



การใช้วิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริทึมแบบปรับตัวเองได้ สำหรับการจ่ายโหลดอย่างประหยัด
โดยพิจารณาค่าการสูญเสียในสายส่ง ผลจากจุดวาล์ว และขีดจำกัดอัตราความลาดเอียง
A SELF-ADAPTIVE DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM FOR ECONOMIC DISPATCH
PROBLEM WITH TRANSMISSION LOSSES, VALVE-POINT,
AND RAMP-RATE LIMIT CONSIDERATIONS

นายพัทธพล กาญจนพันธ์
นายกานต์ ชูระกิจ
นายวชิรวิทย์ สมัยมาก

โครงการวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2559

การใช้วิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้ สำหรับการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดย
พิจารณาค่าการสูญเสียในสายส่ง ผลจากจุดคว่ำ และขีดจำกัดอัตราความลาดเอียง
A SELF-ADAPTIVE DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM FOR ECONOMIC DISPATCH
PROBLEM WITH TRANSMISSION LOSSES, VALVE-POINT,
AND RAMP-RATE LIMIT CONSIDERATIONS

นายพัทธ์พล กาญจนพันธ์
นายกานต์ ชูระกิจ
นายวชิรวิทย์ สมัยมาก

โครงการวิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์เป็นของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

โครงการวิศวกรรม

เรื่อง

การใช้วิธีดีเฟอเรนเชียลโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้สำหรับการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดย

พิจารณาค่าการสูญเสียในสายส่งผล จุดควาล์ว และขีดจำกัดอัตราความลาดเอียง

ของ

นายพัทพล กาญจนพันธ์

นายกานต์ ชูระกิจ

นายวชิรวิทย์ สมัยมาก

ได้รับอนุมัติจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.เวคิน ปิยรัตน์)

คณะกรรมการสอบโครงการวิศวกรรม

.....ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปฐมทัศน์ จิระเดชะ)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. คมกฤษ ประเสริฐวงศ์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ธนาธิป สุ่มอ้อม)

การใช้วิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริทึมแบบปรับตัวเองได้ สำหรับการจ่าย
โหลดอย่างประหยัดโดยพิจารณาค่าการสูญเสียในสายส่ง
ผลจากจุดวาล์ว และขีดจำกัดอัตราความลาดเอียง
ปีการศึกษา 2559

โดย

นายพัทธพล กาญจนพันธ์
นายกานต์ ชูระกิจ
นายวชิรวิทย์ สมัยมาก

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร.ธนาธิป สุ่มอ้อม

บทคัดย่อ

โครงการวิศวกรรมนี้จัดทำขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดร่วมกับวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริทึมแบบปรับตัวเองได้โดยสร้างเป็นหน้าต่างโปรแกรมเพื่อให้สะดวกในการใช้งาน ซึ่งในการแก้ปัญหาจะพิจารณาเงื่อนไขต่างๆเช่น ค่าการสูญเสียในสายส่ง (Transmission Losses) ผลจากจุดวาล์ว (Valve-point) และขีดจำกัดอัตราความลาดเอียง (Ramp-Rate Limit) โดยในโครงการวิศวกรรมนี้ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 10 ยูนิท ระยะเวลาการผลิตกระแสไฟฟ้าจำนวน 24 ชั่วโมง จะถูกนำมาทดสอบโดยใช้โปรแกรมสำหรับการคำนวณหาค่าต้นทุนเชื้อเพลิงที่สร้างขึ้น ในส่วนของการคำนวณหาค่าราคาต้นทุนเชื้อเพลิง จะคำนวณทั้งหมด 50 ครั้ง จากผลการทดลองพบว่า ได้ผล ค่าราคาต้นทุนเชื้อเพลิงที่ถูกที่สุดเท่ากับ 1,091,510บาท

คำสำคัญ: การดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริทึมและการจ่ายโหลดอย่างประหยัด

A SELF-ADAPTIVE DIFFERENTIAL EVOLUTION ALGORITHM FOR
ECONOMIC DISPATCH PROBLEM WITH TRANSMISSION LOSSES,
VALVE-POINT, AND RAMP-RATE LIMIT CONSIDERATIONS

Academic Year 2016

By

Mr. Pattaphon Kanchanapan
Mr. Karn Thurakit
Mr. Wachiravit Smaimak

Advisor

Dr.Thanathip Sum-Im

Abstact

The purpose of engineering project is an optimization programming solving economic dispatch problem using a self-adaptive differential evolution algorithm. In this work, the proposed ED problem considers including transmission losses, valve-point effect and ramp-rate limit. A test system selected in this work consists of generator 10-unit and time of generation 24 hours. From the experiment results, the best cost is 1,091,510 Baht, which is obtained from 50 times of programming computation

Keyword: Differential Evoulution Algorithm and Economic Dispatch

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ธนาธิป สุ่มอิม อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่คอยให้คำแนะนำและแนวทางในการทำโครงการตลอดจนติดตามงานจนทำให้โครงการนี้เสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณอาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่านที่คอยให้คำแนะนำตลอดจนตรวจสอบการแก้ไขในตัวโครงการ ทำให้โครงการฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณบิดามารดา และผู้มีพระคุณทุกท่านที่อบรมเลี้ยงดูสั่งสอนคอยให้กำลังใจในการเรียนและการทำงานตลอดระยะเวลาที่ได้ศึกษาเล่าเรียน

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
ประมวลคำย่อ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิศวกรรม	5
1.3 ขอบเขตของโครงการวิศวกรรม	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด	6
2.2 วิธีดิฟเฟอเรนเชียลโวลูชันอัลกอริธึม	15
2.3 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง	23
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน	24
3.1 แผนผังและขั้นตอนการดำเนินโครงการ	25
3.2 การออกแบบโปรแกรมคำนวณ	26
3.3 แผนผังการดำเนินงาน	29
บทที่ 4 ผลการทดลอง	30
4.1 รูปแบบของเมนูหลักของโปรแกรมในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลด อย่างประหยัดโดยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้	31
4.2 ผลการทดลอง	37

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปลผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปลผลการทดลอง	43
5.2 ข้อเสนอแนะ	43
เอกสารอ้างอิง	43
ภาคผนวก	45
ประวัติย่อผู้ทำโครงการ	49

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. ปี 2558	1
1.2 แสดงค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ	2
3.1 แสดงการดำเนินงาน	30
4.1 ค่าความต้องการไฟฟ้าแต่ละชั่วโมง	37
4.2 ผลจากการรันทั้งหมด 50 ครั้ง	39
4.3 สรุปผลการคำนวณของโปรแกรมโดยใช้วิธีดิฟเฟอเรนเชียลวิธีอวกาศขั้นอัลกอริทึม แบบปรับตัวเองได้ซึ่งมีการพิจารณาการสูญเสียของสายส่ง การจุดควาล์ว และการลาดเอียง	39
4.4 ผลการทดลองในการใช้โปรแกรมทดลองแก้ปัญหา	40

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าทุกกลุ่ม	3
1.2 แสดงค่าประมาณความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดในปี พ.ศ. 2559	4
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราพลังงานความร้อนและกำลังผลิต(ซ้าย) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าราคาและกำลังผลิต(ขวา)	7
2.2 แบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน (Thermal Plant)	7
2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนส่วนเพิ่มของเชื้อเพลิงกับกำลังขาออก	9
2.4 กราฟแสดงลักษณะอัตราลาดในการผลิตไฟฟ้า	14
2.5 ขั้นตอนการทำงานของ DEA	22
3.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ	25
3.2 ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม	27
4.1 หน้าจอ GUI ขณะยังไม่กด Running Start	31
4.2 หน้าจอ GUI ขณะยังที่กด Running Start แล้ว	31
4.3 หน้าต่างค่าของข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด 10 หน่วย	32
4.4 หน้าต่างค่าของข้อมูลสัมประสิทธิ์การสูญเสียในสายส่ง	32
4.5 หน้าต่างค่าพารามิเตอร์ของวิธีดิฟเฟอร์เรนเชียลวิธีอวกาศแบบปรับตัวเองได้	33
4.6 หน้าต่างค่าของข้อมูลความต้องการไฟฟ้า 24 ชั่วโมง	34
4.7 หน้าต่างผลลัพธ์จากการทดสอบโปรแกรม	35
4.8 หน้าต่างแสดง Convergence Curve	36

ประมวลคำย่อ

คำย่อ	คำอธิบาย
DE	ดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชัน (Differential Evolution)
DEA	ดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริทึม (Differential Evolution Algorithm)
SaDEA	วิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริทึมแบบปรับตัวเองได้ (Self-Adaptive Differential Evolution Algorithm)
ED	การจัดสรรกำลังผลิต (Economic Dispatch)
$H_i(P_i)$	อัตราความร้อนขาเข้าต่อหน่วยเมกะวัตต์ที่หน่วยผลิต
P_i	กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหน่วยที่ i
a_i, b_i, c_i	สัมประสิทธิ์คงตัวทางความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหน่วยที่ i
C_T	ราคาเชื้อเพลิงรวม
C_i	ราคาเชื้อเพลิงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ i
P_D	กำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการใช้
P_L	กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในสายส่ง
P_i^{\min}	กำลังขาออกที่น้อยที่สุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ i
P_i^{\max}	กำลังขาออกที่มากที่สุดของหน่วยผลิต i
P_j	กำลังไฟฟ้าขาออกของหน่วยผลิตที่ j
P_i	กำลังขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
B_{ij}	สัมประสิทธิ์การสูญเสียของเมตริกซ์สี่เหลี่ยมที่ตำแหน่ง ij
B_{i0}	สัมประสิทธิ์การสูญเสียของเวกเตอร์ที่ตำแหน่ง i
B_{00}	สัมประสิทธิ์การสูญเสียของเวกเตอร์
e_i, f_i	สัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงที่เกิดจากจุดควาล์วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ i
n	จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำงาน
T1	ตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ F
T2	ตัวบ่งชี้การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ CR
$x_{j,i}^{(G=0)}$	ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ j^{th} ของเวกเตอร์อิสระ i^{th}

ประมวลคำย่อ(ต่อ)

คำย่อ	คำอธิบาย
$x_j^{\min} x_j^{\max}$	ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของพารามิเตอร์ j^{th} ตามลำดับ
$X_{i,G}$	เวกเตอร์เป้าหมาย (Target Vector)
$V_{i,G+1}$	มิวแทนท์เวกเตอร์ (Mutant Vector)
$X_{r1,G} X_{r2,G} X_{r3,G}$	Random Vector
rand_j	ค่าที่สุ่มขึ้นมา มีค่า (0,1)
$u_{j,i}^{(G)}$	เวกเตอร์ทดลอง (Trial Vector)
CR	Crossover Constant มีค่าเป็นเลขจำนวนจริงระหว่าง 0 ถึง 1
N_p	จำนวนประชากร
VTR	Value to reach ค่าคงที่สำหรับหยุดการทำงานของโปรแกรม
S	ค่า Index จากการสุ่มเลือกมีค่าเป็นเลขจำนวนเต็มระหว่าง 1, 2, ..., D $j=1,2, \dots, D$

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันความต้องการใช้ไฟฟ้ามีความต้องการเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนประชากรที่มีเพิ่มมากขึ้น รวมไปถึงการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ และเนื่องจากในปัจจุบันไม่มีอุปกรณ์ที่จะใช้ในการเก็บพลังงานไฟฟ้าปริมาณมากๆ ได้ ดังนั้นในการผลิตไฟฟ้าจึงจำเป็นต้องมีการผลิตที่มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณของความต้องการไฟฟ้าซึ่งกำลังการผลิตจะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณผู้ใช้ไฟฟ้าอยู่ตลอดเวลา ในการผลิตไฟฟ้าเราสามารถจำแนกโรงไฟฟ้าได้หลายประเภท เช่น โรงไฟฟ้าความร้อน โรงไฟฟ้าความร้อนร่วม โรงไฟฟ้าพลังน้ำ เป็นต้น ซึ่งในการผลิตไฟฟ้าจำเป็นต้องคำนึงถึงต้นทุนในการผลิตเพื่อที่จะได้ทำการจัดสรรการผลิตไฟฟ้าโดยใช้เงินต้นทุนอย่างประหยัดที่สุดและให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด หรือที่เรียกว่า การจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch) ซึ่งต้นทุนในการผลิตนี้ขึ้นอยู่กับกำลังการผลิตของแต่ละประเภทโรงไฟฟ้า ซึ่งในแต่ละโรงไฟฟ้านี้ก็จะมีการใช้เชื้อเพลิงแตกต่างกันไป เช่น ก๊าซธรรมชาติ น้ำมันเตาพลังน้ำถ่านหิน เป็นต้น

ตารางที่ 1.1 สัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงผลิตพลังงานไฟฟ้าในระบบของ กฟผ. ปี 2558

ที่มา: กองสารสนเทศ ฝ่ายสื่อสารองค์กร กฟผ.

ประเภทเชื้อเพลิง	จำนวน(ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง)	ร้อยละ
ก๊าซธรรมชาติ	126,808.19	69.22
ถ่านหิน	34,980.59	19.10
พลังน้ำ	15,836.63	8.65
น้ำมันเตา	1,123.49	0.61
น้ำมันดีเซล	189.51	0.10
พลังงานทดแทน	4,110.23	2.24
ซื้อต่างประเทศ	138.28	0.07
รวม	168,461.51	100.00

แหล่งพลังงานของการผลิตไฟฟ้านับตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบันพลังงานส่วนใหญ่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน เป็นต้น ซึ่งจะเห็นได้จากตารางที่ 1.1 ว่าสัดส่วนในการผลิตไฟฟ้าใน

ประเทศไทยจะใช้เชื้อเพลิง ก๊าซธรรมชาติมากที่สุดในการผลิตไฟฟ้าโดยมีสัดส่วนร้อยละ 69.22 รองลงมา จะใช้ถ่านหินโดยมีสัดส่วนร้อยละ 19.10

ตารางที่ 1.2 แสดงค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ

ที่มา: บัณฑิต เอื้ออาภรณ์. 2004. การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังเบื้องต้น. สำนักพิมพ์ แห่งจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร)

ชนิด	หน่วย	MJ/หน่วย	kCal/หน่วย
พลังงานเชิงพาณิชย์			
1. น้ำมันดิบ	ลิตร	36.33	8680
2. ก๊าซธรรมชาติ			
2.1 ขึ้น	ลบ.ฟุต	1.04	248
2.2 แห้ง	ลบ.ฟุต	1.02	244
3. ผลิตภัณฑ์ปิโตรเลียม			
3.1 ก๊าซ LPG	ลิตร	26.62	6360
3.2 น้ำมันเบนซิน	ลิตร	31.48	7520
3.3 น้ำมันก๊าด	ลิตร	36.42	8700
3.4 น้ำมันเตา	ลิตร	39.77	9500
4. ไฟฟ้า	กิโลวัตต์ชั่วโมง	3.60	860
5. ถ่านหิน	กก.	26.37	6300
6. ลิกไนท์			
6.1 กระป๋	กก.	10.88	2600
6.2 แม่เมาะ	กก.	10.47	2500
พลังงานหมุนเวียน			
7. ฟืน	กก.	15.99	3820
8. ถ่านไม้	กก.	28.88	6900
9. แกลบ	กก.	14.40	3440
10. ชานอ้อย	กก.	7.53	1800
11. ขยะ	กก.	4.86	1160
12. ชี๊เสื่อย	กก.	10.88	2600

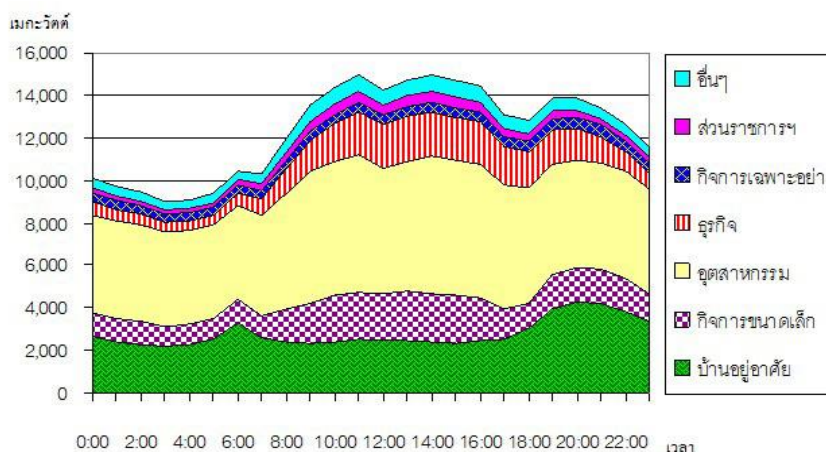
โดยการวัดพลังงานเราสามารถใช้นิยามเป็นหน่วยมาตรฐานได้ เช่น จูล (Joule) บีทียู (BTU) แคลอรี (Calorie) กิโลวัตต์ชั่วโมง (kWh) หรือ TOE (Ton of Oil Equivalent) ซึ่งในความสัมพันธ์ของหน่วยต่างๆสามารถแบ่งได้ดังนี้

$$1 \text{ กิโลแคลอรี} = 3.969 \text{ บีทียู} = 4186 \text{ จูล}$$

$$1 \text{ TOE} = 4 \times 10^7 \text{ บีทียู}$$

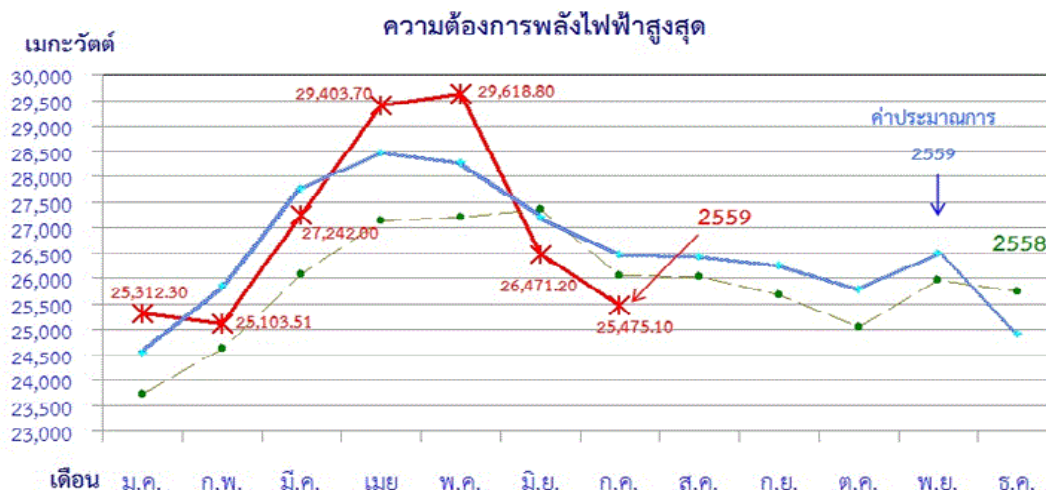
$$1 \text{ kWh} = 3.6 \text{ ล้านจูล (MJ)}$$

ในส่วนของความต้องการทางไฟฟ้าหรือโหลดสามารถแบ่งเป็นผู้ใช้ได้หลายประเภท เช่น ที่อยู่อาศัย โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น ซึ่งโหลดแต่ละประเภทก็จะมีพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันไป โดยโหลดประเภทที่อยู่อาศัยจะมีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุดในช่วงเวลาตอนเย็นจนถึงช่วงเวลาหัวค่ำและมีการใช้ไฟฟ้าต่ำในช่วงเวลากลางวันและช่วงเวลากลางดึก ส่วนโหลดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมก็มีการใช้โหลดที่ค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งวัน แต่ในช่วงเวลาหัวค่ำไปจนถึงช่วงเวลาเช้าตรู่มีการใช้ไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำด้วยลักษณะและพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันแบบนี้ก่อให้เกิดความต้องการกำลังไฟฟ้ารวมของทั้งประเทศหรือของแต่ละพื้นที่แปรเปลี่ยนกันไปตามเวลาเป็นไปตามรูปที่ 1.1 ซึ่งเป็นการแสดงความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทต่างๆในแต่ละช่วงเวลา



รูปที่ 1.1 ความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าทุกกลุ่ม

ที่มา: <http://www2.eppo.go.th/load/load2002/index.htm>



รูปที่ 1.2 แสดงค่าประมาณความต้องใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดในปี พ.ศ. 2559

ที่มา: กองสารสนเทศ ฝ่ายสื่อสารองค์กร กฟผ.

จากรูปที่ 1.2 จะเห็นได้ว่าความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบเดือนมิถุนายนเกิดขึ้นเมื่อวันที่ 9 กรกฎาคม 2559 เวลา 20.43 น. มีค่าเท่ากับ 25,475.10 เมกะวัตต์ลดลงจากเดือนที่ผ่านมา 996.10 เมกะวัตต์ หรือลดลงร้อยละ 3.76 ส่วนความต้องการพลังไฟฟ้าสูงสุดของระบบเกิดขึ้น เมื่อวันที่ 11 พฤษภาคม 2559 เวลา 22.28 น. มีค่าเท่ากับ 29,618.80 เมกะวัตต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้ไฟฟ้าในปี 2559 มีค่ามากกว่าการใช้ไฟฟ้าปี 2558 และยังคงมีความต้องการในการใช้ไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ตามการเติบโตของโรงงานอุตสาหกรรมและเศรษฐกิจของประเทศ

ดังนั้นจากที่กล่าวมาในข้างต้นจึงควรมีการจัดสรรกำลังการผลิตที่เหมาะสมต่อความต้องการในการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาต่างๆ โดยที่ราคาต้นทุนและค่าความสูญเสียซึ่งมีความแตกต่างกันในแต่ละหน่วยการผลิต มีค่ารวมกันแล้วมีค่าเหมาะสมที่สุดโดยมีต้นทุนรวมให้ต่ำที่สุดแต่มีประสิทธิภาพในการผลิตดีที่สุด หรือที่เรียกว่า “การจ่ายโหลดอย่างประหยัด” โดยการแก้ปัญหานี้จะใช้วิธีดีฟเฟอร์เรนเซียลอิโวลูชั่น อัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้ ซึ่งมีการพิจารณาการเลือกใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิด มีผลจากการจุกควาล์ว มีผลกระทบจากอัตราลาดเอียง และมีการพิจารณาค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในสายส่ง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิศวกรรม

1.2.1 เพื่อศึกษาหาต้นทุนในการจัดสรรกำลังการผลิตและการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้ได้ค่าต้นทุนเหมาะสมที่สุด

1.2.2 เพื่อศึกษาวิธีการทำงานของดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึม

1.2.3 เพื่อศึกษาการใช้โปรแกรมในการจำลองการคำนวณของดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับตัวได้สำหรับงานทางวิศวกรรม

1.2.4 เพื่อพัฒนาโปรแกรมการคำนวณการจ่ายโหลดอย่างประหยัดสำหรับหน่วยการผลิตไฟฟ้าโดยวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้ ซึ่งมีการพิจารณาผลจากการจุดวาล์ว มีผลกระทบจากอัตราความลาดเอียง และมีการพิจารณาค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในสายส่ง

1.3 ขอบเขตของโครงการวิศวกรรม

1.3.1 ทำการพัฒนาดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมแบบดั้งเดิมให้เป็นดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้ คือ สามารถปรับค่าพารามิเตอร์ควบคุม (Control Parameters) ได้ด้วยตัวเองคือ ตัวประกอบมิวเดชั่น (F) และค่าคงที่การคลอสโอเวอร์ (CR)

1.3.2 สามารถนำเอาวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้ที่ได้พัฒนาขึ้นมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดสำหรับหน่วยการผลิตไฟฟ้า ซึ่งมีการพิจารณาผลจากการจุดวาล์ว มีผลกระทบจากอัตราความลาดเอียง และมีการพิจารณาค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในสายส่ง

1.3.3 โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นสามารถจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าตั้งแต่ 10 โรงไฟฟ้าขึ้นไปและเป็นโรงไฟฟ้าชนิดพลังงานความร้อน (Thermal Power Plant) เท่านั้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้รับความรู้เกี่ยวกับการจ่ายโหลดอย่างประหยัดซึ่งมีการพิจารณาผลจากการจุดวาล์ว มีผลกระทบจากอัตราความลาดเอียง และมีการพิจารณาค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในสายส่ง และได้รับความรู้วิธีการทำงานของดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้

1.4.2 สามารถนำเอาวิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้มาใช้ในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดได้

1.4.3 สามารถนำความรู้ที่ได้จากเขียนโปรแกรม MATLAB ไปประยุกต์ใช้ในการจำลองสำหรับการคำนวณค่าต่างๆได้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (Economic Dispatch)

การจัดสรรกำลังการผลิต หรือการจ่ายโหลดอย่างประหยัดนั้น จะใช้ปริมาณความต้องการทางไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าหรือโหลดทางไฟฟ้าเพื่อจัดสรรเลือกการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยการผลิตกำลังไฟฟ้าจะต้องมีปริมาณเท่ากับค่าความต้องการไฟฟ้าและมีราคาต้นทุนในการดำเนินงานต่ำที่สุด

2.1.1 ต้นทุนดำเนินงาน (Operating Cost)

ต้นทุนดำเนินงาน คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตไฟฟ้า ซึ่งสามารถจำแนกได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

2.1.1.1 ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost)

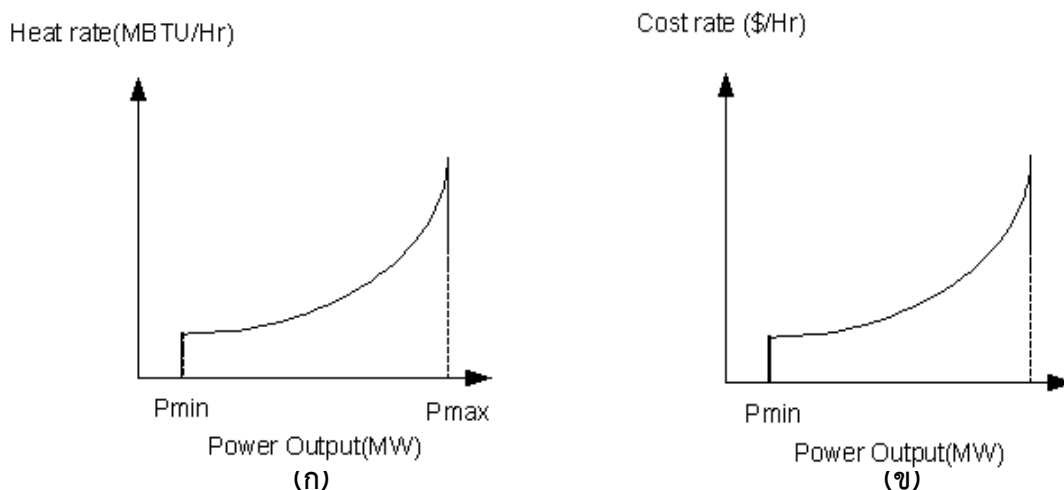
จะแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ ต้นทุนคงที่ระยะยาว (Committed Fixed Cost) และ ต้นทุนคงที่ระยะสั้น (Discretionary Fixed Cost) นั้นหมายถึงต้นทุนรวมที่ไม่เปลี่ยนแปลงไปตามระดับของการผลิตในช่วงของการผลิตระดับหนึ่งแต่ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยจะเปลี่ยนแปลงไปในทางลดลงถ้าหากปริมาณการผลิตมีเพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างของต้นทุนคงที่ เช่น เงินทุนเพื่อก่อสร้างหน่วยการผลิตไฟฟ้า ค่าจ้างแรงงาน ค่าดอกเบี้ยจากการกู้ยืมเงินมาลงทุน

2.1.1.2 ต้นทุนแปรผัน (Variable Cost)

ต้นทุนแปรผันหมายถึงต้นทุนที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นสัดส่วนกับราคาความแตกต่างของเชื้อเพลิง ได้แก่ ราคาเชื้อเพลิง น้ำมัน แก๊ส ถ่านหิน เป็นต้น ซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณกำลังไฟฟ้า (P_i) ที่มีหน่วยเป็นเมกะวัตต์ (MW) โดยทั่วไปเมื่อพิจารณาหน่วยผลิตพลังงานไฟฟ้า ปริมาณกำลังไฟฟ้าจริงที่สามารถผลิตได้คือ ผลผลิต (Output) ซึ่งส่งออกจากหน่วยผลิตไปยังโหลดและปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้ในการผลิตต่อชั่วโมงที่ส่งเข้าหน่วยผลิต (Input) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราเชื้อเพลิงขาเข้า (Input Fuel Energy Rate: F_i) มีหน่วยผลิตเป็นเมกะบีทียูต่อชั่วโมง (MBtu/hr) และต้นทุนของเชื้อเพลิง (C_i) ที่ใช้ต่อชั่วโมงมีหน่วยเป็นบาทต่อชั่วโมง (Bath/hr)

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทั้งสองจะมีลักษณะต่อเนื่องเป็นช่วงซึ่งหาได้จากการทดสอบ ส่วนความไม่ต่อเนื่องเกิดขึ้นเนื่องจากจำนวนหม้อกำเนิดไอน้ำ หรือเครื่องควบแน่นซึ่งต้องเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของกำลังผลิต โดยทั่วไปแล้วกำลังผลิตไฟฟ้าจริงจะมีขีดจำกัดสูงสุด (P_i^{max}) และต่ำสุด (P_i^{min}) ขีดจำกัดสูงสุดเกิดขึ้นเนื่องจากพิกัดกระแสของเครื่องจักรกลไฟฟ้า หรือพิกัดของกังหันไอน้ำ หรือพิกัดของหม้อกำเนิดไอน้ำ ส่วนพิกัดต่ำสุดจะสอดคล้องกับระดับการผลิตต่ำสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถทำงานได้อย่างปกติเมื่อเชื่อมต่อกับระบบไฟฟ้ากำลัง ในการคำนวณหาค่าเชื้อเพลิงของหน่วยผลิตแต่ละหน่วยนั้นจะ

ใช้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังผลิต และอัตราพลังงานขาเข้าต่อชั่วโมง เนื่องจากความสัมพันธ์ดังกล่าวมีลักษณะที่ไม่ต่อเนื่อง ดังนั้น จึงจะใช้ค่าประมาณซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นโค้งดังรูปที่ 2.1

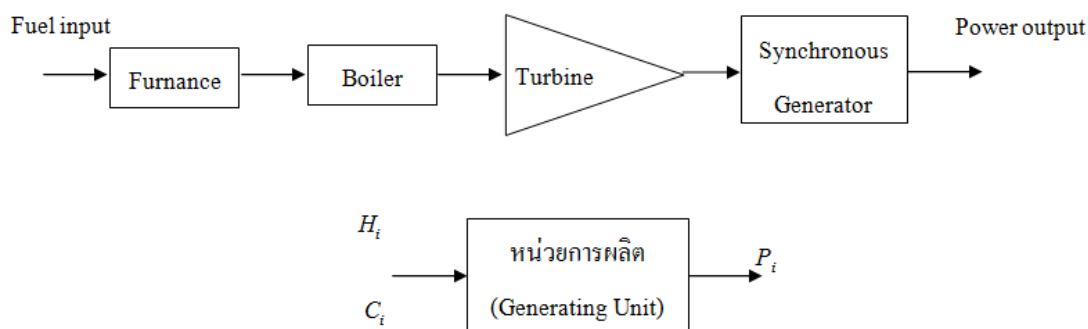


รูปที่ 2.1 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราพลังงานความร้อนและกำลังผลิต

(ข) ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราค่าราคาและกำลังผลิต

ที่มา: นายชนะพงษ์ สุขกลิ้ง นายอัษฎางค์ ศรีสุนทรศิริ. 2556

2.1.2 แบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน (Thermal Power Plant)



รูปที่ 2.2 แบบจำลองของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน (Thermal Plant)

ที่มา: ปุณณรัตน์ สมศิริวัฒนา และ อรรธรณ กังวาท. 2555

จากรูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเชื้อเพลิงขาเข้า (Fuel input) กับกำลังขาออก (Power output) จะสามารถเขียนได้เป็นสมการว่า

$$H_i(P_i) = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad (2.1)$$

โดยที่ $H_i(P_i)$ คือ อัตราความร้อนขาเข้าต่อหน่วยเมกะวัตต์ที่หน่วยผลิตมีหน่วยเป็น MBtu/hr
 P_i คือ กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหน่วยที่ i
 a_i, b_i, c_i คือ สัมประสิทธิ์คงตัวทางความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหน่วยที่ i

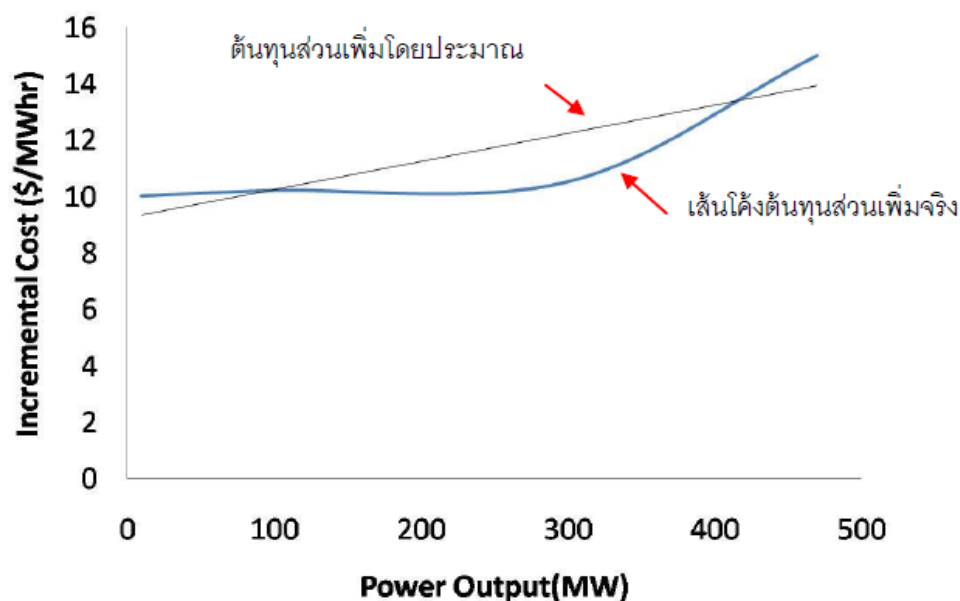
2.1.3 ต้นทุนส่วนเชื้อเพลิงส่วนเพิ่ม (Incremental fuel cost)

เมื่อนำเอาคณิตศาสตร์มาใช้ในการคำนวณหาการใช้เชื้อเพลิงขาเข้าให้น้อยที่สุดสำหรับการจ่ายไฟฟ้าให้กับโหลดรวมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 หน่วย จากการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองที่มีอัตราส่วนเพิ่มของความร้อน (Incremental Heat Rates) เท่ากัน เนื่องจากเชื้อเพลิงมีราคาเป็นบาทหรือดอลลาร์ต่อ MBtu ดังนั้นเราจึงกล่าวได้ว่า “ต้นทุนการผลิตไฟฟ้าต่ำสุดเกิดขึ้นเมื่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองมีต้นทุนเชื้อเพลิงส่วนเพิ่มเท่ากัน” ต้นทุนเชื้อเพลิงส่วนเพิ่มสามารถหาได้จากความชันของเส้นโค้งขาเข้า-ขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2 หน่วยโดยกำหนดให้

C_i คือ ราคาเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหน่วยที่ i (Baht/hr หรือ \$/hr)

P_i คือ กำลังขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหน่วยที่ i (MW)

อัตราค่าเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้น (Incremental Fuel Cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่ถูกรวมเข้าไป เมื่อเพิ่มกำลังเอาต์พุตเป็น 1 MW แล้วค่าอัตราค่าเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นสามารถหาได้จากความชัน (Slope) ของกราฟอินพุต-เอาต์พุตและคูณด้วยค่าเชื้อเพลิงต่อปีทิว (Btu) ซึ่งสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนเชื้อเพลิงส่วนเพิ่มและกำลังขาออกได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนส่วนเพิ่มของเชื้อเพลิงกับกำลังขาออก
ที่มา: นายทิวต์ถ์ เอี้ยวสำราญ นายวิรัช วุฒิกลิ้นหอม. 2556

2.1.4 สมการต้นทุนการดำเนินงานของหน่วยการผลิต (Operating Cost Equation of Generating Unit)

จากรูปที่ 2.1 จะได้สมการอัตราพลังงานเชื้อเพลิงขาเข้าต่อกำลังไฟฟ้าจริงขาออกคือ

$$F_i = H_i P_i \text{ MBtu/hr} \quad (2.2)$$

โดยที่ F_i คือ ราคาเชื้อเพลิงที่ใช้มีหน่วยเป็น \$/h หรือ Baht/hr
 H_i คือ อัตราความร้อนขาเข้าต่อหน่วยเมกะวัตต์ที่ผลิตมีหน่วยเป็น MBtu/MWh
 P_i คือ กำลังผลิตมีหน่วยเป็นเมกะวัตต์ (MW)

จากรูปที่ 2.1 ที่แสดงถึงอัตราความร้อนต่อหน่วยเมกะวัตต์ที่ผลิตโดยทั่วไปสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$H_i = a'_i + b'_i P_i + c'_i P_i^2 \text{ MBtu/MWh} \quad (2.3)$$

โดย a'_i , b'_i , c'_i คือ สัมประสิทธิ์คงตัวทางความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหน่วยที่ i และจะได้สมการอัตราพลังงานเชื้อเพลิงขาเข้าคือ

$$F_i = a'_i + b'_i P_i + c'_i P_i^2 \text{ MBtu/hr} \quad (2.4)$$

เมื่อให้ K_i เป็นราคาเชื้อเพลิงในหน่วยบาทต่อเมกะบีที่ยุติชั่วโมง (Baht/MBtu) ซึ่งจะได้สมการราคาเชื้อเพลิง คือ

$$C_i = K_i F_i \text{ Baht/hr} \quad (2.5)$$

แทนค่าใหม่จะได้

$$C_i = K_i a'_i + K_i b'_i P_i + K_i c'_i P_i^2 \quad (2.6)$$

เมื่อกำหนดให้ $a_i = K_i a'_i$, $b_i = K_i b'_i$, $c_i = K_i c'_i$ ทำการจัดรูปใหม่ได้เป็นสมการราคาต้นทุนเชื้อเพลิง (Quadratic Function) คือ

$$C_i = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \text{ Baht/hr} \quad (2.7)$$

สมการราคาต้นทุนรวม (Total Cost)

$$C_T = \sum_{i=1}^n C_i \text{ Baht/hr} \quad (2.8)$$

โดยปกติแล้วฟังก์ชันของราคาเชื้อเพลิงที่ใช้ในปัญหาการจัดสรรกำลังผลิตจะอยู่ในรูปแบบของสมการกำลังสอง (Quadratic Function) หรือสมการพหุนาม (Polynomial Equation) ซึ่งเป็นฟังก์ชันราคาที่ราบเรียบ (Smooth Cost Function) สามารถแสดงได้ดังสมการ (2.7) แต่ในเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางชนิดมีการทำงานโดยใช้เชื้อเพลิงที่แตกต่างกันได้หลายชนิด (Multiple Fuels) การเปลี่ยนแปลงชนิดของเชื้อเพลิงจึงมีผลต่อฟังก์ชันราคาต้นทุน (Cost Function) จาก Quadratic Function จะเป็น Piecewise Quadratic Function แสดงสมการได้ดังนี้

$$C_i(P_i) = \left\{ \begin{array}{l} a_{i1} + b_{i1} P_{i1} + c_{i1} P_{i1}^2 ; \text{fuel 1, } P_i^{\min} \leq P_i \leq P_{i1} \\ a_{i2} + b_{i2} P_{i2} + c_{i2} P_{i2}^2 ; \text{fuel 2, } P_{i1} \leq P_i \leq P_{i2} \\ \vdots \\ a_{ik} + b_{ik} P_{ik} + c_{ik} P_{ik}^2 ; \text{fuel k, } P_{i(k-1)} \leq P_i \leq P_i^{\max} \end{array} \right\} \quad (2.9)$$

ในการผลิตไฟฟ้าจำเป็นต้องมีการผลิตให้เพียงพอต่อความต้องการไฟฟ้าในระบบนั้นๆ ในการส่งกำลังไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าแต่ละแห่งไปยังโหลดต่างๆหรือผู้ใช้ไฟฟ้านั้นอาจมีระยะทางไฟฟ้าระหว่างหน่วยผลิตและโหลดที่ไม่เท่ากันซึ่งจะทำให้เกิดการสูญเสียในรูปของความร้อนในสายส่ง ซึ่งเราจะได้ตั้งสมการ (2.10)

Power Generation = Power Demand + Power Losses

$$\sum_{i=1}^n P_i = P_D + P_L \quad (2.10)$$

โดยสมการการสูญเสียในสายส่ง (Transmission Losses) ที่เกิดขึ้นในระบบ คือ

$$P_L = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^n B_{i0} P_i + B_{00} \quad (2.11)$$

ซึ่งขอบเขตการผลิตของแต่ละหน่วย (Generator Limits) คือ

$$P_i^{\min} \leq P_i \leq P_i^{\max} ; i=1,2,\dots,n$$

โดยที่	C_T	คือ ราคาเชื้อเพลิงรวม (Baht/hr)
	C_i	คือ กำลังขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (MW)
	P_D	คือ กำลังไฟฟ้าที่โหลดต้องการใช้ (MW)
	P_L	คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในสายส่ง (MW)
	P_i	คือ กำลังไฟฟ้าขาออกของหน่วยผลิตที่ i (MW)
	P_j	คือ กำลังไฟฟ้าขาออกของหน่วยผลิตที่ j (MW)
	B_{ij}	คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียของเมตริกซ์สี่เหลี่ยมที่ตำแหน่ง ij
	B_{i0}	คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียของเวกเตอร์ที่ตำแหน่ง i

- B_{00} คือ สัมประสิทธิ์การสูญเสียของเวกเตอร์
 P_i^{\min} คือ กำลังขาออกที่น้อยที่สุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ i (MW)
 P_i^{\max} คือ กำลังขาออกที่มากที่สุดของหน่วยผลิตที่ i (MW)
 n คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ทำงาน

2.1.5 ผลกระทบที่เกิดจากจุดวาล์ว (Valve-Point Effects)

ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากจุดวาล์วคือผลกระทบที่ทำให้ค่าฟังก์ชันของราคาเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นนี้เป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้น (Non-linear) ซึ่งเมื่อรวมผลกระทบจากจุดวาล์วเข้าไปในสมการหาค่าการผลิตจะได้สมการดังนี้

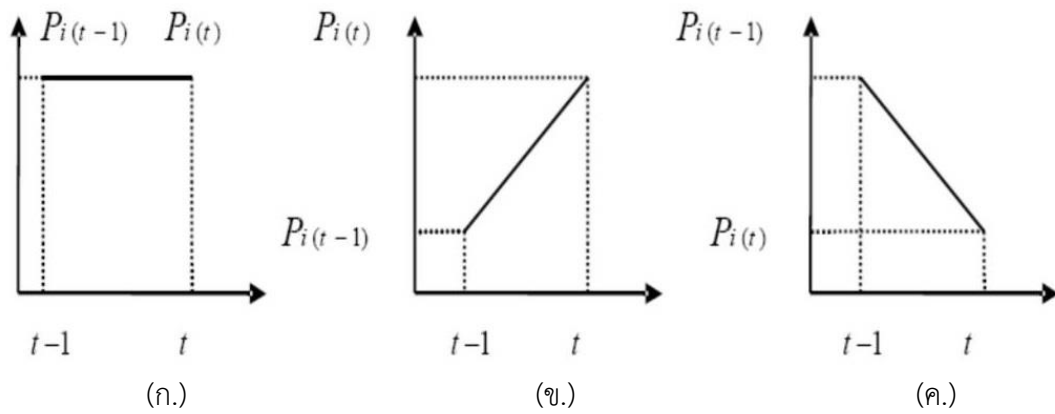
$$C_i = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 + \left| e_i \sin \left(f_i (P_i^{\min} - P_i) \right) \right| \quad (2.12)$$

โดยที่ e_i f_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงที่เกิดจากจุดวาล์วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ i ตั้งขึ้นจากสมการ (2.12) ในกรณีที่พิจารณาทั้งเชื้อเพลิงหลายเชื้อเพลิง มีผลกระทบที่เกิดขึ้นจากจุดวาล์ว และคิดค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบจะได้สมการต้นทุนดำเนินงานของหน่วยผลิตว่า

$$C_i(P_i) = \left\{ \begin{array}{l} a_{i1} + b_{i1} P_{i1} + c_{i1} P_{i1}^2 + \left| e_{i1} \sin \left(f_{i1} (P_{i1,\min} - P_{i1}) \right) \right| + P_{L1} ; fuel 1, P_i^{\min} \leq P_i \leq P_{i1} \\ a_{i2} + b_{i2} P_{i2} + c_{i2} P_{i2}^2 + \left| e_{i2} \sin \left(f_{i2} (P_{i2,\min} - P_{i2}) \right) \right| + P_{L2} ; fuel 2, P_{i1} \leq P_i \leq P_{i2} \\ \vdots \\ a_{ik} + b_{ik} P_{ik} + c_{ik} P_{ik}^2 + \left| e_{ik} \sin \left(f_{ik} (P_{ik,\min} - P_{ik}) \right) \right| + P_{Lk} ; fuel k, P_{i,k-1} \leq P_i \leq P_i^{\max} \end{array} \right\} \quad (2.13)$$

2.1.6 ผลกระทบที่เกิดจากขีดจำกัดอัตราความลาดเอียง (Ramp rate)

ข้อจำกัดเนื่องจากขีดจำกัดอัตราความลาดเอียงในการการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะแบ่งได้เป็น อัตราความลาดที่ อัตราความลาดเพิ่มขึ้น อัตราความลาดลดลง ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 กราฟแสดงลักษณะอัตราตลาดในการผลิตไฟฟ้า

ที่มา: W. M. Mansour, S. M. Abdel maksoud, H. A. Henry and M. M. Salama. 2013

จากรูปที่ 2.4 (ข) เราสามารถเขียนสมการได้ว่า $P_{i(t)} - P_{i(t-1)} \leq UR_i$ (2.14)

จากรูปที่ 2.4 (ค) เราสามารถเขียนสมการได้ว่า $P_{i(t-1)} - P_{i(t)} \leq DR_i$ (2.15)

จากสมการ (2.14) และ (2.15) จะได้เป็น

$$\max(P_i^{\min}, P_{i(t-1)} - DR_i) \leq P_{i(t)} \leq \min(P_i^{\max}, P_{i(t-1)} + UR_i) \quad (2.16)$$

จากสมการ (2.16) สามารถแบ่งได้เป็น

$$P_{i,min,ramp} = \max(P_i^{\min}, P_{i(t-1)} - DR_i) \quad (2.17)$$

$$P_{i,max,ramp} = \min(P_i^{\max}, P_{i(t-1)} + UR_i) \quad (2.18)$$

- โดยที่ $P_{i(t)}$ คือ กำลังไฟฟ้าขาออกของหน่วยผลิตที่ i (MW) ในช่วงเวลา (t)
 $P_{i(t-1)}$ คือ กำลังไฟฟ้าขาออกของหน่วยผลิตที่ i (MW) ในช่วงเวลาก่อนหน้า ($t-1$)
 UR_i คือ ขีดจำกัดการลาดขึ้นของหน่วยผลิตที่ i (MW/time-period)
 DR_i คือ ขีดจำกัดการลาดลงของหน่วยผลิตที่ i (MW/time-period)

2.2 วิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึม

Kenneth Price และ Rainer Storn ได้คิดค้น Differential Evolution Algorithm (DEA) ขึ้นในปี ค.ศ. 1995 จากความพยายามที่จะแก้ปัญหา Polynomial Fitting โดยที่ DEA นั้นเป็นวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบสโตคาสติกมีพื้นฐานมาจากการหาคำตอบของปัญหาโดยวิธีสุ่มเลือก พัฒนามาจาก Genetic Algorithm (GA) ข้อแตกต่างที่สำคัญคือ GA จะแปลงตัวแปรการตัดสินใจ (Decision Variables) ให้เป็นรหัสเลขฐานสอง (Binary Code) แต่ DEA มีโครงสร้างที่ซับซ้อนน้อยกว่า เนื่องจากสามารถใช้ค่าจริง (Floating Point Number) ในการประยุกต์ใช้หาคำตอบของปัญหาได้ จึงทำให้ DEA เป็นวิธีที่มีความเร็วและประสิทธิภาพในการหาคำตอบสูงกว่า ง่ายต่อการนำไปใช้ เหมาะสำหรับการแก้ปัญหาประเภท Non-Linear Function และ Non-Differentiate Function

วิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริธึมเป็นวิธีการแก้ปัญหาแบบขนาน โดยใช้ประชากร P ขนาน N_p ในทุกเจนเนอเรชัน G ระหว่างการแก้ปัญหา DEA ใช้ประชากร $P^{(G)}$ ขนาด N_p

$$P^{(G)} = \left[X_1^{(G)}, \dots, X_i^{(G)}, \dots, X_{N_p}^{(G)} \right]; i = 1, \dots, N_p \quad (2.19)$$

X_i เป็นเวกเตอร์ที่มีขนาด D โดย

$$X_i^{(G)} = \left[x_{1,i}^{(G)}, \dots, x_{j,i}^{(G)}, \dots, x_{D,i}^{(G)} \right]; i = 1, \dots, N_p; j = 1, \dots, D \quad (2.20)$$

วิธีการคิดแบบ DEA จะประกอบด้วย 4 ขั้นตอนคือ การตั้งสมมติค่าเริ่มต้น (Initialization) การมิวเตชัน (Mutation) การครอสโอเวอร์ (Crossover) และการคัดเลือก (Selection)

2.2.1 การสมมติค่าเริ่มต้น (Initialization)

สำหรับการสมมติค่าเริ่มต้นในขั้นตอนของวิธีการคิดแบบ DEA นั้น จะต้องมีการกำหนดขอบเขตบนและขอบเขตล่าง ของตัวแปรการตัดสินใจแต่ละตัว โดยขอบเขตนี้จะต้องครอบคลุมจุดที่ให้ค่าตอบที่ดีที่สุด จากนั้นให้สุ่มหาค่าตอบที่เป็นไปได้เริ่มต้น (Initial Population) โดยกำหนดให้โอกาสที่จะถูกเลือกของคำตอบมีค่าสม่ำเสมอ (Uniform Probability Distribution) โดยคำตอบแต่ละคำตอบซึ่งเรียกว่า Decision Vector จะมีมิติเท่ากับ D และจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้เริ่มต้นเท่ากับ N_p จากนั้นคำนวณหา Function Value ของแต่ละคำตอบเริ่มต้นที่เป็นไปได้ ดังสมการที่ 2.21

$$x_{j,i}^{(G=0)} = x_j^{\min} + \text{rand}_j [0,1] \cdot (x_j^{\max} - x_j^{\min}) \quad (2.21)$$

เมื่อ $i=1, \dots, N_p$

$j=1, \dots, D$

$x_{j,i}^{(G=0)}$ คือ ค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ j^{th} ของเวกเตอร์อิสระ i^{th}

$x_j^{\min} x_j^{\max}$ คือ ค่าต่ำสุดและสูงสุดของพารามิเตอร์ j^{th} ตามลำดับ

2.2.2 การมิวเตชัน (Mutation)

เมื่อทำการสมมติค่าเริ่มต้นแล้ว ในขั้นตอนต่อไปจะใช้ขั้นตอนพื้นฐานของวิธทางพันธุกรรมสามอย่าง คือ มิวเตชัน ครอสโอเวอร์ และการคัดเลือกเพื่อให้ได้ประชากรในเจเนอเรชันถัดไปคือ $P^{(G+1)}$ โดยใช้ประชากรในปัจจุบัน $P^{(G)}$

การมิวเตชันจะเริ่มต้นด้วยการกำหนดเวกเตอร์เป้าหมาย ($X_{i,G}$) โดยที่ $i=1,2,3, \dots, N_p$ แล้วจึงทำการสุ่มเลือก Random Vector จำนวน 3 เวกเตอร์ ($X_{r1,G}, X_{r2,G}, X_{r3,G}$) จากประชากรตั้งต้นโดยที่จะต้องไปซ้ำกับเวกเตอร์เป้าหมาย แล้วจึงจะคำนวณหามิวแทนท์เวกเตอร์ ($V_{i,G+1}$) จากความสัมพันธ์

$$V_{i,G+1} = X_{r1,G} + F(X_{r2,G} - X_{r3,G}) \quad (2.22)$$

โดยที่ $X_{i,G}$ คือ เวกเตอร์เป้าหมาย (Target Vector)
 $V_{i,G+1}$ คือ มิวแทนต์เวกเตอร์ (Mutant Vector)
 F คือ จำนวนจริงที่มีค่าคงที่และมีค่าระหว่าง 0 ถึง 2 (Weighing Factor)
 $X_{r1,G}$ $X_{r2,G}$ $X_{r3,G}$ คือ Random Vector
 การมิวเตชันนั้นจะมีอยู่ด้วยกัน 10 แบบซึ่งแบบที่ 1-5 นั้นจะเป็นแบบดั้งเดิมที่ถูกเสนอขึ้นโดย สเตอร์น และแบบที่ 6-10 เป็นแบบใหม่ ดังนี้

2.2.2.1 DEA1 ในวิธีแรกนี้เวกเตอร์ดัดแปลงจะถูกสร้างขึ้นจากสมการที่ 2.22

$$V_i^{(G)} = X_{best}^{(G)} + F \left(X_{r2}^{(G)} - X_{r3}^{(G)} \right); i = 1, \dots, N_P \quad (2.23)$$

2.2.2.2 DEA2 จะมีวิธีการทำงานคล้ายกับวิธีแรกแต่จะแตกต่างกันโดยที่วิธีนี้จะทำงานอยู่บนฐานของเวกเตอร์สมาชิกที่สุ่มเลือกมา $X_{r1}^{(G)}$ คำนวณได้ดังสมการที่ 2.24

$$V_i^{(G)} = X_{r1}^{(G)} + F \left(X_{r2}^{(G)} - X_{r3}^{(G)} \right); i = 1, \dots, N_P \quad (2.24)$$

2.2.2.3 DEA3 วิธีนี้จะทำการดัดแปลงเวกเตอร์โดยการใช้ความแตกต่างจากวิธีที่ดีที่สุดและความแตกต่างของเวกเตอร์สมาชิกที่สุ่มเลือกมาดังสมการที่ 2.25

$$V_i^{(G)} = X_i^{(G)} + \lambda \left(X_{best}^{(G)} - X_i^{(G)} \right) + F \left(X_{r1}^{(G)} - X_{r2}^{(G)} \right); i = 1, \dots, N_P \quad (2.25)$$

2.2.2.4 DEA4 มีการดัดแปลงเวกเตอร์โดยการใช้ค่าความแตกต่างของสองเวกเตอร์สมาชิกที่สุ่มเลือกมาดังสมการที่ 2.26

$$V_i^{(G)} = X_{best}^{(G)} + F \left(X_{r1}^{(G)} + X_{r2}^{(G)} - X_{r3}^{(G)} - X_{r4}^{(G)} \right); i = 1, \dots, N_P \quad (2.26)$$

2.2.2.5 DEA5 มีการทำงานคล้ายกับ DEA4 แต่จะแตกต่างกันโดยการแทนค่าที่ดีที่สุด ใน DEA4 ด้วยเวกเตอร์สมาชิกที่สุ่มเลือกมาดั่งสมการที่ 2.27

$$V_i^{(G)} = X_{r5}^{(G)} + F \left(X_{r1}^{(G)} + X_{r2}^{(G)} - X_{r3}^{(G)} - X_{r4}^{(G)} \right); i = 1, \dots, N_P \quad (2.27)$$

2.2.2.6 DEA6 มีการทำงานคล้ายกับ DEA1 แต่จะแตกต่างกันที่วิธีนี้จะแทนเวกเตอร์ที่สุ่มเลือกมาเป็นค่าเวกเตอร์สมาชิกที่ดีที่สุดกับค่าเวกเตอร์ที่จะทำการดัดแปลงดั่งสมการที่ 2.28

$$V_i^{(G)} = X_{best}^{(G)} + F \left(X_{best}^{(G)} - X_i^{(G)} \right); i = 1, \dots, N_P \quad (2.28)$$

2.2.2.7 DEA7 มีหลักการคิดเหมือนกับ DEA4 แต่จะใช้เวกเตอร์ 3 เวกเตอร์ที่ต่างกันในการดัดแปลงดั่งสมการที่ 2.29

$$V_i^{(G)} = X_{best}^{(G)} + F \left(X_{best}^{(G)} - X_i^{(G)} - X_{r1}^{(G)} - X_{r2}^{(G)} \right); i = 1, \dots, N_P \quad (2.29)$$

2.2.2.8 DEA8 มีหลักการคิดเหมือนกับ DEA3 แต่จะต่างกันตรงที่ DEA3 จะคิดบนฐานของเวกเตอร์สมาชิกที่ดีที่สุด ส่วน DEA8 จะคิดบนฐานของเวกเตอร์ตัวที่ถูกดัดแปลงดั่งสมการที่ 2.30

$$V_i^{(G)} = X_{best}^{(G)} + \lambda \left(X_{best}^{(G)} - X_i^{(G)} \right) + F \left(X_{r1}^{(G)} - X_{r2}^{(G)} \right); i = 1, \dots, N_P \quad (2.30)$$

2.2.2.9 DEA9 มีการทำงานคล้ายกับ DEA5 แต่จะแตกต่างกันที่วิธีนี้จะใช้การสุ่มเวกเตอร์สองเวกเตอร์เท่านั้นดังสมการที่ 2.31

$$V_i^{(G)} = X_{best}^{(G)} + F \left(X_{best}^{(G)} + X_i^{(G)} - X_{r1}^{(G)} - X_{r2}^{(G)} \right); i = 1, \dots, N_P \quad (2.31)$$

2.2.2.10 DEA10 วิธีนี้จะคล้ายกับ DEA6 แต่จะแทน $X_i^{(G)}$ ด้วย $X_i^{(G-1)}$ จากเจเนอเรชันก่อนหน้าดังสมการที่ 2.32

$$V_i^{(G)} = X_{best}^{(G)} + F \left(X_{best}^{(G)} - X_{best}^{(G-1)} \right); i = 1, \dots, N_P \quad (2.32)$$

2.2.3 การครอสโอเวอร์ (Crossover)

สำหรับการครอสโอเวอร์นั้น จะเป็นการช่วยให้ DEA มีความหลากหลายมากขึ้น โดยจะสร้างเวกเตอร์ทดลอง $u_{j,i}^{(G)}$ ด้วยการผสมผสานระหว่างมิวแทนท์เวกเตอร์ V_j กับเวกเตอร์เป้าหมาย X_j โดยสามารถหาค่าเวกเตอร์ทดลองได้จากสมการ

$$U_i^{(G)} = u_{j,i}^{(G)} = \begin{cases} V_{j,i}^{(G)} & \text{if } \text{rand}_j(0,1) \leq CR \quad j = s \\ X_{j,i}^{(G)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.33)$$

- เมื่อ $u_{j,i}^{(G)}$ = Trial Vector
 $V_{j,i}^{(G)}$ = Mutant Vector
 $X_{j,i}^{(G)}$ = Target Vector
 rand_j = ค่าที่สุ่มขึ้นมา มีค่า (0,1)
 CR = Crossover Constant มีค่าเป็นเลขจำนวนจริงระหว่าง 0 ถึง
 S = ค่า Index จากการสุ่มเลือกมีค่าเป็นเลขจำนวนเต็มระหว่าง $1,2,\dots,D$

2.2.4 การคัดเลือก (Selection)

การคัดเลือกเป็นกระบวนการคัดสรรหาคำตอบ โดยมีวิธีการคือเปรียบเทียบค่าของฟังก์ชันของเวกเตอร์ทดลองกับเวกเตอร์เป้าหมาย ถ้าเวกเตอร์ทดลองให้ค่าของฟังก์ชันที่ดีกว่า มันก็จะแทนที่เวกเตอร์เป้าหมายในเจเนอเรชันต่อไป จากนั้นก็จะทำซ้ำขั้นตอนที่ 2.2 ถึงขั้นตอนที่ 2.4 จนครบทุกเวกเตอร์ในเจเนอเรชันปัจจุบัน และแทนที่เจเนอเรชันปัจจุบันด้วยเจเนอเรชันต่อไป แล้วทำซ้ำกระบวนการทั้งหมดจนถึง Stopping Criteria

$$X_i^{(G+1)} = \begin{cases} U_i^{(G)} & \text{if } f(U_i^{(G)}) \leq f(X_i^{(G)}) \\ X_i^{(G)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.34)$$

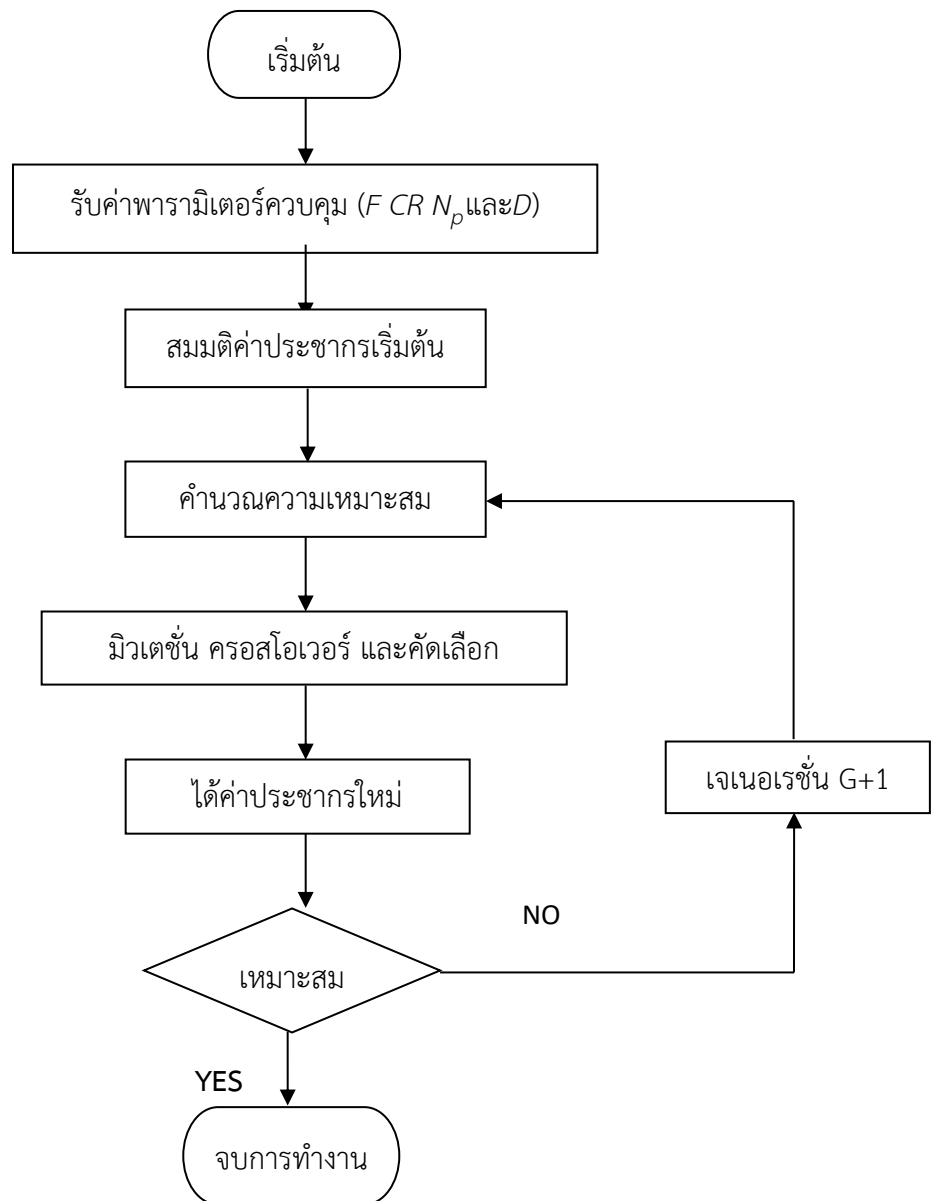
2.2.5 การทำงานของ DEA

สำหรับการทำงานของ DEA นั้นจะเริ่มทำงานโดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ควบคุมต่างๆของ DEA ได้แก่ ตัวประกอบมิวเตชัน (F) ค่าคงที่การครอสโอเวอร์ (CR) และจำนวนประชากร (N_p) แล้วจึงทำตามขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้นคือ กำหนดค่าเริ่มต้นมิวเตชัน ครอสโอเวอร์ และการคัดเลือก โดยคำนวณเป็นวงรอบวนไปเรื่อยๆจนกว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุดจึงหยุดคำนวณ โดยขั้นตอนการทำงานสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนที่ 1 รับค่าพารามิเตอร์ควบคุมต่างๆ ได้แก่ F CR N_p and D
- ขั้นตอนที่ 2 สมมติค่าประชากรเริ่มต้นโดยเป็นเวกเตอร์ขนาด D จำนวน N_p เวกเตอร์
- ขั้นตอนที่ 3 ประเมินค่าประชากรที่สมมติได้จากขั้นตอนที่ 2
- ขั้นตอนที่ 4 สร้างเวกเตอร์มิวเตชันจากประชากรที่มีจำนวน N_p เวกเตอร์
- ขั้นตอนที่ 5 สร้างเวกเตอร์ทดลองจากการครอสโอเวอร์จำนวน N_p เวกเตอร์
- ขั้นตอนที่ 6 ประเมินค่าเวกเตอร์ทดลองที่สร้างขึ้น

- ขั้นตอนที่ 7 ทำการคัดเลือกโดยเปรียบเทียบค่าระหว่างประชากรเดิมกับเวกเตอร์ทดลองที่สร้าง
- ขั้นตอนที่ 8 นำประชากรที่ทำการคัดเลือกแล้วใช้เป็นประชากรสำหรับในรอบการ คำนวณถัดไป
- ขั้นตอนที่ 9 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4 ถึงขั้นตอนที่ 8 จนกว่าจะได้ค่าที่ดีที่สุดของประชากรจะเป็นค่าที่เหมาะสมหรือจบการคำนวณรอบคำนวณสูงสุด

สรุปขั้นตอนการทำงานของ DEA ทั้งหมดนี้ได้วางแผนผังในรูป 2.5



รูปที่ 2.5 ขั้นตอนการทำงานของ DEA

2.3 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 อาจารย์ ดร.ชนาธิป สุ่มอิม อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้ทำการศึกษาและทำการวิจัยในเรื่องเกี่ยวกับ Economic Dispatch by Ant Colony Search Algorithm ซึ่งงานวิจัยนี้เสนอเกี่ยวกับการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัด โดยใช้วิธี Ant Colony Search Algorithm(ACSA) วิธีนี้จะเลียนแบบธรรมชาติของมดที่จะค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดจากจุดเริ่มต้นไปยังจุดปลายทาง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบกับระบบของ IEEE ชนิด 30 buses และคิดค่าความสูญเสียในสายส่ง และนำค่าที่ได้มาเทียบกับการแก้ปัญหาอีก 2 แบบคือ Lambda และ GA ผลที่ได้จากงานวิจัยคือ ได้ราคาที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอีก 2 แบบ แต่ระยะเวลาในการทำงานจะช้ากว่าแบบ Lambda แต่จะไวกว่าแบบ GA

2.3.2 อาจารย์ ดร.ชนาธิป สุ่มอิม อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้ทำการศึกษาและทำการวิจัยในเรื่องเกี่ยวกับ Self-Adaptive Differential Evolution Algorithm for Economic Dispatch with Transmission losses considerations ซึ่งได้นำวิธีคิดแบบ Differential Evolution Algorithm(DEA) มาคิดซึ่งมีการพัฒนาให้มีความน่าเชื่อถือและมีประโยชน์ในหลายๆด้าน การหาค่าที่เหมาะสม DEA ใช้การเลือกที่มากกว่าและการสุ่มค่าที่น้อยกว่าในการแก้ไขปัญหโดยในการคำนวณหาค่าตอบการจ่ายโหลดอย่างประหยัดทำการทดสอบกับระบบ IEEE 30-Buses และคิดค่าการสูญเสียในสายส่ง โดยในการทดลองมีการใช้วิธี Lambda,GA,TS,SA และ ACSA ซึ่งผลที่ได้คือ มีค่า Total Cost ที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ และใช้เวลาคำนวณที่ค่อนข้างน้อย

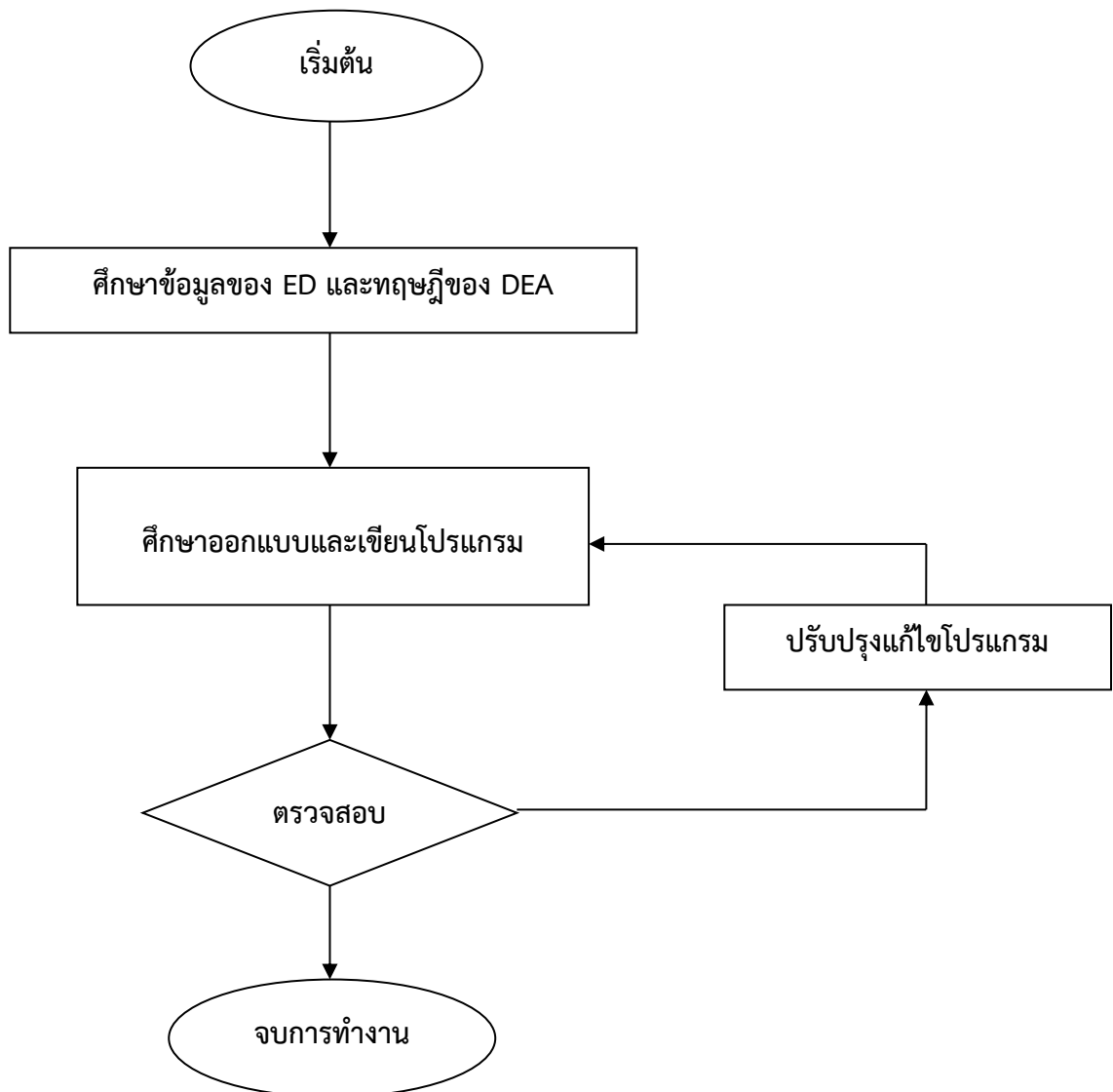
2.3.3 นายปณณรัตน์ สมศิริวัฒนา และ นางสาวอรวรรณ กังวาท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้ทำการศึกษาและทำการวิจัยในเรื่องเกี่ยวกับ Self-Adaptive Differential Evolution Algorithm for Economic Dispatch with Multiple Fuels Units and Valve-Point Effects ได้ใช้วิธีการดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริทึมแบบปรับตัวได้ในการแก้ปัญหา ซึ่งจากงานวิจัยจะแบ่งเป็น 2 กรณีคือ กรณีแรกศึกษาระบบที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยสามารถเลือกใช้งานเชื้อเพลิงได้แต่ไม่พิจารณาจุดวาล์ว กรณีที่สองศึกษาระบบที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าโดยสามารถเลือกใช้งานเชื้อเพลิงได้และพิจารณาจุดวาล์ว โดยที่ทั้ง 2 กรณีไม่คิดค่าการสูญเสียในสายส่ง จากการทดลองผลที่ได้คือเมื่อคำตอบที่ได้ไปเปรียบเทียบกับวิธีอื่นจะพบว่าวิธีการดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริทึมแบบปรับตัวได้ จะให้ค่าที่เหมาะสมและดีกว่าวิธีอื่นเมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน

ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

ในการแก้ไขปัญหาการจัดสรรกำลังการผลิตจำเป็นที่จะต้องหาอัตราการผลิตของแต่ละหน่วยผลิต ซึ่งต้องมีปริมาณกำลังไฟฟ้ารวมเพียงพอต่อความต้องการไฟฟ้า ณ ช่วงเวลานั้นๆ โดยต้องมีการคิดค่าความสูญเสียในสายส่ง ระหว่างหน่วยการผลิตโดยพิจารณาจุดควาស់และอัตราการลาดเอียงกับโหลดที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้า และที่สำคัญที่สุดต้องมีราคาต้นทุนการผลิตรวมของทุกหน่วยการผลิตที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ซึ่งราคาต้นทุนนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการผลิตของแต่ละหน่วยการผลิต

ในการออกแบบ ดีพเพอร์เรนเซียลิวอลูชันอัลกอริทึมแบบปรับตัวเองได้ เป็นวิธีที่มีแนวคิดมาจากกระบวนการคัดสรรตามธรรมชาติโดยการจำลองเลียนแบบโครโมโซม โดยกระบวนการจะกระทำซ้ำจนได้กลุ่มค่าที่ดีที่สุด ในการแก้ปัญหา นั้นจะมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์สองตัวคือ ตัวประกอบมิวเตชัน(F) และค่าคงที่ ครอสโอเวอร์(CR) โดยมีตัวของอัลกอริทึมช่วยในการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับพารามิเตอร์ทั้งสอง เพื่อที่จะทำให้โปรแกรมสามารถคำนวณได้รวดเร็วและได้ค่าที่เหมาะสมมากที่สุด

3.1 แผนผังขั้นตอนการทำงานของโครงการ



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ

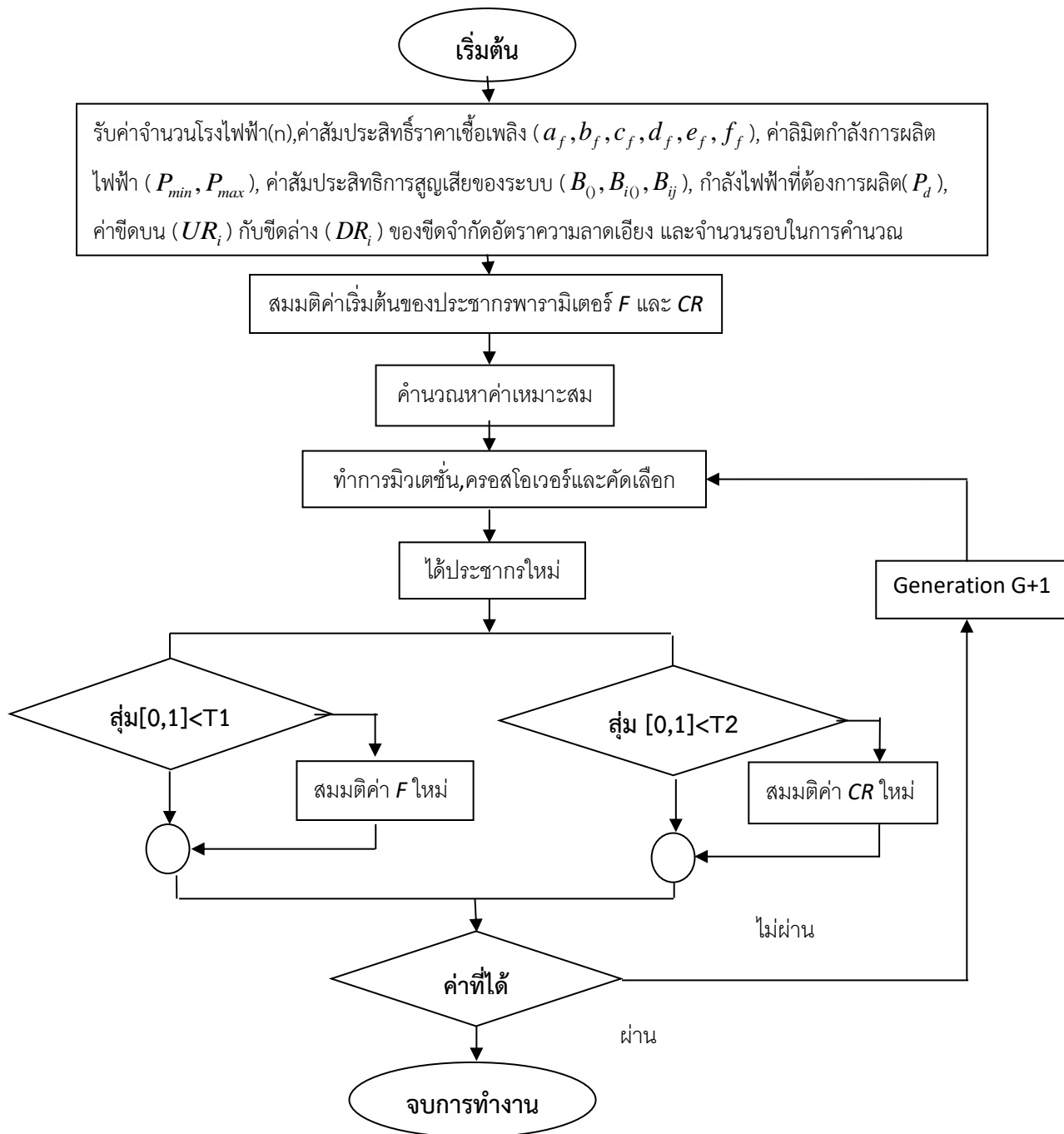
จากรูปที่ 3.1 ซึ่งแสดงขั้นตอนการทำโครงการโดยสามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

- ขั้นตอนที่ 1 ทำการศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับปัญหาการจัดสรรกำลังผลิตของหน่วยผลิตและศึกษาทฤษฎีของดิฟเฟอร์เรนเชียลโวลูชันอัลกอริธึม
- ขั้นตอนที่ 2 ทำการออกแบบการใช้ดิฟเฟอร์เรนเชียลโวลูชันอัลกอริธึมในการแก้ปัญหาการจัดสรรกำลังผลิตของหน่วยผลิต และทำการทดสอบเขียนเป็นโปรแกรมโดยใช้ MATLAB
- ขั้นตอนที่ 3 ทำการทดสอบโปรแกรม และทำการแก้ไขปรับปรุงโปรแกรม
- ขั้นตอนที่ 4 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 3 จนได้โปรแกรมที่ถูกต้องและเชื่อถือได้

3.2 การออกแบบโปรแกรมการคำนวณ

โครงการนี้ได้ทำการศึกษาและแก้ไขปัญหาการจัดสรรกำลังผลิตเพื่อการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยเขียนโปรแกรม MATLAB R2011a ด้วยวิธีการดิฟเฟอร์เรนเชียลโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้ (Self-Adaptive Differential Evolution Algorithm) โดยข้อมูลที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด 10 เครื่องในบทนี้ได้แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมและผลการทดสอบที่มีค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าเป็นช่วงเวลานี้อาจมีผลกระทบที่เกิดจากขีดจำกัดอัตราลาดเอียงโดยสามารถเลือกใช้เชื้อเพลิงได้หลายแบบโดยจะพิจารณาที่จุดคว่ำ และ การสูญเสียของระบบ ซึ่งผลที่ได้นั้นจะนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการจัดสรรกำลังการผลิตเพื่อการจ่ายโหลดอย่างประหยัดแบบก่อนๆและวิเคราะห์การทดลองไว้ในบทที่ 4 และสรุปผลการทดลองในบทที่ 5

3.2.1 หลักการออกแบบโปรแกรม



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการออกแบบโปรแกรม

3.2.2 ขั้นตอนการทำการออกแบบโปรแกรมของโปรแกรม

จากรูปที่ 3.2 จะมีขั้นตอนการออกแบบโปรแกรกดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 รับค่าพารามิเตอร์ควบคุมต่างๆได้แก่จำนวนโรงไฟฟ้า(n),ค่าสัมประสิทธิ์ราคาเชื้อเพลิง ($a_f, b_f, c_f, d_f, e_f, f_f$), ค่าลิมิตกำลังการผลิตไฟฟ้า (P_{min}, P_{max}), ค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียของระบบ(B_0, B_{i0}, B_{ij}), กำลังไฟฟ้าที่ต้องการผลิต (P_d), ค่าขีดบน(UR_i)กับ
ขีดล่าง (DR_i)ของขีดจำกัดอัตราความลาดเอียง และจำนวนรอบในการคำนวณ
- ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่าร้อยละในการเปลี่ยนค่าของพารามิเตอร์ F และ CR คือ T1และT2 ตามลำดับ
- ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่าพารามิเตอร์ F และ CR เริ่มต้น จำนวน N_p ค่ากล่าวคือ
เวกเตอร์สมาชิก 1 เวกเตอร์จะมีพารามิเตอร์ F และ CR เป็นของตัวเอง
เพื่อนำไปใช้ในการ มิวเตชันและ ครอสโอเวอร์ของตัวเอง
- ขั้นตอนที่ 4 สมมติค่าประชากรเริ่มต้น โดยเป็นเวกเตอร์ขนาด D จำนวน N_p เวกเตอร์
- ขั้นตอนที่ 5 ประเมินค่าประชากรที่สมมุติมาจากขั้นตอนที่ 3
- ขั้นตอนที่ 6 สร้างเวกเตอร์มิวเตชันจากประชากรที่มีจำนวน N_p เวกเตอร์
- ขั้นตอนที่ 7 สร้างเวกเตอร์ทดลองจากค่าครอสโอเวอร์จำนวน N_p เวกเตอร์
- ขั้นตอนที่ 8 ประเมินค่าเวกเตอร์ที่สร้างขึ้น
- ขั้นตอนที่ 9 ทำการคัดเลือกโดยเปรียบเทียบค่าระหว่างประชากรเดิมกับเวกเตอร์ทดลองที่สร้างขึ้น
- ขั้นตอนที่ 10 มีการสุ่มการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ F และ CR และตัวเลือกได้ คือใช้
ความน่าจะเป็นเข้าช่วยในการตัดสินใจเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ โดยโอกาสที่จะมี
การเปลี่ยนเท่ากับ 10 %
- ขั้นตอนที่ 11 นำประชากรที่ทำการคัดเลือกแล้วเป็นประชากรในรอบคำนวณถัดไป

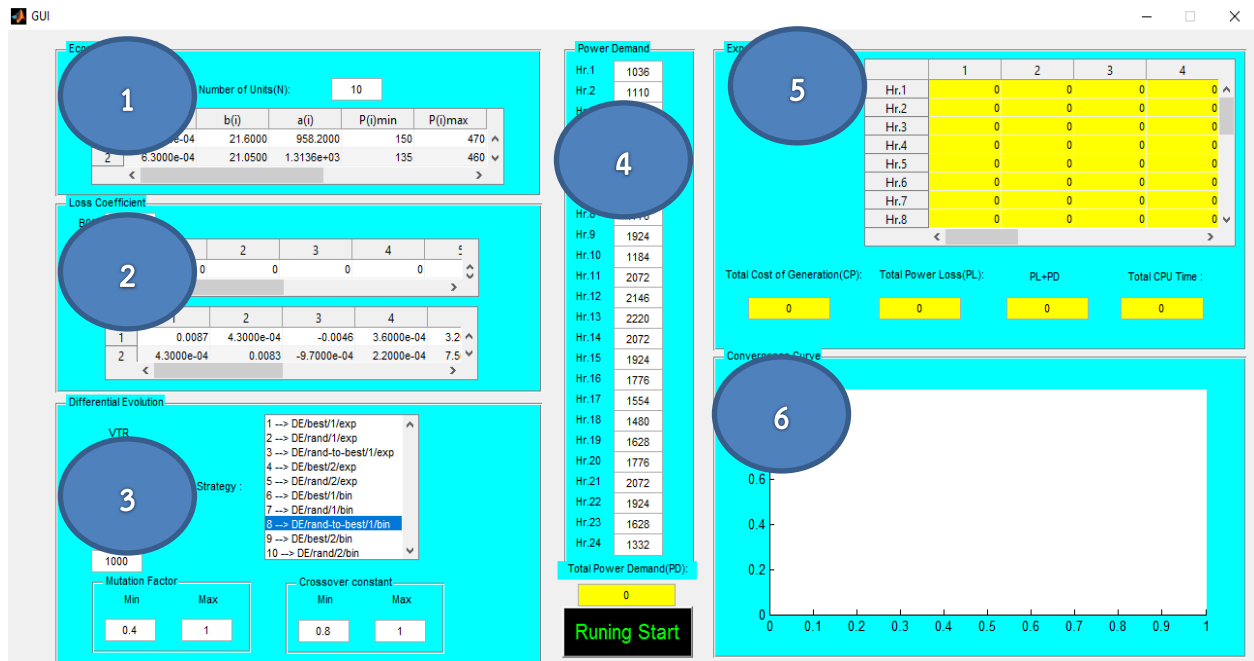
บทที่ 4

ผลการทดลอง

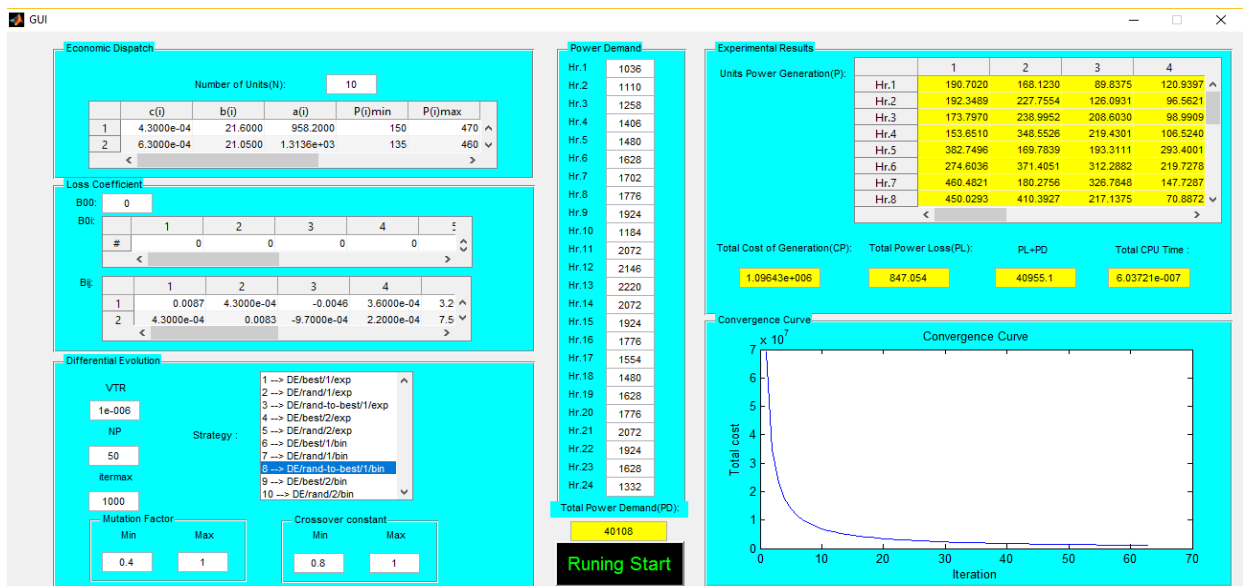
ในการทดลองเพื่อที่จะทำการทดสอบปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหัต โปรแกรมที่ใช้การทดสอบคือ MATLAB 2011a ทำการประมวลผลบน CPU Intel Core i5 โดยทำการทดสอบกับโรงไฟฟ้าทั้งหมด 10 หน่วยที่มีการพิจารณาการสูญเสียของสายส่ง การจุดคว่ำวอล์ว และการลาดเอียง ซึ่งในการทดสอบจะเป็นการทดสอบ 24 ชั่วโมง ที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าที่แตกต่างกันคือตั้งแต่ 1036 MW ถึง 2220 MW ซึ่งในการทดสอบจะทำการทดสอบ 50 ครั้ง ในแต่ละครั้งมีรอบการคำนวณ 1000 รอบ

ข้อมูลต่างๆของระบบที่ใช้ในการทดสอบในงานวิจัยนี้ได้ระบุไว้ในภาคผนวก

4.1 รูปแบบของเมนูหลักของโปรแกรมในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยวิธีดิวอลิฟเวอร์เรนเซียวิโวลูชั่นอัลกอริทึมแบบปรับตัวเองได้



รูปที่ 4.1 หน้าจอ GUI ขณะยังไม่กด Running Start



รูปที่ 4.2 หน้าจอ GUI ขณะที่ยังไม่ทำการรันโปรแกรม ส่วนในรูปที่ 4.2 เป็นหน้าตาที่

ทำการรันโปรแกรมเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งภายในหน้าตา GUI จะประกอบไปด้วย

1. หน้าต่าง Economic Dispatch

	c(i)	b(i)	a(i)	P(i)min	P(i)max
1	4.3000e-04	21.6000	958.2000	150	470 ^
2	6.3000e-04	21.0500	1.3136e+03	135	460 v

รูปที่ 4.3 หน้าต่างค่าของข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด 10 หน่วย

จากรูปที่ 4.3 จะประกอบไปด้วยจำนวนโรงไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆของโรงไฟฟ้าคือ สัมประสิทธิ์เชื้อเพลิง ขีดจำกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ค่าสัมประสิทธิ์เนื่องจากการจุดวาล์ว และค่า ขีดจำกัดการลาดเอียง

2. หน้าต่าง Loss Coefficient

B00: 0

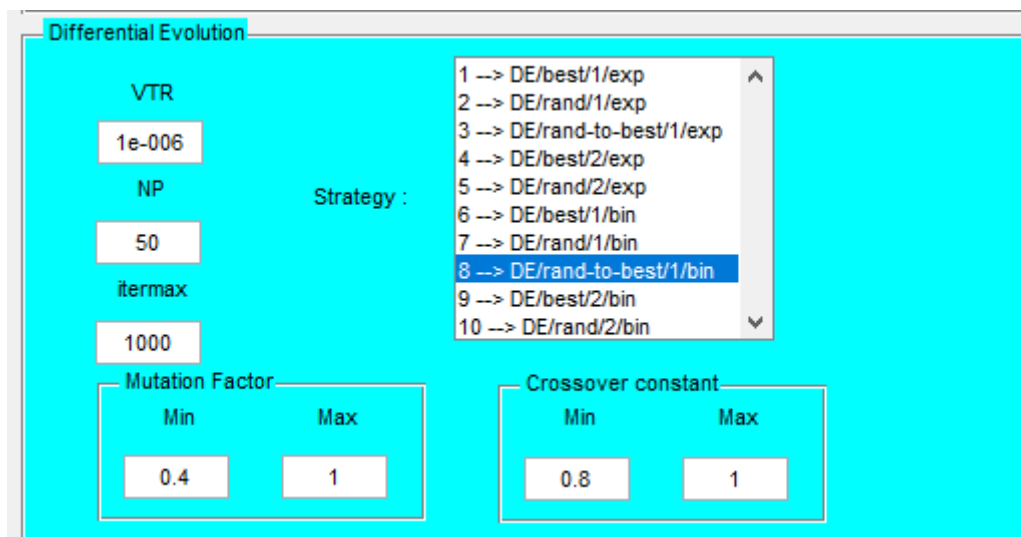
B0i:	1	2	3	4	ε
#	0	0	0	0	

Bij:	1	2	3	4	ε
1	0.0087	4.3000e-04	-0.0046	3.6000e-04	3.2 ^
2	4.3000e-04	0.0083	-9.7000e-04	2.2000e-04	7.5 v

รูปที่ 4.4 หน้าต่างค่าของข้อมูลสัมประสิทธิ์การสูญเสียในสายส่ง

จากรูปที่ 4.4 จะประกอบไปด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการสูญเสียในสายส่งของแต่ละเส้น

3. หน้าต่าง Differential Evolution



รูปที่ 4.5 หน้าต่างค่าพารามิเตอร์ของวิธีดิวอลูชันเชิงวิวัฒนาการแบบปรับตัวเองได้ จากรูปที่ 4.5 จะประกอบไปด้วย

VTR: ใส่ค่าความแตกต่างในการหยุดการคำนวณ

NP: ใส่จำนวนประชากร

Itermax : ใส่จำนวนรอบสูงสุดที่กำหนด

Mutation Factor (min max): ใส่ค่าพารามิเตอร์ F_{min} และ F_{max}

Crossover constant (min max): ใส่ค่าพารามิเตอร์ CR_{min} และ CR_{max}

4. หน้าต่าง Power Demand

Power Demand	
Hr.1	1036
Hr.2	1110
Hr.3	1258
Hr.4	1406
Hr.5	1480
Hr.6	1628
Hr.7	1702
Hr.8	1776
Hr.9	1924
Hr.10	1184
Hr.11	2072
Hr.12	2146
Hr.13	2220
Hr.14	2072
Hr.15	1924
Hr.16	1776
Hr.17	1554
Hr.18	1480
Hr.19	1628
Hr.20	1776
Hr.21	2072
Hr.22	1924
Hr.23	1628
Hr.24	1332
Total Power Demand(PD):	
40108	
Runing Start	

รูปที่ 4.6 หน้าต่างค่าของข้อมูลความต้องการไฟฟ้า 24 ชั่วโมง

จากรูปที่ 4.6 จะประกอบไปด้วยค่าความต้องการไฟฟ้า 24 ชั่วโมง และค่าความต้องการไฟฟ้า ทั้ง 24 ชั่วโมง

5. หน้าต่าง Experimental Results

Experimental Results				
Units Power Generation(P):	1	2	3	4
Hr.1	190.7020	168.1230	89.8375	120.9397
Hr.2	192.3489	227.7554	126.0931	96.5621
Hr.3	173.7970	238.9952	208.6030	98.9909
Hr.4	153.6510	348.5526	219.4301	106.5240
Hr.5	382.7496	169.7839	193.3111	293.4001
Hr.6	274.6036	371.4051	312.2882	219.7278
Hr.7	460.4821	180.2756	326.7848	147.7287
Hr.8	450.0293	410.3927	217.1375	70.8872

Total Cost of Generation(CP):	Total Power Loss(PL):	PL+PD	Total CPU Time :
1.09643e+006	847.054	40955.1	6.03721e-007

รูปที่ 4.7 หน้าต่างผลลัพธ์จากการทดสอบโปรแกรม

Unit Power Generation (P): ผลลัพธ์ที่ประกอบไปด้วยกำลังการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 หน่วย ตลอด 24 ชั่วโมง และผลรวมกำลังการผลิตของ 10 หน่วย ในแต่ละชั่วโมง และค่ากำลังสูญเสียในสายส่ง และราคาในการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 หน่วย ในแต่ละชั่วโมง และผลรวมของความต้องการไฟฟ้ากับค่าความสูญเสียในสายส่ง

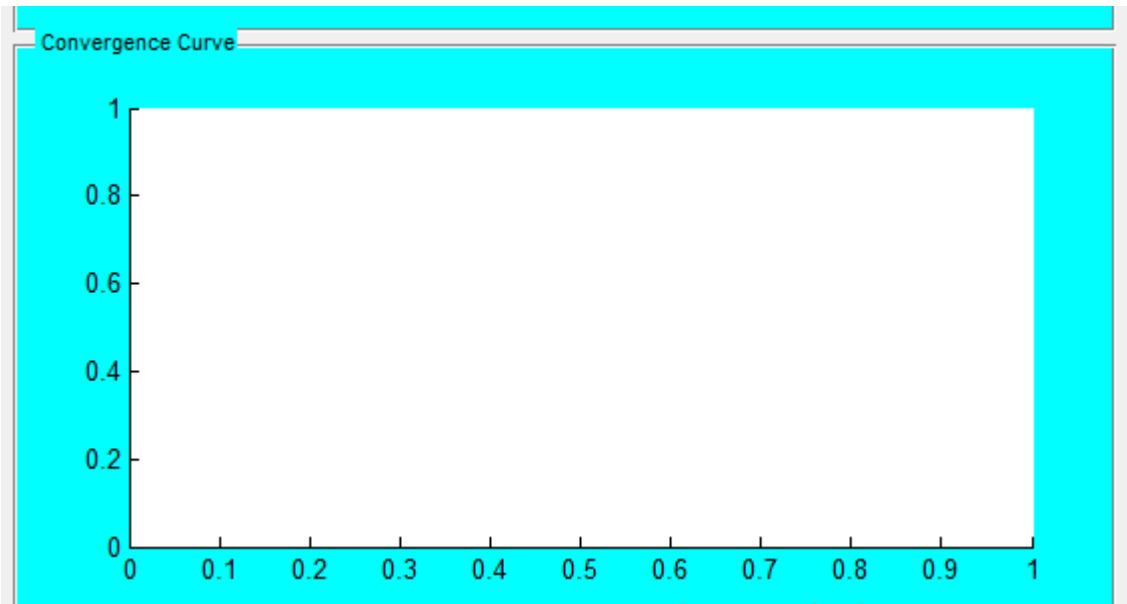
Total Cost Power Generation (CP): ราคารวมในการผลิตไฟฟ้าทั้ง10หน่วยตลอด 24 ชั่วโมง

Total Power Loss (PL): ค่ารวมของการสูญเสียในสายส่ง

PL+PD: ผลรวมของความต้องการไฟฟ้ากับค่าความสูญเสียในสายส่งตลอด 24 ชั่วโมง

Total CPU Time: เวลาในการคำนวณ

6. หน้าต่าง Convergence Curve



รูปที่ 4.8 หน้าต่างแสดง Convergence Curve

จากรูปที่ 4.8 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าราคารวมกับจำนวนรอบในการคำนวณ

4.2 ผลการทดลอง

เมื่อทำการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยวิธีดีเฟอเรนเชียลวิโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้ซึ่งมีการพิจารณาการสูญเสียของสายส่ง การจุดวาล์ว และการลาดเอียง ซึ่งมีค่าความต้องการไฟฟ้าแต่ละชั่วโมงตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าความต้องการไฟฟ้าแต่ละชั่วโมง

Hr.	1	2	3	4	5	6
P_D	1036	1110	1258	1406	1480	1628
Hr.	7	8	9	10	11	12
P_D	1702	1776	1924	2072	2146	2220
Hr.	13	14	15	16	17	18
P_D	2072	1924	1776	1554	1480	1628
Hr.	19	20	21	22	23	24
P_D	1776	2072	1924	1628	1332	1184

จากการทดสอบการทำงานของโปรแกรมได้ทำการทดลองด้วยค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ได้กำหนดไว้ในภาคผนวก แล้วทำการรันโปรแกรมทั้งหมด 50 ครั้ง โดยได้ผลลัพธ์ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองจากรันทั้งหมด 50 ครั้ง

Iteration	Total Cost (Baht)	Power Loss	Calculation Time (sec)
1	1092880	848.234	111.169
2	1096250	874.547	102.977
3	1097280	854.308	81.3393
4	1094830	859.3	123.105
5	1093490	838.398	114.936
6	1091510	904.337	144.398
7	1095140	922.467	85.2212
8	1093290	843.275	98.8412

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองจากรันทั้งหมด 50 ครั้ง(ต่อ)

Iteration	Total Cost (Baht)	Power loss	Calculation Time (sec)
9	1096940	861.971	99.6924
10	1096840	857.355	79.7213
11	1094960	847.302	89.7793
12	1095320	854.021	130.645
13	1093570	889.135	97.2956
14	1095860	850.316	83.6938
15	1093580	862.601	84.0017
16	1096430	847.054	82.1181
17	1092660	880.541	90.866
18	1094970	849.671	85.6499
19	1093450	879.124	160.735
20	1095010	844.443	152.349
21	1094370	870.426	86.1027
22	1096360	841.655	108.458
23	1097770	885.213	87.1652
24	1094250	853.763	86.6943
25	1094910	834.877	79.3953
26	1092880	848.234	756.316
27	1097280	854.308	98.8393
28	1094830	859.277	84.1403
29	1093490	838.398	77.8
30	1091510	904.337	92.7898
31	1095140	922.467	117.495
32	1093290	843.275	82.6179
33	1096940	861.971	107.785
34	1096840	857.355	128.505
35	1094960	847.302	92.5104
36	1095320	854.021	136.334
37	1093570	889.135	851.803
38	1095860	850.316	82.96
39	1093580	862.601	80.5311

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองจากรันทั้งหมด 50 ครั้ง(ต่อ)

Iteration	Total Cost (Baht)	Power loss	Calculation Time (sec)
40	1096430	847.054	81.871
41	1092660	880.541	125.272
42	1094970	849.671	174.307
43	1093450	879.124	92.1911
44	1095010	844.443	79.4135
45	1094370	870.426	89.3231
46	1096360	841.655	82.5096
47	1097770	885.213	81.432
48	1094250	853.763	100.048
49	1094910	834.877	117.358
50	1092830	842.484	94.1639

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าค่า Total Cost ที่ต่ำที่สุดจะมีค่าเท่ากับ 1091510 ซึ่งอยู่ในการทดสอบโปรแกรมครั้งที่ 6 และ 30 ส่วนค่า Total Cost ที่มากที่สุดเท่ากับ 1097280 ซึ่งอยู่ในการทดลองที่ 3 และ 27

ดังนั้นจากตารางที่ 4.2 จะสรุปได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สรุปผลการคำนวณของโปรแกรมโดยใช้วิธีวิธีดิฟเฟอร์เรนเชียลวิโวลูชันอัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้ซึ่งมีการพิจารณาการสูญเสียของสายส่งการจุกวาล์วและการลาดเอียง

Results	Total cost(Baht)	Time(sec)
Best	1091510	77.8
Average	1094808.4	129.0933
Worst	1097280	851.803
Standard Deviation	1572.40753	139.9656

ราคารวมในการผลิตที่ต่ำที่สุดที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.3 จะมีค่ากำลังการผลิตไฟฟ้า ค่าผลิตรวมแต่ละชั่วโมง และค่ากำลังสูญเสียในสายส่ง ได้ตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองในการใช้โปรแกรมทดลองแก้ปัญหา

Hr./Units	Power output (MW)										Production Cost (Baht)	Power Loss (MW)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	226.4619	197.6764	105.3529	84.8247	137.1858	69.3342	41.1433	101.8607	29.7118	55	31522	12.5517
2	244.7792	229.5168	89.8802	81.8611	88.0649	87.3386	119.3654	63.5773	68.5672	55	33039	17.9507
3	179.689	160.1465	276.4243	249.6604	78.1035	67.3597	108.7176	47.2901	51.4807	55	35924	15.8717
4	180.1778	403.0148	218.1512	115.4631	215.1112	76.2625	63.0848	83.0061	26.7336	55	39118	30.0052
5	355.7218	317.0021	162.6716	187.5092	141.2714	121.3236	70.8539	69.9372	27.7566	55	40946	29.0474
6	315.12	399.1914	192.0126	257.1754	125.5842	124.7976	94.3209	67.2163	34.0497	55	43696	36.4679
7	395.3947	403.6531	237.6771	116.5891	233.4999	115.9057	39.0355	80.4111	63.9371	55	46112	39.1034
8	307.7363	453.0187	306.3137	234.5123	104.8347	118.0502	88.2557	90.5833	58.2198	55	47441	40.5247
9	448.9002	432.4551	341.9779	282.0149	85.5153	125.1239	116.025	54.7078	28.701	55	51088	46.4211
10	445.8066	459.7439	348.4489	294.0719	127.2514	146.9374	116.966	70.0428	61.1025	55	54747	53.3714
11	450.0429	454.2391	340.1178	298.2922	226.3005	154.8717	74.4755	101.7014	45.1907	55	56441	54.232
12	455.5711	455.2503	345.7624	280.1304	214.2494	158.41	124.5819	115.8103	73.203	55	58092	57.9687
13	461.916	413.2023	332.6033	269.2152	237.1297	110.2939	86.4763	86.3658	70.4225	55	54672	50.625
14	457.5999	420.6181	109.8537	271.1431	229.6801	149.8352	129.2708	81.9683	76.7945	55	51409	57.7637
15	354.858	382.1482	301.3448	203.7074	199.153	113.6747	88.4523	79.7735	35.5058	55	47521	37.6177
16	318.8214	289.0303	141.137	275.0968	123.8561	133.7775	57.5379	114.2199	75.1111	55	43357	29.5879
17	327.4498	440.8459	95.8259	141.2288	135.6816	95.0995	109.2441	64.9715	54.7729	55	41912	40.12
18	434.558	255.1895	145.4189	181.2981	240.4972	111.6308	98.9806	87.2657	53.3869	55	44426	35.2258
19	388.1357	399.9285	206.853	251.386	221.9101	144.8826	58.5258	65.7745	26.1173	55	47234	42.5135
20	451.4156	411.3684	333.7901	299.8099	211.2583	65.1425	119.3776	106.2669	68.2457	55	54778	49.6749
21	461.5371	415.4389	311.2392	297.1309	108.1874	124.5492	103.6348	66.349	26.5176	55	50695	45.5841
22	350.8304	355.7642	79.7384	257.4696	221.5709	80.3375	102.0124	110.8337	55.1576	55	45221	40.7147
23	215.3901	376.2614	90.4069	124.7308	124.7872	94.613	129.0983	77.1847	75.0361	55	37605	30.5085
24	246.3076	143.1692	267.6748	91.5364	134.9327	66.7882	42.188	115.8343	31.4539	55	34518	10.8851
Total											1091514	874.3369

จากตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าหลังจากทำการทดสอบโปรแกรมแล้วเราจะได้ค่าต่างๆ คือ ค่ากำลังการผลิตการของแต่ละโรงไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงซึ่งจะมีความต้องการไฟฟ้าที่แตกต่างกันตามที่ได้ระบุไว้ในตารางที่ 4.1 นอกจากนี้ยังแสดงค่าราคาซื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าในแต่ละชั่วโมงรวมถึงค่ากำลังการสูญเสียในสายส่งแต่ละชั่วโมง และค่าราคาซื้อเพลิงในการผลิตไฟฟ้าทั้ง 24 ชั่วโมง

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้ดีเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริทึมแบบปรับตัวเองได้โดยทำการพิจารณาค่าความสูญเสียในสายส่ง การจุดควา ล์ และขีดจำกัดอัตราความลาดเอียง ซึ่งค่าความสูญเสียจะส่งผลให้การผลิตจะต้องมีการผลิตมากขึ้นเพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการ การจุดควา ล์จะส่งผลให้ฟังก์ชันราคาเชื้อเพลิงมีการเปลี่ยนแปลงและการลาดเอียงจะทำให้ขีดจำกัดในการผลิตเปลี่ยนไป เมื่อนำโปรแกรมที่ทำการออกแบบให้ค่า F และ CR ปรับค่าเองได้โดยกำหนด F ไว้ในช่วง 0.4 ถึง 1 ส่วน CR จะกำหนดไว้ในช่วง 0.8 ถึง 1 มาทดสอบกับระบบที่มีโรงไฟฟ้า 10 หน่วย ทำการผลิต 24 ชั่วโมง ซึ่งแต่ละชั่วโมงจะมีความต้องการไฟฟ้าที่แตกต่างกันโดยทำการตั้งการรอบการคำนวณไว้ที่ 1,000 รอบ โดยทำการทดสอบ 50 ครั้ง พบว่าค่าราคาในการผลิตไฟฟ้า 24 ชั่วโมง ของทุกโรงไฟฟ้า ได้ค่าราคาใกล้เคียงกันโดยค่าราคาที่ดีที่สุดจะอยู่ที่ 1,091,510 บาท ค่าราคาที่แย่ที่สุดจะอยู่ที่ 1,097,280 บาท และค่าเฉลี่ยจะอยู่ที่ 1,094,700 บาท และค่า F ที่เหมาะสมคือ 0.5 และค่า CR ที่เหมาะสมคือ 0.8

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการแก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดอาจจะมีการปรับค่าพารามิเตอร์ของ F และ CR อาจใช้ค่าช่วงของค่าพารามิเตอร์ที่ละเอียดมากกว่านี้ แต่ที่ผู้วิจัยใช้ช่วงของพารามิเตอร์นี้ควบคุมเพราะเห็นว่าเป็นค่าที่ค่อนข้างครอบคลุมและใช้รอบในการคำนวณจำนวนมากเพื่อให้เหมาะสมกับช่วงของ F และ CR ซึ่งก็ทำให้ได้ผลการทดลองออกมาเป็นที่น่าพอใจ ซึ่งในการจ่ายโหลดอย่างประหยัดโดยใช้ดีเฟอเรนเชียลอีโวลูชันอัลกอริทึมแบบปรับตัวเองได้โดยทำการพิจารณาค่าความสูญเสียในสายส่ง การจุดควา ล์ และการลาดเอียง ส่งในบทที่ 4 ใช้เพียง DEA8 ซึ่งเป็นวิธีพื้นฐานในการแก้ปัญหา ซึ่งถ้ามีงานวิจัยครั้งต่อไปการเปลี่ยนแปลงวิธีการมิวเตชันในการคำนวณ อาจพบวิธีที่เหมาะสมกับปัญหามากขึ้นเนื่องจากมีมากถึง 10 แบบ

เอกสารอ้างอิง

บัณฑิต เอื้ออาภรณ์. 2004. การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังเบื้องต้น.

สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

พิชัย อารีย์. 2552. การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ชนะพงษ์ สุขกลิ่ง และ อัษฎางค์ ศรีสุนทรศิริ. การจัดสรรกำลังผลิตโดยใช้วิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชัน

อัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้. ปรินูญานินพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา ไฟฟ้า

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2554.

ปยุตนรัตน์ สมศิริวัฒนา และ อรวรรณ กังวาฬ. การจ่ายโหลดอย่างประหยัดสำหรับหน่วยการผลิตไฟฟ้า

แบบเลือกใช้งานเชื้อเพลิงได้หลายชนิด และมีผลจากจุดคว่ำลงโดยใช้วิธีดิฟเฟอเรนเชียลอีโวลูชัน

อัลกอริธึมแบบปรับตัวเองได้. ปรินูญานินพนธ์ วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชา ไฟฟ้า

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2555.

Agrawal, N., et al. (2012). "Economic Load Dispatch Problem with Ramp Rate Limit

Using BBO." International Journal of Information and Education Technology

2(5): 419.

Balamurugan, R. and S. Subramanian (2007). "Self-adaptive differential evolution

based power economic dispatch of generators with valve-point effects and

multiple fuel options." fuel 1: 2.

Chiang, C.-L. (2005). "Improved genetic algorithm for power economic dispatch of units

with valve-point effects and multiple fuels." IEEE transactions on

power systems 20(4): 1690-1699.

El Ela, A. A., et al. (2010). "Differential evolution algorithm for emission constrained

economic power dispatch problem." Electric Power Systems Research

80(10): 1286-129

- Mansour, W., et al. (2013). "Dynamic economic load dispatch of thermal power system using genetic algorithm." IRACST—Eng Sci Technol: An Int J (ESTIJ) 3(2).
- Meher, K., et al. (2016). "Dynamic Economic Dispatch Using Glowworm Swarm Optimization Technique." World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering 9(9): 1095-1100.
- Noman, N. and H. Iba (2008). "Differential evolution for economic load dispatch problems." Electric Power Systems Research 78(8): 1322-1331.
- Sum-Im, T. (2010). Self-adaptive differential evolution algorithm for economic dispatch with transmission losses consideration. TENCON 2010-2010 IEEE Region 10 Conference, IEEE.
- Sum-Im, T. (2012). A self-adaptive differential evolution algorithm for dynamic economic dispatch with valve-point effects. Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2012 47th International, IEEE.
- Sum-Im, T. (2015). An enhanced differential evolution algorithm application to economic dispatch with valve-point effects and system losses considerations. Power Engineering Conference (UPEC), 2015 50th International Universities, IEEE.
- Wang, S., et al. (2007). "Non-smooth/non-convex economic dispatch by a novel hybrid differential evolution algorithm." IET Generation, Transmission & Distribution 1(5): 793-803

ภาคผนวก

ภาคผนวก

ตารางภาคผนวกที่ 1 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบสำหรับระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 หน่วย

Units	สัมประสิทธิ์				
	a(i)	b(i)	c(i)	e(i)	f(i)
1	0.00043	21.6	958.2	450	0.041
2	0.00063	21.05	1313.6	600	0.036
3	0.00039	20.81	604.97	320	0.028
4	0.0007	23.9	471.6	260	0.052
5	0.00079	21.62	480.29	280	0.063
6	0.00056	17.87	601.75	310	0.048
7	0.00211	16.51	502.7	300	0.086
8	0.0048	23.23	639.4	340	0.082
9	0.10908	19.58	455.6	270	0.098
10	0.00951	22.54	692.4	380	0.094

ตารางภาคผนวกที่ 1 ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ในการทดสอบสำหรับระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 หน่วย(ต่อ)

Units	สัมประสิทธิ์			
	Pmin(i)	Pmax(i)	UR(i)	DR(i)
1	150	470	80	80
2	135	460	80	80
3	73	350	80	80
4	60	300	50	50
5	73	243	50	50
6	57	160	50	50
7	20	130	30	30
8	47	120	30	30
9	20	80	30	30
10	55	55	30	30

ตารางภาคผนวกที่ 2 ข้อมูลของสัมประสิทธิ์ของค่าความสูญเสียในสายส่งที่ใช้ในการทดสอบสำหรับระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 หน่วย (Bij)

i/j	1	2	3	4	5
1	0.0087	0.00043	-0.00461	0.00036	0.00032
2	0.00043	0.0083	-0.00097	0.00022	0.00075
3	-0.00461	-0.00097	0.009	-0.002	0.00063
4	0.00036	0.00022	-0.002	0.0053	0.00047
5	0.00032	0.00075	0.00063	0.00047	0.0086
6	-0.00066	-0.00028	0.003	0.00262	-0.0008
7	0.00096	0.00504	0.0017	-0.00196	0.00037
8	-0.0016	0.0017	-0.0043	0.0021	0.00072

ตารางภาคผนวกที่ 2 ข้อมูลของสัมประสิทธิ์ของค่าความสูญเสียในสายส่งที่ใช้ในการทดสอบสำหรับระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 หน่วย (B_{ij})(ต่อ)

i/j	1	2	3	4	5
9	0.0008	0.00054	0.0031	0.00067	-0.0009
10	-0.0001	0.0072	-0.002	0.0018	0.00069

ตารางภาคผนวกที่ 2 ข้อมูลของสัมประสิทธิ์ของค่าความสูญเสียในสายส่งที่ใช้ในการทดสอบสำหรับระบบที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 10 หน่วย (B_{ij})(ต่อ)

i/j	6	7	8	9	10
1	-0.00066	0.00096	-0.0016	0.0008	-0.0001
2	-0.00028	0.00504	0.0017	0.00054	0.0072
3	0.003	0.0017	-0.0043	0.0031	-0.002
4	0.00262	-0.00196	0.0021	0.00067	0.0018
5	-0.0008	0.00037	0.00072	-0.0009	-0.00069
6	0.0118	-0.0049	0.0003	0.003	-0.003
7	-0.0049	0.00824	-0.0009	0.0059	-0.0006
8	0.0003	-0.0009	0.0012	-0.00096	0.00056
9	0.003	0.0059	-0.00096	0.00093	-0.0003
10	-0.003	-0.0006	0.00056	-0.0003	0.00099

$$B_{00} = 0 \text{ และ } B_{i0} = [0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0]$$

ประวัติย่อผู้ทำโครงการ

ชื่อ ชื่อสกุล	นายพัทธ์พล กาญจนพันธ์
วันเดือนปีเกิด	29 มิถุนายน 2537
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	170 หมู่ 12 หมู่บ้าน ร่มฟ้า-สร้างมิตร ต.เจดีย์หัก อ.เมืองราชบุรี จ.ราชบุรี 70000
หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ	092-254-4939
ประวัติการศึกษา	
พ.ศ. 2556	มัธยมศึกษาปีที่ 6 จากโรงเรียนโรงเรียนเบญจมราชูทิศราชบุรี
พ.ศ. 2560	กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ประวัติย่อผู้ทำโครงการ

ชื่อ ชื่อสกุล

นายกานต์ ฐระกิจ

วันเดือนปีเกิด

3 กุมภาพันธ์ 2538

สถานที่เกิด

เขตมีนบุรี จังหวัดกรุงเทพมหานคร

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

25 หมู่ 6 ถ.รามคำแหง ซอย 165

แขวงสะพานสูง เขตสะพานสูง

จ.กรุงเทพมหานคร 10240

หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ

081-399-6402

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2556

มัธยมศึกษาปีที่ 6

จากโรงเรียนโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ เตรียมอุดมศึกษาน้อมเกล้า

พ.ศ. 2560

กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ



ประวัติย่อผู้ทำโครงการ

ชื่อ ชื่อสกุล

นายชิววิทย์ สมัยมาก

วันเดือนปีเกิด

15 กรกฎาคม 2538

สถานที่เกิด

เขตจตุจักร จังหวัดกรุงเทพมหานคร

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

72/28 หมู่ 5 บ้านฟ้าปิยมรมย์ ซอย 20

ถ.ลำลูกกา ต.บึงคำพร้อย อ.ลำลูกกา

จ.ปทุมธานี 12150

หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ

089-494-4974

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2556

มัธยมศึกษาปีที่ 6

จากโรงเรียนโรงเรียนสารวิทยา

พ.ศ. 2560

กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

