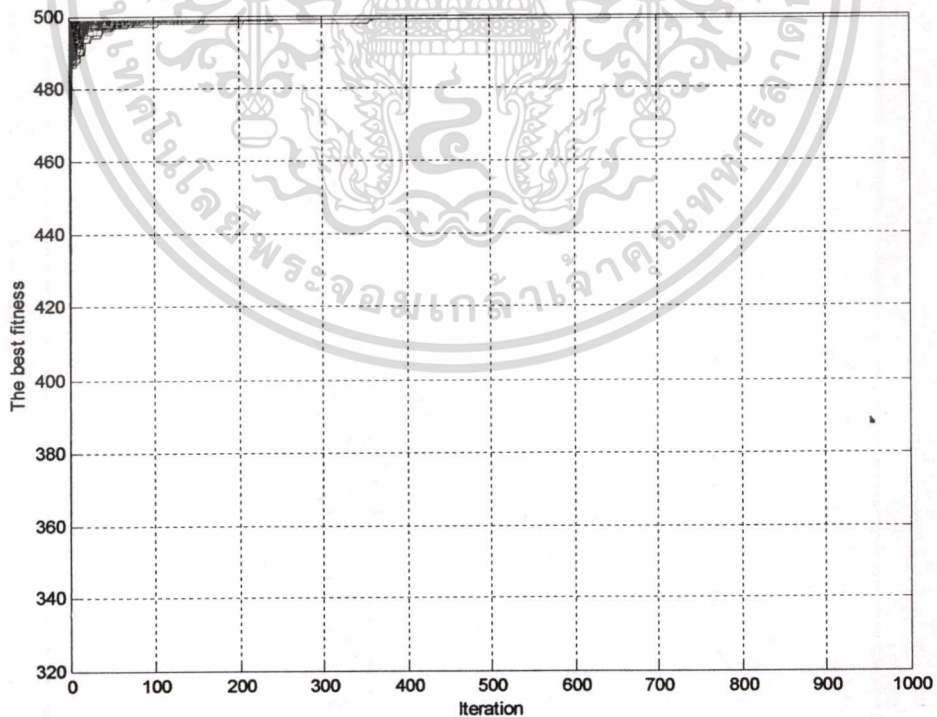


รูปที่ 8.38 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F5$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

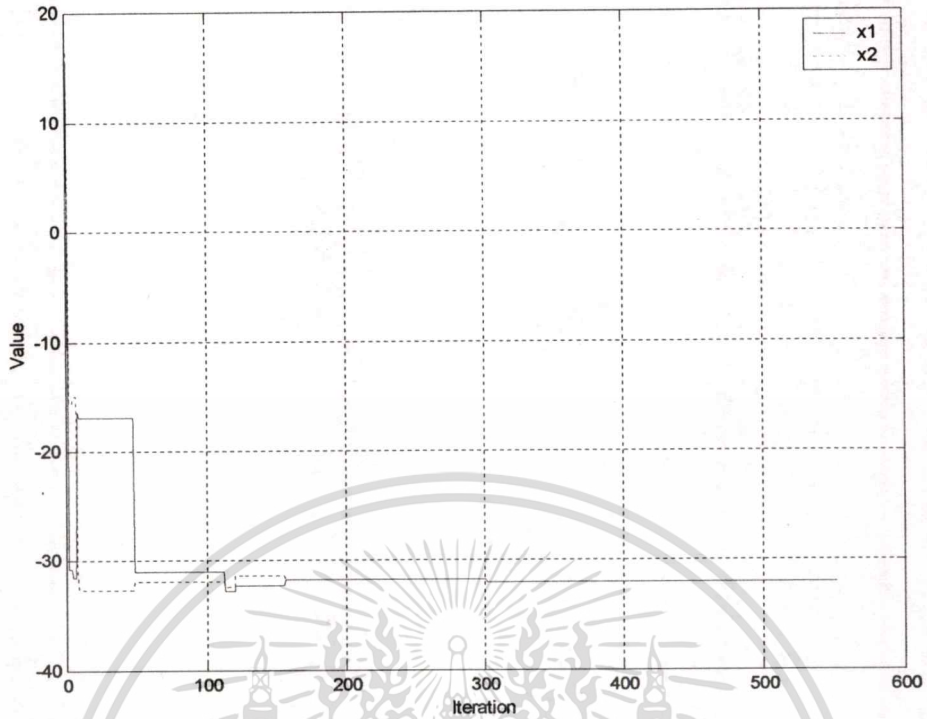


รูปที่ 8.39 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F5$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

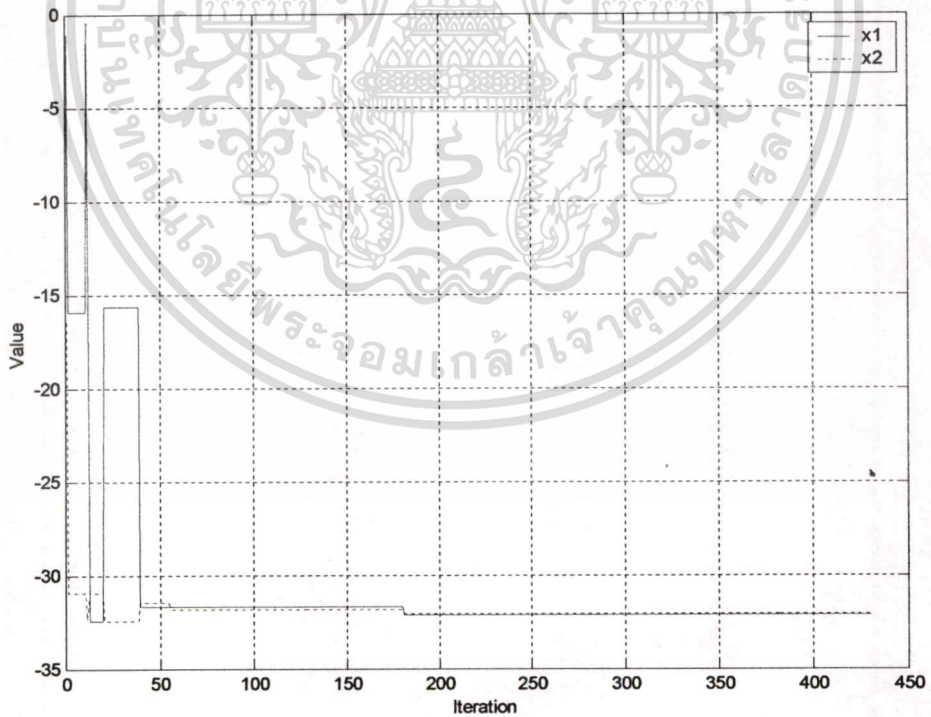


รูปที่ 8.40 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F5$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



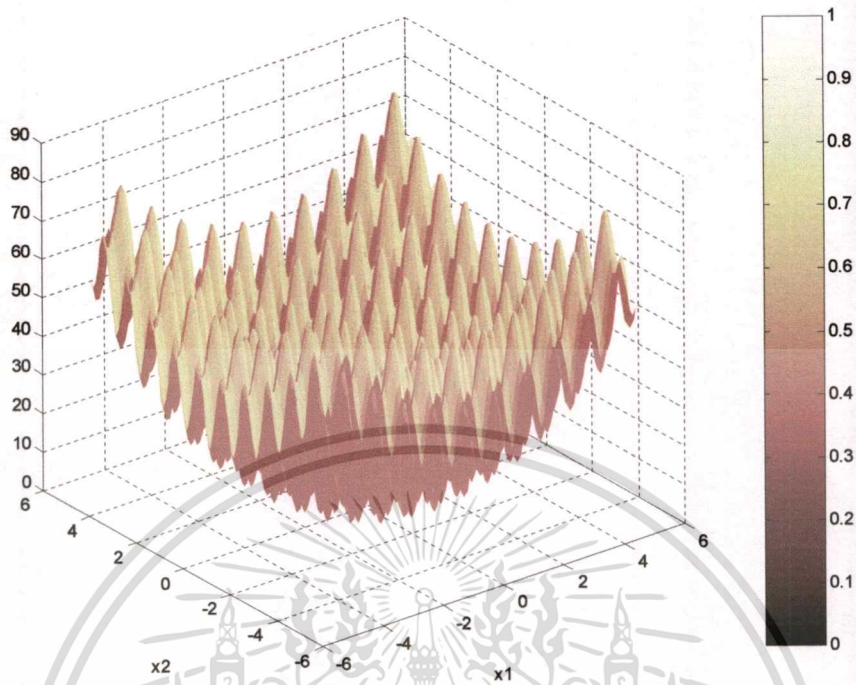
รูปที่ 8.41 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F5$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)



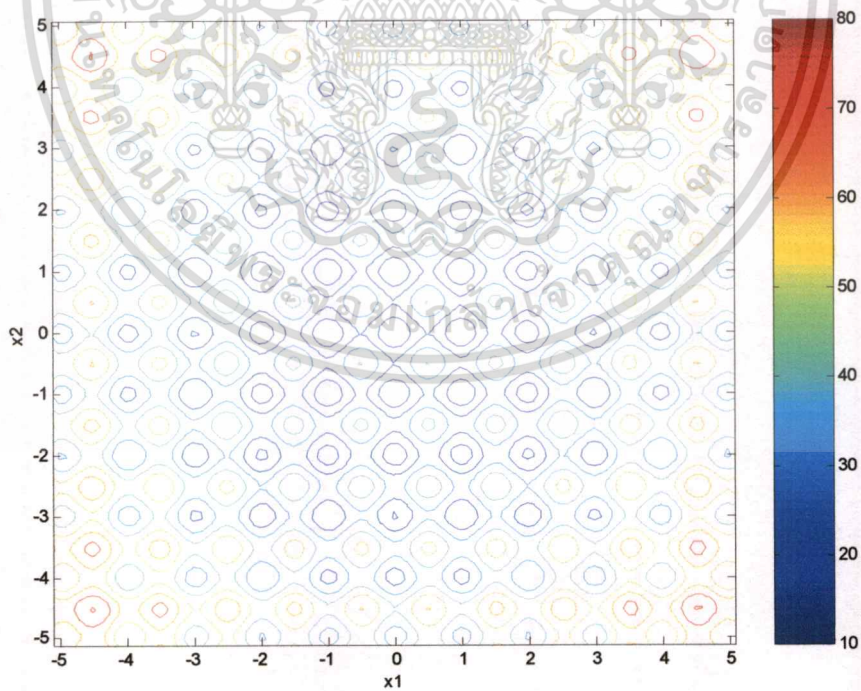
รูปที่ 8.42 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F5$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8.1.4 ฟังก์ชัน $F6$ (Rastrigin's function)



รูปที่ 8.43 ลักษณะฟังก์ชัน  $F6: f(x_i |_{i=1,2}) = 20 + \left[ \sum_{i=1}^2 (x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i)) \right]$   $x_i \in [-5.12, 5.11]$



รูปที่ 8.44 ลักษณะเส้นโครงร่างฟังก์ชัน  $F6$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.6 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F6 จำนวน 100 ครั้ง

การทดสอบ ครั้งที่	BF			AOGAs			AONGAs			Iter	Time (sec.)
	X1	X2	fval	X1	X2	fval	X1	X2	fval		
1	0.0	0.0	0.0	0.02	-0.03	0.2573	0.43	0.02	0.395	239	0.6
2				0.05	-0.02	0.5712	0.77	-0.01	0.0991	258	0.66
3				-0.01	0	0.0198	0.33	-0.01	0.0991	466	1.15
4				0.03	0	0.178	0.66	0.04	0.395	244	0.61
5				0.03	-0.05	0.67	0.39	-0.02	0.395	353	0.93
6				0.04	0.01	0.3356	0.49	-0.02	0.1585	273	0.66
7				-0.02	-0.02	0.1585	0.44	0.06	1.0216	276	0.71
8				-0.05	-0.01	0.5118	0.39	0.01	0.1979	246	0.61
9				-0.02	-0.03	0.2573	0.77	0	0.0198	297	0.71
10				0	-0.04	0.3158	0.49	0.03	0.4938	291	0.77
11				-0.02	-0.04	0.395	0.6	-0.04	0.4938	251	0.61
12				0	-0.01	0.0198	0.33	0.02	0.1585	563	1.43
13				-0.02	-0.02	0.1585	0.5	0.01	0.3356	590	1.48
14				-0.05	-0.05	0.9839	0.27	-0.02	0.1585	336	0.82
15				0.03	-0.02	0.2573	0.39	-0.01	0.0991	335	0.83
16				-0.04	-0.01	0.3356	0.35	-0.02	0.0793	292	0.71
17				-0.05	-0.03	0.67	0.38	-0.02	0.0991	265	0.72
18				-0.03	0.03	0.3561	0.33	0.03	0.67	218	0.55
19				-0.04	0.04	0.6315	0.44	0.02	0.1585	241	0.6
20				-0.01	-0.04	0.3356	0.39	0.01	0.0198	284	0.66
21				-0.03	0.04	0.4938	0.6	0.03	0.178	352	0.88
22				0.01	-0.97	1.1379	0.27	-0.01	0.0991	735	1.87
23				0.01	-0.99	1.0197	0.39	-0.01	0.0991	235	0.6
24				0.05	0.01	0.5118	0.38	0.03	0.1979	515	1.26
25				0.05	0.02	0.5712	0.44	0.05	0.5712	464	1.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.6 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F6 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

26	-0.01	0.04	0.3356	496	0.66	-0.05	-0.02	0.5712	268	0.66
27	-0.01	0.06	0.7257	206	0.28	-0.04	-0.01	0.3356	334	0.88
28	0.98	-0.01	1.0591	443	0.6	-0.02	-0.04	0.395	341	0.82
29	-0.03	0.02	0.2573	248	0.33	-0.01	0	0.0198	216	0.55
30	0.04	0.01	0.3356	345	0.5	0.03	0	0.178	387	0.99
31	0.07	-0.02	1.0359	321	0.44	0.04	0.05	0.8077	276	0.66
32	-0.01	-1.01	1.0597	394	0.55	0.01	-0.04	0.3356	453	1.15
33	0.03	0	0.178	506	0.65	-0.03	0.02	0.2573	471	1.21
34	0.04	0.04	0.6315	415	0.55	-0.01	-0.04	0.3356	234	0.55
35	-0.01	0	0.0198	476	0.66	0.03	-0.04	0.4938	217	0.55
36	1	-0.01	1.0198	282	0.39	-0.04	-0.01	0.3356	285	0.71
37	0.01	-0.03	0.1979	231	0.33	0.02	-0.04	0.395	257	0.66
38	0.01	0.01	0.0397	491	0.66	-0.02	-0.02	0.1585	458	1.16
39	0.03	-0.02	0.2573	431	0.55	0.03	0.02	0.2573	285	0.71
40	-0.02	-0.02	0.1585	259	0.38	-0.02	-0.01	0.0991	442	1.1
41	0.02	-0.04	0.395	280	0.39	-0.03	-0.03	0.3561	376	0.94
42	0.02	0.03	0.2573	371	0.49	0.01	-0.02	0.0991	517	1.31
43	-0.01	0.05	0.5118	633	0.88	-0.01	-0.03	0.1979	295	0.72
44	-0.03	0.01	0.1979	374	0.49	-0.04	0.04	0.6315	500	1.26
45	-0.01	0.01	0.0397	290	0.39	-0.03	-0.01	0.1979	356	0.88
46	0.01	0.06	0.7257	376	0.49	0.05	-0.02	0.5712	209	0.55
47	-0.03	0.01	0.1979	206	0.28	-0.06	0.01	0.7257	523	1.26
48	-0.01	-0.01	0.0397	485	0.66	-0.03	0	0.178	488	1.27
49	0.01	-0.04	0.3356	346	0.49	0.02	0.01	0.0991	452	1.1
50	-0.03	0.02	0.2573	344	0.44	0.04	-0.03	0.4938	233	0.6
51	-0.06	-0.02	0.7851	248	0.33	0.02	-0.03	0.2573	407	0.99
52	0.05	-0.02	0.5712	211	0.27	-0.03	-0.02	0.2573	422	1.1
53	0.03	0.01	0.1979	319	0.44	0.01	-0.02	0.0991	336	0.82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.6 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F6 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

54	0.01	0.01	0.0397	569	0.77	-0.03	0.06	0.8839	222	0.55
55	-0.01	0.03	0.1979	248	0.33	0.06	0.02	0.7851	206	0.5
56	-0.04	0.01	0.3356	293	0.38	0.04	0.02	0.395	349	0.88
57	-0.01	0	0.0198	528	0.72	0	0	0	509	1.32
58	0.03	0.03	0.3561	424	0.55	0.03	0	0.178	260	0.6
59	0.01	0.02	0.0991	434	0.55	-0.01	-0.02	0.0991	415	1.04
60	-1.01	0.02	1.1191	218	0.33	0	0	0	301	0.77
61	-0.02	0.06	0.7851	415	0.55	-0.01	0.02	0.0991	301	0.77
62	0.98	0.02	1.1185	284	0.39	0.03	-0.02	0.2573	333	0.83
63	-0.03	-0.01	0.1979	273	0.38	-0.04	0.02	0.395	444	1.09
64	-0.04	0.01	0.3356	274	0.33	0.03	-0.02	0.2573	204	0.5
65	0.01	-0.01	0.0397	256	0.38	0.01	-0.04	0.3356	285	0.71
66	-0.02	1	1.0793	234	0.28	-0.01	-0.02	0.0991	260	0.66
67	-0.03	-0.03	0.3561	327	0.49	-0.01	0.02	0.0991	321	0.83
68	0.99	-0.01	1.0197	369	0.5	0.01	0.01	0.0397	219	0.55
69	-0.03	-0.02	0.2573	766	1.04	-0.02	0.04	0.395	270	0.66
70	0.05	-0.01	0.5118	213	0.28	-0.04	-0.01	0.3356	322	0.82
71	0.04	-0.01	0.3356	410	0.55	0.04	0.01	0.3356	237	0.6
72	-0.02	0	0.0793	359	0.49	0.01	0.01	0.0397	239	0.61
73	0.02	-0.04	0.395	622	0.82	-0.01	0.06	0.7257	255	0.6
74	0.02	0.02	0.1585	443	0.61	-0.01	0	0.0198	437	1.1
75	0.03	-0.02	0.2573	352	0.49	0.03	0.03	0.3561	256	0.66
76	0.01	-0.02	0.0991	596	0.83	0.01	0.01	0.0397	291	0.72
77	-0.01	-0.03	0.1979	239	0.27	-0.04	-0.01	0.3356	244	0.6
78	0.03	0.02	0.2573	227	0.33	-0.04	-0.01	0.3356	352	0.88
79	0.02	0.02	0.1585	255	0.33	0	0.04	0.3158	771	1.92
80	0.01	-0.01	0.0397	254	0.39	-0.05	-0.05	0.9839	282	0.72
81	0.01	-0.04	0.3356	516	0.66	-0.03	0	0.178	272	0.71

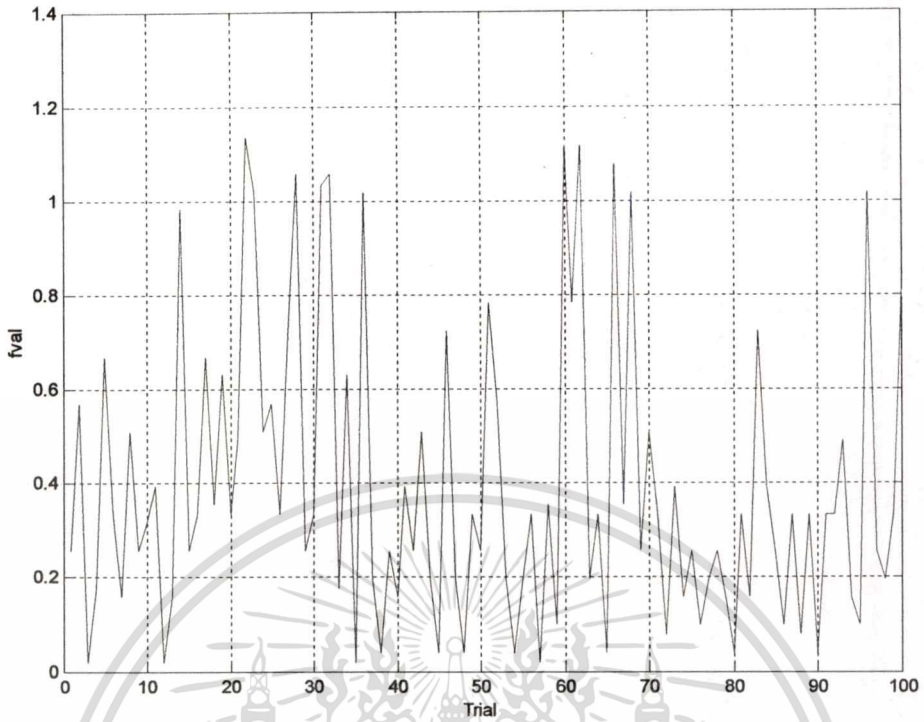
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.6 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F6 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

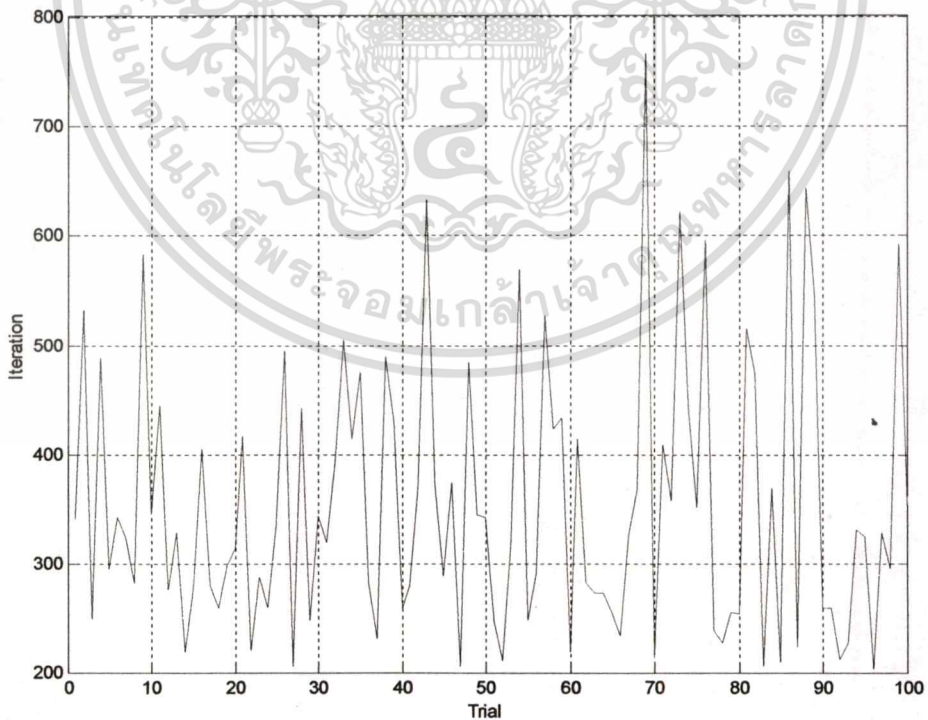
82	0.02	0.02	0.1585	475	0.66	-0.01	0.01	0.0397	287	0.72
83	-0.06	0.01	0.7257	206	0.27	0.05	0.02	0.5712	246	0.6
84	0.04	0.02	0.395	370	0.49	0.04	0.01	0.3356	483	1.21
85	0.02	-0.03	0.2573	209	0.28	0.01	0.01	0.0397	422	1.04
86	0.01	-0.02	0.0991	659	0.93	0.01	0.01	0.0397	394	0.99
87	0.04	-0.01	0.3356	224	0.28	0	0.04	0.3158	330	0.83
88	0	-0.02	0.0793	644	0.88	-0.01	0	0.0198	384	0.98
89	-0.04	0.01	0.3356	548	0.77	0.02	0.02	0.1585	474	1.21
90	0.01	0.01	0.0397	259	0.33	0.03	0.02	0.2573	205	0.5
91	0.01	-0.04	0.3356	259	0.33	0.03	-0.01	0.1979	719	1.81
92	-0.01	0.04	0.3356	212	0.33	0.02	0.01	0.0991	346	0.83
93	-0.03	0.04	0.4938	228	0.27	0	0.01	0.0198	324	0.82
94	-0.02	-0.02	0.1585	332	0.49	-0.02	-0.02	0.1585	393	0.99
95	0.01	0.02	0.0991	326	0.44	-0.01	-0.01	0.0397	398	0.99
96	0.99	-0.01	1.0197	203	0.28	0.01	0.03	0.1979	459	1.15
97	-0.02	0.03	0.2573	330	0.44	0.06	-0.01	0.7257	337	0.83
98	-0.01	0.03	0.1979	296	0.38	-0.04	0.01	0.3356	205	0.55
99	-0.01	0.04	0.3356	592	0.83	-0.04	-0.03	0.4938	377	0.93
100	0.04	-0.05	0.8077	355	0.44	0.02	-0.04	0.395	413	1.04
ค่าต่ำที่สุด	-0.01	0	0.0198	249	0.33	0	0	0	301	0.77
ค่าเฉลี่ย			0.396252	355.69	0.4813			0.285911	347.1	0.8697
ค่าเฉลี่ยที่สุด	0.01	-0.97	1.1379	220	0.27	0.06	0.04	1.0216	276	0.71

\*\*\* หมายถึง พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 8.1-8.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

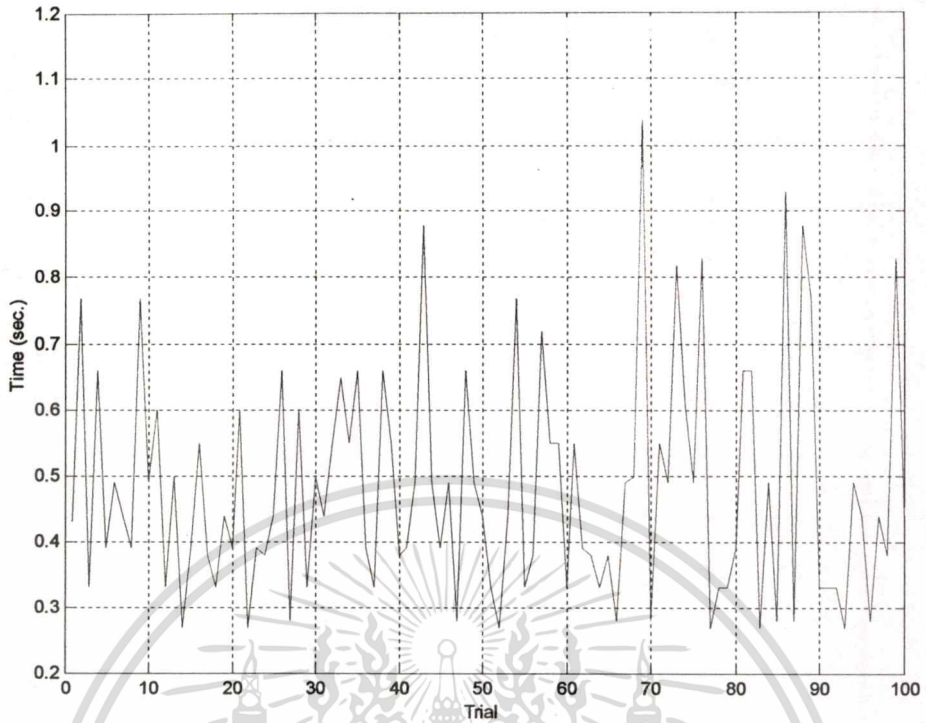


รูปที่ 8.45 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F6$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

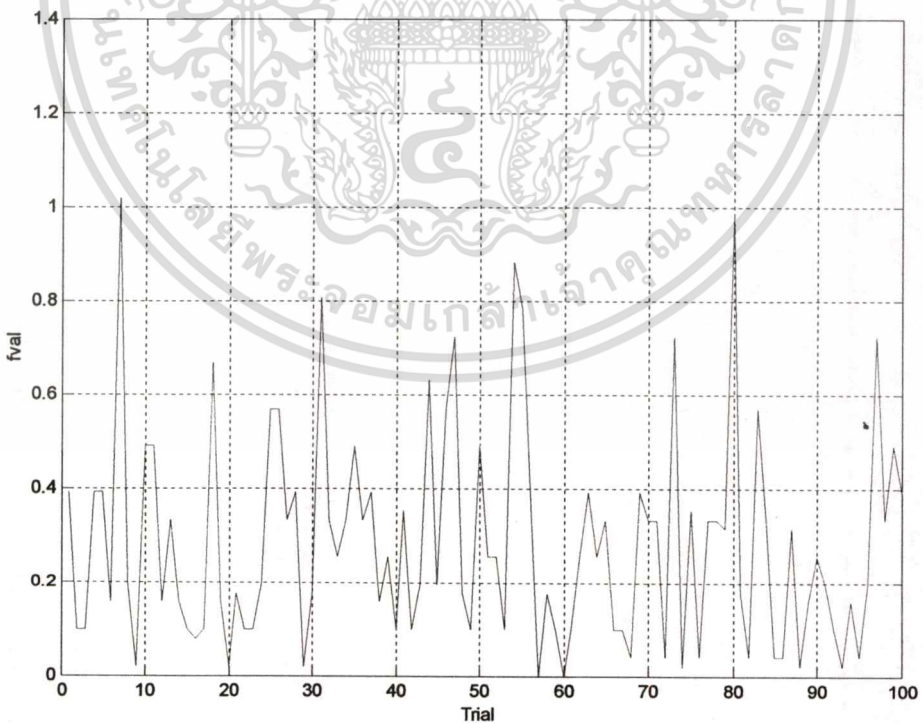


รูปที่ 8.46 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F6$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

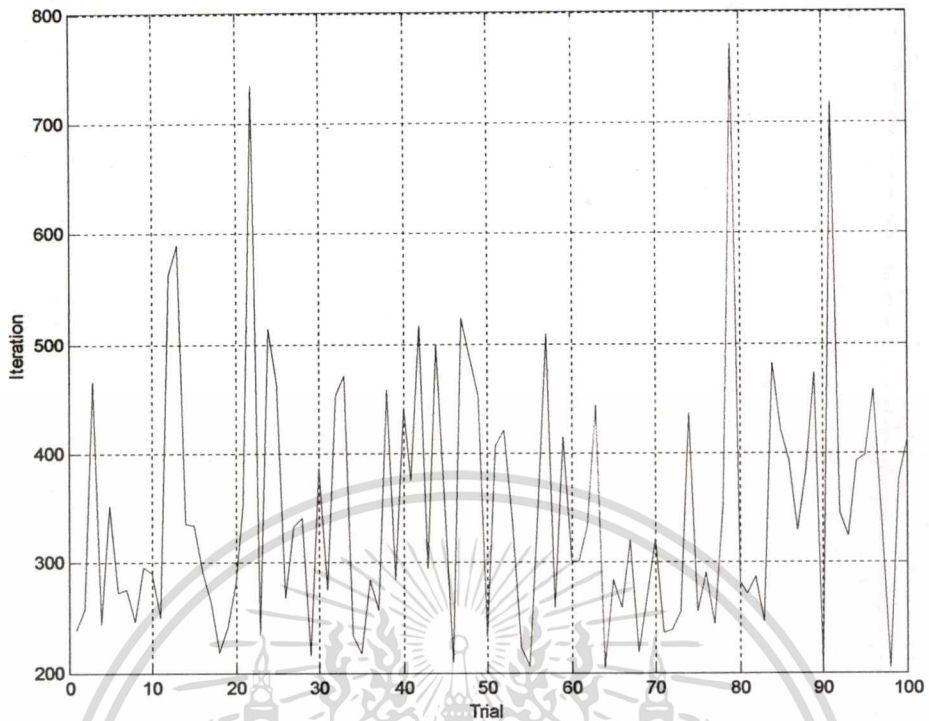


รูปที่ 8.47 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F6$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

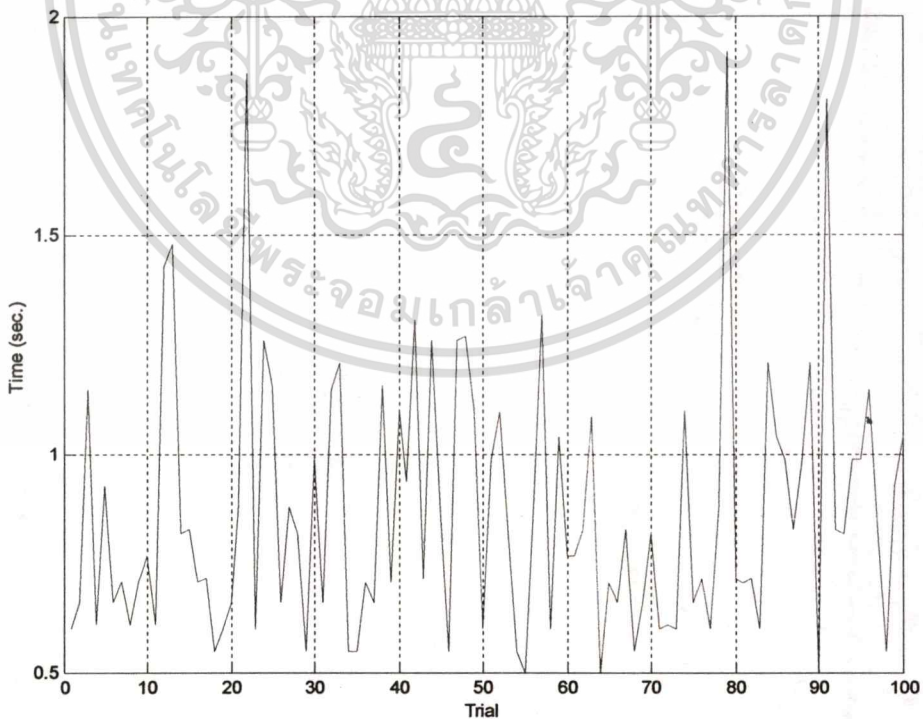


รูปที่ 8.48 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F6$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

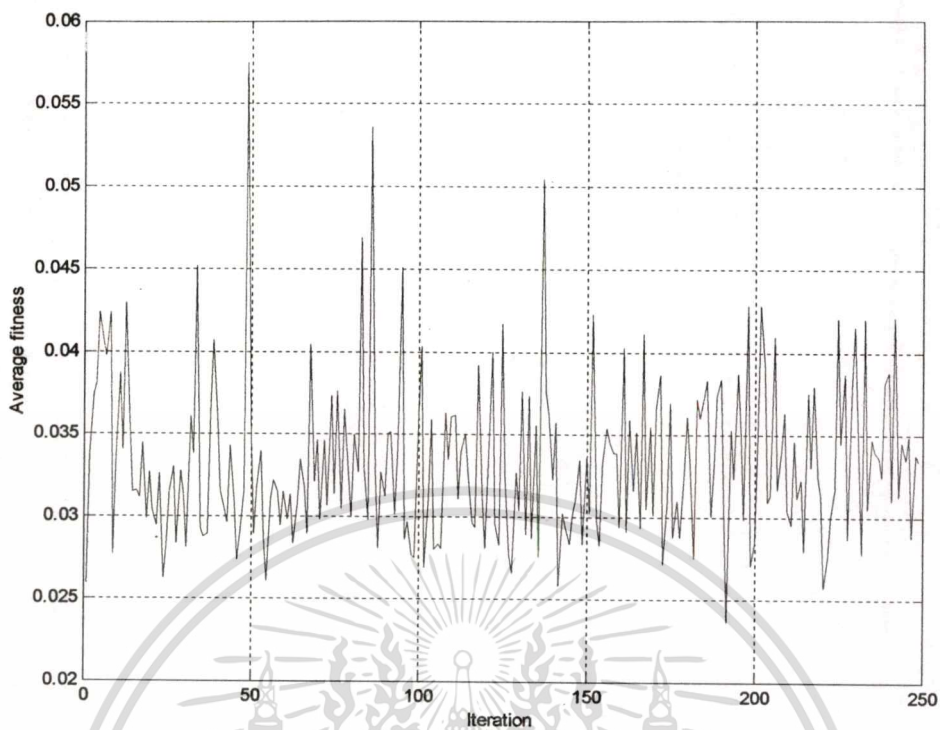


รูปที่ 8.49 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F_6$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

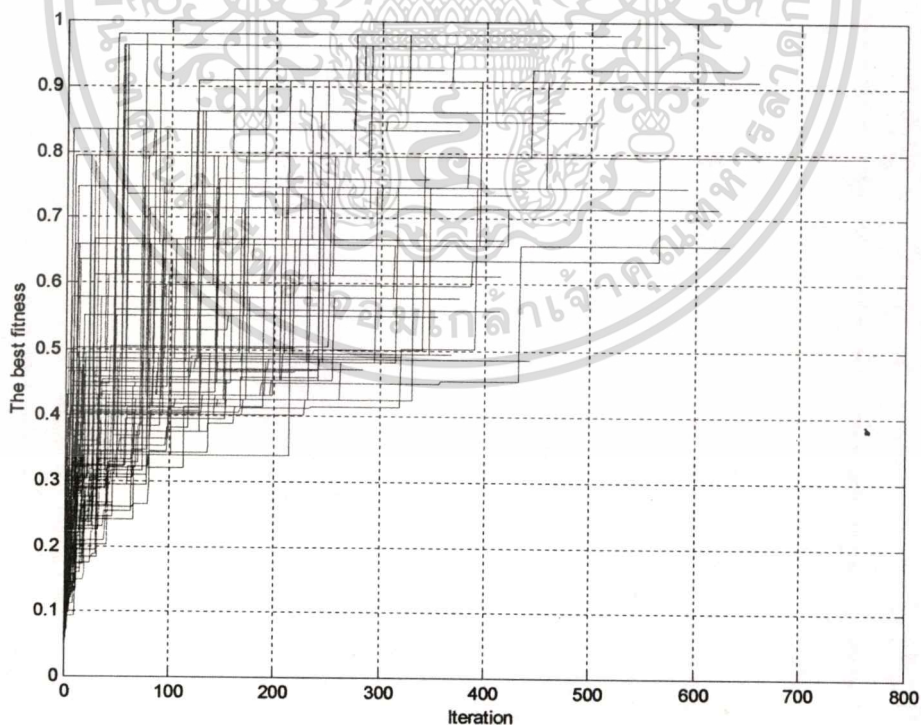


รูปที่ 8.50 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F_6$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

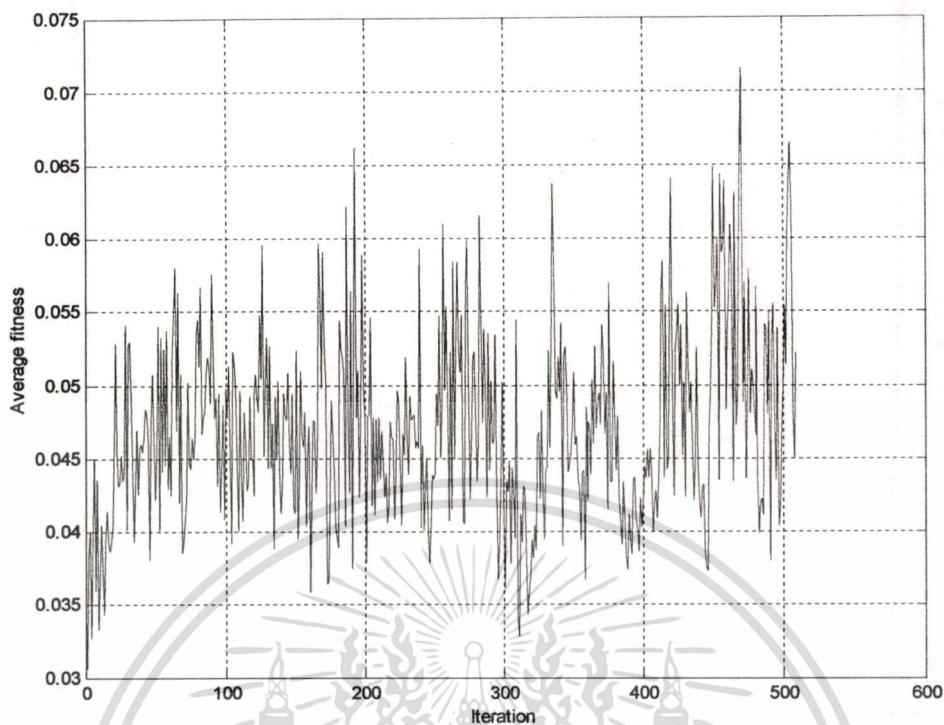


รูปที่ 8.51 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F6$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

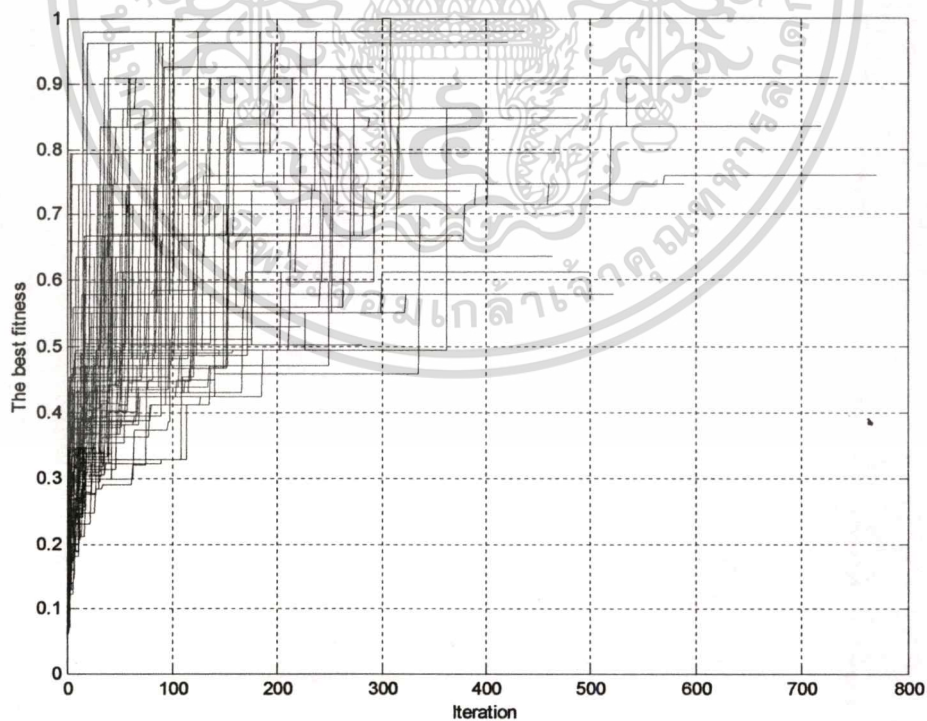


รูปที่ 8.52 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F6$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

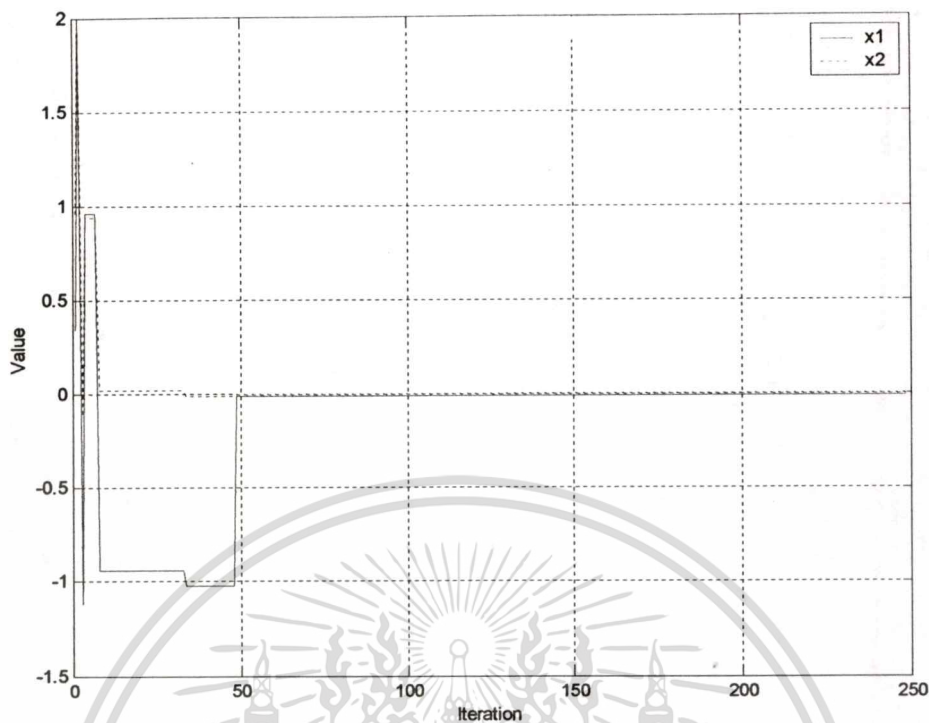


รูปที่ 8.53 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F6$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

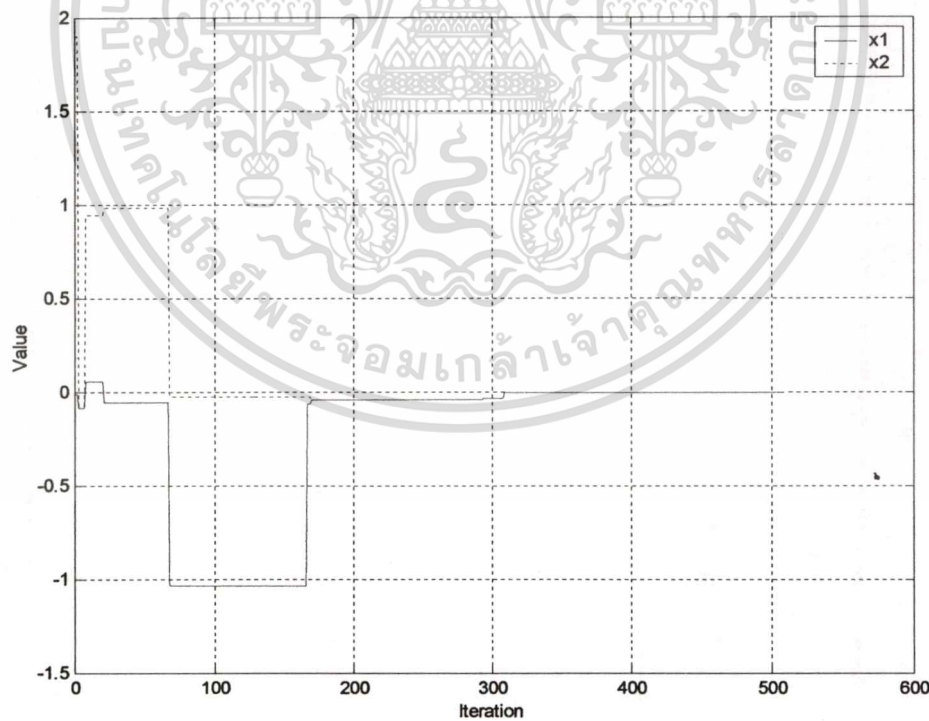


รูปที่ 8.54 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F6$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



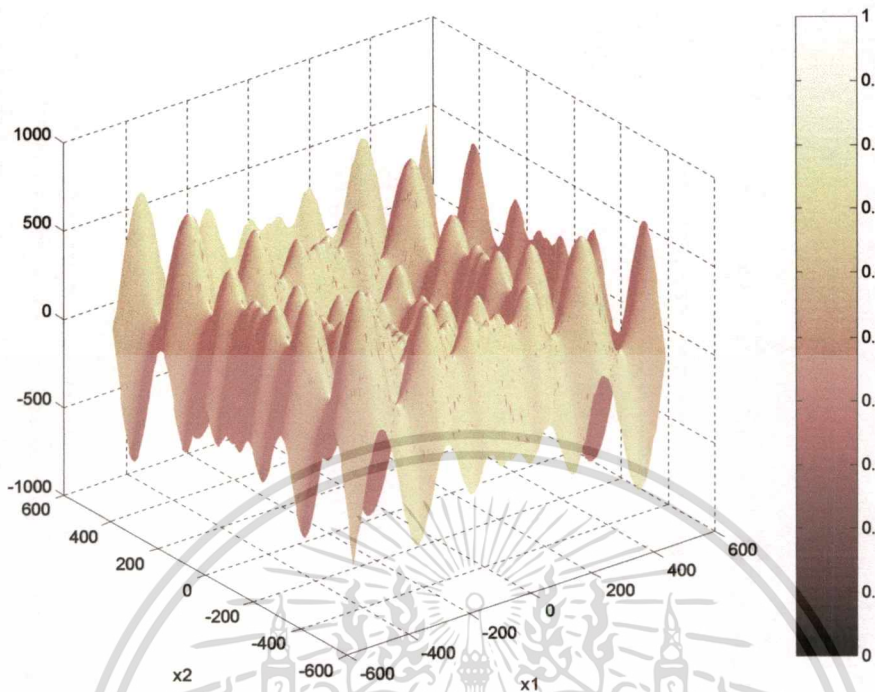
รูปที่ 8.55 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F_6$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)



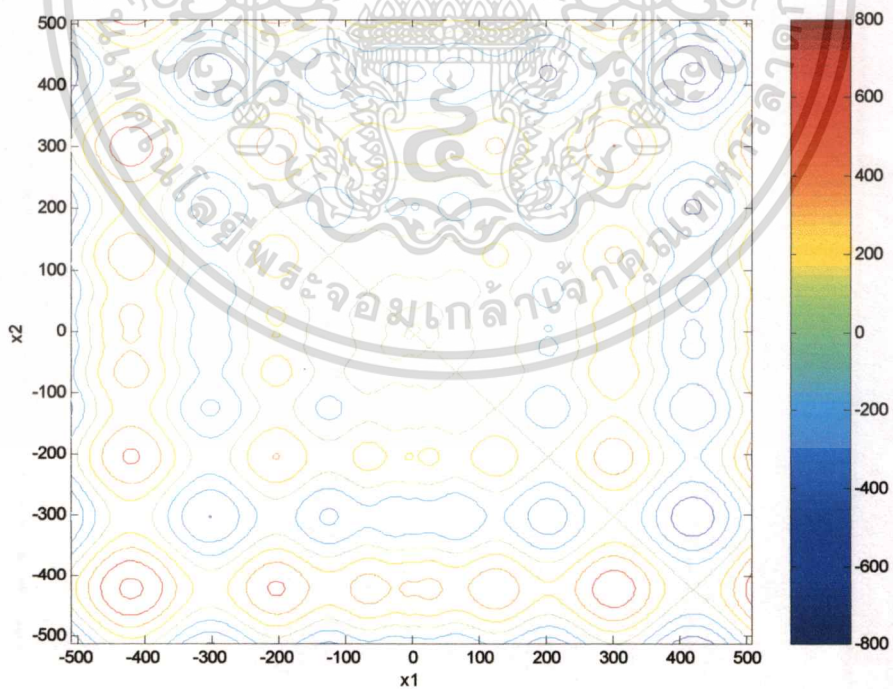
รูปที่ 8.56 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F_6$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8.1.5 ฟังก์ชัน $F7$ (Schwefel's function)



รูปที่ 8.57 ลักษณะฟังก์ชัน  $F7: f(x_i |_{i=1,2}) = \sum_{i=1}^2 -x_i \sin(\sqrt{|x_i|})$   $x_i \in [-512, 511]$



รูปที่ 8.58 ลักษณะเส้นโครงร่างฟังก์ชัน  $F7$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.7 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F7 จำนวน 100 ครั้ง

การทดสอบ ครั้งที่	BF		AOGAs				AONGAs				
	X1	X2	Ival	X1	X2	Ival	X1	X2	Ival	Iter	Time (sec.)
1	420.97	420.97	837.96577	-420.031	-421.75	837.7779	-420.344	-418.75	837.296	376	3.68
2				-418.75	-416.313	834.6174	-420.625	-421.125	837.9478	291	2.85
3				-423.063	-423.719	836.4573	-421.969	-421.813	837.7497	510	4.95
4				-419.75	-423.719	836.8235	-420	-420.938	837.8472	421	4.12
5				-420.625	-422.75	837.5504	-421.031	-420.5	837.9376	1001	9.72
6				-420.75	-418.844	837.3906	-420.969	-419.781	837.788	570	5.55
7				-423.219	-422.969	836.8216	-419.688	-420.281	837.6991	338	3.3
8				-422.094	-422.313	837.3769	-421.625	-422.063	837.7605	282	2.75
9				-421	-422.438	837.6934	-421.625	-420.844	837.9095	673	6.54
10				-421.844	-420.688	837.8591	-419.563	-422	837.5822	378	3.68
11				-421.688	-418.781	837.2974	-419.688	-420.969	837.7587	780	7.64
12				-419.625	-420.563	837.7172	-418.625	-418.125	836.2545	367	3.57
13				-421.906	-423.531	837.0258	-418.719	-419.438	837.032	379	3.68
14				-421.156	-419	837.4728	-419.719	-424.406	836.2767	372	3.62
15				-421.5	-423.031	837.5929	-418.594	-422.094	837.0952	346	3.36
16				-423.406	-419.094	836.7724	-420	-420.875	837.8463	260	2.52
17				-423	-420.281	837.3853	-419.063	-420.094	837.4111	313	3.08
18				-419.156	-423.719	836.5966	-420.231	-420.531	837.882	398	3.85
19				-425.344	-420.656	835.5365	-421.031	-422.219	837.768	479	4.67
20				-417.094	-421.781	835.992	-419.531	-422.25	837.4979	550	5.38
21				-422.688	-427.313	832.5126	-418.469	-419.906	837.0358	374	3.63
22				-421.531	-418.531	837.177	-420.969	-419.875	837.8149	717	6.98
23				-423.156	-423.719	836.4066	-419.344	-421.125	837.6298	756	7.36
24				-422.875	-421.188	837.5009	-420.094	-423.219	837.23	433	4.23
25				-421.875	-418.938	837.342	-420	-421.469	837.8159	533	5.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.7 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F7 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

26	-421.125	-423.063	837.4092	244	1.71	-422.188	-420.031	837.6675	581	5.66
27	-419.344	-422.688	837.2599	367	2.63	-420.844	-418.906	837.4276	263	2.59
28	-423.406	-420.5	837.1879	452	3.19	-420.75	-420.781	837.9553	270	2.63
29	-420.563	-420.656	837.9326	305	2.14	-421.719	-419.313	837.549	675	6.60001
30	-422.688	-420.156	837.5096	251	1.79999	-421.125	-418.969	837.4585	543	5.26999
31	-420.781	-424.594	836.302	291	2.09	-421.281	-421.813	837.8636	283	2.75
32	-417.313	-420.75	836.2764	387	2.75	-422.375	-422.125	837.5474	378	3.68001
33	-421.375	-420.594	837.9273	482	3.4	-419.438	-420.063	837.5665	696	6.75999
34	-416.656	-424.375	834.16	223	1.6	-421.406	-420.344	837.8923	291	2.86
35	-424.281	-420.844	836.5782	232	1.65	-421.688	-421.594	837.8513	527	5.11
36	-418.438	-419.969	837.0322	317	2.18999	-419.406	-419.469	837.3742	537	5.27
37	-417.969	-418.688	836.176	504	3.58	-421.094	-421.438	837.9362	393	3.78999
38	-417.656	-417.594	835.1491	298	2.14	-422	-419.625	837.6038	480	4.67
39	-420.625	-423.125	837.5639	326	2.31	-422.563	-421.406	837.621	320	3.13
40	-423.469	-424.594	835.5173	235	1.64	-420.156	-420.719	837.8746	341	3.3
41	-422.563	-419.625	837.4174	416	2.97	-420.688	-419.813	837.7872	726	7.14
42	-425.75	-421.219	835.0712	293	2.03	-419.875	-420.594	837.7971	757	7.37
43	-421.344	-422.5	837.6521	356	2.53001	-422.656	-420.094	837.5097	401	3.90001
44	-421.594	-421.313	837.9016	223	1.59	-421.281	-422.781	837.5387	339	3.28999
45	-421	-416.594	835.5569	548	3.91	-420.656	-419.656	837.7362	411	4.00999
46	-419.938	-420.156	837.7484	521	3.68	-419.094	-418.656	836.8486	531	5.17001
47	-421.625	-421.188	837.9054	283	1.98	-420.313	-421.563	837.8669	485	4.71999
48	-420.688	-422.813	837.5266	244	1.75	-421.938	-422.563	837.5266	500	4.89
49	-422.063	-423	837.294	305	2.15	-422.969	-417.688	836.1046	293	2.86
50	-420.813	-422.656	837.6032	570	4.01	-422.094	-424.344	836.3677	423	4.12001
51	-419.813	-418.125	836.7783	230	1.64999	-419.469	-420.406	837.6422	284	2.75
52	-420.531	-421.438	837.9139	355	2.52	-422.656	-420.531	837.5821	321	3.12999
53	-421.5	-420.656	837.9177	350	2.48	-419.938	-422.875	837.3729	367	3.57001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.7 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F7 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

54	-423.688	-422.063	836.8814	337	2.36	-422.156	-419.063	837.3297	363	3.56999
55	-421.125	-421.531	837.9227	481	3.40001	-421.219	-419.75	837.7706	445	4.29001
56	-418.406	-424.781	835.3029	319	2.25999	-418.781	-421.719	837.2916	337	3.3
57	-417.469	-417.438	834.8527	479	3.39999	-420.719	-419.75	837.7706	412	4.00999
58	-427.313	-421.063	832.8843	258	1.82001	-420.844	-419.031	837.4906	254	2.47
59	-419.406	-420.844	837.6559	319	2.25	-420.688	-422.25	837.7485	266	2.57999
60	-418.313	-421.094	837.0747	356	2.53	-422.031	-421.5	837.7876	370	3.63
61	-420.688	-419.781	837.778	236	1.7	-419.781	-419.625	837.5602	358	3.46002
62	-428.313	-421.906	831.0488	219	1.54001	-420.438	-420.875	837.9291	653	6.37
63	-420	-423.281	837.1722	374	2.64	-421.531	-422.156	837.7477	650	6.31998
64	-423.719	-423.156	836.4066	287	2.03	-419.656	-421.438	837.7208	438	4.29001
65	-418.594	-426.438	833.4788	236	1.7	-420.813	-420.219	837.8917	501	4.89001
66	-420.313	-423.219	837.2723	367	2.59	-420.313	-421.094	837.9095	371	3.63
67	-422.25	-420.156	837.6753	335	2.36	-420.156	-421.906	837.7716	462	4.44998
68	-420.719	-419.813	837.7893	303	2.14	-419.469	-422.219	837.4849	362	3.57001
69	-424.313	-420.813	836.5508	390	2.75	-419.781	-420.906	837.7874	728	7.09
70	-419.938	-420.656	837.8193	299	2.14	-421.438	-422.031	837.7955	447	4.34
71	-423.875	-419.406	836.5914	459	3.24001	-422.063	-421.875	837.7111	834	8.13
72	-421.969	-420.875	837.8385	213	1.48999	-419.344	-421.813	837.543	305	2.95999
73	-419.5	-420.375	837.6494	532	3.79001	-421.438	-421.75	837.8611	319	3.08002
74	-421.844	-423	837.3482	432	3.02	-421.156	-419.719	837.7643	286	2.79999
75	-420.063	-420.938	837.8621	606	4.34	-421.875	-423.031	837.325	595	5.83002
76	-421.594	-425.625	835.1788	248	1.75999	-419.75	-419.875	837.6276	529	5.10999
77	-420.688	-422.844	837.5119	228	1.59	-420.094	-420.313	837.8149	704	6.87
78	-421.281	-422.063	837.8025	289	2.03001	-418.969	-418.625	836.7692	421	4.12
79	-418.906	-420.938	837.4294	356	2.31	-420.281	-421.281	837.8938	954	9.28
80	-418.625	-421.781	837.1901	254	1.81999	-421.281	-420	837.8351	263	2.53
81	-420.344	-422.688	837.5436	376	2.63	-420.656	-422.5	837.6575	407	4.01001

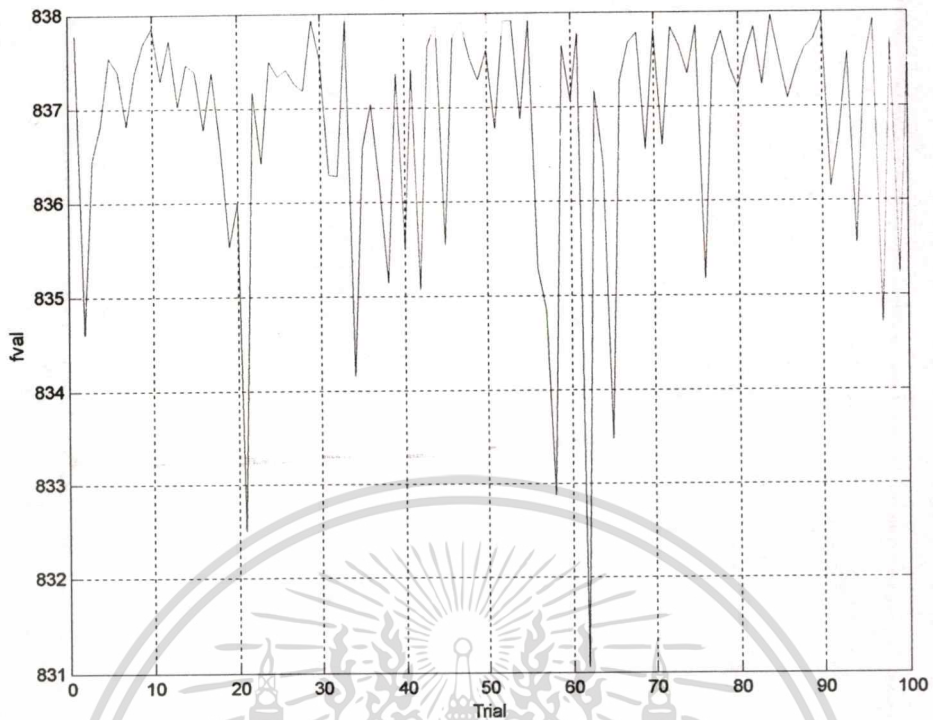
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.7 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F7 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

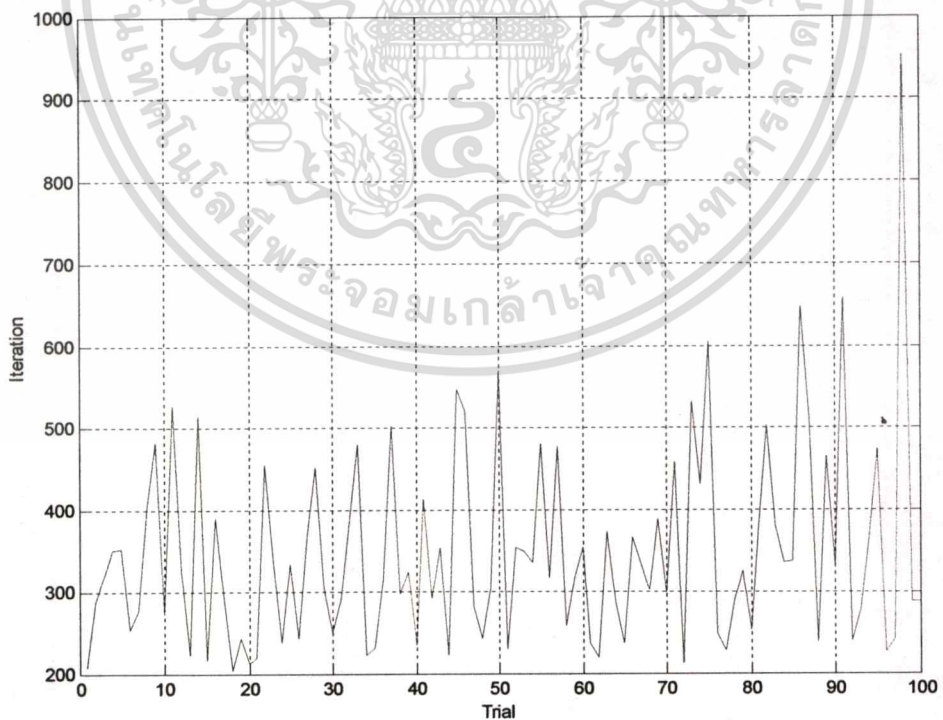
82	-421.375	-421.844	837.8483	504	3.56999	-420.719	-420.469	837.9264	548	5.33002
83	-421.344	-418.594	837.2372	382	2.75	-420.656	-421.969	837.8272	343	3.34998
84	-420.969	-420.719	837.9579	337	2.36	-418.188	-418.844	836.422	255	2.48001
85	-419.125	-420.594	837.5195	339	2.42001	-423.031	-420	837.3102	598	5.82001
86	-421.969	-423.406	837.0894	649	4.56	-419.375	-422	837.5113	335	3.23999
87	-419.438	-422.438	837.3978	512	3.62999	-421.563	-420.594	837.9035	377	3.67999
88	-422.625	-420.906	837.6189	239	1.70001	-419.844	-421.313	837.7912	321	3.13
89	-419.906	-421.938	837.705	466	3.29999	-420.844	-421.594	837.9145	383	3.73999
90	-421.156	-420.719	837.9535	334	2.36	-420.938	-422.156	837.7876	497	4.84003
91	-417.25	-420.188	836.1475	658	4.67	-421.625	-419	837.4229	530	5.15997
92	-420.656	-424.094	836.7203	240	1.71001	-420.688	-421.813	837.8659	576	5.60001
93	-420.031	-422.469	837.5709	278	1.97	-417.719	-421.219	836.6274	353	3.47
94	-423	-424.844	835.5488	366	2.59	-419.563	-422.938	837.227	278	2.69
95	-419.281	-422.125	837.4379	475	3.35001	-421.844	-423.094	837.299	272	2.64001
96	-421.469	-420.594	837.9165	227	1.59	-423.188	-419.844	837.1846	404	3.94998
97	-416.063	-422.344	834.699	242	1.7	-421.875	-423.313	837.1685	307	2.97
98	-419.594	-420.625	837.7125	953	6.70001	-424.844	-423.719	835.1147	286	2.80002
99	-425.219	-419.063	835.2269	287	2.03999	-419.688	-422.094	837.599	807	7.85999
100	-422.656	-421.781	837.523	288	2.03	-418.438	-421.594	837.109	311	3.01999
ค่าที่ตัด	-420.969	-420.719	837.9579	337	2.36	-420.75	-420.781	837.9553	270	2.63
ค่าเฉลี่ย			836.8491	348.93	2.4703			837.5234	451.28	4.3961
ค่าที่ดีที่สุด	-428.313	-421.906	831.0488	219	1.54001	-424.844	-423.719	835.1147	286	2.80002

\*\*\* หมายถึง พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 8.1-8.2 ยกเว้นจำนวนประชากรที่มีขนาด 4\*ขนาดของชุดโครโมโซม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

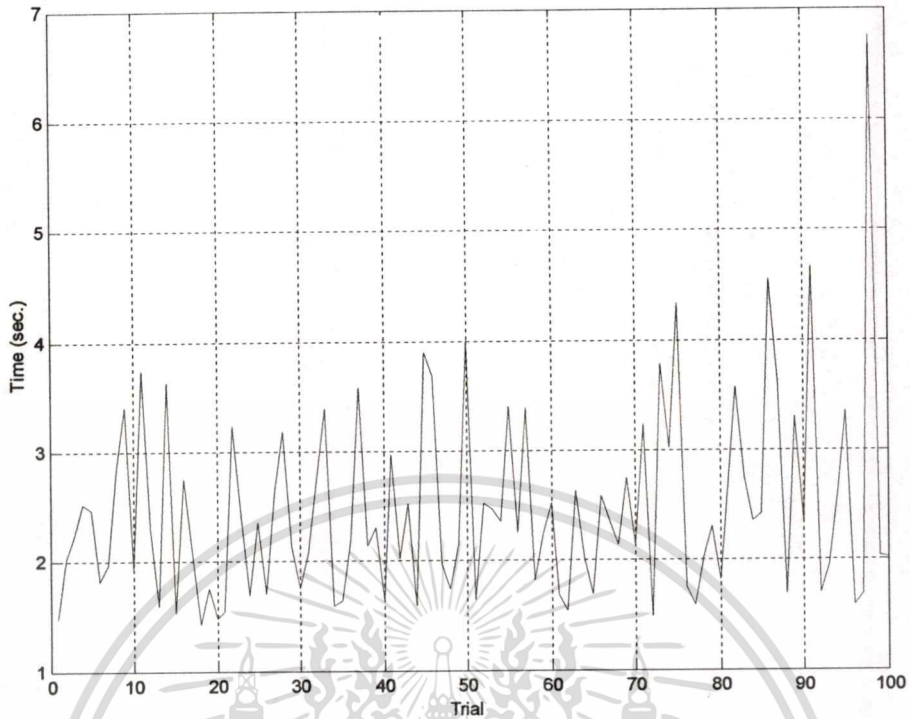


รูปที่ 8.59 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F7$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

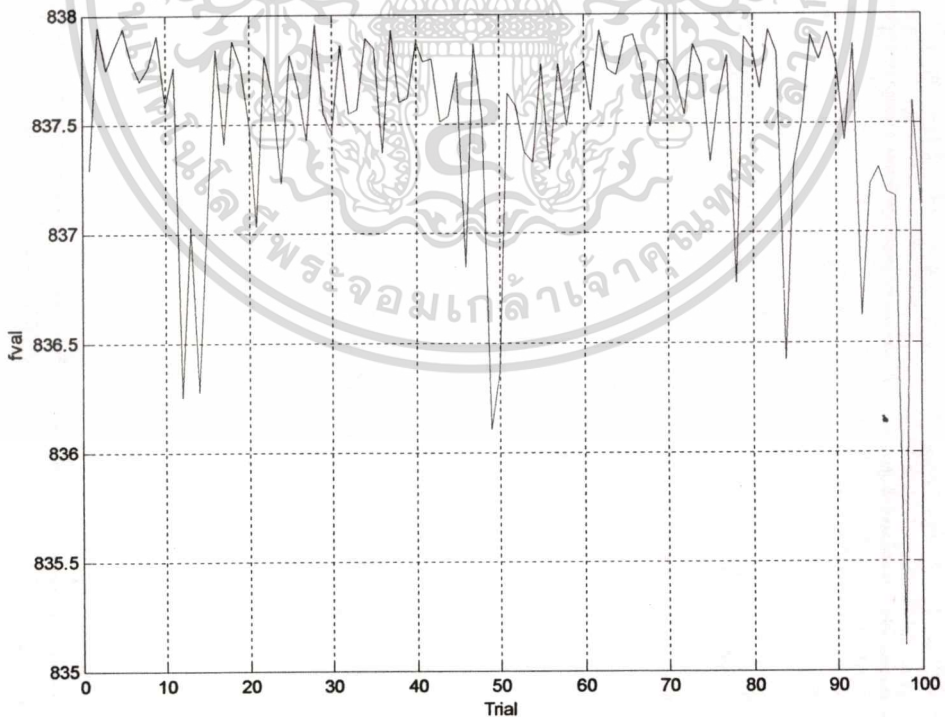


รูปที่ 8.60 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F7$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

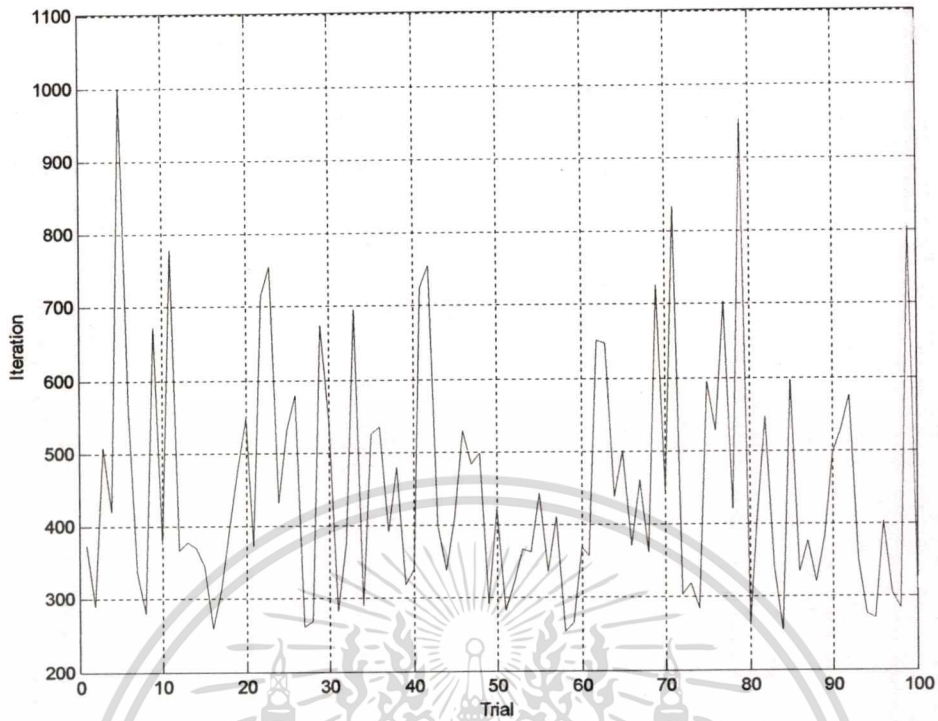


รูปที่ 8.61 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังค์ชั้น F7 จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

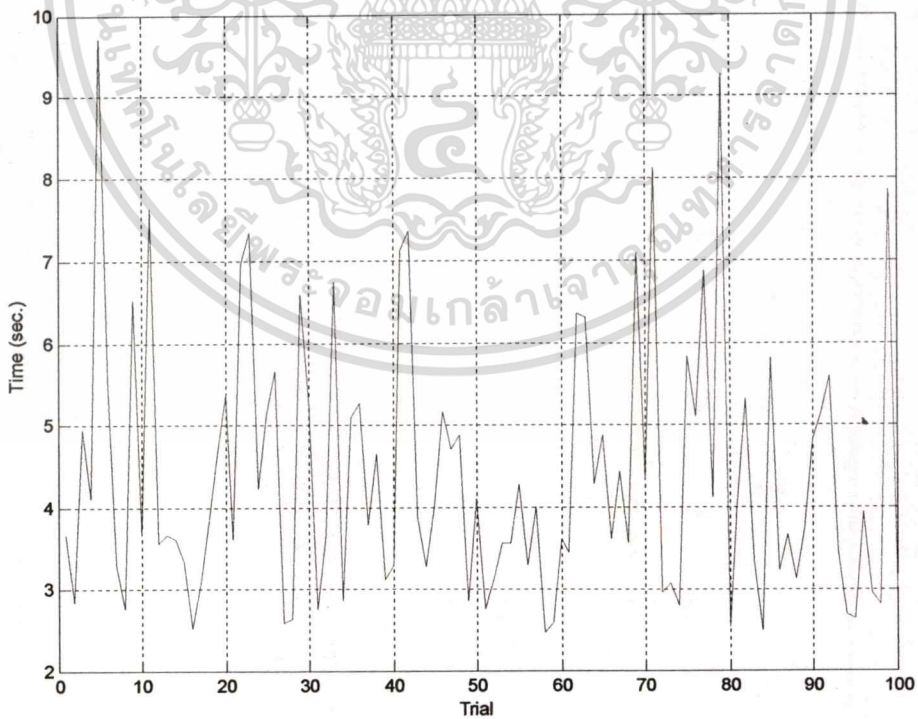


รูปที่ 8.62 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังค์ชั้น F7 จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

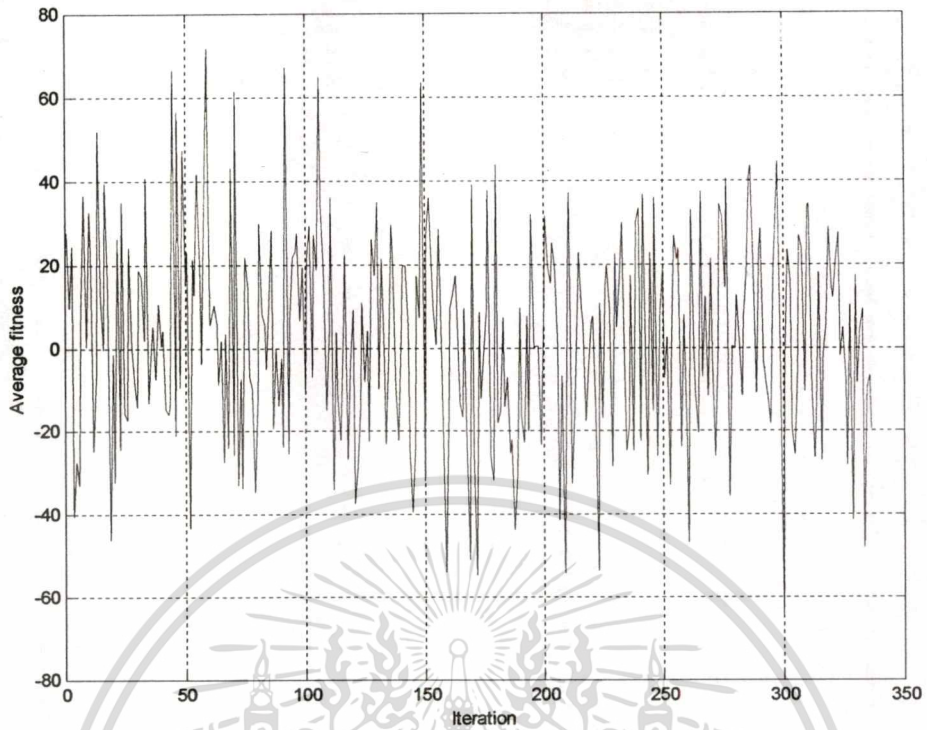


รูปที่ 8.63 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F7$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

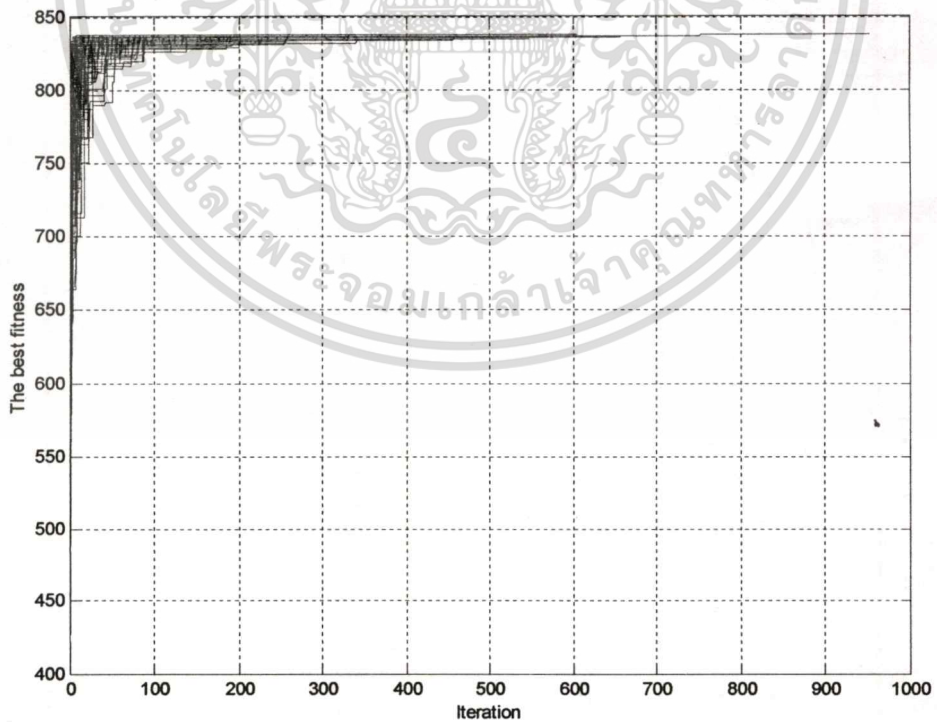


รูปที่ 8.64 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F7$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

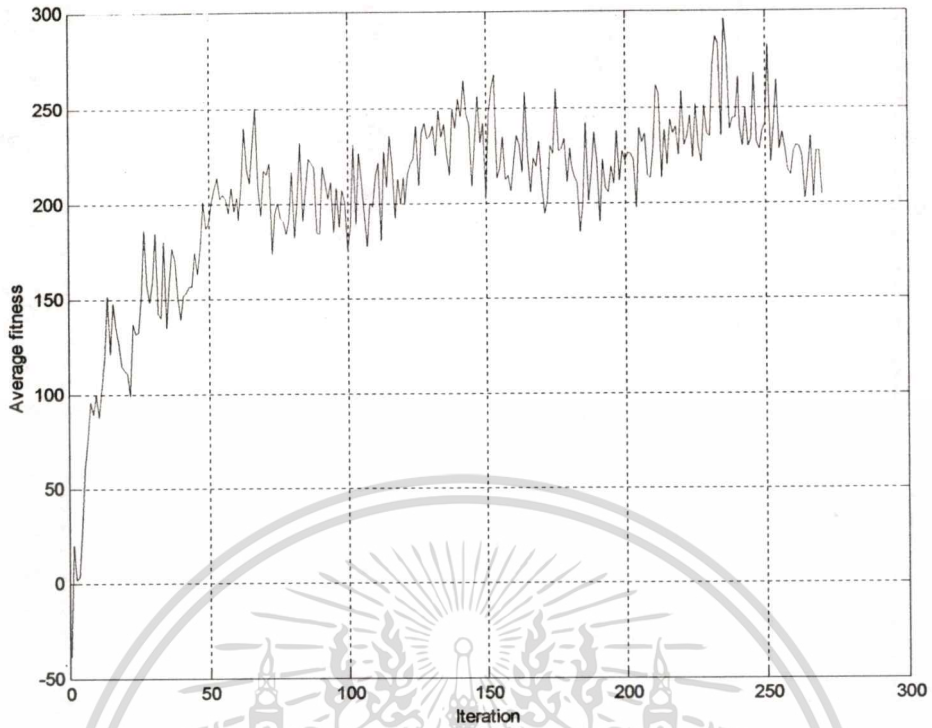


รูปที่ 8.65 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F7$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

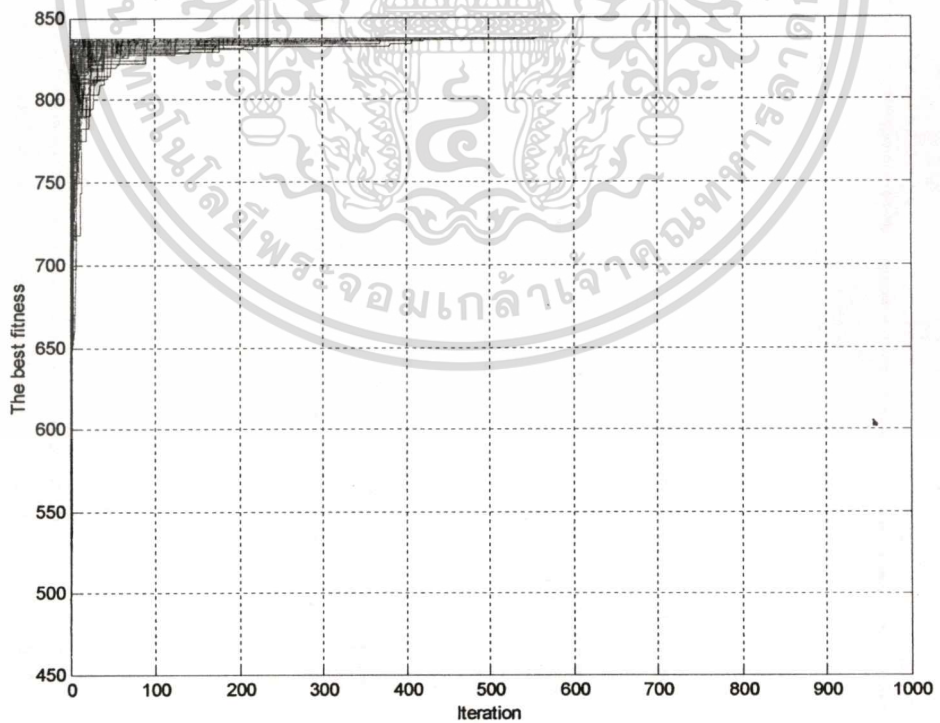


รูปที่ 8.66 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F7$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

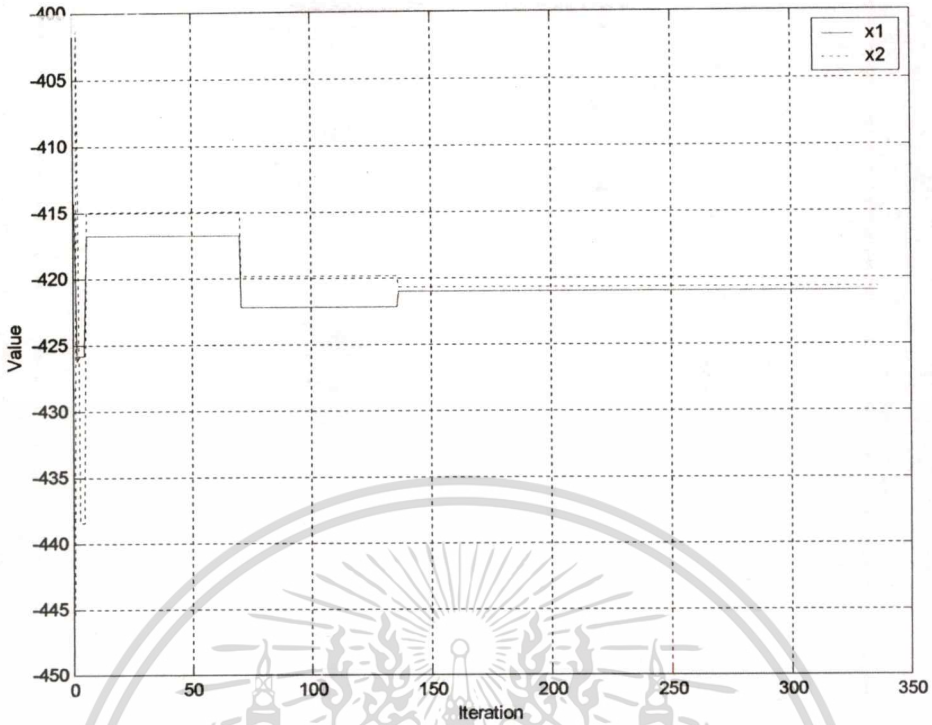


รูปที่ 8.67 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F7$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

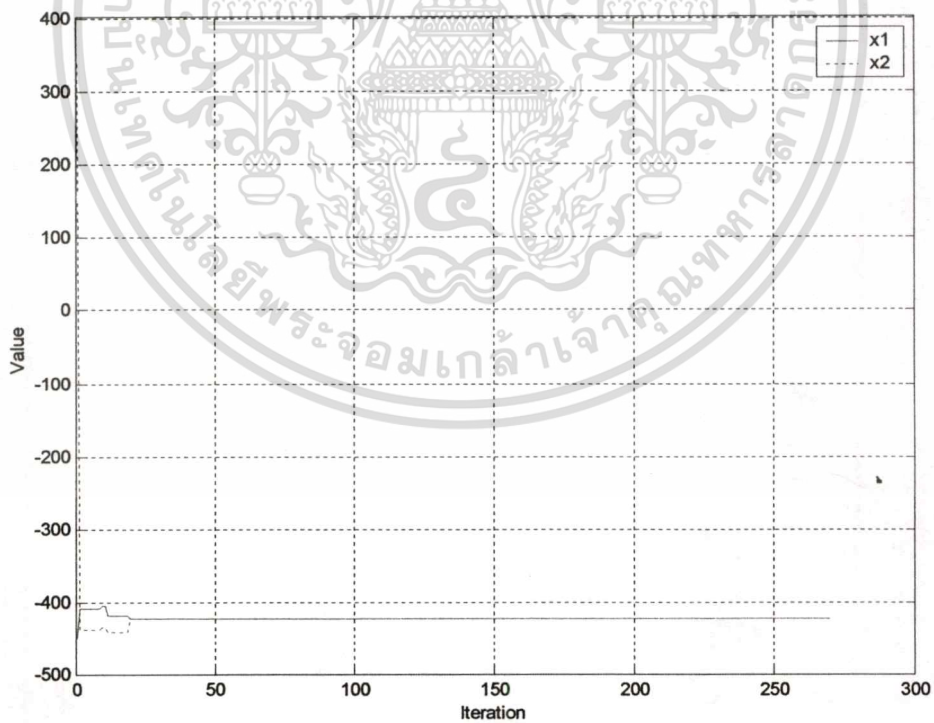


รูปที่ 8.68 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F7$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



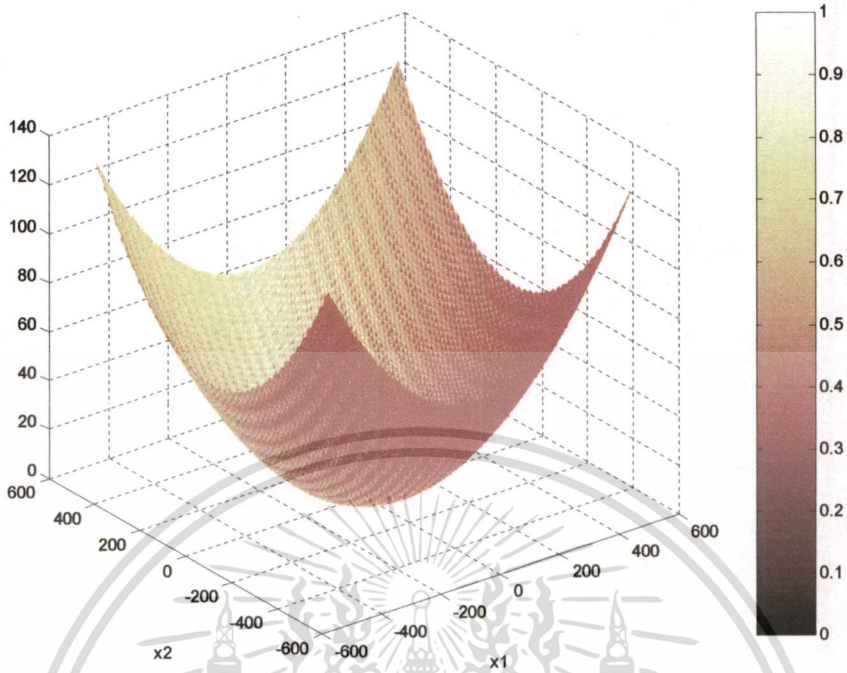
รูปที่ 8.69 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F7$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)



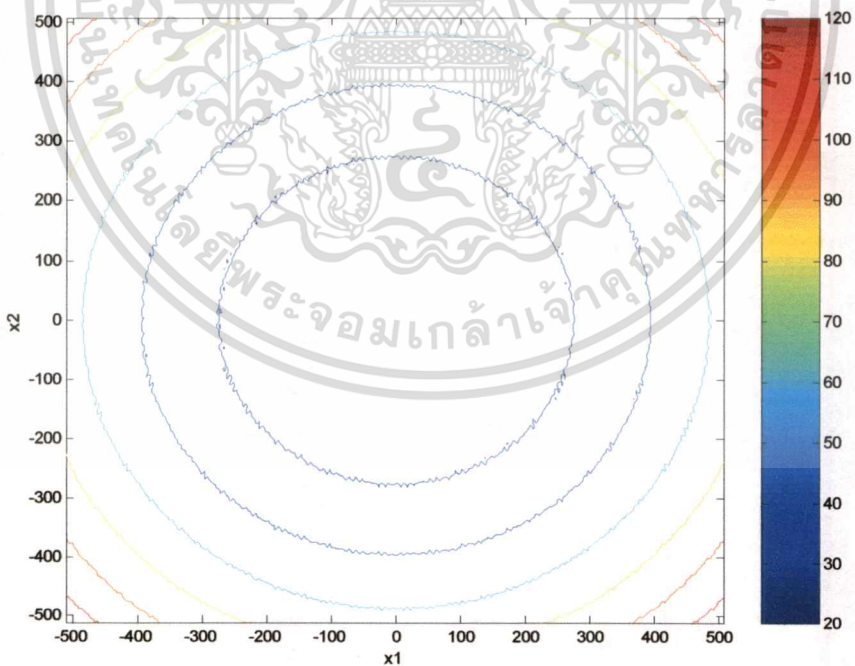
รูปที่ 8.70 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F7$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8.1.6 ฟังก์ชัน $F8$ (Griewank's function)



รูปที่ 8.71 ลักษณะฟังก์ชัน  $F8: f(x_i |_{i=1,2}) = 1 + \sum_{i=1}^2 \frac{x_i^2}{4000} - \prod_{i=1}^2 (\cos(x_i/\sqrt{i}))$   $x_i \in [-512, 511]$



รูปที่ 8.72 ลักษณะเส้นโครงร่างฟังก์ชัน  $F8$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.8 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F8 จำนวน 100 ครั้ง

การทดสอบ ครั้งที่	BF			AOGAS				AONGAS					
	X1	X2	fval	X1	X2	fval	Iter	Time (sec.)	X1	X2	fval	Iter	Time (sec.)
1	0.0	0.0	0.0	12.28125	-0.03125	0.07831	424	3.07	12.50195	-0.08398	0.04291	729	14.23
2				12.59375	9.125	0.07511	721	5.11	-0.22266	-0.13281	0.029	462	9.01
3				3.03125	4.28125	0.01944	471	3.41	-3.17871	13.78418	0.10211	402	7.8
4				18.90625	-0.5625	0.16899	370	2.64	9.16504	-13.1904	0.10265	590	11.48
5				-2.875	-4.4375	0.04232	349	2.47	-12.6582	-0.21582	0.05585	702	13.68
6				15.78125	-4.65625	0.08169	497	3.57	9.49805	-4.97363	0.10083	678	13.19
7				0.4375	-9.28125	0.15096	532	3.79	-0.11035	9.05273	0.03349	513	9.95
8				-3.21875	-4.375	0.01149	759	5.44	2.99609	4.47754	0.01812	594	11.59
9				0.21875	0.25	0.03907	302	2.14	12.73828	-9.04004	0.08159	652	12.69
10				-0.09375	0.09375	0.00658	648	4.67	-3.27441	-3.96484	0.0715	1001	19.45
11				0	-0.125	0.0039	831	5.94	3.16309	13.12109	0.05652	729	14.18
12				9.875	-13.4688	0.17379	390	2.75	-6.14648	-0.01171	0.0188	570	11.03999
13				6.25	8.4375	0.0779	536	3.84	-9.49609	4.11816	0.0555	709	13.79001
14				3.0625	-3.71875	0.13678	373	2.69	-3.22168	-13.082	0.0637	767	14.95
15				9.40625	-4.125	0.05169	819	5.83	3.08789	-4.62402	0.01735	514	10
16				-3.03125	4.15625	0.03304	404	2.91	-3.0127	13.67773	0.08739	361	7.03
17				-3.59375	-5	0.17887	327	2.31	-0.39648	8.89844	0.09744	326	6.32001
18				-2.71875	4.65625	0.1057	713	5.11	3.27637	-13.6982	0.09231	702	13.67999
19				-9.34375	4.65625	0.04185	336	2.41	-3.54102	13.67969	0.15687	345	6.7
20				6.78125	-0.25	0.14669	375	2.7	0.07421	8.62402	0.03837	639	12.42
21				0.15625	-8.5	0.06677	391	2.74	-6.38965	17.36035	0.13295	352	6.87001
22				3.44375	4.6875	0.04327	714	5.11	-3.43262	4.29688	0.05471	502	9.78
23				-0.25	8.75	0.0547	421	3.03	3.125	-21.8799	0.15011	363	7.02998
24				3.40625	-4.65625	0.0541	697	5	0.14062	8.46973	0.07034	380	7.42001
25				-9.46875	-13.0313	0.08784	415	2.96	15.71875	-4.64941	0.07787	340	6.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.8 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F8 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

26	-3.28125	4.375	0.01835	673	4.78	-15.5996	13.56543	0.12661	561	10.94
27	-18.875	8.96875	0.11122	649	4.67	-12.4834	-9.40527	0.131	436	8.45999
28	3.28125	3.90625	0.08668	340	2.42001	-3.12988	-5.13477	0.12641	329	6.43002
29	3.375	-4.3125	0.03874	939	6.7	6.49121	9.18652	0.07523	459	8.89999
30	-5.84375	-0.0625	0.10443	689	4.95	-3.22559	4.42773	0.01108	385	7.53
31	-12.2188	-8.875	0.11686	648	4.62	3.30371	13.1709	0.06534	776	15.04999
32	-6.59375	-9.03125	0.08413	606	4.34	3.13086	-4.05078	0.04479	391	7.64001
33	9.25	13.09375	0.09304	449	3.18	0.21094	17.61816	0.10552	389	7.57999
34	5.96875	-17.8438	0.13877	471	3.36999	-9.2832	13.70898	0.11412	494	9.62
35	9.4375	-13.4063	0.06878	324	2.37001	3.41016	-4.2373	0.05341	302	5.82001
36	18.875	-9.21875	0.13822	311	2.19	6.14844	-0.00195	0.01851	988	19.23001
37	-6.21875	-0.09375	0.01393	896	6.42999	12.77539	0.00488	0.06257	585	11.38
38	6.53125	8.71875	0.06703	801	5.72	-3.46484	-4.41211	0.05988	501	9.78
39	-2.84375	13.25	0.09141	1001	7.14	12.7041	-0.05566	0.05058	502	9.72
40	-3.21875	-13.4375	0.05365	453	3.24001	2.99023	4.4043	0.01888	556	10.76999
41	-19.1563	-8.6875	0.16663	330	2.36	6.30566	-8.58203	0.05157	563	10.98001
42	-18.875	-8.78125	0.1114	469	3.36	12.39941	9.13965	0.08907	848	16.48999
43	-6.625	-8.59375	0.1073	327	2.36	-6.51855	8.82715	0.0585	693	13.45999
44	3.03125	13.34375	0.05294	853	6.09999	-3.07227	13.17969	0.06371	342	6.70001
45	-9.46875	-4.65625	0.04015	406	2.86	-6.04297	-8.97168	0.05975	415	8.01999
46	-3.21875	-12.9375	0.0853	714	5.11	0.10938	18.28906	0.15542	415	8.08002
47	0.15625	17.90625	0.09682	974	2.69	12.34863	-0.0791	0.06326	391	7.63998
48	-3.0625	-12.8438	0.10474	740	5.27	-15.7402	4.91504	0.12369	494	9.61002
49	-3.34375	-4.40625	0.02834	837	5.98999	-6.23535	8.86426	0.03062	373	7.25998
50	-9.34375	-4.125	0.05443	334	2.36	-3.19531	-4.24609	0.01815	347	6.76004
51	18.84375	-8.71875	0.11476	459	3.3	-6.26367	-9.27246	0.06863	673	13.06995
52	15.75	13.15625	0.11359	393	2.8	6.13086	-8.8291	0.04125	378	7.36005
53	-9.65625	4.5625	0.05866	354	2.53	-15.4971	-4.89941	0.13871	551	10.71997

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.8 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F8 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

54	-9.46875	-13.375	0.06864	362	2.64	-6.36914	8.94336	0.03465	372	7.25
55	-3.375	4.5	0.03582	354	2.53	-9.6377	-4.52637	0.05262	378	7.35999
56	-6.21875	-9.3125	0.07851	800	5.71001	-9.32031	13.39648	0.07317	364	7.04004
57	-9.09375	13.25	0.12032	337	2.42	-9.10645	-4.51855	0.07743	599	11.70001
58	15.625	-4.15625	0.08919	466	3.34999	12.51367	0.15625	0.04663	465	9.00995
59	-6.25	9	0.03382	436	3.19	9.24023	-4.37402	0.04427	322	6.27002
60	21.84375	-4.4375	0.13506	584	4.17	6.09082	-8.7041	0.05474	311	6.03998
61	-6.28125	8.78125	0.03187	686	4.89	6.21777	17.29004	0.14382	426	8.30005
62	-0.15625	17.59375	0.09736	947	6.87001	2.97852	-4.64355	0.03079	766	14.88995
63	3.15625	-4.1875	0.02324	509	3.62999	9.57227	-4.74902	0.06248	457	8.90002
64	9.3125	4.46875	0.03313	315	2.25	-6.54883	9.1084	0.07847	407	7.90997
65	-6.3125	-0.28125	0.03011	656	4.67	3.29688	4.07129	0.0528	565	10.99005
66	-6.46875	-0.3125	0.05155	306	2.20001	0.0664	-8.90625	0.02214	644	12.52997
67	-9.53125	12.78125	0.14278	437	3.13	-0.12891	0.11328	0.01148	636	12.41003
68	8.96875	-4.4375	0.12723	462	3.29999	9.40137	-4.1748	0.04463	338	6.53998
69	-6.15625	-0.21875	0.02937	590	4.21001	0.34668	-8.74121	0.08353	445	8.67999
70	-6.59375	0.375	0.09202	371	2.63	-9.47266	4.2998	0.0333	343	6.65002
71	-18.6563	-9.125	0.14046	422	3.03	6.2666	0.00683	0.00996	622	12.13995
72	9.65625	4.75	0.07848	736	5.26999	-12.5293	-0.2959	0.06174	573	11.16003
73	-12.4688	0.15625	0.0497	684	4.89998	12.65625	-9.29688	0.10748	479	9.27997
74	6.5	-0.46875	0.08718	826	5.93002	12.44727	-8.66016	0.07717	385	7.48004
75	-12.5	-8.46875	0.10226	616	4.39999	-6.30078	-8.91309	0.03012	899	17.51996
76	15.65625	4.1875	0.08323	601	4.29001	3.03711	4.5752	0.01734	308	5.98999
77	5.96875	0.1875	0.06629	764	5.44	-6.25293	-8.76465	0.0331	311	6.05005
78	9.4375	4.3125	0.03124	666	4.78	-6.31738	-18.1377	0.12612	500	9.71997
79	-15.5938	13.5625	0.12684	385	2.73999	0.10742	9.05176	0.03309	423	8.23999
80	-6.3125	0.375	0.04536	366	2.63998	-3.11426	-4.0498	0.04526	545	10.61005
81	0.15625	8.5625	0.05621	581	4.12003	6.34668	9.07617	0.04171	797	15.48999

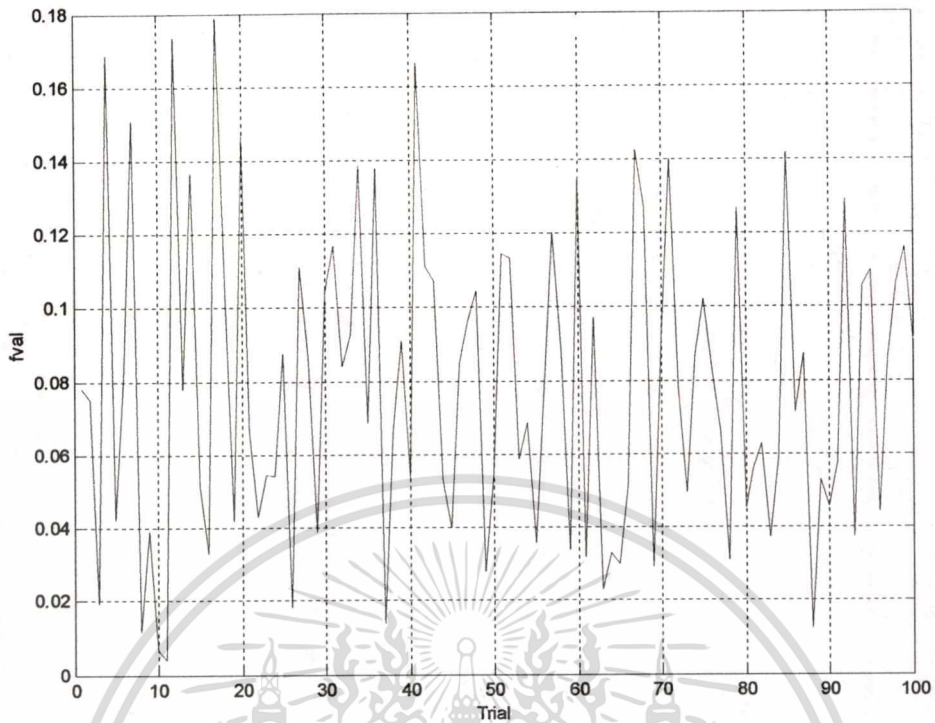
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.8 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F8 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

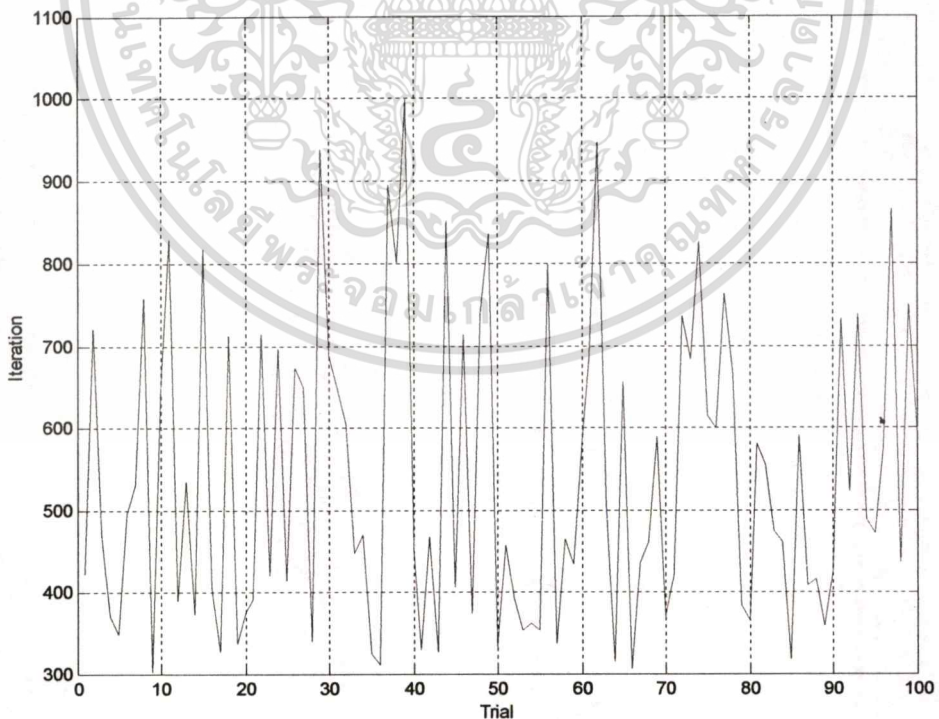
82	9.46875	-4.8125	0.06309	556	3.95999	5.94141	-8.76758	0.08917	310	6.04999
83	-3.3125	4.6875	0.03751	476	3.99999	-6.30176	-0.04492	0.0106	578	11.21002
84	9.34375	4.78125	0.05921	463	3.36002	-9.60059	-4.55957	0.047	1001	19.00995
85	-3.34375	3.75	0.14192	318	2.25	6.31934	-8.65137	0.04304	853	16.59003
86	-12.8125	0.03125	0.07141	592	4.22998	-6.39648	0.43262	0.06281	373	7.25
87	12.4375	-0.40625	0.08764	410	2.91	-18.5811	-8.55566	0.16659	373	7.26001
88	3.1875	-4.5625	0.01236	419	3.01999	-6.29199	-9.19727	0.05524	512	9.94
89	3.03125	13.28125	0.05303	359	2.59003	-0.25293	0.4082	0.07192	455	8.84998
90	6.5	-0.21875	0.04564	426	3.01999	0.1748	0.01953	0.01534	575	11.21002
91	3	13.25	0.05767	733	5.22	-12.2979	-8.32129	0.0941	425	8.23999
92	-12.5625	-8.34375	0.12942	524	3.79001	-15.3731	-4.39648	0.1688	529	10.27002
93	-9.5625	4.46875	0.03748	738	5.26999	-9.4043	-4.22266	0.03887	667	13.01996
94	-18.7813	0.25	0.10608	489	3.45999	-6.32227	0.77539	0.15737	310	5.98999
95	9.125	-13.2813	0.11005	472	3.36002	-9.78809	-4.30176	0.0985	343	6.71002
96	9.59375	4.53125	0.0443	576	4.12	9.24414	4.11426	0.0683	984	19.12
97	12.34375	8.75	0.0864	866	6.20999	0.03418	-0.09668	0.00292	432	8.40002
98	-12.3438	8.5625	0.10647	437	3.13	3.39746	-4.09668	0.06848	378	7.37
99	-5.96875	-9.28125	0.11641	750	5.38	-12.7686	8.93555	0.08169	803	15.59998
100	3.4375	-13.2813	0.09105	596	4.44998	-9.4834	-13.6699	0.09984	407	7.91003
ค่าที่สุท	0	-0.125	0.0039	831	5.94	0.03418	-0.09668	0.00292	432	8.40002
ค่าเฉลี่ย			0.078356	541.2	3.873			0.067952	520.47	10.1202
ค่าเบี่ยง	-3.59375	-5	0.17887	327	2.31	-15.3731	-4.89648	0.1688	529	10.27002

\*\*\*หมายเหตุ ทารมิตอร์ที่ใช้การทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 8.1-8.2 ยกเว้นจำนวนประชากรที่มีขนาด 4\*ขนาดของชุด ทริโม ไมโคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

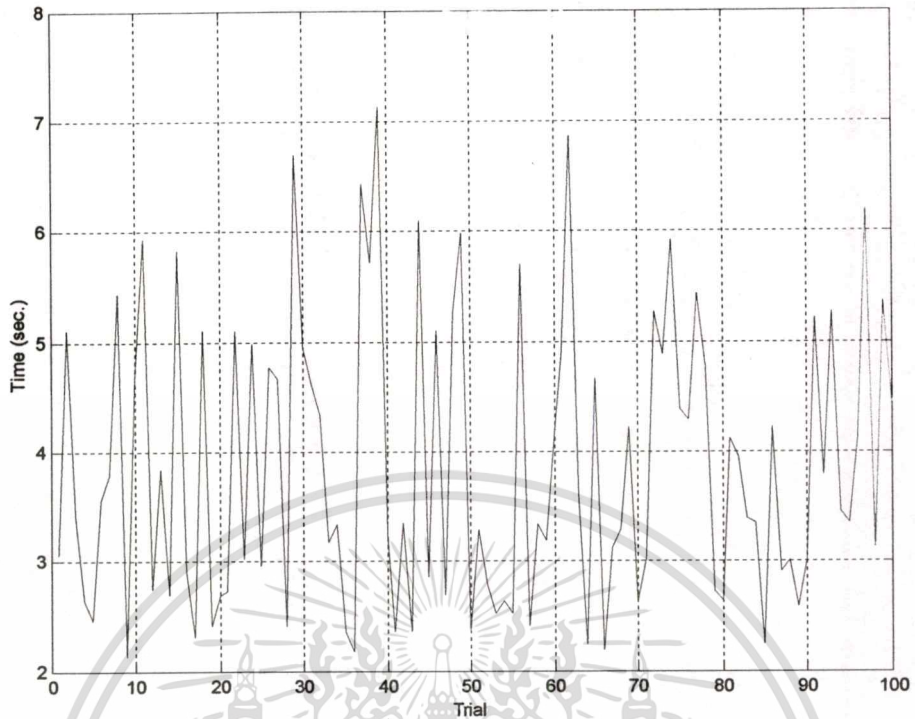


รูปที่ 8.73 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F8$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

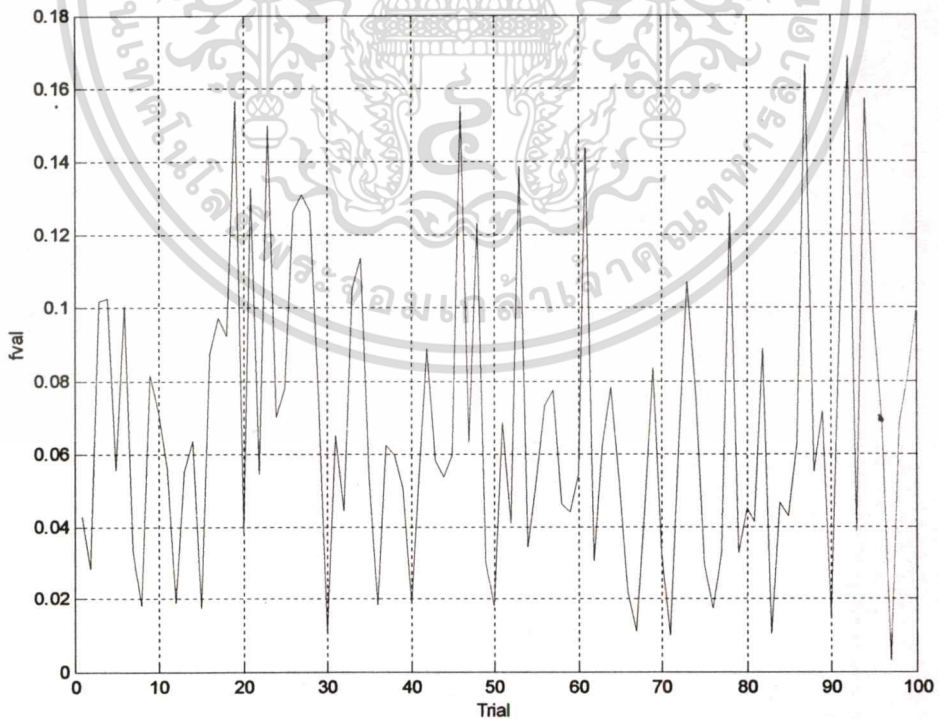


รูปที่ 8.74 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F8$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

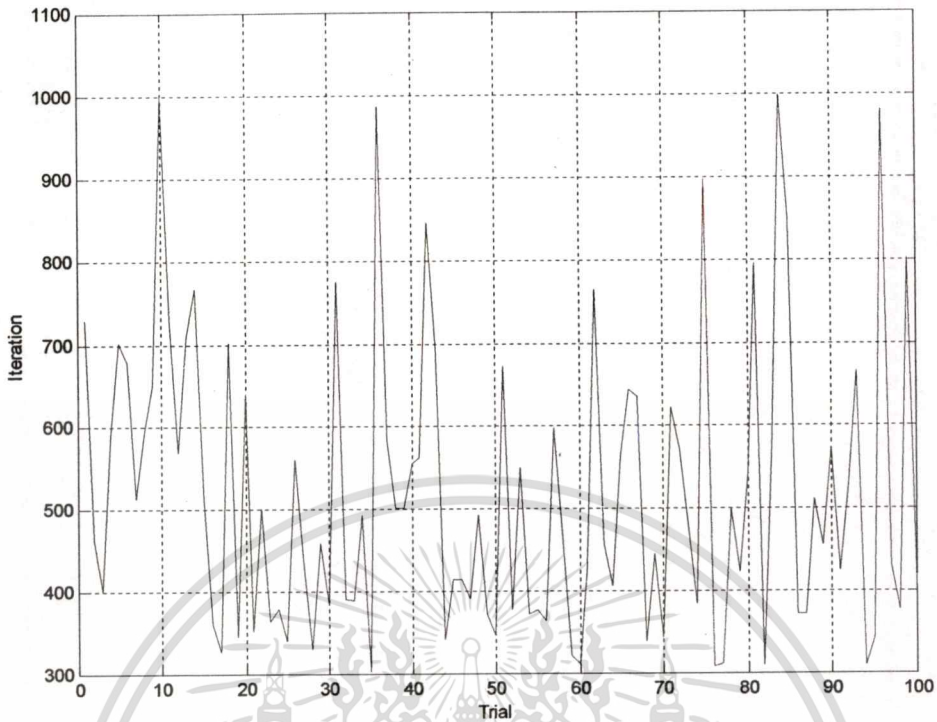


รูปที่ 8.75 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังค์ชัน  $F8$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

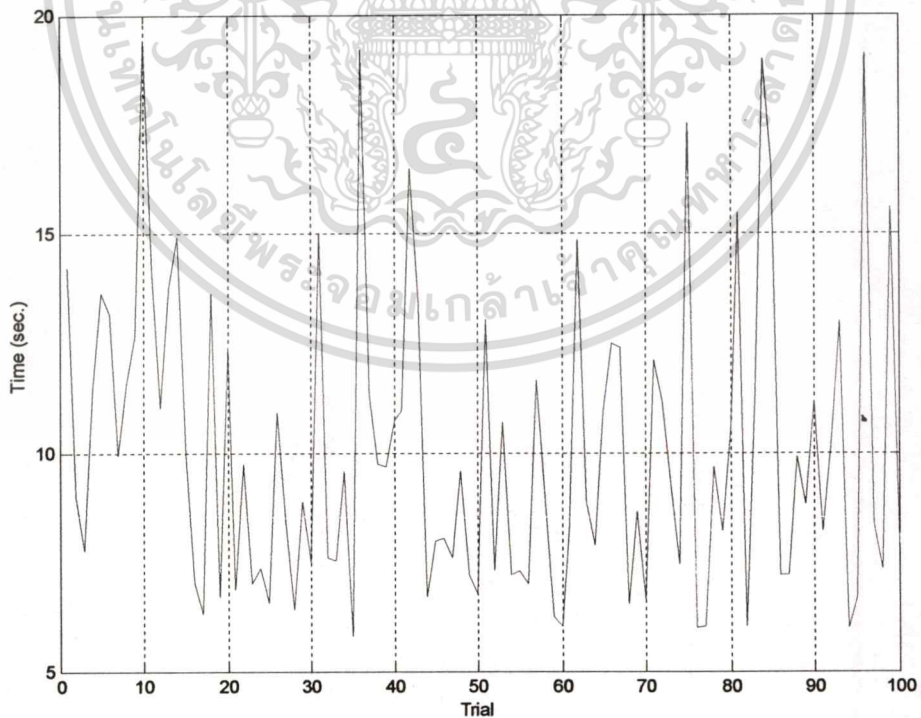


รูปที่ 8.76 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังค์ชัน  $F8$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

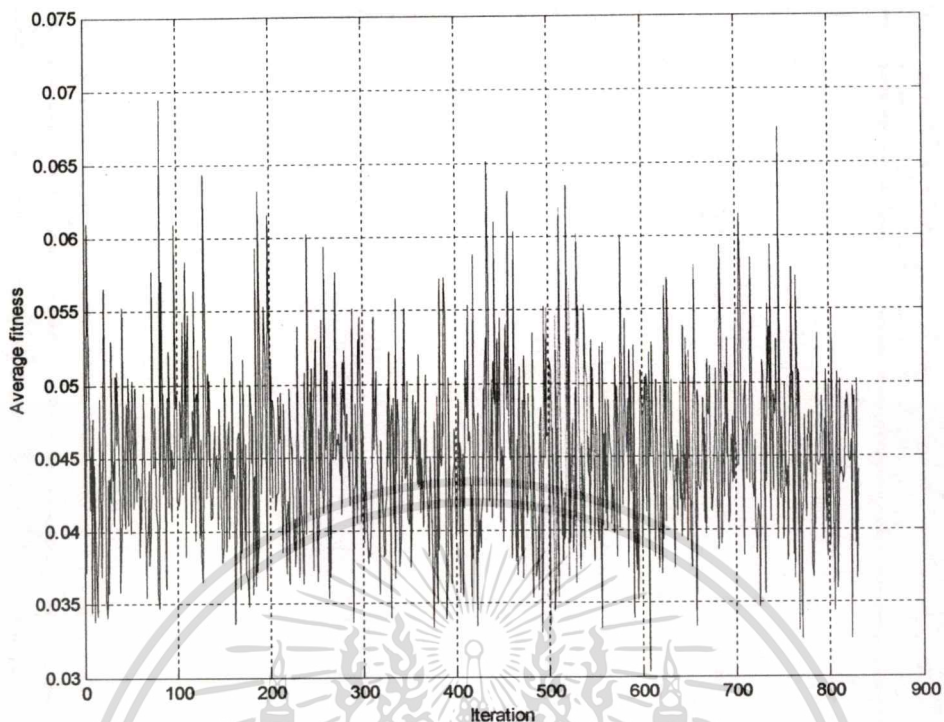


รูปที่ 8.77 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F8$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

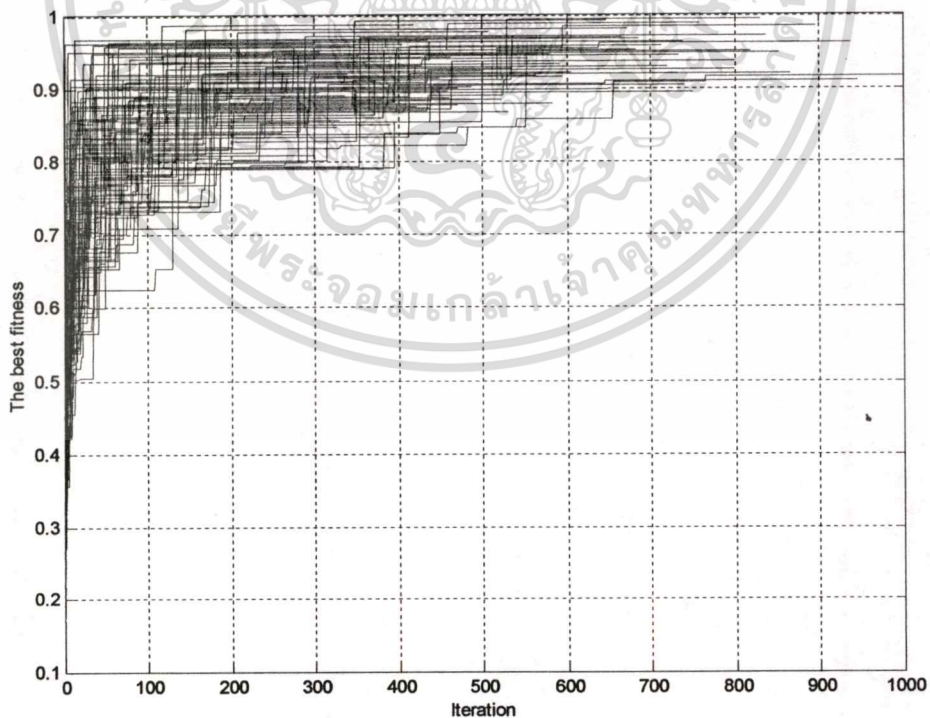


รูปที่ 8.78 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F8$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

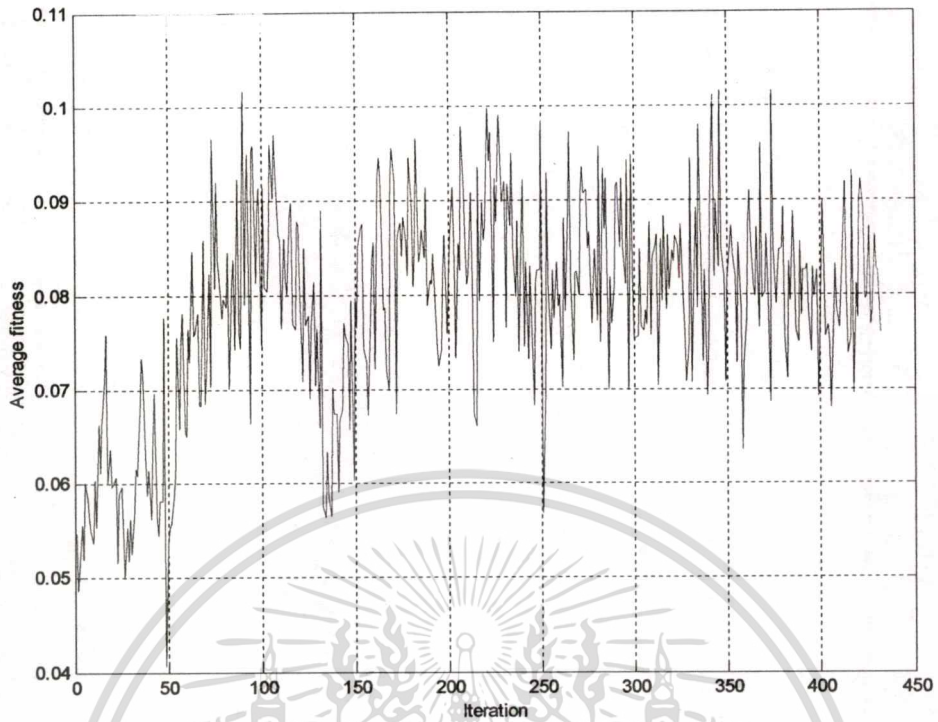


รูปที่ 8.79 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F8$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

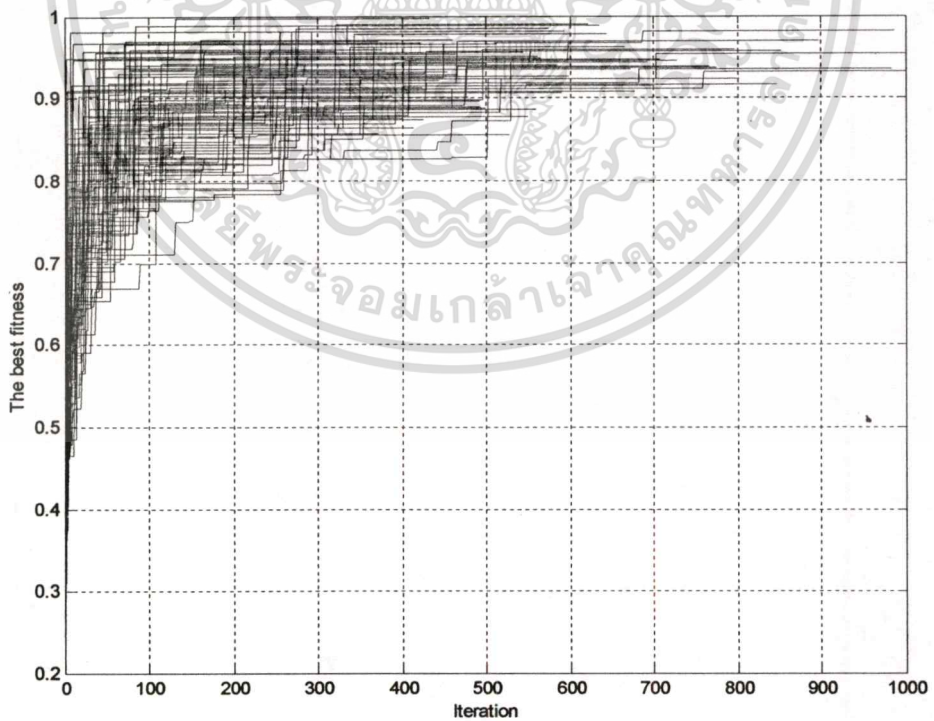


รูปที่ 8.80 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F8$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

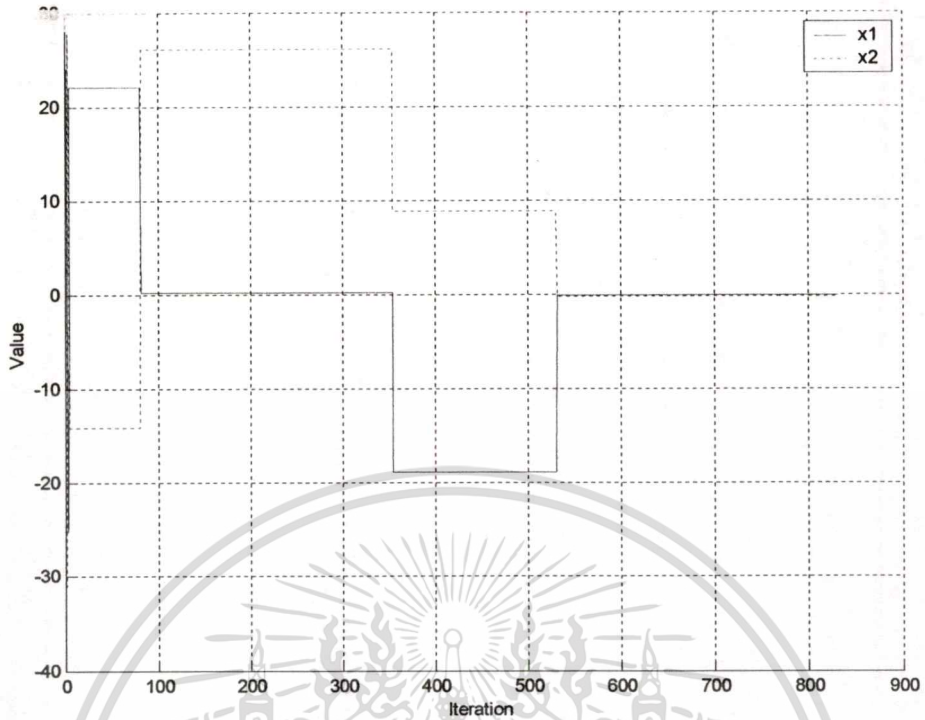


รูปที่ 8.81 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F8$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

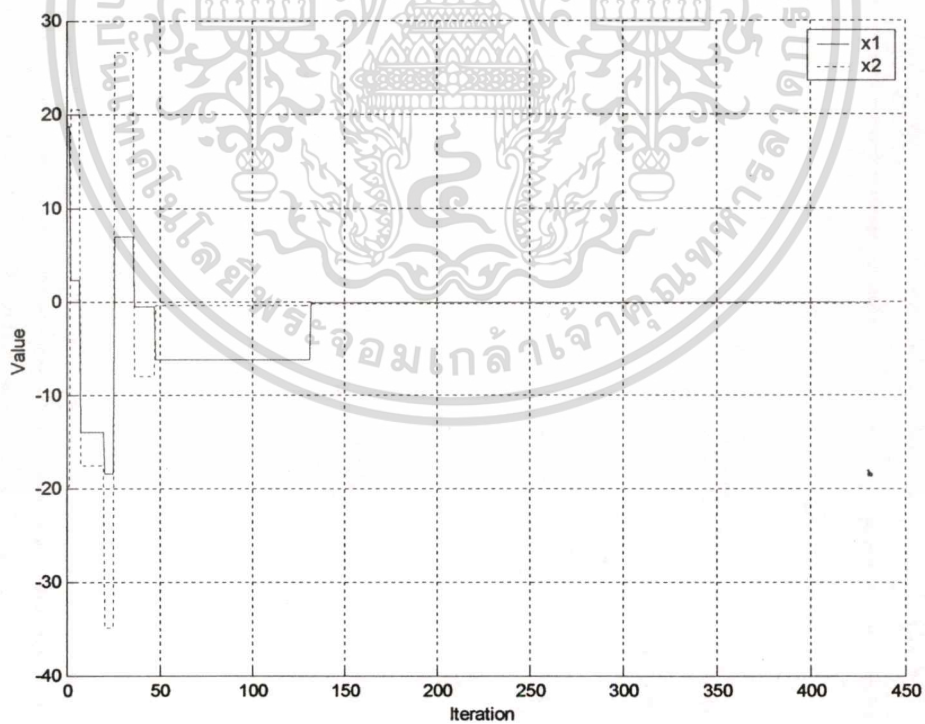


รูปที่ 8.82 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F8$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



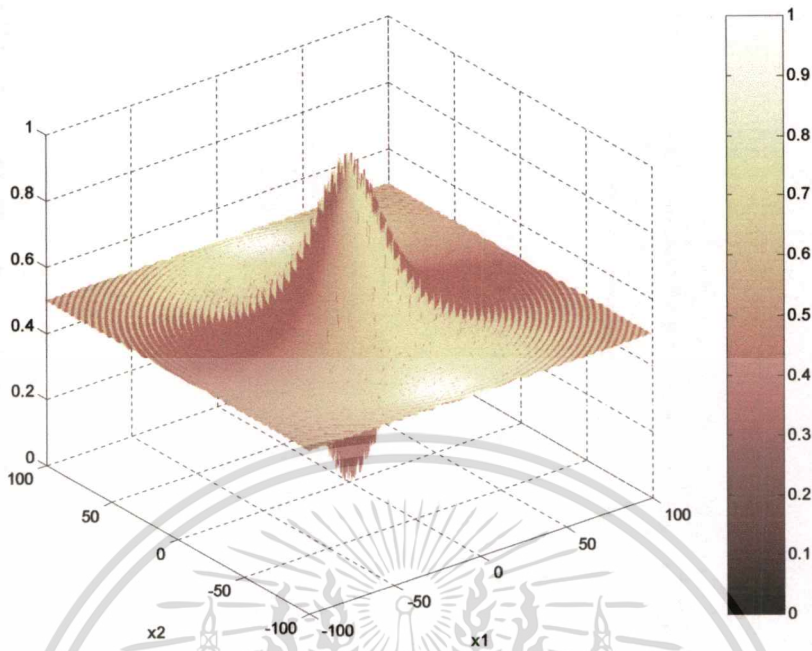
รูปที่ 8.83 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F8$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)



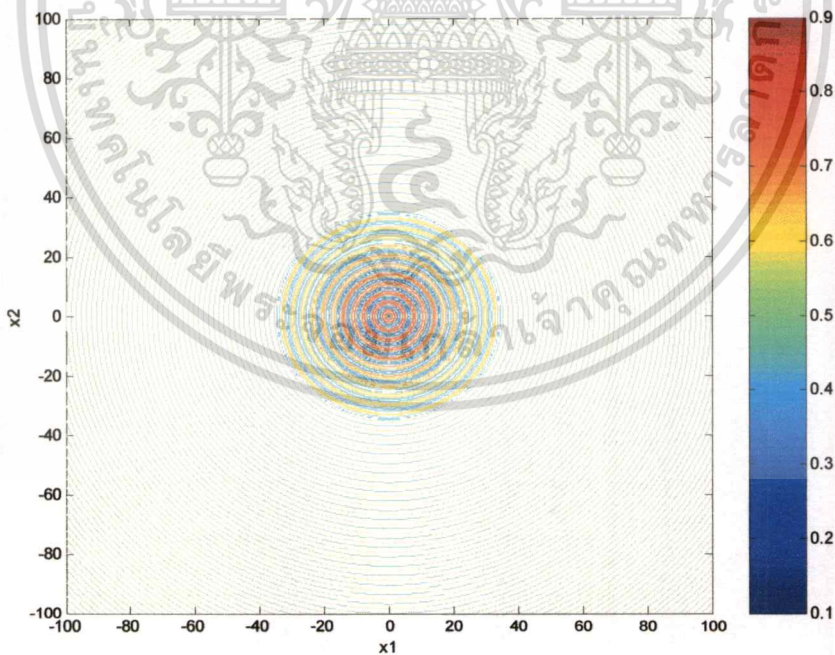
รูปที่ 8.84 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F8$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8.1.7 ฟังก์ชัน $F9$ (Griewangk's function)



รูปที่ 8.85 ลักษณะฟังก์ชัน  $F9 : f(x_i, i=1,2) = 0.5 + \frac{\sin^2(\sqrt{x_1^2 + x_2^2}) - 0.5}{[1 + 0.001(x_1^2 + x_2^2)]^2}$ ,  $x_i \in [-100, 100]$



รูปที่ 8.86 ลักษณะเส้นโครงร่างฟังก์ชัน  $F9$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.9 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F9 จำนวน 100 ครั้ง

การทดสอบ ครั้งที่	BF		AOGAs				AONGAs				Time (sec.)		
	X1	X2	fval	X1	X2	fval	iter	Time (sec.)	X1	X2		fval	iter
1	-1.4	0.7	0.997528	-1.00708	-1.22681	0.99722	600	4.23	-1.47095	0.67749	0.99503	620	5.98
2				-0.12207	1.57471	0.99744	396	2.74	-0.08544	-4.6936	0.97836	578	5.55
3				-0.03662	1.57471	0.99751	341	2.42	-1.11084	1.17188	0.99549	678	6.54
4				1.34838	0.76904	0.99727	336	2.36	-0.36621	1.48926	0.99628	378	3.63
5				0.7019	1.41602	0.99742	489	3.41	-0.62256	-1.39771	0.99602	466	4.45
6				-1.42822	-0.60425	0.99721	303	2.14	1.5686	-0.1709	0.99747	994	9.56
7				-0.15259	1.5564	0.99752	505	3.57	1.49536	-0.28076	0.99528	826	7.97
8				-1.58691	0.37231	0.99387	254	1.76	-1.52588	0.31738	0.99743	394	3.79
9				1.59302	-0.27466	0.99532	504	3.57	-1.57471	0.29907	0.99642	656	6.32
10				-0.50049	1.3916	0.98943	521	3.63	-1.5564	-0.42114	0.99569	260	2.52
11				-1.51367	0.26245	0.99646	396	2.8	-1.59912	0.24414	0.99521	284	2.7
12				-0.61035	-1.45264	0.9975	379	2.64	1.62964	-0.09155	0.9936	275	2.63
13				-0.06713	1.5564	0.99742	494	3.46	1.3916	-0.72021	0.99754	959	9.23
14				4.67529	0.39062	0.97828	301	2.14	0.92163	1.14136	0.98717	287	2.75
15				1.44653	0.56763	0.99731	616	4.29	-1.16577	-1.0498	0.99754	510	4.89
16				1.19629	-0.97656	0.99692	487	3.46	1.2146	1.0437	0.99651	314	3.02
17				1.27563	-0.87891	0.99714	486	3.41	1.5564	0.14038	0.9975	253	2.48
18				-0.45166	-1.49536	0.99749	752	5.27	0.05493	1.5564	0.9974	567	5.43999
19				1.02539	-1.14136	0.99633	622	4.4	-1.45264	-0.88501	0.98036	424	4.06001
20				-1.54419	-0.27466	0.99754	1001	7.03	-0.07324	1.52588	0.99582	265	2.53
21				-1.08643	-1.17798	0.99644	539	3.78999	1.50146	0.47607	0.99751	583	5.6
22				-0.46997	1.48926	0.99749	449	3.13	1.52588	0.36011	0.99754	480	4.62
23				-1.48315	0.43335	0.99697	328	2.31	-1.55029	-0.29907	0.99745	274	2.64
24				1.58691	0.21973	0.99647	413	2.91	0.84229	1.31836	0.99752	429	4.12
25				1.25122	0.91553	0.99719	553	3.91	-1.52588	0.37842	0.99754	550	5.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.9 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F9 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

26	0.63477	-1.45264	0.99729	740	5.22	0.73242	-1.3916	0.99753	307	2.91
27	0.83618	-1.36719	0.99643	571	4.01	-1.26953	-0.90942	0.99749	583	5.61
28	-0.78735	-1.32446	0.99674	417	2.91	-0.45776	1.5029	0.99532	277	2.69
29	-0.6958	1.41602	0.99747	318	2.25	-0.65918	-1.42212	0.99754	403	3.85001
30	1.01318	1.23291	0.99684	260	1.81001	0.90942	1.25122	0.99704	488	4.67
31	-0.94604	1.36108	0.98979	442	3.14	1.72119	-4.3335	0.97659	331	3.17999
32	-0.59204	-4.64478	0.97791	390	2.74	-1.03149	1.17798	0.99753	405	3.90001
33	0.0061	1.51978	0.99511	492	3.46	-0.99487	1.19019	0.99722	894	8.57999
34	-0.62866	1.44043	0.99754	290	2.04	-1.03149	-1.20239	0.99732	447	4.28001
35	-0.63477	-1.42822	0.9975	532	3.73	-1.06812	-1.16577	0.9974	778	7.46999
36	1.41602	0.76294	0.99601	349	2.48	-1.53198	-0.41504	0.99722	523	5
37	1.0376	-1.18408	0.99752	265	1.81	1.25122	0.98267	0.99707	370	3.38
38	-0.0061	4.71191	0.97852	612	4.34	1.51367	-0.14648	0.9952	420	4.01001
39	1.59302	0.26245	0.99551	350	2.42	0.56763	1.44653	0.99731	291	2.8
40	-0.48828	1.60522	0.98584	473	3.35001	-1.37329	-0.76904	0.99752	388	3.67999
41	-0.67749	1.49536	0.99233	289	2.03	-1.3855	-0.72632	0.99752	781	7.53
42	-0.76904	-1.42212	0.9953	585	4.06999	1.34888	0.78125	0.99744	332	3.18001
43	-1.40991	-0.54932	0.99441	353	2.47	-0.28076	-1.54419	0.99754	279	2.7
44	-2.79541	3.75977	0.97804	251	1.81	0.77515	1.40991	0.99597	456	4.34
45	1.53198	-0.177	0.99681	306	2.20001	-1.43433	0.61035	0.99744	582	5.60001
46	-1.50757	-0.39062	0.9974	277	1.92999	1.11084	-1.09253	0.99742	309	2.97
47	0.29297	1.5625	0.99713	278	1.97	-1.564	-0.31128	0.99722	438	4.17999
48	-0.23193	1.47705	0.99209	487	3.41	-1.33667	0.8667	0.99698	477	4.61
49	1.25732	-0.96436	0.99731	380	2.69	-1.30615	-0.93994	0.99595	538	5.11
50	-0.0061	1.60222	0.99625	416	2.90999	1.35498	-0.67749	0.99461	413	4.00999
51	0.94604	-1.25732	0.99753	383	2.7	-0.37231	1.47095	0.99486	359	3.41
52	-0.15259	1.5564	0.99752	551	3.90001	-1.3855	0.73242	0.99754	723	6.98
53	-1.59302	-0.02441	0.99697	552	3.89999	-1.46484	0.56763	0.99754	476	4.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.9 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F9 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

54	-0.06713	-1.62964	0.99375	401	2.8	-1.5625	0.354	0.99647	385	3.68001
55	0.5249	-1.47705	0.99754	357	2.53	-1.33667	-0.81177	0.99752	438	4.23
56	-0.40283	1.50146	0.99733	379	2.64	0.95215	1.25732	0.99748	586	5.60001
57	-1.50146	0.61035	0.9949	413	2.91	1.47705	0.41504	0.99633	338	3.23999
58	1.36719	-0.78125	0.99751	434	3.13	0.20752	1.52588	0.99669	256	2.42001
59	-4.65088	-0.67139	0.97846	348	2.42	1.34277	-0.7019	0.99463	542	5.22
60	-0.23193	1.5625	0.99744	310	2.19	-0.93384	4.63257	0.97822	295	2.85999
61	1.14136	0.93994	0.98938	258	1.81999	-2.02026	4.25415	0.97853	307	2.91
62	0.61646	1.33667	0.98815	299	2.09	-0.29297	-1.5625	0.99713	671	6.42999
63	-0.21973	1.53198	0.99708	374	2.63	1.60522	-0.12207	0.9959	445	4.29001
64	0.84229	1.17798	0.99708	276	1.93001	-0.65918	1.35498	0.99367	460	4.39001
65	1.43433	0.70801	0.983	337	2.35999	1.53809	0.31128	0.99754	431	4.17999
66	1.53198	0.5249	0.99504	509	3.57001	-1.45264	-0.41504	0.99414	367	3.51001
67	-1.45264	0.05493	0.9843	337	2.36	-1.5625	0.29907	0.99708	438	4.17999
68	0.72632	1.37939	0.99744	498	3.52	0.07934	1.65405	0.99007	486	4.66998
69	1.27563	0.92163	0.99752	471	3.34999	-4.41895	1.61743	0.97853	292	2.80002
70	0.29907	-1.41602	0.98279	261	1.81	-1.28174	-0.87891	0.99732	345	3.29999
71	-0.93994	-1.28174	0.99714	315	2.20001	-1.48315	0.37231	0.99595	589	5.66
72	0.53711	-1.46484	0.99746	481	3.40999	-1.34277	0.73242	0.99598	757	7.25
73	1.14746	1.00708	0.99574	426	2.97	1.00708	1.23291	0.99703	600	5.76999
74	-1.28174	-0.97046	0.99607	345	2.47	0.32349	1.5625	0.99685	736	7.09
75	1.3916	0.6897	0.99729	374	2.58	4.66919	-0.60425	0.97853	262	2.53003
76	1.29595	-0.95215	0.99616	401	2.86	-1.14136	-0.8667	0.9792	422	4.00998
77	-0.57983	-1.52588	0.99358	457	3.18001	0.98877	-1.33057	0.98977	352	3.39999
78	-1.54419	0.27466	0.99754	582	4.12999	-1.5625	-0.0122	0.9975	876	8.41
79	1.37939	0.71411	0.99729	580	4.06	1.3855	0.73853	0.99754	364	3.46002
80	1.34277	0.89111	0.99576	384	2.69	-1.30005	-0.80566	0.99597	357	3.45999
81	-0.13428	-1.61133	0.99528	380	2.7	1.3855	0.72632	0.99752	415	3.95999

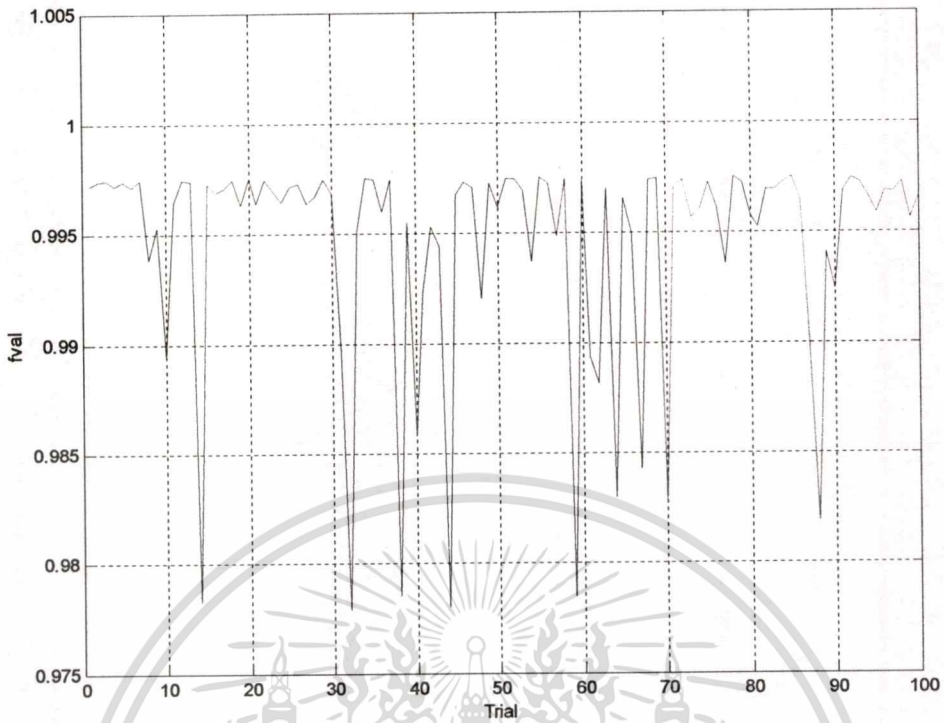
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.9 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F9 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

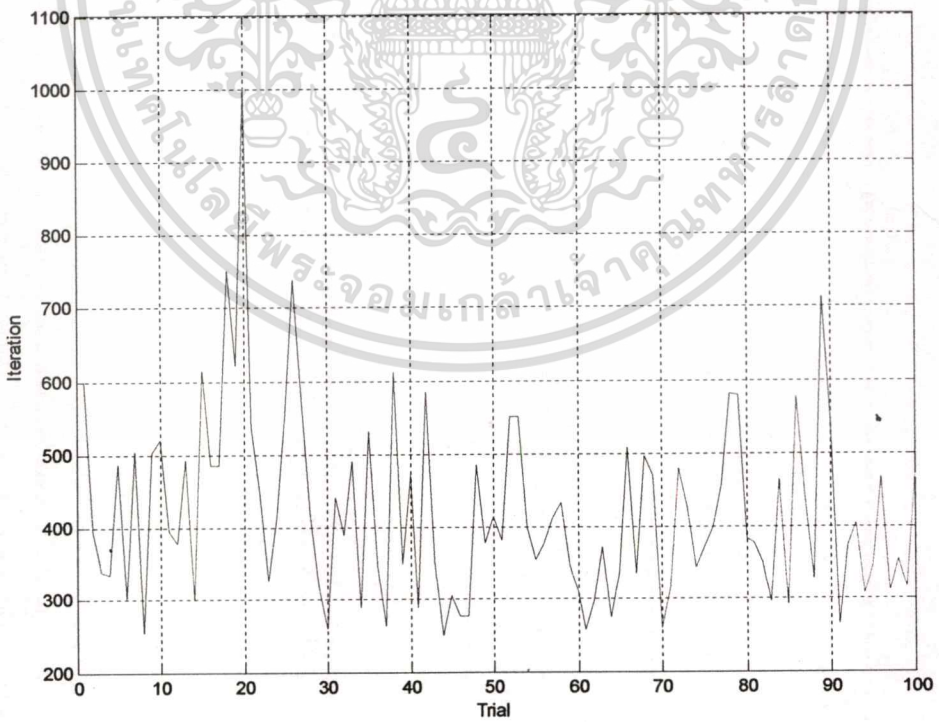
82	0.80566	1.37329	0.99702	352	2.52	0.20142	-1.58081	0.99695	320	3.08002
83	0.53101	1.50146	0.997	296	2.04001	-0.54821	-1.50757	0.99645	489	4.66998
84	-1.40381	-0.66528	0.9973	465	3.28999	1.47095	0.40894	0.99575	255	2.47
85	-0.23804	-1.55029	0.99754	293	2.09	0.90332	-1.25122	0.99687	669	6.42999
86	0.61646	1.47705	0.99657	578	4.06999	-1.11694	1.09863	0.99754	253	2.41
87	0.45776	1.59302	0.98981	440	3.07001	-1.03149	1.19629	0.99744	413	3.95999
88	1.36719	-0.46387	0.98193	329	2.31	0.40283	1.52588	0.99746	345	3.30002
89	-1.59302	-0.33569	0.99411	714	5.06	-1.49536	-0.5188	0.99736	475	4.56
90	-0.50049	-1.5625	0.99247	547	3.84	-1.33667	0.83008	0.99753	831	8.01999
91	1.59302	-0.05493	0.99694	267	1.87003	-1.19629	0.8728	0.98978	387	3.68002
92	-1.5564	-0.14648	0.99751	376	2.63998	-1.19019	1.0498	0.99723	478	4.62
93	1.07422	-1.12305	0.99732	405	2.86002	1.59912	0.14038	0.99625	644	6.14999
94	-0.41504	-1.54419	0.99666	308	2.13998	-1.20239	1.01318	0.99753	597	5.70999
95	1.47705	0.64087	0.99588	349	2.53	1.48926	-0.49438	0.99754	284	2.75
96	0.57373	-1.43433	0.99695	469	3.29001	-1.44653	-0.36621	0.99164	489	4.67001
97	-0.78125	1.3916	0.99684	312	2.14999	-1.46484	-0.46997	0.9966	433	4.17999
98	1.09253	-1.10474	0.9973	356	2.51999	1.5625	0.63477	0.98391	438	4.17001
99	-1.40381	-0.79346	0.99568	317	2.26001	3.21655	-3.45459	0.97838	413	3.95999
100	1.37939	0.68359	0.99666	471	3.29001	1.51978	-0.50049	0.9966	453	4.34
ค่าที่ต่ำสุด				290	2.04	-1.11694	1.09863	0.99754	253	2.41
ค่าเฉลี่ย				423.05	2.9763			0.994609	468.5	4.4972
ค่าที่สูงสุด				390	2.74	1.72119	-4.3335	0.97659	331	3.17999

\*\*\*หมายเหตุ ทราบมีเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 8.1-8.2 ยกเว้นจำนวนประชากรที่มีขนาด 4\*ขนาดของชุดโครโมโซม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

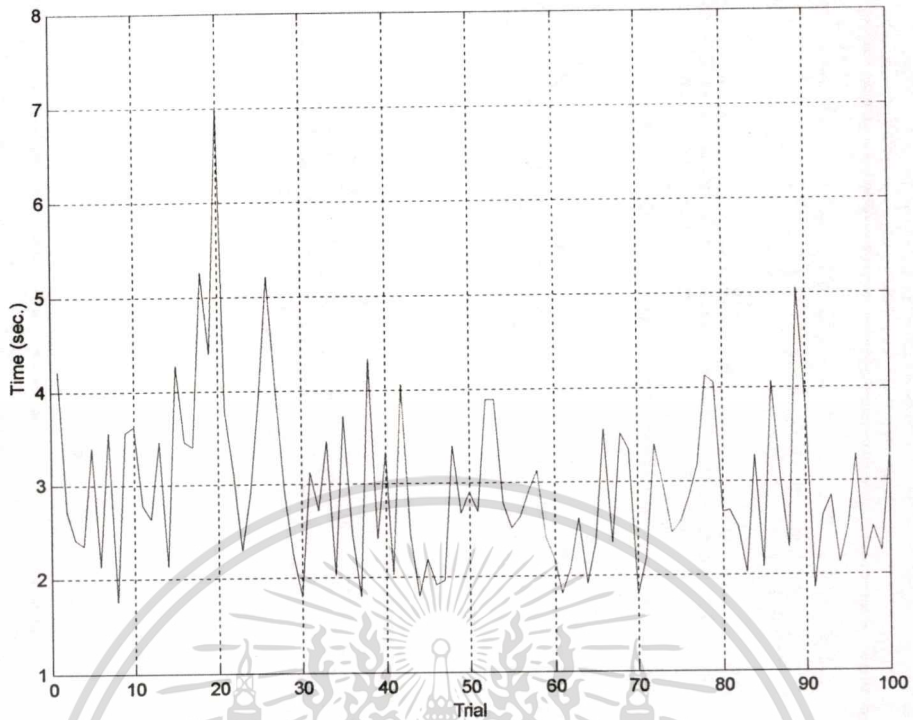


รูปที่ 8.87 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F9$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

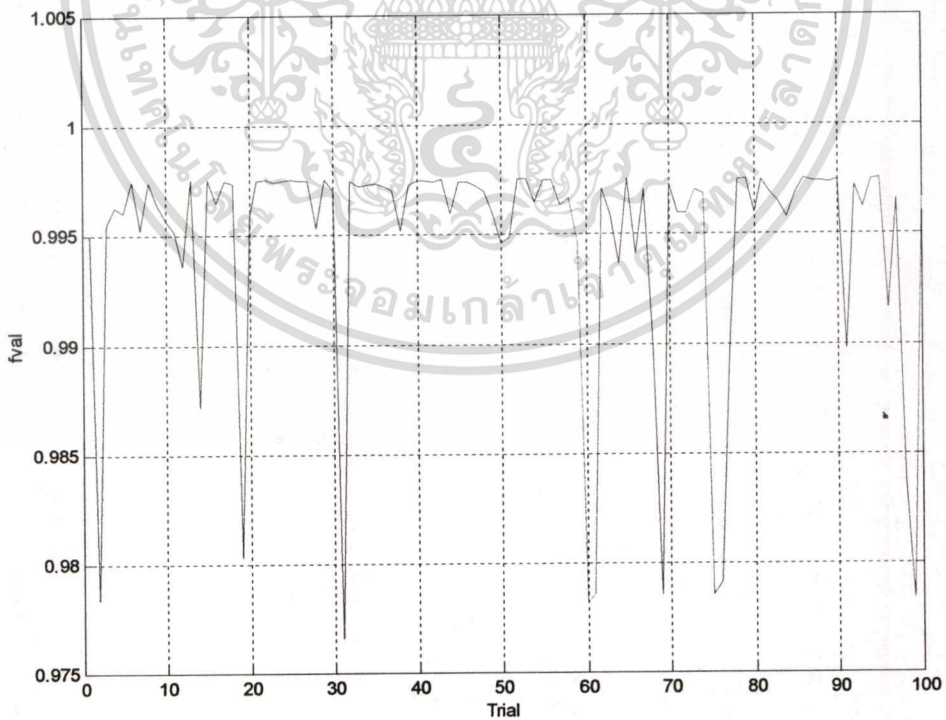


รูปที่ 8.88 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F9$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

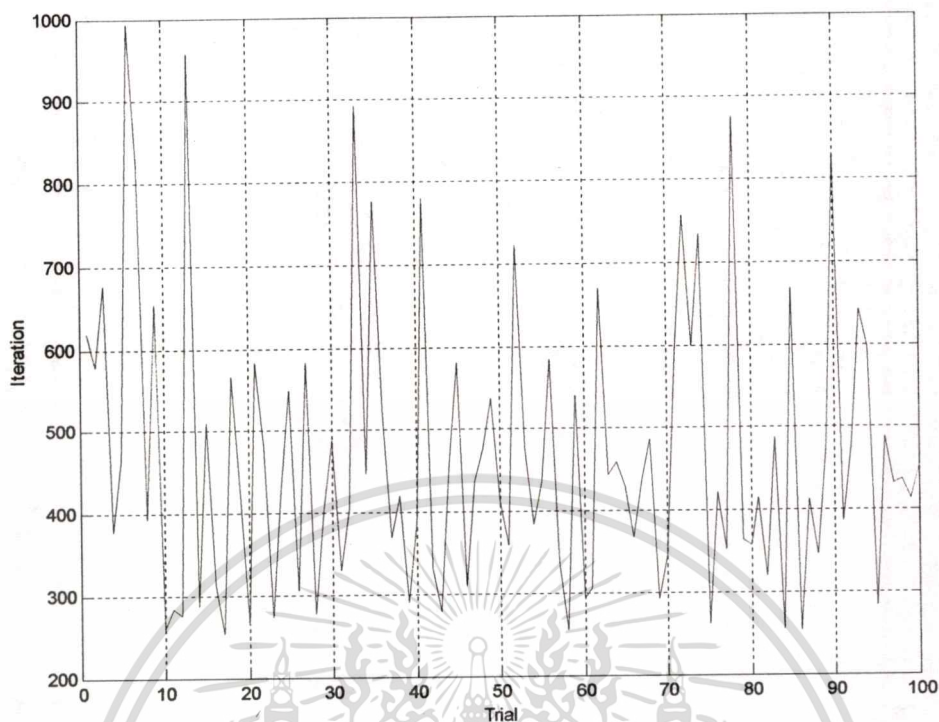


รูปที่ 8.89 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F9$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

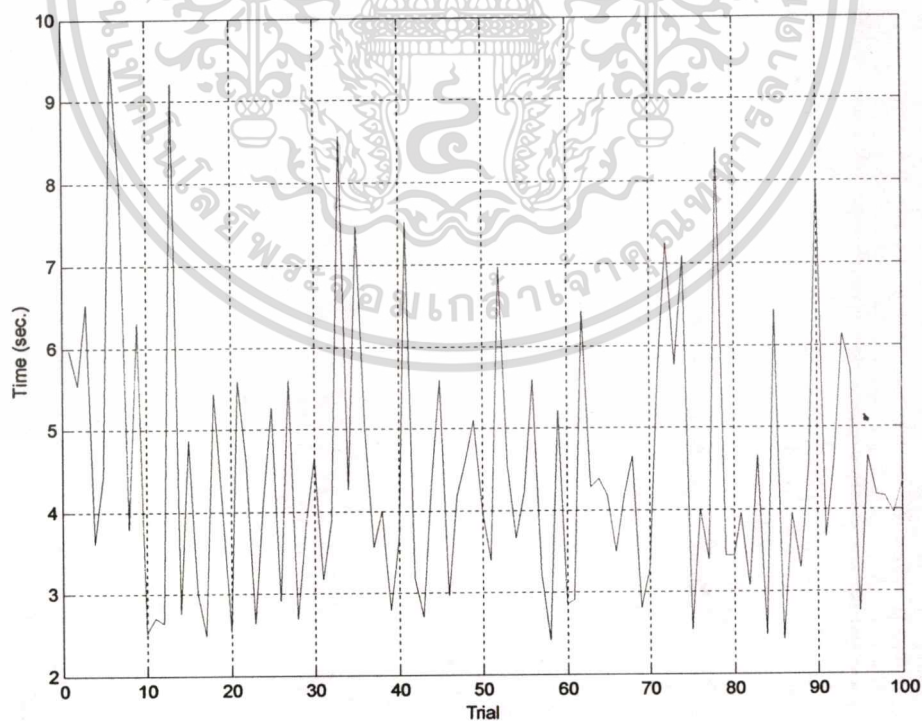


รูปที่ 8.90 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F9$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

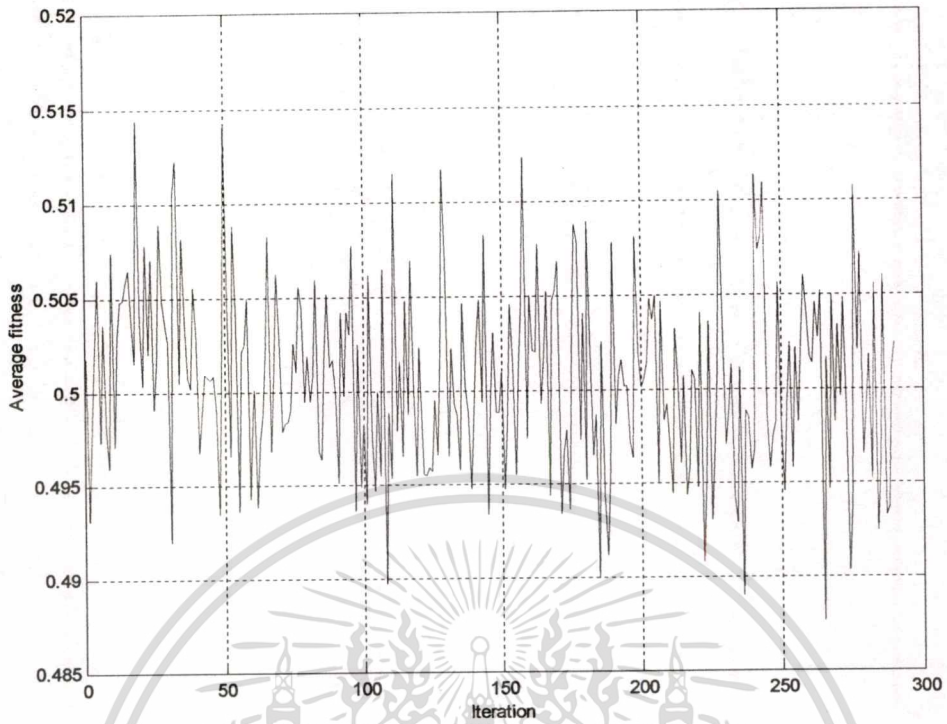


รูปที่ 8.91 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F_9$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

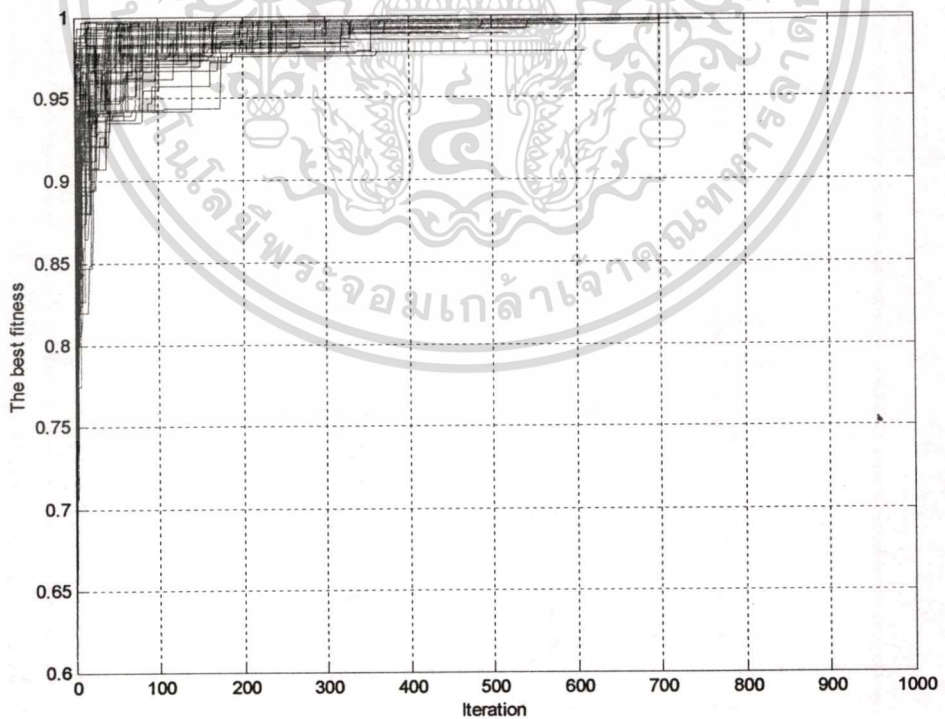


รูปที่ 8.92 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F_9$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

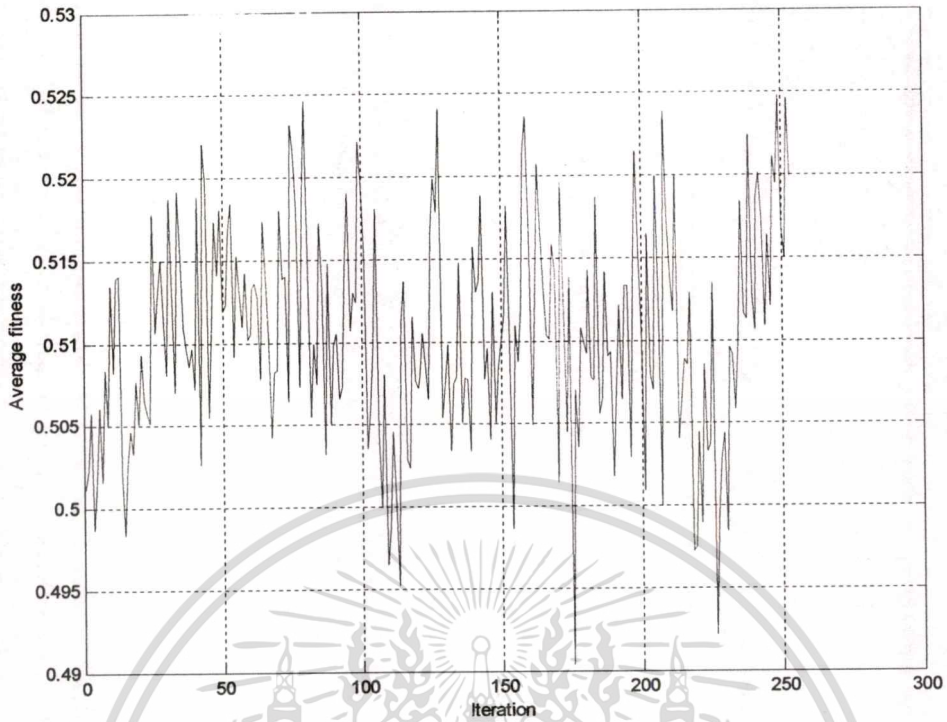


รูปที่ 8.93 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F9$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

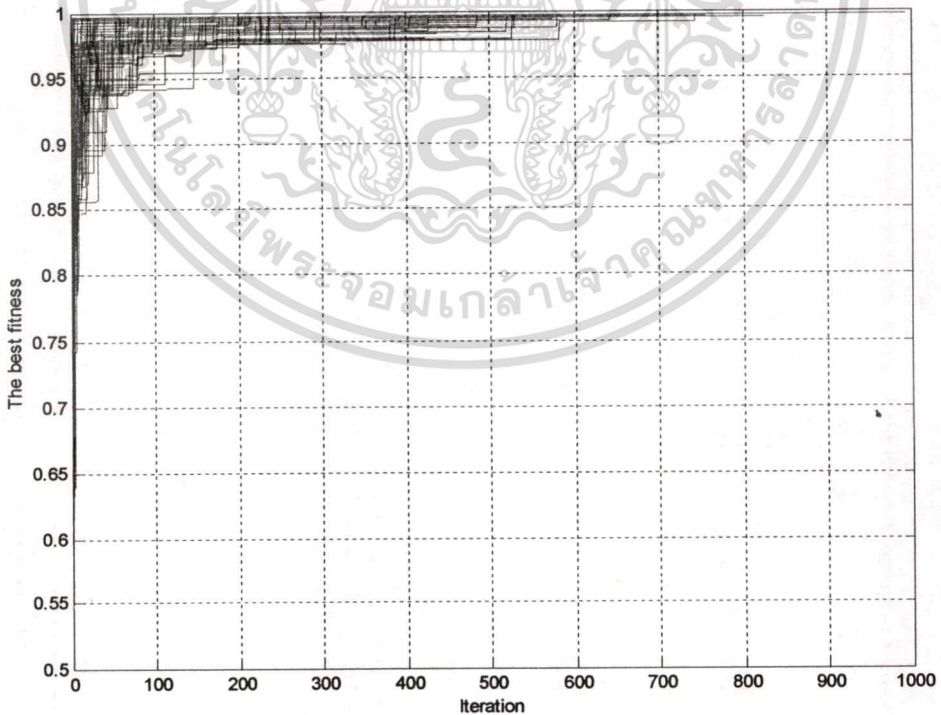


รูปที่ 8.94 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F9$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

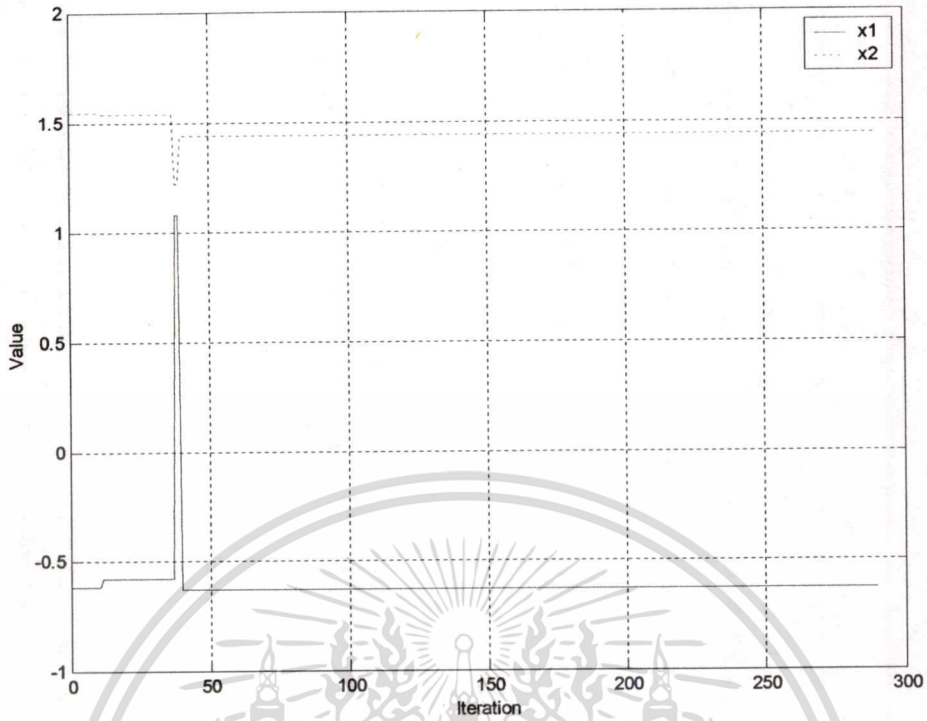


รูปที่ 8.95 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F9$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

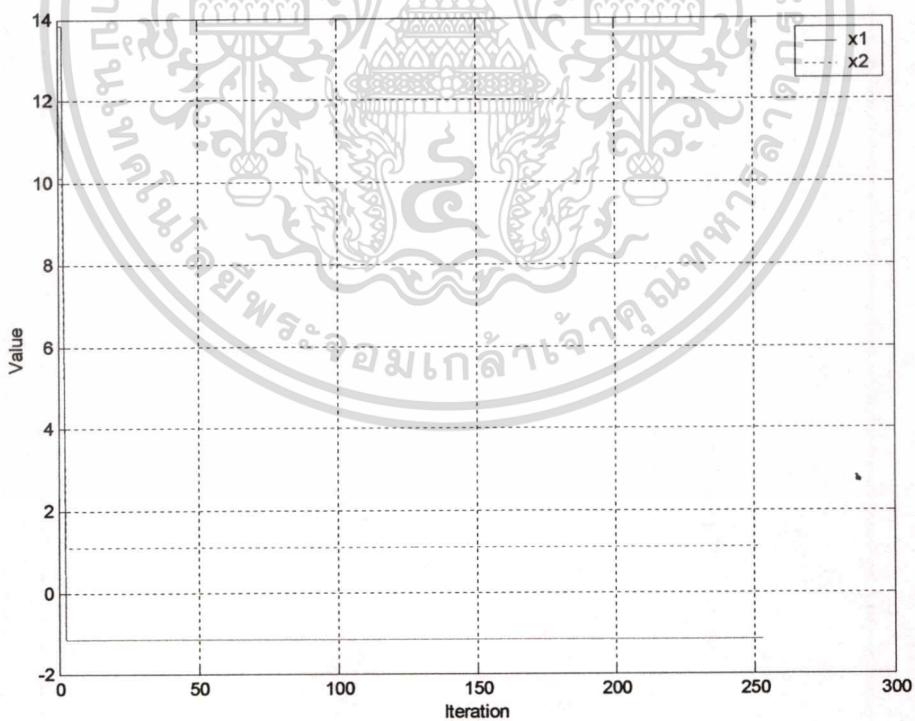


รูปที่ 8.96 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F9$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



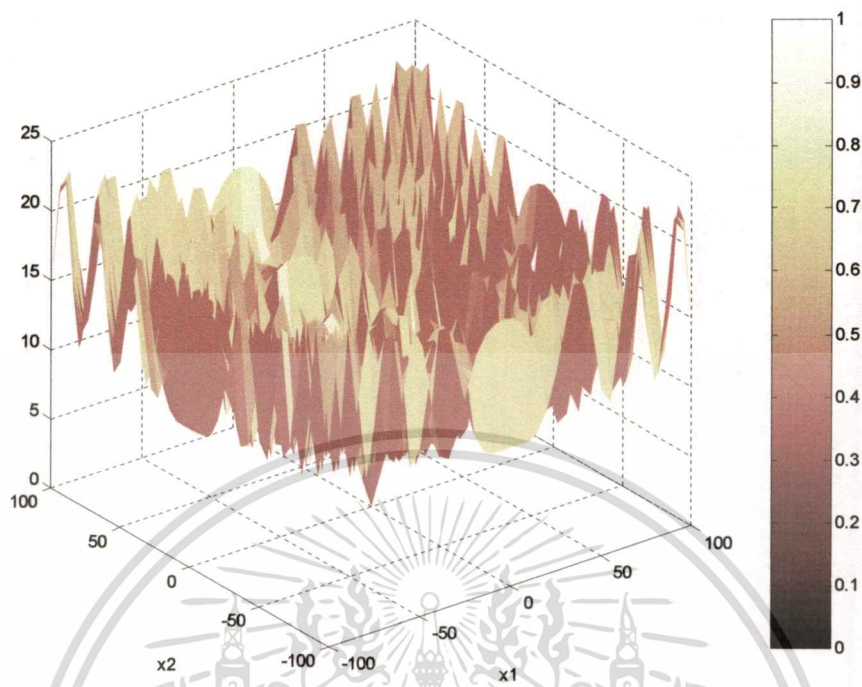
รูปที่ 8.97 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F_9$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)



รูปที่ 8.98 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F_9$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

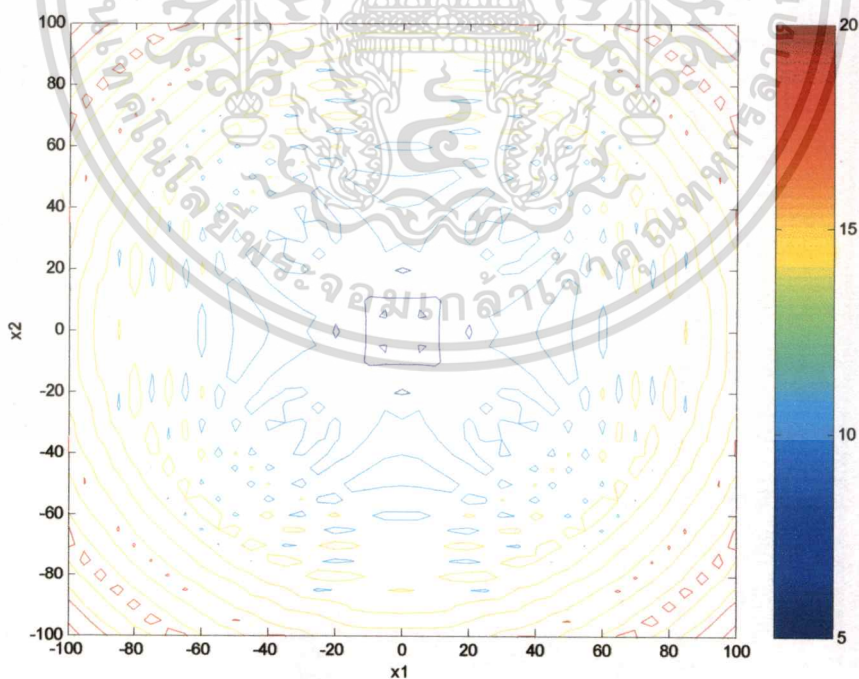
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8.1.8 ฟังก์ชัน $F10$ (De Jong's function)



รูปที่ 8.99 ลักษณะฟังก์ชัน

$$F10: f(x_i |_{i=1,2}) = (x_1^2 + x_2^2)^{0.25} \left[ \sin^2 \left( 50(x_1^2 + x_2^2)^{0.1} \right) + 1 \right] \quad x_i \in [-100, 100]$$



รูปที่ 8.100 ลักษณะเส้นโครงร่างฟังก์ชัน  $F10$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.10 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F10 จำนวน 100 ครั้ง

การทดสอบ ครั้งที่	BF			AOGAs				AONGAs					
	X1	X2	fval	X1	X2	fval	Iter	Time (sec.)	X1	X2	fval	Iter	Time (sec.)
1	0.0	0.0	0.0	0.78125	-1.20239	1.32323	305	2.47	-0.53711	-0.10338	0.819	424	8.29
2				-0.14648	-0.0122	0.46612	369	2.91	-0.69981	0.16842	0.92545	371	7.51
3				-0.354	0.177	0.88955	251	2.04	-0.00591	0.741	0.86177	575	11.32
4				0.98267	-0.95215	1.20363	436	3.73	0.49782	-0.03757	0.85041	660	12.97
5				-0.32349	0.65918	0.869	543	4.4	0.12894	0.32978	0.62233	651	12.91
6				0.39673	0.05493	0.95704	312	2.64	-0.01182	-0.35019	0.64398	683	13.4
7				-0.01831	0.54321	0.79272	314	2.3	0.40531	-0.03471	1.04609	477	9.34
8				0.07324	-0.3418	0.64985	323	2.37	0.19982	-0.17433	0.69428	321	6.32
9				0.12817	-0.29297	0.98382	410	2.91	-0.38528	-0.04997	0.79085	416	8.14
10				0.12817	-0.20752	0.4939	474	3.9	0.40874	0.0164	1.07725	460	9.01
11				1.01929	-0.15259	1.01662	419	3.13	-1.35498	-0.31013	1.179	408	8.02
12				0.07324	0.50049	0.79664	497	3.57	-0.0185	-0.04158	0.41375	449	8.84
13				-0.04272	0.5127	0.74718	337	2.81	-0.19283	-1.36375	1.18552	358	6.98
14				-0.46997	0.20732	0.75029	435	3.13	0.23689	0.05378	0.49314	688	13.52
15				0.07324	0.14648	0.43178	301	2.2	-0.74596	-0.06046	0.86827	336	6.59001
16				-0.09765	-0.48218	0.92211	261	1.97	0.36316	-0.96874	1.02294	619	12.2
17				0.90332	-0.5127	1.03267	418	2.97	0.42305	-0.30842	0.72555	617	12.09
18				0.21973	-0.26855	0.67011	388	2.8	-0.13962	0.70648	0.92342	492	10.38
19				0.8606	-0.5249	1.0381	488	3.52	-0.27599	0.21324	0.65568	404	9.06999
20				0.39062	0.36621	0.74713	701	5.05	-0.47417	-0.24872	0.74711	457	10
21				0.14038	-0.73242	0.8642	323	2.37	0.67158	-0.28858	0.87712	435	9.72
22				-0.27466	0.26245	0.69274	635	4.56	0.13103	0.10548	0.48722	463	9.84
23				-0.09155	1.03149	1.09496	377	2.68999	-0.05435	-0.38643	0.81325	824	16.15001
24				-0.45166	0.25635	0.73153	649	4.67001	0.85144	-0.59013	1.02387	594	11.70999
25				-0.14038	0.73242	0.8642	284	2.09	0.24166	-0.01506	0.49319	608	11.92001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.10 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F10 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

26	0.77515	0.71411	1.09586	463	3.29	-0.72689	-0.76771	1.11467	317	6.20999
27	-0.1709	0.45166	1.02228	313	2.26	0.47951	-0.08239	0.98135	1001	19.60999
28	-0.40894	-0.30518	0.76799	381	2.74	0.70114	0.23537	0.86225	568	11.16
29	0.02441	0.15259	0.40082	591	4.29	-1.07021	-0.81997	1.28172	310	6.10001
30	0.26855	0.06713	0.88611	423	3.02	0.99754	-0.40283	1.25047	424	8.29001
31	-0.26855	0.6897	0.862	350	2.53	1.00002	-0.08354	1.05403	522	10.28
32	0.06713	-0.15259	0.46601	607	4.56001	0.13256	-0.10338	0.48565	600	11.76001
33	-0.07934	-0.5188	0.72514	507	3.74	0.10147	0.29564	1.05092	665	13.01999
34	0.53711	0.02441	0.7573	251	1.81	0.55676	0.44136	0.98802	444	8.75001
35	-0.07934	0.74463	0.86911	609	4.56001	0.37403	0.64049	0.86174	404	7.91998
36	0.12817	0.46997	0.97465	271	1.98	-0.73509	0.04615	0.86518	445	8.75001
37	1.01318	0.27466	1.07443	377	2.69	-0.07381	-0.15335	0.51811	415	8.13
38	-0.07934	-0.05493	0.31326	546	3.96	-0.40092	0.56354	0.77727	315	6.20999
39	-0.09765	-0.18921	0.7896	299	2.19	0.5249	0.0246	0.72519	900	17.63998
40	0.07324	-0.05493	0.35289	362	2.59	0.08659	-0.09422	0.70679	682	13.41
41	0.23193	0.50659	0.91665	373	2.69	0.13618	-0.00114	0.63011	453	8.90002
42	-0.19531	-0.71411	0.86193	298	2.2	0.40951	1.3773	1.34145	363	7.09
43	-0.23804	0.06103	0.49773	396	3.06999	0.28477	0.4076	0.86914	327	6.37
44	-1.00098	0.27466	1.03078	374	2.75	-0.19188	0.47359	0.76591	361	7.09
45	-0.76294	-0.03662	0.92879	446	3.19	0.49839	0.14896	0.72977	569	11.16
46	0.03051	-0.3418	0.70585	343	2.47	-0.14133	-0.32825	0.60952	320	6.31
47	0.28687	0.40894	0.84783	647	4.67	-0.51136	0.58804	1.04525	355	6.93002
48	-0.67749	0.81787	1.14514	649	4.67	-0.21973	0.11902	0.51781	318	6.25998
49	0.08544	0.23193	0.50291	754	5.44	0.52643	0.51289	0.86768	419	8.24002
50	0.05493	0.10986	0.69638	323	2.31	0.16747	-0.31185	0.62291	418	8.18997
51	0.53101	-0.06713	0.74627	516	3.73	0.2697	-0.44403	0.73112	411	8.08002
52	-0.03662	0.37231	0.64442	417	2.97	-0.17815	0.01888	0.67967	421	8.23999
53	0.52349	0.15869	0.60354	773	5.72	0.35934	0.09365	0.62738	615	12.09

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.10 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F10 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

54	1.11694	0.77515	1.23141	255	1.86	0.38223	0.17529	1.2141	324	6.32001
55	0.27466	0.1709	0.94163	440	3.19	-0.3912	-0.3109	0.84628	685	13.46002
56	0.43335	0.19531	1.1078	369	2.64	-0.15202	0.01449	0.40976	375	7.35999
57	-0.94604	-1.05591	1.24154	476	3.46001	0.39539	0.34676	0.72531	378	7.41998
58	-0.20142	0.28076	0.68293	713	5.11	0.07686	-0.2367	0.51145	327	6.42999
59	-0.31128	0.48335	0.79998	547	3.89999	0.14801	0.17338	0.58685	358	7.03003
60	-1.00708	-0.15259	1.01587	302	2.14	-0.74806	-0.06389	0.87354	364	7.14001
61	-0.85449	-0.56152	1.01302	601	4.28999	-0.13657	0.4837	0.82127	384	7.52997
62	-0.23804	-0.0061	0.50252	569	4.01001	-0.41313	0.26436	0.93805	318	6.21002
63	-0.73853	-0.1709	0.89895	332	2.36	0.03089	-0.15583	0.39959	465	9.12
64	0.16479	-0.55542	1.18823	271	1.92999	-0.09594	0.11864	0.41058	689	13.57001
65	0.12207	-0.21362	0.49866	279	1.97	0.31376	0.09632	0.88358	462	9.12
66	-0.32959	0.22583	0.943	310	2.26001	-0.26474	-0.4549	0.72551	597	11.76001
67	0.38452	-0.60425	0.94722	293	2.03	-0.28152	-0.71945	0.98877	318	6.25995
68	-0.78125	0.66528	1.01303	363	2.58	-0.42534	-0.29373	0.7382	416	8.30005
69	-0.24414	-0.6897	0.87523	566	4.00999	0.19073	-0.2882	0.68235	770	15.10999
70	-0.96436	-0.36621	1.01781	488	3.45999	-0.91705	0.37231	1.12389	499	9.83002
71	0.15869	0.20752	0.64113	280	2.04001	-0.18253	0.5188	0.8449	304	5.94
72	-0.26245	-0.10376	0.96317	291	2.03	1.12228	-0.82684	1.18155	470	9.22998
73	0.07934	-0.33569	0.68843	644	4.62	0.29888	-0.41943	0.74495	459	9.01001
74	-0.62866	-0.84839	1.0698	349	2.47	-0.32864	-0.40646	0.72618	897	17.64001
75	-0.21973	-0.26855	0.67011	347	2.42	0.03302	-0.08201	0.3126	346	6.81
76	0.21362	0.71411	0.86378	525	3.73001	-0.07782	-0.1936	0.838	670	13.12994
77	-0.92773	-0.44556	1.01502	276	1.98	-0.05626	0.00209	0.24259	433	8.52002
78	0.04882	0.0061	0.35748	355	2.53	0.18234	-0.32043	0.61501	501	9.83002
79	-0.12817	0.21973	0.55597	663	4.67	0.0143	0.74787	0.86753	676	13.29999
80	0.23804	-1.05591	1.30872	310	2.2	-0.29602	-0.24872	0.76737	1001	19.66998
81	0.11597	-0.10376	0.39785	601	4.28	-0.10757	0.34828	0.60401	312	6.16003

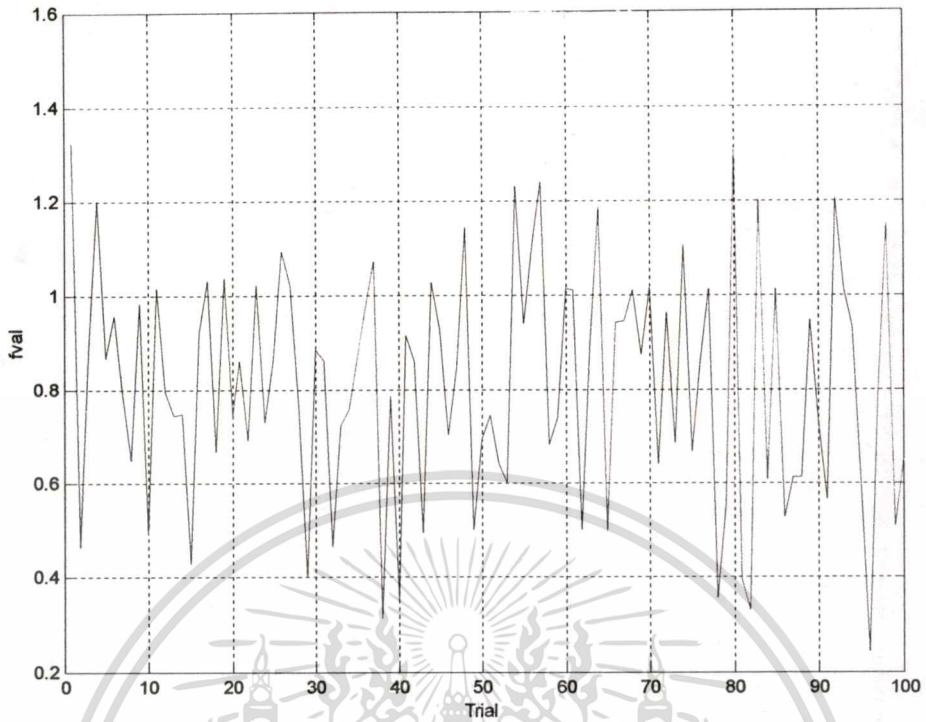
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.10 ผลการทดสอบฟังก์ชัน F10 จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

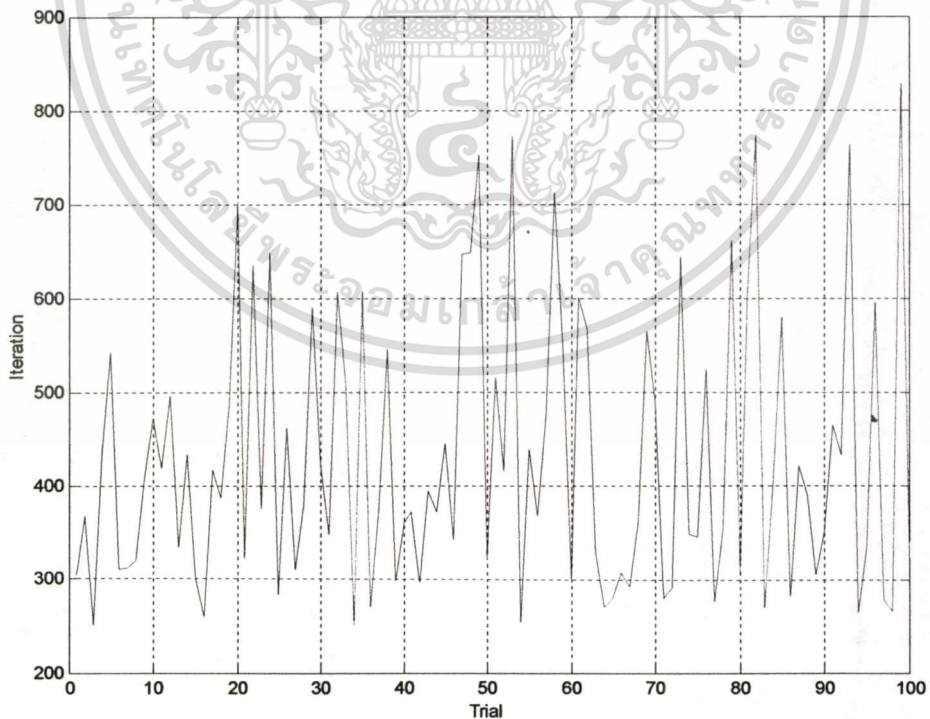
82	-0.01831	-0.09155	0.33194	774	5.50002	0.01163	-0.05703	0.24159	385	7.58002
83	-1.12915	0.76904	1.20948	269	1.91998	0.39291	-1.29375	1.26278	309	6.03998
84	-0.27466	-0.24414	0.61077	406	2.86002	-0.1112	0.34218	0.60423	760	14.95001
85	0.62256	-0.81787	1.01394	580	4.12	-0.98495	-0.0698	1.13863	638	12.51996
86	-0.177	0.15259	0.52952	281	1.98001	0.50621	0.04959	0.77769	457	9.46002
87	-0.04882	-0.12817	0.61597	423	3.01999	-0.16937	0.2182	0.87693	574	10.76001
88	-0.15259	-0.33569	0.61525	391	2.73999	-0.03967	-0.54646	0.8267	500	9.83997
89	-0.10986	-0.38452	0.94835	306	2.20001	-0.12665	-0.21076	0.49818	825	16.26001
90	0.41504	0.32959	0.73022	353	2.47	0.24586	-0.05416	0.5317	509	10
91	0.14038	-0.21362	0.56922	466	3.35999	-1.3628	-0.28114	1.1797	304	5.98999
92	0.76294	1.13525	1.20493	434	3.07001	0.01487	0.23842	0.49958	478	9.40002
93	-0.11597	-1.01318	1.01466	763	5.39001	-0.1894	0.50449	0.76362	444	8.72998
94	-0.39673	0.04272	0.93564	265	1.91998	0.01659	-0.03414	0.30655	950	18.69
95	-0.36621	0.0122	0.60773	337	2.56002	-0.03929	0.06942	0.53881	497	9.78003
96	0.04272	-0.03662	0.24276	597	4.22998	0.09861	-1.06792	1.22273	315	6.20001
97	-0.39062	-0.32349	0.78715	278	1.98001	0.34428	0.35019	0.93154	418	8.19
98	0.76904	0.61646	1.15062	266	1.92999	-0.18234	-0.1318	0.62411	349	6.87
99	-0.05493	0.06103	0.51117	829	5.87	-0.37193	0.95482	1.01272	467	9.17999
100	-0.03051	-0.3479	0.6522	334	2.26001	0.74081	0.06065	0.86216	321	6.31
ค่าที่สุ่ม	0.04272	-0.03662	0.24276	251	1.81			0.24159	304	5.94
ค่าเฉลี่ย			0.811538	430.66	3.1264			0.791252	494.5	9.7615
ค่าเบี่ยงเบน	0.78125	-1.20239	1.32323	829	5.87			1.34145	1001	19.66998

\*\*\* หมายถึง ทาร มิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 8.1-8.2 ยกเว้นจำนวนประชากรที่มีขนาด 4\*ขนาดของชุดโครโมโซม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

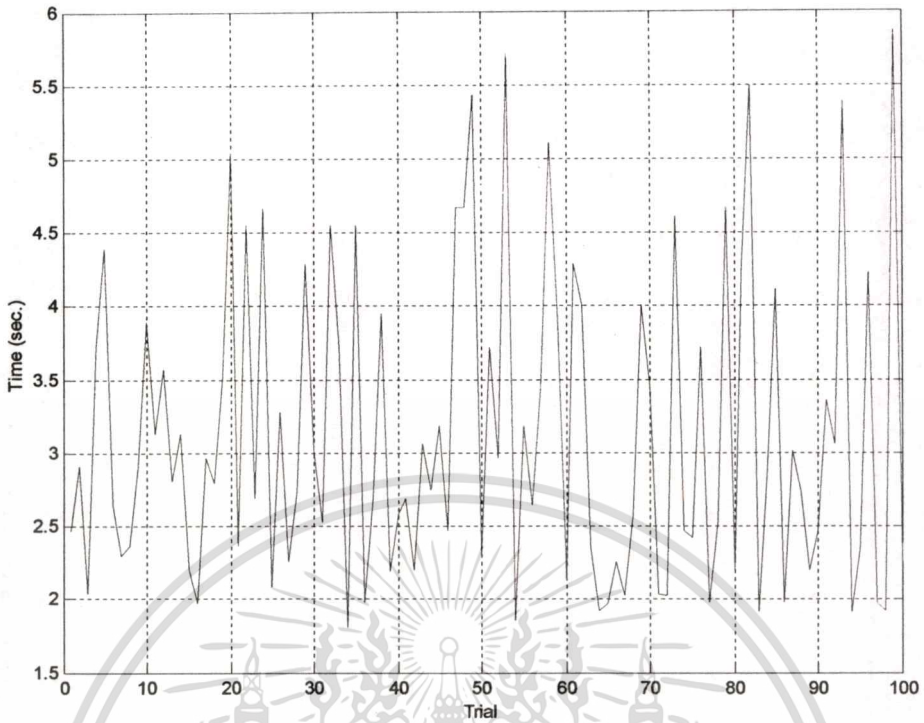


รูปที่ 8.101 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F10$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

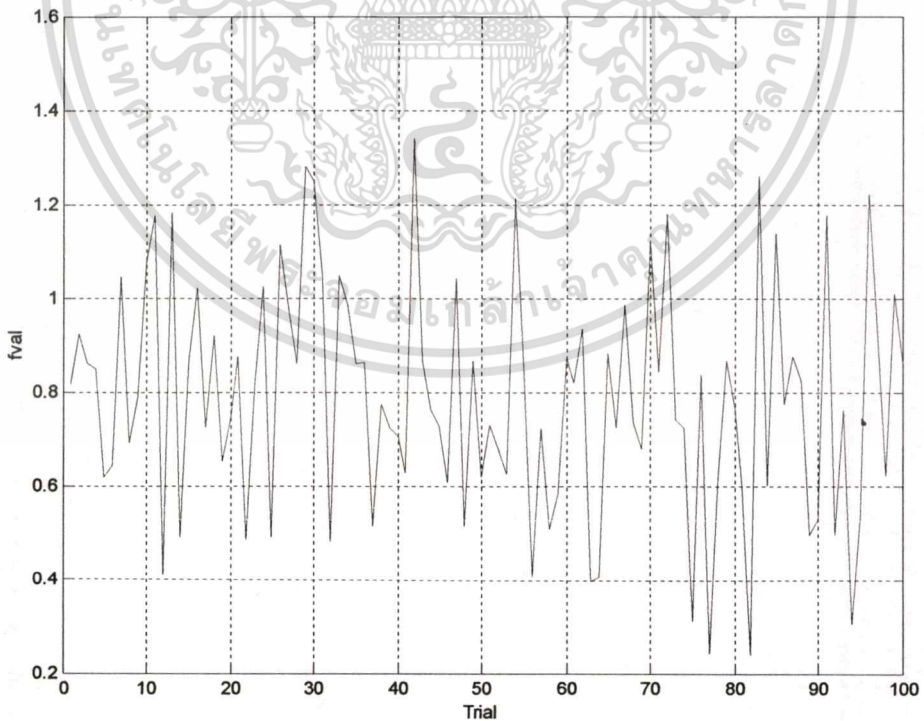


รูปที่ 8.102 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F10$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

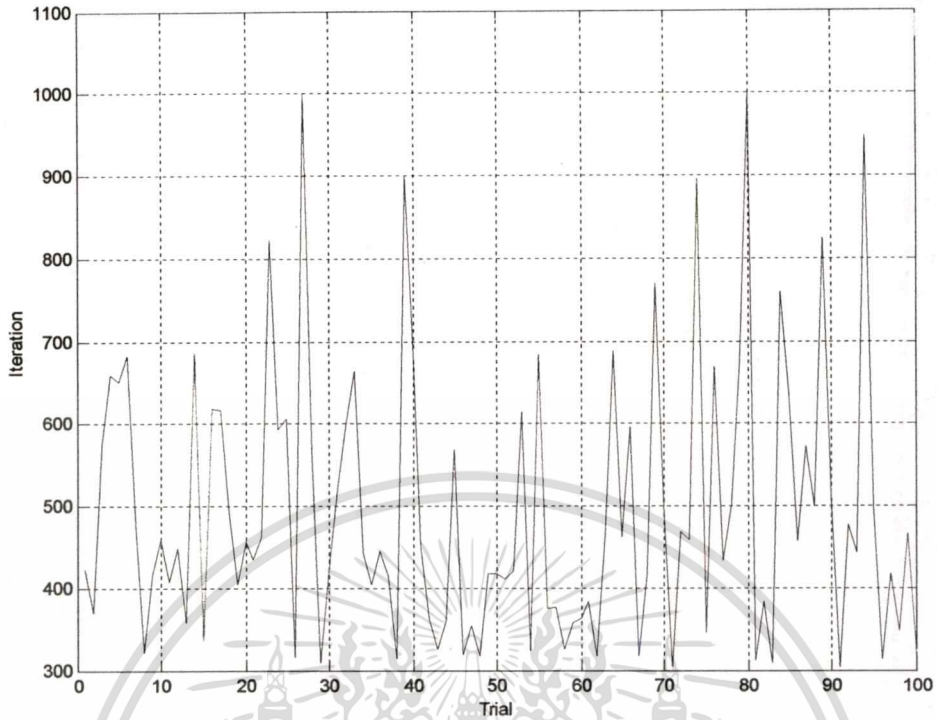


รูปที่ 8.103 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F10$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

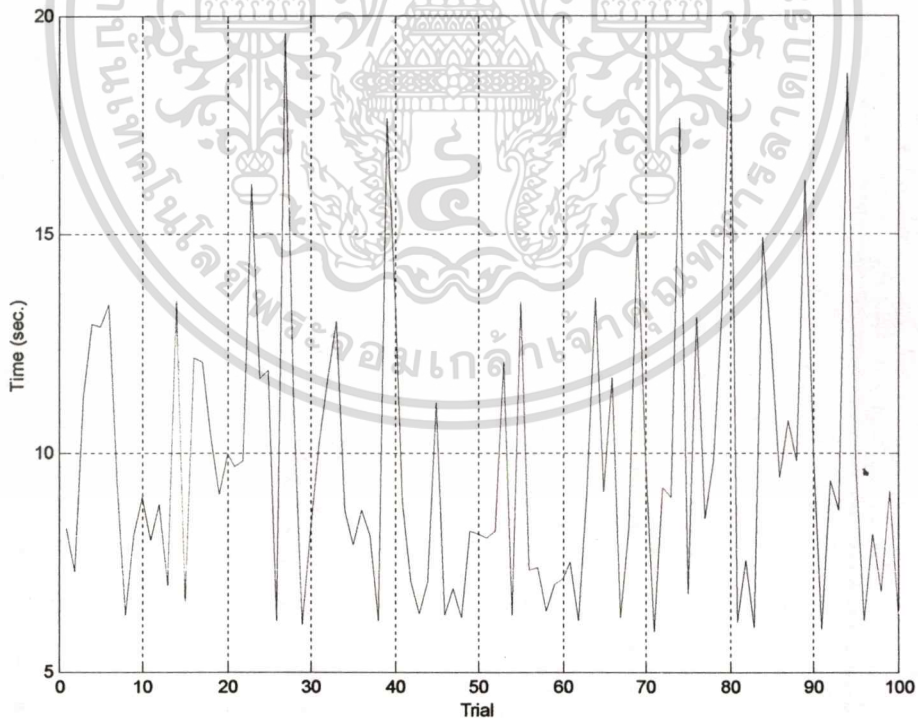


รูปที่ 8.104 ค่าฟังก์ชันที่ได้จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F10$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

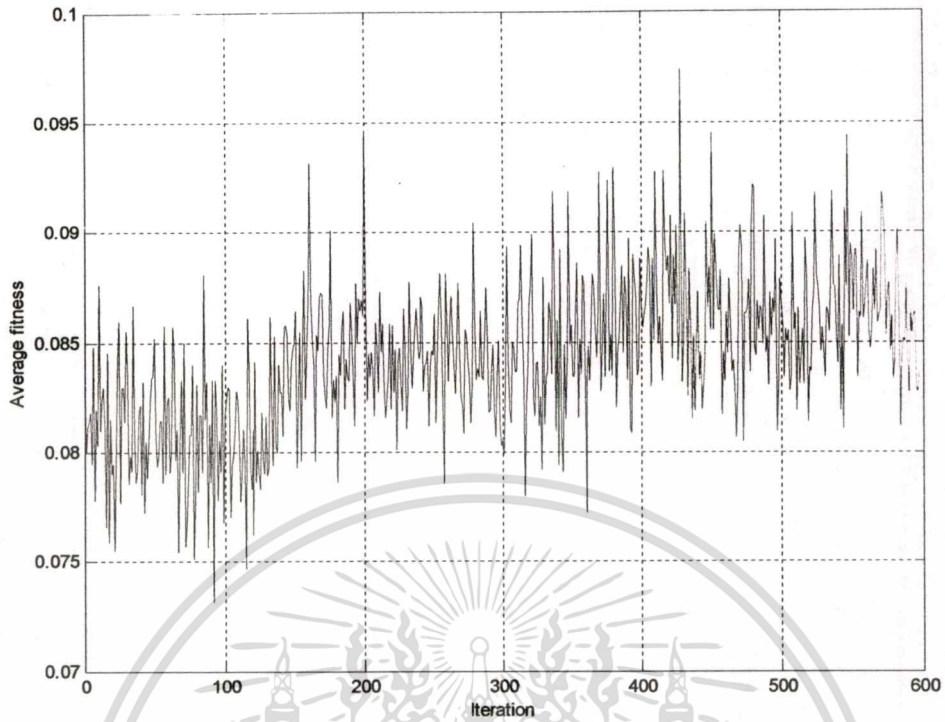


รูปที่ 8.105 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F10$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

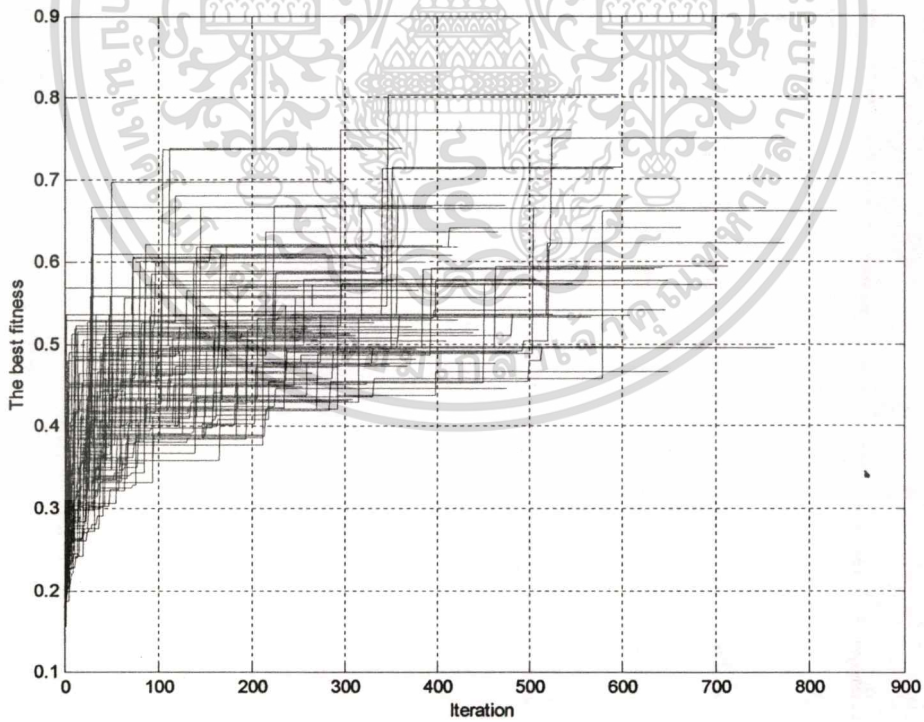


รูปที่ 8.106 เวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F10$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

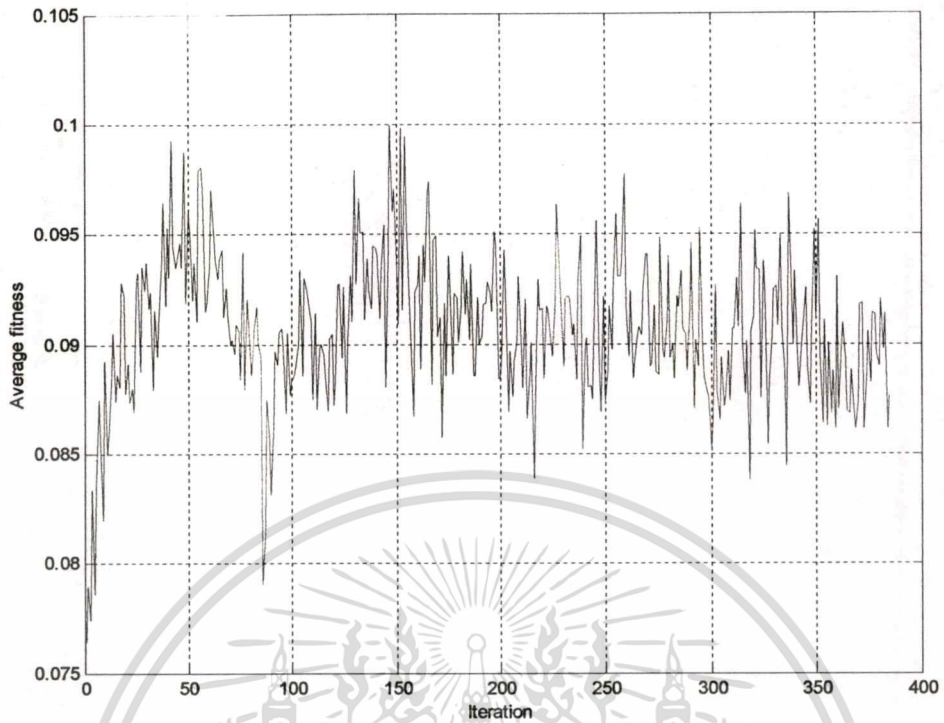


รูปที่ 8.107 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F10$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

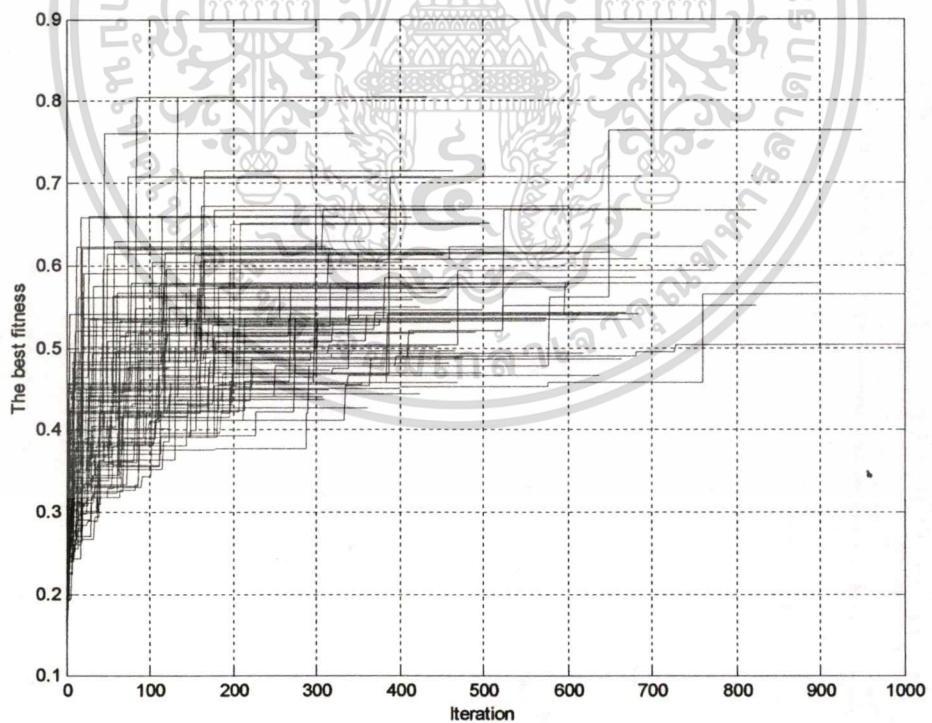


รูปที่ 8.108 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F10$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

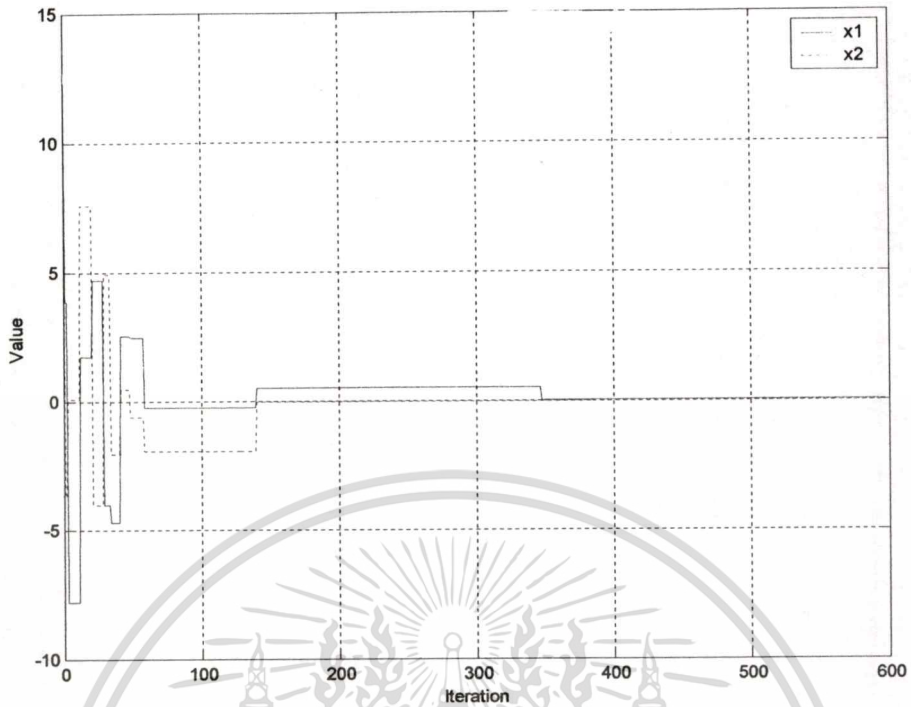


รูปที่ 8.109 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F10$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

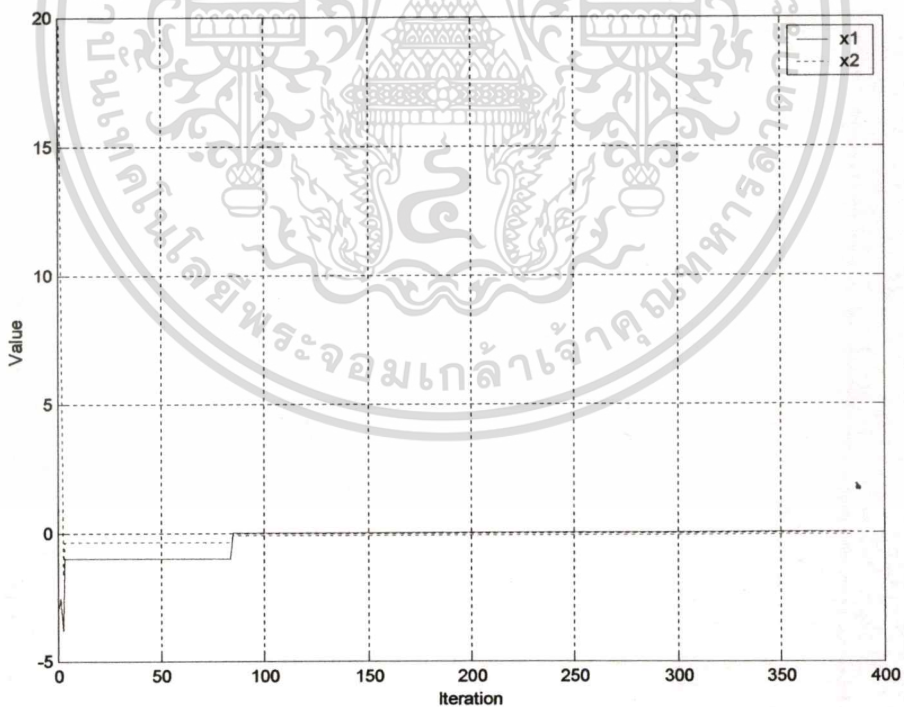


รูปที่ 8.110 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน  $F10$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.111 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F_{10}$  จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)



รูปที่ 8.112 การเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน  $F_{10}$  จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8.2 การทดสอบปัญหาการจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์

สำหรับการทดสอบอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นสำหรับปัญหาการจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์แบ่งได้ออกเป็น 2 ส่วนคือการทดสอบปัญหาการจัดกำลังการผลิตในลักษณะสเตติกและไดนามิก โดยในช่วงแรกเป็นการทดสอบประสิทธิภาพของวิธีแร็งอัลกอริทึม เมื่อเทียบกับการใช้เทคนิคการปรับโทช โดยการจำลองปัญหาการจัดกำลังการผลิตที่มี 2 หน่วยผลิต และทดสอบผลลัพธ์ที่ได้รวมถึงพฤติกรรมการเข้าสู่คำตอบ เทียบกับพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด ทั้งนี้เพื่อทดสอบและแสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ที่ได้ตามสมมุติฐานเบื้องต้นของงานวิจัยวิธีแร็งอัลกอริทึม

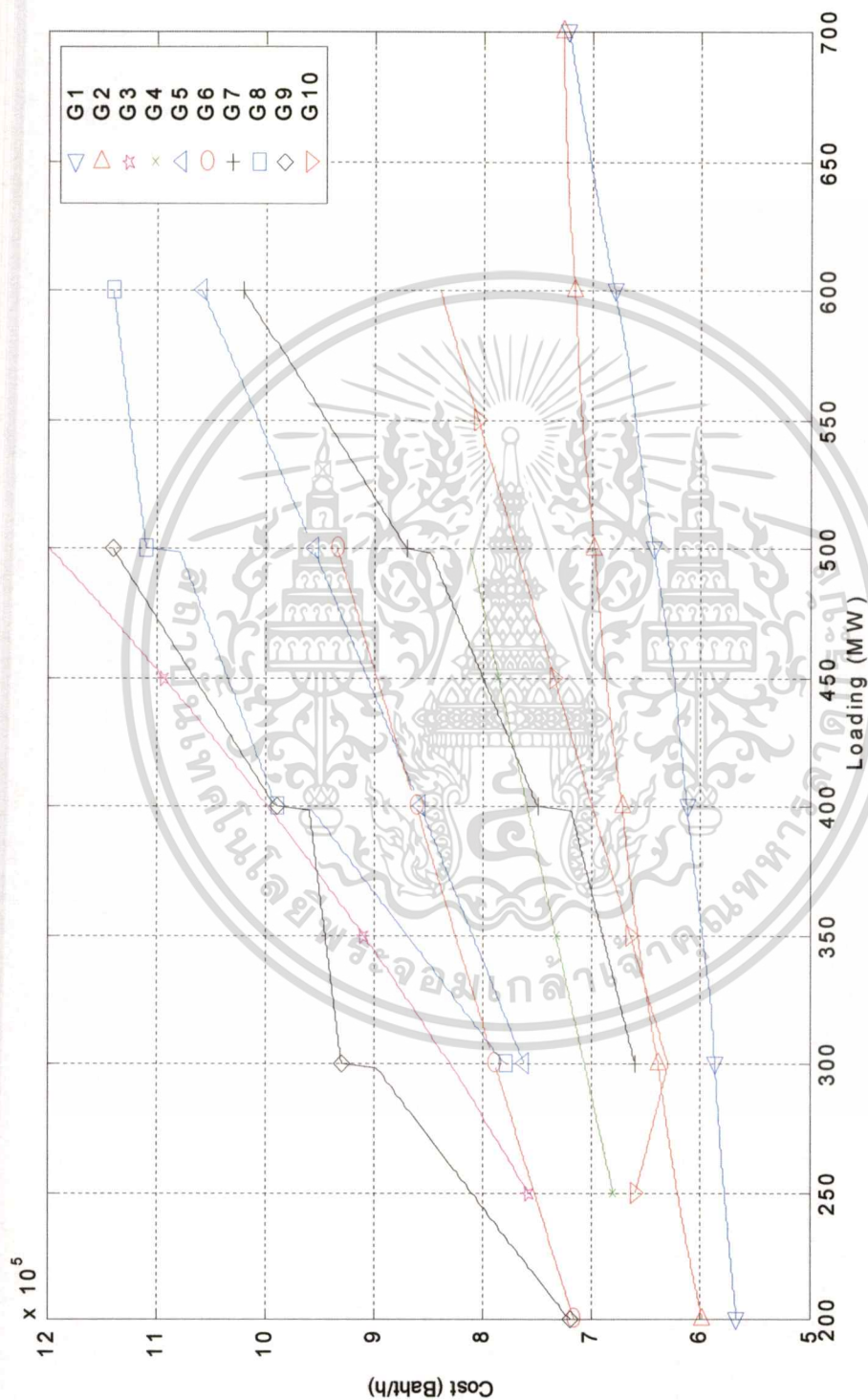
การคำนวณการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ยังรวมถึงปัญหาการจัดกำลังการผลิตในระบบไฟฟ้ากำลังตามมาตรฐาน IEEE ที่มีความซับซ้อนของปัญหาอยู่ในระบบสูง โดยช่วงที่สองเป็นการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิก จากระบบไฟฟ้ากำลังของประเทศไทย และระบบไฟฟ้ากำลังที่สร้างขึ้นเพื่อทดสอบความสามารถของอัลกอริทึมในการแก้ไขปัญหาที่มีขนาดใหญ่ และเนื่องจากวิธีการทำงานของเจเนติกอัลกอริทึมและนิชชิงเจเนติกอัลกอริทึมเป็นการทำงานที่อยู่บนพื้นฐานของการคำนวณแบบสุ่ม ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ในการคำนวณแต่ละครั้งจะมีค่าแตกต่างกันออกไป งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นในการเข้าสู่คำตอบที่ถูกต้องในทุกๆ การคำนวณ อีกทั้งยังเป็นการทดสอบความสามารถในการเข้าสู่คำตอบที่ถูกต้องจากตำแหน่งจุดเริ่มต้นที่แตกต่างกัน โดยทำการทดสอบในสถานะเริ่มต้นที่แตกต่างกันเป็นจำนวนถึง 100 ตำแหน่ง

ในงานวิจัยนี้ ได้สร้างตัวอย่างกราฟต้นทุนกำลังการผลิตของหน่วยผลิตต่างๆ ขึ้น โดยมีวัตถุประสงค์ให้ปัญหาการจัดกำลังการผลิตทั้งในแบบสเตติกและไดนามิกมีความซับซ้อนสูงขึ้น อีกทั้งเพื่อใช้ในการทดสอบความสามารถของอัลกอริทึมที่สามารถใช้กับกราฟต้นทุนกำลังการผลิตในหลายรูปแบบ ตารางที่ 8.11 แสดงฟังก์ชันต้นทุนเชื้อเพลิงสำหรับระบบที่ใช้ทดสอบ โดยประกอบไปด้วยกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงจากหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน/พลังความร้อนร่วมในรูปสมการควอดราติก, กราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงจากหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน/พลังความร้อนร่วม โดยมีผลกระทบจากความสูญเสียจากล้นปิด/เปิดไอน้ำ, กราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงจากหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน/พลังความร้อนร่วม โดยมีผลกระทบจากช่วงกำลังการผลิตต้องห้าม, กราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงจากหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน/พลังความร้อนร่วมในรูปสมการเชิงเส้น, และกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงจากหน่วยผลิตไฟฟ้าที่มีลักษณะลาดลงในช่วงเริ่มต้นจากนั้นมีค่าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง รูปที่ 8.113 แสดงรูปกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงของหน่วยผลิตทั้งหมดจำนวน 10 หน่วยผลิต โดยลักษณะของแต่ละกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงแสดงไว้ในรูปที่ 8.114-8.123

ตารางที่ 8.11 ฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงสำหรับระบบที่ใช้ทดสอบ

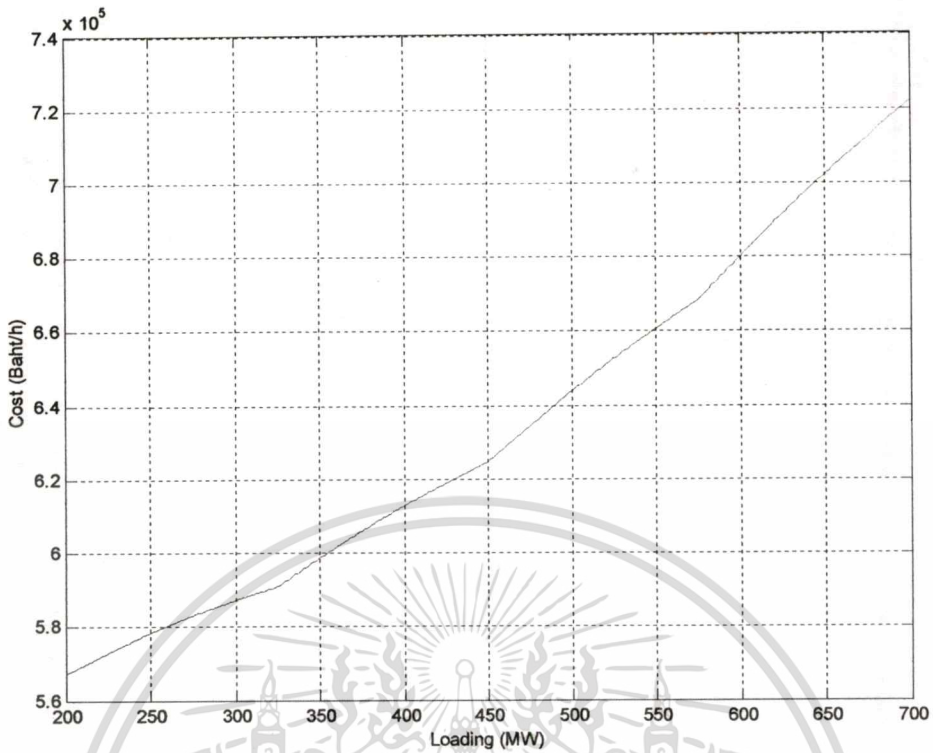
หน่วยผลิตลำดับที่	ช่วงการผลิต (เมกกะวัตต์)	อัตราการเพิ่ม/ลด กำลังการผลิต (เมกกะวัตต์/นาท)	ฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง (บาท/ชั่วโมง)
1	200-700	10/15	$C_1(P_1) = 0.318 * P_1^2 + 23.52 * P_1 + 549853.8$ $+  3000 * \sin(0.02512 * (200 - P_1)) $
2	200-700	10/15	$C_2(P_2) = -0.372 * P_2^2 + 591.66 * P_2 + 495261$ $+  1500 * \sin(0.0314 * (200 - P_2)) $
3	250-500	8/10	$C_3(P_3) = 1.62 * P_3^2 + 541.8 * P_3 + 52213.6$
4	250-500	8/10	$C_4(P_4) = -0.018 * P_4^2 + 541.8 * P_4 + 546061.2$
5	300-600 Prohibited Zone: 400-405 and 500-505	8/10	$C_5(P_5) = 0.00012 * P_5^3 + 0.006 * P_5^2 + 907.8 * P_5$ $+ 486131.4$
6	200-500 Prohibited Zone: 300-305 and 400-405	8/10	$C_6(P_6) = 726 * P_6 + 571392$
7	300-399 400-499 500-600	10/15	$C_7(P_7) = 600 * P_7 + 480000$ $C_7(P_7) = 1000 * P_7 + 350000$ $C_7(P_7) = 1500 * P_7 + 120000$
8	300-499 400-599 500-600	10/15	$C_8(P_8) = 1800 * P_8 + 240000$ $C_8(P_8) = 900 * P_8 + 630000$ $C_8(P_8) = 300 * P_8 + 960000$
9	200-599 300-499 400-500	10/15	$C_9(P_9) = 1800 * P_9 + 360000$ $C_9(P_9) = 300 * P_9 + 840000$ $C_9(P_9) = 1500 * P_9 + 390000$
10	250-299 300-600	8/10	$C_{10}(P_{10}) = -600 * P_{10} + 810000$ $C_{10}(P_{10}) = 700.2 * P_{10} + 420000$

\*หมายเหตุ สำหรับหน่วยผลิตลำดับที่ 11 ให้ใช้ข้อมูลที่ 1 เป็นข้อมูลหน่วยผลิตไฟฟ้า และหน่วยผลิตลำดับที่ 12 ให้ใช้ข้อมูลที่ 2 เป็นข้อมูลหน่วยผลิตไฟฟ้า สำหรับข้อมูลของหน่วยผลิตที่ลำดับสูงขึ้นไป ให้ใช้ค่าตามลักษณะดังกล่าว

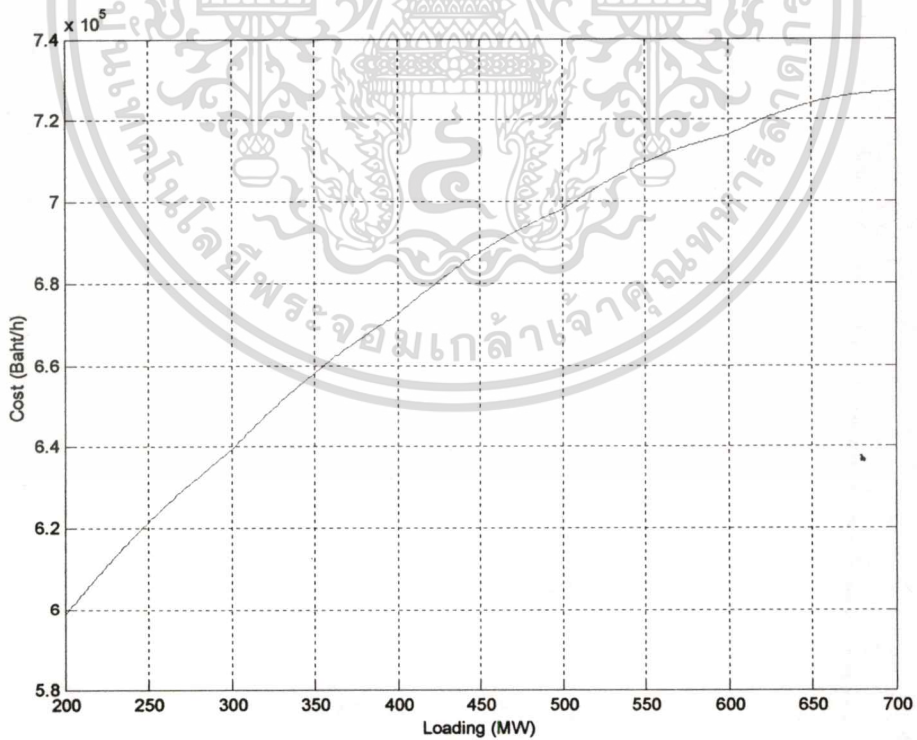


รูปที่ 8.113 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

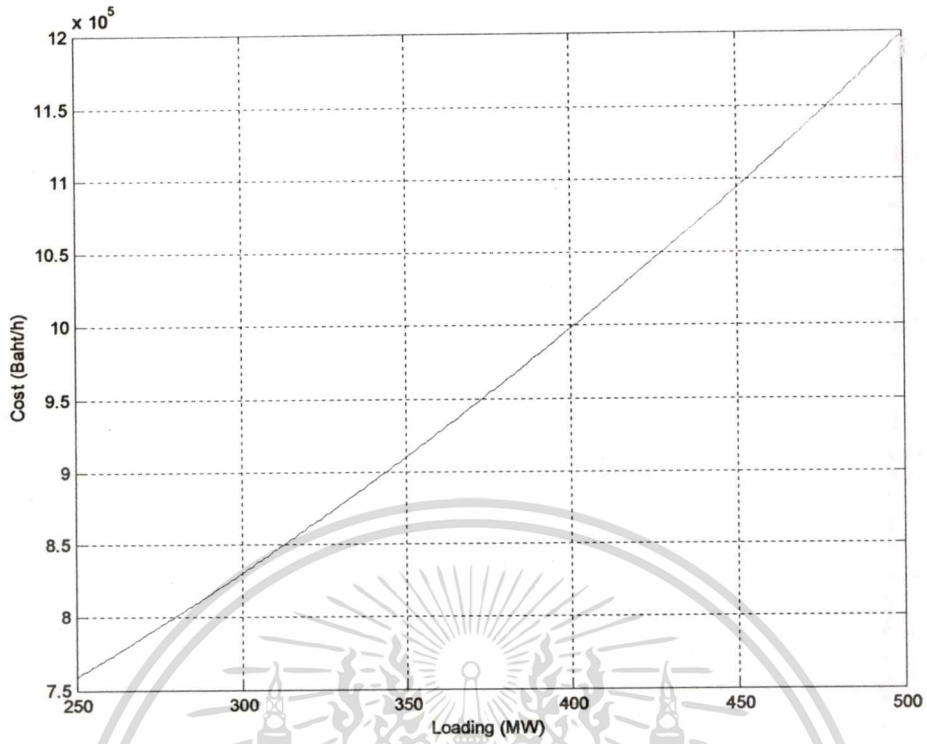


รูปที่ 8.114 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง  $C_1(P_{g,1})$

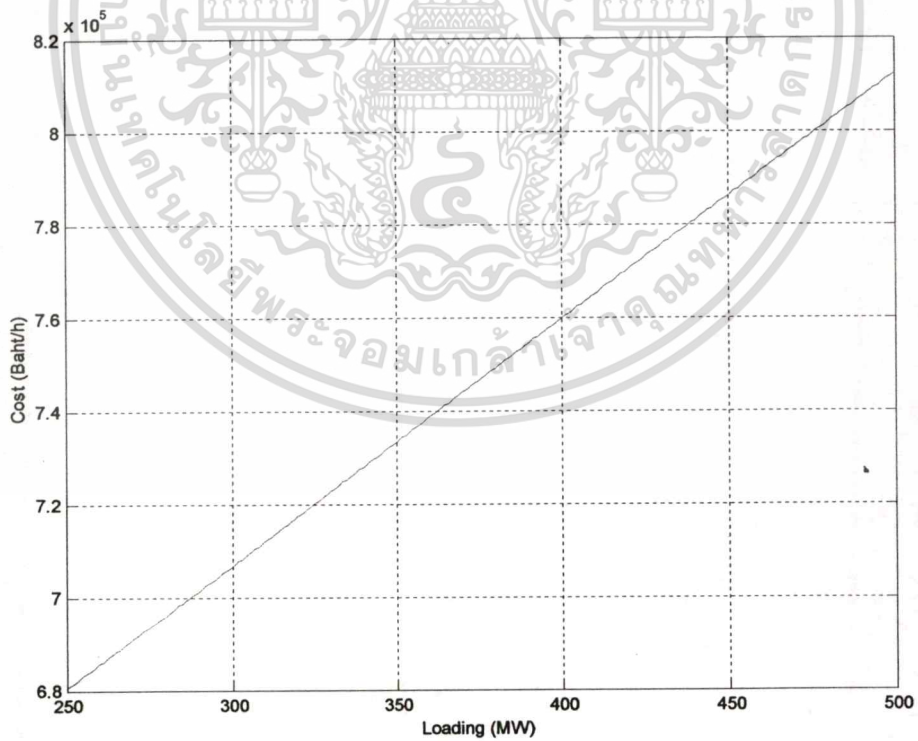


รูปที่ 8.115 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง  $C_2(P_{g,2})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

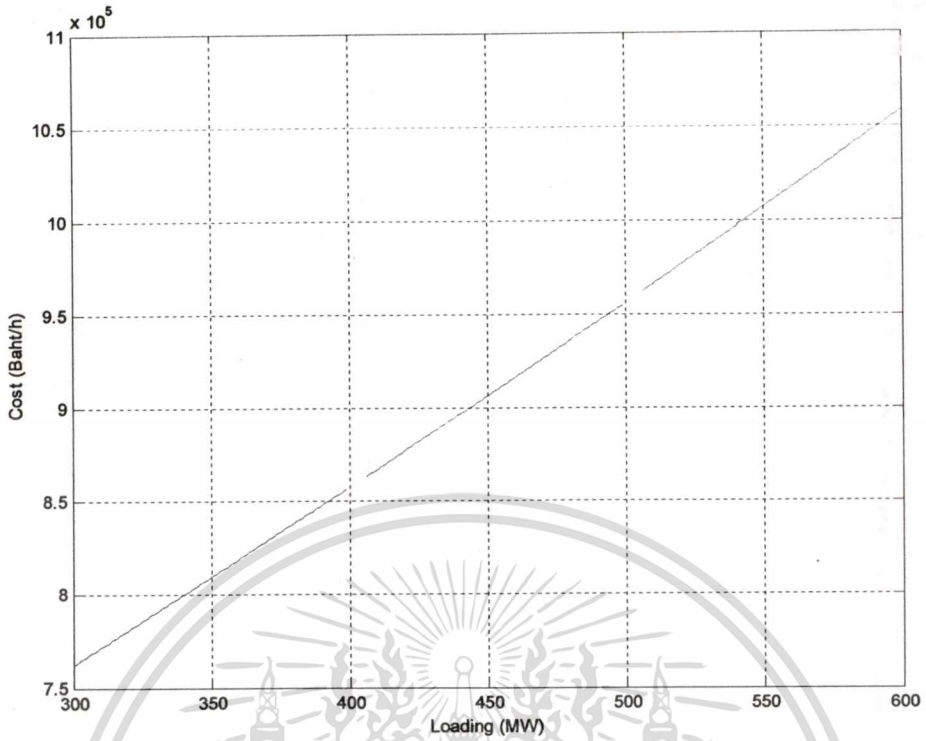


รูปที่ 8.116 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง  $C_3(P_{g,3})$

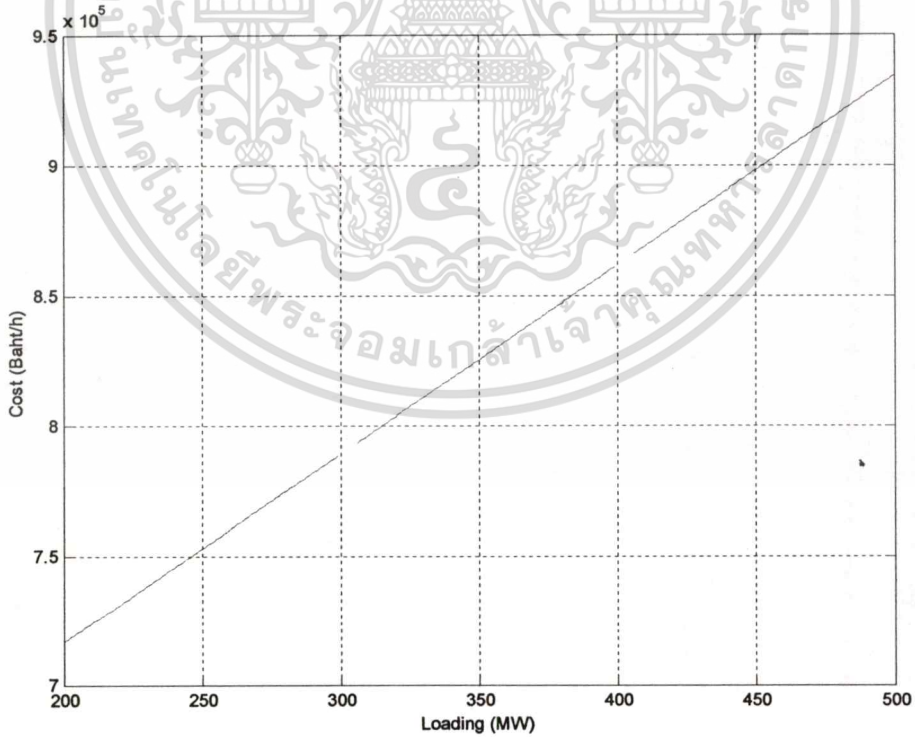


รูปที่ 8.117 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง  $C_4(P_{g,4})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

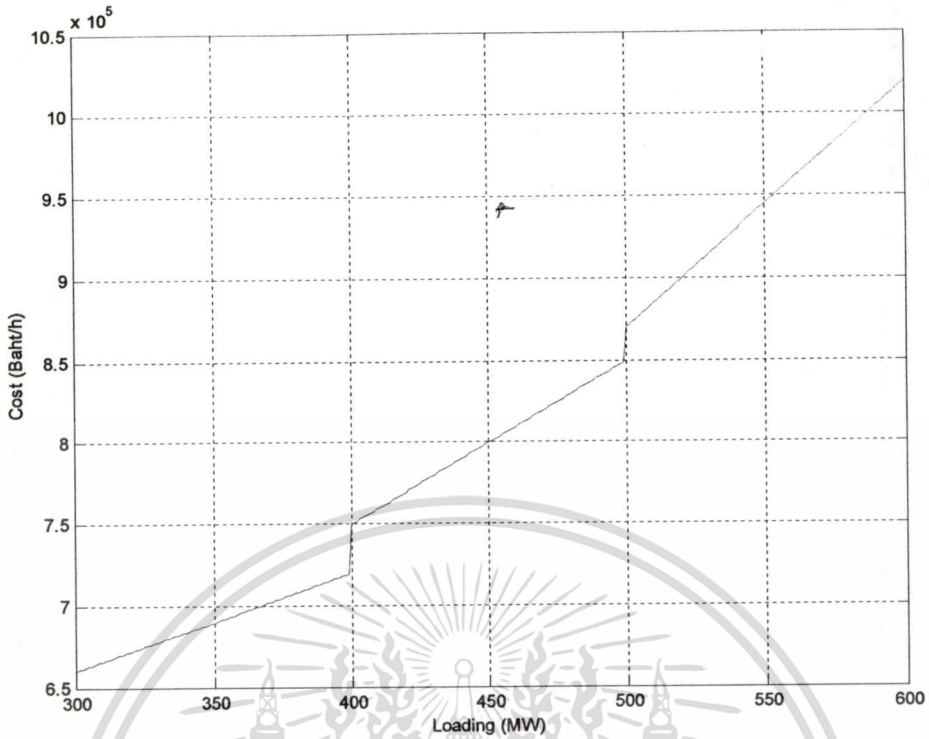


รูปที่ 8.118 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง  $C_5(P_{g,5})$

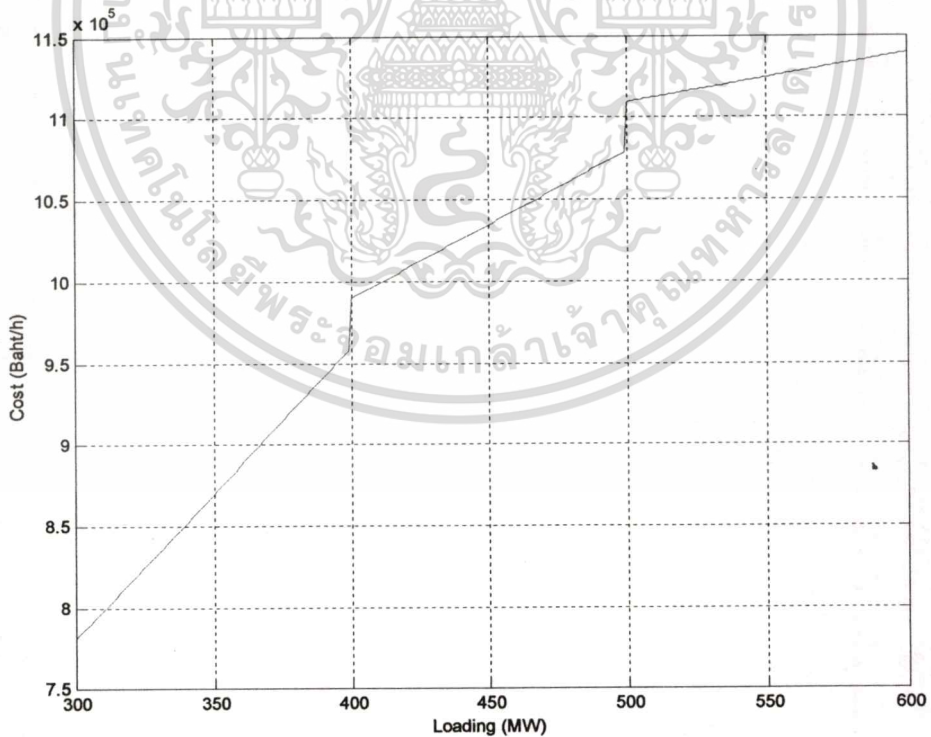


รูปที่ 8.119 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง  $C_6(P_{g,6})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

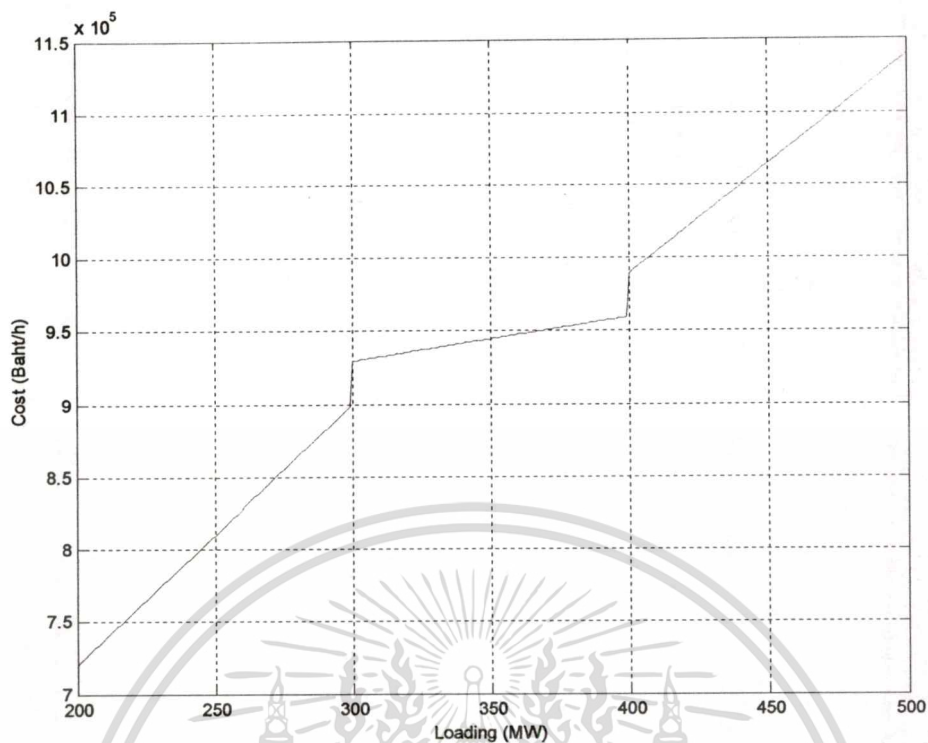


รูปที่ 8.120 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง  $C_7(P_{g,7})$

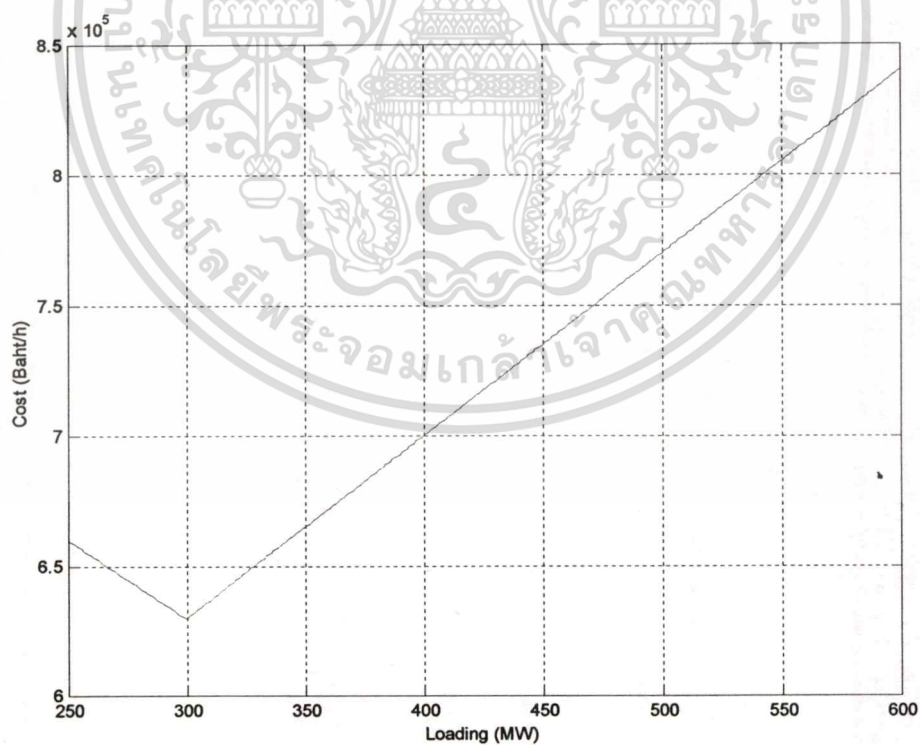


รูปที่ 8.121 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง  $C_8(P_{g,8})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.122 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง  $C_9(P_{g,9})$



รูปที่ 8.123 ลักษณะฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิง  $C_{10}(P_{g,10})$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8.2.1 การทดสอบความสามารถของวิธีแชรริงอัลกอริทึม

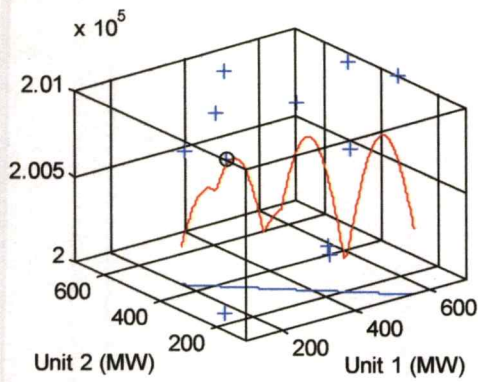
### 8.2.1.1 ระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย

การทดสอบนี้มุ่งเน้นการอธิบายลักษณะผลลัพธ์การค้นหาคำตอบที่ถูกต้องจากวิธีเจเนติก อัลกอริทึมและนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึม โดยเปรียบเทียบพฤติกรรมของการค้นหาคำตอบเมื่อกำหนดร่วมกับ วิธีแชรริงอัลกอริทึมและวิธีการปรับโทสมการการผลิตไฟฟ้าที่สมดุล จากรูปกราฟ 3 มิติที่แสดงถึง พื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด

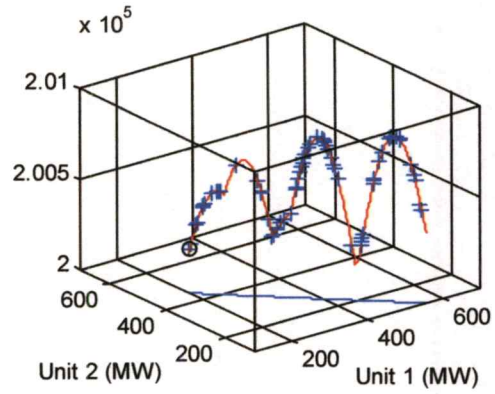
ปัญหาที่ทดสอบเป็นปัญหาการจัดกำลังการผลิตในลักษณะสแตติก โดยมีค่าความต้องการโหลด เท่ากับ 600 เมกกะวัตต์ ระบบที่ใช้ทดสอบมีหน่วยผลิตจำนวน 2 หน่วย หน่วยผลิตที่หนึ่งเป็นชนิดพลัง ความร้อนและพิจารณาผลกระทบของความสูญเสียจากล้นปิด/เปิดไอน้ำ โดยมีช่วงกำลังการผลิต 200-600 เมกกะวัตต์ และฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงมีค่าอยู่ในรูปสมการควอดราติกที่มีเทอมคลื่นไซน์ รวมอยู่ด้วยดังสมการ  $f_1(P_i) = a_1 + b_1P_i + c_1P_i^2 + |d_1 \sin(e_1(P_{i,\min} - P_i))|$  โดยที่สัมประสิทธิ์  $a_1, b_1, c_1, d_1$  และ  $e_1$  มีค่า 89642.3, 3.92, 0.053, 500, และ 0.02512 ตามลำดับ หน่วยผลิตที่สองเป็นชนิด พลังงานความร้อน มีช่วงกำลังการผลิต 100-500 เมกกะวัตต์ และฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงมีค่าอยู่ใน รูปสมการเส้นตรงหลายเส้นดังสมการ  $f_2(P_i) = a_2 + b_2P_i$  โดยที่กำลังการผลิตอยู่ในช่วง  $P_{i,\min} \leq P_i \leq P_{i,\text{int}}$  และ  $f_2(P_i) = a_2 + b_2P_i$  โดยที่  $P_{i,\text{int}} \leq P_i \leq P_{i,\text{max}}$  โดยที่ค่าที่ใช้ในการทดสอบ  $a_1, b_1, a_2$  และ  $b_2$  เท่ากับ 100000, 0.00025, 150000, และ 0.0004 ตามลำดับโดยช่วงการผลิตอยู่ในช่วง 100-299 และ 300-500 ตามลำดับ โดยการทดสอบนี้ต้องการลักษณะพื้นที่คำตอบที่ซับซ้อนจากผลของ ฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงของหน่วยผลิตที่ 1 เป็นส่วนใหญ่ และไม่คิดถึงผลของข้อจำกัดอัตราค่า การเพิ่ม/ลดกำลังการผลิตในช่วงเวลา

การทดสอบเริ่มจากการคำนวณรอบหาพื้นที่คำตอบทั้งหมดที่เป็นไปได้จากช่วงกำลังการผลิตของหน่วยผลิตทั้งสอง โดยจากตัวอย่างรูปที่ 8.124 จะแสดงคำตอบที่เป็นไปได้หรือคำตอบที่อยู่ภาย ข้อจำกัดสมการการผลิต ไฟฟ้าที่สมดุล ซึ่งมีลักษณะคล้ายเส้นคำตอบคงรูป และจากเส้นคำตอบดังกล่าว จะพบว่ามีจุดยอดหลายจุด การเปรียบเทียบผลลัพธ์ของการคำนวณจะใช้ผลจากการคำนวณวิธีเจเนติก อัลกอริทึมและวิธีนิชซึ่งอัลกอริทึมเป็นพื้นฐาน รูปที่ 8.124 (ซ้าย-บน) แสดงการกระจายตัวของจุด โครโมโซมในลักษณะพีโนไทป์ ในกลุ่มประชากรรุ่นแรกหรือรอบการคำนวณแรก ด้วยวิธีเจเนติก อัลกอริทึมร่วมกับเทคนิคการปรับค่าโทสมข้อจำกัดในการผลิต รูปที่ 8.124 (ซ้าย-กลาง) แสดงผลจากการ คำนวณในรอบสุดท้าย ซึ่งพบว่าวิธีเจเนติกอัลกอริทึมสามารถเข้าสู่คำตอบได้ในกลุ่มที่ถูกต้องแต่ยังมี กำลังผลิตที่ผิดพลาดจากการจัดกำลังการผลิตที่สมดุลเกิดขึ้นบ้าง รูปที่ 8.124 (ซ้าย-ล่าง) แสดงผลจาก ในรอบการคำนวณสุดท้าย จากการทำงานร่วมกับวิธีแชรริงอัลกอริทึม รูปที่ 8.124 (ขวา-บน) แสดงการ กระจายตัวของประชากรเริ่มต้นด้วยวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึม รูปที่ 8.124 (ขวา-กลาง) แสดงผลของ การคำนวณในรอบสุดท้ายด้วยวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึม โดยที่เมื่อกำหนดร่วมกับวิธีแชรริงอัลกอริทึม ผลการคำนวณจะมีลักษณะดังรูปที่ 8.124 (ขวา-ล่าง)

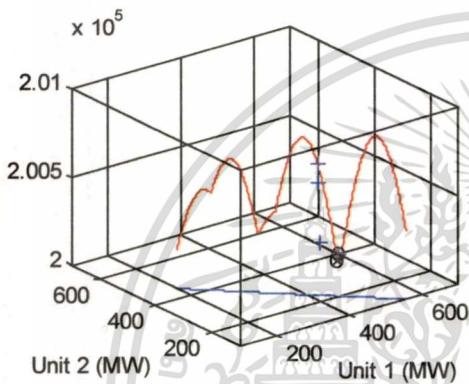
Cost (M-Baht/Hr)



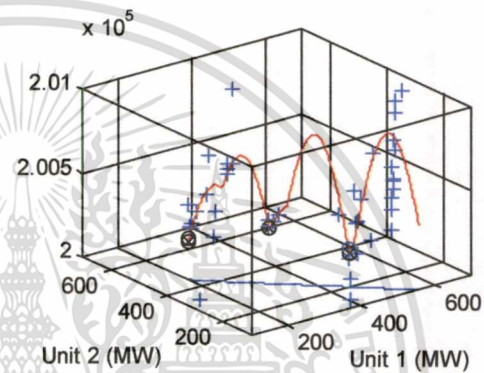
Cost (M-Baht/Hr)



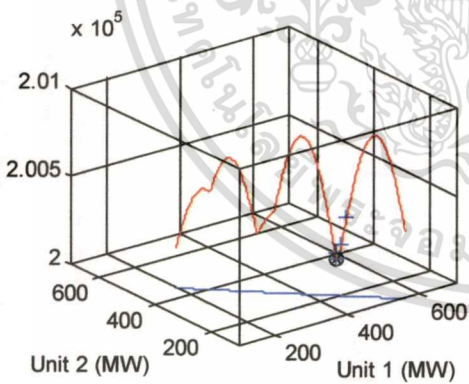
Cost (M-Baht/Hr)



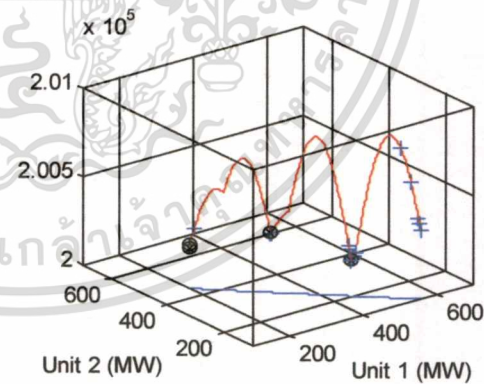
Cost (M-Baht/Hr)



Cost (M-Baht/Hr)



Cost (M-Baht/Hr)



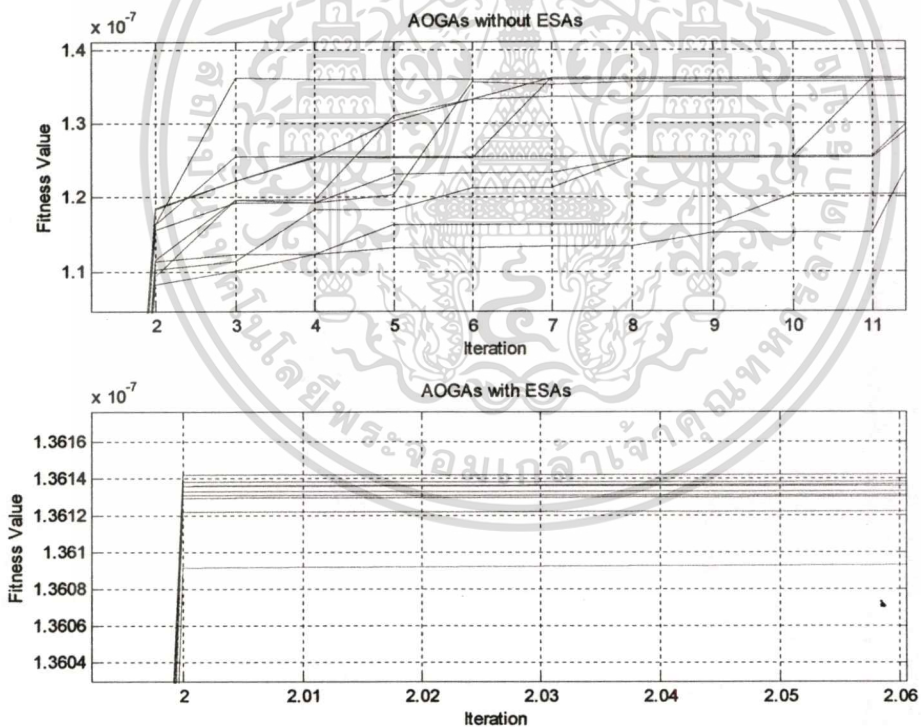
**รูปที่ 8.124** พื้นที่คำตอบและการกระจายตัวของชุดโครโมโซมในลักษณะฟีโนไทป์ ในกลุ่มประชากร  
 รุ่นต่างๆ และผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบระหว่างเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีซิงเจเนติก  
 อัลกอริทึม ร่วมกับเทคนิคการปรับโทยและวิธีแฮร์ริงอัลกอริทึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8.2.1.2 ระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 10 หน่วย

การทดสอบนี้ยังคงพิจารณาถึงพฤติกรรมของวิธีแชร์ริงอัลกอริทึม โดยการทดสอบความสามารถในการคำนวณหาคำตอบที่ถูกต้องได้จากระบบทดสอบที่มีจำนวนหน่วยผลิตทั้งหมด 10 หน่วย จ่ายโหลดทั้งหมดจำนวน 500 เมกกะวัตต์ และแต่ละหน่วยผลิตมีฟังก์ชันต้นทุนราคาเชื้อเพลิงดังตารางที่ 8.11 โดยทำการตรวจสอบประสิทธิภาพออนไลน์ (ค่าความเหมาะสมเฉลี่ยในกลุ่มประชากร) ของประชากรในรุ่นต่างๆ จำนวน 10 ครั้งและวัดค่าที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดแสดงไว้ในตารางที่ 8.12 สำหรับการวัดความสามารถในการคำนวณจากตำแหน่งเริ่มต้นที่แตกต่างกัน การจัดกำลังการผลิตดังกล่าวจะพิจารณาถึงผลของอัตราการเพิ่ม/ลดกำลังการผลิตในช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งกำหนดให้เป็นการคำนวณในเวลาประมาณ 1 ชั่วโมงล่วงหน้า โดยที่หน่วยผลิตทุกหน่วยมีกำลังการผลิตเริ่มต้นเท่ากับ 400 เมกกะวัตต์ และอัตราการเพิ่ม/ลดกำลังการผลิต = 1.66 เมกกะวัตต์/นาที

ตัวอย่างพฤติกรรมของการเข้าสู่คำตอบจากวิธีแชร์ริงอัลกอริทึมและวิธีการปรับได้แสดงเปรียบเทียบกันในรูปแบบที่ 8.130 รายละเอียดค่าความแตกต่างในการคำนวณจากตำแหน่งเริ่มต้นที่ต่างกัน 10 ตำแหน่ง รวมถึงเวลาที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมดแสดงไว้ในตารางที่ 8.12



รูปที่ 8.125 ลักษณะประสิทธิภาพออนไลน์ของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูงเมื่อไม่คำนวณร่วมกับวิธีแชร์ริงอัลกอริทึม (บน) และคำนวณร่วมกับวิธีแชร์ริงอัลกอริทึม (ล่าง)

ตารางที่ 8.12 ผลลัพธ์การจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์สำหรับระบบไฟฟ้าทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 10 หน่วย

Unit	MZDPAs		AOGAs				AOGAs (With ESAs)			
	MW	Cost (Baht/h)	MW (Best)	Cost (Baht/h) (Best)	MW (Worst)	Cost (Baht/h) (Worst)	MW (Best)	Cost (Baht/h) (Best)	MW (Worst)	Cost (Baht/h) (Worst)
G1	394.80	611,657.44	330.26	592,696.81	325.10	591,112.31	416.21	616,988.50	412.30	616,050.13
G2	300.00	639,281.37	304.32	641,064.31	302.32	640,238.63	300.00	639,281.38	300.00	639,281.38
G3	300.00	762,251.38	302.30	764,432.18	304.50	766,500.81	300.00	762,251.38	300.00	762,251.38
G4	300.00	706,981.12	302.11	708,106.81	306.13	710,235.56	300.00	706,981.19	300.00	706,981.19
G5	300.00	830,493.56	301.25	832,388.37	304.10	836,727.44	300.00	830,493.56	300.00	830,493.56
G6	300.00	789,192.00	303.34	791,616.81	302.29	790,861.81	300.00	789,192.00	300.00	789,192.00
G7	300.00	660,000.00	300.92	660,558.00	305.39	663,240.00	300.00	660,000.00	300.00	660,000.00
G8	300.00	780,000.00	302.38	784,284.00	301.92	783,564.00	300.00	780,000.00	300.00	780,000.00
G9	322.38	936,714.88	302.31	930,693.00	302.77	930,834.01	300.00	930,000.00	300.00	930,000.00
G10	300.00	630,060.00	301.15	630,865.25	303.43	632,461.69	300.00	630,090.50	304.17	632,978.13
Total	3,117.18	7,346,631.75	3,050.34	7,336,705.54	3,057.95	7,343,776.26	3,116.21	7,345,278.51	3,116.47	7,347,227.77
Loss MW	117.28 (3.76%)		117.65 (3.85%)		118.73 (3.88%)		116.26 (3.73%)		116.47 (3.76%)	
Power	-0.10		-67.31		-60.78		0.00		0.00	
Diff.			4.13		3.62		0.67		0.66	
CPU Time (sec.)		0.02								

\*\*\* หมายเหตุ หน่วยผลิตทุกหน่วยมีกำลังการผลิตเริ่มต้น = 400 เมกะวัตต์ อัตราการเพิ่ม/ลดกำลังการผลิต = 1.66 เมกะวัตต์/นาที โดยทดสอบทั้งหมดจำนวน 10 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8.2.2 การทดสอบความสามารถในการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติก

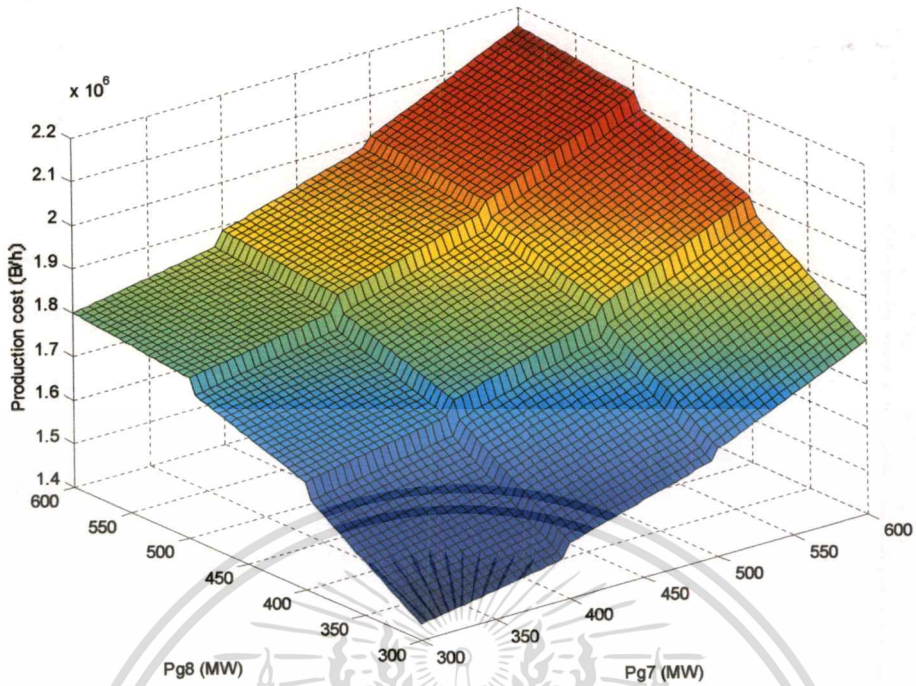
### 8.2.2.1 ระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย

จากการทดสอบและพัฒนาความสามารถของอัลกอริทึมต่างๆ ที่ผ่านมา ได้ปรับปรุงแก้ไขโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้สามารถคำนวณการจัดกำลังการผลิตโดยใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง และเมื่อทำงานร่วมกับวิธีแชร์ริงอัลกอริทึม ทำให้การค้นหาคำตอบจากปัญหาการจัดกำลังการผลิตมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยเมื่อนำมาแก้ปัญหาการจัดกำลังการผลิตทดสอบเทียบกับการจัดกำลังการผลิตที่ใช้เทคนิคเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด จากงานวิจัยอื่นพบว่าวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น

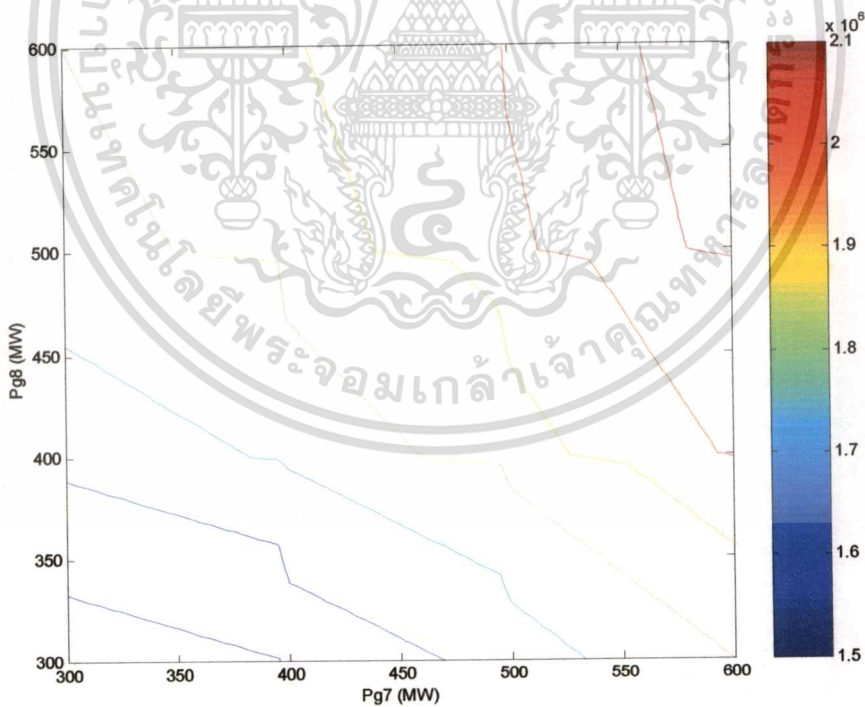
การทดสอบต่อไปนี้เป็น การคำนวณการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย โดยหน่วยผลิตที่ใช้คือหน่วยผลิตที่ 7 และ 8 ซึ่งเป็นหน่วยผลิตที่มีฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงในรูปของสมการเส้นตรงหลายเส้น หน่วยผลิตที่ 7 มีฟังก์ชันอัตราต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น เป็นลักษณะค่าที่เป็นขั้นบันไดขึ้น ส่วนหน่วยผลิตที่ 8 นั้นจะเป็นลักษณะขั้นบันไดลง ดังนั้นเมื่อนำหน่วยผลิตทั้งสองมารวมจัดกำลังการผลิต ทำให้ปัญหาที่ได้มีความซับซ้อน ดังรูปที่ 8.126-8.130 แสดงลักษณะพื้นที่คำตอบและรูปร่างลักษณะสภาพระบบของปัญหาการจัดกำลังการผลิตในลักษณะสแตติก รูปที่ 8.131-8.132 แสดงพื้นที่คำตอบเฉพาะเมื่อระบบจ่ายโหลดขนาด 900 เมกกะวัตต์ โดยพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ มีจุดยอดโกลบอลซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับจุดยอด โกลบอลดังรูปที่ 8.132

การทดสอบนี้มุ่งเน้นถึงพฤติกรรมของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมในการค้นหาคำตอบในพื้นที่คำตอบที่มีความซับซ้อน โดยคำนวณหาคำตอบการจัดกำลังการผลิตจากสถานะการสุ่มค่าเริ่มต้นที่แตกต่างกันจำนวน 100 ครั้ง เปรียบเทียบค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวม จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณ และเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่คำตอบ อีกทั้งยังแสดงประสิทธิภาพออนไลน์และประสิทธิภาพออฟไลน์ของวิธีที่พัฒนาขึ้น ดังรูปที่ 8.133-8.141

รูปที่ 8.138 แสดงผลลัพธ์ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมจากวิธีการปรับ โทษสมการการผลิตไฟฟ้าที่สมมูลจากเทคนิคเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด ดังแสดงไว้ในบทที่ 6 โดยรูปที่ 8.139 แสดงค่าความผิดพลาดจากสมการการผลิตไฟฟ้าที่สมมูล ซึ่งยังคงปรากฏให้เห็นถึงแม้ว่าเทคนิคการปรับ โทษดังกล่าวมีการพัฒนาขึ้นไปมากแล้วก็ตาม และจำนวนรอบและเวลาที่ใช้ในการคำนวณของวิธีการจัดกำลังการผลิตโดยใช้การปรับ โทษสมการการผลิตไฟฟ้าที่สมมูลจากเทคนิคเปอร์เซ็นต์ค่าความผิดพลาด แสดงไว้ดังรูปที่ 8.140 และ 8.141 ตามลำดับ

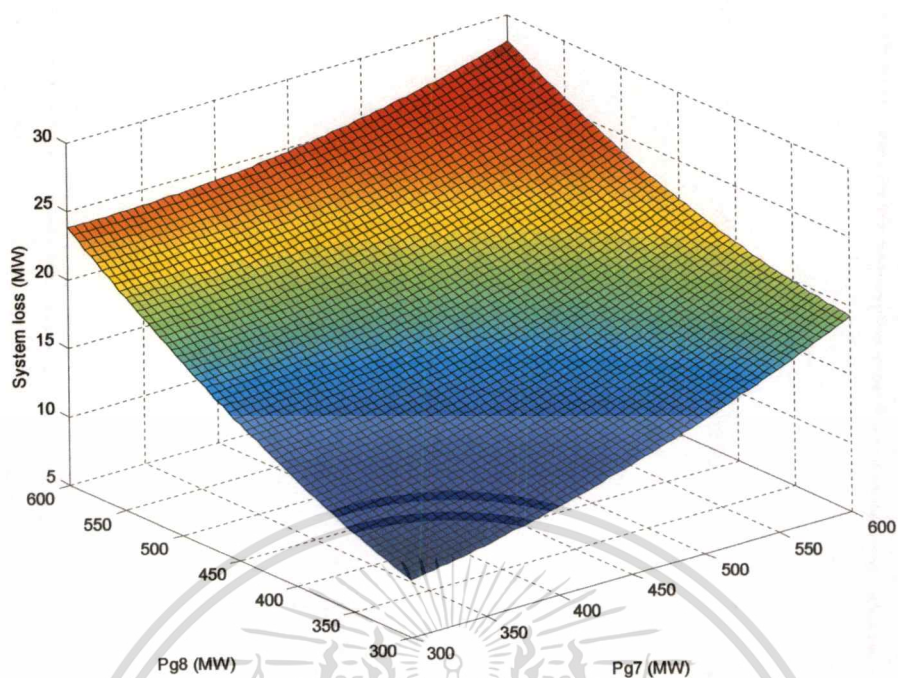


รูปที่ 8.126 พื้นที่คำตอบจากค่าโหลดทั้งหมดสำหรับปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะ  
สแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย

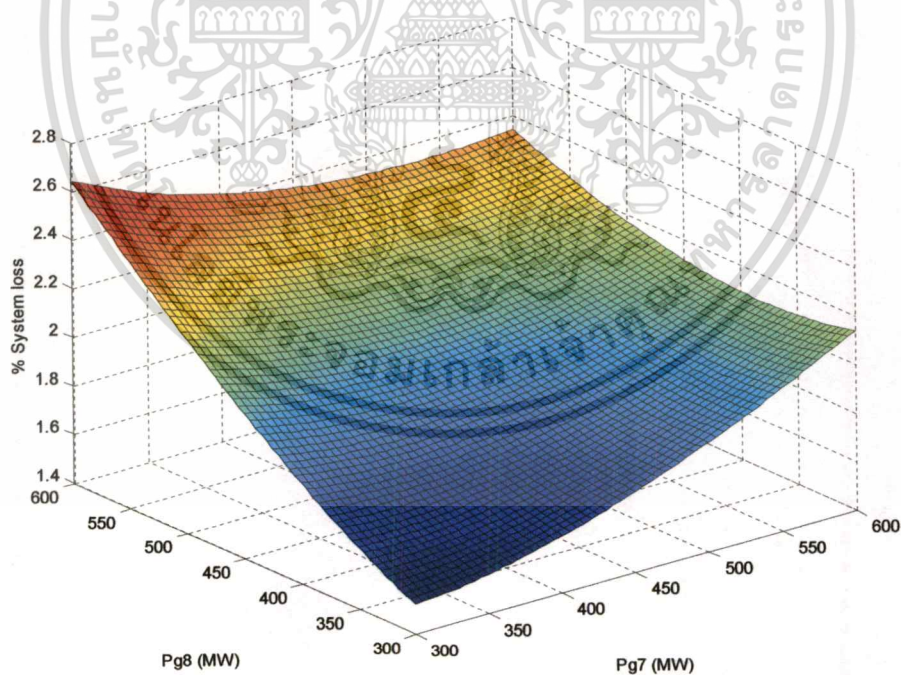


รูปที่ 8.127 โครงร่างพื้นที่คำตอบจากค่าโหลดทั้งหมดสำหรับปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะ  
สแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

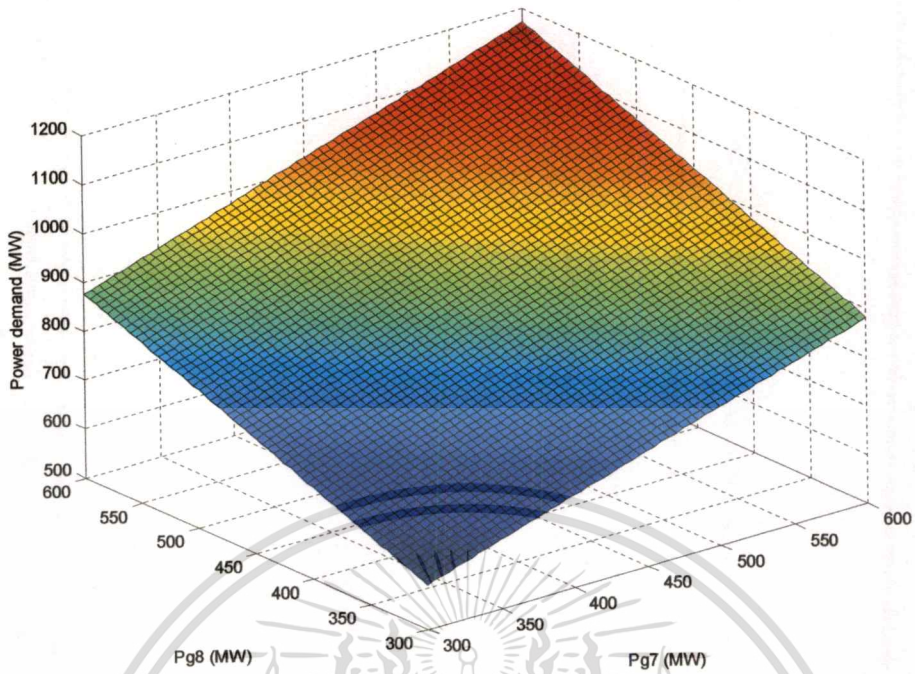


รูปที่ 8.128 พื้นที่ความสูญเสียในระบบส่งทั้งหมดสำหรับปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะ  
สแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย

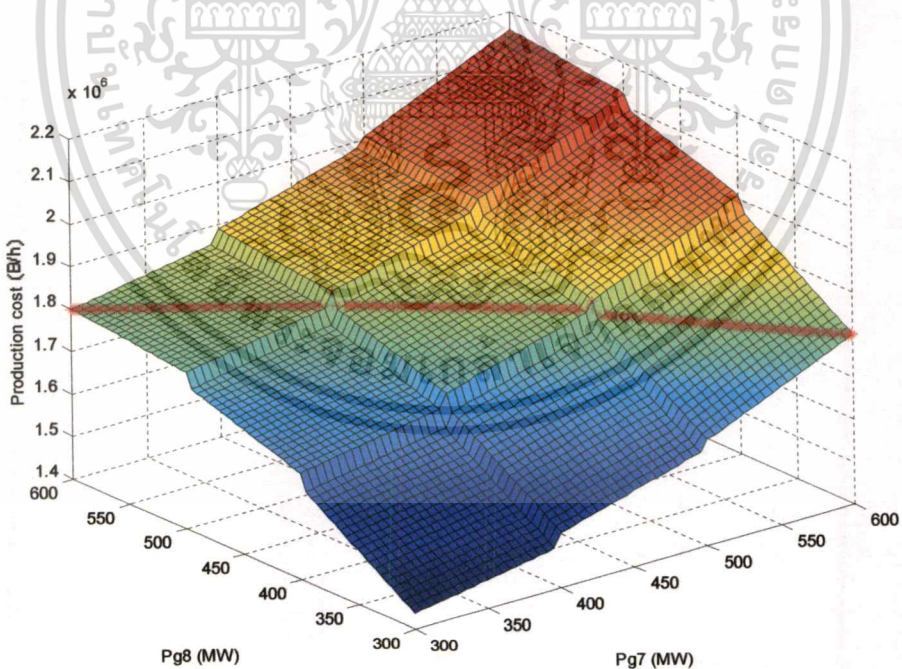


รูปที่ 8.129 พื้นที่เปอร์เซ็นต์ความสูญเสียในระบบส่งทั้งหมดสำหรับปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าใน  
ลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

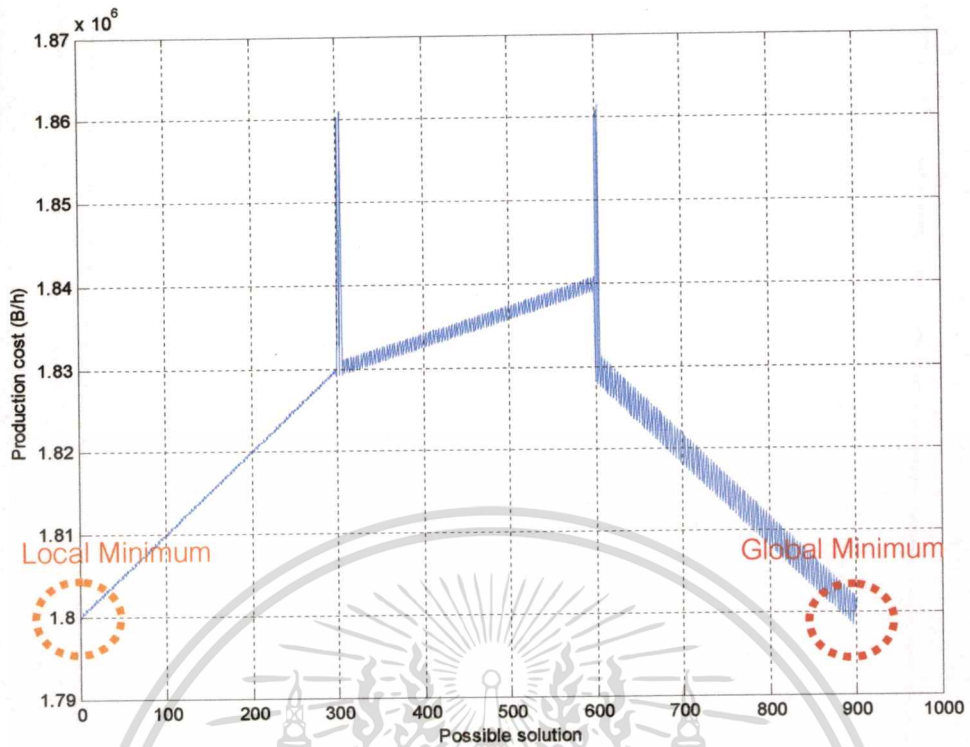


รูปที่ 8.130 พื้นที่ค่าโหลดทั้งหมดที่ระบบนี้สามารถจ่ายได้สำหรับปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย



รูปที่ 8.131 พื้นที่คำตอบจากค่าโหลดทั้งหมดและเส้นคำตอบของค่าโหลด 900 เมกวัตต์สำหรับปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

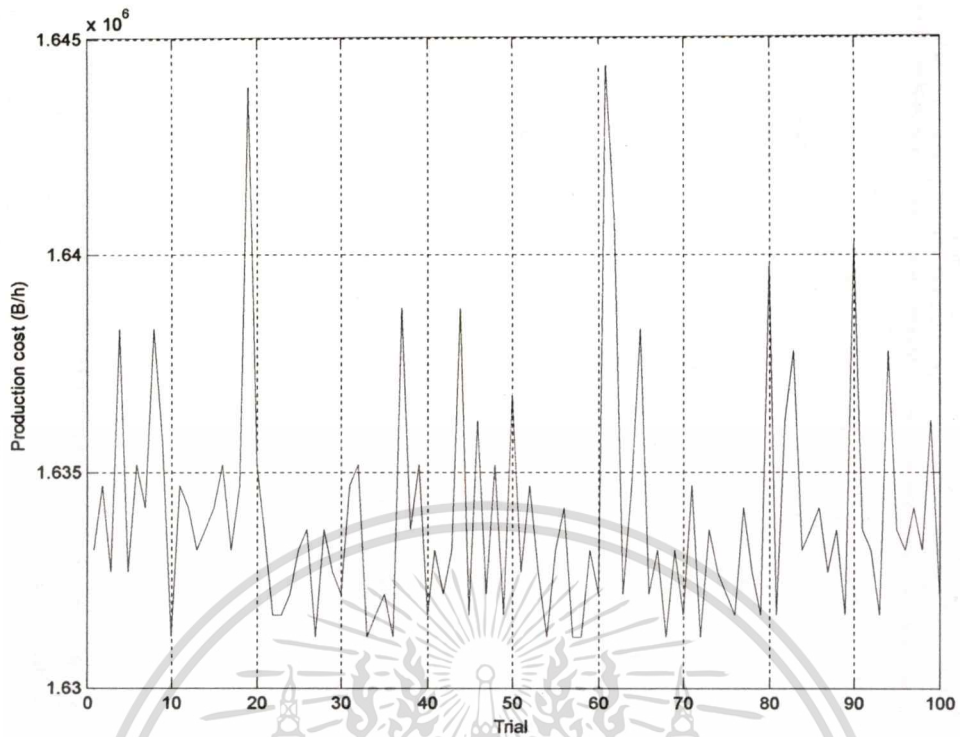


รูปที่ 8.132 จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดและต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวม สำหรับปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย

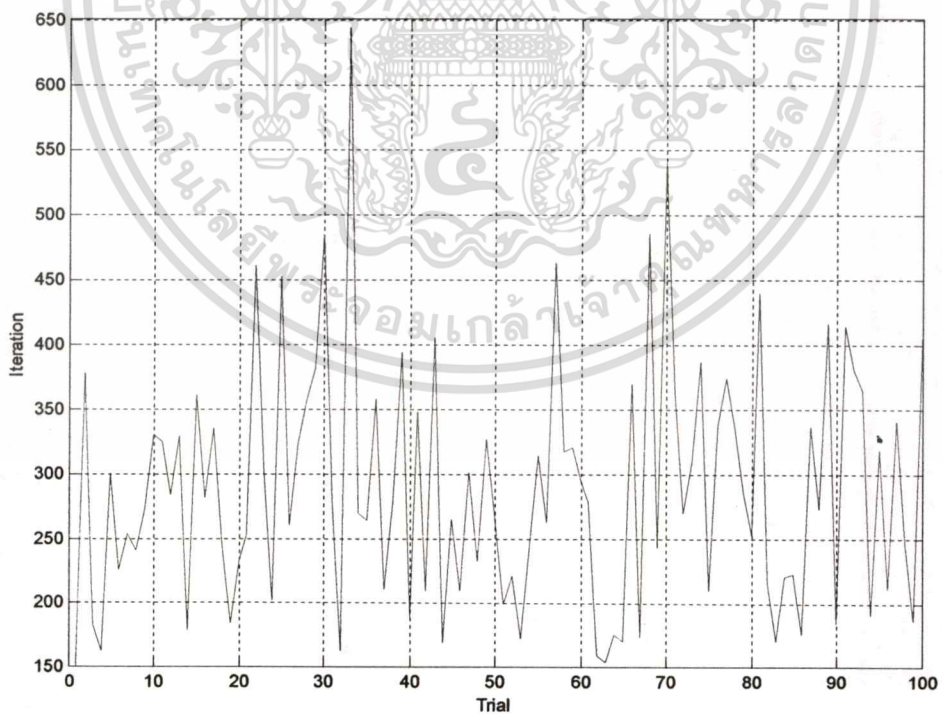
ตารางที่ 8.13 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วยด้วยวิธี AOGAs และวิธี AONGAs

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
ขนาดโครโมโซม, $N_c$	10
ความน่าจะเป็นในการผ่าเหล่ายีน, $P_m$	$k2 = 1.0, k4 = 0.5$
ความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนยีน, $P_c$	$k1 = 1.0, k3 = 0.5$
จำนวนประชากร, $N_p$	$3 * (2 N_c)$
วิธีการเข้ารหัส	เกรย์
วิธีการคัดเลือก	ทัวร์นาเมนต์ (ขนาดทัวร์นาเมนต์ = 4)
วิธีการปรับค่าความเหมาะสม	ตัดค่าซิกมา
วิธีการผ่าเหล่ายีน	ตลอดโครโมโซม (ปรับค่าอัตราโนมิต)
วิธีการแลกเปลี่ยนยีน	สมำเสมอ (ปรับค่าอัตราโนมิต)
วิธีการสร้างชุดโครโมโซมใหม่	สภาวะคงตัว (อีลิตซิส)
วิธีแสดงการลู่เข้า	ค่าชุดโครโมโซมที่ดีที่สุดไม่เปลี่ยนแปลงในจำนวน 150 รุ่นประชากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

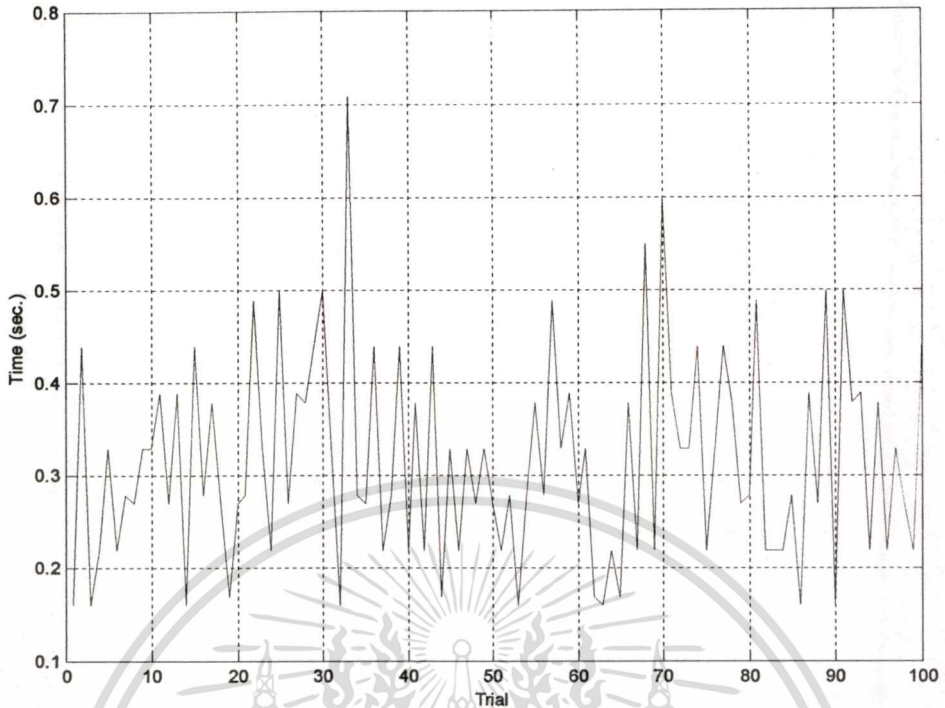


รูปที่ 8.133 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

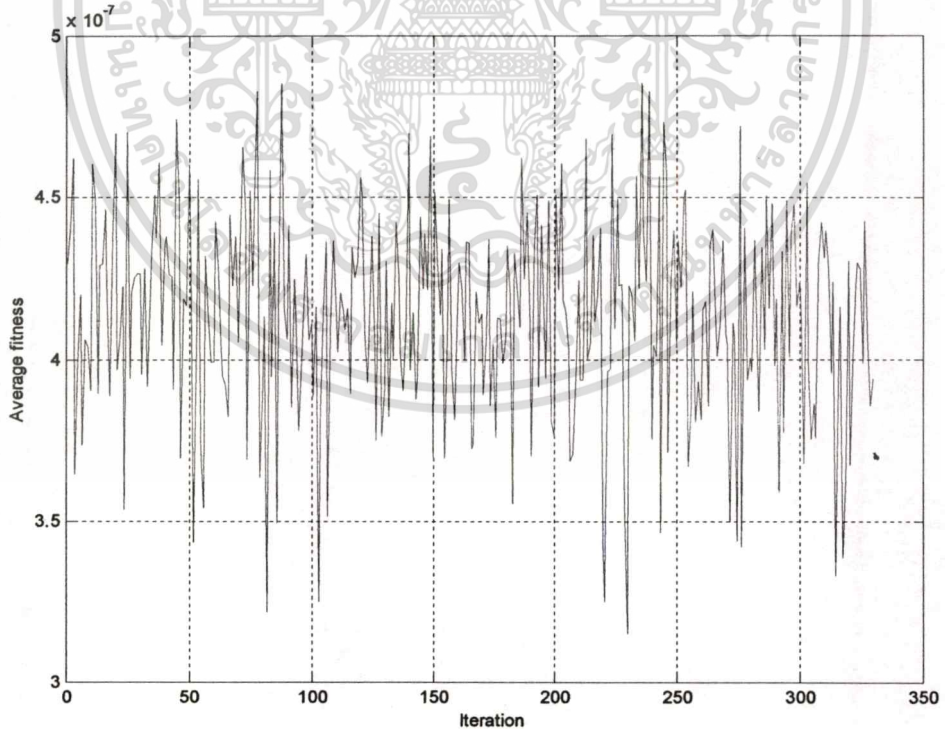


รูปที่ 8.134 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

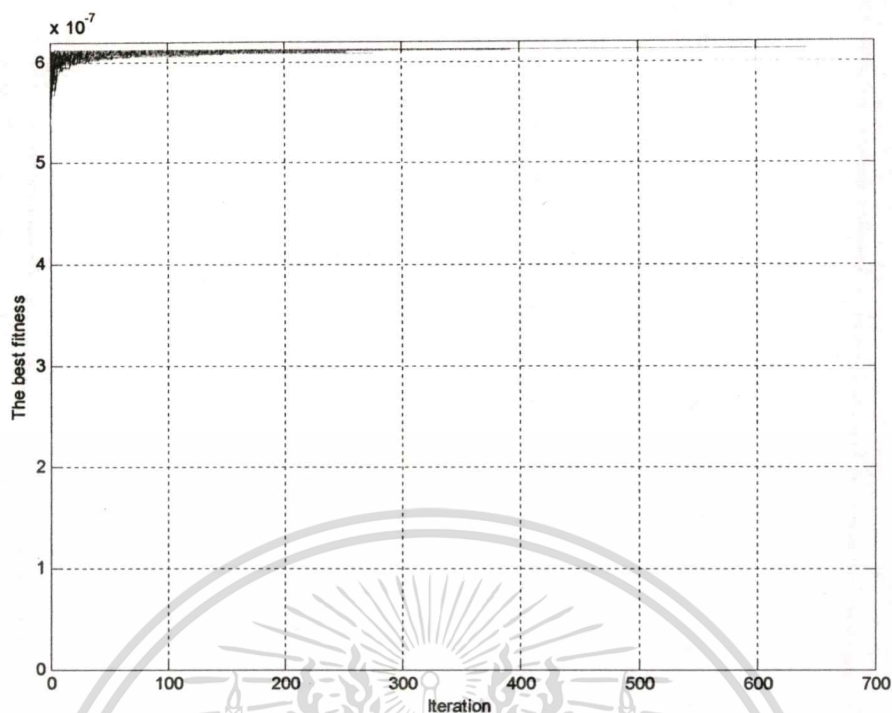


รูปที่ 8.135 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

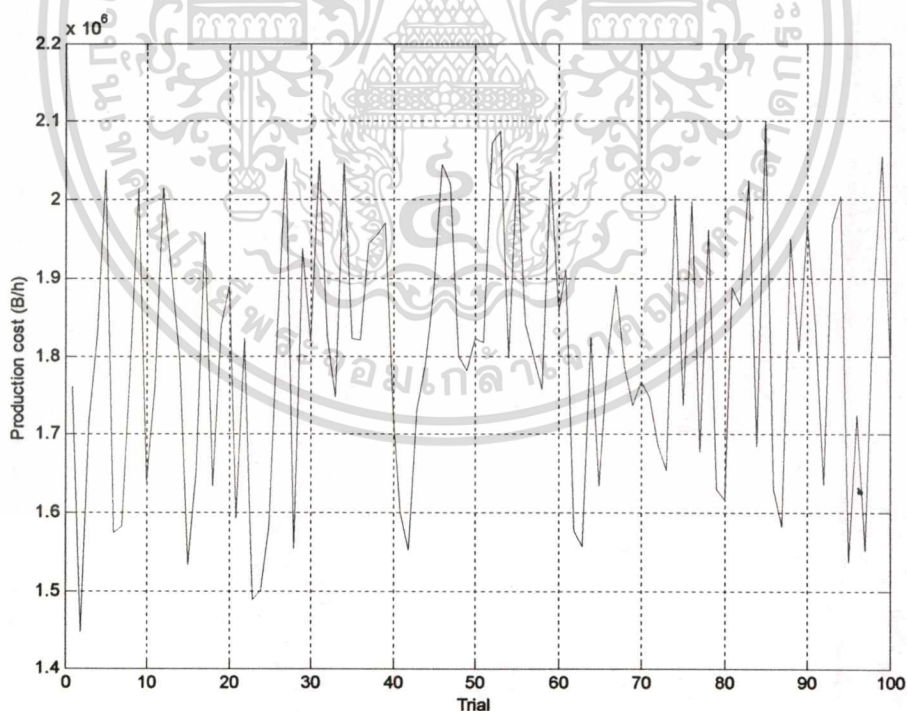


รูปที่ 8.136 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

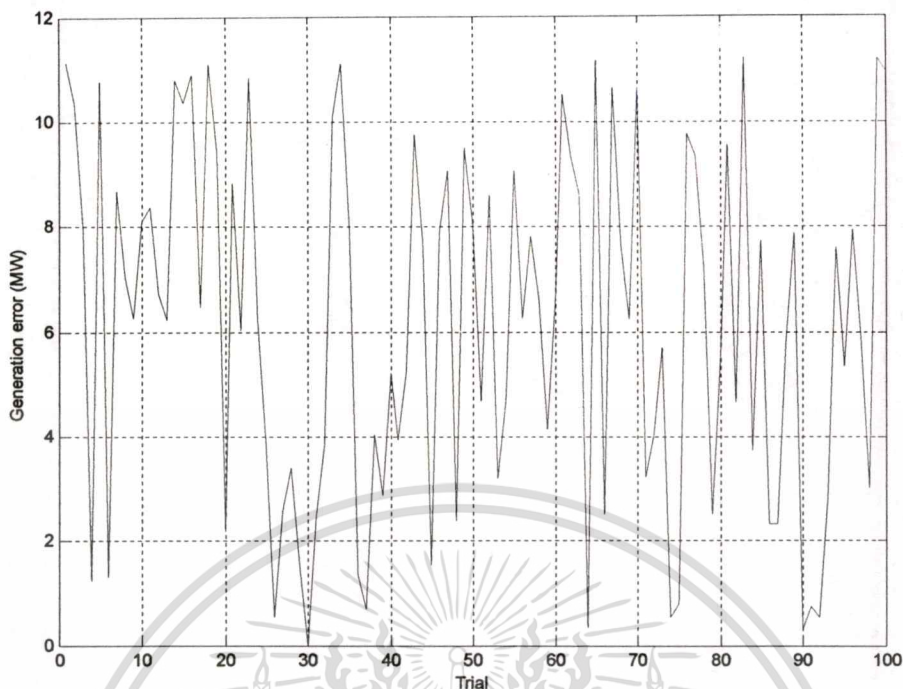


รูปที่ 8.137 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย จำนวน 100 ครั้ง (AOGs)

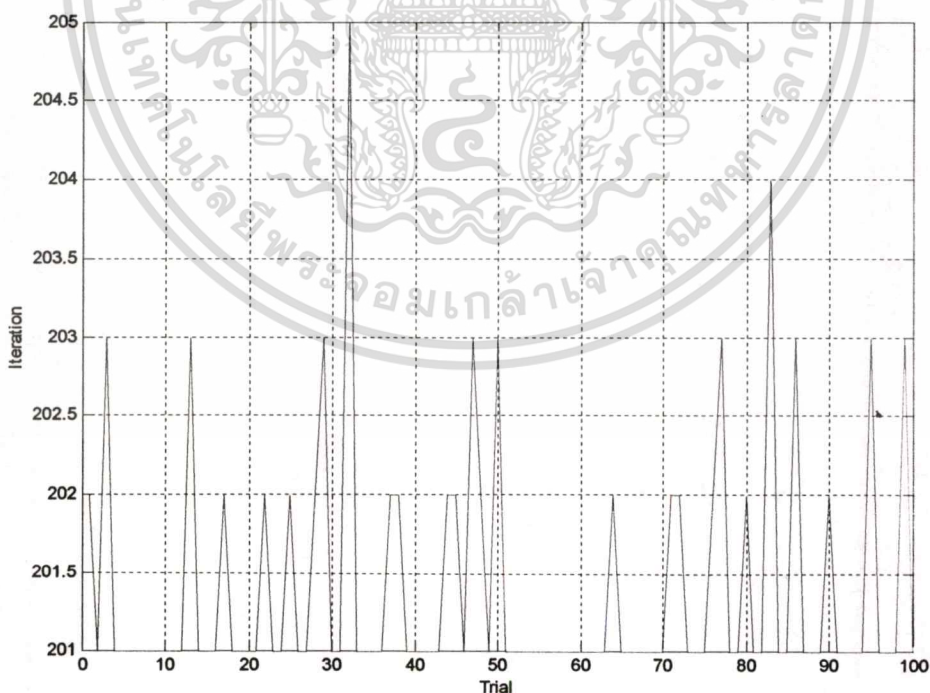


รูปที่ 8.138 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย จำนวน 100 ครั้ง (โดยใช้วิธีเปอร์เซ็นต์ค่าการปรับไทย)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

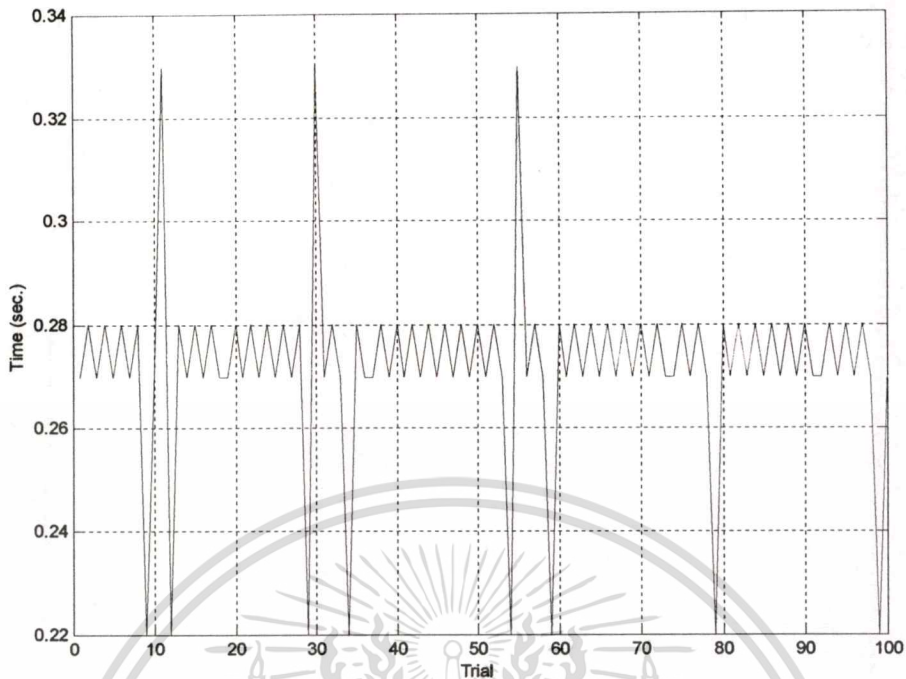


**รูปที่ 8.139** ค่าความผิดพลาดจากสมการการผลิตไฟฟ้าที่สมดุลจากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะ  
 สเตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย จำนวน 100 ครั้ง (โดยใช้วิธี  
 เปรอร์เซ็นต์ค่าการปรับโทษ)

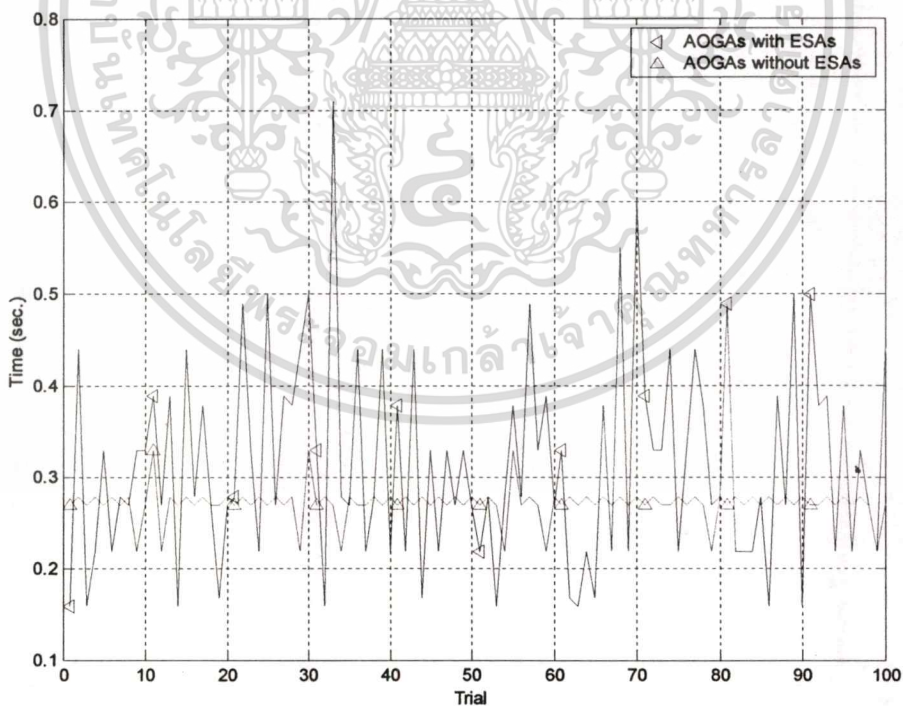


**รูปที่ 8.140** จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสเตติกจากระบบทดสอบที่  
 มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย จำนวน 100 ครั้ง (โดยใช้วิธีเปอร์เซ็นต์ค่าการปรับโทษ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.141 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย จำนวน 100 ครั้ง (โดยใช้วิธีเปอร์เซ็นต์ค่าการปรับไทย)



รูปที่ 8.142 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตในลักษณะสแตติกจากระบบทดสอบที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย จำนวน 100 ครั้ง ระหว่างวิธีเปอร์เซ็นต์ค่าการปรับไทยและวิธีแซร์ริงอัลกอริทึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.14 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะสเตตติคของระบบไฟฟ้าที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วยจำนวน 100 ครั้ง

การทดสอบ ครั้งที่	BF			AOGAs with ESAs				AOGA without ESAs					
	X1	X2	Ival	X1	X2	Ival	Iter	Time (sec.)	X1	X2	Ival	Iter	Time (sec.)
1	0.0	0.0	0.0	599.1211	320.331	1633200	151	0.16	550.1953	356.543	1761900	202	0.27
2				597.6563	321.743	1634700	378	0.44	518.5547	388.4766	1447900	201	0.28
3				599.1211	320.331	1632700	182	0.16	532.6172	377.0508	1717200	203	0.27
4				596.4844	322.8736	1638300	162	0.22	541.4063	375.293	1828900	201	0.28
5				598.8281	320.6133	1632700	301	0.33	539.9414	389.0625	2039400	201	0.27
6				597.3633	322.0258	1635200	226	0.22	545.8008	370.8984	1574800	201	0.28
7				597.9492	321.4607	1634200	254	0.28	587.6953	322.5586	1583300	201	0.27
8				596.4844	322.8736	1638300	241	0.27	546.0938	364.7461	1787400	201	0.28
9				597.6563	321.743	1635700	273	0.33	592.9688	319.9219	2015200	201	0.22
10				599.707	319.7664	1631200	330	0.33	587.6953	323.1445	1639200	201	0.27
11				597.6563	321.743	1634700	325	0.39	548.7305	377.9297	1761000	201	0.33
12				598.2422	321.1779	1634200	284	0.27	543.457	381.4453	2015700	201	0.22
13				599.1211	320.331	1633200	329	0.39	549.9023	361.8164	1907200	203	0.28
14				598.8281	320.6133	1633700	178	0.16	548.4375	358.5938	1793200	201	0.27
15				597.9492	321.4607	1634200	361	0.44	539.9414	367.3828	1533000	201	0.28
16				599.4141	320.0487	1635200	281	0.28	585.3516	322.5586	1653700	201	0.27
17				598.5352	320.8956	1633200	336	0.38	558.9844	365.918	1959100	202	0.28
18				597.9492	321.4607	1634700	246	0.27	534.668	394.6289	1634000	201	0.27
19				592.3828	326.8336	1643900	183	0.17	569.8242	358.3008	1839400	201	0.27
20				597.6563	321.743	1635200	234	0.27	546.6797	369.1406	1891300	201	0.28
21				599.1211	320.331	1633700	253	0.28	535.5469	391.4063	1593500	201	0.27
22				599.707	319.7664	1631700	461	0.49	536.4258	375.293	1822700	202	0.28
23				599.4141	320.0487	1631700	303	0.33	532.0313	396.9727	1488900	201	0.27
24				599.1211	320.331	1632200	202	0.22	568.3594	356.543	1501500	201	0.28
25				599.1211	320.331	1633200	453	0.5	559.8633	354.4922	1583300	202	0.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.14 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะสเตตติคของระบบไฟฟ้าที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วยจำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

26	599.1211	320.331	1633700	260	0.27	565.4297	352.4414	1840300	201	0.28
27	599.707	319.7664	1631200	324	0.39	532.0313	388.4766	2053400	201	0.27
28	598.5352	320.8956	1633700	357	0.38	588.8672	333.6914	1553700	202	0.28
29	598.8281	320.6133	1632700	381	0.44	599.1211	318.75	1938700	203	0.22
30	599.1211	320.331	1632200	485	0.5	565.7227	352.7344	1820400	201	0.33
31	597.6563	321.743	1634700	279	0.33	543.1641	377.3438	2050300	201	0.27
32	598.2422	321.1779	1635200	162	0.16	583.5938	339.2578	1826400	205	0.28
33	599.707	319.7664	1631200	644	0.71	540.2344	367.3828	1747600	201	0.27
34	599.4141	320.0487	1631700	270	0.28	562.793	344.2383	2048400	201	0.22
35	599.1211	320.331	1632200	264	0.27	581.25	345.7031	1822600	201	0.28
36	599.707	319.7664	1631200	338	0.44	556.6406	362.9883	1821100	201	0.27
37	595.6055	323.7214	1638800	211	0.22	520.6055	397.8516	1944700	202	0.27
38	599.4141	320.0487	1631700	279	0.28	551.0742	371.1914	1954900	202	0.28
39	599.1211	320.331	1635200	394	0.44	552.832	368.2617	1970900	201	0.27
40	599.4141	320.0487	1631700	188	0.22	548.4375	375	1724800	201	0.28
41	599.707	319.7664	1631200	348	0.38	538.1836	383.7891	1601400	201	0.27
42	599.1211	320.331	1632200	210	0.22	594.1406	330.4688	1552500	201	0.28
43	599.1211	320.331	1632200	406	0.44	529.3945	398.4375	1732500	201	0.27
44	596.1914	323.1563	1638800	169	0.17	563.9648	346.582	1788400	202	0.28
45	599.4141	320.0487	1631700	265	0.33	522.0703	397.2656	1883700	202	0.27
46	597.6563	321.743	1636200	210	0.22	570.9961	339.5508	2046800	201	0.28
47	599.1211	320.331	1632200	302	0.33	561.0352	348.0469	2020700	203	0.27
48	597.6563	321.743	1635200	232	0.27	523.5352	396.6797	1800300	202	0.28
49	599.4141	320.0487	1631700	327	0.33	549.9023	377.9297	1781800	201	0.27
50	597.6563	322.0258	1636800	265	0.27	553.7109	356.25	1822200	203	0.28
51	599.4141	320.0487	1632700	199	0.22	569.8242	343.9453	1818000	201	0.27
52	599.707	319.7664	1634700	222	0.28	583.3516	324.9023	2073000	201	0.28
53	598.8281	320.6133	1632700	172	0.16	568.3594	346.875	2088200	201	0.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.14 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะเสถียรของระบบไฟฟ้าที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วยจำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

54	599.707	319.7664	1631200	244	0.28	573.0469	350.3906	1796800	201	0.22
55	599.4141	320.0487	1633200	314	0.38	529.6875	378.8086	2046900	201	0.33
56	598.2422	321.1779	1634200	262	0.28	533.7891	377.6367	1842100	201	0.27
57	599.707	319.7664	1631200	463	0.49	556.3477	353.9063	1798800	201	0.28
58	599.707	319.7664	1631200	318	0.33	565.7227	359.4727	1758800	201	0.27
59	599.4141	320.0487	1633200	321	0.39	560.4492	362.1094	2036700	201	0.22
60	599.4141	320.0487	1632200	294	0.27	519.1406	391.6992	1857000	201	0.28
61	592.3828	326.8336	1644400	278	0.33	561.9141	345.7031	1911500	201	0.27
62	595.3125	324.0042	1640800	159	0.17	526.1719	382.0313	1578500	201	0.28
63	599.707	319.7664	1632200	154	0.16	509.4727	399.3164	1557400	201	0.27
64	598.8281	320.6133	1634700	175	0.22	555.1738	362.6953	1825000	202	0.28
65	597.0703	322.3081	1638300	170	0.17	551.3672	355.3711	1633300	201	0.27
66	599.4141	320.0487	1632200	370	0.38	538.7695	381.7383	1797500	201	0.28
67	598.5352	320.8956	1633200	173	0.22	515.0391	391.6992	1893000	201	0.27
68	599.707	319.7664	1631200	486	0.55	540.5273	385.2339	1788000	201	0.28
69	598.8281	320.6133	1633200	243	0.22	538.4766	385.8398	1738700	201	0.27
70	599.707	319.7664	1631700	540	0.6	597.0703	333.1055	1768700	201	0.28
71	597.9492	321.4607	1634700	363	0.39	526.7578	394.3359	1748000	202	0.27
72	599.707	319.7664	1631200	270	0.33	576.8555	345.9961	1686700	202	0.28
73	598.2422	321.1779	1633700	309	0.33	551.3672	360.9375	1654500	201	0.27
74	598.8281	320.6133	1632700	387	0.44	578.0273	341.3086	2007500	201	0.27
75	599.1211	320.331	1632200	210	0.22	549.3164	367.9688	1737300	201	0.28
76	599.4141	320.0487	1631700	338	0.33	528.2227	399.6094	1998300	202	0.27
77	598.8281	320.6133	1634200	374	0.44	581.8359	327.5391	1679000	203	0.28
78	598.8281	320.6133	1632700	335	0.38	516.5039	393.75	1963100	201	0.27
79	599.4141	320.0487	1631700	286	0.27	579.7852	341.6016	1631200	201	0.22
80	594.7266	324.5702	1639800	253	0.28	568.9453	343.9453	1616800	202	0.28
81	599.4141	320.0487	1631700	440	0.49	546.3867	381.4453	1888700	201	0.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.14 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะเสถียรของระบบไฟฟ้าที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วยจำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

83	597,9492	321,4607	1637800	170	0.22	550,4883	379,1016	202,4900	204	0.27
84	598,5352	320,8956	1633200	221	0.22	587,6953	335,1563	168,4900	201	0.28
85	598,5352	320,8956	1633700	223	0.28	530,5664	395,2148	210,0800	201	0.27
86	597,9492	321,4607	1634200	175	0.16	530,5664	389,6484	163,0500	203	0.28
87	599,707	319,7664	1632700	337	0.39	585,9375	335,4492	158,2700	201	0.27
88	598,8281	320,6133	1633700	273	0.27	585,6445	339,2578	195,1300	201	0.28
89	599,4141	320,0487	1631700	416	0.5	592,6758	334,5703	180,5900	201	0.27
90	595,3125	324,0042	1640300	183	0.16	595,0195	324,6094	196,9600	202	0.28
91	598,2422	321,1779	1633700	414	0.5	599,4141	320,8008	183,6600	201	0.27
92	598,5352	320,8956	1633200	380	0.38	567,7734	351,2695	163,5200	201	0.27
93	599,4141	320,0487	1631700	364	0.39	532,6172	382,3242	196,8600	201	0.28
94	598,8281	320,6133	1637800	190	0.22	542,2852	383,4961	200,4900	201	0.27
95	599,1211	320,331	1633700	319	0.38	540,2344	383,2031	153,6700	203	0.28
96	598,5352	320,8956	1633200	211	0.22	548,4375	361,5234	172,6300	201	0.27
97	598,2422	321,1779	1634200	341	0.33	573,9258	350,6836	155,2300	201	0.28
98	598,5352	320,8956	1633200	247	0.27	571,875	343,6523	188,3400	201	0.27
99	597,3633	322,0258	1636200	186	0.22	513,2813	392,8711	205,6900	203	0.22
100	599,707	319,7664	1632200	406	0.44	586,8164	343,3594	179,5900	201	0.27
ค่าที่ต่ำสุด	599,707	319,7664	1631200	330	0.33	518,5547	388,4766	144,7900	201	0.28
ค่าเฉลี่ย			1633985	289,11	0.3164			1803,531	201,41	0.2719
ค่าที่สูงสุด	592,3828	326,8336	1644400	278	0.33	530,5644	395,2148	210,0800	201	0.27

\*\*\* หมายถึง พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 8.13

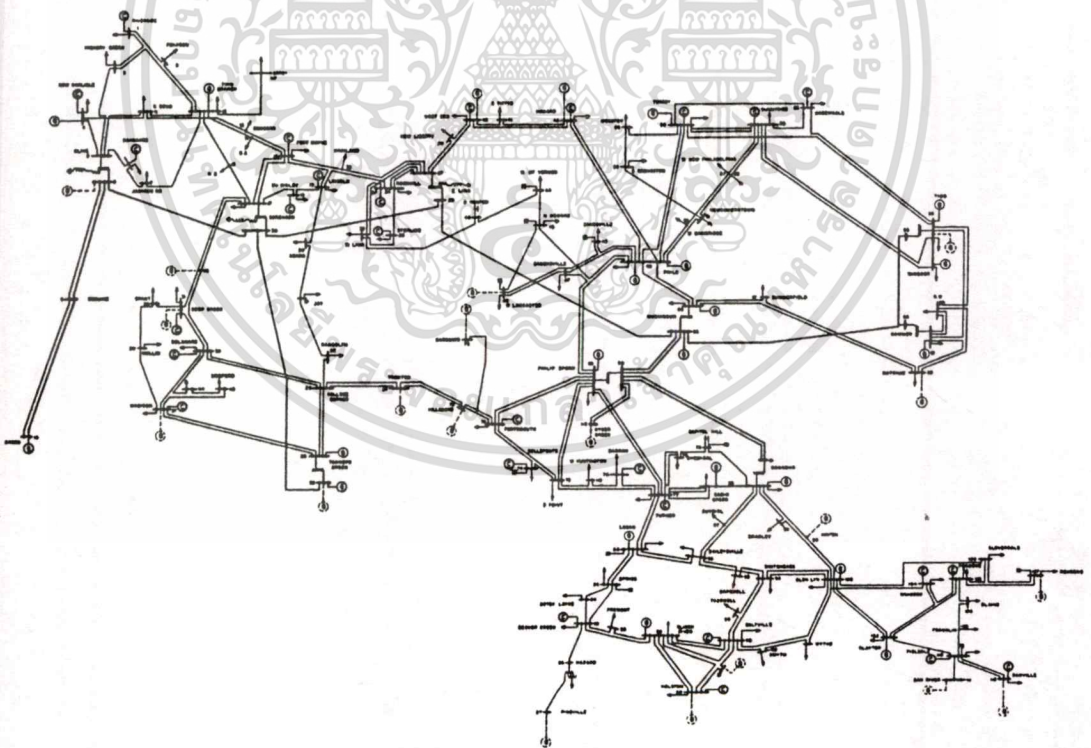
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8.2.2.2 ระบบทดสอบ IEEE 118 Bus

การทดสอบนี้แสดงถึงวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง และวิธีแชร์ริงอัลกอริทึม มาใช้แก้ปัญหาค่าการจำกัดกำลังการผลิตสำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus โดยทดสอบประสิทธิภาพของการค้นหาคำตอบและเทียบความถูกต้องของคำตอบที่ได้กับวิธีโคเนมิกโปรแกรมมิ่งที่ใช้การปรับซุม

ระบบทดสอบมาตรฐาน IEEE 118 Bus นำมาจากส่วนหนึ่งของระบบ American Electric Power (ใน Midwestern ประเทศสหรัฐอเมริกา) ในราวเดือน ธันวาคม ค. ศ. 1962 โดยในงานวิจัยนี้นำมาใช้โดยการเพิ่มเติมและปรับเปลี่ยนข้อมูลบางส่วน เช่น ข้อมูลหน่วยผลิตไฟฟ้าและต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิต อีกส่วนหนึ่งคือการปรับข้อมูลขนาดกำลังการผลิตไฟฟ้าและค่าความสูญเสียในระบบส่งให้สอดคล้องกัน โดยงานวิจัยนี้ใช้ระบบที่มี 17 หน่วยผลิตไฟฟ้า ซึ่งข้อมูลของแต่ละหน่วยผลิตไฟฟ้าแสดงไว้ในตารางที่ 8.11

การทดสอบนี้กระทำบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล Pentium III ความเร็วสัญญาณนาฬิกา 1GHz ระบบปฏิบัติการ Windows Millennium™ และ MinGW FORTRAN Compiler พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 8.15 ผลจากการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 8.16 และพฤติกรรมการเข้าสู่คำตอบรวมถึงลักษณะคำตอบที่แตกต่างกันในการทดสอบแต่ละครั้ง แสดงไว้ดังรูปที่ 8.144-8.153



รูปที่ 8.143 ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus ที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 8.15 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติก  
ของระบบไฟฟ้า IEEE 118 Bus ด้วยวิธี AOGAs และ AONGAs

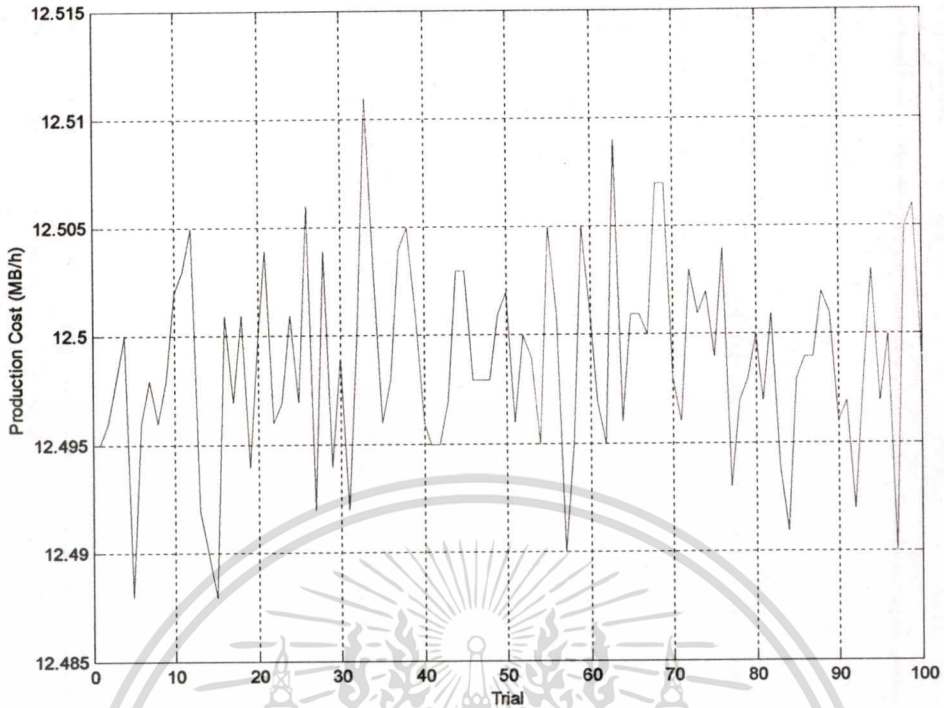
พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
จำนวนหน่วยผลิตไฟฟ้า, $N_g$	17
ค่ากำลังการผลิตเริ่มต้น (เมกกะวัตต์)	(700.0, 700.0, 250.0, 500.0, 300.0, 200.0, 300.0, 300.0, 200.0, 480.0, 690.0, 700.0, 250.0, 350.0, 300.0, 200.0, 300.0)
อัตราการเพิ่มกำลังการผลิตในเวลา 5 นาที (เมกกะวัตต์)	(50.0, 50.0, 40.0, 40.0, 40.0, 40.0, 50.0, 50.0, 50.0, 40.0, 50.0, 50.0, 40.0, 40.0, 40.0, 40.0, 50.0)
อัตราการลดกำลังการผลิตในเวลา 5 นาที (เมกกะวัตต์)	(75.0, 75.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 75.0, 75.0, 75.0, 50.0, 75.0, 75.0, 50.0, 50.0, 50.0, 50.0, 75.0)
ค่าความต้องการ โหลด (เมกกะวัตต์)	(0.995*ค่าความต้องการ โหลดเดิม) หรือ 6423.275
ขนาดโครโมโซม, $N_c$	10
ความน่าจะเป็นในการผ่าเหล่ายีน, $P_m$	0.0-0.1 (ปรับค่าอัตโนมัติ)
ความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนยีน, $P_c$	$k1 = 1.0, k3 = 0.5$
จำนวนประชากร, $N_p$	$2*(N_g * N_c)$
วิธีการเข้ารหัส	แบบเกรย์ (รวมถึงวิธีการเข้ารหัสโดยวิธีแซร์ริงอัลกอริทึม และการจำกัดขอบเขตกำลังการผลิตที่เป็นไปได้ จากขีดจำกัดสูงสุด/ต่ำสุด และอัตราการ เพิ่ม/ลดกำลังการผลิต)
ฟังก์ชันความเหมาะสม	$1000000 / \sum_{i=1}^{N_g} C_i(P_{g,i})$
วิธีการคัดเลือก	ทัวนาเมนต์ (ขนาดทัวนาเมนต์ = 4)
วิธีการปรับค่าความเหมาะสม	ตัดค่าซิกมา
วิธีการผ่าเหล่ายีน	แบบกระโดด (โดยปรับค่าความน่าจะเป็นจากจำนวนรอบที่ค่าความ เหมาะสมที่คี่ที่สุดมีค่าคงที่)
วิธีการแลกเปลี่ยนยีน	สม้าเสมอ (ปรับค่าอัตโนมัติ)
วิธีการสร้างชุดโครโมโซมใหม่	สภาวะคงตัว (อีลิตซิส)
วิธีแสดงการดูเข้า	ค่าชุดโครโมโซมที่ดีที่สุดไม่เปลี่ยนแปลงใน จำนวน 150 รุ่นประชากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

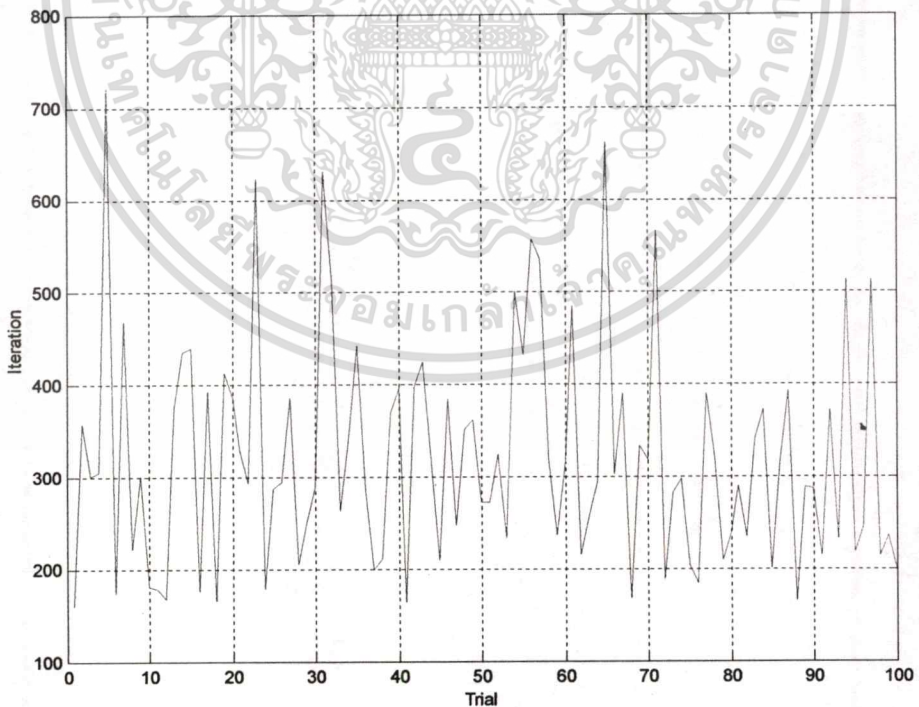
ตารางที่ 8.16 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะสเตตติคของระบบไฟฟ้า IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง

Unit	MZDPAs		AOGAs (With ESAs)			AONGAs (With ESAs)						
	MW	Cost (Baht/h)	MW (Best)	Cost (Baht/h) (Best)	MW (Worst)	Cost (Baht/h) (Worst)	MW (Best)	Cost (Baht/h) (Best)	MW (Worst)	Cost (Baht/h) (Worst)		
G1 (B10)	700.00	722156.94	698.75	721667.63	664.18	708119.60	699.93	722128.13	699.93	722128.13		
G2 (B12)	700.00	727154.94	677.37	726336.25	698.24	727111.90	699.71	727147.94	697.66	727097.06		
G3 (B25)	250.00	758853.56	250.04	758906.38	265.04	779549.80	250.00	758853.56	250.00	758853.56		
G4 (B26)	500.00	812461.19	490.58	807523.38	456.20	789484.80	450.00	786226.19	450.00	786226.19		
G5 (B46)	300.00	762251.38	306.84	768708.50	307.70	769521.10	300.00	762251.38	300.00	762251.38		
G6 (B49)	200.17	716712.50	227.81	736783.88	201.60	717754.80	200.00	716592.00	200.00	716592.00		
G7 (B54)	306.67	664001.94	307.23	664335.94	338.33	682998.10	300.00	660000.00	300.00	660000.00		
G8 (B59)	300.00	780000.00	301.12	782021.50	300.83	781494.10	300.00	780000.00	300.00	780000.00		
G9 (B61)	200.00	720000.00	200.20	720351.56	207.32	733183.60	200.00	720000.00	200.00	720000.00		
G10 (B65)	382.35	687723.94	432.02	722501.44	433.96	723855.40	430.26	721270.63	451.36	736040.50		
G11 (B66)	700.00	722156.94	694.02	719815.38	684.06	715935.20	699.92	722124.25	699.92	722124.25		
G12 (B69)	700.00	727154.94	699.93	727133.19	693.61	727042.50	699.93	727153.19	699.93	727153.19		
G13 (B80)	250.00	758853.56	250.00	758853.56	250.00	758853.60	250.00	758853.56	250.00	758853.56		
G14 (B89)	365.49	741678.25	325.49	720503.75	358.27	737862.30	381.66	750221.94	362.62	740159.56		
G15 (B100)	300.00	762251.38	300.00	762251.38	300.00	762251.40	300.00	762251.38	300.00	762251.38		
G16 (B103)	200.00	716592.00	200.01	716598.00	200.06	716633.50	200.00	716592.00	200.00	716592.00		
G17 (B111)	301.31	660785.13	323.23	673938.75	331.61	678967.10	331.16	678697.31	330.32	678192.31		
<b>Total</b>	6655.99	12440788.56	6684.63	12488250.44	6693.01	12510619.00	6692.52	12470363	6691.72	12474515.06		
<b>CPU Time (sec.)</b>	0.45053		9.23563			6.54996			13.55652			37.1246

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

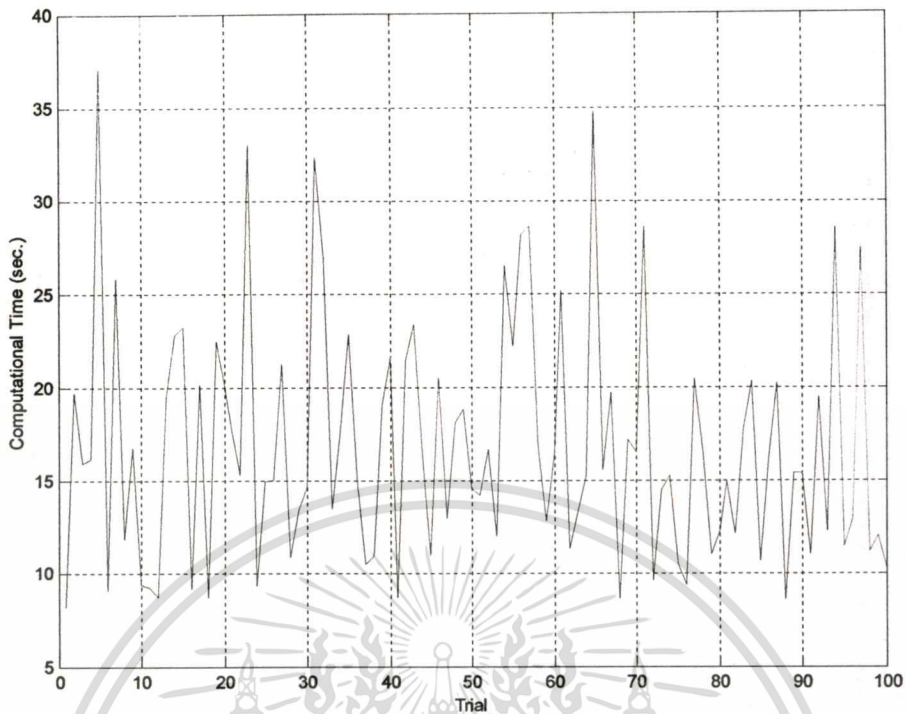


รูปที่ 8.144 ค่าต้นทุนราคาซื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

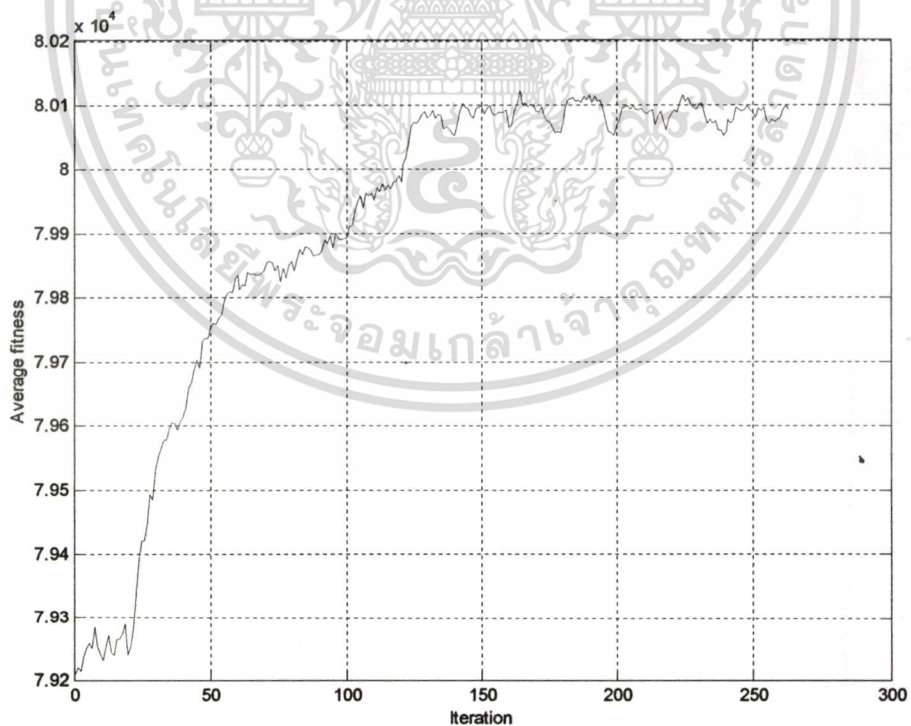


รูปที่ 8.145 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

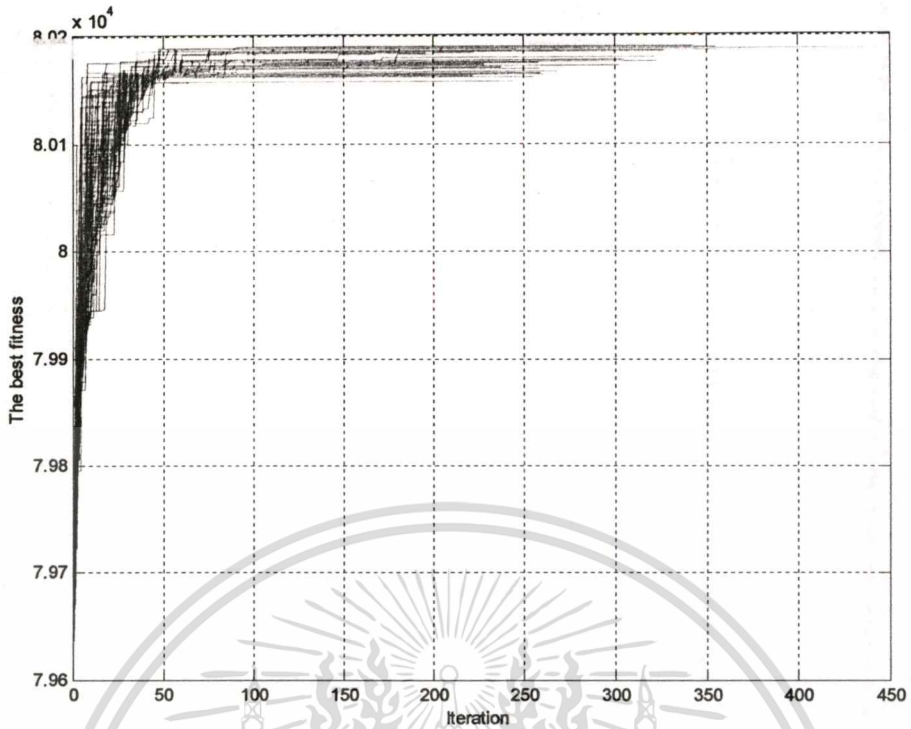


รูปที่ 8.146 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

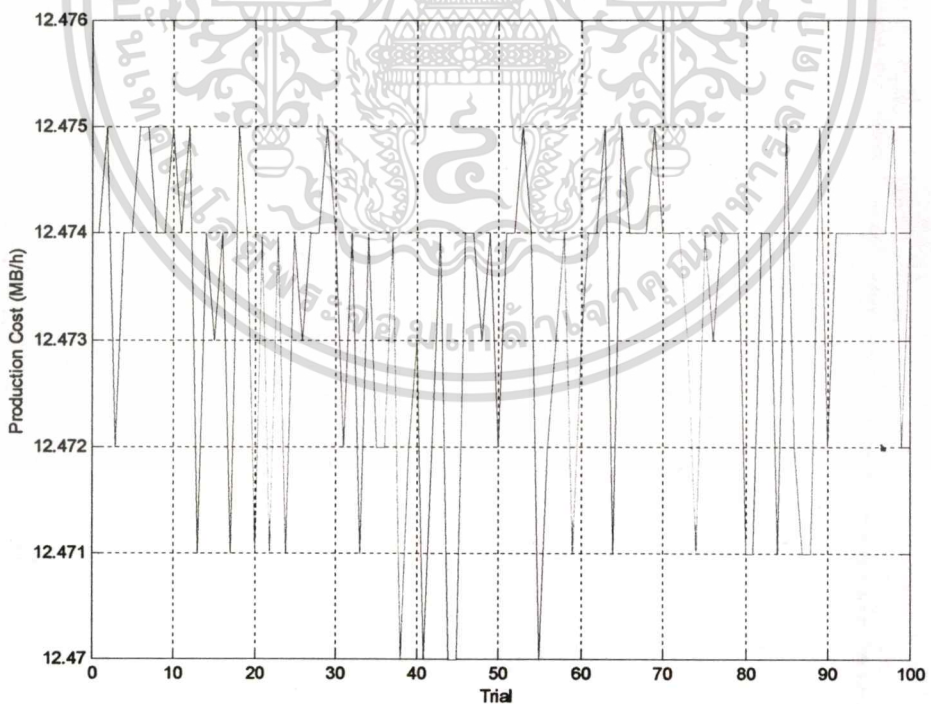


รูปที่ 8.147 ประสิทธิภาพออฟไลน์ที่ดีที่สุดจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

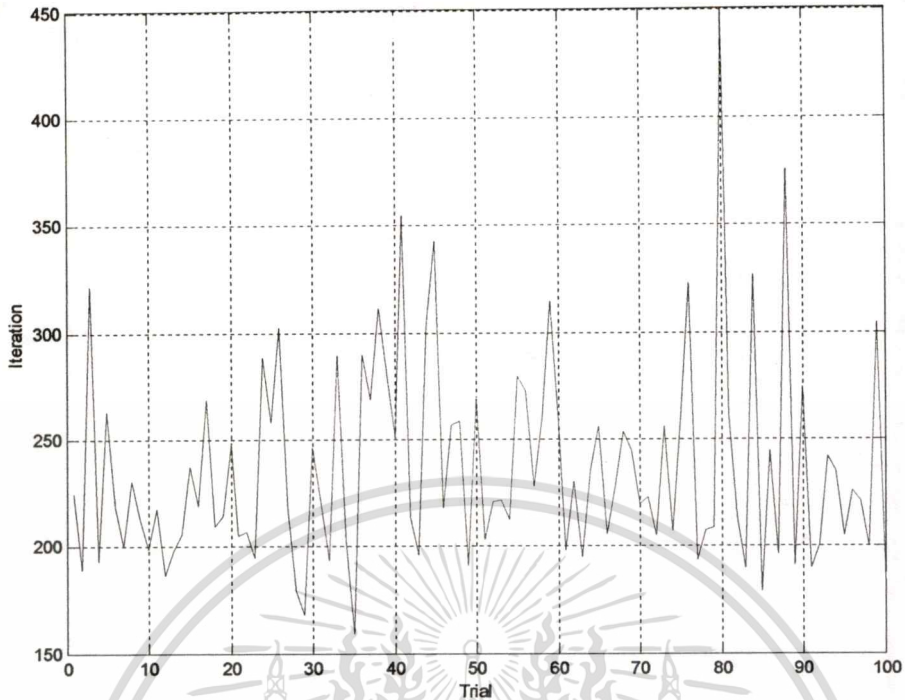


รูปที่ 8.148 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

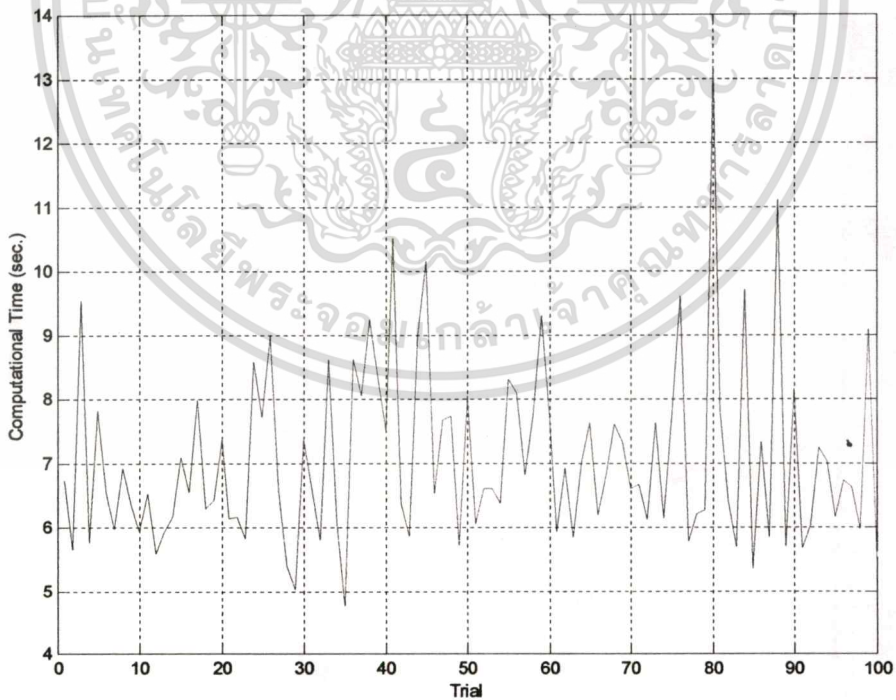


รูปที่ 8.149 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

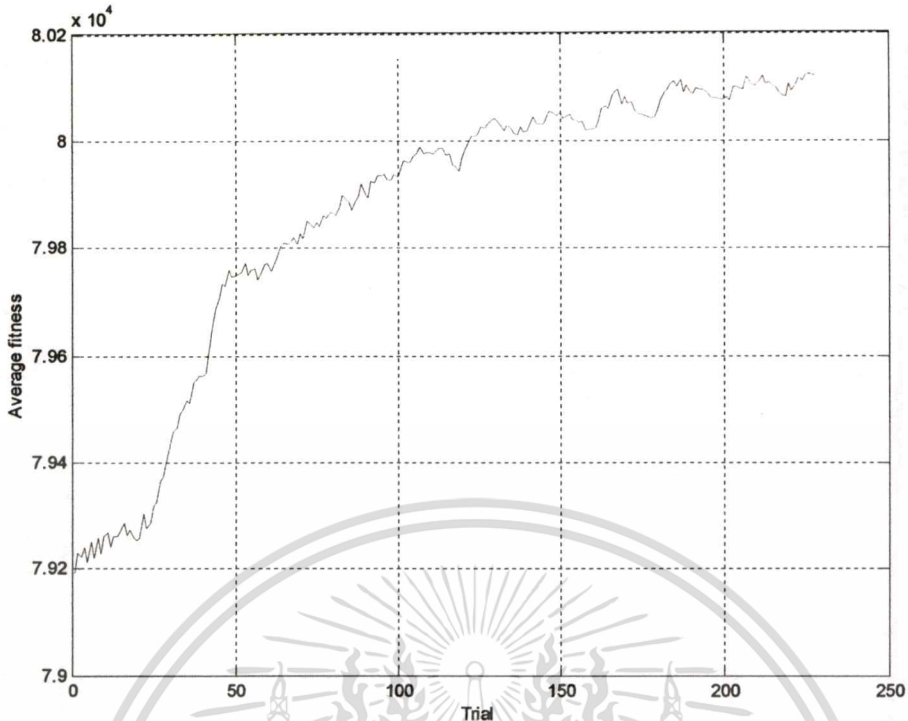


รูปที่ 8.150 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

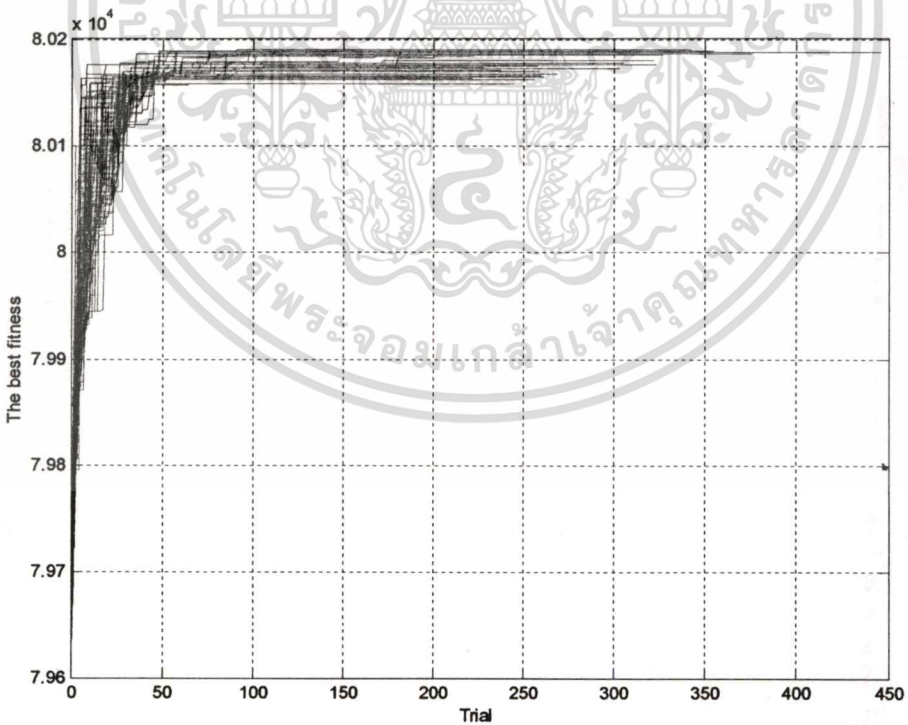


รูปที่ 8.151 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.152 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)



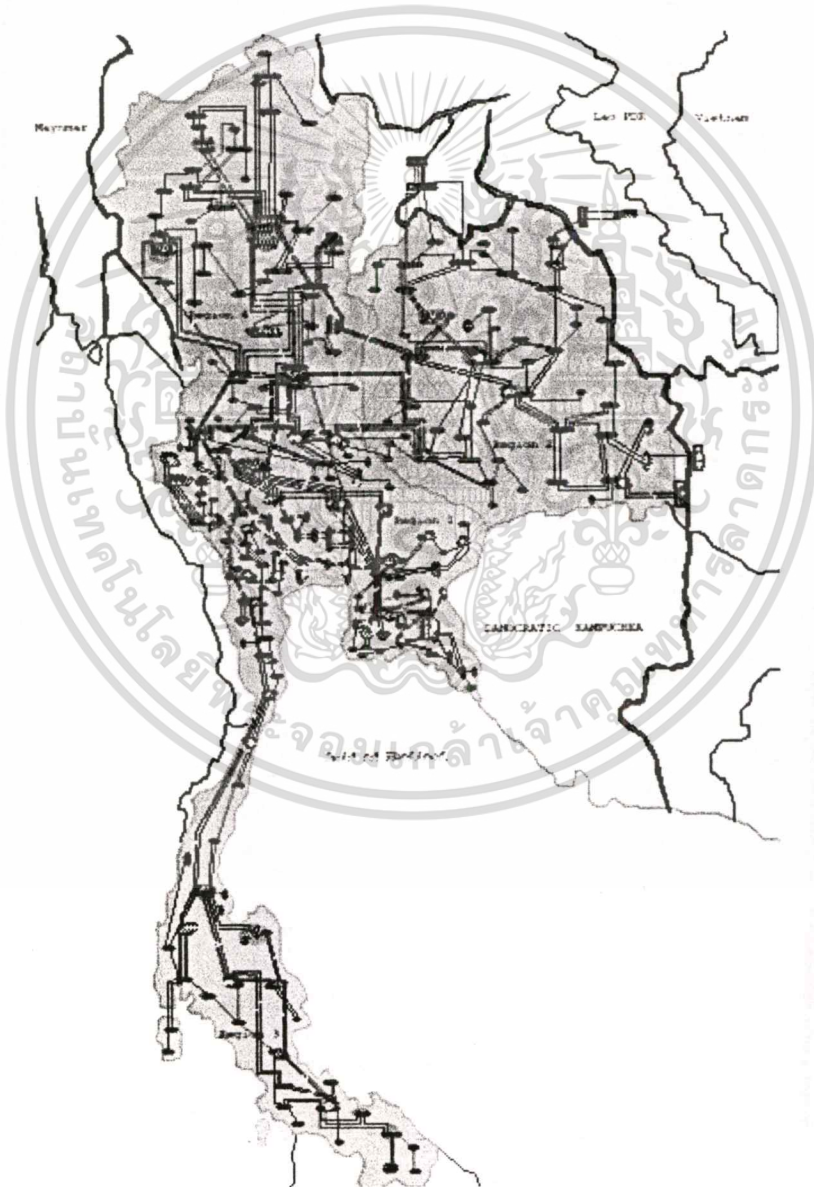
รูปที่ 8.153 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8.2.2.2 ระบบทดสอบ THA 424 Bus

การทดสอบนี้แสดงการนำวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีนิซซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง และวิธีแชร์ริงอัลกอริทึม มาใช้แก้ปัญหาการจัดกำลังการผลิตสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดใหญ่ THA 424 Bus ดังรายละเอียดข้อมูลที่แสดงไว้ในภาคผนวก ก.2 (ใน CDROM ที่แนบท้ายวิทยานิพนธ์ฉบับนี้) โดยทดสอบประสิทธิภาพของการค้นหาค่าตอบและเทียบความถูกต้องของคำตอบที่ได้กับวิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งที่ใช้การปรับซุม

ระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus ประกอบไปด้วยหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อน หน่วยผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม ระบบไฟฟ้าพลังงานน้ำ ที่อยู่ในความกำกับดูแลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย หน่วยผลิตไฟฟ้าพลังงานความร้อนและหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมของบริษัทผลิต



รูปที่ 8.154 ระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus ที่ใช้ในการทดสอบ

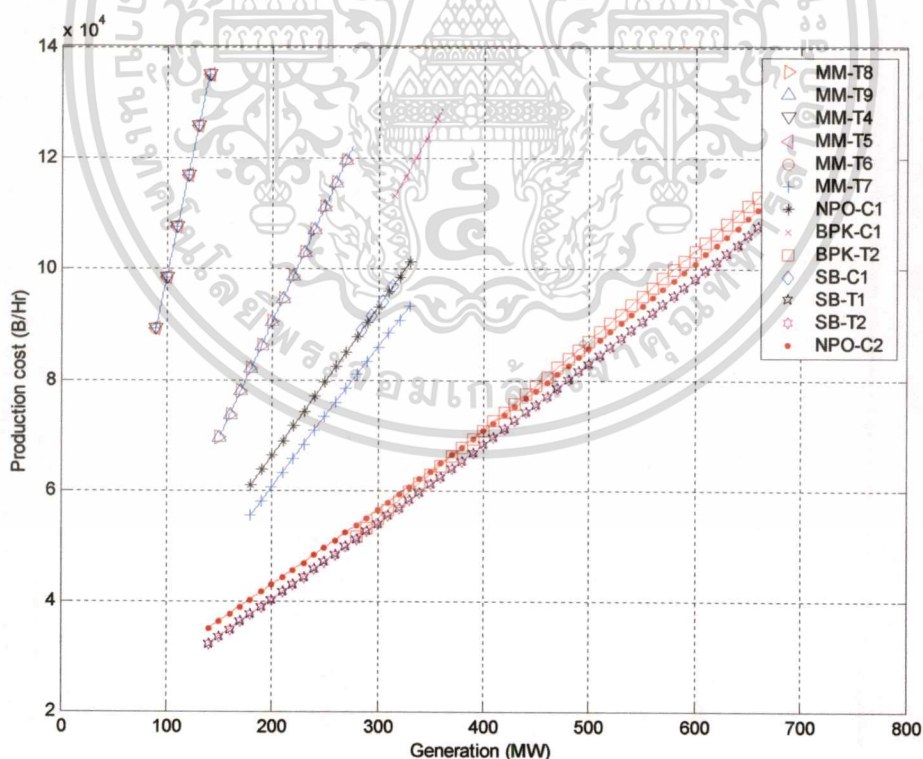
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไฟฟ้าเอกชน และหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังงานน้ำจากสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว โดยที่การจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าสำหรับแต่ละหน่วยผลิตไฟฟ้าที่อยู่ในสองกลุ่มหลังนั้นเป็นไปตามข้อตกลงสัญญาการซื้อขายไฟฟ้าที่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยกระทำร่วมกับบริษัทผลิตไฟฟ้าต่างๆ

การคำนวณการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus นี้มุ่งเน้นการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าให้มีต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมน้อยที่สุดเป็นหลัก โดยพิจารณาเฉพาะหน่วยผลิตไฟฟ้าที่อยู่ในความกำกับดูแลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนกำลังการผลิตได้อย่างอิสระโดยไม่ขึ้นกับข้อจำกัดอื่นๆ จากสัญญาการผลิตไฟฟ้า

หน่วยผลิตไฟฟ้าทั้งหมดมีจำนวนทั้งสิ้น 91 หน่วยผลิต และจากการพิจารณาสถานะกำลังผลิต ณ. ช่วงเวลาหนึ่ง ซึ่งหน่วยผลิตบางส่วนที่ไม่ขนานเครื่องเข้ามาในระบบ จำนวนหน่วยผลิตไฟฟ้าที่ใช้ในการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าสำหรับการทดสอบนี้มีจำนวน 70 หน่วยผลิต ดังรายละเอียดที่แสดงไว้ดังตารางที่ 8.17 และต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในการคำนวณแสดงไว้ดังรูปที่ 8.154 ยกเว้นหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ ที่กำหนดให้มีค่าต้นทุนกำลังการผลิตที่น้อยมาก เช่นเดียวกับกับหน่วยผลิตไฟฟ้าของเอกชนที่กำหนดให้เดินอยู่ที่ตำแหน่งกำลังการผลิตสูงสุด

พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 8.17 ผลจากการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 8.18 และพฤติกรรมการเข้าสู่คำตอบรวมถึงลักษณะคำตอบที่แตกต่างกันในการสุ่มค่าเริ่มต้นในการทดสอบแต่ละครั้ง แสดงไว้ดังรูปที่ 8.156-8.165



รูปที่ 8.155 เส้นกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงของหน่วยผลิตที่ใช้ในการทดสอบการจัดกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลัง THA424 Bus

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.17 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกของระบบไฟฟ้า THA 424 Bus ด้วยวิธี AOGAs และ AONGAs

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
จำนวนหน่วยผลิตไฟฟ้า, $N_p$ (จากการนำสถานะการผลิตไฟฟ้า ณ. เวลาหนึ่งมาเป็นข้อมูลในการพิจารณาการจัดกำลังการผลิตใหม่ หน่วยผลิตที่แสดงไว้ ถูกกำหนดให้อยู่ในระบบ กำลังการผลิตสำรอง)	70  (LKB-G1, LKB-G10, LKB-G2, LKB-G3, LKB-G4, LKB-G9, LKB-G5, LKB-G6, LKB-G7, LKB-G8, BLG-H1, BLG-H2, BLG-H3, PPI-T1, TOP-T1, SPG-T1, TNP-T1, NKC-T1, KA-C1, KA-C2, TPS-T2)
ค่ากำลังการผลิตเริ่มต้น (เมกกะวัตต์)	(70.0, 79.0, 79.0, 79.0, 150.0, 150.0, 90.0, 90.0, 90.0, 90.0, 60.0, 60.0, 60.0, 60.0, 60.0, 60.0, 40.0, 40.0, 40.0, 180.0, 700.0, 320.0, 693.8, 284.0, 140.0, 140.0, 140.0, 55.0, 55.0, 55.0, 70.0, 70.0, 70.0, 120.0, 15.0, 15.0, 307.2, 307.2, 80.3, 80.3, 90.0, 46.5, 46.5, 60.0, 25.0, 6.4, 26.0, 55.0, 55.0, 90.0, 49.0, 49.0, 60.0, 60.0, 60.0, 60.0, 90.0, 180.0, 250.0, 70.0, 250.0, 250.0, 40.0, 40.0, 40.0, 200.0, 200.0, 100.0, 100.0, 100.0)
อัตราการเพิ่มกำลังการผลิตในเวลา 5 นาที (เมกกะวัตต์)	(5.0*6.8, 5.0*40.0, 5.0*40.0, 5.0*40.0, 5.0*5.0, 5.0*5.0, 5.0*3.0, 5.0*3.0, 5.0*3.0, 5.0*3.0, 5.0*70.0, 5.0*70.0, 5.0*70.0, 5.0*120.0, 5.0*115.0, 5.0*76.3, 5.0*76.3, 5.0*76.3, 5.0*8.0, 5.0*39.0, 5.0*22.5, 5.0*25.0, 5.0*10.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*87.0, 5.0*87.0, 5.0*87.0, 5.0*70.2, 5.0*70.2, 5.0*70.2, 5.0*70.2, 5.0*20.0, 5.0*20.0, 5.0*39.0, 5.0*39.0, 5.0*70.0, 5.0*70.0, 5.0*35.0, 5.0*63.0, 5.0*63.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*8.0, 5.0*39.0, 5.0*6.8, 5.0*55.0, 5.0*55.0, 5.0*76.3, 5.0*76.3, 5.0*76.3, 5.0*10.0, 5.0*10.0, 5.0*8.0, 5.0*8.0, 5.0*8.0)
อัตราการลดกำลังการผลิตในเวลา 5 นาที (เมกกะวัตต์)	(5.0*6.8, 5.0*40.0, 5.0*40.0, 5.0*40.0, 5.0*5.0, 5.0*5.0, 5.0*3.0, 5.0*3.0, 5.0*3.0, 5.0*3.0, 5.0*70.0, 5.0*70.0, 5.0*70.0, 5.0*120.0, 5.0*115.0, 5.0*76.3, 5.0*76.3, 5.0*76.3, 5.0*8.0, 5.0*39.0, 5.0*22.5, 5.0*25.0, 5.0*10.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*87.0, 5.0*87.0, 5.0*87.0, 5.0*70.2, 5.0*70.2, 5.0*70.2, 5.0*70.2,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.17 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกของระบบไฟฟ้า THA 424 Bus ด้วยวิธี AOGAs และ AONGAs (ต่อ)

อัตราการผลิตกำลังการผลิตในเวลา 5 นาที (เมกกะวัตต์)	5.0*20.0, 5.0*20.0, 5.0*39.0, 5.0*39.0, 5.0*70.0, 5.0*70.0, 5.0*35.0, 5.0*63.0, 5.0*63.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*35.0, 5.0*8.0, 5.0*39.0, 5.0*6.8, 5.0*55.0, 5.0*55.0, 5.0*76.3, 5.0*76.3, 5.0*76.3, 5.0*10.0, 5.0*10.0, 5.0*8.0, 5.0*8.0, 5.0*8.0)
ค่าความต้องการโหลด (เมกกะวัตต์)	(1.008*ค่าความต้องการโหลดเดิม) หรือ 11503.568
ราคาเชื้อเพลิง	500.25 Baht/GCal (สำหรับแก๊ส)
ขนาดโครโมโซม, $N_c$	10
ความน่าจะเป็นในการผ่าเหล่ายีน, $P_m$	0.0-0.1 (ปรับค่าอัตโนมัติ)
ความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนยีน, $P_c$	$k1 = 1.0, k3 = 0.5$
จำนวนประชากร, $N_p$	$2*(N_g * N_c)$
วิธีการเข้ารหัส	แบบเกรย์ (รวมถึงวิธีการเข้ารหัสโดยวิธีแซร์ริงอัลกอริทึม และการจำกัดขอบเขตกำลังการผลิตที่เป็นไปได้ จากขีดจำกัดสูง/ต่ำสุด และอัตราการเพิ่ม/ลดกำลังการผลิต)
ฟังก์ชันความเหมาะสม (จากต้นทุนราคาเชื้อเพลิง (ล้านบาท/ชั่วโมง))	$1.0 / \sum_{i=1}^{N_g} C_i(P_{g,i})$
วิธีการคัดเลือก	ทัวนาเมนต์ (ขนาดทัวนาเมนต์ = 4)
วิธีการปรับค่าความเหมาะสม	ตัดค่าซิกมา
วิธีการผ่าเหล่ายีน	แบบกระโดด (โดยปรับค่าความน่าจะเป็นจากจำนวนรอบที่ค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุดมีค่าคงที่)
วิธีการแลกเปลี่ยนยีน	สม้าเสมอ (ปรับค่าอัตโนมัติ)
วิธีการสร้างชุดโครโมโซมใหม่	สภาวะคงตัว (อีลิชัน)
วิธีแสดงการลู่เข้า	ค่าชุดโครโมโซมที่ดีที่สุดไม่เปลี่ยนแปลงในจำนวน 100 รุ่นประชากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.18 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะสเตตติกของระบบไฟฟ้า THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง

Unit	MZDPA's		AOGAs (With ESAs)			AONGAs (With ESAs)				
	MW	Cost (Baht/h)	MW (Best)	Cost (Baht/h) (Best)	MW (Worst)	Cost (Baht/h) (Worst)	MW (Best)	Cost (Baht/h) (Best)	MW (Worst)	Cost (Baht/h) (Worst)
KN-T1	69.38		70.00		70.00		70.00		70.00	
RPB-H1	78.95		79.00		79.00		79.00		79.00	
RPB-H2	78.95		79.00		79.00		79.00		79.00	
RPB-H3	78.95		79.00		79.00		79.00		79.00	
MM-T8	150.00	69615.50	150.00	69615.50	150.00	69615.50	150.00	69619.67	150.00	69615.50
MM-T9	150.00	69615.50	150.00	69615.50	150.00	69615.50	150.00	69615.50	150.00	69615.50
MM-T4	90.00	89432.61	90.00	89432.61	90.00	89432.61	90.00	89432.61	90.00	89432.61
MM-T5	90.00	89432.61	90.00	89432.61	90.00	89432.61	90.00	89432.61	90.00	89432.61
MM-T6	90.00	89432.61	90.00	89432.61	90.00	89432.61	90.00	89432.61	90.00	89432.61
MM-T7	90.00	89432.61	90.00	89432.61	90.00	89432.61	90.00	89432.61	90.00	89432.61
SK-H4	111.97		112.00		112.00		112.00		112.00	
SK-H3	110.86		111.00		111.00		111.00		111.00	
SK-H2	101.94		102.00		102.00		102.00		102.00	
BB-H8	151.87		152.00		152.00		152.00		152.00	
BB-H7	114.96		115.00		115.00		115.00		115.00	
BB-H6	75.86		76.00		76.00		76.00		76.00	
BB-H4	75.86		76.00		76.00		76.00		76.00	
BB-H2	75.86		76.00		76.00		76.00		76.00	
NPO-C1	180.00	61059.68	180.00	61059.68	180.00	61059.68	180.00	61059.68	180.00	61059.68
IPT-C1	699.99		700.00		700.00		700.00		700.00	
BPK-C1	315.00	113139.75	315.00	113139.75	315.00	113139.75	315.00	113139.75	315.04	113153.31
BPK-T2	699.17	119421.35	568.00	98122.48	568.00	98122.48	568.00	98122.48	568.13	98143.52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.18 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะสเตตีกของระบบไฟฟ้า THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

SB-C1	284.00	89058.61	284.00	89058.61	284.00	89058.61	284.00	89058.61	284.00	89058.61	284.00	89058.61
SB-T1	140.00	32403.61	140.00	32403.61	190.93	39169.16	193.32	39489.86	178.28	37476.53	178.28	37476.53
SB-T2	140.00	32403.61	140.00	32403.61	140.00	32403.61	217.76	42785.85	247.67	46860.48	247.67	46860.48
SB-T3	140.00	35209.03	186.66	41282.56	314.66	58658.99	232.46	47379.62	219.30	45613.97	219.30	45613.97
KHL-H3	87.96		88.00		88.00		88.00		88.00		88.00	
KHL-H2	87.96		88.00		88.00		88.00		88.00		88.00	
KHL-H1	87.96		88.00		88.00		88.00		88.00		88.00	
SNR-H1	119.92		120.00		120.00		120.00		120.00		120.00	
SNR-H2	119.92		120.00		120.00		120.00		120.00		120.00	
SNR-H3	119.92		120.00		120.00		120.00		120.00		120.00	
SNR-H4	179.99		180.00		180.00		180.00		180.00		180.00	
TN-H1	18.75		20.00		20.00		20.00		20.00		20.00	
TN-H2	18.75		20.00		20.00		20.00		20.00		20.00	
RB-T1	699.99		700.00		700.00		700.00		700.00		700.00	
RB-T2	699.99		700.00		700.00		700.00		700.00		700.00	
THB-H1	104.96		105.00		105.00		105.00		105.00		105.00	
THB-H2	104.96		105.00		105.00		105.00		105.00		105.00	
GCC-T1	89.93		90.00		90.00		90.00		90.00		90.00	
HH-H1	62.96		63.00		63.00		63.00		63.00		63.00	
HH-H2	62.96		63.00		63.00		63.00		63.00		63.00	
AEP-T1	89.93		90.00		90.00		90.00		90.00		90.00	
TPS-T1	24.49		25.00		25.00		25.00		25.00		25.00	
TTP-T1	8.75		10.00		10.00		10.00		10.00		10.00	
NPC-T1	31.78		32.00		32.00		32.00		32.00		32.00	
IP-T1	54.74		55.00		55.00		55.00		55.00		55.00	

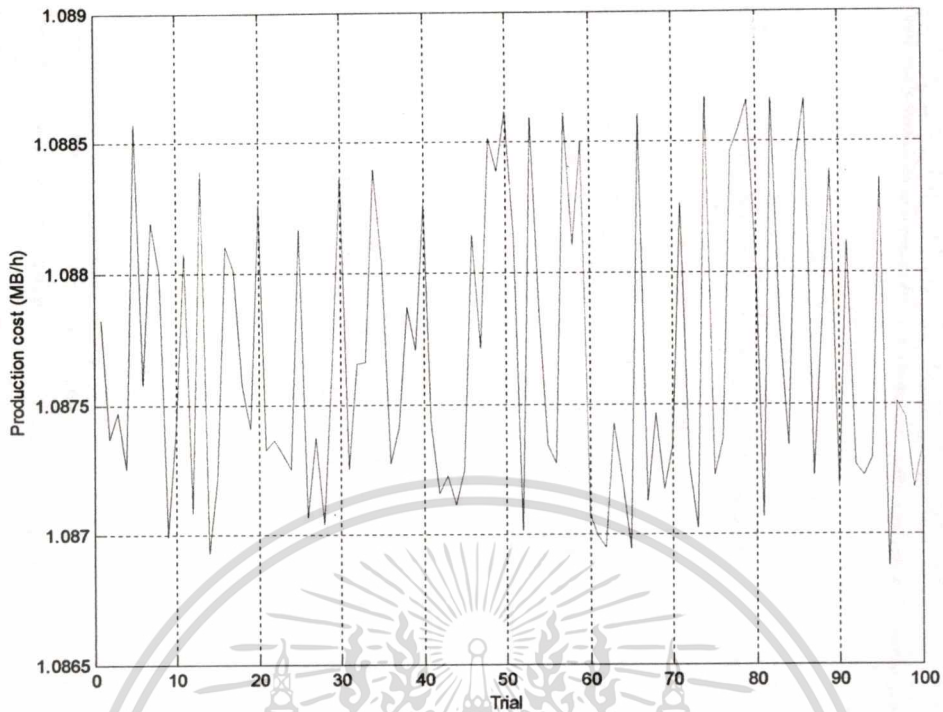
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.18 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะสเตตีกของระบบไฟฟ้า THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

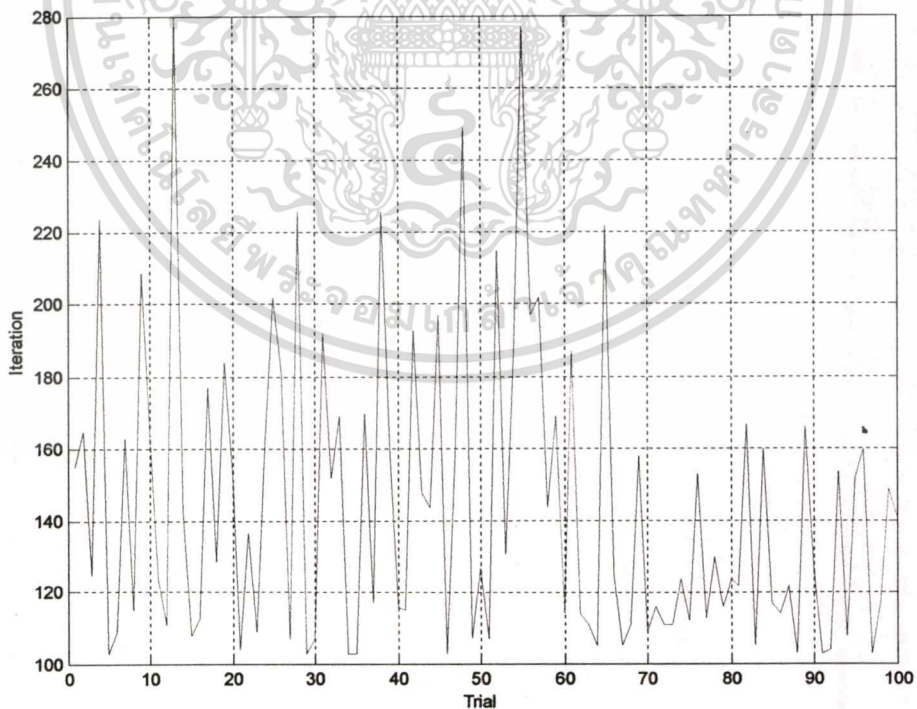
IP-T2	54.74	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00
BCC-T1	89.93	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
MTP-T1	59.62	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
MTP-T2	59.62	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
TCC-T1	89.93	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
TCC-T2	89.93	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
COC0-T1	89.93	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
COC0-T2	89.93	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
NPS-T1	89.93	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
NPS-T2	89.93	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
NPO-C2	180.00	61059.68	61059.68	61059.68	61059.68	61059.68	61059.68	61059.68	61059.68
WN-C3	353.41	52046.07	429.19	61373.36	250.00	39053.94	250.00	39053.94	39053.94
KN-T2	69.38	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00
RY-C1	291.94	292.00	292.00	292.00	292.00	292.00	292.00	292.00	292.00
RY-C4	291.94	292.00	292.00	292.00	292.00	292.00	292.00	292.00	292.00
BB-H5	75.86	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00
BB-H3	75.86	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00
BB-H1	75.86	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00
BLCF-C1	672.92	673.00	673.00	673.00	673.00	673.00	673.00	673.00	673.00
BLCF-C2	672.92	673.00	673.00	673.00	673.00	673.00	673.00	673.00	673.00
EPEC-C1	349.84	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00
GULF-C1	349.84	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00
GULF-C2	349.84	349.75	349.75	348.12	349.99	349.99	349.99	348.03	348.03
Total	11873.21	1092762.83	11874.60	1086864.77	11872.71	1088687.35	11872.53	1088115.08	11872.45
CPU Time	49.210762	56.7475586	42.7546387	111.132278	72.182373	1088441.17	72.182373	1088441.17	72.182373

\*\*\* หมายถึง หน่วยผลิตไฟฟ้ากำลังมาและหน่วยผลิตไฟฟ้าของบริษัทที่ออกขออนุญาตกำหนดให้เดินเครื่องที่กำลังการผลิตสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

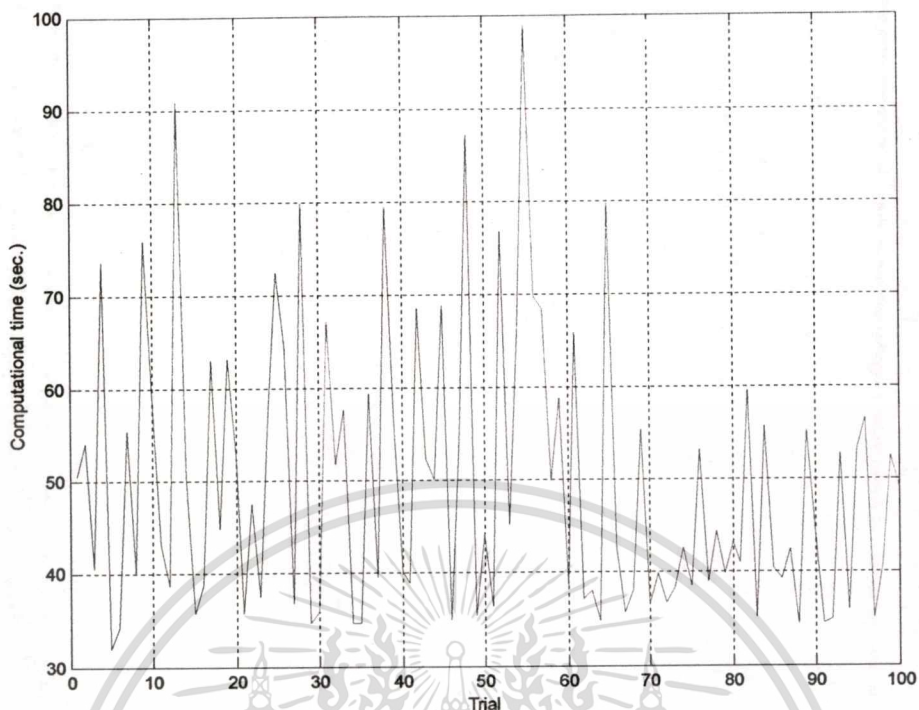


รูปที่ 8.156 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

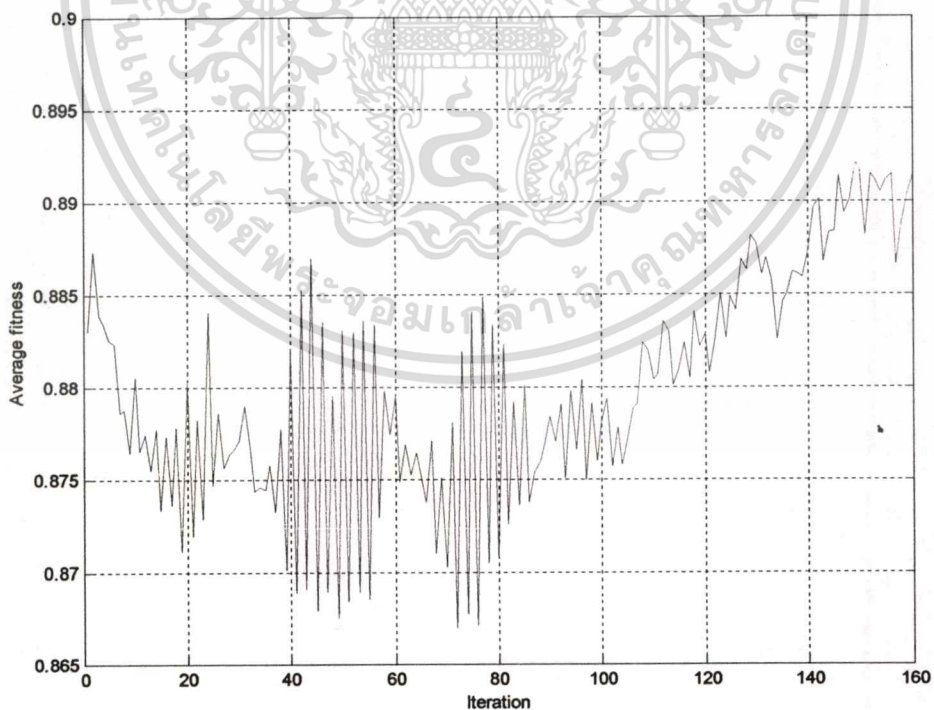


รูปที่ 8.157 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

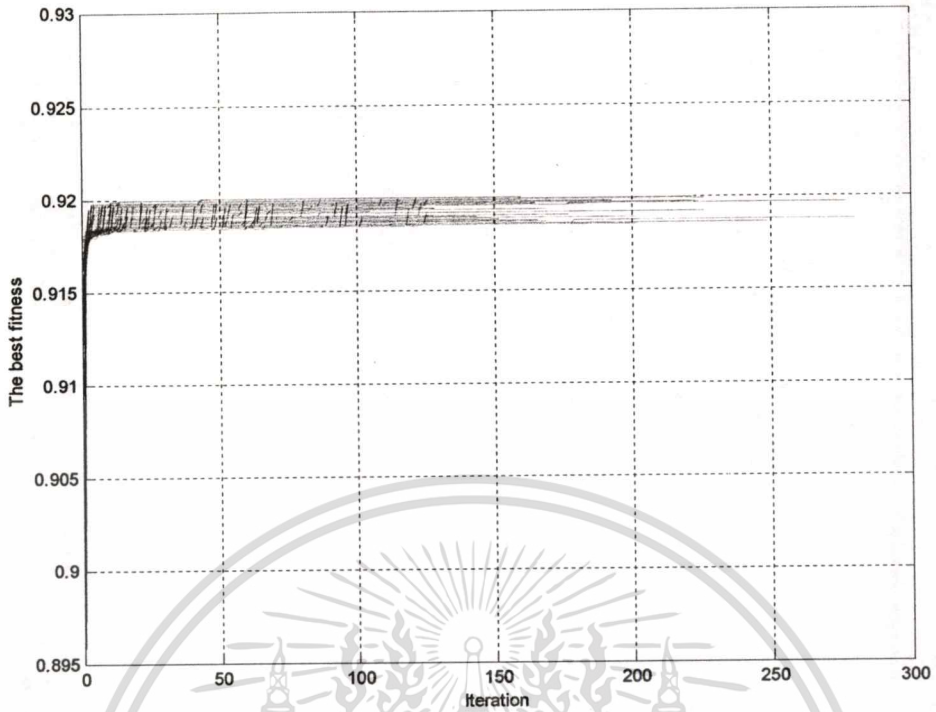


รูปที่ 8.158 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง  
THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

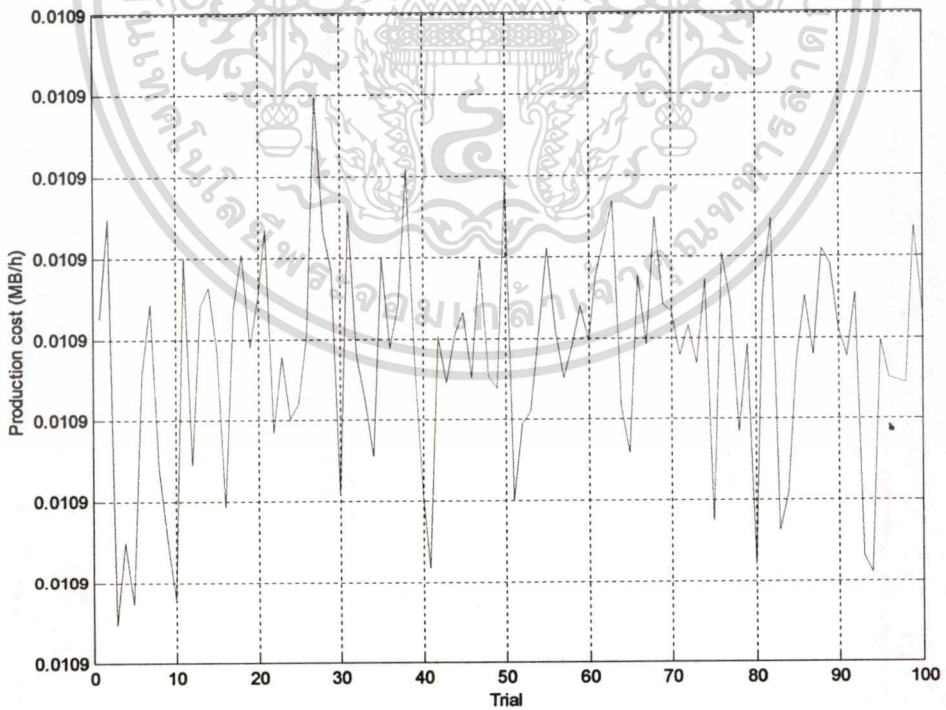


รูปที่ 8.159 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจาก  
ระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

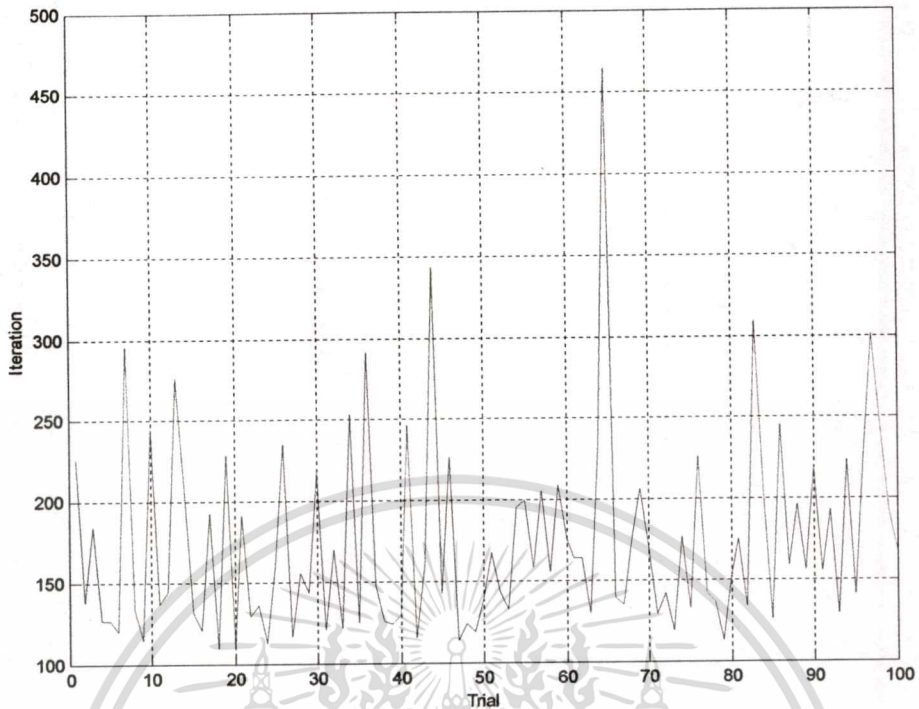


รูปที่ 8.160 ประสิทธิภาพออนไลน์จากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

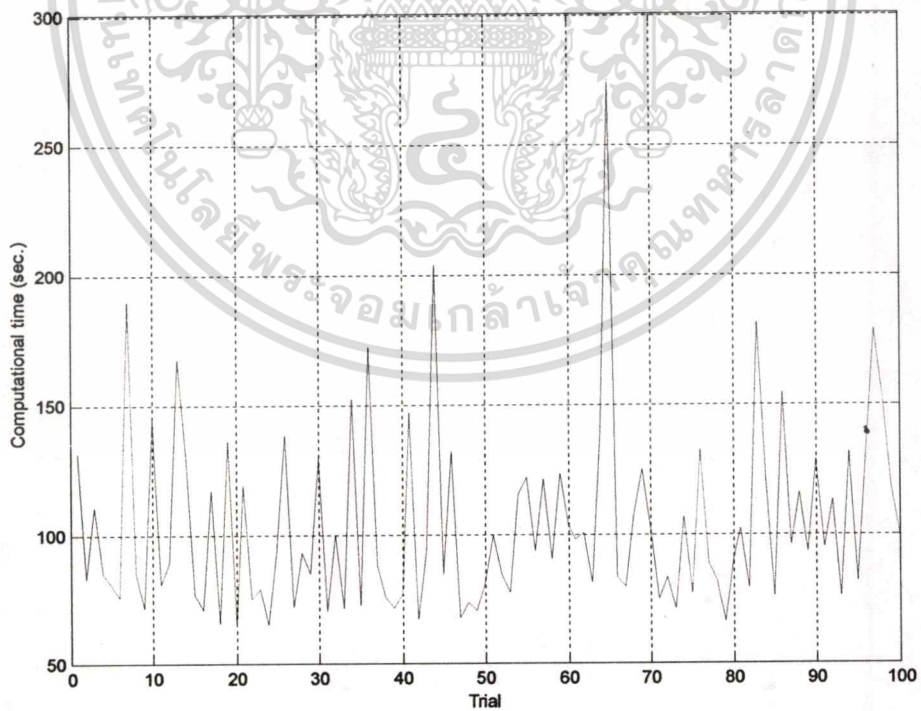


รูปที่ 8.161 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

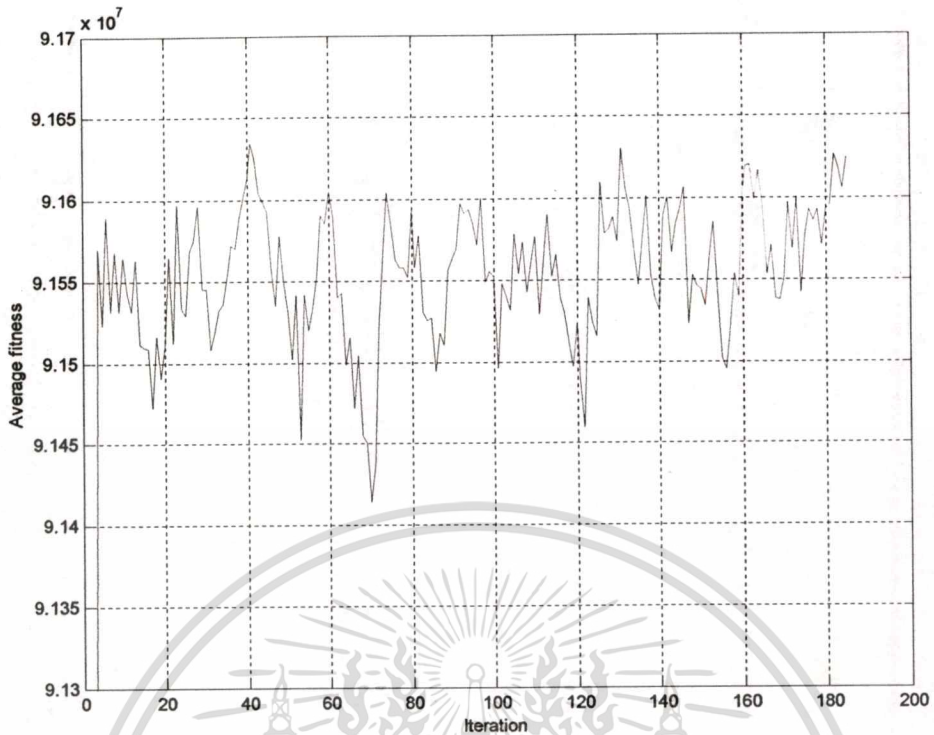


**รูปที่ 8.162** จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

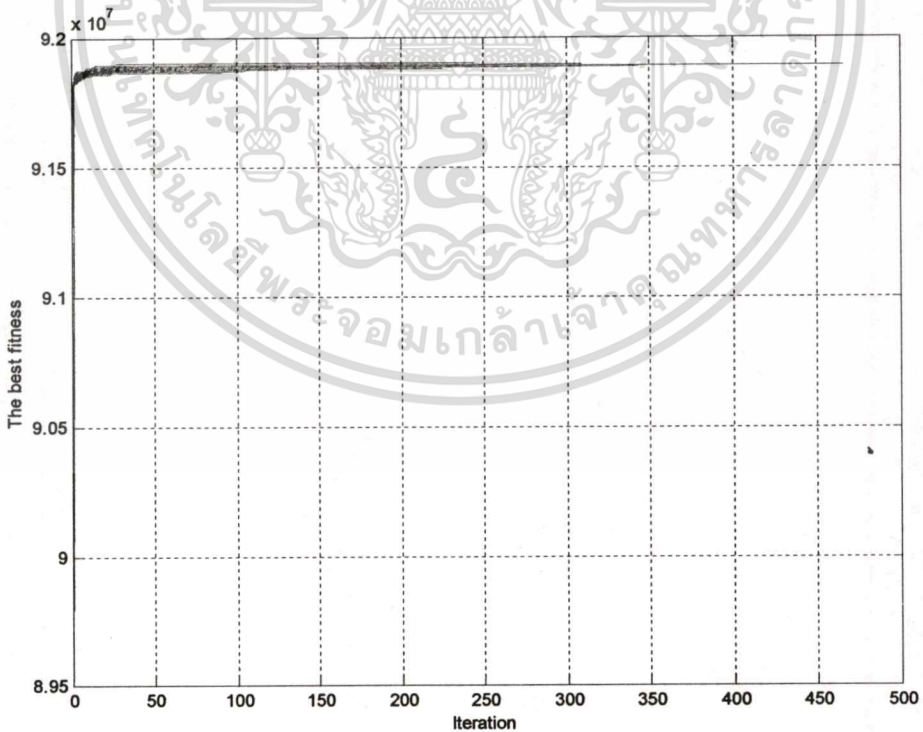


**รูปที่ 8.163** เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.164 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)



รูปที่ 8.165 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

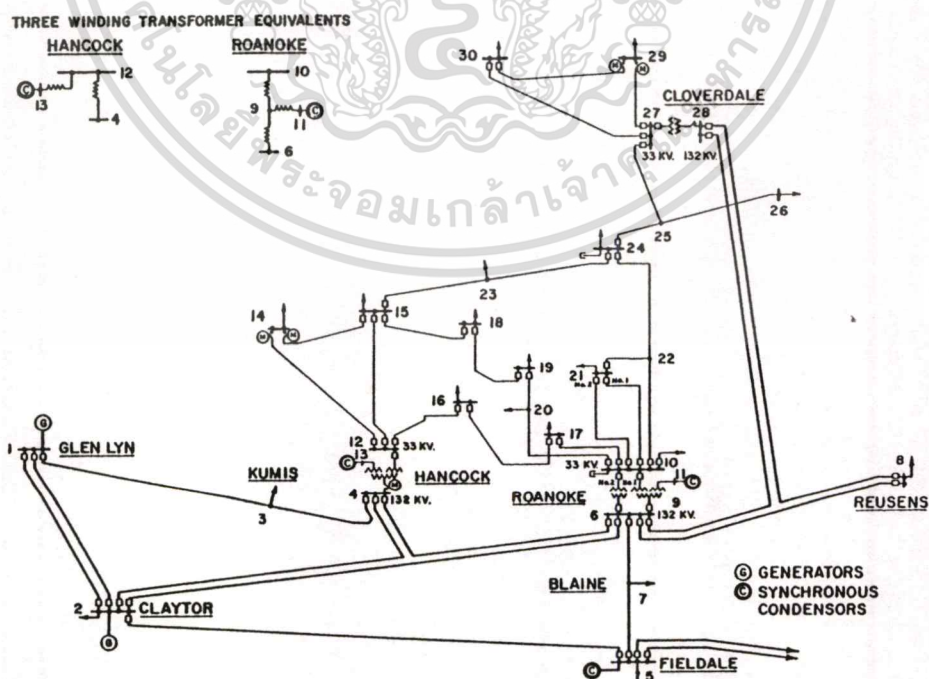
## 8.2.3 การทดสอบความสามารถในการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าในลักษณะใดแนมิก

### 8.2.3.1 ระบบทดสอบ IEEE 30 Bus

การทดสอบนี้แสดงการนำวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง และวิธีแชร์ริงอัลกอริทึมที่ประยุกต์ใช้งานกับการจัดกำลังการผลิตในลักษณะใดแนมิก มาร่วมกันจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์โดยอาศัยข้อมูลการทำนายโหลดล่วงหน้าระยะสั้นมาใช้ในการวางแผนการผลิต โดยพิจารณาถึงข้อจำกัดอัตราการผลิตเพิ่ม/ลดกำลังการผลิตเป็นสำคัญ

ระบบที่ใช้ในการทดสอบคือระบบ IEEE 30 Bus ที่มีหน่วยผลิต 2 หน่วย โดยใช้ข้อมูลหน่วยผลิตไฟฟ้าลำดับที่ 6 และ 7 เป็นข้อมูลหลักในการวางแผนการผลิต แทนหน่วยผลิตในบัสที่ 1 และ 2 ตามลำดับ หน่วยผลิตแรกได้จำลองผลของช่วงการผลิตต้องห้าม เป็นจำนวน 2 ช่วง ดังรูปที่ 8.119 และหน่วยผลิตที่สองจำลองผลของกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงชนิดเส้นตรงจำนวนหลายเส้นต่อกัน ดังรูปที่ 8.120 โดยทำการทดสอบการจัดกำลังการผลิตล่วงหน้าเป็นเวลา 30 นาที แบ่งออกเป็น 6 คาบ คาบละ 5 นาที ค่าโหลดถูกปรับเปลี่ยนให้มีขนาดเท่ากับ 0.995, 0.991, 0.987, 0.993, 0.999, และ 1.005 เทียบกับค่าโหลดเริ่มต้น ค่าสัมประสิทธิ์ความสูญเสียในระบบถูกปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับช่วงกำลังการผลิตของแต่ละหน่วยผลิต โดยที่กำลังการผลิตเริ่มต้นของหน่วยผลิตที่ 1 และ 2 มีค่าเท่ากับ 380 และ 450 เมกกะวัตต์ ตามลำดับ

การทดสอบนี้แสดงให้เห็นถึงการจัดกำลังการผลิตในลักษณะใดแนมิกภายใต้ข้อจำกัดช่วงกำลังการผลิตต้องห้าม โดยผลการทดสอบแสดงผลที่ได้ไว้ในตารางที่ 8.20 และพฤติกรรมการเข้าสู่ค่าตอบจากการสุ่มค่าเริ่มต้นที่มีค่าแตกต่างกัน แสดงไว้ในรูปที่ 8.167-8.176



รูปที่ 8.166 ระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus ที่ใช้ในการทดสอบ

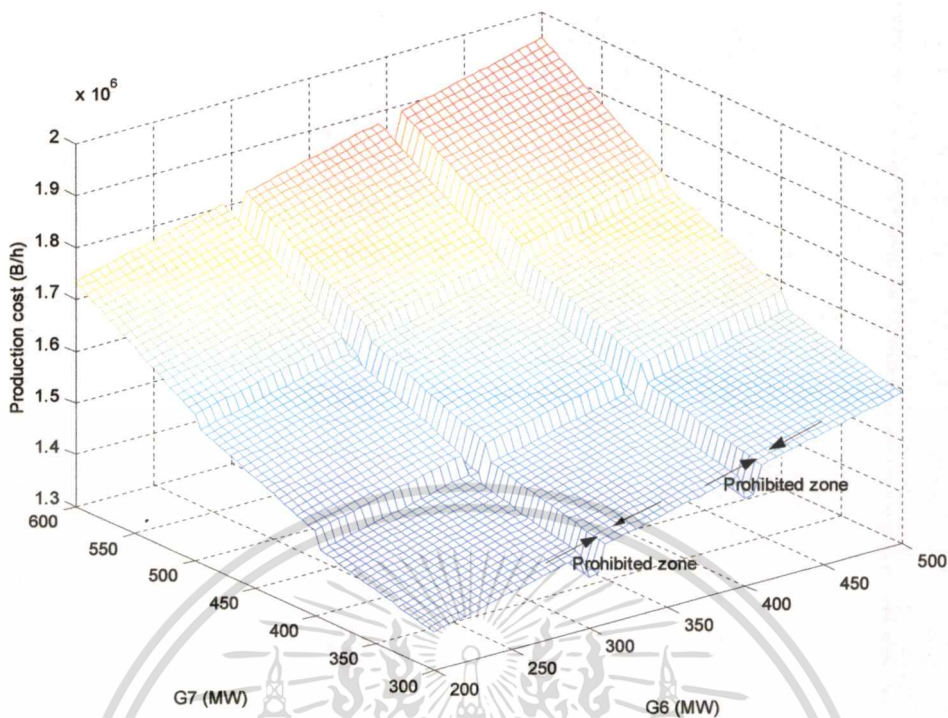
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

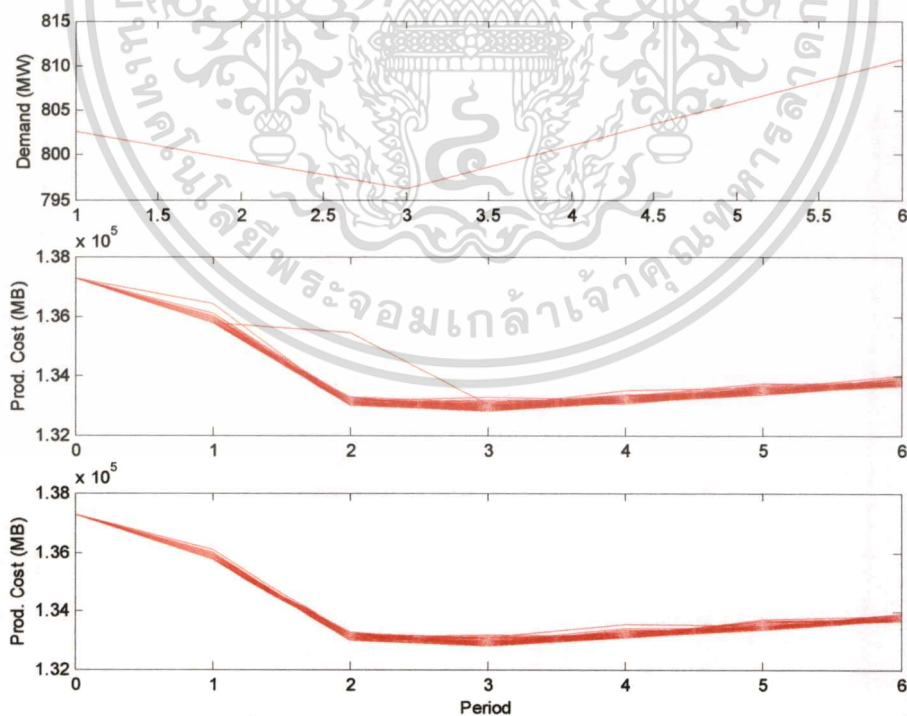
ตารางที่ 8.19 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบปัญหาการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกของระบบไฟฟ้า IEEE 30 Bus ด้วยวิธี AOGAs และ AONGAs

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
จำนวนหน่วยผลิตไฟฟ้า, $N_g$	2
ค่ากำลังการผลิตเริ่มต้น (เมกกะวัตต์)	(380.0, 450.0)
อัตราการเพิ่มกำลังการผลิตในเวลา 5 นาที (เมกกะวัตต์)	(5.0*8.0, 5.0*10.0)
อัตราการลดกำลังการผลิตในเวลา 5 นาที (เมกกะวัตต์)	(5.0*10.0, 5.0*15.0)
ค่าความต้องการโหลด (เมกกะวัตต์)	0.995, 0.991, 0.987, 0.993, 0.999, และ 1.005 เท่าของโหลดเริ่มต้น
ขนาดโครโมโซม, $N_c$	10
ความน่าจะเป็นในการผ่าเหล่ายีน, $P_m$	0.05-0.2 (ปรับค่าอัตโนมัติ)
ความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนยีน, $P_c$	$k1 = 1.0, k3 = 0.5$
จำนวนประชากร, $N_p$	$2*(N_g * N_c)$
วิธีการเข้ารหัส	แบบเกรย์ (รวมถึงวิธีการเข้ารหัสโดยวิธีแร็งอิลกอริทึมและการจำกัดขอบเขตกำลังการผลิตที่เป็นไปได้จากขีดจำกัดสูง/ต่ำสุด และอัตราการเพิ่ม/ลดกำลังการผลิต)
ฟังก์ชันความเหมาะสม (จากต้นทุนราคาเชื้อเพลิง (ล้านบาท/ชั่วโมง))	$1000000 / \sum_{i=1}^{N_g} C_i(P_{g,i})$
วิธีการคัดเลือก	ทัวนาเมนต์ (ขนาดทัวนาเมนต์ = 4)
วิธีการปรับค่าความเหมาะสม	ดัดค่าริกมา
วิธีการผ่าเหล่ายีน	แบบกระโดด (โดยปรับค่าความน่าจะเป็นจากจำนวนรอบที่ค่าความเหมาะสมที่คี่ที่สุดมีค่าคงที่)
วิธีการแลกเปลี่ยนยีน	สม้าเสมอ (ปรับค่าอัตโนมัติ)
วิธีการสร้างชุดโครโมโซมใหม่	สภาวะคงตัว (อีลิทซิส)
วิธีแสดงการลู่เข้า	ค่าชุดโครโมโซมที่ดีที่สุด ไม่เปลี่ยนแปลงในจำนวน 100 รุ่นประชากร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

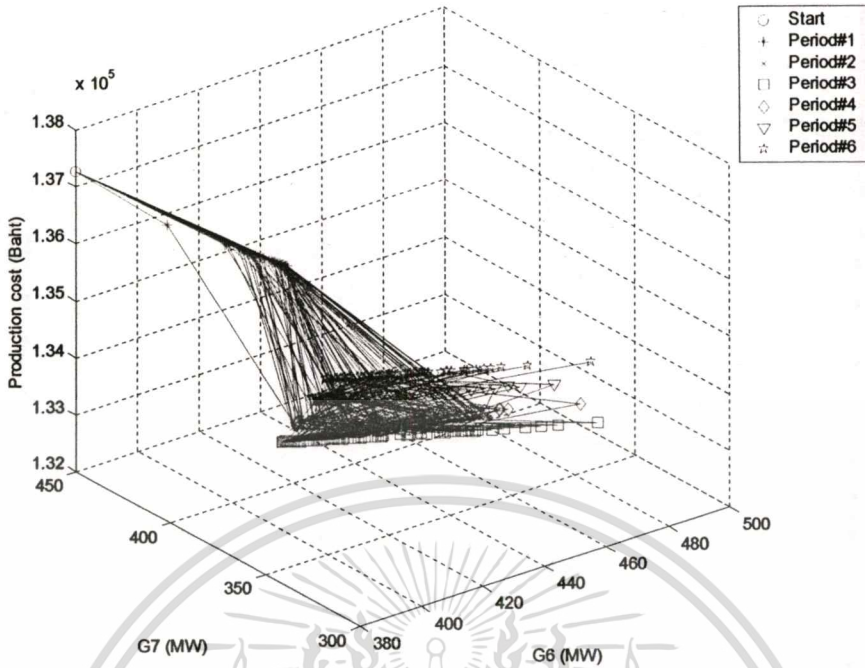


รูปที่ 8.167 พื้นที่คำตอบทั้งหมดและช่วงการผลิตต้องห้ามจากการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกสำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus

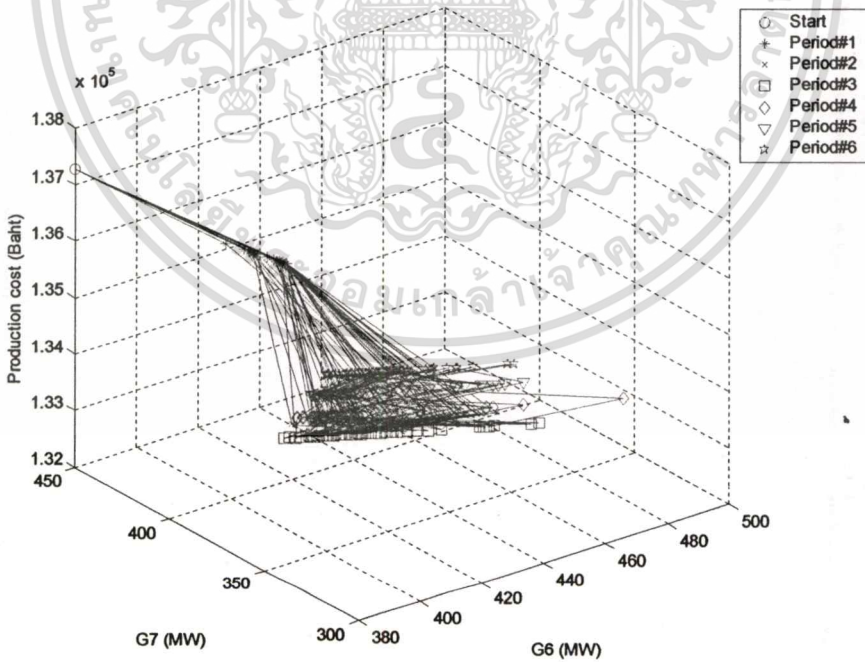


รูปที่ 8.168 การเปรียบเทียบค่าความต้องการ โหลดที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละคาบเวลา (บน) ต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมจากวิธี AOGAs (กลาง) และต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมจากวิธี AONGAs (ล่าง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

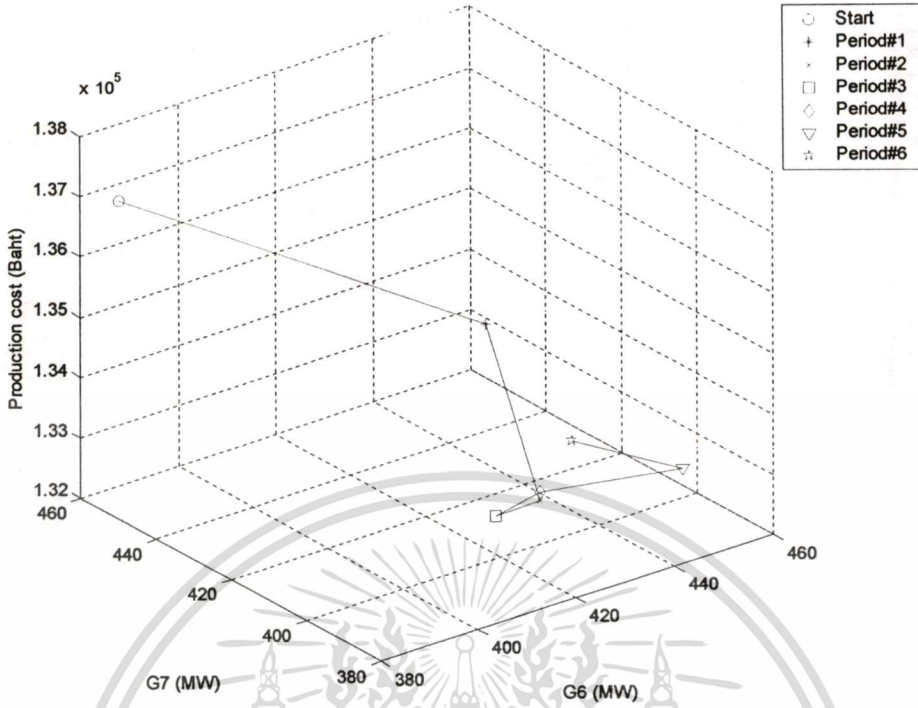


**รูปที่ 8.169** ลักษณะการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตและต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมในแต่ละคาบเวลาจากการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกสำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus (AOGAs)

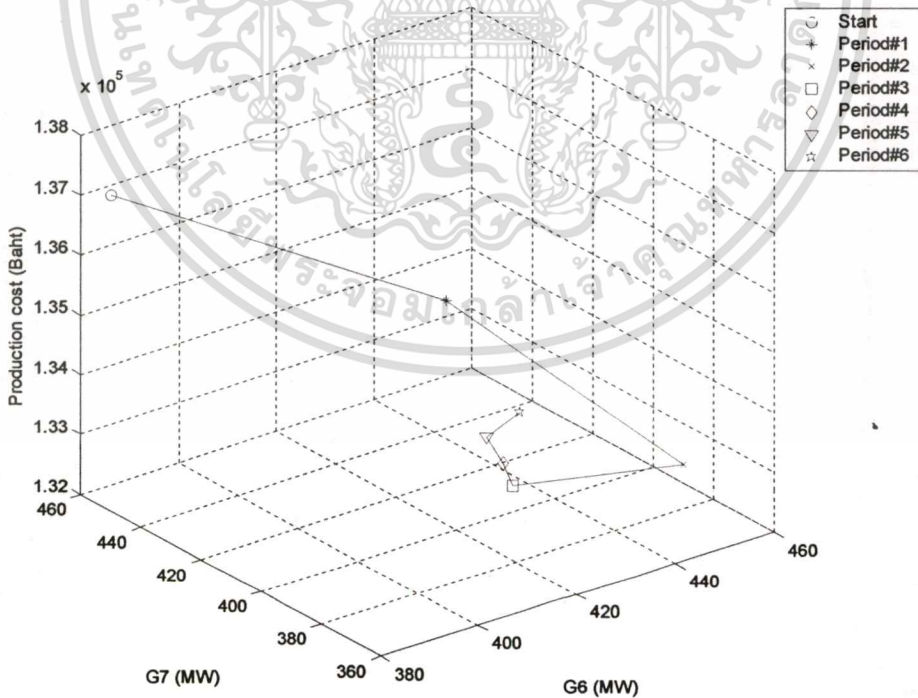


**รูปที่ 8.170** ลักษณะการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตและต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมในแต่ละคาบเวลาจากการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกสำหรับระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

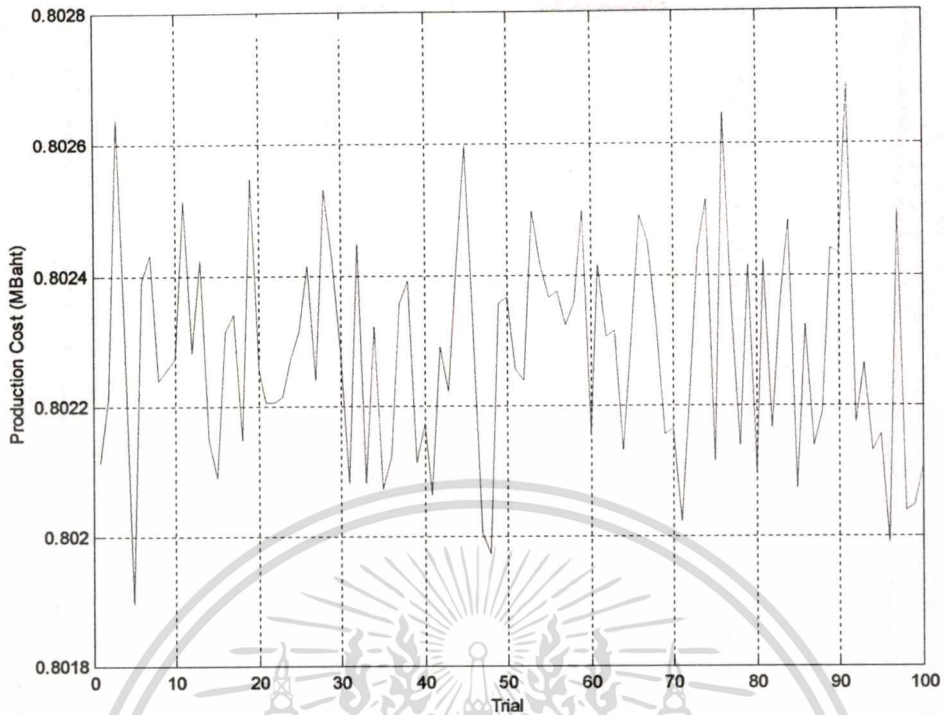


รูปที่ 8.171 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตและต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมในแต่ละคาบเวลาที่ต่ำที่สุดจากการทดสอบด้วยวิธี AOGAs

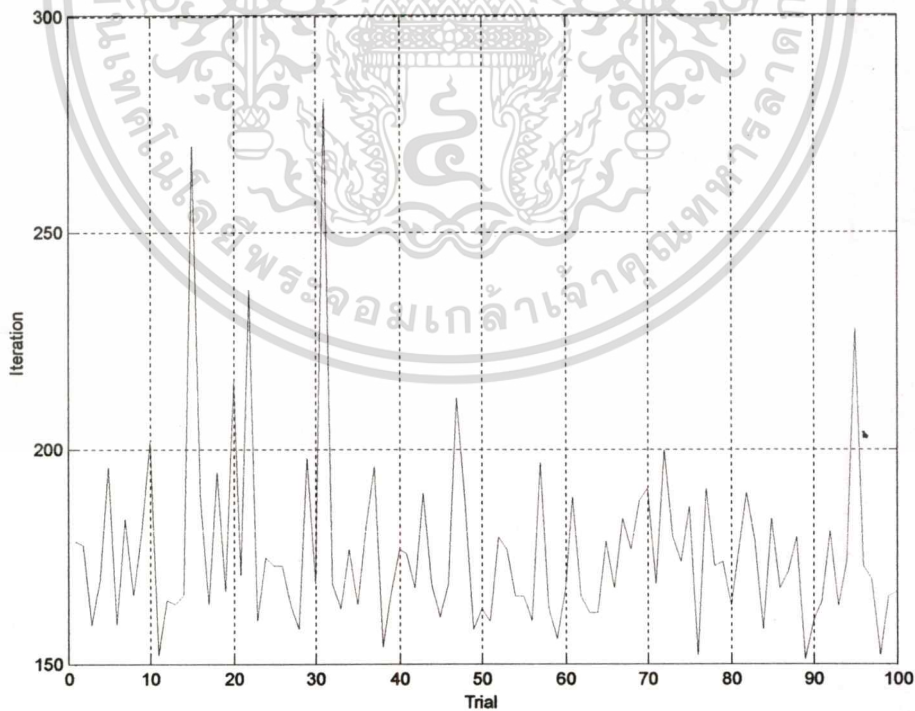


รูปที่ 8.172 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิตและต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมในแต่ละคาบเวลาที่ต่ำที่สุดจากการทดสอบด้วยวิธี AONGAs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

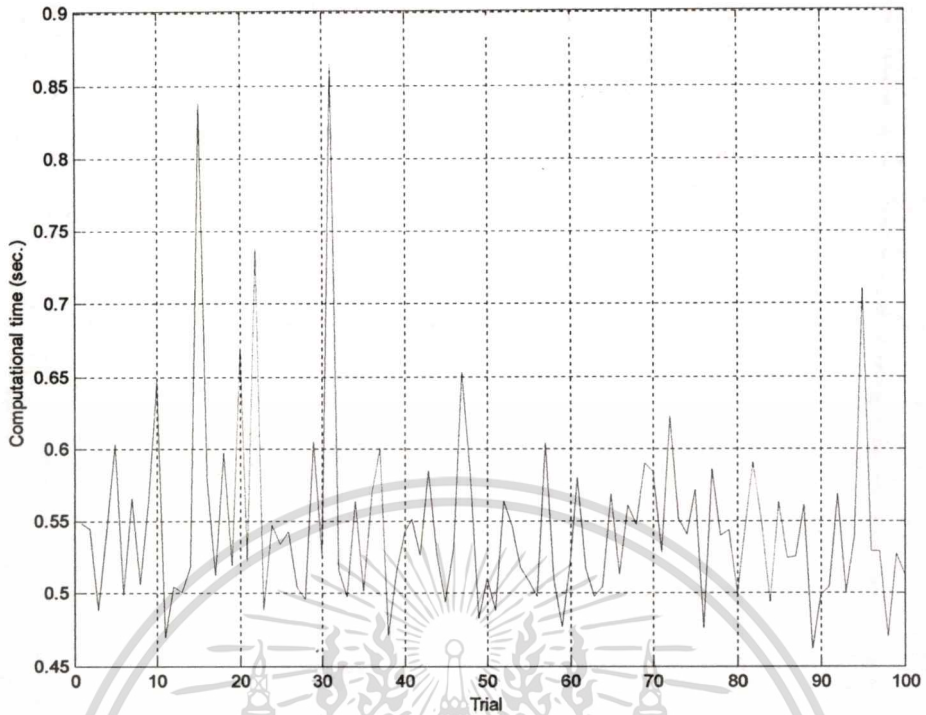


รูปที่ 8.173 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะ โดแนมมิคจากระบบ  
ไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

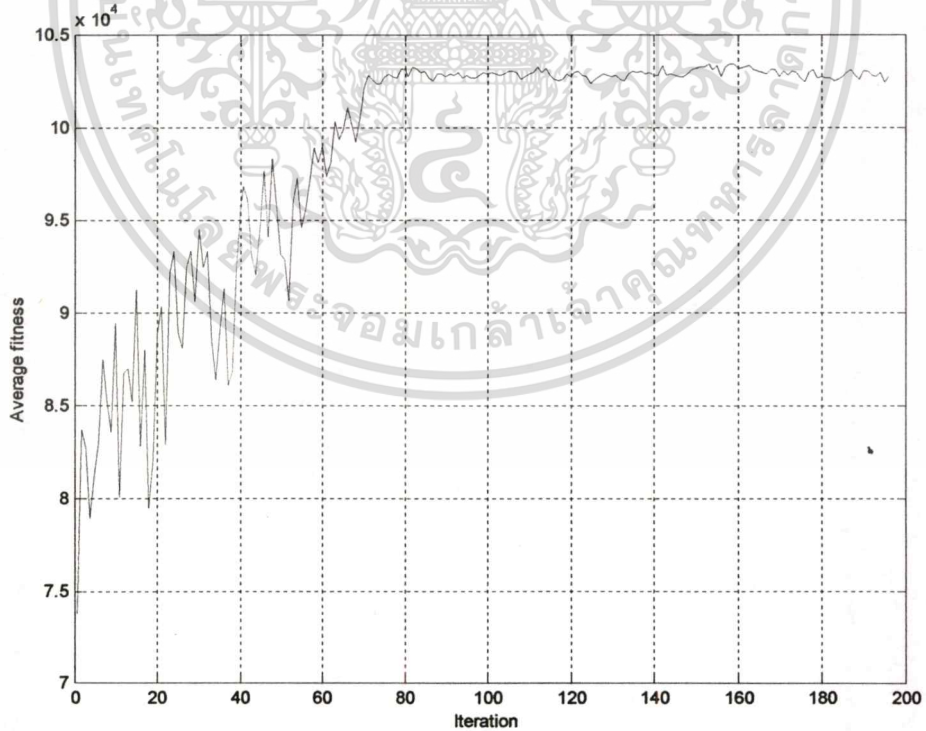


รูปที่ 8.174 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะโดแนมมิคจากระบบ  
ไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

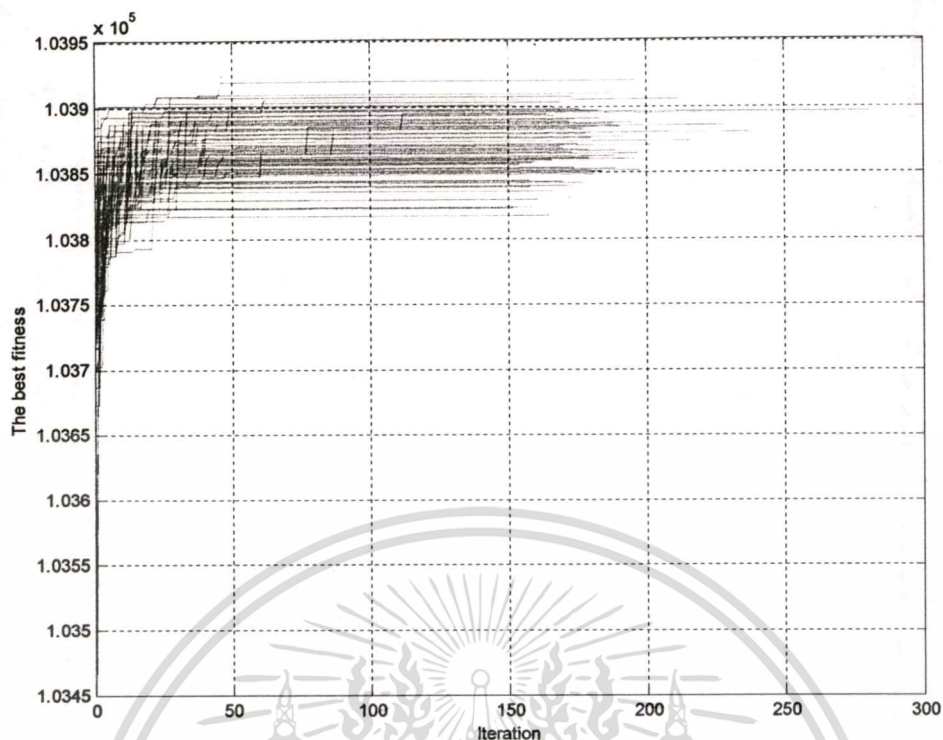


รูปที่ 8.175 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะ โคนเนมิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

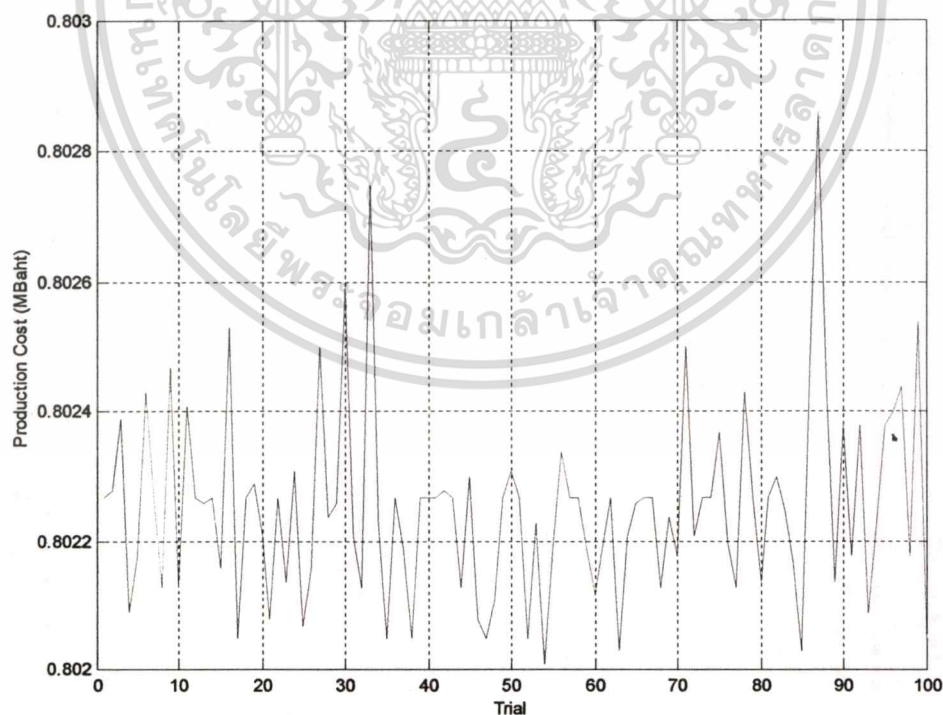


รูปที่ 8.176 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะ โคนเนมิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

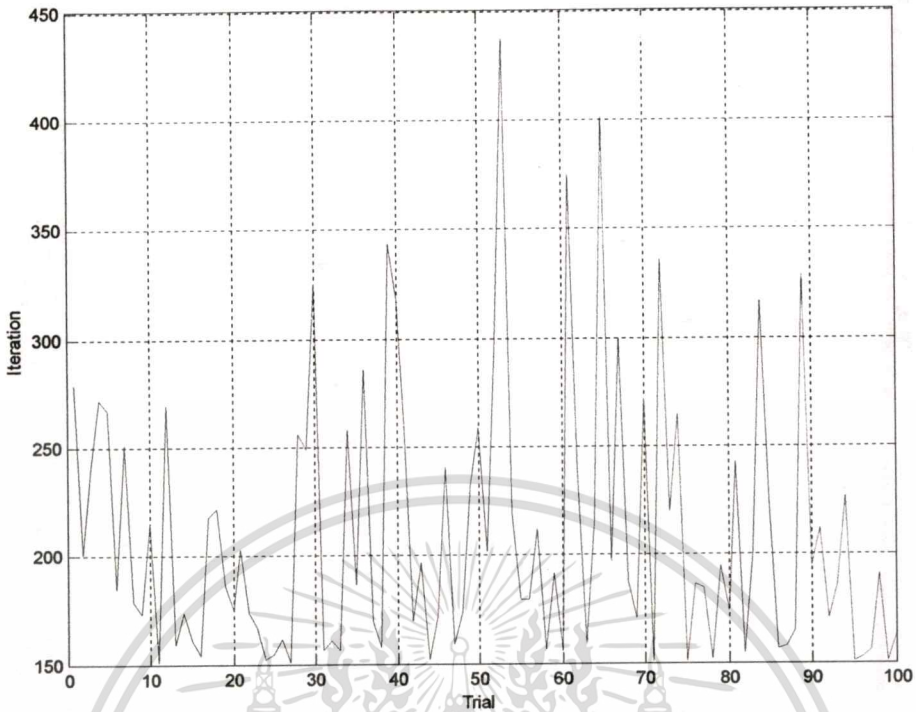


รูปที่ 8.177 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดแนมิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

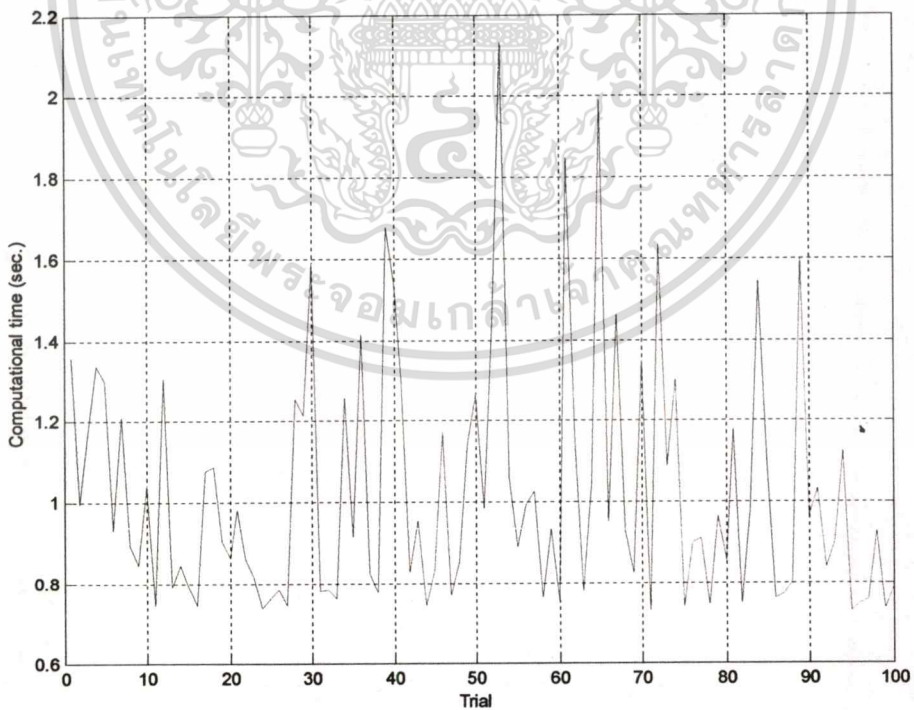


รูปที่ 8.178 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดแนมิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

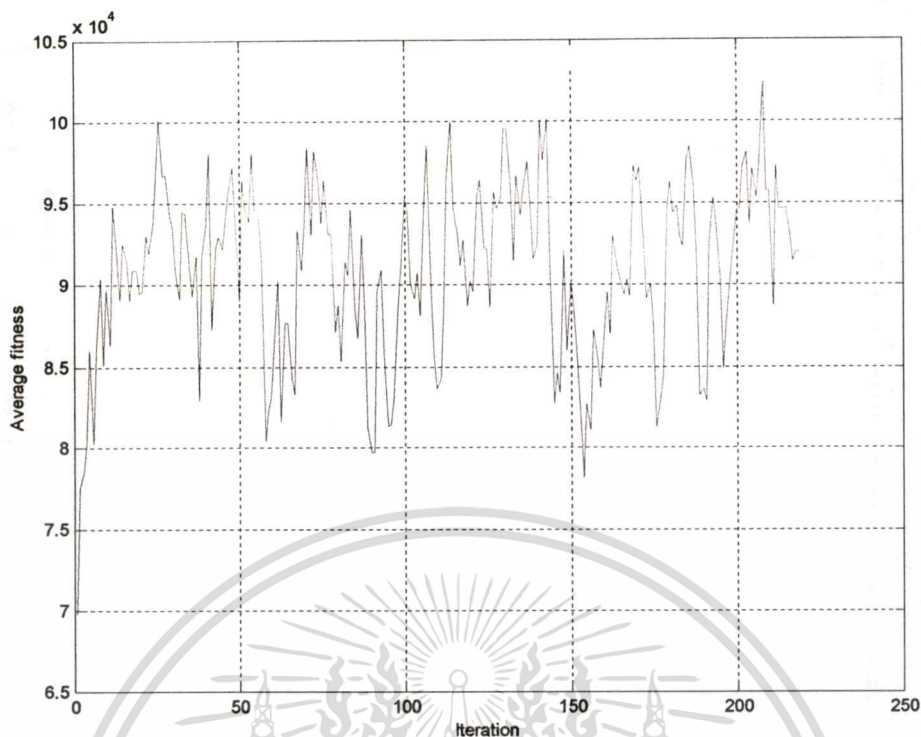


รูปที่ 8.179 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

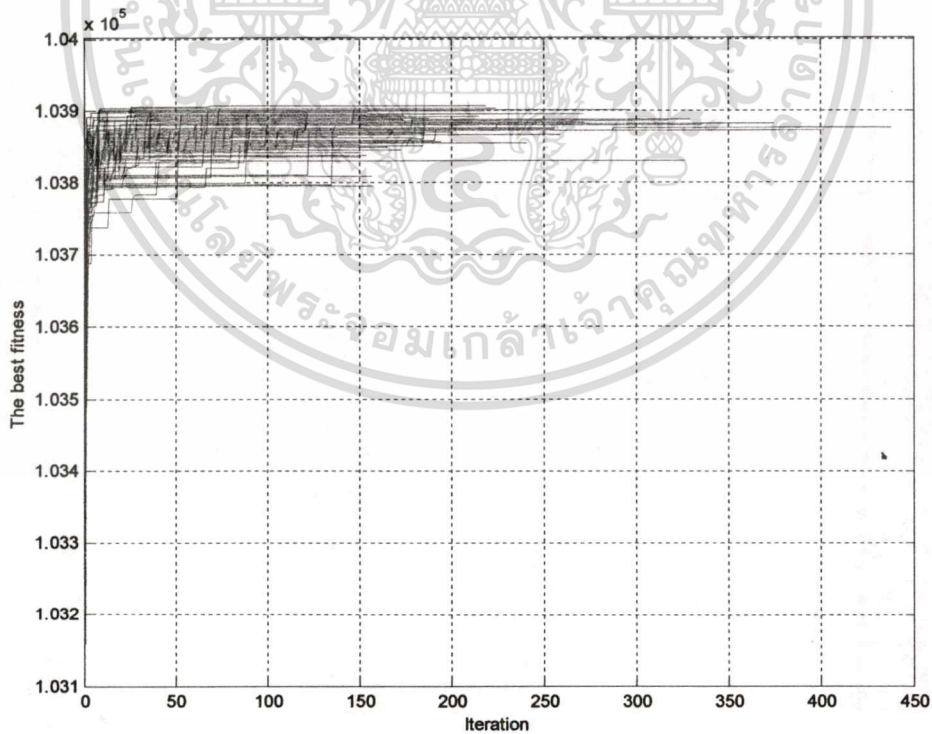


รูปที่ 8.180 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**รูปที่ 8.181** ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)



**รูปที่ 8.182** ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.20 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะใดเนมิคของระบบไฟฟ้า IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

Trial	Period 1		Period 2		Period 3		Period 4		Period 5		Period 6		Prod. cost (M\$BtH)	Iteration	Comp. time (sec.)
	G6 (B1)	G7 (B2)	G6 (B1)	G7 (B2)	G6 (B1)	G7 (B2)	G6 (B1)	G7 (B2)	G6 (B1)	G7 (B2)	G6 (B1)	G7 (B2)			
1	418.42	404.56	431.96	386.49	426.35	389.18	445.43	373.77	429.79	395.94	434.46	395.94	0.802117	179	0.5488
2	412.09	411.29	443.83	373.90	422.48	393.39	429.61	390.54	426.63	399.30	433.50	397.00	0.802217	178	0.5451
3	415.25	407.93	419.66	399.66	441.20	373.26	476.63	340.80	454.22	370.01	434.80	395.47	0.802642	159	0.4888
4	413.14	410.17	421.86	397.32	457.37	356.11	421.61	399.24	434.72	390.89	435.25	394.87	0.802292	170	0.5447
5	419.56	403.34	424.05	394.93	417.65	398.42	424.78	395.84	443.07	381.72	432.79	397.79	0.8019	196	0.6041
6	417.89	405.12	453.76	363.31	439.62	375.17	423.98	396.47	436.74	388.61	449.23	380.11	0.802392	159	0.4990
7	413.14	410.17	425.90	393.00	464.05	349.06	426.47	394.02	430.70	395.23	442.93	386.64	0.802433	184	0.5661
8	419.91	402.97	455.96	360.96	416.42	399.95	435.50	384.17	434.80	390.52	447.38	382.23	0.802242	166	0.5066
9	414.20	409.05	419.75	399.57	423.89	391.72	433.39	386.68	450.10	374.27	443.08	386.77	0.802258	181	0.5648
10	410.42	413.07	421.68	397.53	431.71	383.39	423.37	397.36	432.34	393.25	449.14	380.25	0.802275	202	0.6467
11	408.22	415.42	447.08	370.47	435.58	379.43	422.14	398.49	438.50	386.71	439.91	390.06	0.802517	152	0.4694
12	417.89	405.12	451.30	365.92	442.96	371.60	429.70	390.39	427.51	398.50	437.54	392.54	0.802283	165	0.5046
13	417.71	405.31	453.76	363.31	425.56	390.17	444.64	374.46	435.33	390.02	447.91	381.61	0.802425	164	0.5009
14	418.59	404.37	430.91	387.61	417.12	399.03	444.11	375.18	443.24	381.53	437.10	393.19	0.80215	166	0.5180
15	419.82	403.06	441.10	376.74	430.48	384.83	424.25	396.28	430.41	395.31	442.99	386.82	0.802092	270	0.8387
16	418.95	404.00	441.98	375.81	435.05	379.96	460.99	357.20	426.20	399.85	432.18	398.31	0.802317	189	0.5792
17	412.79	410.55	419.92	399.39	451.48	362.34	429.08	391.27	434.80	390.76	441.32	388.44	0.802342	164	0.5128
18	419.82	403.06	456.66	360.22	417.21	399.12	436.29	383.33	427.16	398.70	439.74	390.38	0.80215	195	0.5979
19	416.84	406.24	430.91	387.63	454.65	359.05	435.32	384.54	442.36	382.71	457.75	370.94	0.80255	167	0.5195
20	419.65	403.25	437.68	380.39	421.60	394.29	421.61	399.12	445.44	379.22	465.05	363.42	0.802258	216	0.6709
21	419.82	403.06	444.53	373.10	416.50	399.79	435.85	383.88	437.97	387.15	450.55	378.86	0.802208	171	0.5221
22	419.91	402.97	437.41	380.67	431.88	383.30	450.88	367.95	428.83	397.01	436.66	393.55	0.802208	237	0.7390
23	419.82	403.06	452.44	364.69	419.32	396.83	438.40	381.11	437.88	387.26	438.86	391.30	0.802217	160	0.4888
24	419.82	403.06	449.98	367.30	436.19	378.80	421.26	399.41	444.12	380.72	443.34	386.40	0.802275	175	0.5484
25	419.82	403.06	451.74	365.44	425.56	390.16	446.75	372.24	435.60	389.74	441.58	388.35	0.802317	173	0.5347
26	411.04	412.42	432.84	385.61	421.16	394.72	448.77	370.22	433.31	392.15	443.78	386.04	0.802417	173	0.5438

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.20 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะได้เนมิกของระบบไฟฟ้า IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) (ต่อ)

27	417.36	405.68	454.20	362.84	427.40	388.20	434.88	384.84	428.56	397.26	435.52	394.81	0.802242	164	0.5047
28	418.77	404.18	458.68	358.08	452.98	361.00	449.38	369.39	429.00	396.97	435.43	394.71	0.802533	158	0.4965
29	419.82	403.06	455.61	361.34	427.23	388.40	446.31	372.68	436.91	388.34	449.49	379.91	0.802425	198	0.6039
30	417.89	405.12	442.77	374.98	431.80	383.43	428.29	391.95	427.42	398.52	458.19	370.63	0.802283	169	0.5270
31	418.86	404.09	423.88	395.12	430.48	384.71	423.54	397.16	426.28	399.73	460.21	368.49	0.802083	281	0.8656
32	417.01	406.05	452.97	364.15	452.89	361.05	428.29	391.88	430.15	395.75	444.04	385.53	0.80245	169	0.5166
33	419.74	403.16	419.31	400.00	453.68	360.00	427.94	392.50	427.25	398.86	439.82	390.02	0.802083	163	0.4985
34	419.30	403.62	451.83	365.55	448.23	365.99	423.37	397.14	433.05	392.62	443.52	386.13	0.802325	177	0.5641
35	414.99	408.21	436.53	381.64	417.47	398.70	426.88	393.50	432.52	392.97	434.11	396.38	0.802075	164	0.5024
36	417.45	405.59	421.94	397.20	428.02	387.33	449.03	370.01	431.38	394.26	434.38	396.02	0.802125	182	0.5689
37	419.82	403.06	455.87	361.06	426.26	389.43	445.34	373.70	433.40	392.09	445.98	383.66	0.802358	196	0.6004
38	418.24	404.74	421.06	398.13	448.23	365.80	460.72	357.62	439.84	385.36	434.75	395.47	0.802392	154	0.4717
39	418.59	404.37	421.77	397.38	423.10	392.58	447.36	371.79	432.61	392.91	443.69	386.12	0.802117	167	0.5159
40	417.71	405.31	430.73	387.81	435.14	379.79	445.08	374.16	431.46	394.22	430.77	399.82	0.802175	177	0.5433
41	419.82	403.06	455.34	361.61	417.65	398.64	426.97	393.27	426.89	398.98	438.86	391.31	0.802067	176	0.5517
42	416.31	406.80	430.82	387.72	451.31	362.59	423.46	397.20	427.60	398.46	449.93	379.27	0.802292	168	0.5270
43	419.82	403.06	420.10	399.15	459.75	353.58	430.93	389.30	430.23	395.70	447.03	382.30	0.802225	190	0.5857
44	419.82	403.06	448.75	368.61	434.61	380.47	452.37	366.28	441.84	383.14	438.33	391.75	0.802425	169	0.5275
45	419.12	403.81	431.70	386.77	467.04	345.93	436.08	383.73	464.65	359.08	437.49	392.41	0.8026	161	0.4945
46	419.82	403.06	452.44	364.69	424.24	391.57	443.32	375.87	433.49	391.98	446.06	383.58	0.802308	169	0.5321
47	412.79	410.55	426.43	392.44	418.26	397.78	426.27	394.23	426.54	399.36	432.53	398.07	0.802008	212	0.6535
48	419.47	403.44	429.68	388.92	427.49	387.94	424.07	396.55	429.09	396.70	441.58	388.34	0.801975	188	0.5828
49	419.30	403.62	454.38	362.64	448.06	366.20	432.95	386.90	427.51	398.54	441.41	388.38	0.802358	158	0.4829
50	419.82	403.06	455.78	361.15	449.90	364.24	420.73	399.93	434.10	391.50	446.68	382.75	0.802367	163	0.5108
51	419.82	403.06	455.78	361.15	416.86	399.49	435.94	383.71	435.42	389.87	447.91	381.67	0.802258	160	0.4888
52	419.65	403.25	429.77	388.83	423.71	391.98	445.25	373.98	457.22	366.71	433.23	397.27	0.802242	180	0.5649
53	412.79	410.55	431.00	387.56	470.47	342.30	430.02	390.19	431.09	394.86	435.05	394.99	0.8025	177	0.5473
54	417.71	405.31	427.83	390.90	454.12	359.59	421.52	399.29	439.90	385.34	462.94	365.44	0.802417	166	0.5187

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.20 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะได้แฉกของระบบไฟฟ้า IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) (ต่อ)

55	419.47	403.44	433.30	382.92	418.00	398.12	457.73	360.69	461.96	361.63	432.60	398.00	0.802367	166	0.5092
56	413.85	409.42	421.06	398.16	425.91	389.37	455.01	363.67	440.43	394.58	442.90	386.94	0.802375	160	0.4980
57	419.82	403.06	455.96	360.96	448.85	365.37	428.55	391.38	427.86	398.16	440.44	389.40	0.802325	197	0.6044
58	419.82	403.06	458.07	358.73	425.64	390.10	455.98	362.40	432.78	392.74	432.88	397.64	0.802358	163	0.5095
59	418.07	404.93	454.55	362.47	443.75	370.78	441.74	377.54	431.46	394.28	448.17	381.20	0.8025	156	0.4777
60	413.14	410.17	431.08	387.47	418.61	397.44	424.60	395.98	426.89	398.99	450.99	378.38	0.802158	168	0.5247
61	419.82	403.06	455.78	361.15	427.40	388.21	446.48	372.49	437.09	388.16	448.26	381.22	0.802417	189	0.5803
62	414.20	409.05	430.47	388.11	444.72	369.59	436.55	383.23	430.32	395.50	435.08	395.15	0.802308	166	0.5179
63	412.44	410.92	431.08	387.47	422.92	392.83	432.25	387.82	440.43	384.56	444.57	385.18	0.802317	162	0.4983
64	419.82	403.06	441.19	376.65	424.59	391.12	436.64	383.06	432.96	392.55	439.82	390.23	0.802133	162	0.5054
65	407.61	416.07	428.71	390.04	425.64	389.90	435.85	383.99	426.46	399.51	434.20	396.23	0.802308	179	0.5694
66	419.82	403.06	432.14	386.29	429.60	385.71	456.77	361.73	473.48	349.51	432.52	397.99	0.802492	168	0.5138
67	408.40	415.23	424.93	394.07	418.53	397.49	449.56	369.43	448.87	375.55	431.47	399.19	0.80245	184	0.5618
68	419.74	403.16	422.82	396.24	440.67	373.85	455.63	363.01	451.77	372.61	430.60	399.97	0.802325	177	0.5483
69	419.82	403.06	456.66	360.22	430.21	385.21	425.04	395.32	426.63	399.35	439.56	390.47	0.802158	188	0.5898
70	419.82	403.06	455.61	361.34	417.56	398.73	436.64	382.96	435.95	389.31	434.46	396.01	0.802167	191	0.5846
71	411.91	411.48	420.98	398.27	416.59	399.53	428.55	391.83	426.72	399.16	435.34	395.07	0.802025	169	0.5286
72	419.82	403.06	441.46	376.37	425.21	390.46	444.29	374.92	443.59	381.21	433.85	396.61	0.802225	200	0.6225
73	419.82	403.06	456.66	360.22	433.91	381.28	448.77	370.06	445.09	379.67	433.58	396.82	0.802442	180	0.5523
74	419.82	403.06	440.40	377.49	478.29	334.10	438.52	381.07	428.68	397.49	441.26	388.32	0.802517	174	0.5419
75	419.82	403.06	455.96	360.96	416.50	399.87	435.59	394.08	426.19	399.73	438.77	391.42	0.802117	187	0.5716
76	396.27	428.17	420.45	398.95	419.93	395.95	426.56	394.18	447.99	376.49	438.24	391.95	0.80265	152	0.4760
77	419.82	403.06	426.25	392.58	452.36	361.45	421.17	399.68	452.12	372.31	453.01	376.00	0.80235	191	0.5868
78	419.47	403.44	435.21	383.02	417.91	398.22	453.34	365.35	426.02	399.92	442.81	387.09	0.802142	173	0.5408
79	411.39	412.04	444.53	373.15	447.35	366.88	425.39	395.04	432.17	393.55	431.47	398.98	0.802417	174	0.5440
80	417.19	405.87	427.30	391.47	419.40	396.56	424.34	396.29	450.98	373.31	438.51	391.68	0.8021	164	0.5007
81	419.56	403.34	428.45	390.23	423.71	391.97	462.48	355.70	445.39	379.29	454.10	375.04	0.802425	176	0.5421
82	417.36	405.68	446.82	370.68	440.94	373.72	420.91	399.81	427.42	398.58	434.55	395.74	0.802167	190	0.5916

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.20 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกของระบบไฟฟ้า IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs) (ต่อ)

83	419.30	403.62	454.73	362.27	425.82	389.89	444.90	374.18	444.21	380.56	434.29	396.13	0.802358	179	0.5504
84	419.82	403.06	455.87	361.06	426.96	388.68	443.23	375.94	442.54	382.34	455.12	373.93	0.802483	158	0.4950
85	418.77	404.18	437.24	380.87	416.68	399.55	436.90	382.81	430.59	395.03	441.85	388.13	0.802075	184	0.5634
86	411.12	412.32	419.57	399.78	421.43	394.35	430.75	389.50	453.53	370.61	441.76	388.19	0.802325	168	0.5247
87	419.21	403.72	430.82	387.70	421.78	394.05	451.41	367.43	438.67	386.43	430.95	399.73	0.802142	172	0.5262
88	419.82	403.06	456.48	360.40	424.06	391.78	440.33	379.02	431.20	394.42	431.12	399.53	0.802192	180	0.5619
89	418.07	404.93	445.67	371.89	420.55	395.47	441.04	378.35	432.87	392.61	470.15	358.03	0.802442	151	0.4621
90	419.12	403.81	436.71	381.43	416.77	399.45	439.10	380.47	466.71	356.59	454.61	374.54	0.802433	160	0.4992
91	418.24	404.74	435.65	382.56	452.01	361.88	425.30	395.19	449.57	375.02	482.63	344.62	0.802692	165	0.5047
92	419.47	403.44	432.75	385.64	431.36	383.84	446.22	372.93	429.71	396.07	439.47	390.56	0.802175	181	0.5690
93	418.42	404.56	439.08	378.90	427.75	387.72	429.61	390.57	460.12	363.65	432.24	398.31	0.802267	164	0.5014
94	419.82	403.06	441.19	376.65	435.84	379.11	429.17	391.03	428.48	397.42	441.05	388.84	0.802133	174	0.5399
95	419.91	402.97	458.15	358.63	418.61	397.62	437.96	381.54	426.02	399.93	438.42	391.78	0.802158	228	0.7106
96	419.65	403.25	431.17	387.53	420.55	395.37	426.45	394.01	446.14	378.46	430.86	399.83	0.801992	173	0.5299
97	418.42	404.56	447.43	370.02	417.56	398.68	455.10	363.40	437.62	387.53	461.80	366.90	0.8025	170	0.5297
98	419.30	403.62	429.50	389.11	419.93	396.01	426.45	394.02	426.98	398.90	457.75	371.18	0.802042	152	0.4709
99	417.28	405.77	440.84	377.04	417.12	399.10	424.51	396.00	427.77	398.04	443.16	386.72	0.80205	166	0.5284
100	418.86	404.09	445.23	372.35	416.33	399.98	433.65	386.22	426.10	399.82	446.15	383.54	0.802108	167	0.5136
B	419.56	403.34	424.05	394.93	417.65	398.42	424.78	395.84	443.07	381.72	432.79	397.79	0.8019	196	0.6041
A													0.80229	176.65	0.54726
W	418.24	404.74	435.65	382.56	452.01	361.88	425.30	395.19	449.57	375.02	482.63	344.62	0.802692	165	0.5047

\*หมายเหตุ B แทนค่าที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดสอบ, A แทนค่าเฉลี่ยจากการทดสอบ, และ W แทนค่าที่แย่ที่สุดที่ได้จากการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.21 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกของระบบไฟฟ้า IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

Trial	Period 1		Period 2		Period 3		Period 4		Period 5		Period 6		Prod. cost (MBant)	Iteration	Comp. time (sec.)
	G6 (B1)	G7 (B2)	G6 (B1)	G7 (B2)	G6 (B1)	G7 (B2)	G6 (B1)	G7 (B2)	G6 (B1)	G7 (B2)	G6 (B1)	G7 (B2)			
1	419.82	403.06	450.68	366.56	432.24	383.02	432.86	387.02	432.78	392.79	445.27	384.37	0.80227	279	1.35886
2	419.91	402.97	451.65	365.53	433.38	381.81	436.11	383.55	433.49	392.04	441.23	388.67	0.80228	201	0.99812
3	419.74	403.16	432.23	386.20	466.87	346.12	429.45	390.79	437.28	388.22	444.59	384.85	0.80239	241	1.17462
4	419.82	403.06	450.68	366.56	425.91	389.77	426.62	393.68	426.63	399.32	439.21	390.88	0.80209	272	1.33840
5	419.82	403.06	425.37	393.52	420.28	395.61	445.08	374.19	432.34	393.18	459.51	369.31	0.80218	267	1.30028
6	419.12	403.81	447.78	369.64	437.77	377.10	465.56	352.32	426.69	399.34	434.17	396.17	0.80243	185	0.93145
7	419.91	402.97	450.77	366.46	432.32	382.92	433.04	386.83	433.05	392.51	445.63	383.99	0.80227	251	1.21077
8	419.91	402.97	455.69	361.24	424.33	391.50	427.41	392.80	428.56	397.24	439.74	390.33	0.80213	179	0.89585
9	417.45	405.59	433.19	385.18	455.09	358.60	424.51	396.06	453.35	371.02	446.59	382.80	0.80247	173	0.84579
10	419.91	402.97	446.55	370.95	428.11	387.40	428.73	391.46	429.27	396.52	441.76	388.14	0.80213	215	1.04106
11	412.53	410.83	432.49	385.97	422.39	393.40	426.09	394.37	461.61	362.03	441.91	388.02	0.80241	151	0.74410
12	419.82	403.06	450.68	366.56	432.24	383.02	432.86	387.02	432.78	392.79	445.27	384.37	0.80227	270	1.30792
13	419.82	403.06	441.02	376.84	438.92	375.83	430.31	389.81	430.76	394.99	451.34	377.87	0.80226	159	0.79400
14	419.91	402.97	450.77	366.46	432.32	382.92	432.95	386.93	432.87	392.69	445.36	384.27	0.80227	174	0.84550
15	418.77	404.18	420.01	399.25	442.70	371.68	422.49	398.32	454.49	369.72	435.25	394.98	0.80216	161	0.79245
16	419.91	402.97	431.96	386.48	455.26	358.40	441.47	377.98	459.33	364.67	442.90	386.73	0.80253	154	0.74416
17	419.91	402.97	447.70	369.73	425.56	390.13	426.18	394.17	426.10	398.88	438.59	391.54	0.80205	218	1.07819
18	419.91	402.97	450.77	366.46	432.32	382.92	432.95	386.93	432.87	392.69	445.36	384.27	0.80227	222	1.08757
19	419.91	402.97	438.82	379.17	424.24	391.48	458.26	360.11	437.79	387.39	438.07	392.11	0.80229	186	0.90311
20	419.91	402.97	450.33	366.93	431.45	383.86	429.43	390.68	429.36	396.45	445.89	383.72	0.80221	175	0.86432
21	419.91	402.97	449.10	368.24	428.98	386.48	427.94	392.28	426.19	399.81	437.01	393.20	0.80208	203	0.98468
22	419.82	403.06	450.68	366.56	432.24	383.02	432.86	387.02	432.78	392.79	445.27	384.37	0.80227	174	0.86003
23	419.91	402.97	438.55	379.45	419.05	397.02	421.17	399.59	429.88	395.80	467.60	360.74	0.80214	167	0.81572
24	413.23	410.08	419.66	399.67	422.74	392.94	436.38	383.50	462.67	360.92	431.09	399.57	0.80231	152	0.73853
25	418.24	404.74	424.40	394.56	421.16	394.66	432.60	387.49	441.22	383.71	440.53	389.51	0.80207	155	0.76032
26	419.91	402.97	430.47	388.07	438.21	376.51	446.48	372.66	427.95	398.00	436.40	393.79	0.80216	162	0.78585

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.21 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกของระบบไฟฟ้า IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) (ต่อ)

27	411.47	411.95	435.92	382.32	431.97	383.20	445.34	373.84	446.14	378.54	434.38	395.99	0.80250	151	0.74553
28	419.91	402.97	450.68	366.56	432.15	383.11	432.51	387.40	432.43	393.16	443.43	386.34	0.80224	256	1.25367
29	418.07	404.93	454.55	362.47	437.95	376.95	432.16	387.74	429.44	396.40	432.09	398.39	0.80226	249	1.21536
30	419.82	403.06	459.74	356.96	432.15	383.17	453.87	364.63	426.28	399.74	466.19	362.14	0.80259	326	1.58899
31	419.91	402.97	455.87	361.05	421.69	394.32	428.20	391.95	428.04	397.79	451.87	377.43	0.80221	157	0.78316
32	414.02	409.24	423.00	396.09	430.57	384.61	421.35	399.52	431.29	394.37	444.57	385.13	0.80213	161	0.78673
33	412.79	410.55	437.24	380.91	433.91	381.15	438.05	381.59	467.50	355.86	456.25	372.68	0.80275	157	0.76089
34	419.82	403.06	450.68	366.56	432.24	383.02	432.86	387.02	433.49	392.04	440.44	389.52	0.80223	258	1.25772
35	419.91	402.97	447.70	369.73	425.56	390.13	426.18	394.17	426.10	399.88	438.59	391.54	0.80205	187	0.91391
36	419.91	402.97	450.77	366.46	432.32	382.92	432.95	386.93	432.87	392.69	445.36	384.27	0.80227	286	1.41593
37	413.50	409.80	426.87	391.97	416.77	399.38	446.75	372.41	431.11	394.47	437.19	393.10	0.80219	170	0.82610
38	419.91	402.97	447.78	369.64	425.64	390.03	426.27	394.07	426.19	399.79	438.68	391.44	0.80205	158	0.77971
39	419.82	403.06	450.68	366.56	432.24	383.02	432.86	387.02	432.78	392.79	445.27	384.37	0.80227	344	1.68145
40	419.91	402.97	450.77	366.46	432.32	382.92	432.95	386.93	432.87	392.69	445.36	384.27	0.80227	318	1.53938
41	419.82	403.06	450.68	366.56	432.24	383.02	432.86	387.02	432.78	392.79	445.27	384.37	0.80227	262	1.30040
42	419.82	403.06	450.77	366.46	432.41	382.83	433.21	386.65	433.31	392.23	445.98	383.62	0.80228	170	0.83123
43	419.82	403.06	450.68	366.56	432.24	383.02	432.86	387.02	432.78	392.79	445.27	384.37	0.80227	197	0.95656
44	417.28	403.77	430.03	388.56	419.14	396.86	436.64	383.14	431.29	394.29	446.77	382.87	0.80213	152	0.74583
45	419.91	402.97	448.49	368.89	441.11	373.54	438.57	380.95	434.63	390.88	435.87	394.33	0.80230	172	0.83240
46	419.82	403.06	449.01	368.33	428.90	386.57	427.85	392.38	426.10	399.91	436.92	393.30	0.80208	241	1.17525
47	419.91	402.97	447.70	369.73	425.47	390.22	426.09	394.26	426.02	399.98	438.59	391.54	0.80205	159	0.77048
48	419.91	402.97	440.05	377.86	435.93	379.01	422.31	398.36	432.34	393.28	441.67	388.18	0.80211	174	0.85530
49	419.82	403.06	450.68	366.56	432.24	383.02	432.86	387.02	432.78	392.79	445.27	384.37	0.80227	232	1.14282
50	419.82	403.06	456.66	360.22	436.72	378.28	432.69	387.17	430.85	394.89	442.99	386.77	0.80231	259	1.26536
51	419.91	402.97	450.77	366.46	432.32	382.92	432.95	386.93	432.87	392.69	445.36	384.27	0.80227	202	0.98552
52	419.82	403.06	446.29	371.23	428.02	387.49	428.82	391.36	428.92	396.89	431.39	399.22	0.80205	297	1.45428
53	419.82	403.06	442.42	375.34	432.85	382.31	424.25	396.27	442.10	382.85	448.35	381.09	0.80223	438	2.13483
54	419.91	402.97	447.70	369.73	425.56	390.13	426.18	394.17	426.10	399.88	432.09	398.48	0.80201	219	1.06047

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.21 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะใดแบบของระบบไฟฟ้า IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs) (ต่อ)

55	419.82	403.06	450.68	366.56	432.24	383.02	432.95	386.93	427.33	398.61	439.91	390.08	0.80219	180	0.89010
56	419.82	403.06	455.61	361.34	436.98	377.99	441.04	378.28	433.05	392.54	437.80	392.30	0.80234	180	0.99229
57	419.91	402.97	450.77	366.46	432.32	382.92	432.95	386.93	432.87	392.69	445.36	384.27	0.80227	212	1.02838
58	418.77	404.18	423.53	395.50	423.62	392.03	451.58	367.29	441.04	383.91	450.28	379.09	0.80227	157	0.76357
59	419.82	403.06	449.98	367.30	430.83	384.51	430.75	389.27	429.97	395.78	441.76	388.12	0.80219	192	0.93658
60	417.80	405.21	425.46	393.44	440.94	373.58	426.01	394.52	442.01	383.00	431.12	399.40	0.80212	156	0.75592
61	419.82	403.06	450.77	366.46	432.41	382.83	433.04	386.83	427.33	398.61	439.82	390.17	0.80219	375	1.84917
62	419.82	403.06	450.68	366.56	432.24	383.02	432.86	387.02	432.78	392.79	445.27	384.37	0.80227	240	1.16458
63	419.91	402.97	447.70	369.73	425.47	390.22	426.09	394.26	426.02	399.98	435.96	394.35	0.80203	159	0.78145
64	419.91	402.97	450.77	366.46	432.32	382.92	432.95	386.93	428.65	397.20	441.14	388.77	0.80221	216	1.04839
65	419.82	403.06	450.95	366.28	433.47	381.71	433.92	385.89	433.84	391.67	440.79	389.14	0.80226	402	1.98919
66	419.91	402.97	450.77	366.46	432.32	382.92	432.95	386.93	432.87	392.69	445.36	384.27	0.80227	197	0.95372
67	419.82	403.06	450.68	366.56	432.24	383.02	432.86	387.02	432.78	392.79	445.27	384.37	0.80227	300	1.46305
68	419.91	402.97	447.70	369.73	425.56	390.13	425.50	395.11	434.98	390.40	441.05	388.91	0.80213	188	0.92712
69	419.21	403.72	433.81	384.52	426.44	389.09	459.67	358.65	426.89	399.04	440.88	389.09	0.80224	171	0.82700
70	419.91	402.97	448.93	368.42	427.93	387.60	429.79	390.31	430.94	394.73	444.75	384.96	0.80218	272	1.34987
71	419.12	403.81	429.15	389.49	465.20	347.87	425.33	395.22	456.10	368.16	446.70	382.61	0.80250	151	0.73034
72	419.82	403.06	453.50	363.57	437.86	377.04	429.61	390.47	427.51	398.46	437.80	392.29	0.80221	336	1.63806
73	419.91	402.97	450.77	366.46	432.32	382.92	432.95	386.93	432.87	392.69	445.36	384.27	0.80227	220	1.08738
74	419.82	403.06	450.68	366.56	432.24	383.02	432.86	387.02	432.78	392.79	445.27	384.37	0.80227	265	1.30260
75	417.98	405.03	452.18	364.98	457.99	355.64	424.95	395.45	429.09	396.91	435.34	394.77	0.80237	151	0.74255
76	419.82	403.06	449.72	367.58	430.21	385.17	430.84	389.18	430.76	394.93	443.25	386.54	0.80220	187	0.90267
77	419.91	402.97	456.75	360.12	425.82	389.91	428.29	391.85	429.62	396.13	433.41	397.07	0.80213	185	0.90984
78	415.58	409.70	439.43	378.56	436.89	377.98	432.86	387.10	444.47	380.35	437.80	392.30	0.80243	152	0.74786
79	419.82	403.06	450.68	366.56	432.24	383.02	432.86	387.02	432.78	392.79	445.27	384.37	0.80227	195	0.96653
80	419.91	402.97	448.93	368.42	426.52	389.10	428.38	391.81	429.62	396.13	443.43	386.38	0.80214	174	0.85757
81	419.91	402.97	450.77	366.46	432.32	382.92	432.95	386.93	432.87	392.69	445.36	384.27	0.80227	243	1.18124
82	419.47	403.44	451.91	365.25	420.02	396.08	424.69	395.73	454.49	369.58	445.71	383.99	0.80230	155	0.75127

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.21 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกของระบบไฟฟ้า IEEE 30 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAS) (ต่อ)

83	419.12	403.81	425.11	393.80	445.16	369.09	435.94	383.93	427.42	398.61	454.50	374.46	0.80225	200	0.96283
84	419.82	403.06	449.98	367.30	429.78	385.64	429.79	390.31	429.09	396.72	440.97	388.98	0.80217	317	1.54394
85	419.82	403.06	423.88	395.11	430.74	384.43	431.46	388.71	431.38	394.28	443.87	385.88	0.80203	224	1.10320
86	412.79	410.55	441.98	375.86	433.91	381.18	426.45	393.93	435.42	389.98	456.44	372.48	0.80247	157	0.76440
87	418.07	404.93	428.18	390.53	457.11	356.42	485.07	331.85	444.52	380.44	451.47	377.60	0.80286	158	0.77452
88	407.87	415.79	447.34	370.19	417.91	398.30	428.91	391.26	441.40	383.50	434.81	395.63	0.80244	165	0.80148
89	419.82	403.06	450.07	367.21	430.92	384.42	430.58	389.46	429.62	396.16	435.69	394.59	0.80214	329	1.60370
90	419.91	402.97	439.79	378.14	447.71	366.48	440.07	379.42	449.04	375.55	434.55	395.69	0.80238	195	0.96563
91	419.91	402.97	450.77	366.46	432.32	382.92	432.95	386.93	427.25	398.71	439.74	390.27	0.80218	212	1.03392
92	419.47	403.44	457.71	359.10	429.86	385.60	448.95	369.86	438.41	386.77	432.62	397.89	0.80238	171	0.84040
93	419.82	403.06	441.54	376.27	425.21	390.46	427.94	392.34	429.97	395.75	444.57	385.17	0.80209	186	0.90279
94	419.82	403.06	450.16	367.12	431.18	384.14	431.81	388.15	431.73	393.91	444.22	385.50	0.80223	227	1.12679
95	416.13	406.99	444.44	373.21	456.05	357.64	424.42	396.07	436.04	389.48	433.32	396.94	0.80238	151	0.73103
96	417.45	405.59	452.97	364.15	447.71	366.56	429.70	390.38	431.82	393.93	441.05	388.75	0.80240	153	0.75095
97	414.20	409.05	445.06	372.57	423.80	391.99	431.37	388.65	436.39	388.88	459.60	369.19	0.80244	156	0.76040
98	419.91	402.97	452.97	364.13	436.72	378.25	424.07	396.38	426.19	399.87	440.88	389.02	0.80218	191	0.97681
99	418.59	404.37	447.08	370.39	456.41	357.29	428.38	391.83	463.98	359.73	430.70	399.74	0.80254	151	0.73954
100	419.91	402.97	431.00	387.51	421.95	393.86	439.01	380.61	429.71	396.00	442.20	387.72	0.80205	163	0.78736
B	419.91	402.97	447.70	369.73	425.56	390.13	426.18	394.17	426.10	399.88	432.09	398.48	0.80201	219	1.06047
A													0.80225	210.15	1.02939
W	418.07	404.93	428.18	390.53	457.11	356.42	485.07	331.85	444.52	380.44	451.47	377.60	0.80286	158	0.77452

\*\*\*หมายเหตุ B แทนค่าที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดสอบ, A แทนค่าเฉลี่ยจากการทดสอบ, และ W แทนค่าที่แย่ที่สุดที่ได้จากการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8.2.3.2 การทดสอบระบบ IEEE 118 Bus

การทดสอบนี้แสดงให้เห็นถึงการจำกัดกำลังการผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึม สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดกลาง โดยทำการทดสอบความสามารถในการจำกัดกำลังการผลิตภายใต้ข้อจำกัดอัตรากำลังเพิ่ม/ลดการผลิตให้สอดคล้องกับกำลังความต้องการโหลดที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละช่วงเวลา

ข้อมูลหน่วยผลิตไฟฟ้าที่ใช้แสดงไว้ดังตารางที่ 8.11 โดยคิดผลของช่วงกำลังการผลิตต้องห้ามที่มีอยู่ในหน่วยผลิตลำดับที่ 5, 6, 15 และ 16 ในการทดสอบนี้ จำนวนการจำกัดกำลังการผลิตล่วงหน้าเป็นเวลา 15 นาที แบ่งออกเป็น 3 คาบ คาบละ 5 นาที โดยที่กำลังการผลิตเริ่มต้นและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบแสดงไว้ในตารางที่ 8.22 ผลการทดสอบแสดงผลที่ได้ไว้ในตารางที่ 8.23 และพฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบจากการสุ่มค่าเริ่มต้นที่มีค่าแตกต่างกัน แสดงไว้ในรูปที่ 8.183-8.192

ตารางที่ 8.22 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบปัญหาการจำกัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกของระบบไฟฟ้า IEEE 118 Bus ด้วยวิธี AOGAs และ AONGAs

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
จำนวนหน่วยผลิตไฟฟ้า, $N_g$	17
ค่ากำลังการผลิตเริ่มต้น (เมกะวัตต์)	(700.0, 700.0, 250.0, 500.0, 300.0, 200.0, 300.0, 300.0, 200.0, 480.0, 690.0, 700.0, 250.0, 350.0, 300.0, 200.0, 300.0)
อัตราการเพิ่มกำลังการผลิตในเวลา 5 นาที (เมกะวัตต์)	(50.0*5, 50.0*5, 40.0*5, 40.0*5, 40.0*5, 40.0*5, 50.0*5, 50.0*5, 50.0*5, 40.0*5, 50.0*5, 50.0*5, 40.0*5, 40.0*5, 40.0*5, 40.0*5, 50.0*5)
อัตราการลดกำลังการผลิตในเวลา 5 นาที (เมกะวัตต์)	(75.0*5, 75.0*5, 50.0*5, 50.0*5, 50.0*5, 50.0*5, 75.0*5, 75.0*5, 75.0*5, 50.0*5, 50.0*5, 50.0*5, 50.0*5, 50.0*5, 50.0*5, 50.0*5, 75.0*5)
ค่าความต้องการโหลด (เมกะวัตต์)	0.995, 0.979, และ 0.970 เท่าของโหลดเริ่มต้น
ขนาดโครโมโซม, $N_c$	10
ความน่าจะเป็นในการผ่าเหล่ายีน, $P_m$	0.05-0.2 (ปรับค่าอัตโนมัติ)
ความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนยีน, $P_c$	$k1 = 1.0, k3 = 0.5$
จำนวนประชากร, $N_p$	$2 * (N_g * N_c)$
ฟังก์ชันความเหมาะสม (จากต้นทุนราคาเชื้อเพลิง (ล้านบาท/ชั่วโมง))	$1.0 / \sum_{i=1}^{N_g} C_i(P_{g,i})$
วิธีการเข้ารหัส / วิธีการคัดเลือก	เกรย์ / ทัวนาเมนต์ (ขนาดทัวนาเมนต์ = 4)
วิธีการปรับค่าความเหมาะสม	ตัดค่าซิกมา
วิธีการแลกเปลี่ยนยีน / ผ่าเหล่ายีน	สม้าเสมอ / กระโดด(ปรับค่าอัตโนมัติ)
วิธีการสร้างชุดโครโมโซมใหม่	สภาวะคงตัว (อีลิตซิส)
วิธีแสดงการลู่เข้า	ค่าชุดโครโมโซมที่ดีที่สุดไม่เปลี่ยนแปลงในจำนวน 150 รุ่นประชากร

ตารางที่ 8.23 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดเนมิกของระบบไฟฟ้า IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง

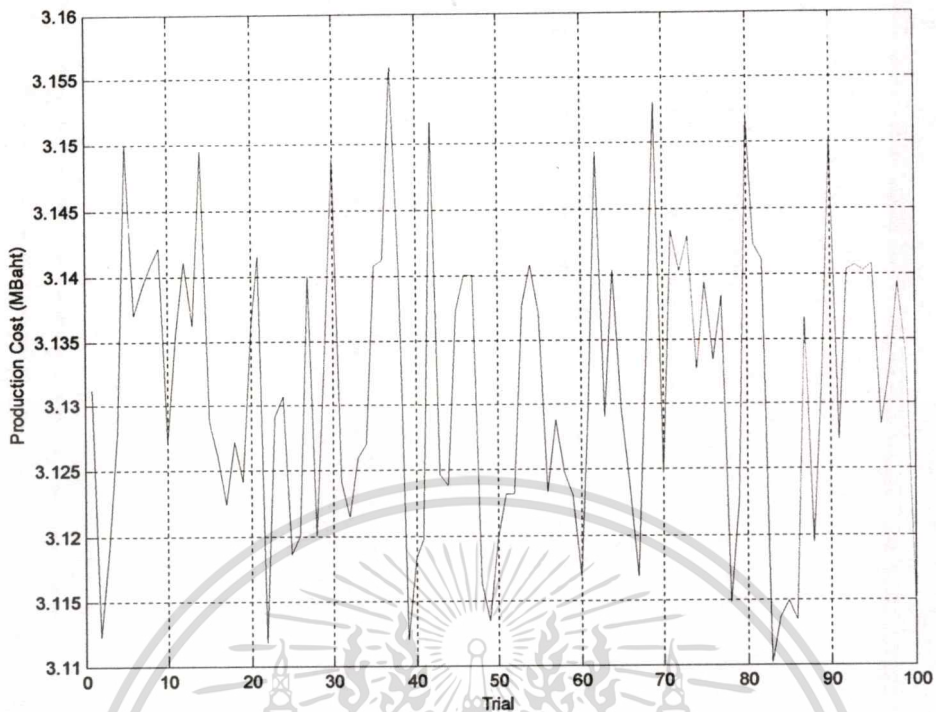
Period	Unit	AOGAs (With ESAs)						AONGAs (With ESAs)					
		MW (Best)	Cost (Baht) (Best)	MW (Worst)	Cost (Baht) (Worst)	MW (Average)	Cost (Baht) (Average)	MW (Best)	Cost (Baht) (Best)	MW (Average)	Cost (Baht) (Average)	MW (Worst)	Cost (Baht) (Worst)
1	G1 (B10)	689.67	59843.18	625.00	57635.06	698.26	59959.78	699.93	60177.45	699.93	60177.45	699.93	60177.45
	G2 (B12)	699.93	60596.10	625.00	60065.79	689.01	60569.83	699.93	60596.10	699.93	60596.10	699.93	60596.10
	G3 (B25)	250.00	63237.80	250.00	63237.80	252.03	63467.04	250.00	63237.80	250.00	63237.80	250.00	63237.80
	G4 (B26)	499.80	67696.37	450.00	65518.85	499.95	67702.92	488.04	67182.83	488.04	67182.83	488.04	67182.83
	G5 (B46)	300.00	63520.95	300.00	63520.95	300.00	63520.95	300.00	63520.95	300.00	63520.95	300.00	63520.95
	G6 (B49)	200.00	59716.00	200.00	59716.00	208.95	60257.47	201.41	59801.31	201.41	59801.31	201.41	59801.31
	G7 (B54)	300.00	55000.00	300.00	55000.00	318.21	55910.50	304.39	55219.50	304.39	55219.50	304.39	55219.50
	G8 (B59)	300.00	65000.00	300.00	65000.00	300.00	65000.00	302.54	65381.00	302.54	65381.00	302.54	65381.00
	G9 (B61)	200.00	60000.00	200.00	60000.00	204.20	60650.00	205.62	60843.00	205.62	60843.00	205.62	60843.00
	G10 (B65)	430.00	60090.50	431.93	60203.11	439.93	60669.92	464.45	62100.66	464.45	62100.66	464.45	62100.66
	G11 (B66)	677.50	59447.96	700.00	60179.74	699.92	60177.12	693.94	59811.91	693.94	59811.91	693.94	59811.91
	G12 (B69)	699.93	60596.10	700.00	60596.24	699.93	60596.10	699.93	60596.10	699.93	60596.10	699.93	60596.10
	G13 (B80)	250.00	63237.80	250.00	63237.80	250.00	63237.80	250.00	63237.80	250.00	63237.80	250.00	63237.80
	G14 (B89)	389.91	62881.49	390.00	62885.45	305.98	59179.66	301.23	58969.53	301.23	58969.53	301.23	58969.53
	G15 (B100)	300.00	63520.95	340.00	66682.79	300.00	63520.95	300.00	63520.95	300.00	63520.95	300.00	63520.95
	G16 (B103)	201.21	59789.20	240.00	62136.00	200.00	59716.00	200.00	59716.00	200.00	59716.00	200.00	59716.00
	G17 (B111)	300.11	55005.50	336.66	56833.00	327.98	56399.00	331.31	56565.50	331.31	56565.50	331.31	56565.50
2	G1 (B10)	638.50	58819.52	550.00	55063.25	686.99	59756.22	699.93	60177.45	699.93	60177.45	699.93	60177.45
	G2 (B12)	675.88	60521.39	550.00	59137.00	694.96	60585.38	699.93	60596.10	699.93	60596.10	699.93	60596.10
	G3 (B25)	250.00	63237.80	250.00	63237.80	250.74	63321.23	264.73	64926.43	264.73	64926.43	264.73	64926.43
	G4 (B26)	449.80	65510.09	400.00	63325.10	485.78	67084.09	499.82	67697.24	499.82	67697.24	499.82	67697.24
	G5 (B46)	300.00	63520.95	300.00	63520.95	300.00	63520.95	301.76	63659.41	301.76	63659.41	301.76	63659.41
	G6 (B49)	200.00	59716.00	200.00	59716.00	218.16	60814.68	206.55	60112.28	206.55	60112.28	206.55	60112.28
	G7 (B54)	300.00	55000.00	300.00	55000.00	346.96	57348.00	300.00	55000.00	300.00	55000.00	300.00	55000.00
	G8 (B59)	300.00	65000.00	300.00	65000.00	300.00	65000.00	311.29	66693.50	311.29	66693.50	311.29	66693.50
	G9 (B61)	200.00	60000.00	200.00	60000.00	201.53	60229.50	200.16	60024.00	200.16	60024.00	200.16	60024.00
	G10 (B65)	380.00	57173.00	381.93	57285.61	389.93	57752.42	414.45	59183.16	414.45	59183.16	414.45	59183.16
	G11 (B66)	656.97	58767.81	687.77	59781.53	699.93	60177.45	670.47	59217.89	670.47	59217.89	670.47	59217.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

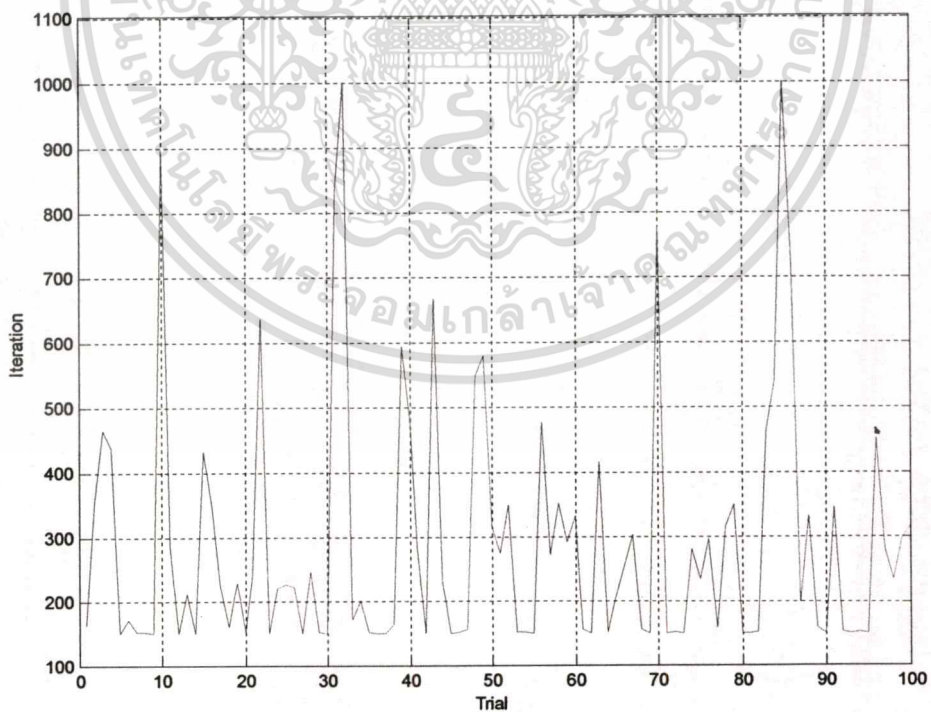
ตารางที่ 8.23 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกของระบบไฟฟ้า IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

2	G12 (B69)	699.93	60596.10	700.00	60596.24	658.87	60420.36	667.89	60479.94
	G13 (B80)	252.03	63467.04	330.00	73113.80	250.00	63237.80	250.00	63237.80
	G14 (B89)	429.82	64634.35	430.00	64642.25	255.98	56964.31	251.23	56753.46
	G15 (B100)	339.96	66679.61	380.00	69978.87	300.00	63520.95	300.00	63520.95
	G16 (B103)	200.00	59716.00	280.00	64556.00	200.00	59716.00	200.00	59716.00
	G17 (B111)	300.99	55049.50	342.71	57155.50	352.47	57623.50	357.97	57898.50
	G1 (B10)	699.89	60176.14	475.00	52877.45	700.00	60179.74	700.00	60179.74
	G2 (B12)	699.90	60596.04	503.74	58256.33	700.00	60596.24	700.00	60596.24
	G3 (B25)	251.25	63378.82	263.28	64757.60	274.13	66034.65	304.73	69807.51
	G4 (B26)	399.80	63316.31	354.66	61329.32	455.53	65761.02	500.00	67705.10
	G5 (B46)	300.00	63520.95	304.18	63849.88	310.16	64321.03	341.76	66822.67
	G6 (B49)	200.00	59716.00	224.26	61183.73	204.09	59963.44	236.31	61912.76
	G7 (B54)	349.95	57497.50	326.51	56325.50	348.77	57438.50	300.00	55000.00
	G8 (B59)	300.00	65000.00	344.87	71730.50	300.00	65000.00	310.17	66525.50
	G9 (B61)	200.00	60000.00	215.67	62350.50	200.70	60105.00	200.93	60139.50
	G10 (B65)	330.00	54255.50	345.64	55168.09	339.93	54834.92	364.45	56265.66
	G11 (B66)	689.51	59837.98	687.65	59777.64	699.93	60177.45	595.47	56506.68
	G12 (B69)	699.93	60596.10	686.67	60562.74	672.22	60503.65	667.36	60476.83
	G13 (B80)	250.00	63237.80	283.32	67165.51	250.00	63237.80	250.00	63237.80
	G14 (B89)	385.71	62696.74	440.26	69092.09	250.00	56698.85	250.00	56698.85
	G15 (B100)	300.00	63520.95	420.00	73113.03	300.00	63520.95	300.00	63520.95
	G16 (B103)	200.00	59716.00	320.00	66976.00	200.00	59716.00	200.00	59716.00
	G17 (B111)	330.24	56512.00	349.27	57463.50	382.12	59106.00	355.49	57774.50
	Total		3110163.88	3131253.33	151	151	3114783.10	672	3122416.67
	Iteration	463		291.69			223		206
	CPU Time (sec.)	183.01514		153.09649	94.77637		118.3501	357.05371	109.37744

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

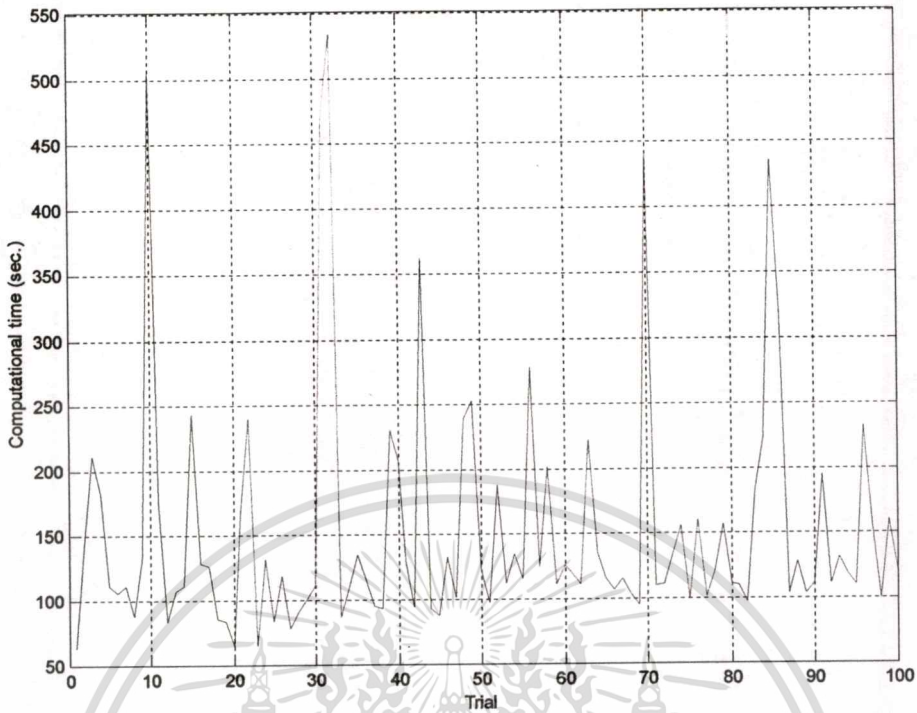


รูปที่ 8.183 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

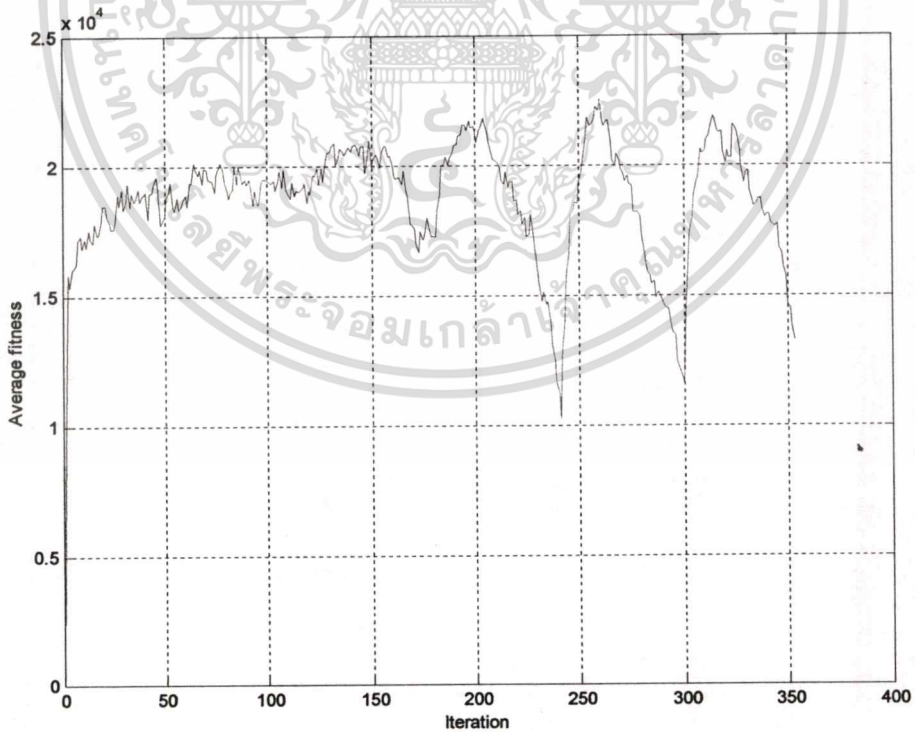


รูปที่ 8.184 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

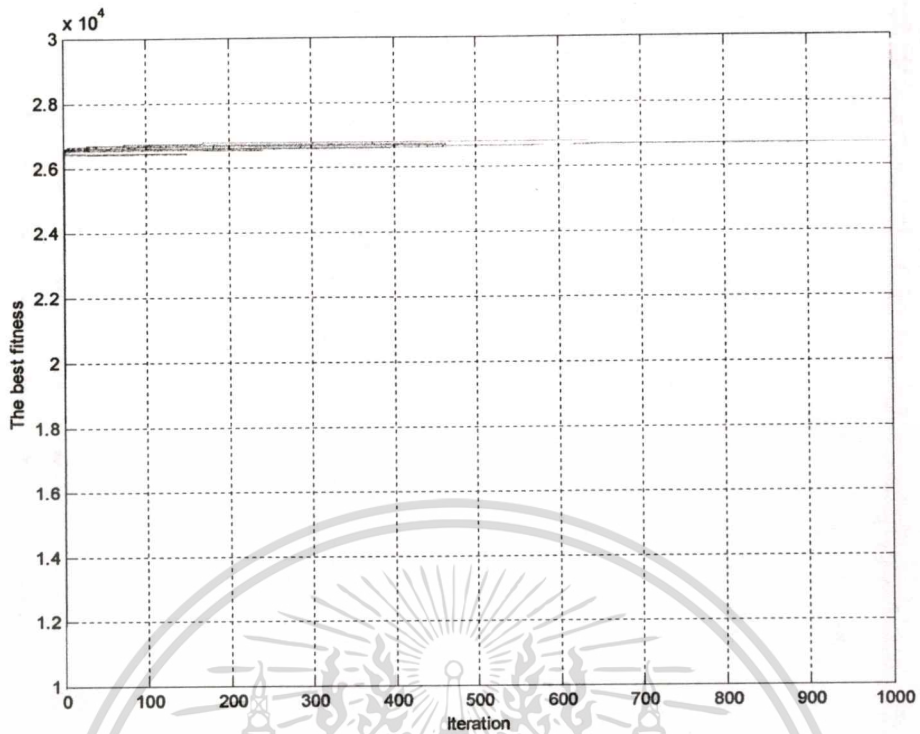


รูปที่ 8.185 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะโคเนมิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

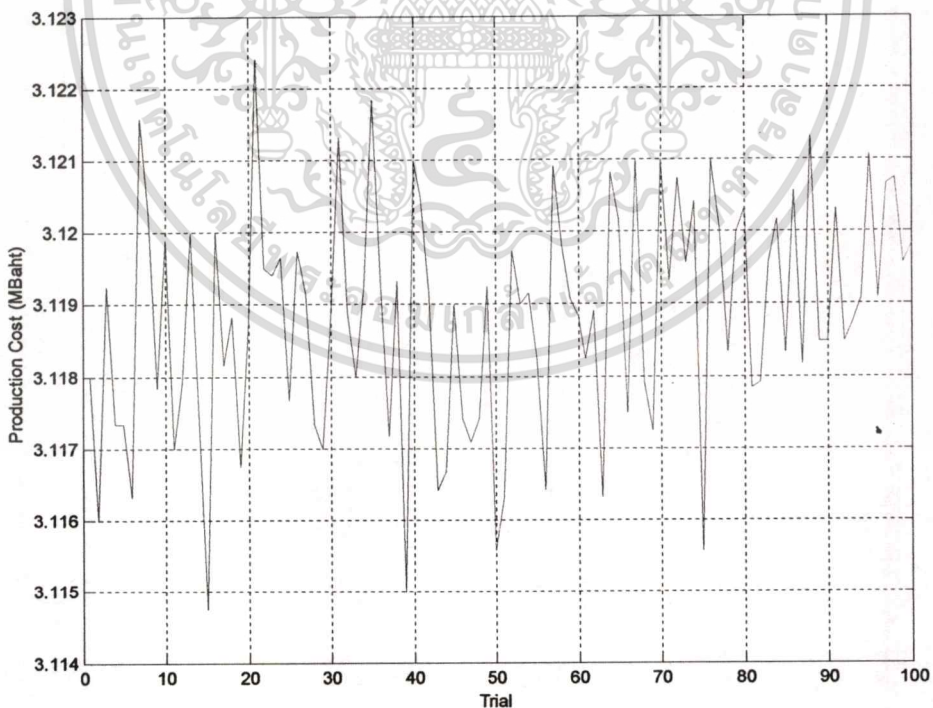


รูปที่ 8.186 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะโคเนมิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

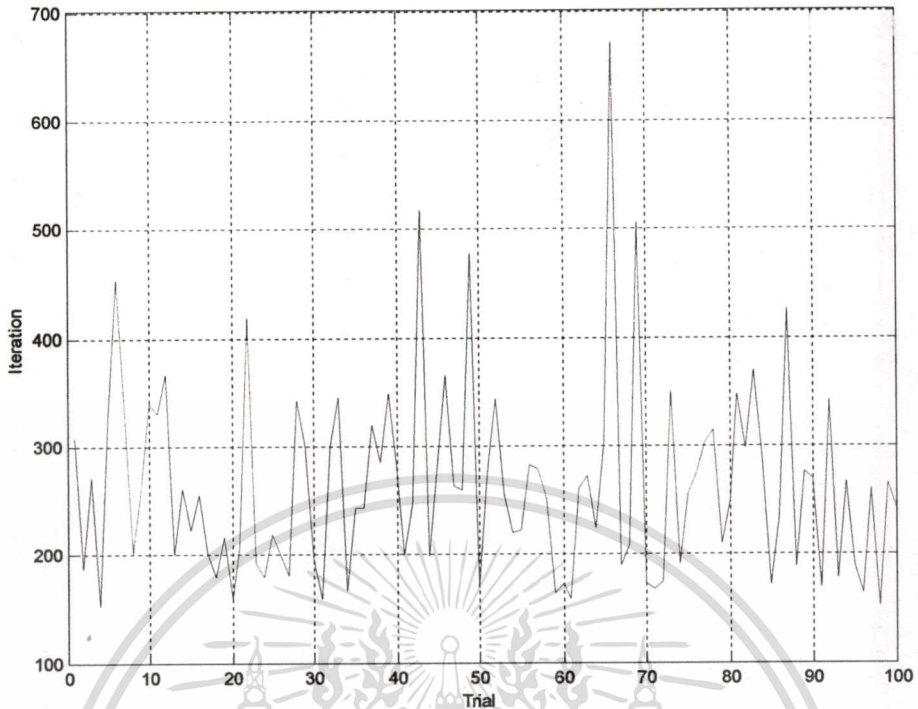


รูปที่ 8.187 ประสิทธิภาพของฟลอว์จากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะ ไดแนมิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

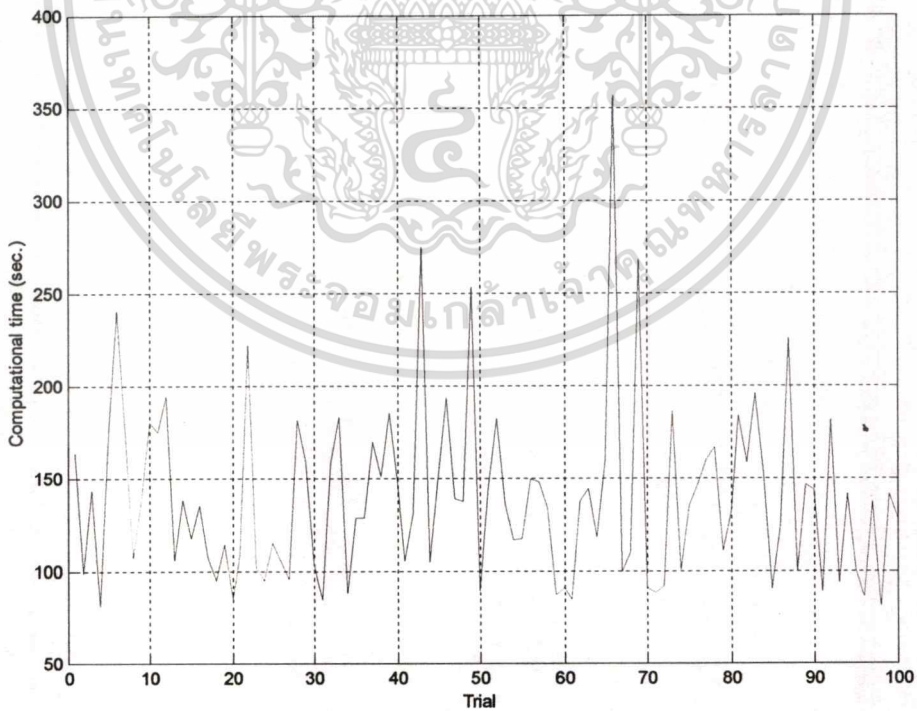


รูปที่ 8.188 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดแนมิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

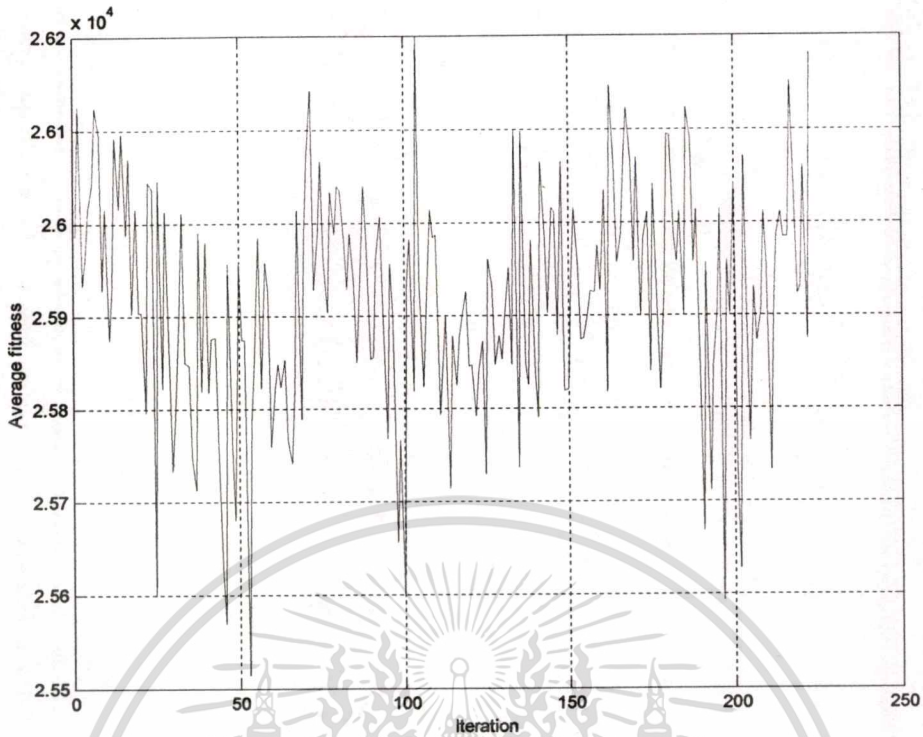


รูปที่ 8.189 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

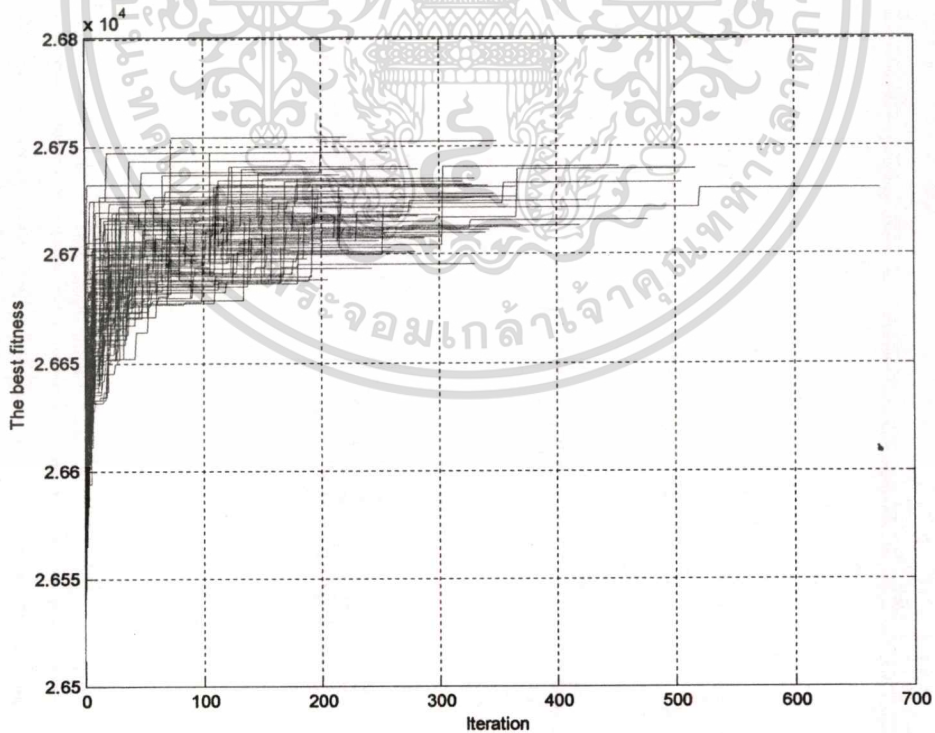


รูปที่ 8.190 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.191 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)



รูปที่ 8.192 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง IEEE 118 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





ตารางที่ 8.25 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะใดเนมิกของระบบไฟฟ้า THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง

Period	Unit	AOGAs (With ESAs)					AONGAs (With ESAs)						
		MW (Best)	Cost (Baht) (Best)	MW (Worst)	Cost (Baht) (Worst)	MW (Average)	Cost (Baht) (Average)	MW (Best)	Cost (Baht) (Best)	MW (Average)	Cost (Baht) (Average)	MW (Worst)	Cost (Baht) (Worst)
	KN-T1	70.00		70.00		70.00		70.00		70.00		70.00	
	RPB-H1	79.00		79.00		79.00		79.00		79.00		79.00	
	RPB-H2	79.00		79.00		79.00		79.00		79.00		79.00	
	RPB-H3	79.00		79.00		79.00		79.00		79.00		79.00	
	MM-T8	150.00	5801.29	150.00	5801.29	150.00	5801.29	150.00	5801.29	150.00	5801.29	150.00	5801.29
	MM-T9	150.00	5801.29	150.00	5801.29	150.00	5801.29	150.00	5801.29	150.00	5801.29	150.00	5801.29
	MM-T4	90.00	7452.72	90.00	7452.72	90.00	7452.72	90.00	7452.72	90.00	7452.72	90.00	7452.72
	MM-T5	90.00	7452.72	90.00	7452.72	90.00	7452.72	90.00	7452.72	90.00	7452.72	90.00	7452.72
	MM-T6	90.00	7452.72	90.00	7452.72	90.00	7452.72	90.00	7452.72	90.00	7452.72	90.00	7452.72
	MM-T7	90.00	7452.72	90.00	7452.72	90.00	7452.72	90.00	7452.72	90.00	7452.72	90.00	7452.72
	SK-H4	112.00		112.00		112.00		112.00		112.00		112.00	
	SK-H3	111.00		111.00		111.00		111.00		111.00		111.00	
	SK-H2	102.00		102.00		102.00		102.00		102.00		102.00	
	BB-H8	152.00		152.00		152.00		152.00		152.00		152.00	
	BB-H7	115.00		115.00		115.00		115.00		115.00		115.00	
	BB-H6	76.00		76.00		76.00		76.00		76.00		76.00	
	BB-H4	76.00		76.00		76.00		76.00		76.00		76.00	
	BB-H2	76.00		76.00		76.00		76.00		76.00		76.00	
	NFO-C1	180.00	5088.31	180.00	5088.31	180.00	5088.31	180.00	5088.31	180.00	5088.31	180.00	5088.31
	IPT-C1	700.00		700.00		700.00		700.00		700.00		700.00	
	BPK-C1	315.00	9428.31	315.00	9428.31	315.00	9428.31	315.00	9428.31	315.00	9428.31	315.00	9428.31
	BPK-T2	568.00	8176.87	568.00	8176.87	568.00	8176.87	568.00	8176.87	568.00	8176.87	568.00	8176.87
	SB-C1	284.00	7421.55	284.00	7421.55	284.00	7421.55	284.00	7421.55	284.00	7421.55	284.00	7421.55
	SB-T1	140.00	2700.30	140.00	2700.30	140.00	2700.30	140.00	2700.30	140.00	2700.30	140.00	2700.30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.25 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกของระบบไฟฟ้า THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

SB-T2	140.00	2700.30	140.00	2700.30	140.00	2700.30	140.00	2700.30	140.00	2700.30
SB-T3	140.00	2934.09	140.00	2934.09	140.00	2934.09	140.00	2934.09	140.00	2934.09
KHL-H3	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00
KHL-H2	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00
KHL-H1	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00
SNR-H1	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
SNR-H2	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
SNR-H3	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
SNR-H4	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00
TN-H1	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
TN-H2	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
RB-T1	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00
RB-T2	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00
THB-H1	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00
THB-H2	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00
GCC-T1	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
HH-H1	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00
HH-H2	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00	63.00
AEP-T1	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
TPB-T1	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00	25.00
TTP-T1	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00
NPC-T1	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00	32.00
IP-T1	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00
IP-T2	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00
BCC-T1	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
MTP-T1	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
MTP-T2	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00	60.00
TCC-T1	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางที่ 8.25 ผลการทดสอบการจำกัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกของระบบไฟฟ้า THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

SK-H4	112.00	112.00	112.00	112.00	112.00	112.00	112.00	112.00	112.00	112.00
SK-H3	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
SK-H2	102.00	102.00	102.00	102.00	102.00	102.00	102.00	102.00	102.00	102.00
BB-H8	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00
BB-H7	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00
BB-H6	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00
BB-H4	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00
BB-H2	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00
NPO-C1	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	5088.31
IPT-C1	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00
BPK-C1	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	9428.31
BPK-T2	443.00	443.00	443.00	443.00	443.00	443.00	443.00	443.00	443.00	6496.19
SB-C1	284.00	284.00	284.00	284.00	284.00	284.00	284.00	284.00	284.00	7421.55
SB-T1	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	2700.30
SB-T2	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	2700.30
SB-T3	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	140.00	2934.09
KHL-H3	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00
KHL-H2	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00
KHL-H1	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00	88.00
SNR-H1	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
SNR-H2	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
SNR-H3	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00	120.00
SNR-H4	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00
TN-H1	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
TN-H2	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
RB-T1	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00
RB-T2	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00
THB-H1	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00	105.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ตารางที่ 8.25 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกของระบบไฟฟ้า THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

2	BLCF-C2	673.00	673.00	673.00	673.00	673.00	673.00	673.00	673.00	673.00
	EPEC-C1	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00
	GULF-C1	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00	350.00
	GULF-C2	342.34	330.72	331.07	331.07	331.07	331.07	331.07	331.07	330.95
3	KN-T1	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00	70.00
	RPB-H1	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00
	RPB-H2	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00
	RPB-H3	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00	79.00
	MM-T8	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00
	MM-T9	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00	150.00
	MM-T4	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
	MM-T5	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
	MM-T6	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
	MM-T7	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00	90.00
	SK-H4	112.00	112.00	112.00	112.00	112.00	112.00	112.00	112.00	112.00
	SK-H3	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00	111.00
	SK-H2	102.00	102.00	102.00	102.00	102.00	102.00	102.00	102.00	102.00
	BB-H8	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00	152.00
	BB-H7	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00	115.00
	BB-H6	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00
	BB-H4	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00
	BB-H2	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00	76.00
	NPO-C1	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00	180.00
	IPT-C1	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00	700.00
BPK-C1	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	315.00	
BPK-T2	503.14	520.11	520.11	520.11	520.11	520.11	520.11	520.11	517.25	
SB-C1	315.97	315.97	315.97	315.97	315.97	315.97	315.97	315.97	315.97	
SB-T1	314.83	314.83	314.83	314.83	314.83	314.83	314.83	314.83	314.83	
		5801.29	5801.29	5801.29	5801.29	5801.29	5801.29	5801.29	5801.29	
		7452.72	7452.72	7452.72	7452.72	7452.72	7452.72	7452.72	7452.72	
		7452.72	7452.72	7452.72	7452.72	7452.72	7452.72	7452.72	7452.72	
		7452.72	7452.72	7452.72	7452.72	7452.72	7452.72	7452.72	7452.72	
		5088.31	5088.31	5088.31	5088.31	5088.31	5088.31	5088.31	5088.31	
		9428.31	9428.31	9428.31	9428.31	9428.31	9428.31	9428.31	9428.31	
		7303.50	7531.74	7531.74	7531.74	7531.74	7531.74	7531.74	7493.26	
		8114.92	8114.92	8114.92	8114.92	8114.92	8114.92	8114.92	8114.92	
		4681.16	4681.16	4681.16	4681.16	4681.16	4681.16	4681.16	4681.16	

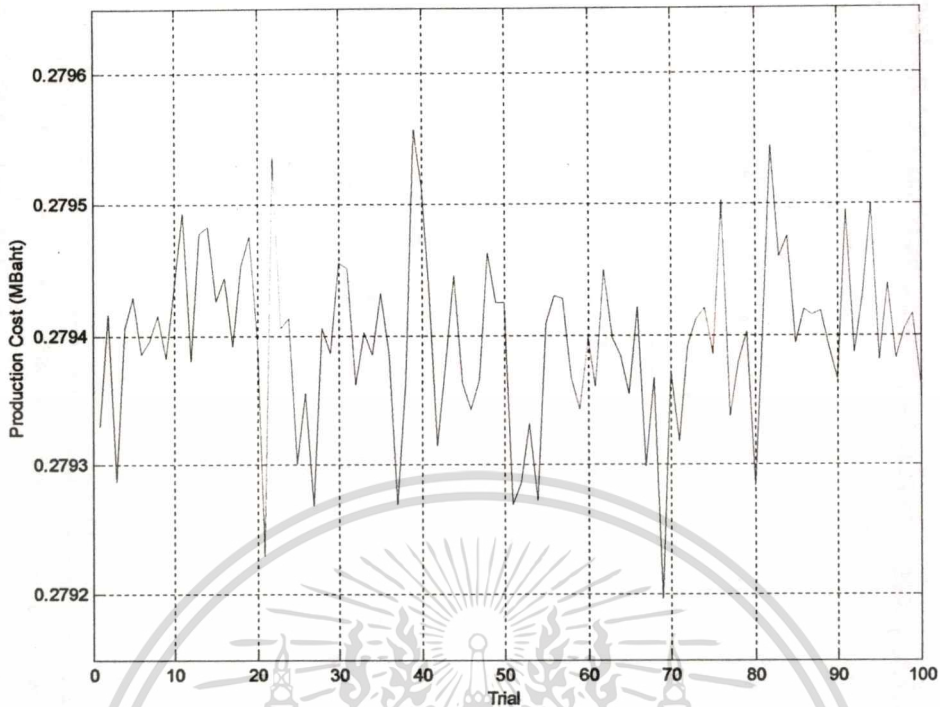
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.25 ผลการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดนามิกของระบบไฟฟ้า THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (ต่อ)

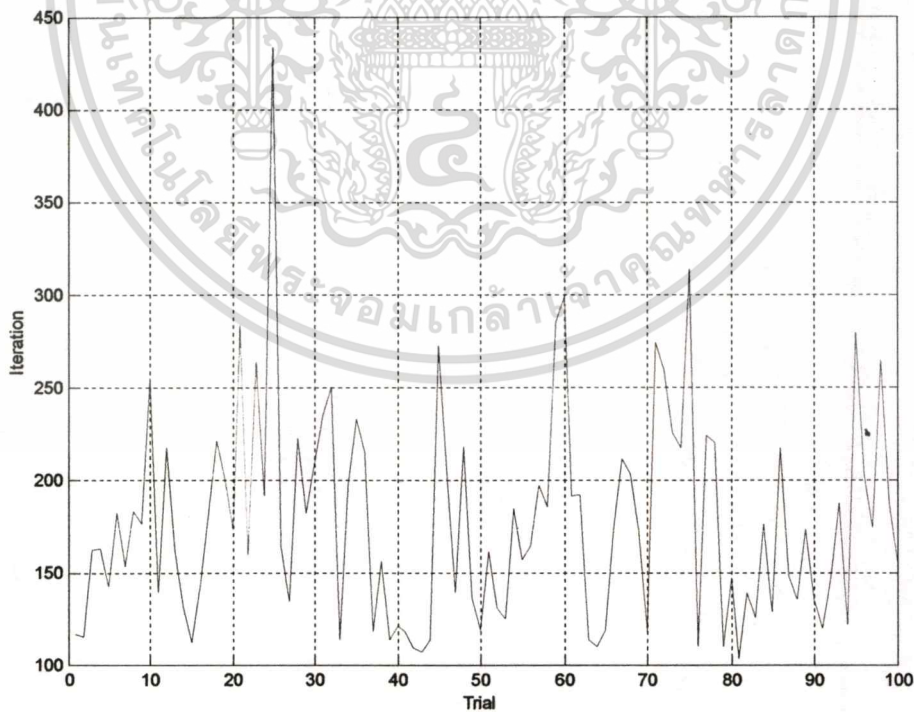
SB-T2	314.83	4681.16	314.83	4681.16	314.83	4681.16	314.83	4681.16
SB-T3	314.83	4890.23	314.83	4890.23	314.83	4890.23	314.83	4890.23
KHL-H3	88.00		88.00		88.00		88.00	
KHL-H2	88.00		88.00		88.00		88.00	
KHL-H1	88.00		88.00		88.00		88.00	
SNR-H1	120.00		120.00		120.00		120.00	
SNR-H2	120.00		120.00		120.00		120.00	
SNR-H3	120.00		120.00		120.00		120.00	
SNR-H4	180.00		180.00		180.00		180.00	
TN-H1	20.00		20.00		20.00		20.00	
TN-H2	20.00		20.00		20.00		20.00	
RB-T1	700.00		700.00		700.00		700.00	
RB-T2	700.00		700.00		700.00		700.00	
THB-H1	105.00		105.00		105.00		105.00	
THB-H2	105.00		105.00		105.00		105.00	
GCC-T1	90.00		90.00		90.00		90.00	
HH-H1	63.00		63.00		63.00		63.00	
HH-H2	63.00		63.00		63.00		63.00	
AEP-T1	90.00		90.00		90.00		90.00	
TPS-T1	25.00		25.00		25.00		25.00	
TTP-T1	10.00		10.00		10.00		10.00	
NPC-T1	32.00		32.00		32.00		32.00	
IP-T1	55.00		55.00		55.00		55.00	
IP-T2	55.00		55.00		55.00		55.00	
BCC-T1	90.00		90.00		90.00		90.00	
MTP-T1	60.00		60.00		60.00		60.00	
MTP-T2	60.00		60.00		60.00		60.00	
TCC-T1	90.00		90.00		90.00		90.00	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



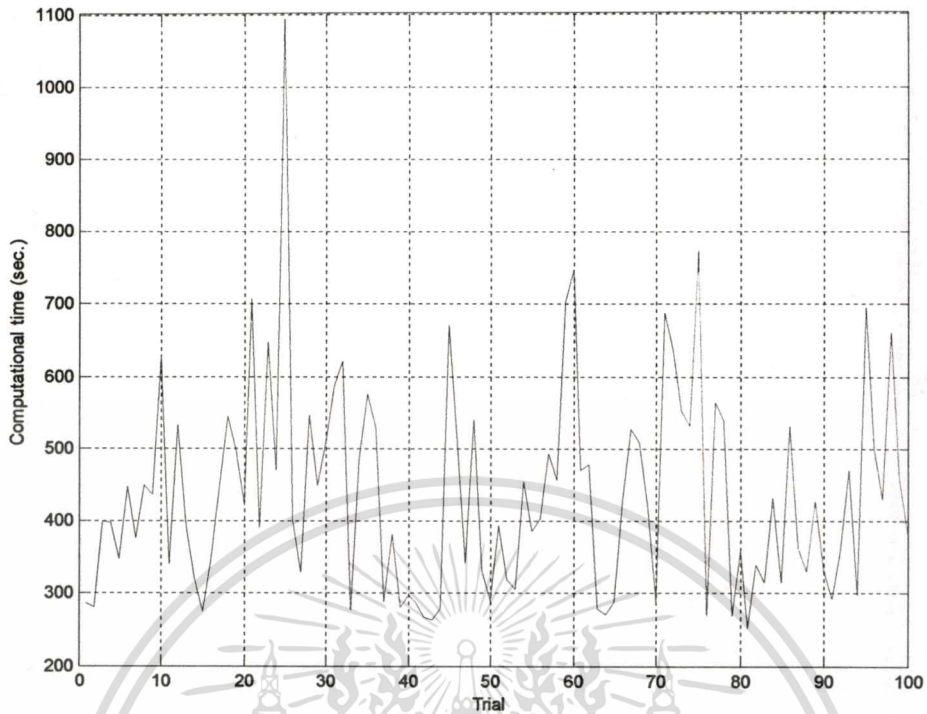


รูปที่ 8.193 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะโคเนมิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

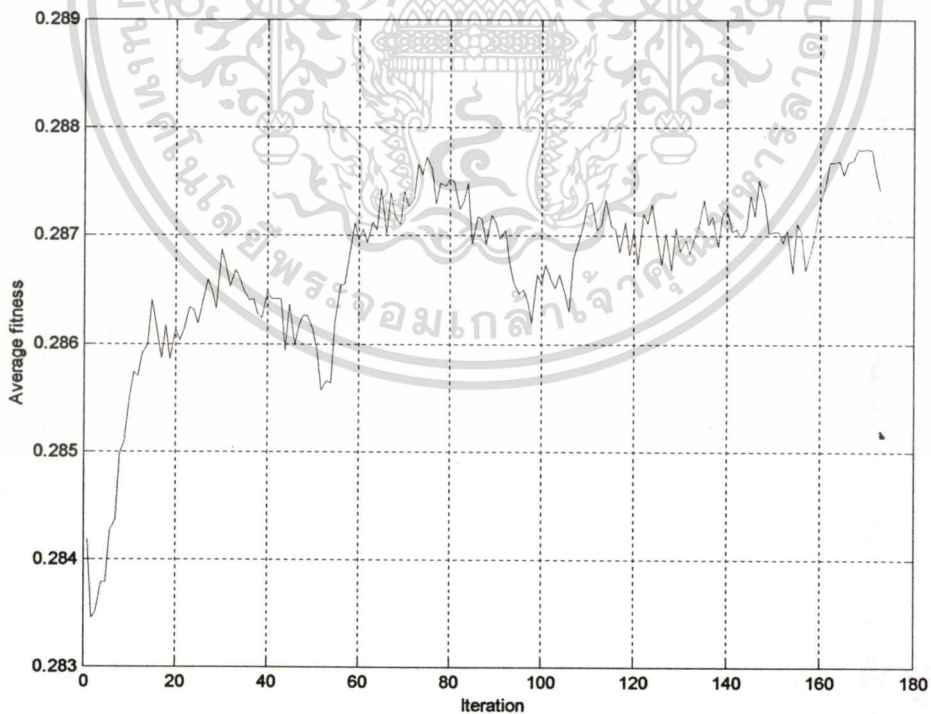


รูปที่ 8.194 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะโคเนมิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

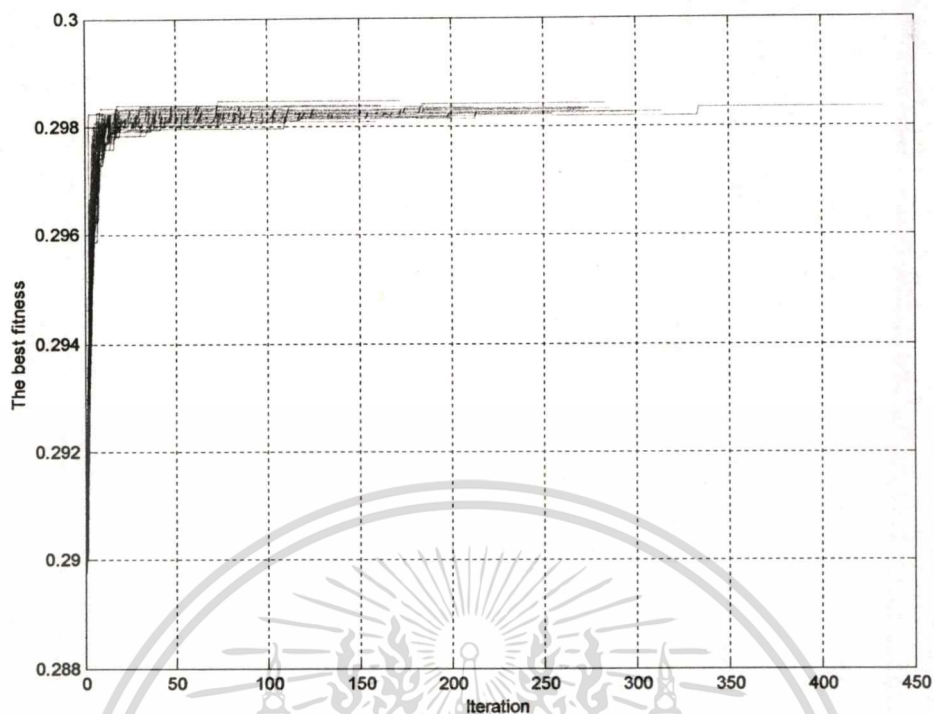


รูปที่ 8.195 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะ โคนเนมิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

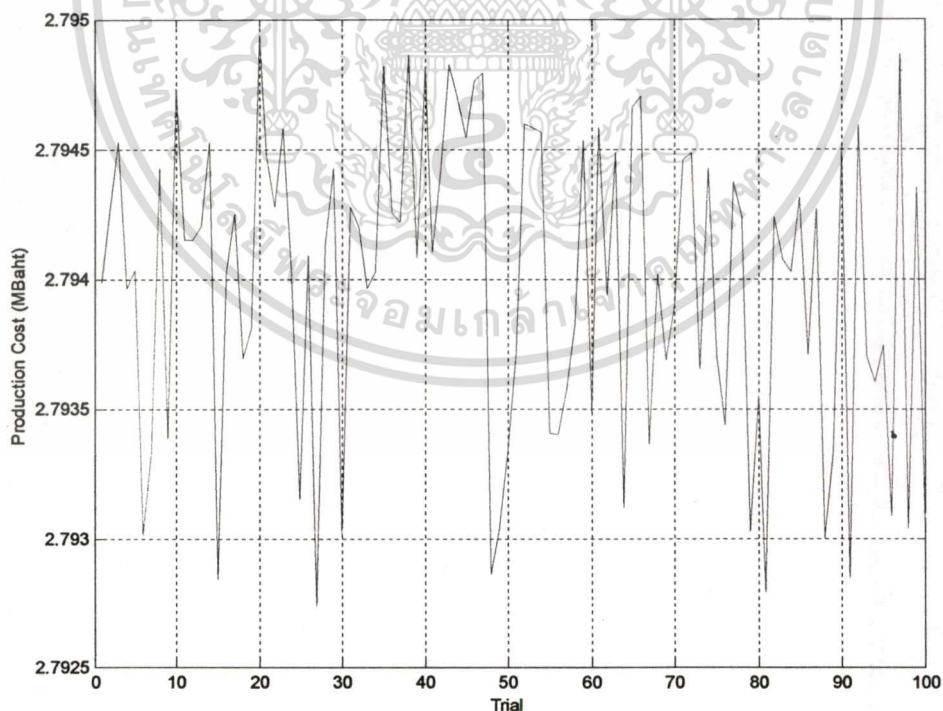


รูปที่ 8.196 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะ โคนเนมิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

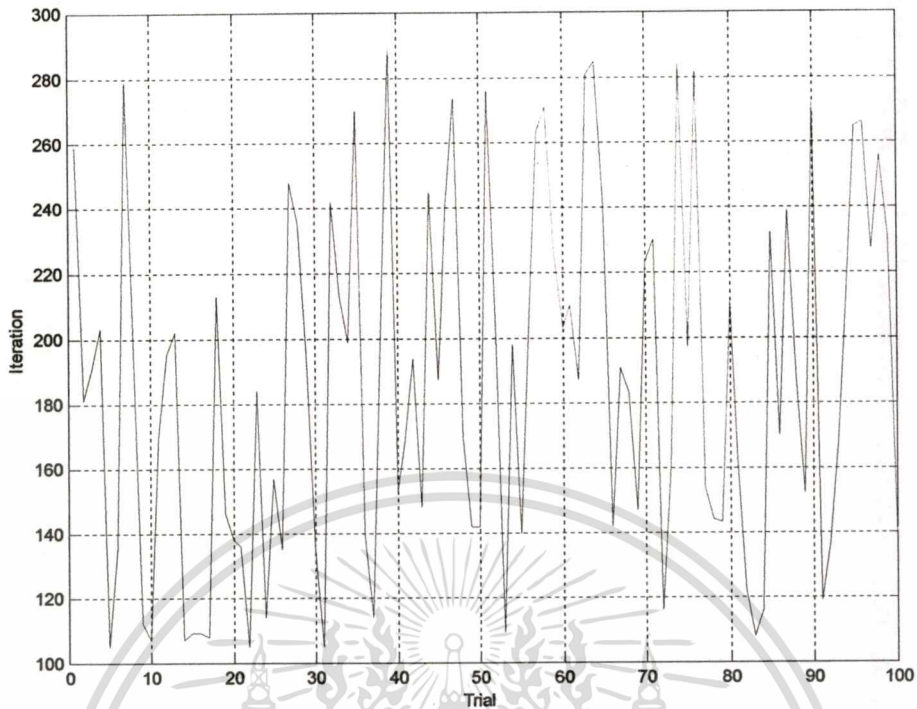


รูปที่ 8.197 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะโคเนมิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AOGAs)

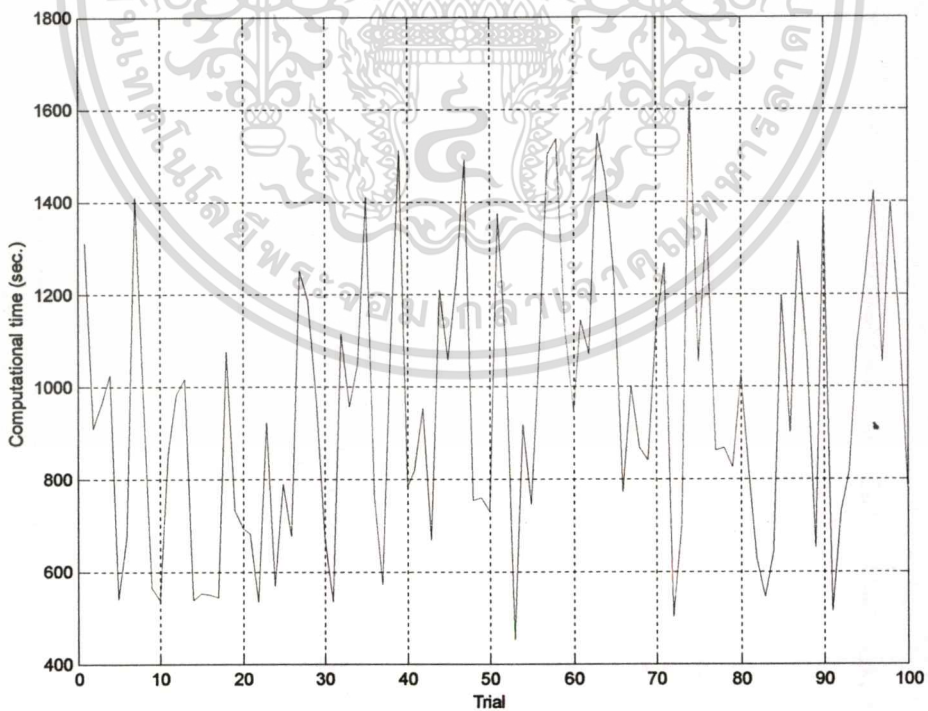


รูปที่ 8.198 ค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้จากการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะโคเนมิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

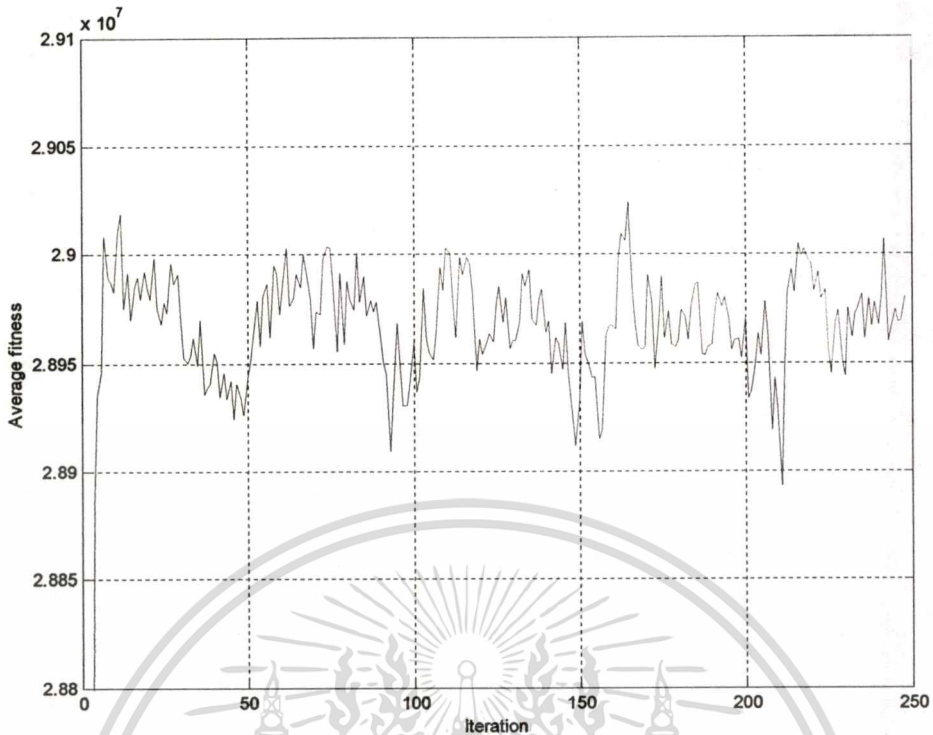


รูปที่ 8.199 จำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

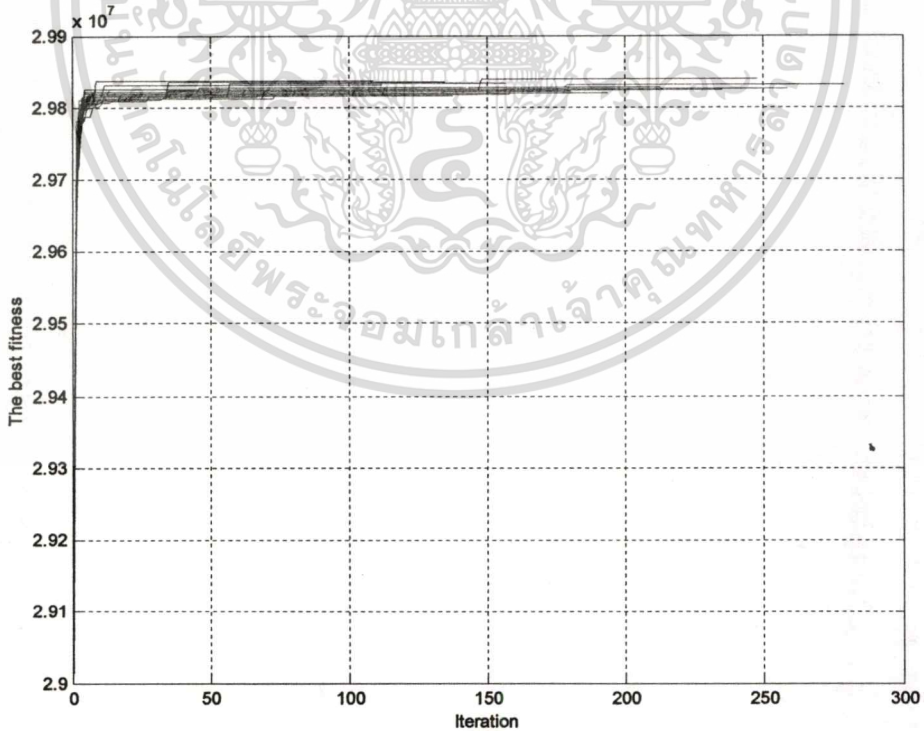


รูปที่ 8.200 เวลาที่ใช้ในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 8.201 ประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดในการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)



รูปที่ 8.202 ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิกจากระบบไฟฟ้ากำลัง THA 424 Bus จำนวน 100 ครั้ง (AONGAs)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8.3 บทวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบ

ในส่วนของบทวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบนี้ กล่าวถึงถึง ปัญหาการจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ ประเด็นที่ทำให้ปัญหาดังกล่าวมีความซับซ้อนและยุ่งยากในการคำนวณ วิธีการแก้ปัญหาการจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ การวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นตามสมมุติฐานเบื้องต้น การวิเคราะห์พฤติกรรมการทำงานของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีนิซังเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง ในส่วนที่ายบทแสดงถึงผลของการใช้วิธีแชร์ริงอัลกอริทึมในการแบ่งกำลังการผลิตไปสู่หน่วยผลิตต่างๆ และการใช้อัลกอริทึมดังกล่าวร่วมกับวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีนิซังเจเนติกอัลกอริทึมสำหรับการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ ทั้งในลักษณะสแตติกและไดนามิก

#### 8.3.1 ปัญหาการจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์

การจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้วิธีทางคณิตศาสตร์นั้นสามารถจัดสร้างเป็นปัญหาการค่าเหมาะสมที่ต่ำที่สุด ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดของตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกัน โดยเทียบเป้าหมายของการจัดกำลังการผลิตที่ทำให้ต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมทั้งระบบมีค่าต่ำที่สุด ภายใต้เงื่อนไขของการจัดกำลังผลิตที่ต้องมีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการ โหลดรวมถึงความสูญเสียในระบบส่งและข้อจำกัดในการผลิตไฟฟ้าของแต่ละหน่วยผลิต เช่นขีดจำกัดสูง/ต่ำสุดในการผลิต อัตราการผลิตไฟฟ้าในช่วงเวลาหนึ่ง เป็นต้น

พื้นที่คำตอบแสดงถึงกลุ่มของคำตอบที่เป็นไปได้สำหรับปัญหาที่พิจารณา โดยมีลักษณะแตกต่างกันแบบตามความซับซ้อนและลักษณะของฟังก์ชันเป้าหมายหลัก สำหรับปัญหาการจัดกำลังการผลิตนั้น พื้นที่คำตอบที่มีลักษณะซับซ้อนส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากลักษณะของกราฟคุณลักษณะต้นทุนเชื้อเพลิงของแต่ละหน่วยผลิตไฟฟ้า รวมถึงข้อจำกัดของการผลิตในรูปแบบของสมการและอสมการที่มีอยู่ในปัญหาการจัดกำลังการผลิต ถึงแม้ว่าโดยทั่วไปนั้น จะประมาณลักษณะของกราฟดังกล่าวให้อยู่ในรูปของสมการควอดราติกทั้งนี้เพื่อทำให้ง่ายต่อการคำนวณ ลดความซับซ้อนในพื้นที่คำตอบ และเพื่อวัตถุประสงค์ของการปรับรูปร่างกราฟให้อยู่ภายใต้ข้อจำกัดในทางคณิตศาสตร์ เช่นการจัดกำลังการผลิตในลักษณะการจัดค่าแลมบ์ดาให้เท่ากันทั้งระบบ ที่มีข้อกำหนดให้กราฟที่ใช้จะต้องมีลักษณะคอนเวกซ์ และมีค่าต่อเนื่องตลอดช่วงกำลังการผลิต

ลักษณะของของกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงมีผลกับรูปร่างของพื้นที่คำตอบ  $n$  มิติมากที่สุด โดยถ้ากราฟดังกล่าวมีลักษณะเรียบและมีค่าต่อเนื่องกัน เช่น กราฟรูปแบบสมการเส้นตรง หรือ กราฟรูปแบบสมการควอดราติก พื้นที่คำตอบที่ได้จะมีลักษณะเป็นพื้นที่ผิวเรียบ และส่วนของพื้นที่คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดจะมีลักษณะไปในทางเดียวกัน หรืออีกนัยหนึ่งคือ พื้นที่คำตอบที่มีจุดยอดของคำตอบที่ดีที่สุดเพียงจุดเดียว โดยถ้ากราฟดังกล่าวมีลักษณะไม่เรียบ พื้นที่คำตอบที่ได้ (สำหรับค่าความต้องการ โหลด ณ. ขณะนั้น) ก็จะมีลักษณะที่ไม่สม่ำเสมอด้วย โดยช่วงของกราฟที่มีลักษณะไม่เรียบ จะส่งผลให้เกิดลักษณะพื้นที่ที่ไม่สม่ำเสมอตามช่วงการผลิตนั้น ซึ่งอาจจะส่งผลให้เกิดเป็นพื้นที่กลุ่ม

คำตอบที่ดี (คำตอบ โทลคอด) อีกทั้งเมื่อรวมข้อจำกัดในการผลิตไฟฟ้าของแต่ละหน่วยผลิต ซึ่งทำให้พื้นที่คำตอบในช่วงนี้จึงจะรวมการผลิตดังกล่าวมีค่าไม่สม่ำเสมอ และลักษณะของการชดเชยความสูญเสียในระบบส่งที่เป็นสมการที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยรวมแล้วจะทำให้เกิดความยุ่งยากในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดจากพื้นที่ดังกล่าวรวมถึงการแยกแยะคำตอบที่ดีที่สุดจากกลุ่มของคำตอบที่ดี

รูปที่ 8.124 แสดงพื้นที่คำตอบให้เห็นอย่างชัดเจน จากผลของการจัดกำลังการผลิตของหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย ซึ่งจะพบว่าผลของความสูญเสียจากลิ้นปิด/เปิดอินน้ำร่วมกับความไม่ต่อเนื่องของเส้นกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงทำให้กลุ่มคำตอบที่เป็นไปได้ (คำตอบที่อยู่ภายใต้ข้อจำกัดสมการการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการ โหลดรวมถึงความสูญเสียในสายส่ง โดยมีลักษณะเป็นเส้นโค้งรูป) มีจุดยอด 2 จุดคือจุดคำตอบ โทลคอดและจุดคำตอบ โกลบอล ซึ่งมีค่าต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่แตกต่างกันน้อยมาก แต่สภาวะการจัดกำลังการผลิตใน 2 ตำแหน่งดังกล่าวมีความแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง หรือในกรณีรูปที่ 8.131 แสดงพื้นที่คำตอบจากลักษณะกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่เป็นเส้นตรงจำนวนหลายเส้น จะพบว่าพื้นที่คำตอบมีลักษณะเป็นกลุ่มพื้นที่สี่เหลี่ยมเรียบหลายพื้นที่เชื่อมต่อกัน โดยแต่ละพื้นที่ก็มีการลักษณะการบิดตัวแตกต่างกันออกไป ตามค่าผลรวมของต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ได้ และเมื่อพิจารณาจากกลุ่มคำตอบที่เป็นไปได้ จะพบว่าลักษณะของพื้นที่ดังกล่าว ส่งผลให้เกิดจุดยอด 2 จุดที่ค่าใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 8.132 ดังนั้นการคำนวณหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากพื้นที่คำตอบทั้งหมดอาจจะมี ความยุ่งยากมากขึ้น

ข้อจำกัดการจัดกำลังการผลิตให้สมดุลมีส่วนที่จะทำให้รูปร่างของพื้นที่คำตอบ มีลักษณะต่างกัน ตัวอย่างเช่นดังรูปที่ 8.131 พบว่าหน่วยผลิตทั้งสองหน่วยมีความสามารถในการจ่ายพลังงานไฟฟ้าไปสู่โหลดได้ในช่วงกำลังการผลิตรวมค่าหนึ่ง โดยถ้าพิจารณาเฉพาะการคำนวณหาการจัดกำลังการผลิตเฉพาะค่าความต้องการ โหลดค่าหนึ่ง พื้นที่คำตอบเฉพาะค่าโหลคนี้อาจจะหาค่าลงเป็นลักษณะเส้นคำตอบตามแนวขวาง และเมื่อพิจารณารูปที่ 8.132 ที่แสดงภาพตัดขวางของค่าคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดเทียบกับจำนวนสภาวะการจัดกำลังการผลิตทั้งหมด พบว่ามีความซับซ้อนเกิดขึ้นในเส้นคำตอบดังกล่าว โดยแสดงอยู่ในลักษณะจุดยอดสองกลุ่ม คือกลุ่มคำตอบที่ดีและกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งคำตอบที่ดีที่สุดจากทั้งสองกลุ่มมีค่าแตกต่างกันไม่มากนัก

ลักษณะความซับซ้อนในเส้นคำตอบ จะมีลักษณะต่างกัน ตามค่าความต้องการ โหลดของปัญหาที่พิจารณา โดยมีลักษณะไม่แน่นอนและไม่ขึ้นกับค่าความต้องการ โหลด เส้นคำตอบของปัญหาที่มีค่าความต้องการ โหลดสูง อาจจะมีค่าซับซ้อนน้อยกว่าเส้นคำตอบของปัญหาที่มีค่าความต้องการ โหลดต่ำก็เป็นไปได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของสมการต้นทุนราคาเชื้อเพลิงเป็นหลัก

ผลของข้อจำกัดอัตราการเพิ่ม/ลดกำลังการผลิตในช่วงเวลาหนึ่งสำหรับปัญหาที่ใช้วิธีเจเนติก อัลกอริทึม มีส่วนสำคัญที่จะช่วยลดจำนวนพื้นที่หรือเส้นคำตอบให้น้อยลง ในลักษณะการลดช่วงกำลังการผลิตของแต่ละหน่วยผลิตลง โดยที่ข้อจำกัดดังกล่าวอาจจะพิจารณา รวมไปถึงขีดจำกัดสูง/ต่ำสุดของแต่ละหน่วยผลิตไฟฟ้าได้ในเวลาเดียวกัน

### 8.3.2 วิธีเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง

งานวิจัยนี้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์วิธีเจเนติกอัลกอริทึมพร้อมด้วยการปรับปรุงการทำงานของอัลกอริทึมโดยรวมให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น จากวิธีการเข้ารหัสเกรย์ วิธีการปรับค่าความละเอียดของคำตอบที่ต้องการ การแปลงค่าความเหมาะสมโดยใช้การตัดเศษซิกมา การคัดเลือกแบบทัวนาเมนต์ เทคนิคการปรับค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนยีนและการผ่าเหล่ายีนให้มีค่าที่เหมาะสมโดยอัตโนมัติ การแลกเปลี่ยนยีนแบบสมมาตร การผ่าเหล่ายีนแบบกระโดด รวมถึงการสร้างการแทนที่แบบอิลิทิส เป็นต้น

การทดสอบประสิทธิภาพและพฤติกรรมการเข้าสู่คำตอบของอัลกอริทึมโดยรวม การทดสอบการทำงานที่สัมพันธ์กันของตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ และการปรับปรุงอัลกอริทึมในส่วนต่างๆ นั้นเริ่มจากการทดสอบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อน (De Jong's hard functions) และมีจุดยอดหลายจุด จำนวนทั้งหมด 8 ฟังก์ชัน F1, F2, F5, F6, F7, F8, F9, และ F10 ที่มีความยากง่ายแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของสมการทางคณิตศาสตร์ ดังรูปที่ 8.1, 8.15, 8.29, 8.43, 8.57, 8.71, 8.85, และ 8.99 ตามลำดับ

จากข้อดีของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมที่อาศัยการเข้ารหัสคำตอบแทนการคำนวณโดยตรงจากคำตอบนั้นและใช้เฉพาะค่าความเหมาะสมจากฟังก์ชันเป้าหมาย มาใช้เป็นข้อมูลสำหรับการค้นหาคำตอบ ทำให้การคำนวณหาคำตอบที่ถูกต้องจากฟังก์ชันดังกล่าวทำได้โดยง่าย ซึ่งไม่ต้องใช้ความรู้ในด้านการคำนวณทางดิฟเฟอเรนเชียล ก็สามารถหาคำตอบได้เช่นเดียวกัน โดยเวลาที่ใช้ในการคำนวณก็มีค่าน้อยมาก ดังผลการคำนวณที่แสดงไว้ในตารางที่ 8.3-8.10

จากลักษณะการทำงานของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมที่ใช้การสุ่มค่าเป็นหลักในขบวนการทางพันธุศาสตร์ ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้ในการคำนวณแต่ละครั้งมีค่าไม่เท่ากัน การทดสอบจึงใช้การคำนวณซ้ำกันเป็นจำนวน 100 ครั้ง โดยปรับเปลี่ยนค่า SEED ให้มีค่าแตกต่างกัน ซึ่งพบว่าคำตอบที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมีค่าน้อยมาก โดยผลการคำนวณในแต่ละครั้งแสดงไว้ในตารางที่ 8.3-8.10 และผลการทดสอบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ทั้งหมดโดยสรุปแสดงไว้ในตารางที่ 8.26 – 8.27

การทดสอบฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์นี้ยังแสดงผลของพฤติกรรมการเข้าสู่คำตอบที่ถูกต้อง โดยแสดงผลของประสิทธิภาพออนไลน์ (ค่าเฉลี่ยของค่าความเหมาะสมทั้งหมด) เทียบกับจำนวนรุ่นประชากรที่สร้างขึ้น และประสิทธิภาพออฟไลน์ (ค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการคำนวณ) เทียบกับจำนวนรุ่นประชากรที่สร้างขึ้น ตัวอย่างเช่น รูปที่ 8.107 แสดงประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน F10 จำนวน 100 ครั้ง ซึ่งพบว่ามีลักษณะกราฟดังกล่าวมีแนวโน้มที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง แต่มีผลของการแกว่งบ้าง ทั้งนี้เนื่องจากผลด้านลบของตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์และความซับซ้อนของปัญหา รูปที่ 8.108 แสดง ประสิทธิภาพออฟไลน์จากการทดสอบฟังก์ชัน F10 จำนวน 100 ครั้ง ซึ่งพบว่าค่าคำตอบที่ค้นหาได้นั้นมีค่าดีขึ้นเป็นลำดับตามจำนวนรุ่นประชากรที่ผลิตขึ้น โดยเมื่อคำตอบที่ได้นั้นมีค่าคงที่ตลอดจำนวนช่วงรุ่นประชากรหนึ่ง โปรแกรมการคำนวณก็จะสิ้นสุดลง คำตอบที่ดีที่สุดที่ถูกเก็บรักษาไว้จะเป็นคำตอบของปัญหาการหาค่าตัวแปรควบคุมที่เหมาะสม

เมื่อพิจารณาถึงความยากง่ายของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ที่ทดสอบ เทียบกับประสิทธิภาพการดูเข้าสู่คำตอบที่ถูกต้อง พบว่าจากฟังก์ชันที่ไม่ซับซ้อนมากนัก เช่น F1 และ  $\Gamma$  วิธีเจเนติกอัลกอริทึมสามารถค้นหาคำตอบได้อย่างรวดเร็ว และมีความแข็งแกร่งในการคำนวณจากจุดเริ่มต้นที่แตกต่างกัน โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเพียง 0.007955

เมื่อฟังก์ชันที่ใช้ในการทดสอบมีความซับซ้อนสูงขึ้น เจเนติกอัลกอริทึมต้องใช้จำนวนรอบการคำนวณที่สูงขึ้นตาม เพื่อค้นหาพื้นที่คำตอบอื่นๆ ที่ให้ค่าฟังก์ชันที่ดีกว่า ดังตารางที่ 8.26 แสดงให้เห็นว่าเวลาการคำนวณในฟังก์ชัน F10 มีค่ามากกว่าเวลาการคำนวณในฟังก์ชัน F1 ประมาณ 7 เท่า

สิ่งหนึ่งที่สำคัญเมื่อนำเจเนติกอัลกอริทึมมาใช้กับปัญหาที่มีความซับซ้อนสูง กล่าวคือปัญหาที่มีจุดยอดหลายจุด หรือมีส่วนพื้นที่คำตอบที่ดีหลายส่วน นั่นคือจำนวนขนาดของประชากรที่เลือกใช้ โดยถ้าเลือกใช้ขนาดของประชากรที่เหมาะสม ทำให้มีชุดโครโมโซมกระจายกันอยู่ตลอดพื้นที่คำตอบอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอ ถึงแม้ว่าชุดโครโมโซมดังกล่าวจะเป็นตัวแทนของพื้นที่คำตอบที่ดีได้ไม่ครบทุกส่วนก็ตาม

ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดสอบด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม มีแนวโน้มที่จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อปัญหาที่ทดสอบมีความซับซ้อนสูงมาก เนื่องจากมีพื้นที่คำตอบที่ให้ค่าเป้าหมายที่ใกล้เคียงกันหลายจุด และค่าคำตอบที่ดีที่สุดมีค่าใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีจากส่วนพื้นที่คำตอบที่ดีหลายส่วน

### 8.3.3 วิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง

โปรแกรมคอมพิวเตอร์วิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึม เป็นส่วนงานวิจัยต่อเนื่องที่พัฒนาจากเจเนติกอัลกอริทึมเดิม โดยปรับเปลี่ยนขบวนการแทนที่ประชากรรุ่นใหม่จากหลักการดีเทอร์มินิสติกคร่าวๆ จากการนำชุดโครโมโซมลูกที่ได้มาเปรียบเทียบกับชุดโครโมโซมพ่อแม่ เพื่อแทนที่ชุดโครโมโซมที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยใช้ระยะทางยูคลิเดียนระหว่างชุดโครโมโซมทั้งสอง

วิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมนี้ยังนำมาใช้งานร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์และเทคนิคที่ผ่านการปรับปรุงการทำงานมาแล้วได้เป็นอย่างดี กล่าวคือวิธีการเข้ารหัสเกรย์ วิธีการปรับค่าความละเอียดของคำตอบที่ต้องการ การแปลงค่าความเหมาะสมโดยใช้การตัดเศษซิกมา การคัดเลือกแบบทัวนาเมนต์ เทคนิคการปรับค่าความน่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนยีนและการผ่าเหล่ายีนให้มีค่าที่เหมาะสมโดยอัตโนมัติ การแลกเปลี่ยนยีนแบบสม่ำเสมอ การผ่าเหล่ายีนแบบกระโดด เป็นต้น เช่นเดียวกับเทคนิคต่างๆ ที่ใช้กับวิธีเจเนติกอัลกอริทึม ยกเว้นการสร้างการแทนที่แบบฮิลิติส เนื่องจากวิธีการแทนที่ชุดโครโมโซมลูกจากหลักการดีเทอร์มินิสติกคร่าวๆ สามารถรักษาชุดโครโมโซมที่ดีที่สุดไว้ได้เสมอ

วิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมมีความสามารถในการรักษาพื้นที่คำตอบที่ดีไว้ตลอด รวมทั้งยังมีความสามารถในการค้นหาพื้นที่คำตอบอื่นที่ดีกว่า ทำให้ความหลากหลายในทางพันธุศาสตร์ถูกเก็บรักษาไว้ได้มากกว่าวิธีเจเนติกอัลกอริทึมพื้นฐาน ซึ่งจะส่งผลต่อการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดจากพื้นที่

คำตอบที่ซับซ้อน เนื่องจากส่วนพื้นที่คำตอบที่ดีที่ถูกเก็บไว้นั้นอาจจะมีค่าคำตอบ (ที่จุดยอด) สูงกว่า หรือเป็นชุดโครโมโซมที่มีโอกาสจะถูกคัดเลือกไปเป็นชุดโครโมโซมพ่อแม่ต่อไป

ซึ่งจากการทดสอบฟังก์ชันคณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อน F1, F2, F5, F6, F7, F8, F9, และ F10 เมื่อปรับพารามิเตอร์ในการทดสอบเหมือนกับวิธีเจเนติกอัลกอริทึม พบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีนี้ซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมนี้สามารถคำนวณหาคำตอบที่ถูกต้องได้ในทุกฟังก์ชันที่ทำการทดสอบ และค่าที่ได้ใกล้เคียงกับคำตอบที่ได้จากวิธีเจเนติกอัลกอริทึมพื้นฐาน แต่เมื่อเปรียบเทียบค่าคำตอบที่ได้กับวิธีเจเนติกอัลกอริทึม พบว่า โดยส่วนใหญ่วิธีนี้ซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมจะให้ผลลัพธ์ที่มีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่า เมื่อทดสอบฟังก์ชันทั้งหมดจำนวน 100 ครั้ง อีกทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดสอบก็มีค่าน้อยกว่าผลจากวิธีเจเนติกอัลกอริทึม โดยรายละเอียดการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการทดสอบทางคณิตศาสตร์ของทั้งสองวิธี แสดงไว้ในตารางที่ 8.26 -8.27

เนื่องจากแนวคิดการทำงานของวิธีนี้ซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมที่สามารถรักษาพื้นที่คำตอบที่ดีไว้ได้ในแต่ละรุ่นประชานั้น และยังเมื่อนำมาใช้ร่วมกับการปรับค่าจะเป็นในการแลกเปลี่ยนรหัสและการผ่าเหล่ารหัสโดยอัตโนมัติ ทำให้ประสิทธิภาพออนไลน์มีลักษณะการเพิ่มขึ้นในอัตราที่น้อยกว่าวิธีเจเนติกอัลกอริทึม ดังรูปที่ 8.109 ที่แสดงประสิทธิภาพออนไลน์ที่ดีที่สุดจากการทดสอบฟังก์ชัน F10 จำนวน 100 ครั้ง

และเมื่อพิจารณาถึงเวลาที่ใช้ในการคำนวณ ก็เป็น ไปดังที่คาดการณ์ไว้ นั่นคือวิธีนี้ซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมจะใช้เวลาในการคำนวณที่มากกว่าวิธีเจเนติกอัลกอริทึม เนื่องจากการคำนวณที่ใช้การปรับเปลี่ยนชุดโครโมโซมพ่อแม่เดิมอย่างช้าๆ ในแต่ละรุ่นประชากร โดยจากตารางที่ 8.26 พบว่า ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการคำนวณมีค่าสูงกว่า ในการทดสอบฟังก์ชันคณิตศาสตร์ทั้งหมด 8 ฟังก์ชัน อีกทั้งค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานในแต่ละการทดสอบก็มีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากวิธีเจเนติกอัลกอริทึม

แต่เนื่องจากการทำงานของวิธีคือวิธีนี้ซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมที่ค้นหาคำตอบในลักษณะขนานตลอดทั้งกลุ่มประชากร ซึ่งแตกต่างจากวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ค้นหาคำตอบในลักษณะความสัมพันธ์ค่า แกรเดียนท์จากค่าตัวแปรควบคุมปัจจุบัน วิธีนี้ซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมพยายามรักษากลุ่มของพื้นที่คำตอบที่ดี จากผลของการค้นหาที่ผ่านมา และพยายามค้นหาพื้นที่คำตอบใหม่ๆ ไปพร้อมกัน ทำให้ลักษณะดังกล่าวมีประโยชน์สำหรับการประยุกต์ใช้งานกับปัญหาการหาคำตอบที่เหมาะสมเมื่อลักษณะของปัญหานั้นมีคำตอบที่เป็นไปได้หลายคำตอบ หรือกระทั่งแสดงคำตอบโลคอลที่ให้ค่าใกล้เคียงกับคำตอบโกลบอล เช่นการคำนวณสภาวะการไหลของพลังงานที่แตกต่างกันในหลายรูปแบบ เป็นต้น

ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดเจนแสดงไว้ในรูปที่ 8.124 เมื่อคำตอบโลคอลมีค่าที่ใกล้เคียงกับคำตอบโลคอลเป็นอย่างมาก หรือกระทั่งอาจจะมีค่าเท่ากันในช่วงค่าความต้องการ โหลดค่าหนึ่ง ดังนั้นวิธีการแสดงผลคำตอบที่เป็นไปได้หลายจุดจะให้ข้อมูลการตัดสินใจจัดกำลังการผลิตได้ดีกว่า ซึ่งต้องอาศัยอัลกอริทึมการคำนวณเพิ่มเติมเพื่อแยกกลุ่มพื้นที่คำตอบที่ดีหลายกลุ่ม จากกลุ่มของประชากรรวมทั้งหมด ซึ่งในปัจจุบันยังคงมีความพยายามในการสร้างอัลกอริทึมเพื่อค้นหาคำตอบเหล่านี้ เช่นวิธีการแบ่งกลุ่มคำตอบ, การแลกเปลี่ยนยีนสำหรับแต่ละกลุ่มคำตอบ เป็นต้น [55, 60, 61, 68]

ตารางที่ 8.26 ผลการเปรียบเทียบค่าผลลัพธ์จากการทดสอบทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี AOGAs และ

AONGAs

ฟังก์ชัน	อัลกอริทึมที่ใช้ทดสอบ	ค่ามากที่สุด	ค่าน้อยที่สุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
F1	AOGAs	0.058	0	0.004547	0.007955
	AONGAs	0.0425	0.0001	0.003139	0.005736
F2	AOGAs	0.0256	0.000016	0.004229	0.004726
	AONGAs	0.019616	0.000016	0.004459	0.004064
F5	AOGAs	499.002	498.7487	498.995	0.02965
	AONGAs	499.002	498.9513	498.9986	0.008697
F6	AOGAs	1.1379	0.0198	0.396252	0.311181
	AONGAs	1.0216	0	0.285911	0.230231
F7	AOGAs	837.9579	831.0488	836.8491	1.276953
	AONGAs	837.9553	835.1147	837.5234	0.470111
F8	AOGAs	0.17887	0.0039	0.078356	0.041779
	AONGAs	0.1688	0.00292	0.067952	0.040068
F9	AOGAs	0.99754	0.97791	0.994613	0.005078
	AONGAs	0.99754	0.97659	0.994609	0.005549
F10	AOGAs	1.32323	0.24276	0.811538	0.247419
	AONGAs	1.34145	0.24159	0.791252	0.247334

ตารางที่ 8.27 ผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธี

AOGAs และ AONGAs

ฟังก์ชัน	อัลกอริทึมที่ใช้ทดสอบ	ค่ามากที่สุด	ค่าน้อยที่สุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
F1	AOGAs	1.27	0.219997	0.4362	0.178222
	AONGAs	1.59	0.489998	0.8307	0.274933
F2	AOGAs	1.04	0.220001	0.4648	0.174057
	AONGAs	1.870003	0.49	0.8785	0.274901
F5	AOGAs	8.02002	2.04	3.6681	1.259551
	AONGAs	10.98999	2.8	4.7423	1.72326
F6	AOGAs	1.04	0.27	0.4813	0.17336
	AONGAs	1.92	0.5	0.8697	0.297717
F7	AOGAs	6.76001	1.43	2.4703	0.879517
	AONGAs	9.72	2.47	4.3961	1.611268
F8	AOGAs	7.14	2.14	3.873	1.295038
	AONGAs	19.45	5.82001	10.1202	3.427778
F9	AOGAs	7.03	1.76	2.9763	0.904183
	AONGAs	9.56	2.41	4.4972	1.646831
F10	AOGAs	5.87	1.81	3.1264	1.048892
	AONGAs	19.66998	5.94	9.7615	3.277073

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8.3.4 วิธีแชร์ริงอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดกำลังการผลิต

วิธีแชร์ริงอัลกอริทึมได้ถูกวิจัยค้น <sup>5</sup> ผู้วิจัย แก้ปัญหาการออกแบบฟังก์ชันการปรับ โทษ และแฟกเตอร์การปรับ โทษที่เหมาะสม สำหรับการปรับ โทษสมการการผลิต ไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการ โหลดรวมถึงความสูญเสียในระบบส่ง การแก้ไขปัญหาการออกแบบดังกล่าวจะช่วยลดขั้นตอนการออกแบบและลดผลกระทบจากการออกแบบที่ไม่เหมาะสมต่อพฤติกรรมการณ์หาค่าตอบของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึม ที่ตามมาได้เป็นอย่างมาก เช่นผลของการเพิ่มจำนวนกลุ่มประชากร, ผลของการเกิดชุด โคร โมโซมที่ตีมากเกินไป (ซูเปอร์อินดิวิดวล), ผลของการลู่เข้าที่เร็วเกินไป, ผลของลักษณะปัญหาที่มีฟังก์ชันเป้าหมายหลายชุด และการค้นหาคำตอบที่ไม่จำเป็นจากฟังก์ชันการปรับ โทษ

ในช่วงเริ่มต้นของการคำนวณด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมนั้น จะต้องออกแบบและจัดสร้างกลุ่มของประชากรเริ่มต้น โดยที่จำนวนของประชากรทั้งหมดจะต้องถูกกำหนดขึ้นในช่วงนี้ การกำหนดจำนวนของประชากรนั้นถึงแม้ว่าจะไม่มีสูตรการคำนวณที่ชัดเจน แต่โดยทั่วไปก็สามารถพิจารณาได้จากความซับซ้อนของปัญหา นั่นคือถ้าปัญหามีความซับซ้อนสูงมากทำให้พื้นที่คำตอบมีความซับซ้อนตลอดทุกช่วง การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งพิกัดคำตอบเพียงเล็กน้อยทำให้คำตอบที่ได้เปลี่ยนแปลงอย่างฉับพลัน และมีพื้นที่คำตอบที่อยู่มากมาย เช่นดังพื้นที่คำตอบดังรูปที่ดังนั้นการกำหนดค่าจำนวนของประชากรที่น้อยเกินไป ทำให้ในแต่ละชุด โคร โมโซมเริ่มต้นที่สุ่มนั้นไม่สามารถเป็นตัวแทนที่สะท้อนความแตกต่างในพื้นที่คำตอบได้มากนัก ถึงแม้ว่าการสุ่มค่าเริ่มต้นจะมีลักษณะสม่ำเสมอก็ตาม ทำให้การค้นหาคำตอบโดยการปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ เป็นไปด้วยความลำบากมากขึ้น ซึ่งต้องใช้เวลาก่อผลิตรุ่นประชากรจำนวนหลายรุ่นมากขึ้นเพื่อที่จะได้คำตอบที่ดีที่สุดหรือถ้าในเหตุการณ์ที่เลวร้ายที่สุดคือคำตอบสุดท้ายที่ได้ไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด แต่ในกรณีของวิธีแชร์ริงอัลกอริทึมจะช่วยทำให้คำตอบที่ได้ในแต่ละชุด โคร โโมโซม อยู่ภายใต้ข้อจำกัดสมการการผลิตเสมอ ทำให้สามารถลดพื้นที่คำตอบได้เป็นจำนวนหลายเท่าตัว (จากพื้นที่คำตอบที่มีลักษณะ 2 มิติมาสู่พื้นที่คำตอบที่มีลักษณะ 1 มิติ) และสามารถออกแบบจำนวนของประชากรเริ่มต้นให้มีค่าน้อยลงได้ ลดเวลาที่ใช้ในการคำนวณในแต่ละรุ่นประชากรและจำนวนรุ่นประชากร ได้เป็นอย่างมาก อีกทั้งยังค่าที่เที่ยงตรงมากกว่าการใช้ฟังก์ชันการปรับ โทษเป็นตัวชี้้นำการค้นหาคำตอบ

รูปที่ 8.124 และ 8.131 แสดงความแตกต่างระหว่างพื้นที่คำตอบจากการใช้ฟังก์ชันการปรับ โทษ สมการการผลิตไฟฟ้าและการ ใช้วิธีแชร์ริงอัลกอริทึม จะพบว่าพื้นที่คำตอบจากการใช้ฟังก์ชันการปรับ โทษ ยังคงเป็นลักษณะเป็นพื้นที่ผิวขนาดเท่ากับผลคูณของช่วงการผลิตที่เป็นไปได้ของแต่ละหน่วยผลิต (ซึ่งอาศัยเพียงฟังก์ชันปรับ โทษที่เพิ่มเติมเข้ามาปรับเปลี่ยนค่าความเหมาะสม) สำหรับการจ่ายโหลดที่ตำแหน่งความต้องการค่าหนึ่ง แต่สำหรับพื้นที่คำตอบจากวิธีแชร์ริงอัลกอริทึมนั้นจะมีลักษณะคล้ายเส้นคำตอบที่ลากในแนวเส้นทแยงมุมของพื้นที่คำตอบทั้งหมด ดังนั้นการค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีแชร์ริงอัลกอริทึมทำให้พื้นที่คำตอบทั้งหมดหดตัวลงมาสู่พื้นที่คำตอบที่อยู่ภายใต้ข้อจำกัดสมการการผลิตไฟฟ้าโดยตรง ซึ่งจะช่วยลดการค้นหาคำตอบที่ไม่จำเป็นได้เป็นอย่างมาก

ข้อเสียของการออกแบบใช้ฟังก์ชันการปรับ โทษที่ไม่เหมาะสมนั้น ยังมีผลกับค่าความเหมาะสมที่ได้ในแต่ละชุด โครโมโซม เนื่องจากขบวนการทางพันธุศาสตร์ที่ดำเนินไปโดยอาศัยการสุ่มนั้นทำให้ค่ากำลังการผลิตจากการถอดรหัสนั้นอาจมีผลรวมที่สูงมากหรือต่ำมากเกินไปจนเกินกว่าค่าความต้องการโหลด และค่าความสูญเสียในระบบส่ง ทำให้ค่าการปรับโทษมีค่าสูงมาก ซึ่งเมื่อรวมกับค่าผลรวมต้นทุนราคาเชื้อเพลิง ทำให้ค่าความเหมาะสมของชุด โครโมโซมนั้นมีค่าต่ำกว่าค่าจากชุด โครโมโซมอื่นมากเกินไป ทำให้กลุ่มประชากรเกิดสถานะที่มีความแตกต่างของค่าความเหมาะสมในระดับสูงมาก หรือมีชุดโครโมโซมบางชุดที่มีค่าความเหมาะสมดีมากเกินไป ทำให้ขบวนการคัดเลือกชุด โครโมโซมค้นแบบได้รับอิทธิพลจากชุด โครโมโซมดังกล่าว ซึ่งส่งผลให้เกิดความสูญเสียความหลากหลายในทางพันธุศาสตร์ของกลุ่มประชากรอย่างรวดเร็ว และท้ายที่สุดชุดโครโมโซมเหล่านั้นก็จะถูกคัดเลือกให้เป็นชุดโครโมโซมค้นแบบเป็นจำนวนมาก และเกิดสถานะการลู่ที่เข้าที่เร็วมากเกินไป อีกทั้งคำตอบที่ได้ก็ไม่ใช่ว่าคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหานั้น

ถ้าพิจารณาตัวอย่างของฟังก์ชันการปรับ โทษสมการการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการโหลดและความสูญเสียในระบบส่งดังสมการที่ 6.2 พบว่าฟังก์ชันของค่าความเหมาะสมประกอบไปด้วยเทอมที่สำคัญ 2 ส่วนคือเทอมจากฟังก์ชันเป้าหมายหลักหรือฟังก์ชันสมการผลรวมต้นทุนราคาเชื้อเพลิง และเทอมจากฟังก์ชันการปรับโทษจากความแตกต่างระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตขึ้นและกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริงจากความต้องการ โหลดและความสูญเสียในระบบส่ง โดยถ้าการออกแบบฟังก์ชันปรับ โทษและแฟลคเตอร์ค่าน้ำหนักไม่เหมาะสมจะทำให้อัลกอริทึมเกิดความยุ่งยากในการค้นหาคำตอบที่สะท้อนถึงลักษณะของฟังก์ชันเป้าหมายที่ต้องการอย่างแท้จริง โดยในสมการดังกล่าวนี้ อาจจะพิจารณาได้เป็นฟังก์ชันที่มี 2 เป้าหมาย ซึ่งจำเป็นต้องใช้แฟลคเตอร์ค่าน้ำหนักในการปรับแต่งอิทธิพลของแต่ละฟังก์ชันเป้าหมายเพื่อให้ค่าความเหมาะสมที่ได้เป็นตัวแทนการค้นหาคำตอบที่ต้องการได้อย่างถูกต้อง อีกทั้งถ้าพิจารณาค่าความเหมาะสมที่ได้จากฟังก์ชันดังกล่าวพบว่าในบางกรณีนั้น ค่าความเหมาะสมไม่ได้สะท้อนถึงค่าผลรวมของต้นทุนราคาเชื้อเพลิงหรือค่าความผิดพลาดจากสมการการผลิตไฟฟ้า ค่าความเหมาะสมบางค่าที่เท่ากันอาจได้จากค่าจากเทอมทั้งสองที่แตกต่างกัน ซึ่งวิธีเจเนติกอัลกอริทึมไม่สามารถแยกแยะความแตกต่างนี้ได้ด้วยตัวเอง และจะส่งผลกระทบโดยตรงกับพฤติกรรมในการค้นหาคำตอบ เนื่องจากลักษณะของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมที่ใช้เพียงค่าความเหมาะสมในขบวนการทางพันธุศาสตร์

วิธีการแบ่งกำลังการผลิตแบบสุ่ม (วิธีแรนด้อมอัลกอริทึม) ที่พัฒนาขึ้น จะจัดกรกับข้อจำกัดสมการการผลิตไฟฟ้าก่อนที่จะประเมินหาค่าความเหมาะสมของแต่ละชุด โครโมโซม ซึ่งทำให้แน่ใจได้ว่าค่ากำลังการผลิตในแต่ละชุด โครโมโซมมีค่าถูกต้องตามข้อจำกัดดังกล่าว ทำให้ไม่ต้องใช้เทอมสมการปรับ โทษเพิ่มเติม ซึ่งสามารถใช้ฟังก์ชันค่าความเหมาะสมที่แท้จริงของปัญหาการจัดกำลังการผลิตได้ โดยมีเพียงฟังก์ชันผลรวมต้นทุนราคาเชื้อเพลิงเท่านั้น จากลักษณะฟังก์ชันความเหมาะสมนี้จะมีค่าเป็นสัดส่วน โดยตรงกับต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมจากวิธีการจัดกำลังการผลิตที่ถอดรหัสมาจากชุดโครโมโซม โครโมโซมชุดใดแสดงวิธีการจัดกำลังการผลิตที่ดีกว่าก็จะมีค่าความเหมาะสมมากกว่า ทำให้การค้นหาคำตอบของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมหรือวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมมุ่งไปสู่การค้นหาคำตอบที่

ให้ค่าผลรวมกำลังการผลิตที่ต่ำที่สุดโดยตรง และทำให้ ประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบโดยรวมสูงขึ้น

ผลลัพธ์ที่สนับสนุนสมมุติฐานดังกล่าวแสดงไว้ในตารางที่ 8.12 ซึ่งพบว่าสำหรับวิธีเจเนติก อัลกอริทึมถึงแม้ว่าจะใช้ตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูงและให้ผลลัพธ์การจัดกำลัง การผลิตที่มีค่าผลรวมต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ต่ำกว่า แต่ก็ไม่สามารถจัดกำลังการผลิตให้เกิดความสมดุล ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ผลิตและกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริงได้ แต่ในกรณีที่ใช้วิธีแชร์ริงอัลกอริทึมพบว่าสามารถ จัดกำลังการผลิตที่เกิดความสมดุลของกำลังงานไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี โดยที่ค่าผลรวมต้นทุนราคา เชื้อเพลิงที่ได้เป็นค่าที่ดีที่สุดสำหรับค่าความต้องการ โหลด ณ. ขณะนั้น อีกทั้งเวลาที่ใช้ในการคำนวณยังมีค่าน้อยกว่าวิธีที่ไม่ใช้วิธีแชร์ริงอัลกอริทึม ทั้งนี้วิธีที่ใช้วิธีแชร์ริงอัลกอริทึมจะลดการค้นหาคำตอบที่ จำเป็นหรือคำตอบที่ไม่เข้าเงื่อนไขข้อจำกัดการผลิตไฟฟ้า ทำให้จำนวนพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ลดลง เป็นอย่างมากนั่นเอง โดยการทดลองดังกล่าวกำหนดให้มีจำนวนของประชากรมีค่าเท่ากัน พฤติกรรม ของการค้นหาคำตอบแสดงไว้ดังรูปที่ 8.130 ซึ่งพบว่าการจัดกำลังการผลิตโดยใช้วิธีแชร์ริงอัลกอริทึม สามารถเข้าสู่คำตอบที่ถูกต้องได้รวดเร็วกว่า โดยที่ความถูกต้องของคำตอบที่ได้จากทั้งสองวิธีสามารถ เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีโคเนมิก โปรแกรมนิ่ง ซึ่งพบว่าคำตอบที่ได้จากวิธีแชร์ริงอัลกอริทึมมี ลักษณะใกล้เคียงกัน

### 8.3.5 วิธีโคเนมิกโปรแกรมนิ่งสำหรับการจัดกำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์

วิธีโคเนมิก โปรแกรมนิ่งเป็นวิธีหนึ่งซึ่งนำมาใช้แก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมในลักษณะต่างๆ แทนการใช้วิธีทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ค่าเกรเดียนต์เป็นแนวทางการค้นหาคำตอบได้เป็นอย่างดี เนื่องจาก วิธีนี้ใช้การค้นหาคำตอบจากเส้นทางการคัดเลือกที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด โดยแบ่งช่วงของคำตอบออกเป็น ชั้น และคำนวณวนรอบจนกระทั่งได้คำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งจากลักษณะดังกล่าวทำให้วิธี โคเนมิก โปรแกรมนิ่งสามารถนำมาใช้แทนวิธีทางคณิตศาสตร์ได้อย่างเหมาะสมในบางปัญหา เช่น ปัญหาข้อจำกัดทาง คณิตศาสตร์ หรือการคำนวณค่าเกรเดียนต์ที่ซับซ้อนมากเกินไป

ปัญหาการจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์นับว่าเป็นปัญหาหนึ่งซึ่งมีความยุ่งยาก ในการคำนวณเมื่อลักษณะกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงไม่อยู่ภายใต้ข้อจำกัดของการคำนวณทาง คณิตศาสตร์ วิธีโคเนมิก โปรแกรมนิ่งนั้นสามารถนำมาพัฒนาใช้แก้ปัญหานี้ได้เป็นอย่างดี โดยมี คุณสมบัติที่พิเศษคือความสามารถในการคำนวณการจัดกำลังการผลิต โดย ไม่ขึ้นกับลักษณะกราฟต้นทุน ราคาเชื้อเพลิง ที่อาจมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ ตลอดช่วงกำลังการผลิต

จุดด้อยของวิธีโคเนมิก โปรแกรมนิ่งโดยทั่วไปนั่นคือเวลาที่ต้องใช้ในการคำนวณหาคำตอบ ทั้งนี้เนื่องจากวิธีดังกล่าวมีพื้นฐานจากการแบ่งช่วงกำลังการผลิตเป็นขั้นย่อย และทำการคำนวณวนรอบ ช่วงการผลิตตามขั้นการผลิตนั้น ทำให้เมื่อนำไปใช้แก้ปัญหาที่มีขนาดที่ใหญ่ขึ้น ต้องใช้เวลาการคำนวณ ที่สูงขึ้นตาม ซึ่งจากงานวิจัยทั่วไปพบว่าเวลาที่ใช้ในการคำนวณจะเพิ่มขึ้นในลักษณะเอ็ก โปเนนเชียล

[19, 37, 40]

การปรับปรุงประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบด้วยวิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่งที่สำคัญคือการใช้เทคนิคการปรับซุม [40, 78] ซึ่งใช้การคำนวณจากจำนวนเริ่มต้นที่มีค่ากว้างและถูกปรับเปลี่ยนให้ลดลง (ปรับซุม) ตามรอบการคำนวณ ซึ่งจะช่วยให้ลดเวลาและหน่วยความจำในการคำนวณได้ลงเป็นอย่างมาก ดังรายละเอียดการทำงานที่แสดงไว้ในบทที่ 3 ซึ่งจากลักษณะการปรับซุมดังกล่าวเมื่อนำมาใช้ในการคำนวณการจัดกำลังการผลิตสามารถช่วยลดเวลาในการคำนวณได้เป็นอย่างมาก [40] งานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้วิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่งร่วมกับเทคนิคการปรับซุม เพื่อใช้เป็นคำตอบอ้างอิงสำหรับการเปรียบเทียบผลลัพธ์การคำนวณจากวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีนิซซึ่งเจเนติกอัลกอริทึม ซึ่งผลลัพธ์จากการคำนวณการจัดกำลังการผลิตสำหรับระบบไฟฟ้าที่แตกต่างกัน แสดงไว้ในตารางที่ 8.12, 8.16, และ 8.18

วิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่งเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการคำนวณการจัดกำลังการผลิต แต่เมื่อนำมาใช้กับปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงและมีจุดยอดหลายจุด จะต้องพึงระวังเรื่องการสภาวะการค้นหาในกรณีที่ปัญหามีจุดยอดที่ให้ค่าใกล้เคียงกันมาก จำนวนหลายจุด ซึ่งมีโอกาสเป็นไปได้ที่จะทำให้วิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่งเลือกพื้นที่ใกล้จุดยอดที่ไม่เหมาะสมก่อนเริ่มขบวนการซุม โดยถ้าขอบเขตของการซุมที่มีค่าไม่มากพอ อาจส่งผลให้คำตอบที่ได้มีค่าไม่ถูกต้อง

การลดผลของปัญหาดังกล่าวสามารถกระทำได้โดยการพยายามแบ่งขั้นการคำนวณเริ่มต้นให้มีขนาดเล็กลง โดยถ้าลำดับขั้นเริ่มต้นมีค่าสูง ทำให้วิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่งมีโอกาสที่ทำให้เกิดข้อผิดพลาดจากการแชนปลิ่งได้สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ปัญหามีความซับซ้อนสูงและมีจุดยอดหลายจุด โดยถ้ายังพยายามแบ่งขั้นการคำนวณให้น้อยลงมากเท่าไร ก็จะทำให้ต้องใช้เวลาสูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งอาจจะขัดแย้งกับแนวคิดของการปรับซุมที่ต้องการลดเวลาที่ใช้ในการคำนวณลง

สิ่งหนึ่งที่ควรระวังในการนำวิธีโคเนมิกมาใช้ในการคำนวณการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้า คือการปรับค่าขั้นการผลิตให้มีค่าที่เหมาะสม โดยคำนึงถึงช่วงกำลังการผลิตของแต่ละหน่วยผลิตที่เป็นไปได้ จากค่าอัตรากำลังการผลิตที่เพิ่มขึ้น/ลดลง และขีดจำกัดการผลิต ไฟฟ้าของแต่ละหน่วยผลิต ขั้นกำลังการผลิตจะต้องมีค่าน้อยกว่าช่วงการผลิตที่เป็นไปได้น้อยที่สุดจากหน่วยผลิตทั้งหมด

### 8.3.6 วิธีเจเนติกอัลกอริทึมและนิซซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ในลักษณะสแตติก

จากการทดสอบการจัดกำลังการผลิตในลักษณะสแตติกสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดเล็กกลาง และระบบไฟฟ้ากำลังจริง พบว่าโดยรวมแล้ววิธีวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีนิซซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถให้แนวการจัดกำลังการผลิตที่ใกล้เคียงกับผลที่ได้รับจากวิธีโคเนมิก โปรแกรมมิ่ง โดยค่าที่ได้มีความผิดเพี้ยนไปจากผลของการเข้ารหัสแบบดิสคริต ผลของตำแหน่งการแชนปลิ่งค่าช่วงกำลังการผลิต และผลของพฤติกรรมการค้นหาคำตอบ โลคอล (Local Search) ด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึมซึ่งมีประสิทธิภาพไม่ดิ่ง

การพิจารณาพฤติกรรมการค้นหาคำตอบที่ถูกต้องเป็นสิ่งที่จะทำให้มีความเข้าใจต่อการทำงานของอัลกอริทึม ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการปรับปรุงการทำงานของให้ดีขึ้น การทดสอบการจัดกำลังการผลิตสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังที่มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วยผลิตจะทำให้เข้าใจถึงพฤติกรรมดังกล่าวในลักษณะที่สามารถมองเห็นได้ในพื้นที่รูปร่าง 3 มิติ รูปที่ 8.124 (บน-ขวา) แสดงพื้นที่คำตอบทั้งหมดของปัญหาการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่มี 2 หน่วยผลิต และการกระจายตัวของชุดโครโมโซมในลักษณะฟีโนไทป์ ในกลุ่มประชากรในรุ่นแรก โดยวิธีเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับวิธีแร็งอัลกอริทึม พบว่าจากผลของการสุ่มค่าเริ่มต้นแบบสุ่มเสมอ ชุดคำตอบหรือค่าที่ได้จากแต่ละชุดโครโมโซมมีการกระจายตัวตลอดช่วงเส้นคำตอบ และชุดคำตอบที่ดีที่สุดในรอบการคำนวณแรกนั้นจะอยู่ในพื้นที่จุดต่ำสุดโลก และเมื่อการคำนวณสิ้นสุดลงพบว่าคำตอบที่ดีที่สุดเป็นคำตอบโกลบอลที่มีความถูกต้อง ดังรูป 8.124 (ล่าง-ซ้าย) ซึ่งจากการทดสอบในลักษณะเดียวกันด้วยวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึม คำตอบที่ดีที่สุดที่ได้รับจะเป็นคำตอบโกลบอลเช่นเดียวกัน โดยจะมีกลุ่มประชากรย่อยกระจายอยู่ในกลุ่มของคำตอบโลก ดังรูปที่ 8.124 (ล่าง-ขวา) ทั้งนี้เป็นคุณสมบัติของวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมเองที่พยายามรักษากลุ่มคำตอบที่ดี (คำตอบโลก) ไว้ตลอดการสร้างประชากรรุ่นใหม่

เทคนิคการปรับความน่าจะเป็นในการผ่าเหล่าโดยอัตโนมัติไม่นำมาใช้ในปัญหาการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าโดยใช้วิธีแร็งอัลกอริทึม ทั้งนี้เนื่องจาก เทคนิคดังกล่าวต้องใช้การคำนวณหาความเหมาะสมของชุดโครโมโซมลูกชุดใหม่ ทำให้ต้องใช้เวลาในการคำนวณสูงขึ้น โดยไม่จำเป็นเนื่องจากผลของการแลกเปลี่ยนยีนก่อนหน้านั้น อาจส่งผลทำให้ชุดโครโมโซมจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าไม่สมดุลย์ เทคนิคการผ่าเหล่ายีนแบบกระโดดถูกนำมาใช้แทนวิธีดังกล่าว ซึ่งจากการทดสอบการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าขนาดกลางและขนาดใหญ่พบว่าผลลัพธ์ที่ได้ยังมีค่าที่ดี ซึ่งจะลดเวลาในการคำนวณลงได้เป็นอย่างมาก อีกทั้งวิธีการผ่าเหล่ายีนแบบกระโดดจะช่วยทำให้การเข้าสู่คำตอบที่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อยได้ดี เนื่องจากวิธีนี้ใช้การสุ่มค่าในลักษณะฟีโนไทป์แทนการสุ่มค่าในลักษณะเจโนไทป์ดังวิธีที่ใช้โดยทั่วไป

สำหรับการทดสอบระบบไฟฟ้ากำลังขนาดกลาง IEEE 118 Bus และระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ THA 424 Bus พบว่าเมื่อทำงานร่วมกับวิธีแร็งอัลกอริทึม วิธีเจเนติกอัลกอริทึมและนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมสามารถจัดกำลังการผลิตได้เป็นอย่างดี ผลลัพธ์ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกับวิธีโคเนมิดโปรแกรมมิ่ง ดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 8.16 และ 8.18 โดยที่ระบบทดสอบความสูญเสียในระบบส่งประมาณ 3 %

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึม พบว่าส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกันมาก ค่าผลลัพธ์ต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ดีที่สุดและค่าเฉลี่ยต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ได้ของทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเมื่อทดสอบระบบ IEEE 118 Bus ด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมจะมีค่าน้อยกว่าการทดสอบระบบ THA 424 Bus ทั้งนี้เมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ เช่นขนาดของกลุ่มประชากรมีจำนวนเท่ากัน โดยผลการเปรียบเทียบแสดงไว้ตารางที่ 8.28 – 8.29

### 8.3.6 วิธีเจเนติกอัลกอริทึมและนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับการจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ในลักษณะไดแนมิก

สำหรับการทดสอบการจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ในลักษณะไดแนมิก เริ่มต้นจากการทดสอบระบบไฟฟ้ากำลังขนาดเล็ก IEEE 30 Bus โดยจำลองให้มีหน่วยผลิตไฟฟ้า 2 หน่วย ที่ตำแหน่งบัสที่ 1 และ บัสที่สอง 2 ตามลำดับ สภาวะเริ่มต้นของระบบมีค่าความต้องการโหลด 806.75 เมกกะวัตต์ และค่าความสูญเสียในระบบส่งประมาณ 2.8% และข้อมูลที่ใช้ในการผลิตเป็นข้อมูลของหน่วยผลิตที่ 5 และ 6 ตามลำดับ โดยคำนึงถึงผลของช่วงการผลิตต้องห้าม ผลลัพธ์ที่ได้แสดงไว้อย่างละเอียดในตารางที่ 8.20 และ 8.21 และพฤติกรรมการลู่เข้าสู่ค่าตอบแสดงไว้ในรูปที่ 8.167-8.176

รูปที่ 8.167 แสดงลักษณะของช่วงกำลังการผลิตต้องห้ามที่มีผลต่อพื้นที่คำตอบ รูปที่ 8.168 แสดงการเปรียบเทียบค่าต้นทุนกำลังการผลิตรวมกับค่าความต้องการโหลด ซึ่งพบว่าวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมจะให้ค่าแนวหาสภาวะการผลิตที่มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุด โดยมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าโหลดที่คาดการณ์ ซึ่งจากรูปดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ณ ตำแหน่งเริ่มต้น ยังเป็นตำแหน่งที่มีต้นทุนการผลิตที่ยังมีค่าไม่ต่ำที่สุด รูปที่ 8.171 และ 8.172 แสดงให้เห็นลักษณะการปรับกำลังการผลิตของหน่วยผลิตในแต่ละคาบเวลา

เงื่อนไขการจัดกำลังการผลิตในลักษณะไดแนมิกทำให้สามารถจัดการกับผลของการเปลี่ยนแปลงโหลดอย่างรวดเร็วได้เป็นอย่างดี เมื่อร่วมกับผลการคาดการณ์โหลดล่วงหน้า สามารถนำมาใช้การวางแผนการผลิตเพื่อป้องกันสภาวะที่หน่วยผลิตไฟฟ้าไม่สามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้ทันตามความต้องการ การทดสอบระบบ THA 424 Bus แสดงให้เห็นว่าวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมสามารถวางแผนการผลิตเมื่อโหลดมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้การปรับเปลี่ยนการผลิตจะอยู่ภายใต้ข้อจำกัดการเพิ่ม/ลดกำลังการผลิตไฟฟ้า ผลลัพธ์การจัดกำลังการผลิตของระบบ IEEE 118 Bus และ THA 424 Bus แสดงไว้ในตารางที่ 8.23 และ 8.24 ตามลำดับ และพฤติกรรมการลู่เข้าสู่ค่าตอบจากตำแหน่งการสุ่มค่าเริ่มต้นที่ต่างกัน แสดงไว้ในรูปที่ 8.183-8.192 และรูปที่ 8.186-8.195 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบผลของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึม พบว่าส่วนใหญ่มีค่าใกล้เคียงกันมาก ค่าผลลัพธ์ต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ดีที่สุดและค่าเฉลี่ยต้นทุนราคาเชื้อเพลิงที่ได้ของทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมจะมีค่าน้อยกว่าวิธีเจเนติกอัลกอริทึม เมื่อทดสอบระบบ IEEE 118 และระบบ THA 424 Bus ทั้งนี้เมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ เช่นขนาดของกลุ่มประชากรมีจำนวนเท่ากัน

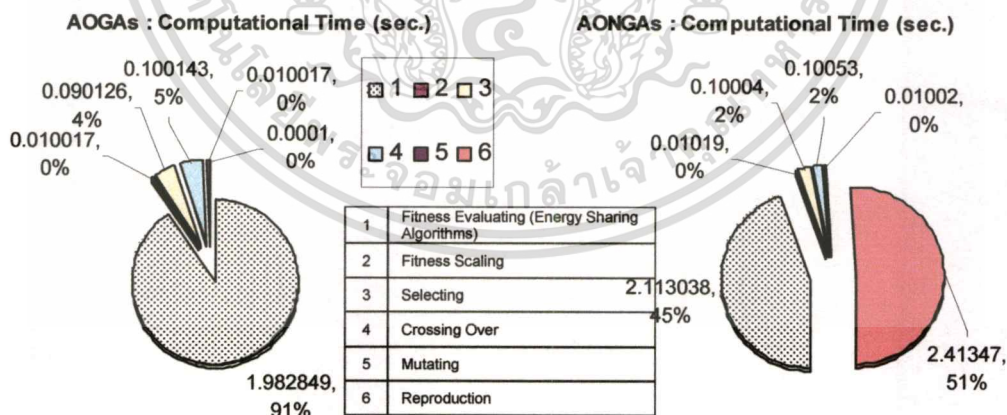
เวลาที่ใช้ในการคำนวณของวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมเป็นไปตามลักษณะที่คาดการณ์ไว้ กล่าวคือจะมีค่ามากกว่าวิธีเจเนติกอัลกอริทึม เนื่องจากผลของการปรับเปลี่ยนชุดโครโมโซมอย่างซ้ำๆ และผลของการรักษาพื้นที่คำตอบที่ดี การคำนวณในช่วงการสร้างกลุ่มประชากรรุ่นใหม่จะใช้เวลามากขึ้นหลายหมื่นเท่าตัว ดังรูปที่ 8.203 ทั้งนี้เนื่องจากวิธีฮีเทอร์มินนิสติกคร่าวๆต้องคำนวณหาค่าความเหมาะสมของชุดโครโมโซมลูกใหม่ทั้ง 2 ชุด ก่อนที่จะนำไปแทนชุดโครโมโซมพ่อแม่ที่เหมาะสม

ตารางที่ 8.28 ผลการเปรียบเทียบค่าผลลัพธ์จากการทดสอบการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าด้วยวิธี AOGAs และ AONGAs

ปัญหา	อัลกอริทึมที่ใช้ทดสอบ	ค่ามากที่สุด	ค่าน้อยที่สุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
IEEE118B-S	AOGAs	12510619.00	12488250.44	12.47322	0.00146
	AONGAs	12474515.06	12470363.00	12.49880	0.00451
THA424B-S	AOGAs	1088687.35	1092762.83	1089684.01	5.5E-04
	AONGAs	1088441.17	1088115.08	1088224.57	6.58484E-07
IEEE118B-D	AOGAs	3110163.88	3110163.88	3131253.33	0.133443
	AONGAs	3122428.75	3114783.10	3122416.67	0.019372
THA424B-D	AOGAs	279555.59	279195.74	279396.33	65.69492
	AONGAs	279491.95	279271.91	279407.77	54.21002

ตารางที่ 8.29 ผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณจากการทดสอบการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าด้วยวิธี AOGAs และ AONGAs

ปัญหา	อัลกอริทึมที่ใช้ทดสอบ	ค่ามากที่สุด	ค่าน้อยที่สุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
IEEE118B-S	AOGAs	13.17108	4.75989	7.081827	1.418373
	AONGAs	37.1246	8.22567	16.90093	6.457319
THA424B-S	AOGAs	98.85205	32.03285	49.82477	14.83764
	AONGAs	275.3403	64.69714	104.2362	35.71241
IEEE118B-D	AOGAs	357.0537	81.07666	140.1988	47.67721
	AONGAs	534.1055	63.73058	153.0965	92.79692
THA424B-D	AOGAs	1095.205	252.4512	438.959	145.6148
	AONGAs	1536.586	451.132	913.0936	299.5487



รูปที่ 8.203 เวลาที่ใช้ในการคำนวณในการทำงานภายในวิธีเจเนติกและนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมจากการคำนวณการจัดกำลังผลิตไฟฟ้าในลักษณะไดนามิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 9

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากสมมติฐานเริ่มต้นในงานวิจัยที่ต้องการค้นคว้าหากรรมวิธีการจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์แบบใหม่ซึ่งสามารถรองรับกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงได้ในทุกรูปแบบ โดยมีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบได้อย่างถูกต้อง ถึงแม้ว่าปัญหาที่มีความซับซ้อนสูง และมีจุดยอดคำตอบหลายจุด วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการคำนวณการจัดกำลังการผลิตทั้งในลักษณะสแตติกและไดนามิกโดยละเอียด โดยนำเสนอวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูงมาใช้เป็นอัลกอริทึมหลัก อีกทั้งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ยังได้นำเสนอเทคนิคการคำนวณที่ได้ผ่านการวิจัยและพัฒนาให้เหมาะสมสำหรับการจัดการข้อจำกัดในการผลิตไฟฟ้าที่มีอยู่ในหลายรูปแบบ เช่นวิธีแซร์ริงอัลกอริทึม และเทคนิคการเข้ารหัสให้รองรับข้อจำกัดการผลิตไฟฟ้า เป็นต้น

วิธีเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมมีการทำงานที่แตกต่างจากวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์แบบเดิม หรือศาสตร์การคำนวณแบบอื่นวิธีอื่น เจเนติกอัลกอริทึมจะสามารถจัดการกับข้อจำกัดความไม่เป็นเชิงเส้นและความไม่ต่อเนื่องของฟังก์ชันเป้าหมายได้โดยอาศัยเทคนิคของการเข้ารหัส, การคัดเลือกทางธรรมชาติ และขบวนการพันธุศาสตร์ทางธรรมชาติ แทนการใช้เทคนิคการคำนวณจากค่าเกรเดียนต์ซึ่งมีความยุ่งยากซับซ้อนและมีข้อจำกัดในการใช้งานเมื่อนำมาใช้แก้ปัญหาการจัดกำลังการผลิต วิธีเจเนติกอัลกอริทึมสามารถที่จะแก้ไขปัญหามีข้อจำกัดทั้งในลักษณะสมการและอสมการได้ดีกว่าโดยไม่ต้องใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์หรือเทคนิคการปรับโทซในทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจากผลการวิเคราะห์ระบบมาตรฐานที่ใช้ทดสอบ พบว่าวิธีเจเนติกสามารถให้ผลลัพธ์ในลักษณะจุดที่เหมาะสมที่สุดหรือจุดที่ใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีของไดนามิกโปรแกรมมิ่ง

วิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมมีการทำงานพื้นฐานคล้ายกับวิธีเจเนติกอัลกอริทึม แต่มีความแตกต่างในส่วนของขบวนการสร้างกลุ่มประชากรใหม่ ที่อาศัยแนวคิดของการแข่งขันแย่งชิงทรัพยากรในบริเวณพื้นที่หนึ่ง มาจำลองเป็นอัลกอริทึมที่ทำงานบนคอมพิวเตอร์ และจากผลการทดสอบที่ได้พบว่าวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึมมีประสิทธิภาพในการคำนวณที่สูงกว่า โดยมีความแข็งแกร่ง (Robustness) ในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดจากสถานะเริ่มต้นที่แตกต่างกัน อีกทั้งยังสามารถคำนวณหาคำตอบที่ถูกต้องได้ดีมากกว่าวิธีเจเนติกอัลกอริทึมโดยทั่วไป แต่เนื่องจากวิธีเจเนติกอัลกอริทึมอาศัยการแทนที่ชุดโครโมโซมลูกจากชุดโครโมโซมพ่อแม่ ที่ใกล้เคียงกันที่สุด ทำให้จำเป็นต้องใช้เวลาในการคำนวณสูงขึ้นกว่าวิธีเจเนติกอัลกอริทึม

วิธีเจเนติกและวิธีนิชซึ่งเจเนติกอัลกอริทึม โดยพื้นฐานแล้วยังมีจุดด้อยในเรื่องการออกแบบขนาดของชุดโครโมโซมและขนาดกลุ่มประชากรที่ใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อนำไปใช้คำนวณกับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ หรือปัญหาที่มีจำนวนตัวแปรควบคุม (ตัวแปรที่ต้องการหาคำตอบของปัญหานั้น) มาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้ต้องใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่สูงขึ้น ดังนั้นการออกแบบลักษณะชุดโครโมโซม, ฟังก์ชันเป้าหมาย และสมการค่าความเหมาะสม ให้มีความเหมาะสมและสะท้อนถึงผลลัพธ์การคำนวณที่ต้องการโดยตรง เป็นสิ่งที่สำคัญเป็นอย่างยิ่ง

ประเด็นที่สำคัญอีกประเด็นหนึ่งเมื่อใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมหรือแม้กระทั่งวิธีวิซิงเจเนติกอัลกอริทึมในการคำนวณหาคำตอบการจัดกำลังการผลิต คือความไม่แน่นอนของคำตอบที่ได้รับ ทั้งนี้เนื่องจากวิธีเจเนติกอัลกอริทึมมีพื้นฐานมาจากการสุ่มค่าหรือความน่าจะเป็นทางธรรมชาติ และการทำงานบนคอมพิวเตอร์ก็จะใช้การคำนวณการสุ่มค่าเลขแทนพฤติกรรมทางธรรมชาติดังกล่าว ในความเห็นของผู้เขียนนั้น การนำวิธีเจเนติกอัลกอริทึมไปประยุกต์ใช้ในการคำนวณกับปัญหาต่างๆ ต้องพึงระวังเรื่องผลกระทบความไม่แน่นอนของคำตอบดังกล่าว

การปรับปรุงประสิทธิภาพของการจัดกำลังการผลิตที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึมสามารถแบ่งพิจารณาได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนการปรับปรุงการทำงานของขบวนการทางพันธุศาสตร์ และส่วนการปรับปรุงการจัดการกับสมการข้อจำกัดการผลิต รวมถึงการเข้ารหัสค่ากำลังการผลิต

การปรับปรุงการทำงานของตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์สามารถกระทำได้ในหลายวิธี เช่นการปรับเปลี่ยนวิธีการแลกเปลี่ยนรหัสและวิธีการผ่าเหล่ายีนให้มีการทำงานดีขึ้นจากเดิม [9] ลดผลความสูญเสียความหลากหลายทางพันธุศาสตร์ในกลุ่มประชากร ซึ่งนำไปสู่การเข้าสู่คำตอบที่รวดเร็วมากขึ้นไป เช่นการปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นให้เหมาะสม [53] เป็นต้น หรืออาจปรับเปลี่ยนแนวคิดการทำงานทางพันธุศาสตร์หลัก เช่นวิธีคิเทอร์มินนิสติกคราว์ดิง ที่ใช้การแทนที่ชุดโครโมโซมพ่อ-แม่ด้วยชุดโครโมโซมลูกที่เหมาะสม, การเพิ่มความแข็งแรงของอัลกอริทึมจากการคำนวณในสถานะเริ่มต้นต่างๆ ซึ่งนักวิจัยหลายท่านก็ยังคงนำเสนอแนวคิดแบบใหม่ที่ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบของวิธีเจเนติกอัลกอริทึม [9] อย่างต่อเนื่อง

การผสมผสานจุดเด่นของการคำนวณจากอัลกอริทึมต่างๆ เข้าด้วยกัน เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้มีความสามารถในการคำนวณสูงขึ้น โดยการนำวิธีเจเนติกอัลกอริทึมหรือวิธีวิซิงเจเนติกอัลกอริทึมไปใช้ร่วมกับศาสตร์การคำนวณวิธีอื่น เช่นวิธีซิมิวเลชันแอนนิลิ่ง [11, 25] เป็นต้น

การปรับปรุงเทคนิคการจัดการกับสมการข้อจำกัดการผลิตนั้นอาจจะมีการปรับให้มีการคำนวณที่ละเอียดมากขึ้น เช่นการคำนวณความสูญเสียในระบบส่งด้วยวิธีตรง นอกจากนั้นการคิดค้นวิธีการเข้ารหัสแบบใหม่ที่มีชุดโครโมโซมขนาดเล็กลง เป็นสิ่งที่มีมีความสำคัญในการปรับปรุงประสิทธิภาพโดยรวมของวิธีเจเนติกอัลกอริทึมและวิธีวิซิงเจเนติกอัลกอริทึม

เทคนิคการคำนวณโดยใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมเป็นพื้นฐานดังที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอจะมีประโยชน์อย่างยิ่งต่อการคำนวณการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าที่คุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ทั้งในลักษณะสแตติกและไดนามิก ในกรณีที่น่ามาใช้ทดแทนวิธีการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าเดิมที่มีพื้นฐานอยู่บนคณิตศาสตร์ไม่สามารถใช้คำนวณได้ อันเนื่องจากข้อจำกัดหลายประการของลักษณะของกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงในแต่ละหน่วยผลิต อีกทั้งยังสามารถนำอัลกอริทึมการคำนวณดังกล่าวมาใช้ในการ

จัดกำลังการผลิตของหน่วยผลิตไฟฟ้าประเภทอื่นเช่นหน่วยผลิตไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ หน่วยผลิตไฟฟ้าโดยใช้พลังงานชีวมวล หรือใช้เชื้อเพลิงจากกาก เศษวัสดุเหลือทิ้งทางอุตสาหกรรม ร้านจำหน่ายผลิตไฟฟ้าเคมได้ โดยไม่คำนึงถึงลักษณะของต้นทุนกำลังการผลิตผันแปรตลอดช่วงกำลังการผลิต

ทั้งนี้ถ้าอัลกอริทึมที่นำมาใช้ในการคำนวณการจัดกำลังการผลิต ไม่มีข้อจำกัดของลักษณะกราฟต้นทุนกำลังการผลิตตั้งปัจจุบันที่ใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ ส่งผลให้การคำนวณหากราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงสามารถกระทำได้โดยทดสอบและจัดสร้างกราฟต้นทุนราคาเชื้อเพลิงในแต่ละหน่วยผลิตให้อยู่บนพื้นฐานของความเป็นจริงมากที่สุด ปราศจากข้อจำกัดทางคณิตศาสตร์ที่ทำให้รูปกราฟที่นำมาคำนวณบิดเบือนไป ทั้งนี้เพื่อให้รูปแบบการจัดกำลังการผลิตเป็นไปด้วยความถูกต้อง โปร่งใส โดยคำนวณต้นทุนราคาเชื้อเพลิงรวมที่ได้ เป็นค่าที่ต้นทุนที่สะท้อนถึงการเผาผลาญทรัพยากรธรรมชาติที่คุ้มค่าที่สุดอย่างแท้จริง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น 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] Atiff S. Debs. **Modern Power System Control and Operation**. Interim Revised Ed. Atlanta : Decision Systems International. 1996.
- [3] John J. Grainger and William D. Stevenson, Jr. **Power System Analysis**. McGraw-Hill, Inc. 1994.
- [4] Arthur R. Bergen and Vijay Vittal. **Power System Analysis**. 2<sup>nd</sup> Edition. New Jersey : Prentice-Hall, Inc. 2000.
- [5] J. Arrillaga and C. P. Arnold. **Computer Analysis of Power Systems**. Great Britain : John Wiley & Sons, Ltd. 1990.
- [6] Davis E. Goldberg. **Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning**. Reading : Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1989.
- [7] Zbigniew Michalewicz. **Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1992.
- [8] P. D. Wasserman. **Advanced Methods in Neural Computing**. New York : Van Nostrand Reinhold, 1993.
- [9] T. Bäck, U. Hammel, and H. Schewefel. "Evolutionary Computation: Comments on the History and Current State." IEEE Trans. on Evolutionary Computation, vol. 1, no. 1 Apr. 1997, pp. 3-17.
- [10] Y. Song, A. Johns, and R. Aggarwal. **Computational Intelligence Applications to Power Systems**. New York : Science Press, 1996.
- [11] Rado Benc. "Application of Genetic Algorithms to Power Systems." [Online]. Available : <http://members.tripod.com/~ann2ps/ga/index.html> 1997.
- [12] K. Warwick, A. Ekwue and R. Aggarwal. **Artificial Intelligence Techniques in Power Systems**. London : Institution of Electrical Engineers, 1997.
- [13] J. A. Momoh and M. E. El-Hawary. **Electric Systems, Dynamics, and Stability with Artificial Intelligence Applications**. New York, NY : Marcel Dekker, 2000.
- [14] David C. Walters and Gerald B. Sheble. "Genetic Algorithm Solution of Economic Dispatch with Value Point Loading." IEEE Trans. on Power Systems, vol. 8, no. 3, Aug. 1993, pp. 1325-1332.

- [15] Gerald B. Sheble and Kristin Brittig. "Refined Genetic Algorithm – Economic Dispatch Example." *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 10, no. 1, Feb. 1995. pp. 117-124.
- [16] A. Bakirtzis, V. Petridis, and S. Kazarlis. "Genetic Algorithm Solution to the Economic Dispatch Problem." *IEE Proc. Gener. Transm. Distrib.*, vol. 141, no. 4, Jul. 1994. pp. 377-382.
- [17] K. P. Wong and Y. W. Wong. "Genetic and Genetic/Simulated-Annealing Approaches to Economic Dispatch." *IEE Proc. Gener. Transm. Distrib.*, vol. 141, no. 4, Jul. 1994. pp. 507-513.
- [18] F. Li, R. Morgan, D. Williams, and Y. H. Song. "Handling Constrained Power Dispatch with Genetic Algorithms." *IEE Conference of Genetic Algorithms in Engineering Systems*, no. 414, Sep. 1995, pp. 181-187.
- [19] Po-Hung Chen and Hong-Chan Chang. "Large-Scale Economic Dispatch by Genetic Algorithm." *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 10, no. 4, Nov. 1995. pp. 1919-1925.
- [20] S. O. Orero and M. R. Irving. "Economic Dispatch of Generators with Prohibited Operating Zones : a Genetic Algorithm Approach." *IEE Proc. Gener. Transm. Distrib.*, vol. 143, no. 6, Nov. 1996. pp. 529-534.
- [21] Hong-Tzer Yang, Pai-Chuan Yang, and Ching-Lien Huang. "Evolutionary Programming based Economic Dispatch for Units with Non-smooth Fuel Cost Functions." *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 11, no. 1, Feb. 1996. pp. 112-118.
- [22] Y. H. Song and C. S. V. Chou. "Advanced Engineered-Conditioning Genetic Approach to Power Economic Dispatch." *IEE Proc. Gener. Trans. Distrib.*, vol. 144, no. 3, May. 1997. pp. 285-292.
- [23] F. Li, R. Morgan, and D. Williams. "Towards more Cost Saving Under Stricter Ramping Rate Constraints of Dynamic Economic Dispatch Problems – a Genetic based Approach." *IEE Conf. on Genetic Algorithms in Engineering Systems*, no. 446, Sep. 1997, pp. 221-225.
- [24] W. Ongsakul and J. Tippayachai. "Constrained Economic Dispatch by Micro Genetic Algorithm based on Migration and Merit Order Loading Solutions." *Proc. of Int. Conf. on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies*, 2000, pp. 510 –517.
- [25] W. Ongsakul and N. Ruangpayoongsak. "Constrained Dynamic Economic Dispatch by Simulated Annealing/Genetic Algorithms." *IEEE Power Engineering Society Int. Conf. on Power Industry Computer Applications*, 2001 pp. 207 –212.
- [26] Whei-Min Lin, Fu-Sheng Cheng, and Ming-Tong Tsay, "Nonconvex Economic Dispatch by Integrated Artificial Intelligence." *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 16, no. 2, May 2001, pp. 307-311.

- [27] R. W. de Mello and J. C. Westcott. "Economic Characteristic of Power Plants." Power System Scheduling and Operation Course. Power Technologies, Inc. 1984.
- [28] J. R. Reddington. "Consideration of Steam Turbine Value Loops on Unit Performance." Power System Scheduling and Operation Course. Power Technologies, Inc. 1984.
- [29] P. Marannino, G. P. Granelli, M. Montagna, and A. Silvestri. "Different Time-scale Approaches to the Real Power Dispatch of Thermal Units." IEEE Trans. on Power Systems, vol. 5, no. 1, Feb. 1990, pp. 169-174.
- [30] A. H. Noyola, W. M. Grady, and G. L. Viviani. "An Optimized Procedure for Determining Incremental Heat Rate Characteristics." IEEE Trans. on Power Systems, vol. 5, no. 2, May. 1990, pp. 376-383.
- [31] C. Wang and S. M. Shahidepour. "Effects of Ramp-rate Limits on Unit Commitment and Economic Dispatch." IEEE Trans. on Power Systems, vol. 8, no. 3, Aug. 1993, pp. 1341-1350.
- [32] G. Huang and K. Song. "A Simple Two Stage Optimization Algorithm for Constrained Power Economic Dispatch." IEEE Trans. on Power Systems, vol. 9, no. 4, Nov. 1994, pp. 1818-1824.
- [33] R. W. Ferrero and S. M. Shahidepour. "Dynamic Economic Dispatch in Deregulated Systems." Electrical Power & Energy Systems, vol. 19, no. 7, 1997, pp. 433-439.
- [34] D. L. Travers and R. J. Kaye. "Dynamic Dispatch by Constructive Dynamic Programming." IEEE Trans. on Power Systems, vol. 13, no. 1, Feb. 1998, pp. 72-78.
- [35] G. Demartini, G. P. Granelli, P. Marannino, M. Montagna, and M. Ricci. "Co-ordinated Economic and Advance Dispatch Procedures." IEEE Trans. on Power Systems, vol. 11, no. 4, Nov. 1996, pp. 1785-1791.
- [36] A. M. Sasson and H. M. Merrill. "Some Applications of Optimization Techniques to Power System Problems." Proc. of the IEEE, vol. 62, no. 7, Jul. 1971, pp. 959-982.
- [37] R. R. Shoults, S. V. Venkatesh, S. D. Helmick, G. L. Ward, and M. J. Lollar. "A Dynamic Programming based Method for Developing Dispatch Curves when Incremental Heat Rate Curves are Non-monotonically Increasing." IEEE Trans. on Power Systems, vol. PWRS-1, no. 1, Feb. 1986, pp. 10-15.
- [38] J. A. Larson. "Effect of Accuracy Improvement under Uncertainty Economic Dispatch Example." IEEE Trans. on Power Systems, vol. PWRS-2, no. 4, Nov. 1987, pp. 999-1005.
- [39] I. Erkmen and T. Adanir. "A Short-term Load Prediction Algorithm for Dynamic Economic Dispatch." Proc. of the 7<sup>th</sup> Mediterranean Electrotechnical Conference, vol. 3, 1994, pp. 885-888.

- [40] Zi-Xiong Liang and J. Duncan Glover. "A Zoom Feature for a Dynamic Programming Solution to Economic Dispatch Including Transmission Losses." *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 7, no. 2, May. 1992. pp. 544-550.
- [41] A. Jiang and S. Ertem. "Economic Dispatch with Non-monotonically Increasing Incremental Cost Units and Transmission System Losses." *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 10, no. 2, May 1995, pp. 891-897.
- [42] W. R. Barcelo and P. Rastgoufard. "Dynamic Economic Dispatch using the Extended Security Constrained Economic Dispatch Algorithm." *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 12, no. 2, May 1997, pp. 961-967.
- [43] J. L. Grefenstette and James E. Baker. "How Genetic Algorithms Work: a Critical Look at Implicit Parallelism." *Proc. of the Third Int. Conf. on Genetic Algorithms*, 1989, pp. 20-27.
- [44] Sophie Rochet, Mohamed Slimane, and Gilles Venturini. "Epistasis for Real Encoding in Genetic Algorithms." *Proc. Australian New Zealand Conf. On Intelligent Information Systems*, Nov. 1996. pp. 268-271.
- [45] Keith E. Mathias and L. Darrell Whitley. "Transforming the Search Space with Gray Coding." *Proceedings of the First IEEE Conference on Computational Intelligence*, vol. 1, 1994. pp. 513-518.
- [46] Gérard Cohen, Simon Litsyn, and Gilles Zémor. "On the Traveling Salesman Problem in Binary Hamming Spaces." *IEEE Trans. on Information Theory*, vol. 42, no. 4, Jul. 1996. pp. 1274-1276.
- [47] A. H. Wright. "Genetic Algorithms for Real Parameter Optimization." *Foundation of Genetic Algorithms*, 1991, pp. 205-218.
- [48] C. R. Stephens and H. Waelbroeck. "Schemata and Building Blocks: Does Size Matter?" *Foundation of Genetic Algorithms*, Morgan Kaufmann Pub., Inc. 1999, pp. 117-133.
- [49] A. Rogers and A. Prügel-Bennett. "Genetic Drift in Genetic Algorithm Selection Schemes." *IEEE Trans. on Evolutionary Computation*, vol. 3, no. 4, Nov. 1999, pp. 298-303.
- [50] T. Blickle and L. Thiele. "A Comparisons of Selection Schemes used in Evolutionary Algorithms." *TIK-Report*, Swiss Federal Institute of Technology, Jan 1997.
- [51] G. Syswerda. "Uniform Crossover in Genetic Algorithms." *Proc. of the Third Int. Conf. on Genetic Algorithms*, 1989, pp. 2-9.
- [52] K. A. De Jong and W. M. Spears. "A Formal Analysis of the Role of Multi-Point Crossover in Genetic Algorithms." *Annals of Mathematics and Artificial Intelligence*, 1992, pp. 1-29.

- [53] M. Srinivas and L. M. Patnaik. "Adaptive Probabilities of Crossover and Mutation in Genetic Algorithms." *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 24, no. 4, Apr. 1994, pp. 656-667.
- [54] Christopher K. Oei, David E. Goldberg, and Shau-Jin Chang. "Tournament Selection, Niching, and the Preservation of Diversity." *IlligAL Report No. 91011*. University of Illinois at Urbana-Champaign. Dec. 1991.
- [55] S. W. Mahfoud. "Simple Analytical Models of Genetic Algorithms for Multimodal Function Optimization." *IlligAL Report No. 93001*. University of Illinois at Urbana-Champaign. Dec. 1993.
- [56] S. Ronald. "Robust Encodings in Genetic Algorithms: a Survey of Encoding Issues." *IEEE Int. Conf. on Evolutionary Computation*, 1997, pp. 43-48.
- [57] X. Qi and F. Palmieri. "Theoretical Analysis of Evolutionary Algorithms with and Infinite Population Size in Continuous Space Part I: Basic Properties of Selection and Mutation." *IEEE Trans. on Neural Networks*, vol. 5, no. 1, Jan. 1994, pp. 102-119.
- [58] X. Qi and F. Palmieri. "Theoretical Analysis of Evolutionary Algorithms with and Infinite Population Size in Continuous Space Part II: Analysis of the Diversity Role of Crossover." *IEEE Trans. on Neural Networks*, vol. 5, no. 1, Jan. 1994, pp. 120-129.
- [59] Jean-Michel Renders and Stéphane P. Flasse. "Hybrid Methods Using Genetic Algorithms for Global Optimization." *IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics*, vol. 26, no. 2, Apr. 1996, pp. 243-258.
- [60] Thomas Grüninger and David Wallace. "Multimodal Optimization using Genetic Algorithms: an Investigation of a New Crowding Variation and the Relationship between Parental Similarity and the Effect of Crossover." *MIT-CADLab Technical Report no. 92.06*, Massachusetts Institute of Technology, 1996.
- [61] Brad L. Miller and Michael J. Shaw. "Genetic Algorithms with Dynamic Niche Sharing for Multimodal Function Optimization." *IlligAL Report No. 95010*. University of Illinois at Urbana-Champaign. Dec. 1995.
- [62] S. W. Mahfoud. "Crowding and Preselection Revisited." *Parallel Problem Solving From Nature*, Elsevier Science Publishers, 1992, pp. 27-36.
- [63] S. W. Mahfoud. "Crossover Interactions among Niches." *Proc. of IEEE 1<sup>st</sup> Conference on Evolutionary Computation*, Jun. 1994, pp. 188-193.
- [64] S. W. Mahfoud. "Genetic Drift in Sharing Methods." *Proc. of IEEE 1<sup>st</sup> Conference on Evolutionary Computation*, Jun. 1994, pp. 67-72.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [65] S. W. Mahfoud. "A Comparison of Parallel and Sequential Niching Methods." Proc. Of the 6<sup>th</sup> Inter. Conference on Genetic Algorithms, 1995, pp. 136-143.
- [66] S. W. Mahfoud. "Population Size and Genetic Drift in Fitness Sharing." Foundation of Genetic Algorithms, 1995, pp. 185-223.
- [67] S. W. Mahfoud. **Niching Methods for Genetic Algorithms**. Doctoral Dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1995.
- [68] David Beasley, David R. Bull, and Ralph R. Martin. "A Sequential Niche Technique for Multimodal Function Optimization." Technical Report no. 93001. UWCC COMMA. Feb. 1993.
- [69] M. Jelasity and J. Dombi. "GAs, an Approach to a Solution of the Niche Radius Problem." 1<sup>st</sup> Int. Conf. on Genetic Algorithms in Engineering Systems, 1995. pp. 424-429.
- [70] Paul Darwen and Xin Yao. "Every Niching Method has its Niche: Fitness Sharing and Implicit Sharing Compared." 4<sup>th</sup> Int. Conf. on Parallel Problem Solving from Nature, Sep. 1996. pp. 395-407.
- [71] A. Pétrowski. "A Clearing Procedure as a Niching Method for Genetic Algorithms." Proc. of IEEE Int. Conf. on Evolutionary Computation, 1996, pp. 798-803.
- [72] Bruno Sareni and Laurent Krähenbühl. "Fitness Sharing and Niching Methods Revisited." IEEE Trans. on Evolutionary Computation, vol. 2, no. 3, Sep. 1998. pp. 97-106.
- [73] Lester Ingber. "Simulated Annealing : Practice Versus Theory." Mathl. Comput. Modeling., vol. 18, no. 11, 1993. pp. 29-57.
- [74] Kit Po Wong and Yin Wa Wong. "Development of Hybrid Optimization Techniques based on Genetic Algorithms and Simulated Annealing." Progress in Evolutionary Computation, Workshops on Evolutionary Computation, Nov. 1993, pp. 127-154.
- [75] R. A. Rutenbar. "Simulated Annealing Algorithms: an Overview." IEEE Circuits and Devices, vol. 5, no. 1, Jan. 1989, pp. 19-26.
- [76] D. Whitley, K. Mathias, S. Rana, and J. Dzubera. "Building Better Test Functions." Proc. of the 6<sup>th</sup> Int. Conf. on Genetic Algorithms, 1995, pp. 238-246.
- [77] S. Sato. "Simulated Quenching: a New Placement Method for Module Generation." IEEE/ACM Inter. Conf. on Computer Aided Design, 1997, pp. 538-541.
- [78] R. R. Shoults, R. K. Chakravarty and R. Lowther, "Quasi-static Economic Dispatch using Dynamic Programming with an Improved Zoom Feature." Electric Power Systems Research, vol. 39, no. 3, Dec. 1996, pp. 215-222.

- [79] F. Li, R. Morgan and D. Williams, "Hybrid Genetic Approaches to Ramping Rate Constrained Dynamic Economic Dispatch." *Electric Power Systems Research*, vol. 43, no. 2, Nov. 1997, pp. 97-103.
- [80] C. Chamsilp, W. Ongsakul, and S. Potivejkul, "Energy Sharing Algorithms as Deterministic Power Balancing Strategies for Constrained Economic Dispatch Problems based upon Genetic / Niching Genetic Algorithms." *24<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference*, vol. 1, Nov. 2001, pp. 53-58.
- [81] W. Ongsakul and J. Tippayachai, "Micro Genetic Algorithm based on Migration and Merit Order Loading Solutions to the Constrained Economic Dispatch Problems." *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, vol. 24, no. 3, Mar. 2002, pp. 223-231.
- [82] W. Ongsakul and J. Tippayachai, "Parallel Micro Genetic Algorithms based on Merit Order Loading Solutions for Constrained Dynamic Economic Dispatch." *Electric Power Systems Research*, In Press, Uncorrected Proof, Available online 29 November 2001.
- [83] X. S. Han, H. B. Gooi, and D. S. Kirschen, "Dynamic Economic Dispatch: Feasible and Optimal Solutions." *IEEE Trans. on Power Systems*, vol. 16, no. 1, Feb. 2001, pp. 22 -28.

## ภาคผนวก

ในส่วนภาคผนวกนี้ แสดงถึงข้อมูลระบบไฟฟ้ากำลัง คำศัพท์ภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบการจัดกำลังการผลิตไฟฟ้าในลักษณะสแตติกและไดนามิก แต่เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวมีปริมาณมาก ไม่สามารถจัดพิมพ์ลงในวิทยานิพนธ์ได้ทั้งหมด ผู้เขียนจึงได้รวบรวมจัดเก็บไว้ในแผ่น CD-ROM ซึ่งแนบไว้ในส่วนท้ายวิทยานิพนธ์ ทั้งนี้เพื่อความสะดวกในการเรียกใช้งาน การทดสอบ และการพัฒนาโปรแกรมต่างๆ ในงานวิจัยที่สูงขึ้นต่อไป

ข้อมูลระบบไฟฟ้ากำลังในแผ่น CD-ROM ประกอบไปด้วย

- ภาคผนวก ก. ข้อมูลระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการทดสอบ
  - ก.1 รูปแบบไฟล์ข้อมูลตามมาตรฐาน IEEE CDF
  - ก.2 ข้อมูลระบบ IEEE 30 Bus
  - ก.3 ข้อมูลระบบ IEEE 118 Bus
  - ก.4 ข้อมูลระบบ THA 424 Bus
- ภาคผนวก ข. คำศัพท์ภาษาไทยที่ใช้ในวิทยานิพนธ์
- ภาคผนวก ค. โปรแกรมคอมพิวเตอร์
  - ค.1 วิธีไดนามิกโปรแกรมมิ่งและเทคนิคการปรับจูน
  - ค.2 วิธีเงินเด็กอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง
  - ค.3 วิธีนิชซึ่งเงินเด็กอัลกอริทึมร่วมกับตัวปฏิบัติการทางพันธุศาสตร์ที่มีประสิทธิภาพสูง

## บทความงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์



C. Chamsilp, W. Ongsakul, and S. Potivejkul, "Energy Sharing Algorithms as Deterministic Power Balancing Strategies for Constrained Economic Dispatch Problems based upon Genetic / Niching Genetic Algorithms", 24<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference, King's Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, pp. 53-58, Nov. 2001.



# Energy Sharing Algorithms as Deterministic Power Balancing Strategies for Constrained Economic Dispatch Problems based upon Genetic / Niching Genetic Algorithms

C. Chamsilp

Department of Electrical Engineering  
Faculty of Engineering  
King's Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand  
Phone (66-2) 326-9902 Ext. 3518.  
Email: chamsilp.chantakorn@kmitl.ac.th

W. Ongsakul

Energy Program  
School of Environment, Resources and  
Development, Asian Institute of Technology  
Pathumthani, 12120, Thailand.  
Phone (66-2) 524-5421,  
E-mail: ongsakul@ait.ac.th

S. Potivejkul

Department of Electrical Engineering  
Faculty of Engineering  
King's Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand  
Phone (66-2) 326-9902 Ext. 3518.  
Email: ksiriwa@kmitl.ac.th

## Abstract

This paper proposes new strategies to manipulate an energy generation constraint for constrained economic dispatch problems based upon genetic and niching genetic algorithms. Technical details and analytical formulations are specifically described. By using the proposed algorithms, not only can the objective function be deviated from contaminating of improper scaling factor initialization as well as penalty function designation, but it can also be employed to diminish dramatically a solution space. Consolidated into advanced operator genetic algorithms and niching genetic algorithms, energy sharing algorithms also reduce adverse effect of multi-objective function weighting, thereby preventing premature convergence. Moreover, their capabilities of constraint manipulation are demonstrated. The proposed algorithms were tested by simulated power systems with highly complicated generator cost curves and the experimental results substantiated promising efficiency for practical implementation.

**Keywords:** Power generation dispatch, Optimization method, Genetic algorithms, Niching genetic algorithms.

## 1. Introduction

Harmonization of highly interconnected power system stability sustaining with overall economic operating in secure state is still challenging tasks for control center thus far. Insatiable researches continue the better approaches for coping with this issue. Convincingly proven, many sophisticated theories in computer science area were applied to power engineering problems in varieties of classifying, diagnosing, learning, especially in optimizing. Moreover, with the advent of "soft" computing science, proposing novel techniques that have been argued in superiority, for some instances, when compared with "hard" computing methods from mathematics, it unveiled excellent approaches for some facets, such problems are still blind to formulate equations or even those, which cannot be mathematically solved.

Considered as costly optimization, Economic Dispatch (ED) problem is classical one but advanced knowledge is required for further improvement. Basically, real-time load following is achieved by means of automatic generation control (AGC) with both on-line economic dispatch (OLED) and load frequency control (LFC) module embedded. OLED dynamically provides economic participant factors and economic assigned basepoints for all generating units calculated from all units' characteristic cost curve and real-time system losses. As system-wide secondary control, OLED also interacts with LFC module to regulate unit's specific power output, system frequency, and also desired net interchange. After all computations completed, set-point values are remotely sent to all unit's primary control devices and system base load deviation is returned to zero.

In retrospect, constrained economic dispatch (CED)

problem—economic power allocation of committed units in order to satisfy a power balancing equation under ramp rate constraints—has been solved by various classical combinatorial optimization techniques [1]. In practical, algorithms based on equal system lambda criterion are often used to solve CED in energy management system (EMS) due to speed in the calculation. However, mathematical restrictions confines rigidly to such a CED problem, that unit's fuel-cost curves are differentiable convex functions.

In reality, infrequently can original input-output curves be differentiable. Inherent characteristics such as "valve point" loadings of thermal units [1] force them nonlinear and discontinuous. In addition, together with operating constraint boundaries, all factors affect extremely upon their solution space shape, making it intricate with multi-modals and complex. Therefore, any attempts to estimate differentiable relation of an input-output curve [1-3]; in order to decrease complexity in a solution space or to solve a problem easier, impact directly upon the accuracy of a final solution. The lesser distortion from an original curve, the closer result to a true global optimum. For large-scale CED problems, this would result in substantial accumulative fuel-cost saving.

Drawbacks of the calculus-based algorithm can be deviated by using non-derivative based techniques, Dynamic Programming (DP). Shoultz *et al.* [2] proposed DP applications for developing dispatch curves instead of flattening out or ignoring the portions of incremental heat rate curves that are non-monotonically increasing. Liang *et al.* [3] extended zoom features to moderate computation times and memories required by a former approach. However, DP based method has a chance to get stuck in local sub-optimal solutions if it starts with too large MW step size. DP also demands computation time exponentially increasing with a problem size, which is unfavorable for large-scale implementation.

Soft computing algorithms have been discussed as intriguing solutions for ED problem [4-12]. Park *et al.* [4] proposed Hopfield neural networks to solve a segmented piecewise quadratic cost function of fossil-fired plants. They proved that the results from neural nets were similar to those of hierarchical structure methods. The neural nets did not require the calculation of incremental cost and losses needed by conventional numerical methods. Wong *et al.* [5] developed Simulated Annealing Approaches (SAAs) with modified objective function for solving dispatch problems with advantages in the reduction of computer memory space. Although seemed promising, SAAs reach a global solution with much computational time consuming due to gradually reduced cooling rate. In addition, SAAs frequently fail during searching for a global-optimum of complex problems and multi-modal functions.

Unlike rigidly mathematical styles, wearily enumerative search manners and other artificial intelligence fashions, for Genetic Algorithms (GAs), only after formed by a

เอกรินทร์ อธิบายถึงขั้นตอนวิธีที่นำมาใช้เพื่อแก้ปัญหาการกระจายพลังงานในระบบที่มีการนำไฟฟ้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

“fitness” function, can “fitness” values be employed to conduct their searching mechanism. GAs explores concomitantly promising portions in a solution space, not one looking for, by exploiting current genetic materials to render fitter individuals. Diverging from gradient searching basis, GAs also manipulate non-linearities and discontinuities presented in fuel-cost curves as well as additional constraints by genetic encoding techniques without prior differentiation knowledge and exact mathematical formulation.

Walters *et al.* [6] first investigated genetic algorithms for economic dispatch problem with taking into account valve point loading effect. They proposed an objective equation with energy constraint added in term of a penalty. Scaling factor and scaling power factor were introduced for emphasis penalization. Wong *et al.* [7] again hybridized GAs and SAAs for faster computation and demonstrated through their simulated power systems with 13 generators. “Dependent” loading strategy was also set up to ensure feasibility of power balancing constraint published earlier. Sheble *et al.* [8] refined algorithms to improve searching performance but penalization techniques also be employed. Chen *et al.* [9] proved that the computation time of GAs with lambda coding increases approximately linearly with the number of units and the results are closed to those of the Lambda-iteration method. Specific tolerance was added into their fitness function for balancing energy constraint.

Note that CED problem-solving researches progress on both enhanced genetic algorithms and sophisticated genetic operators. Song *et al.* [10] augmented performance of traditional GAs by advanced engineered-conditioning GAs. Ongsakul *et al.* [11] proposed micro genetic algorithms based on migration and merit order loading solutions. Lin *et al.* [12] integrated Evolutionary Programming (EP), Tabu Search (TS) and Quadratic Programming (QP) methods to solve non-convex economic dispatch problem.

However, GAs with conventional traits in searching characteristic and genetic replacement, even those substantiated as an advanced method for solving the problems, may fail to reach a true global minimum in complicated problems. They also encounter difficulties to identify global solution in multi-modal function. Premature convergence is one frequently latently occurred without any obvious alerting.

The reason why traditional GAs failed, as mentioned above, is a lack of population diversity [13-15]. Not only can diversity in genetic materials promote the varieties of schema recombination, but it also suggests more attractive regions in a solution space unexplored. Theoretically, a loss of diversity emerges in a population due to selection pressure, selection noise, and operator disruption. Selection pressure is an outcome of a selection strategy that tends to dissipate a lower fitness from a finite population. Selection noise is a result from the variance of the selection process dominating good individuals in a population. Operator disruption is an adverse effect from crossover and mutation operators deteriorating the good solutions.

Niching Genetic Algorithms (NGAs) derived from Crowding methods were evaluated in capability to maintain diversity as well as inhibit genetic drift [15-16]. Particular ideas in competition between parents and their own children are the core of Deterministic Crowding Methods (DCMs) [15]. DCMs have the ability to establish new niches and keep individuals in existing niches stronger, instead of converging to only a peak. As a consequence, multiple niches resulting in individuals-crowded subpopulation are determined by distance measurement.

The rests of this paper are organized as follows. The next section formulates general mathematical equations of CED problem. Section 3 presents brief concepts of GAs. NGAs, as well, are described in section 4 with details of DCMs and some importance formulations. Section 5 proposes ESAs algorithms with analytical formulation. By ESAs embedded, CED problems based on GAs/NGAs are also described in details. General, non-linearity, non-smooth and discontinuous cost curves are simulated for testing very complicated CED problems and section 6 reports experimental results. Finally, the last section concludes the promising performance of ESAs.

## 2. Constrained Economic Dispatch Problem

In real-time load following, primary control devices installed in power plants are accountable for governing specified terminal voltages and system frequency. Governor motor actuator directly controls a generator by units’ setpoints. For economic operation of power systems, secondary control is taken place periodically by OLE for the determination of all factors. This optimization results in economic movement of generating units each partaking in constantly load variation. A unit’s desired generation can be mathematically expressed as

$$P_{i,desired} = P_{i,base} + pf_i * \Delta P_{total} \quad (1)$$

$$pf_i = \Delta P_i / \Delta P_{total} \quad (2)$$

where  $P_{i,desired}$  = desired real power output of  $i$ -th unit (MW),

$P_{i,base}$  = base real power output of  $i$ -th unit (MW),

$pf_i$  = participation factor of  $i$ -th unit,

$\Delta P_i$  = incremental real power output of  $i$ -th unit (MW),

$\Delta P_{total}$  = total incremental real power generation (MW).

The objective function of CED problem is to minimize the total production cost,

$$\min C_T = \sum_{i=1}^n C_i(P_{i,desired}), \quad (3)$$

subject to the power balancing equation,

$$\sum_{i=1}^n P_{i,desired} = P_{demand} + P_{loss}, \quad (4)$$

and subjecting to power generation and ramp rate constraints,

$$P_{i,desired} \geq \max(P_{i,min}, P_{i,base} - R_{i,down}), \quad (5)$$

$$P_{i,desired} \leq \min(P_{i,max}, P_{i,base} + R_{i,up}), \quad (6)$$

where  $n$  = the number of generating units,

$C_T$  = total generator fuel cost (Baht/hr),

$C_i(P_{i,desired})$  = generator fuel cost of  $i$ -th unit (Baht/hr),

$P_{demand}$  = total real power demand (MW),

$P_{loss}$  = total real transmission loss (MW),

$P_{i,min}$  = physical minimum real power output of  $i$ -th unit (MW),

$P_{i,max}$  = physical maximum real power output of  $i$ -th unit (MW),

$R_{i,down}$  = physical down ramp rate of  $i$ -th unit (MW/min),

$R_{i,up}$  = physical up ramp rate of  $i$ -th unit (MW/min).

Transmission losses in power systems can be expressed by B-Matrix loss formula [1],

$$P_{\text{max}} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_{i,\text{desired}} B_{ij} B_j + \sum_{i=1}^n B_{i0} P_{i,\text{desired}} + B_{00}, \quad (7)$$

and penalty factor can be represented as

$$\frac{\partial P_{\text{max}}}{\partial P_{i,\text{desired}}} = \frac{1}{1 - 2 \sum_j B_{ij} P_j - B_{i0}}, \quad (8)$$

where  $B$  terms are loss coefficients.

### 3. Genetic Algorithms

GAs are stochastic searching techniques emulating concepts from natural selection and natural genetic [13]. As "Survival of the Fittest" cycle, the stronger in life, the more chance to come alive from competition of scarce natural resources.

GAs begin with designing of a concise objective function for an optimization problem. Variables to be optimized are encoded genotypically to binary strings, for example, and then concatenated to be an individual of a population. Initially, individuals formed arbitrarily are evaluated for fitness values, measurements of how they do "fit" to a prescribed objective function, entire population. Thereafter, scaling method is applied to forestall taking early over effect form a superindividual, i.e. a highly fitness individual. According to their fitness values, two individuals are picked by selection method as parents and then applied by genetic based crossover and mutation operators for reproducing their offsprings. Next, the descendants are retained in a child population and they will become parents for the next generation. By this unique characteristic called implicit parallelism, the mechanism proceeds until imposed termination criteria are met, and the best individual is a final solution.

#### 3.1 Sigma Truncation Scaling Technique

Due to probabilistic characteristics of genetic algorithm, individuals may have chances to be superindividuals in selection process, eventually leading to premature convergence. For preventive action, fitness values are scaled with respect to the others before selection phase. Unlike the linear scaling method, Sigma truncation scaling also considers standard deviation,  $\sigma$ , of individuals for adjusting a fitness value to

$$f'(i) = f(i) - (f_{\text{ave}} - c\sigma), \quad (9)$$

where  $c$  is a scaling factor in the of 1 to 3 [13] and  $f_{\text{ave}}$  is the average fitness.

#### 3.2 Tournament Selection Method

As the basis of natural selection process, the higher fitness of individual, the higher opportunity to be chosen for reproducing. This mechanism raises an average fitness of all solutions as a generation progressing. Tournament selection method is one of the selection techniques that influences hardly on genetic diversity. The method randomly chooses a set of individuals and the highest fitness member is designated as a parent. For the experiments, tournament size is set to 4 for compromising between the loss of diversity and the selection variance.

#### 3.3 Adaptive Probabilities of Crossover and Mutation

Probabilities of both crossover and mutation significantly impact on genetic metamorphosis. With the crossover

probability, genetic operators blind to the goodness of solutions and may deteriorate them inadvertently. Improper probabilities not only unpromote genetic exploration, but also retard the convergence. Therefore, both probability values are adaptively adjusted by checking fitness values of individuals beforehand [16]. An average and maximum fitness are utilized as criteria for adjustment. The individual that has the fitness value close to the maximum value, considered as a good individual, should be crossed over or mutated at a low probability. On the other hand, the individual with fitness less than the maximum value are disrupted with factor corresponding to their difference. Note that the techniques also have inherent elitism that ensures the appearance of the best individual for all generations. These proper probabilities can decrease operator disruption effect and also maintain diversity in the population. The adaptive crossover probability,  $p_c$ , and the adaptive mutation probability,  $p_m$ , are computed by

$$p_c = k_1 (f_{\text{max}} - f_{\text{avg}}) / (f_{\text{max}} - f_{\text{ave}}), \quad f_{\text{avg}} \geq f_{\text{ave}}, \quad (10)$$

$$p_c = k_3, \quad f_{\text{avg}} \leq f_{\text{ave}}, \quad (11)$$

$$p_m = k_2 (f_{\text{max}} - f_{\text{avg}}) / (f_{\text{max}} - f_{\text{ave}}), \quad f_{\text{avg}} \geq f_{\text{ave}}, \quad (12)$$

$$p_m = k_4, \quad f_{\text{avg}} < f_{\text{ave}}, \quad (13)$$

where  $k_1, k_2, k_3, k_4 \leq 1.0$  and  $f_{\text{avg}}$  is the larger fitness values from a crossover pair.

#### 3.4 Uniform Crossover and Jump Mutation

Both crossover and mutation operator are momentous for rendering the fitter solutions. Good parents selected are crossed over for schema exchange with probability in action. Uniform crossover, one of effective schema combination means, exchanges materials between parents at positions specified by a crossover mark. The process creates hereditarily offspring with increasing inclination of average fitness values. For new schema creation materials of the offspring are altered by Jump mutation method with a low probability. As a schema combination went forward, the operators cooperationally offer new portions in a solution space for the next searching stage.

### 4. Niching Genetic Algorithms

Inspired from competition for limited natural resources, individuals in the same niche rival others for existence. The weaker member is replaced by the stronger one. These ideas are computationally implemented as replacement of a new offspring into a population by overwriting the most similar one. Euclidean distance is employed as a yardstick for measuring similarity between two solutions. Thus, the fittest of existing niches is maintained or superseded by a fitter generation as evolution of life.

DCMs was based upon Cavicchio's preselection and De Jong's crowding [14]. They are reproduction techniques having ability to locate and sustain multiple niches in a space. More specifically, it intends to diminish replacement errors in crowding methods while maintaining population diversity. DCMs begin with pairing all of individuals in a population size  $m$ . Thereafter, apply crossover operators and, for optional, mutation operators to create their offsprings. Each offspring is compared with one of their parents for determining the similarity distance. Replacement is designated according to these distances. The pseudo code of DCMs is as follows.

(REPEAT for  $g$  generation)

DO  $m/2$  times:

1. Select 2 parents,  $p_1$  and  $p_2$ , randomly, no replacement
  2. Cross them, yielding  $c_1$  and  $c_2$
  3. Apply mutation / other operators, yield  $c'_1$  and  $c'_2$
  4. If  $[d(p_1, c'_1) + d(p_2, c'_2)] \leq [d(p_1, c_1) + d(p_2, c_2)]$ 
    - If  $f(c'_1) > f(p_1)$  then replace  $p_1$  with  $c'_1$
    - If  $f(c'_2) > f(p_2)$  then replace  $p_2$  with  $c'_2$
- Else
- If  $f(c'_1) > f(p_1)$  then replace  $p_1$  with  $c'_1$
  - If  $f(c'_2) > f(p_2)$  then replace  $p_2$  with  $c'_2$

To measure phenotypic distance between two vectors  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$  and  $x' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_n)^T$ , Euclidean distance is defined as

$$d(x, x') = \left[ (x_1 - x'_1)^2 + (x_2 - x'_2)^2 + \dots + (x_n - x'_n)^2 \right]^{1/2} \quad (14)$$

### 5. Energy Sharing Algorithms

Due to the fact that GAs consider fitness values as pay-off information for competitive mechanisms. Generally, a fitness function is formulated as a modified object function to be maximized. For a classical minimization function, a fitness function can be represented as,

$$1 / \left( f(x) + \sum_{i=1}^k r \Phi(h_i(x)) \right), \quad (15)$$

where  $f(x)$  = a function to be minimized,

$\Phi(h_i(x))$  = a penalty function of an equality constraint,

$r$  = a scaling factor,

$k$  = the number of equality constraints.

For CED problem, an objective function to be minimized is the total production cost (3) and an equality constraint is the power balancing equation (4). Therefore, the fitness function of CED problem is formulated as

$$1 / \left[ \sum_{i=1}^n C_i(P_{i,desired}) + r \left( \sum_{i=1}^n P_{i,desired} - P_{load} - P_{loss} \right) \right]. \quad (16)$$

For inequality constraints, such as power generation limits and ramp rate limits of CED problems, normalized encoding is utilized as boundary constrained parameterization rather than more penalization of a fitness function.

$$P_{i,norm} = \sum_{i=1}^l \frac{d_i}{2^i} \quad d_i \in \{0,1\}, \quad (17)$$

$$P_{i,desired} = P_{i,base} - R_{i,down} + P_{i,norm} (R_{i,up} + R_{i,down}). \quad (18)$$

According to (16), it should be noted that GAs should carefully design an appropriate scaling factor and penalty function for a given problem. As mentioned, improper designs not only delay convergence, but they also create superindividuals and finally leading to premature convergence. Moreover, GAs also confuse in weighting between a production cost and a penalty function to be optimized. To cope with the problems, a reference unit is chosen as a function of the remaining unit' power outputs compensated by transmission losses. Typically, the largest generating unit is preferred.

$$P_n = P_{demand} + P_{loss} - \sum_{j=1}^{n-1} P_j, \quad (19)$$

and system power loss matrix is split into

$$P_{n,loss} = [P_j^T P_n] \begin{bmatrix} B_{jj} & B_{jn} \\ B_{nj} & B_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_j \\ P_n \end{bmatrix} + [P_j^T P_n] \begin{bmatrix} B_{j0} \\ B_{n0} \end{bmatrix} + B_{00}. \quad (20)$$

Substitute (20) into (19) and rearrange them in a quadratic function form

$$aP_n^2 + bP_n + c = 0, \quad (21)$$

where

$$a = -B_{nn}, \quad (22)$$

$$b = 1 - B_{nj}P_j - P_j^T B_{jn} - B_{n0}, \quad (23)$$

$$\text{and } c = -P_j^T B_{jj}P_j - P_j^T B_{j0} - B_{00} - P_{demand} + \sum_{j=1}^{n-1} P_j. \quad (24)$$

Finally, Equations (21)-(24) are calculated for proper real power output of a reference unit, which satisfies exactly the power balancing constraint. Therefore, the new objective function from (16) becomes

$$1 / \left[ \sum_{i=1}^n C_i(P_{i,desired}) \right] \quad (25)$$

For genetic encoding techniques, energy sharing is proposed to bias deterministically for both phenotypic and genotypic values of each individual. It manipulates all power generation to be dispatched with respect to energy remaining and ensures power balancing condition. The following pseudo code describes algorithms in details.

[For any individual]

1. Estimate total transmission loss,  $P_{loss}^e$ , from the current condition.
2. Randomly generate initial power output in feasible range.
3. Set  $MWLeft = P_{load} + P_{loss}^e - P_{desired}$
4. While  $igcn \neq n-1$
5. Random the next power output of a generation in a feasible range.
6. Compute new  $MWLeft$
7. If  $\sum_{i=1}^{genleft} P_{i,min} \leq MWLeft \leq \sum_{i=1}^{genleft} P_{i,max}$  then goto 13
8. Else if  $\sum_{i=1}^{genleft} P_{i,min} \geq MWLeft$  then
9. forceup = true; bias randomly power output with higher level;
10. Else if  $\sum_{i=1}^{genleft} P_{i,max} \leq MWLeft$  then
11. forcedn = true; bias randomly power output with lower level;
12. End
13. Check power balancing constraint.
14. If violation = true then goto 2.
15. Perform all genetic operators.

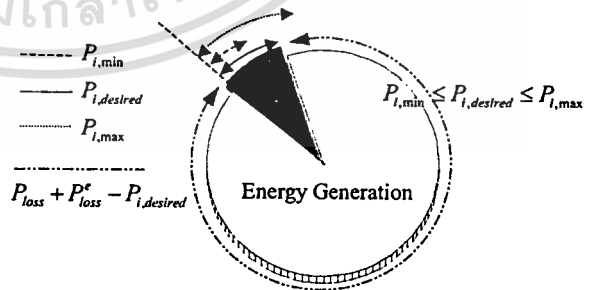


Fig 1. Concept of Energy Sharing Algorithms

### 6. Experimental Results

The experiments are classified into two phases. In first, the test intends to substantiate the performance of ESAs for CED problems based upon Advanced Operators Genetic Algorithms (AOGAs). It is focused on performance of ESAs in varieties. The second test integrates ESAs with NGAs in multi-modal function optimization. The proposed algorithms

were implemented by Fortran computer program and compiled by Fortran GNU compiler on Intel Celeron 667 MHz with Linux Mandrake 8.0 Operating System.

In the first experiment, simulated power systems are set up with units' conventional cost curve and highly complex curve for making a solution space more complex as shown in Figure 2 depicts all cost curve characteristics and their equations are described in the Table 1.

Table 1. Cost curve function for the first experiment.

Gen. No	MW Range	Function (Baih/h)
1	200-700	$C_1(P_1) = 0.318 * P_1^2 + 23.52 * P_1 + 549853.8 +  3000 * \sin(0.02512 * (200 - P_1)) $
2	200-700	$C_2(P_2) = -0.372 * P_2^2 + 591.66 * P_2 + 495261 +  1500 * \sin(0.0314 * (200 - P_2)) $
3	300-600	$C_3(P_3) = 0.00012 * P_3^2 + 0.006 * P_3^3 + 907.8 * P_3 + 486131.4$
4	250-500	$C_4(P_4) = -0.018 * P_4^2 + 541.8 * P_4 + 546061.2$
5	250-500	$C_5(P_5) = 1.62 * P_5^2 + 541.8 * P_5 + 52213.6$
6	200-500	$C_6(P_6) = 726 * P_6 + 571392$
7	300-399 400-499 500-600	$C_7(P_7) = 600 * P_7 + 480000$ $C_7(P_7) = 1000 * P_7 + 350000$ $C_7(P_7) = 1500 * P_7 + 120000$
8	300-499 400-599 500-600	$C_8(P_8) = 1800 * P_8 + 240000$ $C_8(P_8) = 900 * P_8 + 630000$ $C_8(P_8) = 300 * P_8 + 960000$
9	200-599 300-499 400-500	$C_9(P_9) = 1800 * P_9 + 360000$ $C_9(P_9) = 300 * P_9 + 840000$ $C_9(P_9) = 1500 * P_9 + 390000$
10	250-299 300-600	$C_{10}(P_{10}) = -600 * P_{10} + 810000$ $C_{10}(P_{10}) = 700.2 * P_{10} + 420000$

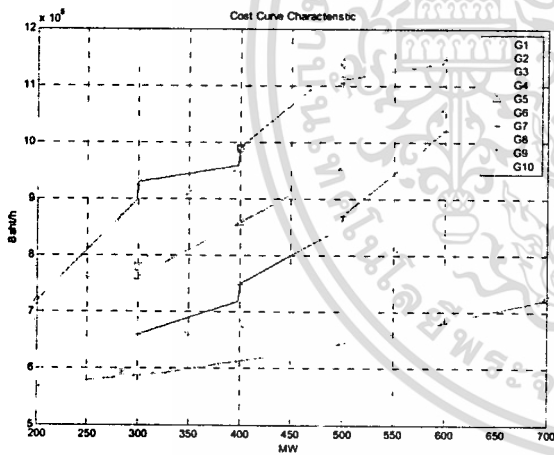


Fig 2. Generator cost curves

For the given load demand of 3000 MW, CED problem is formulated and then solved by both AOGAs with and without ESAs. The authors also develop Modified Zooming Dynamic Programming Algorithms (MZDPAs) from original solutions proposed by Liang *et al.* [17] for comparisons. As reported in Table 2, the numerical results show that AOGAs with ESAs converge to a global optimum at faster than AOGAs without ESAs. Without ESAs, although AOGAs propose some operating conditions that are cheaper cost in generation, but inexact power balancing solution, which is unfavorable for practical implementation. Comparisons of convergence characteristics are presented in figure 3.

For the second experiment, the authors demonstrate the complexity of a CED solution space with a multi-modal function derived from non-smoothness of units' cost curve. The non-smoothness is represented by sinusoidal term integrated into a second order quadratic function as simulated valve point loading effect. The discontinuous cost curve also presented by negative incremental piecewise linear cost curve. For a given demand of, 500 MW, computer program enumeratively searches all feasible real power outputs, which according to their production cost, for virtualization of the solution space. As unpleasant results aforementioned, the space is complicated with multi-modals.

As depicted in figures 4 and 5, conventional GAs converge to a global minimum by most individuals in the population, but NGAs, converge to potential local minima by individuals in the subpopulations. When integrated with ESAs, not only both AOGAs and NGAs offer a global or closely-

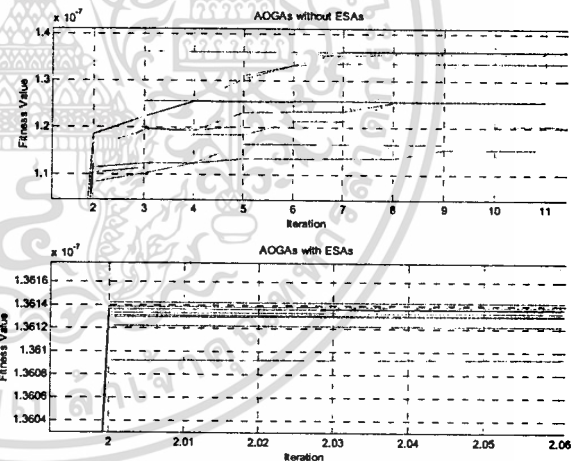


Fig 3. Convergence characteristics of AOGAs

Table 2. Numerical Results (10 Trials of 400MW starting point, Ramp down = 1.66MW/min, Ramp up = 1.66MW/min)

Unit	MZDPAs		AOGAs				AOGAs (With ESAs)			
	MW	Cost (Baih/h)	MW (Best)	Cost (Baih/h) (Best)	MW (Worst)	Cost (Baih/h) (Worst)	MW (Best)	Cost (Baih/h) (Best)	MW (Worst)	Cost (Baih/h) (Worst)
G1	394.80	611,657.44	330.26	592,696.81	325.10	591,112.31	416.21	616,988.50	412.30	616,050.13
G2	300.00	639,281.37	304.32	641,064.31	302.32	640,238.63	300.00	639,281.38	300.00	639,281.38
G3	300.00	762,251.38	302.30	764,432.18	304.50	766,500.81	300.00	762,251.38	300.00	762,251.38
G4	300.00	706,981.12	302.11	708,106.81	306.13	710,235.56	300.00	706,981.19	300.00	706,981.19
G5	300.00	830,493.56	301.25	832,388.37	304.10	836,727.44	300.00	830,493.56	300.00	830,493.56
G6	300.00	789,192.00	303.34	791,616.81	302.29	790,861.81	300.00	789,192.00	300.00	789,192.00
G7	300.00	660,000.00	300.92	660,558.00	305.39	663,240.00	300.00	660,000.00	300.00	660,000.00
G8	300.00	780,000.00	302.38	784,284.00	301.92	783,564.00	300.00	780,000.00	300.00	780,000.00
G9	322.38	936,714.88	302.31	930,693.00	302.77	930,834.01	300.00	930,000.00	300.00	930,000.00
G10	300.00	630,060.00	301.15	630,865.25	303.43	632,461.69	300.00	630,090.50	304.17	632,978.13
Total	3,117.18	7,346,631.75	3,050.34	7,336,705.54	3,057.95	7,345,776.26	3,116.21	7,345,278.51	3,116.47	7,347,227.77
Loss MW	117.28 (3.76%)		117.65 (3.85%)		118.73 (3.88%)		116.26 (3.73%)		116.47 (3.76%)	
Power Dif.	-0.10		-67.31		-60.78		0.00		0.00	
CPU Time (s.)	0.02		4.13		3.62		0.67		0.66	

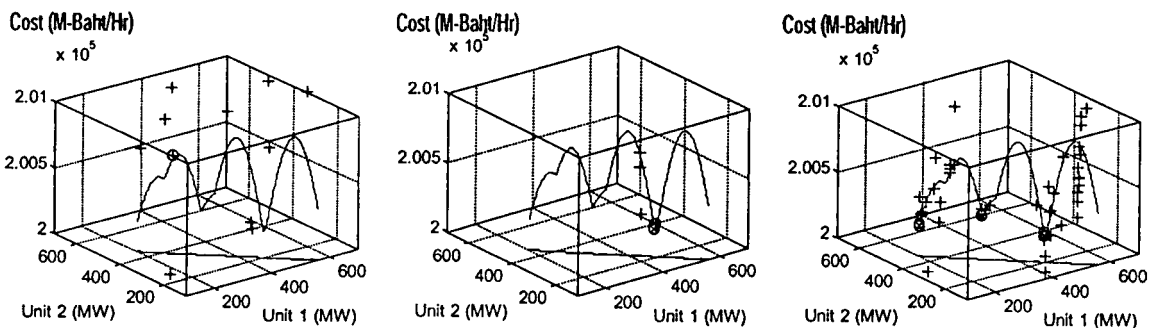


Fig. 4 The solution space and phenotypic distribution in initial population (left), final population of AOGAs (middle), and final population of NGAs (right). Those are calculated by the classical objective function.

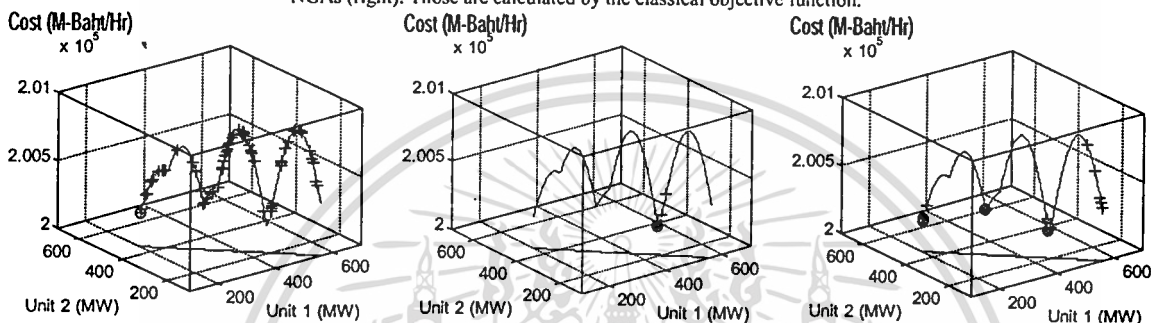


Fig. 5 The solution space and phenotypic distribution in initial population (left), final population of AOGAs (middle), and final population of NGAs (right). Those are calculated by ESAs.

global solution, but they also accelerate the computation times and satisfy exactly a power balancing constraint. Note that, as graphical representation shown obviously, the search space is shrunk dramatically from a cubic-like space to a straight line-like one. It reduces purposeless seeking and then speed up the convergence.

## 7. Conclusions and Discussions

This paper proposes energy sharing algorithms for constrained economic dispatch problems based upon genetic and niching genetic algorithms. Corroborated the promising implementation, analytical and empirical results are compared and convergence characteristics are carefully observed.

The algorithms primarily satisfy a power balancing equation by mathematically solving of a reference unit's real power output. Energy sharing techniques for advanced genetic encoding were proposed as well. Design issues pertinent to penalization techniques are not required.

The algorithms can easily cope with non-smooth or non-differentiable cost curves. Processes for approximating differential curves are no longer needed and the true global optimum is realized. The algorithms reduce dramatically search space, displayed visually in the experiments, and accelerate computational time in consequence. For multi-modal function optimization problems, not only can niching genetic algorithms with the proposed algorithms embedded offer a global or nearly global solution as those of other methods, but it also presents potentially local optima as its by-products for further analysis.

## References

- [1] A. J. Wood and B. F. Wollenberg *Power Generation, Operation, and Control* John Wiley & Sons, Inc. 1996.
- [2] R. R. Shoultz, S. V. Venkatesh, S. D. Helmick, G. L. Ward, and M. J. Lollar "A dynamic programming based method for developing dispatch curves when incremental heat rate curves are non-monotonically increasing" *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. PWRS-1, no. 1, February 1986, pp. 14-15.

- [3] Z. X. Liang and J. D. Glover. "A zoom feature for a dynamic programming solution to economic dispatch including transmission losses" *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 7, no. 2, May 1992, pp. 544-550.
- [4] J. H. Park, Y. S. Kim and K. Y. Lee "Economic load dispatch for piecewise quadratic cost function using Hopfield neural network", *IEEE Trans. On Power Systems* vol. 8, no. 3, August 1993, pp. 1030-1038.
- [5] K. P. Wong and C. C. Fung "Simulated-annealing based economic dispatch algorithm" *IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution*, vol. 140, no. 6, November 1993, pp. 509-515.
- [6] D. C. Walters and G. B. Sheble "Genetic algorithm solution of economic dispatch with valve point loading" *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 8, no. 3, August 1993, pp. 1325-1332.
- [7] K. P. Wong and Y. W. Wong "Genetic and genetic/simulated-annealing approaches to economic dispatch" *IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution*, vol. 141, no. 5, September 1994, pp. 507-513.
- [8] G. B. Sheble and K. Brittig "Refined genetic algorithm-economic dispatch example" *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 10, no. 1, February 1995, pp. 117-124.
- [9] P. H. Chen and H. C. Chang "Large-scale economic dispatch by genetic algorithm" *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 10, no. 4, November 1995, pp. 1919-1926.
- [10] Y. Song and C. S. Chou "Advanced engineering-conditioning genetic approach to power economic dispatch", *IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution*, vol. 144, no. 3, May 1997, pp. 285-292.
- [11] W. Ongsakul and J. Tippayachai "Constrained economic dispatch by micro genetic algorithm based on migration and merit order loading solutions" *International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies*, 2000, pp. 510-517.
- [12] W. M. Lin, F. S. Cheng, and M. T. Tsay "Nonconvex economic dispatch by integrated artificial intelligence" *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 16, no. 2, May 2001, pp. 307-311.
- [13] D. E. Goldberg *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Control*, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. 1989.
- [14] S. W. Mahfoud *Niching Method for Genetic Algorithms* Doctoral Dissertation, University of Illinois at Urbana-Champaign, 1995.
- [15] B. Sareni and L. Krähenbühl "Fitness sharing and niching methods revisited" *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, vol. 2, no. 3, September 1998, pp. 97-106.
- [16] M. Sirinivas and L. M. Patnaik "Adaptive probabilities of crossover and mutation in genetic algorithms" *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 24, no. 4, April 1994, pp. 656-667.
- [17] Z. X. Liang and J. D. Glover "A zoom feature for a dynamic programming solution to economic dispatch including transmission losses" *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 7, no. 2, May 1992, pp. 544-550.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณิดอททังสี่ การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 24 (EECON-24) ๒๕๕. 22-23 พฤศจิกายน 2544 เอกสารทศครั้งที่มีกรนำไปใช้

## ประวัติผู้เขียน

นายฉันทกร จำศีลปี เกิดวันที่ 27 กรกฎาคม พ.ศ. 2517 ที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี (เกียรตินิยมอันดับ 2) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2539 ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งวิศวกรระดับ 4 แผนกซอฟต์แวร์จัดการพลังงาน (Energy Management System Software Section) กองเทคโนโลยีศูนย์ควบคุม ฝ่ายควบคุมระบบกำลังไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย

