วิทยานิพนธ์

การวางแผนขยายระบบสายส่งหลายเขตพื้นที่โดยใช้วิธีพันธุกรรม

Multi-Zone Transmission Expansion Planning using Genetic Algorithm

นางสาววัลลภา ตังคณานุรักษ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. 2551

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า	วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การวางแผนขยายระบบสายส่งหลายเขตพื้นที่โดยใช้วิธีพันธุกรรม

Multi-Zone Transmission Expansion Planning using Genetic Algorithm

นามผู้วิจัย นางสาววัลลภา ตังคณานุรักษ์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต ดำรงกุลกำจร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์ณัฏฐกา หอมทรัพย์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงศ์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การวางแผนขยายระบบสายส่งหลายเขตพื้นที่โดยใช้วิธีพันธุกรรม

Multi-Zone Transmission Expansion Planning using Genetic Algorithm

โดย

นางสาววัลลภา ตังคณานุรักษ์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
พ.ศ. 2551

วัลลภา ตังคณานุรักษ์ 2551: การวางแผนขยายระบบสายส่งหลายเขตพื้นที่โดยใช้วิธีพันธุกรรม ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ปานจิต ดำรงกุลกำจร, Ph.D. 54 หน้า

งานวิจัยนี้นำเสนอการวางแผนการขยายสายส่งหลายเขตพื้นที่ของระบบไฟฟ้าโดยใช้วิธีพันธุกรรม ระบบไฟฟ้าที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย 19 บัส 7 เขตพื้นที่ และ 3 ระดับแรงดัน ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของระบบส่งกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย โดยการแบ่งเขตพื้นที่อ้างอิงตามลักษณะภูมิภาคของประเทศไทย จุดประสงค์ของการวางแผนขยายสายส่งเพื่อหาตำแหน่งเส้นทางของสายส่ง ชนิดของสายส่ง และระดับแรงดันของสายส่งที่จะสร้างเพิ่มโดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดและระบบสามารถรองรับกำลังไฟฟ้าที่ได้จากการพยากรณ์ โดยมีข้อมูลกำลังไฟฟ้าจากการพยากรณ์ 5 ปีที่คำนวณจากเปอร์เซนต์การเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าในแต่ละเขตพื้นที่ที่ได้จากการพยากรณ์ของฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ค่าใช้จ่ายที่เป็นฟังก์ชันเป้าหมายในการวางแผนโดยใช้วิธีพันธุกรรมประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบสายส่งเพิ่มเติม และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากความสูญเสียกำลังไฟฟ้าในสายส่งเส้นใหม่ซึ่งแปลงจากค่าใช้จ่ายความสูญเสียกำลังไฟฟ้าต่อปีเป็นเวลา 20 ปี มาเป็นมูลค่าปัจจุบัน ค่าความสูญเสียกำลังไฟฟ้าต่อปีในสายส่งจะได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดของระบบเมื่อกำหนดให้โหลดของระบบที่ได้จากการพยากรณ์เป็นตัวแทนโหลดคงที่ตลอดปี

ผลการวิเคราะห์การวางแผนขยายสายส่งของระบบดังกล่าวพบว่าตำแหน่งเส้นทางที่ดีที่สุดของการสร้างสายส่งเพิ่มได้แก่ เส้นทางระหว่างเขตพื้นที่ 2 กับเขตพื้นที่ 7 ที่ระดับแรงดัน 115 kV โดยมีชนิดของสายส่งเป็น MCM 1x795 ACSR/GA จำนวน 3 เส้นเชื่อมต่อระหว่างบัส 15 กับบัส 16

_____ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Wanlapha Tangkananuruk 2008: Multi-Zone Transmission Expansion Planning using Genetic Algorithm. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Parnjit Damrongkulkamjorn, Dr.Ing. 54 pages.

This thesis presents transmission expansion planning of a practical multi-zone system by using the famous genetic algorithm (GA). The system, which consists of 19 buses, 7 zones and 3 voltage levels, is part of a transmission network of Electricity Generating Authority of Thailand (EGAT). The zones are defined based on the geography of Thailand. The objective of transmission expansion for this system is to find the routes, conductor types and voltage levels of the new set of transmission lines that yield the least cost while satisfying forecast load demand. The load forecast for each zone is given for 5 years. The percent increases of load are taken from the System Planning Division, EGAT. The cost considering as an objective function for GA includes installation cost of transmission lines and the cost of losses in additional transmission lines. The loss cost is the present worth computed from the annual loss cost of transmission lines assuming that the lines are in service for 20 years, while the line losses are obtained from optimal power flow of the system with forecast load as the annual average load.

The analysis results of transmission expansion planning show that the best location for additional transmission lines is the route between zone 2 and zone 7, at 115 kV, with the 3 conductors of MCM 1x795 ACSR/GA connected between buses 15 and 16

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปานจิต ดำรงกุลกำจร ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์ กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชาเอก และ รศ.ดร.ณัฏฐกา หอมทรัพย์ กรรมการที่ปรึกษาสาขาวิชารอง ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าในงานวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบรูณ์

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันมีคุณค่าเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ และขอขอบคุณ คุณดุลยทรรศน์ นวลหงษ์ วิศวกรระดับ 5 ที่ให้คำปรึกษาในเกี่ยวกับวิธีพันธุกรรม และขอขอบคุณพี่ๆที่ฝ่ายวิศวกรรมไฟฟ้าและระบบควบคุม ทุกคนที่คอยเป็นกำลังใจให้ และขอขอบคุณฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่ให้ข้อมูลในการทำงานวิจัยในครั้งนี้จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เสร็จสมบรูณ์

ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ที่ได้สั่งสอนอบรมและเป็นให้กำลังใจ และขอขอบคุณทุกท่านที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัยในครั้งนี้

วัลลภา ตังคณานุรักษ์

พฤษภาคม 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	19
อุปกรณ์	19
วิธีการ	19
ผลและวิจารณ์	29
ผล	29
วิจารณ์	35
สรุปและข้อเสนอแนะ	36
สรุป	36
ข้อเสนอแนะ	36
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	37
ภาคผนวก	39

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตารางเปรียบเทียบคำศัพท์เฉพาะของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมกับคำศัพท์ทั่วไป	8
2	ตารางแสดงค่าความน่าจำเป็นของตัวเลขแต่ละตัว	10
3	แสดงถึงระดับแรงดันที่บัสต่างๆในแต่ละเขตพื้นที่	24
4	ตารางการแสดงตำแหน่งการสร้างสายส่งใหม่ระหว่างเขตพื้นที่	26
5	ตารางแสดงค่าความต้านทานในสายส่งและราคาที่ใช้ในการติดตั้ง	27
6	ตารางแสดงการพยากรณ์การเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าในระยะเวลา 5 ปี	28
7	ตารางแสดงตำแหน่งการเชื่อมต่อโดยรวมราคาการติดตั้งและราคาที่ได้จากการคิดค่า การสูญเสียกำลังไฟฟ้า 10 อันดับแรก	29
8	ตารางแสดงข้อมูลระหว่างบัสในระบบจำลองเมื่อมีการเพิ่มสายส่งของโครโมโซม 0 0 0 3 0	30

ตารางผนวกที่

1	ตารางแสดงตำแหน่งการเชื่อมต่อโดยรวมราคาการติดตั้งและราคาที่ได้จากการคิดค่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้า	35
2	ตารางแสดงข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	45
3	ตารางแสดงข้อมูลบัสในระบบจำลอง	46
4	ตารางแสดงข้อมูลสายส่งในระบบจำลอง	47

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แผนภาพของการเข้ารหัสโครโมโซมโดยใช้รหัสฐานสอง	8
2	แสดงตัวอย่างการคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต	11
3	แสดงตัวอย่างการคัดเลือกแบบเฟ้นสุ้ม	12
4	แสดงตัวอย่างการสลับไขว้ แบบ 1 จุด	13
5	แสดงตัวอย่างการสลับไขว้ แบบ 2 จุด	13
6	แสดงตัวอย่างการสลับไขว้แบบเอกรูป	13
7	แสดงตัวอย่างการกลายพันธุ์	14
8	เส้นเวลาของกระแสเงินสด ณ เวลาสิ้นงวด	17
9	เส้นเวลาของกระแสเงินสด ณ เวลาต้นงวด	17
10	แผนภาพแสดงการทำงานการวางแผนการสร้างสายส่งโดยวิธีพันธุกรรม	23
11	แบบจำลองที่ใช้ในการวางแผนการสร้างสายส่ง	25
12	แผนภาพแสดงสายส่งจากโครโมโซม 0 0 0 3 0	34

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

B	=	Susceptance
kV	=	kilovolt
Mbtu	=	Megabtu
MW	=	Megawatt
R	=	Resistance
X	=	Reactance

การวางแผนขยายระบบสายส่งหลายเขตพื้นที่โดยใช้วิธีพันธุกรรม

Multi-Zone Transmission Expansion Planning using Genetic Algorithm

คำนำ

เมื่อมีการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจทำให้มีความต้องการการใช้ไฟฟ้าที่มากขึ้นดังนั้น จึงต้องมีการวางแผนในด้านการจัดการระบบส่ง (Abdelaziz, 2000) กล่าวไว้ว่าการวางแผนการขยายสายส่งนั้นเป็นส่วนหนึ่งของการวางแผนระบบไฟฟ้า ในการวางแผนด้านการขยายสายส่งจะต้องคำนึงถึง สถานที่ที่ใช้ในการก่อสร้าง ชนิดของสายส่งที่ใช้สร้างและเวลาที่ใช้ในการสร้างสายส่ง เมื่อมีการวางแผนในการสร้างสายส่งจะต้องคำนึงถึง อัตราความต้องการใช้ไฟฟ้า, มูลค่าในการลงทุน, สถานที่ที่ใช้ในการติดตั้ง เป็นต้น (Kim *et al*., 2002) และ (Evans *et al*., 2003) กล่าวว่า การวางแผนในด้านการขยายสายส่งจะถูกวางแผนเป็นขั้นสุดท้าย เพื่อให้ครอบคลุมถึงเงื่อนไขต่างๆ เช่น การพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้า, ปัญหาของสายส่งเกินพิกัด และชนิดของสายส่ง เป็นต้น ดังนั้นถ้ามีการวางแผนในด้านการส่งจ่ายที่ดีนั้น จะทำให้ได้ประโยชน์ในระยะยาว เพราะถ้าสร้างสายส่งในสถานที่ที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมนั้น จะสามารถให้ผลกำไรจากการลงทุนได้อย่างดี และทำให้ระบบมีเสถียรภาพที่ดี

ในหลายๆ ประเทศการจัดการส่งจ่ายกระแสไฟฟ้าจะมีผู้ให้บริการในการส่งจ่ายกระแส ไฟฟ้าจำนวนหนึ่ง ซึ่งถ้ามีการสร้างสายส่งในตำแหน่งที่เหมาะสมจะทำให้ผู้ให้บริการได้รับประ โยชน์จากการลงทุน (Lu *et al*., 2005) กล่าวว่าการแข่งขันในด้านการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้ามีความเสี่ยง เนื่องจาก ในบางครั้งการพยากรณ์ความต้องการในการใช้ไฟฟ้า กับค่าไฟฟ้าที่ใช้จริงนั้นแตกต่างกัน จึงทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการลงทุนมีความเสี่ยง แต่ถ้ามีการวางแผนที่ดีปัญหานี้ก็จะไม่เกิด ขึ้น ตัวอย่างเช่น ถ้ามีการสร้างสายส่งในตำแหน่งที่มีความต้องการในการใช้กำลังไฟฟ้าจำนวนมาก (Peak Load) จะทำให้ได้กำไรอย่างมาก เพราะในบางครั้งสายส่งเส้นอื่นไม่สามารถที่จะส่งกำลังไฟฟ้าได้ เนื่องจากในขณะนั้น สายส่งกำลังเกิดปัญหาสายส่งเต็มพิกัด (Evans *et al*., 2003) กล่าวว่า ในชั่วโมงที่มีการต้องการใช้ไฟฟ้าจำนวนมาก ค่าราคาของไฟฟ้าในขณะนั้นจะมีราคาที่สูง

การจัดการระบบส่งนั้นยังต้องอาศัย การพยากรณ์ความต้องการการใช้ไฟฟ้า และต้องคำนึงถึงการเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจ อัตราการแลกเปลี่ยน ดอกเบี้ย ราคาเชื้อเพลิง เป็นต้น (Wel *et*

al., 2006) กล่าวว่า การวางแผนการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจะต้องคำนึงปัญหาของสายส่งเกินพิกัดด้วย ในการขยายกำลังไฟฟ้าสำรอง สามารถสร้างโรงไฟฟ้า หรือซื้อไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน แต่ในด้านการขยายสายส่งนั้น สามารถที่จะเลือกขยายได้ตามการส่งจ่ายแบบไฟฟ้ากระแส สลับหรือกระแสตรงหรือ การส่งจ่ายตามขนาดของแรงดัน แรงดันที่ใช้ในการส่งจ่ายนั้น ที่ระดับแรงดันสูงจะทำให้เกิดการสูญเสียกำลังไฟฟ้าน้อย และที่ระดับแรงดันต่ำจะทำให้เกิดอัตราการสูญ เสียสายส่งที่มาก

ในงานวิจัยในครั้งนี้ได้มีการจำลองระบบออกเป็น 7 เขตพื้นที่ 19 บัส ซึ่งการสร้างสายส่งระหว่าง เขตพื้นที่สามารถสร้างได้ 3 ระดับแรงดัน คือ 500 kV , 230 kV และ 115 kV ในแต่ละระดับแรง ดันนั้นค่าใช้จ่ายในด้านราคาและการติดตั้งจะแตกต่างกัน สำหรับการหาตำแหน่งที่ใช้ในการสร้างสายส่ง จะใช้วิธีการ วิธีพันธุกรรม การวิจัยในครั้งนี้คำนึงถึงราคาที่ใช้ในการติดตั้งสายส่งและค่าความสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้น โดยในการคิดค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในสายส่งจะคิดมาจากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม โดยค่ากำลังสูญเสียที่เกิดขึ้นจะคิดเฉพาะสายส่งที่เพิ่มเข้าไปเท่านั้น โดยในการคิดราคาการสูญเสียในสายส่งจะคิดราคาแบบมูลค่าปัจจุบัน (Present Value)

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาถึงระดับแรงดันที่เหมาะสมที่ใช้ในการติดตั้งสายส่ง โดยคำนึงถึงค่าราคาที่ใช้ในการติดตั้งสายส่ง และความสูญเสียที่เกิดขึ้นในสายส่ง โดยใช้วิธีพันธุกรรม เพื่อหาตำแหน่งแรงดันที่เหมาะสม

2. เพื่อเป็นแนวทางในการวางแผนระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าและการดำเนินการจ่ายกำลังไฟฟ้าในอนาคต

ขอบเขตงานวิจัย

1. งานวิจัยชิ้นนี้ได้จำกัดพื้นที่ในการวิเคราะห์ออกเป็น 7 เขตพื้นที่ 19 บัส โดยในแต่ละเขตพื้นที่มีการเจริญเติบโตของการใช้ไฟฟ้าที่ไม่เท่ากัน โดยใช้การพยากรณ์การเจริญเติบโตของการใช้ไฟฟ้าซึ่งจะจำกัดการพยากรณ์การใช้ไฟฟ้าที่ระยะเวลา 5 ปี ดังนี้

   1.1เขตพื้นที่ 1 จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 5.2%
   1.2 เขตพื้นที่ 2 จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 3.4%
   1.3 เขตพื้นที่ 3 จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 5.4%
   1.4 เขตพื้นที่ 4 จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 5.6%
   1.5 เขตพื้นที่ 5 จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 4.4%
   1.6 เขตพื้นที่ 6 จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 6.0%
   1.7 เขตพื้นที่ 7 จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 2.0%

2. งานวิจัยชิ้นนี้ได้จำกัดการเพิ่มขึ้นของสายส่งโดยใช้วิธีการ วิธีพันธุกรรม และแบ่งเป็น 3 ระดับแรงดันด้วยกัน คือ 115 kV , 230 kV และ 500 kV โดยระหว่างเขตพื้นที่ที่มีการเพิ่มขึ้นของการใช้ไฟฟ้าจะสามารถสร้างสายส่งได้เพียงระดับแรงดันเดียว สายส่งขนาด 500 kV ใช้สายส่ง 1 เส้น สายส่งขนาด 230 kV ใช้สายส่ง 2 เส้น และสายส่งขนาด 115 kV ใช้สายส่ง 3 เส้น

3. การคิดค่าการสูญเสียการใช้ไฟฟ้าจะพิจารณาจากอัตราดอกเบี้ยเงินกู้ที่ 6.1% และจะคิดราคาไปถึงปีที่ 20 โดยใช้การคิดแบบมูลค่าปัจจุบัน

การตรวจเอกสาร

การวางแผนในด้านการขยายสายส่งนั้นมีผู้ที่ได้วิจัยเป็นจำนวนมาก ในงานวิจัยแต่ละอย่าง ผู้วิจัยอาจคำนึงถึงรายละเอียดที่แตกต่างกัน เช่น คำนึงถึงราคาในการก่อสร้าง, ความน่าเชื่อถือของระบบ หรือ ตำแหน่งที่เหมาะสมในการก่อสร้าง เป็นต้น และในงานวิจัยยังมีการใช้เทคนิคต่างๆในการวิเคราะห์ เช่น วิธี Kernel Theory, Fuzzy logic หรือ วิธีพันธุกรรม เป็นต้นและในงานวิจัยนี้ได้การศึกษาจากงานวิจัยอื่น ๆ ดังนี้

Abdelaziz (2000) ได้อธิบายถึงหลักในการก่อสร้างสายส่งโดยต้องคำนึงถึง 3 หัวข้อใหญ่ๆ ด้วยกัน คือ สถานที่ที่ใช้ในการก่อสร้างสายส่ง, ระยะเวลาที่เหมาะสมในการสร้างสายส่ง และ ชนิดของสายที่ใช้ในการสร้างสายส่ง โดยงานวิจัยได้ประยุกต์ใช้วิธีพันธุกรรม กับระบบ 5 บัส 7 สายส่ง และ ระบบ 14 บัส 20 สายส่ง โดยในการวิเคราะห์ระบบแต่ระบบนั้นจะวิเคราะห์ถึง การเปลี่ยนแปลงสายส่งในแต่ละกลุ่ม ในการคิดกลุ่มของสายส่งจะใช้หลักการ cut sets มาพิจารณา โดยในระบบ 5 บัส นั้นจะสามารถมีกลุ่มของสายส่งที่ต้องเปลี่ยนแปลงได้มากสุด 3 กลุ่ม และ ระบบ 14 บัส มีกลุ่มของสายส่งที่ต้องมีการเปลี่ยนแปลงได้ 7 กลุ่ม โดยทั้ง 2 ระบบจะต้องหาราคาที่น้อยที่สุดทีเป็นไปได้ที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงสายส่ง

Silva *et al*. (2000) ได้อธิบายถึงการสร้างสายส่งต้องครอบคลุมเนื้อหา ในหลายๆเรื่อง เช่น การเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ, สังคม, สิ่งแวดล้อม เป็นต้น ได้อธิบายไว้วาในประเทศแถบลาตินอเมริกามีการลงทุนในด้านการแข่งขันการสร้างสายส่งถึง 30% ของระบบไฟฟ้า โดยภายใน 10 ปีที่ภายมามีการลงทุนการสร้างสายส่งแล้วถึง หนึ่งล้านล้านดอลล่าร์สหรัฐ ดังนั้นจึงต้องมีการวางแผนที่ดี งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้วิธีพันธุกรรม โดยคำนึงถึงราคาที่ใช้ในการก่อสร้างสายส่ง และ จำนวนของกำลังไฟฟ้าที่ไม่สามารถจ่ายให้กับระบบ (loss of load) โดยจะหาตำแหน่งที่ค่าการก่อ สร้างสายส่งใหม่สามารถป้องกันปัญหา loss of load ได้ และจะต้องให้ราคาที่ใช้ในการก่อสร้างที่น้อยด้วย

Lu *et al*. (2005a) ได้อธิบายถึงระบบการแข่งขันการจัดการด้านระบบไฟฟ้า โดยหลักการจะมีผู้ซื้อไฟฟ้า และผู้ขายไฟฟ้า ในการขายไฟฟ้านั้นจะต้องมีการคาดการณ์ถึงผลประโยชน์ที่จะได้จากการขายไฟฟ้า โดยในงานวิจัยนี้จะมีหัวข้อที่สนใจคือ ระบบไฟฟ้าจะต้องมีส่วนที่ระบบไม่มีกำลังไฟฟ้าใช้น้อยที่สุด (Expected Energy not Supplied) , การลงทุนในการสร้างสายส่งจะต้อง

ลงทุนน้อย และต้องได้กำไรจากการขายไฟฟ้าจำนวนมาก โดยแบ่งระบบที่จะศึกษาออกเป็น 8 บัส 10 สายส่ง และแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 4 กรณี ในแต่ละกรณีจะมีการสร้างสายส่งในตำแหน่งที่แตกต่างกัน และในแต่ละกรณีจะมีการพยากรณ์กำลังไฟฟ้าออก 3 ระดับ และศึกษาดูว่าแบบใดที่สามารถตอบสนองต่อการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้า และยังให้การลงทุนที่ต่ำและระบบมีความน่าเชื่อถือที่มากด้วย โดยใช้วิธีพันธุกรรม

Lu *et al*. (2005b) ได้อธิบายถึงความยืดหยุ่นในการวางแผนการขยายสายส่ง สามารถแบ่งได้เป็นความยืดหยุ่นด้านการตลาดในการขายไฟฟ้า, ความยืดหยุ่นในด้านการดำเนินการ และความยืดหยุ่นในด้านการขยายสายส่ง โดยทั่ว ๆ ไปสายส่งจะมีอายุการใช้งานที่ 20 – 40 ปี เมื่อสายส่งมีอายุการใช้งานที่ยาวนาน จึงจะมีหลายปัจจัยเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา เช่น สภาพเศรษฐกิจ สังคม เป็นต้น ดังนั้นการใช้ความยืดหยุ่นในการวางแผนการขยายสายส่งจะช่วยให้ผู้ลงทุนสามารถได้รับผลตอบแทนจากการแข่งขันได้เป็นอย่างดี ในงานวิจัยนี้คำนึงถึง ค่าใช้จ่ายในการลงทุน, ความน่าเชื่อถือได้ของระบบ และความยืดหยุ่นในการวางแผนกางขยายสายส่ง จะเห็นว่ามีเงื่อนไขเกี่ยวข้องหลายเงื่อนไขจึงได้ใช้ตัวคูณตัวหนึ่ง (weight factor) เพื่อปรับให้เงื่อนไขทั้ง 3 มีระดับความสนใจระดับเดียวกัน

Ping Wei *et al*. (2006) ได้อธิบายถึงการแข่งขันในตลาดซื้อขายไฟฟ้าโดยในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้ามากที่สุดในแต่ละวัน พบว่าสายส่งบางสายจะเกิดปรากฏการณ์สายส่งเต็มพิกัด ดังนั้นในช่วงนี้ถ้าผู้ขายไฟฟ้าสามารถสร้างสายส่งเพื่อรองรับปริมาณกระแสไฟฟ้าได้ ผู้ขายไฟฟ้าก็จะได้กำไรจำนวนมาก และในการพยากรณ์ความต้องการในการใช้ไฟฟ้านั้นจะต้องอ้างอิงมาจากการเจริญเติบโตของกำลังไฟฟ้าในปัจจุบันและความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้บริโภคด้วย โดยในงานวิจัยนี้จะมีการแบ่งผู้ขายไฟฟ้าหลายบริษัท และให้สายส่งบางสายเกิดปรากฏการณ์สายส่งเต็มพิกัด และศึกษาดูว่าถ้าสายส่งเต็มพิกัดแล้วนั้นผู้ขายไฟฟ้าจะได้กำไรมากน้อยแตกต่างกันอย่างไร

Gallego *et al*. (1998) ได้อธิบาย ถึงการประยุกต์ใช้ วิธีพันธุกรรม ในการหาตำแหน่งในการขยายสายส่ง โดยในงานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงราคาที่ใช้ในการติดตั้ง แต่คำนึงถึงจุดที่จะทำให้ระบบเกิดความสมดุลมากที่สุดเมื่อมีการสร้างสายส่งแล้ว

นอกจากการใช้ วิธีพันธุกรรม มาวางแผนในการขยายสายส่งแล้ว ยังได้มีการประยุกต์ใช้วิธีอื่นอีก เช่น Evan *et al*. (2003) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการ Kernel Theory, Alguacil *et al*. (2003) ได้

ประยุกต์ใช้วิธีการ A Mixed-Integer LP Approach, Romeo *et al*. (2007) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการ Met heuristic และ Romero *et al*. (1996) ได้ประยุกต์ใช้วิธีการ Simulated Annealing เป็นต้น

ในงานวิจัยในครั้งนี้ได้มีศึกษาถึงทฤษฎีต่าง ๆ เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ ดังนี้

1. การวิเคราะห์โดยวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) เป็นเทคนิคการคำนวณอีกเทคนิคหนึ่งซึ่งมีรากฐานจากกระบวนการทางชีวภาพ โดยสรุปแล้วขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมเป็นเทคนิค การหาคำตอบแบบสุ่ม (Stochastic Search) หรือ เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization Technique) ซึ่งถูกพัฒนาโดย จอนห์ ฮอลล์แลนด์

การทำงานของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะมีลักษณะเป็นการหาคำตอบแบบขนาน(Parallel Search) โดยที่คำตอบที่หาได้ใน 1 รุ่น (Generation) จะผ่านการแปลง (Transformation) เพื่อที่ทำให้เกิดคำตอบที่ดีขึ้นในรุ่นถัดไป การแปลงที่เกิดขึ้นกับผลเฉลย (Solution) หรือสมาชิก (Individual) ของประชากร (Population) ในขั้นตอนวิธี จะนำไปสู่การสำรวจปริภูมิการค้นหา (Search Space) และส่งเสริมการถ่ายทอดลักษณะที่ดี (Fit Characteristic) ของผลเฉลยในรุ่นปัจจุบันไปยังผลเฉลยในรุ่นถัดไป สมาชิกที่แข็งแรง (Fit Individual) หรือผลเฉลยที่มีลักษณะเฉพาะที่ดีซึ่งขั้นตอนวิธีสามารถหาได้จากแต่ละรุ่น จะมีส่วนที่ทำให้เกิดสมาชิกที่แข็งแรงที่สุด (Fittest Individual) ซึ่งก็คือผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution) ของปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุด (Optimization Problem)

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมีลักษณะที่แตกต่างจากเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบมาตรฐานอยู่ 4 ประการ คือ

1. ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะค้นหาผลเฉลยในปริภูมิการค้นหาของตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable) ของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด โดยที่ตัวแปรตักสินใจจะอยู่ในรูปของรหัส (Code)

2. ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะค้นหาผลเฉลยในหลายตำแหน่งของปริภูมิการค้นหาไปพร้อม ๆ กัน การค้นหาผลเฉลยในรูปแบบนี้ จะทำให้โอกาสที่ผลเฉลยที่หาพบเป็นค่าเหมาะที่สุดเฉพาะที่ (Local Optimum) ลดลง

3. ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะใช้ข้อมูลที่เรียกว่าเป็นข้อมูลการจ่ายจริง (Payoff Information) ในการกำหนดทิศทางการหาผลเฉลยในปริภูมิการค้นหา โดยที่ข้อมูลการจ่ายจริงนี้จะถูกคำนวณขึ้นโดยตรงจากฟังก์ชันจุดประสงค์ (Objective Function) ของปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด ในขณะที่เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบมาตรฐานมักจะใช้ข้อมูลจากอนุพันธ์ (Derivative) ของฟังก์ชันจุดประสงค์ในการกำหนดทิศทางการหาผลเฉลย

4. ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะใช้กฎการส่งผ่านเชิงความน่าจะเป็น (Probabilistic Transmission Rule) ในกระบวนการหาผลเฉลย ในขณะที่เทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดแบบมาตรฐานจะใช้กฎการส่งผ่านเชิงกำหนด (Deterministic Transmission Rule) กระบวนการหาผลเฉลย

ถึงแม้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะเป็นเทคนิคการหาค่าเหมาะที่สุดอีกเทคนิคหนึ่ง แต่เนื่องจากแนว ความคิดที่นำไปสู่การพัฒนาขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมขึ้นนั้นมีรากฐานมาจากทฤษฎีวิวัฒนา การคำศัพท์เฉพาะที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจึงเป็นคำศัพท์ทางชีววิทยา ดังนั้นสามารถอธิบายคำศัพท์ได้ดังนี้ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะทำการหาผลเฉลยจากกลุ่มของผลเฉลยในปริภูมิการค้นหา โดยที่ผลเฉลยจะอยู่ในรูปของรหัส และรหัสซึ่งจะเป็นสายรหัส (String) ของอักษรนั้น จะเป็นตัวแทนของตัวแปรตัดสินใจของปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด สายรหัสของอักษรเรียกว่า โครโมโซม (Chromosome) โดยโครโมโซม 1 โครโมโซมจะประกอบขึ้นด้วยกลุ่มของอักษรซึ่งเรียกว่า ยีน(Gene) โดยที่ยีนทุกยีนจะมีตำแหน่งเฉพาะบนโครโมโซม ตำแหน่งของยีนนี้เรียกว่า โลคัส(Locus) ตามปรกติแล้วยีนหนึ่งตัวจะมีสถานะ (State) ได้หลายสถานะ แต่ละสถานะที่เป็นไปได้ของยีนเรียกว่า อัลลีล (Allele) ลักษณะของยีนในแต่ละโครโมโซมจะเป็นตัวกำหนดลักษณะของตัวแปรตัดสินใจที่ประกอบขึ้นเป็นผลเฉลย ลักษณะเฉพาะของโครโมโซมที่ได้จากยีนเรียกว่า จีโนไทป์ (Genotype) หลังจากที่โครโมโซมได้ผ่านการถอดรหัส (Decode) แล้ว ลักษณะเฉพาะของผลเฉลยที่ได้ซึ่งอยู่ในรูปของตัวแปรตัดสินใจจะเรียกว่า ฟีโนไทป์ (Phenotype) จากตารางที่ 1 จะเป็นตารางเปรียบเทียบคำศัพท์เฉพาะของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมกับคำศัพท์ทั่วไป

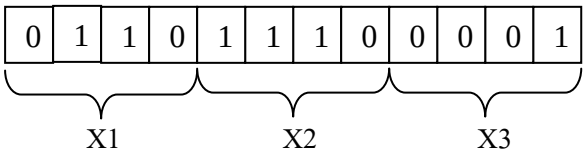
ตารางที่ 1 ตารางเปรียบเทียบคำศัพท์เฉพาะของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมกับคำศัพท์ทั่วไป

คำศัพท์เฉพาะของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม	คำศัพท์เทียบเท่า
โครโมโซม	สายรหัส
ยีน	รหัส หรือ อักษร
อัลลีล	ค่าของรหัส
โลคัส	ตำแหน่งของรหัสบนสายรหัส
จีโนไทป์	ลักษณะเฉพาะของสายรหัส
ฟีโนไทป์	ตัวแปรตัดสินใจที่ได้จากการถอดรหัส

ตัวดำเนินการเชิงพันธุกรรม (Genetic Operator) คือ วิธีการที่สามารถนำมาใช้เป็นองค์ประกอบของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม ได้แก่ การเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome Encoding) การประเมินค่าความแข็งแรง (Fitness Evaluation) การคัดเลือก (Selection) การสลับไขว้ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation)

1.1 การเข้ารหัสโครโมโซม (Chromosome Encoding)

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะทำการค้นหาผลเฉลยในปริภูมิการค้นหาซึ่งประกอบขึ้นด้วยตัวแปรตัดสิน ใจที่มีรูปแบบ โดยเป็นรูปแบบของรหัส (Code Format) วิธีการที่ง่ายที่สุดที่ใช้ในการเข้ารหัสโดยใช้วิธีนี้ คือ การเข้ารหัสฐานสอง (Binary Code) ผลที่ได้จากการเข้ารหัสโดยใช้วิธีนี้ คือ โครโมโซมของแต่ละผลเฉลยจะประกอบขึ้นจากกลุ่มของยีน โดยที่แต่ละยีนมีอัลลีลเป็น 0 หรือ 1 ดังรูปที่ 1 ตัวอย่างแสดงการเข้ารหัสฐานสอง



ภาพที่ 1 แผนภาพของการเข้ารหัสโครโมโซมโดยใช้รหัสฐานสอง

จากภาพที่ 1 โครโมโซมมีความยาว 12 บิต ได้ถูกใช้แทนผลเฉลยของปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดซึ่งมีตัวแปรตัดสินใจคือทั้งหมด 3 ตัวแปร คือ x_1 , x_2 , x_3 แต่ละตัวแปรตัดสินใจจะถูกแสดงค่าโดยรหัสฐานสองซึ่งมีความยาว 4 บิต ทำให้จำนวนในการค้นหาในแต่ละตัวแปรตัดสินใจ

เท่ากับ 2^4 หรือ 16 เพราะฉะนั้นจำนวนของจุดการค้นหาทั้งหมดสำหรับปัญหานี้ คือ 4,096 และการเข้ารหัสสามารถเข้ารหัสลักษณะอื่นๆ ได้อีกเช่น การเข้ารหัสแบบเกรย์ (Gray Code)

1.2 การประเมินค่าความแข็งแรง (Fitness Evalution)

โดยทั่วไปแล้วค่าความแข็งแรงของสมาชิกแต่ละตัวในประชากร จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าจุดประสงค์ของผลเฉลยที่แทนโดยสมาชิกนั้นๆ ในการที่จะหาค่าความแข็งแรง โครโมโซมของสมาชิกจะต้องถูกถอดรหัสเพื่อให้ได้เป็นตัวแปรตัดสินในก่อน จากนั้นค่าจุดประสงค์ของผลเฉลยก็สามารถคำนวณได้จากตัวแปรตัดสินใจโดยอาศัยฟังก์ชันค่าใช้จ่าย (Cost Function) หรือฟังก์ชันของปัญหาการหาค่าที่เหมาะสม ถ้าปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดเป็นปัญหาการหาค่าสูง สุด ค่าจุดประสงค์ก็จะเป็นค่าที่ได้จากฟังก์ชันกำไร ซึ่งค่าจุดประสงค์หรือค่ากำไรที่ได้จะสามารถนำมาใช้เป็นค่าความแข็งแรงได้โดยตรง ในทางตรงกันข้าม ถ้าปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเป็นปัญ หาการหาค่าต่ำสุด แล้วค่าความแข็งแรงของสมาชิกหาได้จาก

$$f_i = C_{\max} - J_i$$

โดยที่ f_i เป็นค่าความแข็งแรงของสมาชิกตัวที่ i ในประชากร J_i คือค่าจุดประสงค์ซึ่งเป็นผลจากฟังก์ชันค่าใช้จ่ายในกรณีของสมชิกตัวที่ $-i$ และ C_{max} คือค่าที่เป็นบวกค่าหนึ่งซึ่งมีค่ามากกว่าค่าจุดประสงค์ที่มากที่สุดที่เป็นไปได้ ค่า C_{max} นี้จะหาได้โดยอาศัยข้อมูลของปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่สนใจเป็นหลัก นอกจากนี้ค่า C_{max} ก็สามารถอ้างอิงจากค่าจุดประสงค์ที่มากที่สุดที่ได้จากประ ชากรรุ่นแรกในขั้นตอนเชิงพันธุกรรม

1.3 การคัดเลือก (Selection)

ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมทำงานโดยการส่งผ่านสมาชิกของประชากรที่แข็งแรงจากรุ่นหนึ่งไปยังรุ่นถัด ไป การทำงานในส่วนนี้ของขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมจะทำโดยอาศัยการคัดเลือกประ ชากรใหม่จะถูกสร้างขึ้นโดยอาศัยการคัดเลือก ประชากรใหม่จะถูกสร้างโดยการแพร่พันธุ์ (Repro- duction) สมาชิกที่แข็งแรงในประชากรรุนปัจจุบันโดยใช้ค่าความแข็งแรงเป็นตัวกำหนดอัตราการแพร่พันธุ์ อัตราส่วนระหว่างค่าความแข็งแรงของสมาชิกแต่ละตัวกับผลรวมของค่าความแข็งแรงจากสมาชิกทุกตัวในประชากรปัจจุบันจะเป็นตัวกำหนดสัด ส่วน ของจำนวนสมาชิกนั้นๆ ในประ ชากรรุ่นใหม่สมาชิกที่มีความแข็งแรงที่สุด ก็จะมีสัดส่วนของจำนวนสมาชิกนั้นในประชากรรุ่นใหม่ที่สูง ในขณะที่สมาชิกที่มีค่าความแข็งแรงต่ำ ก็จะมีสัดส่วนของจำนวนสมาชิกนั้น

ในประชา กรรุ่นใหม่ที่ต่ำ เทคนิคที่ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ในการคัดเลือกมีอยู่หลายเทคนิค ด้วยกัน คือ การคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel Selection) และการคัดเลือกโดยการชักตัวอย่างทุกตัวแบบเฟ้นสุ่ม (Tournament Selection)

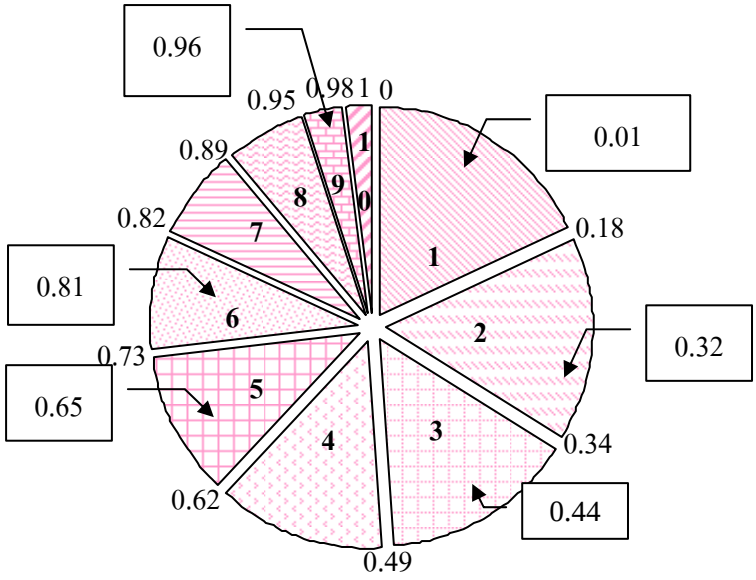
1.3.1 การคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel Selection) เป็นวิธีการคัดเลือกที่ง่ายที่สุดวิธีหนึ่ง การทำงานของการคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ตจะสามารถอธิบายได้ดังนี้ โอกาสที่สมาชิกแต่ละตัวในประชากรรุ่นปัจจุบันจะถูกส่งผ่านไปยังประชากรรุ่นใหม่ จะถูกแทนโดยวงล้อรูเล็ตที่เอนเอียง (Biased Roulette Wheel) หรือวงล้อรูเล็ตที่มีช่องไม่เท่ากัน ช่องที่มีขนาดใหญ่บนวงล้อรูเล็ตจะเป็นตัวแทนของโอกาสที่สมาชิกที่แข็งแรงจะถูกเลือกไปเป็นสมาชิกในประชากรรุ่นถัดไป ในทางตรงกันข้ามช่องที่มีขนาดเล็กบนวงล้อรูเล็ตจะเป็นตัวแทนของโอกาสที่สมาชิกที่มีความแข็งแรงต่ำจะถูกเลือกไปเป็นสมาชิกในประชากรรุ่นถัดไปขนาดของช่องบนวงล้อรูเล็ตก็จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนระหว่างค่าความแข็งแรงของสมาชิกกับผลรวมของค่าความแข็งแรงจากสมาชิก ทุกตัวในประชากรรุ่นปัจจุบัน โดยการวางตัวชี้ (Pointer) ไว้ที่ขอบของวงล้อรูเล็ตและทำการหมุนวงล้อรูเล็ตแบบสุ่ม เมื่อวงล้อรูเล็ตหยุดหมุนที่ช่องไหน สมาชิกซึ่งตรงกับช่องนั้นก็จะถูกเลือกและส่งผ่านไปยังประชากรรุ่นถัดไป

พบว่าถ้าขั้นตอนในการหมุนวงล้อรูเล็ตนั้นเป็นกระบวนการแบบสุ่มที่แท้จริงแล้วสมาชิกที่ถูกเลือก (Selected Individual) จะมีจำนวนใกล้เคียงกับสัดส่วนเป้าหมาย เนื่องจากจำนวนครั้งของการหมุนวงล้อรูเล็ตถูกกำหนดโดยจำนวนของสมาชิกในประชากรซึ่งไม่เป็นจำนวนอนันต์ สัดส่วนของสมาชิกจากประชากรรุ่นปัจจุบันในรุ่นถัดไปจะแตกต่างจากสัดส่วนเป้าหมายข้อแตก ต่างนี้เรียกว่า ความเอนเอียงในการเลือก (Selection Bias) ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงค่าความน่าจำเป็นของตัวเลขแต่ละตัว

ผลลัพธ์	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ความเป็นไปได้ในการเลือก	0 0.18	0.18 0.34	0.34 0.49	0.49 0.62	0.62 0.73	0.73 0.82	0.82 0.89	0.89 0.95	0.95 0.98	0.98 1.0

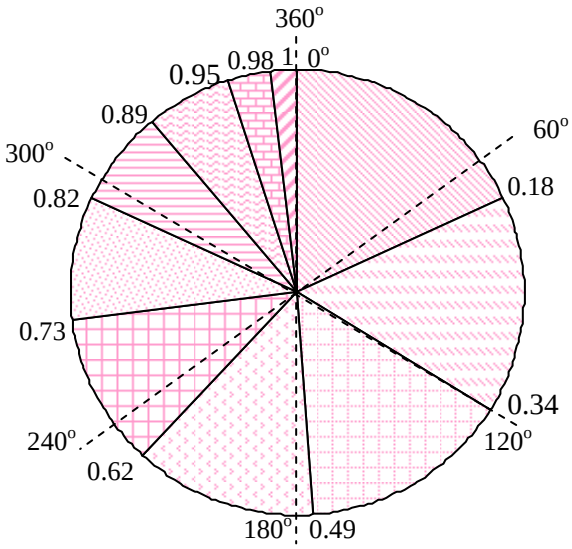
สมมติมีการสุ่มเลขออกกมา 6 ครั้ง ได้ตัวเลขเป็น 0.81 , 0.32 , 0.96 , 0.01 , 0.65 , 0.44 หลังจากผ่านการคัดเลือกจะได้สมาชิกใหม่ดังนี้ 6 , 2 , 9 , 1 , 5 , 3



ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างการคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต

1.3.2 การคัดเลือกโดยการชักตัวอย่างทุกตัวแบบเฟ้นสุ้ม (Tournament Selection) โดยการใช้วงล้อรูเล็ตที่เอนเอียงเป็นแนวเทียบ การคัดเลือกโดยวิธีนี้ เริ่มจากการสร้างวงล้อรูเล็ตที่เอนเอียง เป็นตัวแทนอัตรา ส่วนของโอกาสที่สมาชิกในประชากรรุ่นปัจจุบันจะถูกส่งผ่านไปยังประชากรรุ่นถัดไป จากนั้นตัวชี้จะถูกกำหนดตำแหน่งอย่างสุ่มที่ขอบของวงล้อรูเล็ต และสมาชิกที่อยู่ตรงกับช่องที่มีตัวชี้อยู่จะถูกเลือก จากนั้นวงล้อรูเล็ตจะถูกหมุนเป็นมุม $360^{\circ}/n$ โดยที่ n คือจำนวนของสมาชิกในประชากร จากนั้นสมาชิกอีก 1 ตัวก็จะถูกเลือกตามรูปแบบเดิม กระบวนการหมุนวงล้อรูเล็ตไปเป็นมุมที่มีองศาคงที่ และเลือกสมาชิกที่อยู่ตรงกับตำแหน่งของตัวชี้จะดำเนินไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งจำนวนสมาชิกในประชากรใหม่เท่ากับขนาดประชากร (Population Size) ที่กำหนด จะเห็นได้ว่าจำนวนสมาชิกที่ถูกเลือกจะใกล้เคียงมากกับสัดส่วนที่ต้องการ เพราะฉะนั้นปัญหาในเรื่องของความเอนเอียงในการคัดเลือกก็สามารถแก้ได้เป็นส่วนใหญ่ โดยการใช้การคัดเลือกโดยการชักตัวอย่างแบบเฟ้นสุ่ม ดังแสดงในภาพที่ 3

ตัวอย่างวิธีการชักตัวอย่างทุกตัวแบบเฟ้นสุ้ม สำหรับสมาชิกใหม่ 6 สมาชิก $360^{\circ}/6 = 60^{\circ}$ หลังจากผ่านการคัดเลือกจะได้สมาชิกใหม่ดังนี้ 1 , 2 , 3 , 5 , 7 , 10



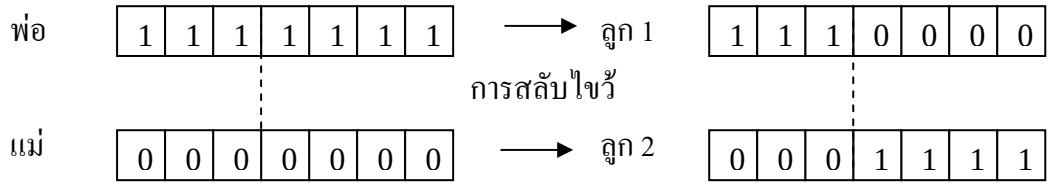
ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างการคัดเลือกแบบเฟ้นสุ้ม

1.4. การสลับไขว้ (Crossover)

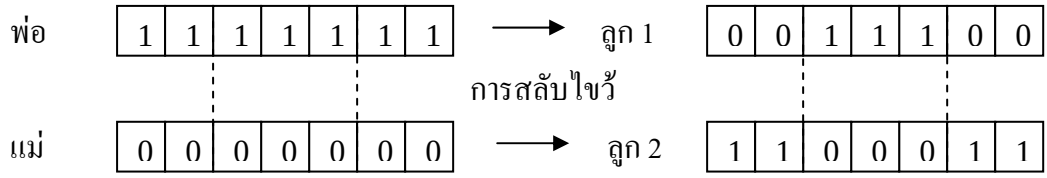
เมื่อจะมีการสร้างสมาชิกใหม่เกิดขึ้น สมาชิกใหม่ที่เกิดขึ้นจะได้จากการแปลงสมาชิกเดิม โดยการสรรหาหรือการแปลงสมาชิกได้มาจากหลักการ การสลับไขว้ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) การสลับไขว้จะเริ่มจากการสุ่มเลือกสมาชิกจำนวน 2 สมาชิก จากจำ นวนสมาชิกที่ได้หลักจากกระบวนการคัดเลือก โดยสมาชิกทั้งสองสมาชิกนี้จะถูกเรียกว่า สมาชิกรุ่นพ่อแม่ (Parent Individual) จากนั้นยีนจากสมาชิกรุ่นพ่อแม่ทั้งสองจะถูกส่งผ่านไปยังสมาชิกรุ่นลูก (Offspring Individual) ซึ่งทำให้สมาชิกในรุ่นลูกจะมียีนที่ได้รับจากพ่อและแม่ และประชากรในรุ่นถัดไปก็จะประกอบจากสมาชิกรุ่นลูกเหล่านี้ โดยที่การถ่ายถอดยีนจะเป็นไปตามกฎที่ตั้งไว้ การสลับไขว้จะไม่เกิดขึ้นกับสมาชิกทุกตัวในประชากร โอกาสที่จะมีการสลับไขว้เกิดขึ้นระหว่างสมาชิกรุ่นพ่อแม่สองตัวที่สุ่มขึ้นมานั้น จะถูกกำหนดโดยความน่าจะเป็นในการสลับไขว้ โดยปรกติแล้วความน่าจะเป็นในการสลับไขว้จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.7 ถึง 0.9 ซึ่งหมายความว่า ถ้า ไม่มีการสลับไขว้เกิดขึ้นแล้ว สมาชิกรุ่นลูกก็จะเหมือนกับสมาชิกรุ่นพ่อแม่ทุกประการ

1.4.1 การสลับไขว้แบบ n จุด (n-Point Crossover)

สลับไขว้ในลักษณะนี้ จะเป็นการแลกเปลี่ยนยีนระหว่างสมาชิกรุ่น พ่อแม่เพื่อให้เกิดการสร้างสมาชิกรุ่นลูกนั้น จะเกิดขึ้น ณ ข้างใดข้างหนึ่งของตำแหน่งการสลับไขว้ หรือเกิดขึ้นระหว่างตำแหน่งการสลับไขว้ 2 ตำแหน่งบนโครโมโซม ค่า n จะเป็นส่วนที่กำ หนดจำนวนของตำแหน่งการสลับไขว้โดยที่ $n \geq 1$



ภาพที่ 4 แสดงตัวอย่างการสลับไขว้ แบบ 1 จุด

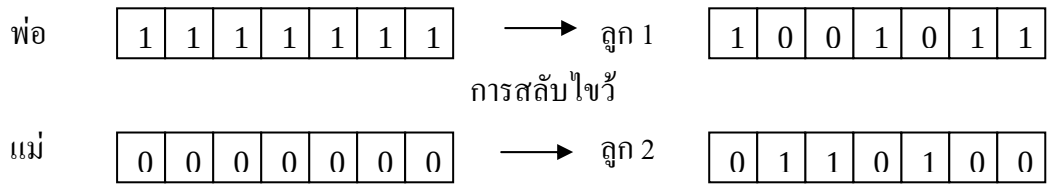


ภาพที่ 5 แสดงตัวอย่างการสลับไขว้ แบบ 2 จุด

การแลกเปลี่ยนยีนจะเกิดขึ้นทางด้านขวาของตำแหน่งการสลับไขว้ในกรณีของการสลับไขว้แบบ 1 จุด ในทางตรงกันข้ามทางการแลกเปลี่ยนยีนเกิดขึ้นระหว่างตำแหน่งการสลับไขว้ 2 ตำแหน่งในกรณีการสลับไขว้แบบ 2 จุด จะพบว่าหลังจากที่มีการสลับไขว้ขึ้น สมาชิกรุ่นลูกจะได้รับยีนจากสมาชิกรุ่นพ่อแม่ทั้ง 2 ตัว ลักษณะของยีนในสมาชิกร่นลูกจะถูกกำหนดโดยตำแหน่งการสลับไขว้บนโครโมโซม ตามปรกติแล้วตำแหน่งการสลับไขว้จะถูกกำหนดอย่างสุ่มไปตามความยาวของโครโมโซม

1.4.2 การสลับไขว้แบบเอกรูป (Uniform Crossover)

ในกรณีการสลับไขว้แบบนี้ ยีนที่แต่ละโลคัสตลอดความยาวของโครโมโซมของสมาชิกรุ่นลูก 1 ตัวจะถูกเลือกอย่างสุ่มจากคู่ยีนที่มาจากสมาชิกรุ่นพ่อแม่ทั้งสองตัว ตามปรกติโอกาสที่ยีนจะถูกเลือกจากสมาชิกรุ่นพ่อแม่ตัวหนึ่งจะเท่ากับโอกาสที่ยีนจะถูกเลือกจากสมาชิกรุ่นพ่อแม่อีกตัวหนึ่ง หลังจากที่ยีนสำหรับสมาชิกรุ่นลูกที่สนใจได้ถูกกำหนดแล้ว ยีนจากคู่ยีนที่ไม่ได้ถูกเลือกก็จะถูกส่งผ่านไปยังสมาชิกรุ่นลูกสมาชิก รุ่นลูกอีกตัวที่เหลือ



ภาพที่ 6 แสดงตัวอย่างการสลับไขว้แบบเอกรูป

1.5 การกลายพันธุ์ (Mutation)

การกลายพันธุ์เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการสร้างสมาชิกใหม่จากสมาชิกเดิมที่มีอยู่ ถ้าการสลับไขว้เป็นการทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะของยีนในสมาชิกรุ่นลูก โดยที่สมาชิกรุ่นลูกที่เกิดขึ้นจะอยู่ห่างจากสมาชิกรุ่นพ่อแม่ออกไปเมื่อวัดเป็นระยะทางในปริภูมิการค้นหา การกลายพันธุ์ก็จะสามารถมองได้ว่าเป็นวิธีที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของยีนเพียงเล็กน้อยในโครโมโซมของสมาชิก การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้เกิดการค้นหาผลเฉลยซึ่งอยู่ในตำแหน่งใกล้เคียง กับผลเฉลยซึ่งแทนโดยสมาชิกตัวเดิมในปริภูมิการค้นหา ในกรณีที่โครโมโซมฐานสองถูกใช้ ในการแทนค่าผลเฉลย การกลายพันธุ์จะสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนค่าบิตจาก 0 เป็น 1 หรือจาก 1 เป็น 0

สมาชิก	1	1	1	1	1	1	1

การกลายพันธุ์	1	1	1	0	1	1	1

ภาพที่ 7 แสดงตัวอย่างการกลายพันธุ์

จากตัวอย่างตำแหน่งการกลายพันธุ์จะอยู่ในตำแหน่ง โลคัสที่ 4 ของโครโมโซมโดยอัลลีล ของยีนจะถูกเปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 เช่นเดียวกับการสลับไขว้ การกลายพันธุ์จะไม่เกิดกับยีนทุกตัวบนโครโมโซม โอกาสที่จะมีการกลายพันธุ์เกิดขึ้นกับยีนหนึ่งตัวบนโครโมโซม จะถูกกำหนดโดยความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ ตามปรกติแล้วความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์จะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 0.1 จากจุดนี้จะเห็นได้ว่าค่าความน่าจะเป็นในการสลับไขว้จะมีค่าใกล้เคียง 1 ใน ขณะที่ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์จะมีค่าใกล้เคียง 0 ดังนั้นโดยทั่วไปแล้ว การสลับไขว้จะเป็นคำตอบของการค้นหาเป็นส่วนใหญ่ เป้าหมายที่ต้องการจากการสลับไขว้และการกลายพันธุ์ คือ การรวมยีนที่ดีจากสมาชิกที่ต่างกันเข้าด้วยกัน (จากการสลับไขว้) และการเพิ่มยีนใหม่ในกลุ่มยีนของประชากร (จากการกลายพันธุ์) ซึ่งจะส่งผลให้มีโอกาสที่สมาชิกรุนลูกที่เกิดขึ้นมีลักษรณะที่ดีกว่าสมาชิกในรุ่นพ่อแม่ที่มีอยู่เดิม

2. การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม (Optimal Power Flow)

ในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมนั้น มีตัวแปรที่ต้องคำนึงถึงจำนวนมาก เช่น อัตราการไหลของกำลังไฟฟ้าภายในสายส่ง, แรงดันระหว่างบัส, มุมในแต่ละบัส และอัตราการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบในแต่ละเครื่องกำเนิด เป็นต้น

นอกจากนั้นการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมนั้น ยังนำมาประยุกต์ใช้กับการจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างประหยัดอีกด้วย โดยจะไม่หาแต่เพียงค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าที่

ต่ำที่สุดเท่านั้น แต่ยังต้องสามารถตอบสนองถึงระดับแรงดันที่บัสต่างๆ, กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน, ค่าระดับของแรงดันที่บัสต่างๆ และมุมในแต่ละบัสเป็นต้น ซึ่งต้นทุนในการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามาจากการวิเคราะห์การจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างประหยัด โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละชนิดจะมีค่าสัมประสิทธิ์ฟังก์ชันราคาที่แตกต่างกันซึ่งสามารถสร้างเป็นสมการได้ดังนี้

$$F(P_{gi}) = a_i P_{gi}^{\ 2} + b_i P_{gi} + c_i \tag{1}$$

$$\text{Minimize } C = \sum_{i=1}^{N_g} F(P_{gi}) \tag{2}$$

โดยค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะต้องจ่ายเข้าไปในระบบไฟฟ้าจะต้องสามารถรองรับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้ โดยมีเงื่อนไขดังนี้

$$P_i(V,\theta) = P_{gi} - P_{load} \qquad i = 1 \ldots N_b \tag{3}$$

$$Q_i(V,\theta) = Q_{gi} - Q_{load} \qquad i = 1 \ldots N_b \tag{4}$$

ซึ่งอัตราการไหลของกำลังไฟฟ้าต้องเป็นดังนี้

$$P_i(V,\theta) = V_i \sum_{j=1}^{N_b} V_j Y_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j - \phi_{ij}) \qquad i = 1 \ldots N_b \tag{5}$$

$$Q_i(V,\theta) = V_i \sum_{j=1}^{N_b} V_j Y_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j - \phi_{ij}) \qquad i = 1 \ldots N_b \tag{6}$$

และทุกสมการต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไข

$$V_{i,\min} \le V_i \le V_{i,\max} \qquad i = 1 \ldots N_b \tag{7}$$

$$P_{gi,\min} \le P_{gi} \le P_{gi,\max} \qquad i = 1 \ldots N_g \tag{8}$$

$$Q_{gi,\min} \le Q_{gi} \le Q_{gi,\max} \qquad i = 1 \ldots N_g \tag{9}$$

$$\left|I_{ij}(V,\theta)\right| = I_{\max} \qquad i,j = 1 \ldots N_l \text{ และ } i \ne j \tag{10}$$

เมื่อ $F(P_{gi})$ คือ ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

a_i, b_i, c_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

P_{gi} คือ กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า i

C คือ ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงทั้งหมดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

P_{load} คือ กำลังไฟฟ้าที่ระบบต้องการ

$P_i(V,\theta)$ คือ กำลังไฟฟ้าที่บัส i

$P_{gi,\min}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่น้อยที่สุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ i จ่ายได้

$P_{gi,\max}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่มากที่สุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ i จ่ายได้

P_{gi} คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ i จ่ายเข้าสู่ระบบ

Q_{loss} คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ในสายส่งต้องการ

$Q_i(V,\theta)$ คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่ระบบต้องการ

$Q_{gi,\min}$ คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่น้อยที่สุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ i จ่ายได้

$Q_{gi,\max}$ คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่มากที่สุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ i จ่ายได้

Q_{gi} คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ i จ่ายเข้าสู่ระบบ

$V_{i,\min}$ คือ ระดับแรงดันน้อยที่สุดที่ระบบไฟฟ้าสามารถยอมรับได้ที่บัส i

$V_{i,\max}$ คือ ระดับแรงดันมากที่สุดที่ระบบไฟฟ้าสามารถยอมรับได้ที่บัส i

V_k คือ ระดับแรงดันในระบบไฟฟ้าขณะนั้นที่บัส k

θ_i, θ_j คือ มุมที่บัส i และบัส j

$I_{\max}$ คือ ขนาดของกระแสไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถไหลได้

$I_{ij}(V,\theta)$ คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลอยู่ในสายส่งระหว่างบัส i และบัส j

ϕ_{ij} คือ มุมของการรวมอิมพิแดนซ์ที่ตำแหน่ง i และ j

N_g คือ จำนวนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

N_b คือ จำนวนบัส

N_l คือ จำนวนของสายส่ง

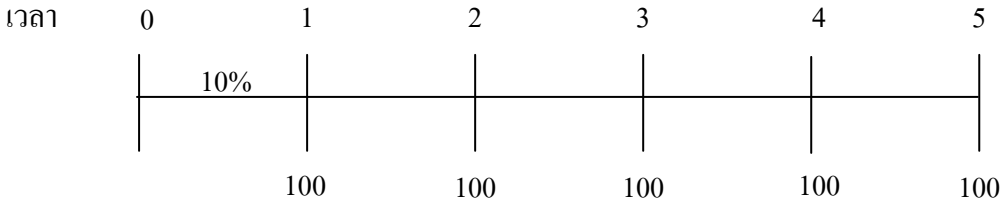
3. ค่าของเงินตามเวลา (Time Value of Money)

การเปรียบเทียบมูลค่าของเงินสดที่ได้มาในอนาคตกับมูลค่าเงินสดในปัจจุบันเป็นเงื่อนไขที่สำคัญอันหนึ่งที่เราต้องใช้ในการตัดสินใจทางการเงิน เช่น การตัดสินใจในการซื้อสินค้าจากบริษัทหนึ่งซึ่งใช้จ่ายเงินสดกับอีกบริษัทหนึ่งซึ่งราคาสูงกว่าแต่ให้ Credit Term ผู้จัดการการเงินจะต้องใช้วิธีที่จะทำการปรับกระแสเงินสดทั้งสองให้เสมือนมาอยู่บนเงื่อนไขเดียวกันเพื่อทำการเปรียบเทียบ

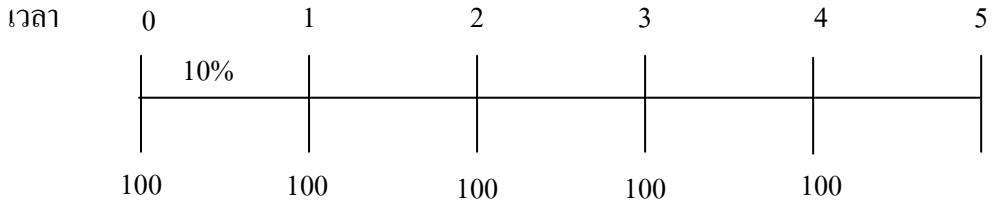
เงินสดในจำนวนที่เท่ากัน แต่ถ้ารับที่เวลาต่างกัน ค่าของเงินที่เราได้จะต่างกันไปด้วย เช่น เงินสด 100 บาท ที่มีในปัจจุบันจะมีค่ามากกว่าเงินที่จะได้รับ 100 บาท ในอนาคต เนื่องจากสามารถที่จะเอาเงินสด 100 บาท ในปัจจุบันไปลงทุนได้

3.1 เส้นเวลา (Time Lines)

ค่าของเงินตามเวลา เป็นเครื่องมือทางการเงิน ที่ง่ายต่อการคำนวณ และใช้ประโยชน์ได้อย่าง กว้างขวาง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการตัดสินใจ เช่น การซื้อบ้าน การออมเงิน ตลอดจนการเงินที่ซับซ้อนทางด้านธุรกิจ สิ่งที่จะช่วยให้การพิจารณากระแสเงินสดที่เกิดขึ้นในเวลาต่าง ๆ กัน ทำได้ง่ายคือ ใช้เส้นเวลา และจำนวนกระแสเงินสด ดังภาพที่ 7 แสดงกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นทุกสิ้นปี ปีละ 100 บาท เป็นเวลา 5 ปี และภาพที่ 8 แสดงกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นทุกต้นปี ปีละ 100 บาท เป็นเวลา 4 ปี



ภาพที่ 8 เส้นเวลาของกระแสเงินสด ณ เวลาสิ้นงวด



ภาพที่ 9 เส้นเวลาของกระแสเงินสด ณ เวลาต้นงวด

ความหมายของเส้นเวลา

1. ในภาพที่ 7 และ 8 เวลา 0 หมายถึงเวลาปัจจุบัน มูลค่าของกระแสเงินสดที่เกิดขึ้น ณ เวลา 0 จึงเป็นมูลค่าปัจจุบัน และไม่จำเป็นต้องปรับค่าตามเวลา

2. งวดเวลา (Period of time) กับ ณ เวลา (Point in time) มีความแตกต่างกัน กล่าวคือ ช่วง

เวลาระหว่าง 0 กับ 1 หมายถึง งวดที่ 1 ซึ่งจากภาพที่ 7 และ 8 คือ ปีที่ 1 ส่วนกระแสเงินสดที่เกิดขึ้น ณ เวลา “1” หมายถึงกระแสเงินสดที่เกิดขึ้นสิ้นงวดที่ 1 งวดเวลานี้อาจเป็นวัน, เดือน, ปีก็ได้

3. ในเรื่องค่าของเงินตามเวลา กระแสเงินสดที่เกิดขึ้น ณ เวลาต้นงวดที่ 2 กับกระแสเงินสดที่เกิดขึ้น ณ เวลาสิ้นงวดที่ 1 เป็นเวลาเดียวกัน

4. อัตราลด (Discount rate) หรืออัตราดอกเบี้ย (Interest rate)ซึ่งแสดงไว้เหนือเส้นเวลา จากภาพที่ 7 และ 8 คือ 10% กำหนดขึ้นสำหรับแต่ละงวดเวลาของเส้นเวลา ซึ่งแต่ละงวดเวลาอาจใช้อัตราลดอัตราเดียวกันหรือแตกต่างกันก็ได้

5. กระแสเงินสดซึ่งแสดงไว้ใต้เส้นเวลาอาจเป็น บวก หรือ ลบ ถ้าเป็นบวกเรียกกระแสเงินสดรับ (Cash inflow) ถ้าเป็นลบเรียก กระแสเงินสดจ่าย (Cash outflow)

3.2 มูลค่าปัจจุบัน (Present value)

มูลค่าปัจจุบัน หมายถึง การหามูลค่าของเงินที่จะได้รับในอนาคตว่าควรมีมูลค่าเท่าใดในปัจจุบัน เพราะเงินที่มีอยู่ในปัจจุบันสามารถนำไปลงทุนเพื่อหาผลประโยชน์ได้โดยคิดลดจากผลตอบแทนที่ควรจะได้รับในช่วงเวลาปัจจุบันถึงอนาคต มูลค่าปัจจุบันมีการคิดด้วยกันหลายแบบ เช่น มูลค่าปัจจุบันของเงินงวดที่เกิดทุกสิ้นงวด, มูลค่าปัจจุบันของเงินงวดที่เกิดทุกต้นงวด เป็นต้น

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ได้ใช้การคิดมูลค่าปัจจุบันของเงินงวดที่เกิดทุกสิ้นงวด ดังแสดงในสมการที่ (11)

$$PVA_n = PMT\left(\frac{(1+e)^k - 1}{e(1+i)^k}\right) \qquad (11)$$

โดย PV หมายถึง มูลค่าปัจจุบัน (Present Value)

PMT หมายถึง เงินงวดเป็นจำนวนเงินคงที่เท่ากันทุกงวด (Annuity)

e หมายถึง อัตราดอกเบี้ย (Interest rate)

k หมายถึงจำนวนงวดของกระแสเงินสด (Number of periods)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

วัสดุอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับทำงานวิจัยนี้ประกอบด้วย

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล จำนวน 1 เครื่อง
2. โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ข้อมูลทางวิศวกรรม MATLAB
3. โปรแกรมช่วยวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า Matpower
4. โปรแกรมช่วย Microsoft Office

วิธีการ

ในงานวิจัยในครั้งนี้จุดประสงค์ในการวิเคราะห์ คือ การวางแผนการขยายสายส่งหลายเขตพื้นที่โดยประยุกต์ ใช้วิธีการ วิธีพันธุกรรม เพื่อหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการขยายสายส่งและมีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด ซึ่งคำนึงราคาที่ใช้ในการติดตั้งสายส่ง และราคาค่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่น้อยที่สุดโดยมีวิธีการดังนี้

1. สมการและเนื้อหาที่ใช้ในการวางแผนการขยายสายส่งโดยวิธีพันธุกรรม

1.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์

การวางแผนในการขยายสายส่งในงานวิจัยนี้ จะหาตำแหน่งที่เหมาะสมในการสร้างสายส่ง โดยคำนึงถึงราคาที่น้อยที่สุดที่เหมาะสมกับระบบ และสายส่งที่สร้างใหม่นี้จะต้องสามารถรองรับปริมาณกำลัง ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นได้จากการพยากรณ์ความต้องการการใช้ไฟฟ้า โดยเริ่มแรกจะเป็นการใช้วิธีพันธุกรรม ในการค้นหาตำแหน่งในการสร้างสายส่ง เมื่อมีการสร้างสายส่งขึ้นมาใหม่

นั่น ก็จะต้องมีค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสายส่ง และ ค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในสายส่งใหม่ที่เกิดจากการใช้ วิธีพันธุกรรม ซึ่งราคาค่าใช้จ่ายจะเป็นไปดังสมการที่ (12)

$$\text{minimize } TC = \sum_{l \in L} (C_{l,inst} + C_{l,loss}) \qquad (12)$$

TC คือ ราคาใช้จ่ายทั้งหมดโดยรวมค่าติดตั้งสายส่งและรวมราคากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในสายส่งนั้น

$C_{l,inst}$ คือ ราคาที่ใช้ในการติดตั้งสายส่งของสาย l

$C_{l,loss}$ คือ ค่ากำลังการสูญเสียไฟฟ้าในสายส่ง l ที่ระยะเวลา k ปีโดยคิดราคาแบบมูลค่าปัจจุบัน

L คือ จำนวนสายส่งที่ใช้ในการติดตั้ง

เมื่อมีการสร้างสายส่งขึ้นมาใหม่ก็จะมีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าในสายส่งนั้น และการคิดมูลค่ารวมของค่ากำลังการสูญเสียไฟฟ้าในสายส่งที่เกิดขึ้น จะคิดราคาแบบมูลค่าปัจจุบันโดยสายส่งสามารถให้บริการกับระบบได้ k ปี ดังสมการที่ (14)

$$C_{l,loss} = AC_{l,loss}\left(\frac{(1+e)^k - 1}{e(1+e)^k}\right) \qquad (13)$$

k คือ ระยะเวลาที่สายส่งสามารถให้บริการได้

e คือ อัตราดอกเบี้ย

$AC_{l,loss}$ คือ ราคากำลังสูญเสียในสายส่งในระยะเวลา 1 ปี

เมื่อรู้ตำแหน่งและชนิดของสายส่งที่จะสร้างแล้วนั้น จะต้องนำสายส่งที่หามาได้ไปเพิ่มเข้ากับสายส่งในระบบเดิม และเมื่อเพิ่มสายส่งเข้ากับระบบแล้วนั้นสายส่งในระบบจะต้องสามารถรองรับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นได้ โดยในการคำนวณนั้นจะใช้ การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม การใช้การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมจะทำให้ทราบถึงว่าสายส่งที่เพิ่มเติมเข้าไปนั้น สามารถทำให้ระบบอยู่รอดได้หรือไม่ และการใช้การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ยังทำให้ทราบถึงว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะจ่ายกำลังไฟฟ้าเท่าใดที่จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด แต่การพิจารณาในงานวิจัย

ในครั้งนี้จะพิจารณาถึงกำลังสูญเสียในสายส่งที่ได้เพิ่มขึ้นในระบบ เพราะถ้ากำลังสูญเสียมากก็จะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มากขึ้นด้วย

$$\text{minimize } C = \sum_{i \in G} F_i(P_i) \qquad (14)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$f(z) \in S$$

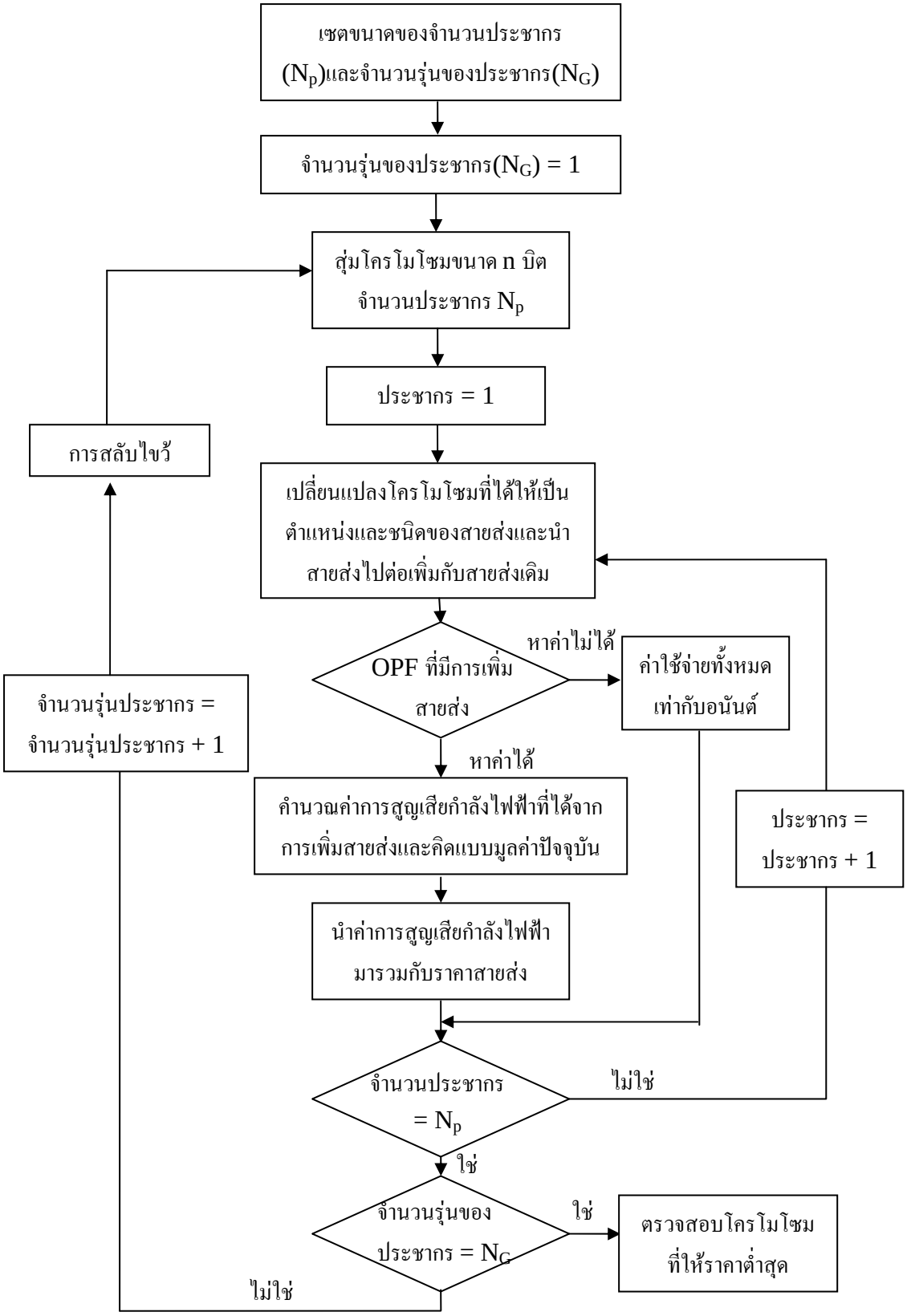
C	คือ ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องทั้งระบบ
$F_i(P_i)$	คือ ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงในการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้า i
G	คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
S	คือ เซตของเงื่อนไขต่างที่ใช้ในการไหลของกำลังไฟฟ้า
z	คือ เวกเตอร์ที่มีความเกี่ยวข้องในสมการดังแสดงในคำอธิบายในการตรวจเอกสารของการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม

1.2 แผนภาพแสดงวิธีการสร้างสายส่งใหม่โดยใช้ วิธีพันธุกรรม และคำอธิบายวิธีการ

การวางแผนในการขยายสายส่งในงานวิจัยนี้ เพื่อหาราคาค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดที่ใช้ในการก่อสร้างสายส่งดังแสดงในสมการที่ (12) และแผนภาพแสดงหลักการทำงานการวางแผนการสร้างสายส่งโดยวิธีพันธุกรรม ดังแสดงในภาพที่ 9 ในขั้นตอนแรก จะเป็นการกำหนดขนาดของจำนวนประชากร และจำนวนรุ่นของประชากร โดยประชากรในรุ่นแรกจะเกิดจากการสุ่มขึ้นโดยใช้วิธีพันธุกรรม จำนวนประชากรที่เกิดขึ้นก็คือ จำนวนโครโมโซมที่เกิดขึ้นนั่นเอง บิตแต่ละบิตในโครโมโซม คือ ตำแหน่งที่ใช้ในการสร้างสายส่งและชนิดของสายส่งที่ใช้ในการสร้างสายส่ง ดังนั้นสายส่งที่จะสร้างขึ้นใหม่นั้นจะถูกแปลงค่ามาจากโครโมโซม เมื่อได้สายส่งใหม่แล้ว จะนำสายส่งไปต่อเพิ่มเข้ากับระบบเพื่อทดสอบดูว่าสายส่งที่นำไปเพิ่มเติมนั้นสามารถรองรับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นได้หรือไม่ ถ้าไม่สามารถรองรับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นได้สายส่งชุดนี้ก็ไม่สามารถใช้ได้ ดังนั้นราคาค่าใช้จ่ายจึงเป็นอนันต์ และถ้าสามารถรองรับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นได้ ก็จะสามารถคำนวณหากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในสายส่งได้ และการคำนวณค่ากำลังสูญเสียในสายส่งจะใช้สมการที่ (13) เป็นการคิดค่ากำลังไฟฟ้าแบบมูลค่าปัจจุบัน และนำสายส่งที่ได้นั้นไปคิดราคาของสายส่งในการก่อสร้างสายส่งที่ตำแหน่งนั้นหลังจากนั้นนำค่าใช้จ่ายทั้งหมดมารวมกัน

คือ ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสายส่งและค่ากำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในสายส่ง ก็จะได้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของสายส่งชุดนั้น หรือ โครโมโซมชุดนั้น สำหรับการวิเคราะห์การสูญเสียกำลังไฟฟ้าในระบบจะทำการหาค่ากำลังการสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่มีการเพิ่มของกำลังไฟฟ้าที่ปีที่ 5 และนำค่ากำลังไฟฟ้านั้นมาหาค่าการสูญเสียในระบบถึงปีที่ 20

สำหรับการสร้างประชากรในรุ่นต่อไปจะได้จากการสลับไขว้ และในงานวิจัยนี้จะมีการกำหนดค่าความน่าจำเป็นในการสลับไขว้ที่ 0.7 ประชากรชุดใหม่จะได้มาจากการสลับไขว้ของประชากรชุดเดิม เมื่อมีประชากรเกิดขึ้นมาใหม่ ก็จะต้องนำประชากรที่เกิดขึ้นใหม่ไปเปลี่ยนเป็นสายส่งและหาค่าใช้จ่ายต่างๆ ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในข้างต้น โดยการสลับไขว้จะหยุดทำเมื่อครบจำนวนรุ่นของประชากร และในการพิจารณาคำตอบจะพิจารณาผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นที่ทำให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ดังแสดงในสามการที่ (12)



ภาพที่ 10 แผนภาพแสดงการทำงานการวางแผนการสร้างสายส่งโดยวิธีพันธุกรรม

2. กรณีศึกษา

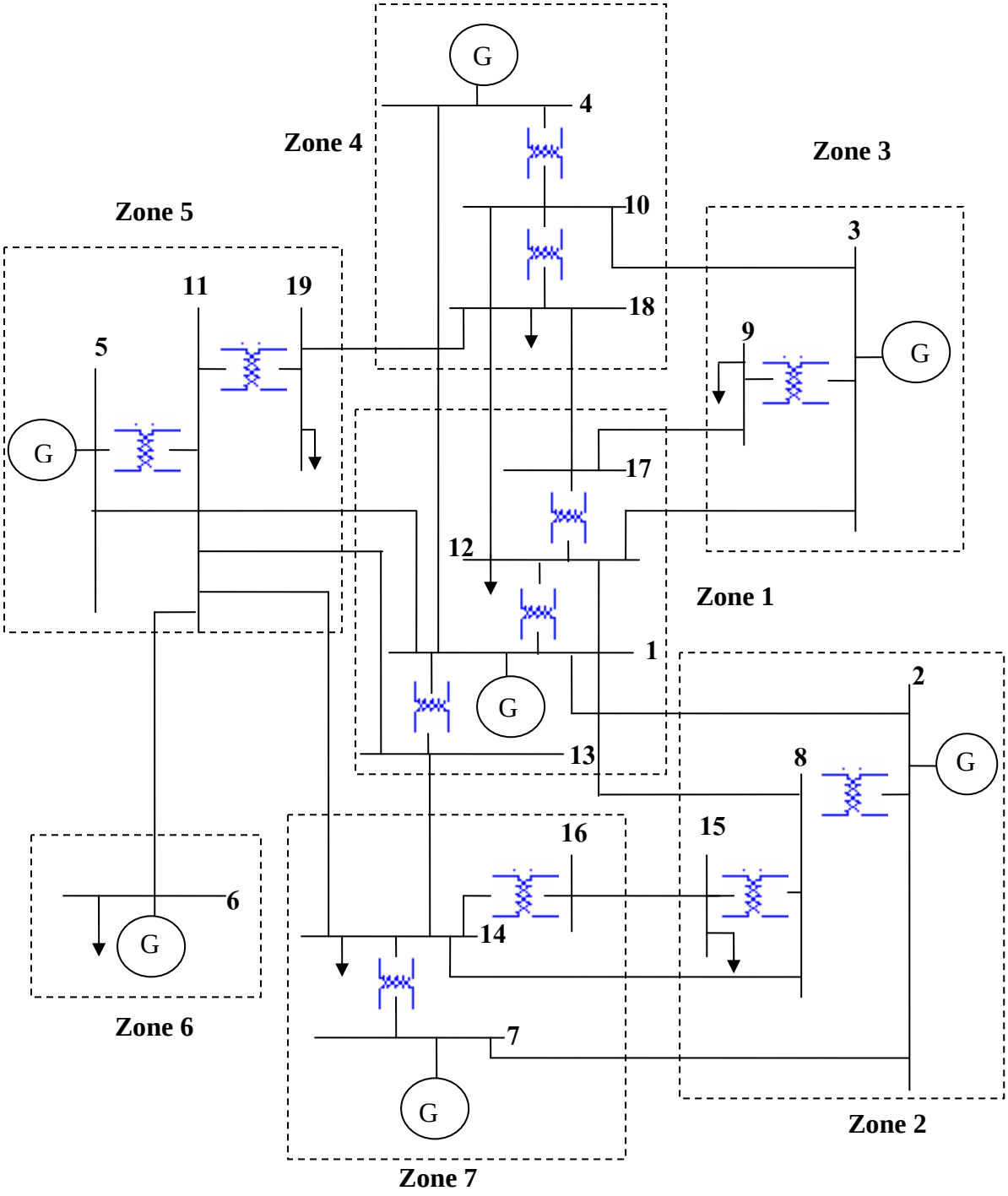
ในการที่จะใช้ วิธีพันธุกรรม ในการวางแผนการขยายสายส่งแบบหลายเขตพื้นที่นั่น จากแผนภาพที่ 9 จะต้องมีการกำหนดค่า คือ จำนวนประชากรในแต่ละรุ่นเท่ากับ 100, จำนวนรุ่นของประชากรทั้งหมดเท่ากับ 6 รุ่นประชากร, อายุการใช้งานของสายส่งคือ 20 ปี และในการคิดอัตราดอกเบี้ยจะคิดอัตราดอกเบี้ยที่ร้อยละ 6.1

2.1 การจัดแบ่งเขตพื้นที่

ทางผู้วิจัยได้มีการจำลองระบบไฟฟ้าเพื่อใช้ในหารศึกษาการวางแผนการสร้างสายส่งหลายเขตพื้นที่ โดยแบ่งออกเป็น 7 เขตพื้นที่ 19 บัส ดังแสงในภาพที่ 10 โดยแบ่งตามลักษณะภูมิภาคของประเทศไทย โดยเขตพื้นที่ 1 แทนภาคกลาง เขตพื้นที่ 2 แทนภาคตะวันออก เขตพื้นที่ 3 แทนภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เขตพื้นที่ 4 แทนภาคเหนือเขตพื้นที่ 5 แทนภาคตะวันตก เขตพื้นที่ 6 แทนภาคใต้ และเขตพื้นที่ 7แทนนครหลวง โดยแบบจำลองที่ทำการจำลองนั้นใช้เพื่อศึกษาอัตราการไหลของกำลังไฟฟ้าและตำแหน่งที่ใช้การก่อสร้างสายส่ง ส่วนตารางที่ 3 จะแสดงถึง ระดับแรงดันที่บัสต่างๆในแต่ละเขตพื้นที่โดยแบ่งระดับแรงดันเป็น 3 ระดับ คือ 500 kV, 230kV และ 115 kV

ตารางที่ 3 แสดงถึงระดับแรงดันที่บัสต่าง ๆ ในแต่ละเขตพื้นที่

เขตพื้นที่	ระดับแรงดัน (kV)		
	500	230	115
1	บัส 1	บัส 12 , บัส 13	บัส 17
2	บัส 2	บัส 8	บัส 15
3	-	บัส 3	บัส 9
4	บัส 4	บัส 10	บัส 18
5	บัส 5	บัส 11	บัส 19
6	-	บัส 6	-
7	บัส 7	บัส 14	บัส 16



ภาพที่ 11 แบบจำลองที่ใช้ในการวางแผนการสร้างสายส่ง

2.2 การสร้างสายส่งระหว่างเขตพื้นที่

สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้การเพิ่มสายส่งขึ้นใหม่จะไม่ได้สร้างสายส่งระหว่างเขตพื้นที่ทุกเขตพื้นที่ เนื่องจากการพิจารณาถึงอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าในแต่ละเขตพื้นที่ และพิจารณาถึงพิกัดของสายแต่ละเส้นที่ใช้ในการเชื่อมต่อ พบว่าสายส่งที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างเขตพื้นที่บางสายส่งมีอัตราการส่งกำลังไฟฟ้าเกินพิกัดของสายส่ง ดังนั้นจึงมีการพิจารณา เขตพื้นที่ที่ใช้ในการเชื่อมต่อเพียง 4 เขตพื้นที่ 5 ตำแหน่งด้วยกัน การสร้างสายส่งระหว่างเขตพื้นที่นั้นจะใช้ วิธีพันธุกรรม เป็นตัวที่ใช้เลือกการสร้างสายส่ง โดยแบ่ง การสร้างสายส่งระหว่างเขตพื้นที่ออกเป็น 5 ตำแหน่งด้วยกัน โดยตำแหน่งที่ 1 แทนการสร้างสายส่งระหว่างเขตพื้นที่ 1 กับ เขตพื้นที่ 7 ตำแหน่งที่ 2 แทนการสร้างสายส่งระหว่างเขตพื้นที่ 1 กับ เขตพื้นที่ 2 ตำแหน่งที่ 3 แทนการสร้างสายส่งระหว่างเขตพื้นที่ 1 กับ เขตพื้นที่ 5 ตำแหน่งที่ 4 แทนการสร้างสายส่งระหว่างเขตพื้นที่ 2 กับ เขตพื้นที่ 7 และตำแหน่งที่ 5 แทนการสร้างสายส่งระหว่างเขตพื้นที่ 5 กับ เขตพื้นที่ 7 ในแต่ละตำแหน่งของการสร้างสายส่งสามารถสร้างได้เพียงระดับแรงดันเดียวหรือไม่มีการสร้างส่งที่ตำแหน่งนั้นเลย การสร้างสายส่งระหว่างเขตพื้นที่ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ตารางการแสดงตำแหน่งการสร้างสายส่งใหม่ระหว่างเขตพื้นที่

ตำแหน่ง	ระหว่างเขตพื้นที่	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ตำแหน่งและชนิดของบัสที่ใช้ในการสร้างสายส่ง			
			“0”	“1” 500 kV	“2” 230 kV	“3” 115 kV
1	1 – 7	110	-	บัส1 – บัส7	บัส13 – บัส14	บัส16 – บัส17
2	1 – 2	120	-	บัส1 – บัส2	บัส8 – บัส12	บัส15 – บัส17
3	1 – 5	160	-	บัส1 – บัส5	บัส11 – บัส13	บัส17 – บัส19
4	2 – 7	75	-	บัส2 – บัส7	บัส8 – บัส14	บัส15 – บัส16
5	5 – 7	105	-	บัส5 – บัส7	บัส11 – บัส14	บัส16 – บัส19

เมื่อมีการสร้างสายส่งเชื่อมต่อระหว่างเขตพื้นที่นั้นสามารถเลือกการติดตั้งสายส่งได้ 3 ระดับแรงดันด้วยกัน ได้แก่ ระดับแรงดันที่ 500 kV, 230 kV และ 115 kV ในการติดตั้งสายส่งที่ระดับแรงดัน 500 kV จะติดตั้งเพียง 1 เส้น การติดตั้งสายส่งที่ระดับแรงดัน 230 kV สามารถติดตั้งได้ 2 เส้น และการติดตั้งสายส่งที่ระดับแรงดัน 115 kV สามารถติดตั้งได้ 3 เส้นด้วยกันและการสร้างสายระหว่างเขตพื้นที่ โดยกำหนดให้ “0” แทนไม่มีการก่อสร้างสายส่ง ณ ระหว่างเขตพื้นที่นั้น

, “1” แทนการสร้างสายส่งที่ระดับแรงกัน 500 kV , “2” แทนการสร้างสายส่งที่ระดับแรงดัน 230 kV และ “3” แทนการสร้างสายส่งที่ระดับแรงดัน 115 kV

ตัวอย่างผลลัพธ์ของการสร้างสายส่งระหว่างเขตพื้นที่ โดยแบ่งการสร้างสายส่งออกเป็น 5 ตำแหน่ง ในการเรียงตำแหน่งจะคิดตำแหน่งซ้ายสุด คือ ตำแหน่งที่ 1 เรียงไปตามลำดับ และตำแหน่งที่ 5 คือตำแหน่งขวาสุด ด้วยกัน เช่น โครโมโซมที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง ที่ใช้ วิธีพันธุกรรม อาจแสดงได้เป็น

1 0 3 2 0

จากตัวอย่างโครโมโซมข้างต้นผลที่ได้คือ

ตำแหน่ง 1 คือ “1” หมายความว่าจะมีการสร้างสายส่ง 500 kV และสร้างเพียง 1 เส้น โดยเป็นการสร้างสายส่งระหว่างเขตพื้นที่ 1 กับ เขตพื้นที่ 7 ที่บัส 1 กับ บัส 7

ตำแหน่ง 2 คือ “0” หมายความว่าไม่มีการสร้างสายส่งระหว่างเขตพื้นที่ 1 กับ2

ตำแหน่ง 3 คือ “3” หมายความว่าจะมีการสร้างสายส่ง 115 kV และสร้างได้ 3 เส้นโดยเป็นการสร้างสายส่งระหว่างเขตพื้นที่ 1 กับ 5 ที่บัส 17 กับ บัส 19

ตำแหน่ง 4 คือ “2” หมายความว่าจะมีการสร้างสายส่ง 230 kV และสร้างได้ 2 เส้น โดยเป็นการสร้างสายส่งระหว่างเขตพื้นที่ 2 กับ 7 ที่บัส 8 กับ บัส 14

ตำแหน่ง 5 คือ “0” หมายความว่าไม่มีการสร้างสายส่งระหว่างเขตพื้นที่ 5 กับ 7

ในแต่ละระดับการติดตั้งสายส่งจะมีค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการติดตั้งสายส่งไม่เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 6 และในตารางที่ 6 ยังแสดงถึงขนาดของค่า รีซิสแตนซ์, รีแอกแตนซ์ และซับเซบแตนซ์ในแต่ละระดับแรงดันด้วย

ตารางที่ 5 ตารางแสดงค่าอิมพิแดนซ์ในสายส่งและราคาที่ใช้ในการติดตั้ง

ระดับแรงดัน	ชนิดของสายส่ง	ราคาต่อกิโลเมตร (บาท)	รีซิสแตนซ์ (pu/100km)	รีแอกแตนซ์ (pu/100km)	ซับเซบแตนซ์ (pu/100km)
500 kV	MCM 4x1272ACSR/GA	18,500,000	0.03144	0.2095	0.05381
230 kV	MCM 1x1272ACSR/GA	4,300,000	0.00998	0.07852	0.14797
115 kV	MCM 1x795 ACSR/GA	2,800,000	0.06281	0.27622	0.04137

2.3 การพยากรณ์ความต้องการใช้ไฟฟ้า

ในการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าจะเป็นการจำลองการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าให้สอดคล้องกับความต้องการการใช้ไฟฟ้าที่ทางฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้าการไฟฟ้าฝ่ายผลิตได้มีการพยากรณ์เอาไว้ ดังนั้นความต้องการในการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเขตพื้นที่ไม่เท่ากัน ทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าแตกต่างกัน นั่นคือ เขตพื้นที่ 1 จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 5.2%,เขตพื้นที่ 2 จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 3.4%, เขตพื้นที่ 3 จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าเท่า กับ 5.4%, เขตพื้นที่ 4 จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 5.6%, เขตพื้นที่ 5 จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 4.4%, เขตพื้นที่ 5 จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 4.4%, เขตพื้นที่ 6 จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 6.0% และ เขตพื้นที่ 7 จะมีอัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าเท่า กับ 2.0% การพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าในงานวิจัยในครั้งนี้จะพยากรณ์ความต้องการอยู่ที่ 5 ปี โดยปีที่ 0 ที่เริ่มพยากรณ์จะเป็นกำลังไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ยที่เกิดขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 7

ตารางที่ 6 ตารางแสดงการพยากรณ์การเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าในระยะเวลา 5 ปี

เขตพื้นที่	ปีที่ 0 (MW)	ปีที่ 1 (MW)	ปีที่ 2 (MW)	ปีที่ 3 (MW)	ปีที่ 4 (MW)	ปีที่ 5 (MW)
1	1,450	1,531.2	1,616.95	1,707.50	1,803.12	1,904.09
2	1,800	1,897.2	1,999.65	2,107.63	2,2221.44	2,341.4
3	1,550	1,630.6	1,715.39	1,804.59	1,898.43	1,997.15
4	1,400	1,447.6	1,496.82	1,547.71	1,600.33	1,654.74
5	1,400	1,461.6	1,525.91	1,593.05	1,663.15	1,736.32
6	950	1,007	1,067.42	1,131.47	1,199.35	1,271.31
7	6,050	6,167	6,294.42	6,420.31	6,548.72	6,679.69

ผลและวิจารณ์

ผล

การเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้าดังแสดงในตารางที่ 6 ทำให้ระบบที่จำลองขึ้นไม่สามารถรองรับกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นได้ โดยก่อนที่จะมีการสร้างสายส่งใหม่พบว่า สายส่งระหว่าบัส 2 กับ บัส 7, บัส 7 กับ บัส 14 และบัส 11 กับ บัส 14 สายส่งเหล่านี้เกินพิกัด จึงไม่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าให้ระบบได้ ดังนั้นเมื่อใช้ วิธีพันธุกรรม จะหาตำแหน่งที่เหมาะสมได้ ดังตารางที่ 7 ซึ่งโครโมโซมที่ดีที่สุด 10 อันดับแรกที่เป็นไปได้ และในตารางผนวกที่ 1 จะแสดงผลลัพธ์ทั้งหมดที่ได้จากการใช้ วิธีพันธุกรรม

ตารางที่ 7 ตารางแสดงตำแหน่งการเชื่อมต่อโดยรวมราคาการติดตั้งและราคาที่ได้จากการคิดค่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้า 10 อันดับแรก

ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 2	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 5	ระหว่างเขตพื้นที่ 2 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 5 - 7	$C_{l,inst}$ ล้านบาท	$C_{l,loss}$ ล้านบาท	TC ล้านบาท
0	0	0	3	0	630	1,602.1826	2,232.1826
0	0	3	3	0	1,974	1,964.6025	3,938.6025
0	3	0	3	0	1,630	2,603.4403	4,236.4403
0	0	2	2	0	2,021	3,680.9837	5,701.9837
0	2	3	3	0	3,006	2,800.7937	5,806.7937
2	2	0	0	0	1,978	4,277.5456	6,255.5456
3	1	0	0	0	3,144	4,076.7997	7,220.7997
0	0	1	2	0	3,605	3,723.3261	7,328.3261
0	0	0	0	3	882	6,826.1516	7,708.1516
2	2	0	3	0	2,608	5,294.5497	7,902.5497

จากการทดลองพบว่าการใช้ วิธีพันธุกรรม มีโครโมโซมที่สามารถสร้างสายส่งได้หลายโครโมโซมด้วยกัน แต่จากตารางที่ 7 พบว่าโครโมโซมที่ดีที่สุดที่สามารถสร้างสายส่งได้ คือ 0 0 0 3 0 โดยตำแหน่งที่ 4 ของโครโมโซมนี้เป็นการสร้างสายส่งระหว่างเขตพื้นที่ 2 กับ เขตพื้นที่ 7 ต้องสร้างสายส่งขนาด 115 kV จำนวน 3 เส้น คือ สายส่ง MCM 1 x 795 ACSR/GA โดยเป็นการสร้างสายส่งระหว่างบัส 15 กับ บัส 16 ที่ให้ราคาค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด และภาพที่ 12 แสดงตำแหน่งที่ใช้สร้างสายส่งที่โครโมโซมดังกล่าว สำหรับค่าราคาที่ใช้ในการติดตั้งสายส่งของสาย หาได้ดังนี้

$C_{l,inst}$ = (2,800,000 บาท/กิโลเมตร) x (75 กิโลเมตร) x (3) = 630 ล้านบาท

เมื่อนำสายส่งกลุ่มนี้ไปต่อเพิ่มเข้ากับระบบและวิเคราะห์ระบบกำลังอย่างสมดุลจะสามารถหากำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแต่ละสายส่งได้ดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ตารางแสดงข้อมูลระหว่างบัสในระบบจำลองเมื่อมีการเพิ่มสายส่งของโครโมโซม 0 0 0 3 0

From Bus	To Bus	From Bus Injection		To Bus Injection		Loss (I^2 * Z)	
		P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	2	824.36	458.80	-819.14	-517.86	5.29	95.39
1	4	-168.76	-357.95	169.46	-376.40	0.705	12.93
1	5	-868.46	-11.41	873.89	-106.01	5.428	99.97
2	7	1,827.49	1,312.54	-1,807.93	-1,039.77	19.640	355.91
3	12	-154.82	24.16	164.18	-23.20	9.359	73.63
3	12	-154.82	24.16	164.18	-23.20	9.359	73.63
3	10	-131.17	6.18	140.58	-31.66	9.412	74.05
3	10	-131.17	6.18	140.58	-31.66	9.412	74.05
6	11	183.50	7.33	-160.84	45.97	22.662	178.29
6	11	183.50	7.33	-160.84	45.97	22.662	178.29

ตารางที่ 8 (ต่อ)

From Bus	To Bus	From Bus Injection		To Bus Injection		Loss (I^2 * Z)	
		P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
8	12	-114.97	-66.59	116.88	61.89	1.910	15.02
8	12	-114.97	-66.59	116.88	61.89	1.910	15.02
10	12	21.55	-49.64	-21.33	-45.44	0.214	1.69
10	12	21.55	-49.64	-21.33	-45.44	0.214	1.69
11	13	85.73	-31.71	-84.68	11.92	1.047	8.24
11	13	85.73	-31.71	-84.68	11.92	1.047	8.24
13	14	339.47	234.54	-323.43	-124.74	16.037	126.15
13	14	339.47	234.54	-323.43	-124.74	16.037	126.15
14	8	-264.62	-129.31	272.52	181.16	7.898	62.10
14	8	-264.62	-129.31	272.52	181.16	7.898	62.10
11	14	456.89	248.31	-432.24	-69.84	24.641	193.86
11	14	456.89	248.31	-432.24	-69.84	24.641	193.86
17	9	47.59	-9.31	-42.67	10.82	4.913	21.60
17	9	47.59	-9.31	-42.67	10.82	4.913	21.60
17	9	47.59	-9.31	-42.67	10.82	4.913	21.60
17	18	-4.21	-11.90	4.27	-14.68	0.059	0.26
17	18	-4.21	-11.90	4.27	-14.68	0.059	0.26
17	18	-4.21	-11.90	4.27	-14.68	0.059	0.26
15	16	60.94	34.02	-58.59	-26.50	2.350	10.34
15	16	60.94	34.02	-58.59	-26.50	2.350	10.34
15	16	60.94	34.02	-58.59	-26.50	2.350	10.34
18	19	-2.18	-14.43	2.20	-16.60	0.023	0.10
18	19	-2.18	-14.43	2.20	-16.60	0.023	0.10
18	19	-2.18	-14.43	2.20	-16.60	0.023	0.10

ตารางที่ 8 (ต่อ)

From Bus	To Bus	From Bus Injection		To Bus Injection		Loss (I^2 * Z)	
		P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	12	2,559.58	1,011.34	-2,559.58	-993.09	0	78.25
1	13	509.58	498.17	-509.58	-492.93	0	5.25
2	8	3,030.74	1,941.36	-3,030.74	-1,791.74	0	149.62
3	9	1,871.98	1,131.89	-1,871.98	-1,082.45	0	49.44
4	10	2,330.54	741.50	-2,330.54	-679.71	0	61.79
5	11	2,510.15	1,663.25	-2,510.15	-1,569.58	0	93.67
12	17	130.11	-63.42	-130.11	63.64	0	0.22
8	15	2,715.65	1,562.60	-2,715.65	-1,444.11	0	118.49
10	18	2,006.28	842.31	-2,006.28	-792.67	0	49.64
11	19	1,746.60	1,044.45	-1,746.60	-1,000.19	0	44.26
14	16	-351.55	-156.70	351.55	158.99	0	2.28
7	14	4,307.85	3,419.42	-4,307.85	-2,995.50	0	423.91
*15	*16	60.94	34.02	-58.59	-26.50	2.350	10.34
*15	*16	60.94	34.02	-58.59	-26.50	2.350	10.34
*15	*16	60.94	34.02	-58.59	-26.50	2.350	10.34
Total loss						246.435	3,234.94

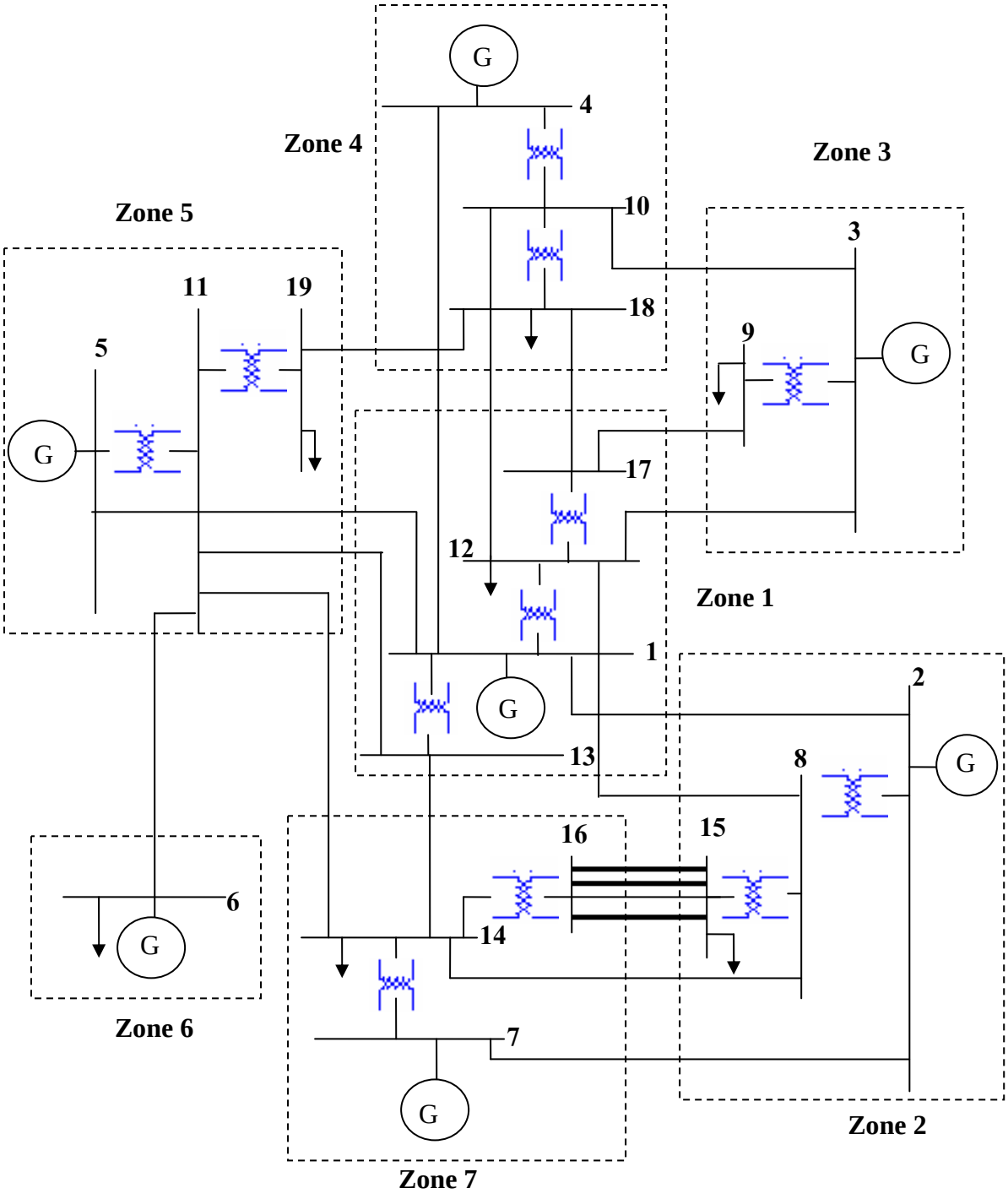
หมายเหตุ *15 - *16 คือ สายส่งที่เพิ่มเข้าไปในระบบจำลอง

กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในสายส่งที่เพิ่มเข้าไปโดยหาจากการใช้การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม คือ 7.05 MW (ดังตารางที่ 8) กำหนดให้ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยคือ 2.28 บาท ค่ากำลังการสูญเสียไฟฟ้าตลอด 1 ปี ในสายส่งเซตนี้คือ 140.808 ล้านบาท และสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายแบบมูลค่าปัจจุบันได้ดังนี้ (โดยใช้สมการที่ (13))

$$C_{l,loss} = 140 .808 \left(\frac{(1 + 0.061)^{20} - 1}{0.061 (1 + 0.061)^{20}} \right) = 1{,}602.1826 \text{ ล้านบาท}$$

ดังนั้น ราคาค่าใช้จ่ายทั้งหมด (ใช้สมการที่ (12))

$$TC = C_{l,inst} + C_{l,loss} = 2{,}232.1826 \text{ ล้านบาท}$$



ภาพที่ 12 แผนภาพแสดงสายส่งจากโครโมโซม 0 0 0 3 0

วิจารณ์

ก่อนที่จะทำการทดลองทางผู้วิจัยมีความคิดว่าผลเฉลยที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองน่าจะเป็นการสร้างสายส่งเชื่อมต่อระหว่างเขตพื้นที่ 1 กับ เขตพื้นที่ 7 และเป็นการสร้างสายส่งระหว่างบัส 13 กับบัส 14 ที่แรงดัน 230 kV ที่ทางผู้วิจัยมีความคิดเช่นนี้ เพราะว่า เนื่องจากการเจริญเติบโตของกำลังไฟฟ้าที่บัส 14 มีความต้องการที่เพิ่มขึ้นและบัส 14 ที่เชื่อมต่อกับสายส่งที่บัสอื่นเต็มพิกัด ดังนั้นถ้ามีการเชื่อมต่อระหว่างบัส 13 กับ บัส 14 ก็จะสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่บัส 14 ได้ เพราะระยะทางระหว่าง 2 บัสนี้ไม่ไกลมาก และไม่ต้องมีการแปลงระดับแรงดันเลย เนื่องจากเป็นระดับแรงดันเดียวกัน แต่จากการทดลองพบว่า การสร้างสายส่งระหว่างบัส 13 กับ บัส 14 จะไม่สามารถสร้างได้เพียงตำแหน่ง แต่จะต้องสร้างร่วมกับสายส่งที่ตำแหน่งอื่นจึงจะสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบได้ ดังนั้นเมื่อทำการวิจัยพบว่าการสร้างสายส่งระหว่างเขตพื้นที่ 2 กับเขตพื้นที่ 7 ระหว่าง บัส 15 กับ บัส 16 สามารถให้ค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดเพราะ กำลังไฟฟ้าที่สูญเสียในระบบน้อยและราคาในการสร้างสายส่งก็น้อยด้วย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ในงานวิจัยในครั้งนี้พบว่าสามารถนำ วิธีพันธุกรรม มาประยุกต์ใช้ในระบบที่เป็นจริงได้ในทางปฏิบัติ โดยกำหนดจำนวนประชากรในแต่ละรุ่นประชากรคือ 100 ประชากร และจำนวนรุ่นของประชากร คือ 6 รุ่น โดยระบบที่ใช้เป็นการจำลองระบบซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต โดยแบ่งระบบออกเป็น 7 เขตพื้นที่ 19 บัส และ 3 ระดับแรงดัน คือ 500 kV, 230 kV และ 115 kV และได้มีการใช้การพยากรณ์ความต้องการในการใช้ไฟฟ้าอยู่ 5 ปี หลังจากมีการใช้ วิธีพันธุกรรมมาประยุกต์ สามารถหาโครโมโซมที่เหมาะสมกับระบบนี้ได้และได้ราคาที่ต่ำที่สุดและสามารถให้รองรับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นได้

ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยในครั้งนี้ได้มีการจำลองระบบให้สามารถวิเคราะห์เฉพาะการขยายสายส่งระหว่างเขตพื้นที่ได้เท่านั้น ยังไม่ได้คำนึงถึงการสร้างสายส่งภายในเขตพื้นที่ ดังนั้น แนวทางในการประยุกต์งานวิจัยในครั้งต่อไป อาจจะมีการพิจารณาถึงการสร้างสายส่งภายในเขตพื้นที่ไปพร้อมกับการสร้างสายส่งระหว่างเขตพื้นที่ เพราะว่าภายในเขตพื้นที่ก็ยังมีการกระจายของกำลังไฟฟ้าภายในเขตพื้นที่นั้นๆอีก ดังนั้น ผลลัพธ์ที่ได้อาจจะต้องมีการสร้างสายส่งระหว่างเขตพื้นที่จำนวนหลายๆ เส้นก็เป็นไปได้ หรือ อาจจะมีการประยุกต์ใช้วิธีการอื่นๆในการวิเคราะห์ หรือ อาจจะเพิ่มการพยากรณ์ความต้องการในการใช้ไฟฟ้าเป็นช่วงๆ เพื่อให้แต่ละช่วงเวลาควรสร้างสายส่งเส้นใดเพิ่มเติม

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กมล พงศ์ธาดาพร. 2543. **การทำยูนิตคอมมิตเมนต์ในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

Abdelaziz, A. R. 2000. Genetic Algorithm Base Power Transmission Expansion Planning, **IEEE Transaction on Power System.** vol. 2: 642-645.

Alguacil, N., A.L. Motto and A. Monticelli. 2003. Transmission Expansion Planning: A Mixed-Integer LP Approach. **IEEE Transaction on Power System.** vol. 18: 1070-1077.

Da Silva E.L., H.A. Gil and Aeriza, J.M. 2000. Tranamission Network Expansion Planning under an Improved Genetic Algorithm. **IEEE Transaction on Power System.** vol.15: 1168-1174.

Evans, F., J.M. Zolezzi and H. Rudnick. 2003. Cost Assignment Model For Electrical Transmission System Expansion an Approach though the Kemel Theory. **IEEE Transaction on Power System.** vol. 18: 625-532.

Gallego, R.A., A. Monticelli and R. Romero. 1998. Transmission system expansion Planning by an extended genetic algorithm. **IEE Proceedings Generation Transmission and Distribution.** vol. 145: 329-335.

James A, Momoh. 2005. **Electric Power Applications of Optimization**. Marcel Dekker.

Lu, M., Z.Y.Dong and T.K.Saha. 2005a. A Framework for Transmission Planning in a Competitive Electricity Market, pp.1-6. **IEEE Transmission and Distribution Conference and Exhibition.**

Lu, M., Z.Y.Dong and T.K.Saha. 2005b. Transmission Expansion Planning Flexibility. **IEEE**

Power Engineering Conference. vol. 2: 893-898.

Obitiko, M. 1998. **Introduction to Genetic Algorithm with Java plets.** Available Source: http://cs.felk.cvut.cz/xobitko/ga/, Jan 7, 2008.

Romeo, R., M.J. Rider, and Irenio de J Silva. 2007. A Met heuristic to Solve the Transmission Expansion Planning. **IEEE Transmission on Power System.** vol. 22: 2289-2291.

Romero, R., R.A. Gallego and A. Monticelli. 1996. Transmission System Expansion Planning by Simulated Annealing. **Transmission on Power System.** vol. 11: 324-369.

Wei, P., R. Fu., Y.P. Lu., Q.L. Wan., L. Wang., Y. Li., and G.Q. Tang. 2006. Congestion-Based Model for Transmission Expansion Planning, pp. 1-6. **IEEE Power Engineering Society Summer Meeting.**

White, J.A., M.H. Agee and K.E. Case. 1989. **Principles of Engineering Economic Analysis**. John Wiley & Sons, Inc.

Wikipedia The Free Encyclopedia. 2007. **Genetic Algorithm.** Available Source: http://en.wikipedia.org/wiki/Genetic, December 1, 2007.

Zimmerman, Ray D. and Carlos E. **A Matlab Power Syetem Simulation Package**. Available Source: http://www.pserc.comell.edu/matpower, November 20, 2007.

ภาคผนวก

ตารางแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง

ตารางผนวกที่ 1 ตารางแสดงตำแหน่งการเชื่อมต่อโดยรวมราคาการติดตั้งและราคาที่ได้จากการคิดค่าการสูญเสียกำลังไฟฟ้า

ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 2	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 5	ระหว่างเขตพื้นที่ 2 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 5 - 7	$C_{l,inst}$ ล้านบาท	$C_{l,loss}$ ล้านบาท	TC ล้านบาท
0	0	0	3	0	630	1,602.1826	2,232.1826
0	0	3	3	0	1,974	1,964.6025	3,938.6025
0	3	0	3	0	1,630	2,603.4403	4,236.4403
0	0	2	2	0	2,021	3,680.9837	5,701.9837
0	2	3	3	0	3,006	2,800.7937	5,806.7937
2	2	0	0	0	1,978	4,277.5456	6,255.5456
3	1	0	0	0	3,144	4,076.7997	7,220.7997
0	0	1	2	0	3,605	3,723.3261	7,328.3261
0	0	0	0	3	882	6,826.1516	7,708.1516
2	2	0	3	0	2,608	5,294.5497	7,902.5497
2	3	0	3	0	2,584	5,532.4466	8,116.4466
3	0	2	2	0	2,945	6,075.0132	9,020.0132
0	0	3	0	3	2,226	7,149.1883	9,375.1883
3	1	3	0	0	4,488	5,031.1884	9,519.1884
0	0	3	0	2	2,247	7,703.2664	9,950.2664
0	0	0	3	2	1,533	8,470.4878	10,003.4878
3	0	0	1	0	2,311.5	7,930.0690	10,241.5690
3	2	2	2	0	3,977	6,341.9004	10,318.9004
0	1	0	0	3	3,102	7,291.2166	10,393.2166
0	3	0	3	3	2,520	7,905.2120	10,425.2120
0	0	3	3	3	2,856	7,778.4885	10,634.4885
0	3	2	0	3	3,266	7,668.0570	10,934.0570

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 2	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 5	ระหว่างเขตพื้นที่ 2 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 5 - 7	$C_{l,inst}$ ล้านบาท	$C_{l,loss}$ ล้านบาท	TC ล้านบาท
0	3	3	0	3	3,234	7,750.5674	10,984.5674
3	3	1	3	0	5,522	5,768.4363	11,290.4363
0	3	2	2	1	4,971.5	6,419.8380	11,391.3380
0	3	3	2	1	4,939.5	6,472.3467	11,411.8467
2	1	3	2	0	5,155	6,481.8901	11,636.8901
3	0	3	2	1	4,855.5	6,932.0361	11,788.0361
0	2	3	3	3	3,888	7,947.7891	11,835.7891
0	1	0	3	2	3,753	8,159.5242	11,912.5242
0	0	3	2	2	2,892	9,205.3055	12,097.3055
0	1	3	0	3	4,446	7,725.7300	12,171.7300
0	0	1	2	3	4,487	7,957.7022	12,444.7022
3	0	3	1	0	3,655.5	8,853.3403	12,509.3403
0	2	1	2	1	6,579.5	6,042.5037	12,621.5037
3	2	2	2	1	5,919.5	6,890.4754	12,810.4754
3	3	2	2	1	5,895.5	6,994.5845	12,890.0845
3	3	2	0	3	4,190	8,836.9173	13,026.9173
2	2	0	1	2	4,268	8,851.5965	13,119.5965
1	1	0	2	2	5,803	7,569.5347	13,372.5347
3	2	0	2	3	3,483	9,951.5671	13,434.5671
0	3	3	2	2	3,900	9,552.0852	13,452.0852
3	3	2	0	2	4,211	9,303.8353	13,514.8353
3	3	3	0	2	4,179	9,471.9457	13,650.9457
3	2	3	1	0	4,687.5	9,047.1554	13,734.6554
2	1	0	3	3	4,678	9,199.8795	13,877.8795
0	2	3	1	2	3,909	9,992.4135	13,901.4135

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 2	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 5	ระหว่างเขตพื้นที่ 2 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 5 - 7	$C_{l,inst}$ ล้านบาท	$C_{l,loss}$ ล้านบาท	TC ล้านบาท
1	3	2	2	2	5,967	8,000.5972	13,967.5972
2	2	1	0	1	6,886.5	7,105.2098	13,992.2098
3	3	3	1	0	4,663.5	9,367.4694	14,030.9694
0	3	0	1	3	3,277.5	10,766.1083	14,043.6083
2	2	1	1	0	6,325.5	7,813.6698	14,139.1698
0	0	3	1	3	3,613.5	10,593.4370	14,206.9370
1	3	3	0	2	5,290	8,962.7433	14,252.7433
3	3	1	2	1	7,479.5	6,841.9808	14,321.4808
3	2	1	0	2	5,819	8,557.7725	14,376.7725
3	0	1	3	3	5,396	9,012.5760	14,408.5760
2	1	0	2	2	4,714	9,804.4410	14,518.4410
1	3	3	3	2	5,920	8,803.5670	14,723.5670
3	3	2	3	2	4,841	10,024.3288	14,865.3288
2	1	1	2	1	8,713.5	6,176.9228	14,890.4228
2	2	2	3	2	4,887	10,041.5842	14,928.5842
1	3	3	2	3	5,914	9,071.2349	14,985.2349
3	3	3	3	2	4,809	10,188.2043	14,997.2043
1	3	2	2	3	5,946	9,075.3702	15,021.3702
3	1	2	1	0	5,907.5	9,123.1268	15,030.6268
3	2	3	3	1	5,872.5	9,240.9516	15,113.4516
3	0	1	2	3	5,411	9,718.6834	15,129.6834
3	2	2	2	3	4,859	10,288.1650	15,147.1650
3	2	2	2	2	4,880	10,284.7069	15,164.7069
0	1	0	1	3	4,889.5	10,326.3227	15,215.8227
2	2	3	2	3	4,849	10,582.7774	15,431.7774

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 2	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 5	ระหว่างเขตพื้นที่ 2 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 5 - 7	$C_{l,inst}$ ล้านบาท	$C_{l,loss}$ ล้านบาท	TC ล้านบาท
2	3	2	2	2	4,878	10,555.1932	15,433.1932
0	0	1	1	3	5,229.5	10,238.1953	15,467.6953
2	3	3	2	3	4,825	10,813.0923	15,638.0923
0	2	2	1	3	4,677.5	10,997.1084	15,674.6084
0	2	3	1	3	4,645.5	11,045.4994	15,690.9994
2	1	3	1	2	6,800.5	8,908.8991	15,709.3991
2	3	3	1	3	5,567.5	10,197.2194	15,764.7194
3	1	2	2	3	6,047	9,769.5838	15,816.5838
0	3	3	1	3	4,621.5	11,264.8161	15,886.3161
3	3	1	1	0	6,279.5	9,669.8521	15,949.3521
2	2	1	3	3	6,450	9,552.0841	16,002.0841
1	1	2	2	3	7,158	8,921.2895	16,079.2895
2	1	2	2	2	6,090	10,012.7551	16,102.7551
2	0	0	1	1	4,276	12,050.9109	16,326.9109
3	3	1	2	3	6,419	10,040.0060	16,459.0060
1	3	1	2	3	7,530	9,064.5480	16,594.5480
1	0	2	3	3	4,923	11,690.9090	16,613.9090
2	1	1	3	2	7,659	9,136.4662	16,795.4662
2	1	1	1	2	8,416.5	8,494.1047	16,910.6047
3	1	1	2	2	7,652	9,345.6108	16,997.6108
0	1	3	1	3	5,833.5	11,234.2710	17,067.7710
0	3	1	1	3	6,237.5	11,021.7690	17,259.2690
3	1	1	1	0	7,491.5	9,821.9513	17,313.4513
1	0	0	1	2	4,325.5	13,151.5174	17,477.0174
2	1	0	1	1	6,496	12,273.0151	18,769.0151

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 2	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 5	ระหว่างเขตพื้นที่ 2 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 5 - 7	$C_{l,inst}$ ล้านบาท	$C_{l,loss}$ ล้านบาท	TC ล้านบาท
1	2	2	1	2	6,260.5	14,533.6695	20,794.1695
1	1	2	1	2	7,448.5	14,474.2797	21,922.7797
0	0	0	0	0	0	Infinity	N/A
0	3	0	0	0	1,008	Infinity	N/A
0	2	0	0	0	1,032	Infinity	N/A
0	0	3	0	0	1,344	Infinity	N/A
0	0	0	1	0	1,387.5	Infinity	N/A
0	0	2	0	0	1,376	Infinity	N/A
1	0	0	0	0	2,035	Infinity	N/A
0	1	0	0	0	2,220	Infinity	N/A
0	3	3	0	0	2,352	Infinity	N/A
0	2	0	1	0	2,419.5	Infinity	N/A
0	2	2	0	0	2,408	Infinity	N/A
0	0	3	1	0	2,731.5	Infinity	N/A
0	0	2	1	0	2,763.5	Infinity	N/A
0	1	0	3	0	2,850	Infinity	N/A
0	2	0	0	1	2,974.5	Infinity	N/A
1	3	0	0	0	3,043	Infinity	N/A
1	2	0	0	0	3,067	Infinity	N/A
0	0	3	0	1	3,286.5	Infinity	N/A
0	0	0	1	1	3,330	Infinity	N/A
1	0	3	0	0	3,379	Infinity	N/A
1	0	2	0	0	3,411	Infinity	N/A
0	1	3	0	0	3,564	Infinity	N/A
0	1	2	0	0	3,596	Infinity	N/A

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 2	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 5	ระหว่างเขตพื้นที่ 2 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 5 - 7	$C_{l,inst}$ ล้านบาท	$C_{l,loss}$ ล้านบาท	TC ล้านบาท
0	3	3	1	0	3,739.5	Infinity	N/A
0	2	3	1	0	3,763.5	Infinity	N/A
0	3	2	1	0	3,771.5	Infinity	N/A
0	0	3	3	1	3,916.5	Infinity	N/A
1	3	0	0	3	3,925	Infinity	N/A
0	3	1	0	0	3,968	Infinity	N/A
1	2	0	0	3	3,949	Infinity	N/A
0	2	1	0	0	3,992	Infinity	N/A
1	1	0	0	0	4,255	Infinity	N/A
0	0	1	1	0	4,347.5	Infinity	N/A
1	0	2	0	3	4,293	Infinity	N/A
0	3	3	0	1	4,294.5	Infinity	N/A
0	3	0	1	1	4,338	Infinity	N/A
0	2	3	0	1	4,318.5	Infinity	N/A
0	2	0	1	1	4,362	Infinity	N/A
0	3	2	0	1	4,326.5	Infinity	N/A
0	2	2	0	1	4,350.5	Infinity	N/A
1	3	3	0	0	4,387	Infinity	N/A
1	3	0	1	0	4,430.5	Infinity	N/A
1	2	3	0	0	4,411	Infinity	N/A
1	2	0	1	0	4,454.5	Infinity	N/A
1	3	2	0	0	4,419	Infinity	N/A
1	2	2	0	0	4,443	Infinity	N/A
0	0	3	1	1	4,674	Infinity	N/A
1	0	3	1	0	4,766.5	Infinity	N/A

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 2	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 5	ระหว่างเขตพื้นที่ 2 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 5 - 7	$C_{l,inst}$ ล้านบาท	$C_{l,loss}$ ล้านบาท	TC ล้านบาท
1	0	2	1	0	4,798.5	Infinity	N/A
0	0	1	0	1	4,902.5	Infinity	N/A
1	0	1	0	0	4,995	Infinity	N/A
0	1	2	1	0	4,983.5	Infinity	N/A
0	2	3	3	1	4,948.5	Infinity	N/A
1	2	0	0	1	5,009.5	Infinity	N/A
3	3	0	1	1	5,262	Infinity	N/A
3	3	2	0	1	5,250.5	Infinity	N/A
1	0	3	0	1	5,321.5	Infinity	N/A
1	0	0	1	1	5,365	Infinity	N/A
0	3	1	1	0	5,355.5	Infinity	N/A
1	3	2	0	3	5,301	Infinity	N/A
1	0	2	0	1	5,353.5	Infinity	N/A
0	1	3	0	1	5,506.5	Infinity	N/A
0	0	1	3	1	5,532.5	Infinity	N/A
0	1	2	0	1	5,538.5	Infinity	N/A
1	3	0	3	1	5,615.5	Infinity	N/A
1	1	2	0	0	5,631	Infinity	N/A
1	0	3	1	3	5,648.5	Infinity	N/A
1	0	2	1	3	5,680.5	Infinity	N/A
0	2	3	1	1	5,706	Infinity	N/A
0	1	1	3	0	5,810	Infinity	N/A
1	3	3	1	0	5,774.5	Infinity	N/A
1	2	3	1	0	5,798.5	Infinity	N/A

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 2	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 5	ระหว่างเขตพื้นที่ 2 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 5 - 7	$C_{l,inst}$ ล้านบาท	$C_{l,loss}$ ล้านบาท	TC ล้านบาท
1	3	2	1	0	5,806.5	Infinity	N/A
1	2	2	1	0	5,830.5	Infinity	N/A
0	3	1	0	1	5,910.5	Infinity	N/A
1	0	3	3	1	5,951.5	Infinity	N/A
1	0	3	2	1	5,966.5	Infinity	N/A
1	3	1	0	0	6,003	Infinity	N/A
1	0	2	3	1	5,983.5	Infinity	N/A
1	2	1	0	0	6,027	Infinity	N/A
0	0	1	1	1	6,290	Infinity	N/A
1	0	1	1	0	6,382.5	Infinity	N/A
1	3	3	0	1	6,329.5	Infinity	N/A
1	3	0	1	1	6,373	Infinity	N/A
1	3	2	0	1	6,361.5	Infinity	N/A
1	2	0	1	1	6,397	Infinity	N/A
1	2	2	0	1	6,385.5	Infinity	N/A
3	1	3	0	1	5,7165	Infinity	N/A
1	3	1	3	0	6,533	Infinity	N/A
1	0	3	1	1	7,726.5	Infinity	N/A
1	0	2	1	1	7,758.5	Infinity	N/A
1	3	2	1	3	6,6688.5	Infinity	N/A
1	2	2	1	3	6,712.5	Infinity	N/A
0	1	3	1	1	6,894	Infinity	N/A
1	0	1	0	1	6,937.5	Infinity	N/A
0	1	2	1	1	6,926	Infinity	N/A
1	3	3	3	1	6,959.5	Infinity	N/A

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 2	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 5	ระหว่างเขตพื้นที่ 2 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 5 - 7	$C_{l,inst}$ ล้านบาท	$C_{l,loss}$ ล้านบาท	TC ล้านบาท
1	3	3	2	1	6,974.5	Infinity	N/A
1	2	3	3	1	6,983.5	Infinity	N/A
1	2	2	3	1	7,015.5	Infinity	N/A
1	1	1	0	0	7,215	Infinity	N/A
0	3	1	1	1	7,298	Infinity	N/A
0	2	1	1	1	7,322	Infinity	N/A
1	3	1	1	0	7,390.5	Infinity	N/A
1	2	1	1	0	4,414.5	Infinity	N/A
1	1	3	0	1	7,541.5	Infinity	N/A
1	1	2	0	1	7,573.5	Infinity	N/A
1	3	3	1	1	7,717	Infinity	N/A
1	2	3	1	1	7,741	Infinity	N/A
1	3	2	1	1	7,749	Infinity	N/A
1	2	2	1	1	7,773	Infinity	N/A
1	3	1	0	1	7,945.5	Infinity	N/A
1	2	1	0	1	7,969.5	Infinity	N/A
1	1	3	3	1	8,171.5	Infinity	N/A
1	3	1	1	3	8,272.5	Infinity	N/A
1	0	1	1	1	8,325	Infinity	N/A
1	2	1	1	3	8,296.5	Infinity	N/A
1	1	1	1	0	8,602.5	Infinity	N/A
1	3	1	3	1	8,575.5	Infinity	N/A
1	2	1	3	1	8,599.5	Infinity	N/A
1	3	1	1	1	9,333	Infinity	N/A
1	2	1	1	1	9,357	Infinity	N/A

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 2	ระหว่างเขตพื้นที่ 1 - 5	ระหว่างเขตพื้นที่ 2 - 7	ระหว่างเขตพื้นที่ 5 - 7	$C_{l,inst}$ ล้านบาท	$C_{l,loss}$ ล้านบาท	TC ล้านบาท
1	1	1	1	3	9,4845	Infinity	N/A
1	1	1	3	1	9,7875	Infinity	N/A
1	1	1	1	1	10,545	Infinity	N/A

หมายเหตุ N/A คือ ไม่สามารถหาค่าได้จริงในทางปฏิบัติ

ข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและของระบบที่ใช้ในแบบจำลอง

ในการคำนวณการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าจะต้องทราบค่าสัมประสิทธิ์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะมีค่าสัมประสิทธิ์, มีค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิงต่อหน่วย (fuel cost) และ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดและต่ำสุดที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถทำงานได้ ดังแสดงในตารางผนวกที่ 2 และในตารางผนวกที่ 3 และ 4 เป็นตารางแสดงข้อมูลที่บัสต่างๆ

ตารางผนวกที่ 2 ตารางแสดงข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เขตพื้นที่	เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	ชนิดของเชื้อเพลิง	$a_iP_i^2 + b_iP_i + c_i$ (Mbtu/ชั่วโมง)			ค่าใช้จ่ายเชื้อเพลิง (บาท/Mbtu)	P_{max} (MW)	P_{min} (MW)
			a	b	c			
1	1	ดีเซล	2.164	9645.8	156185.6	0.31065	800	200
	2	ก๊าซ	1.957	3218.2	1404111	0.10194	2200	720
2	3	ก๊าซ	0.001	7247.7	633656.1	0.10194	1200	300
	4	น้ำมันเตา	2.088	7165.7	94379.4	0.14975	3600	1500
3	5	ก๊าซ	11.465	9393.6	94379.4	0.06488	550	130
	6	ก๊าซ	0.001	2090.9	1616983	0.10141	750	250
4	7	ถ่านหิน	4.272	6035.5	804977.9	0.05379	2500	850
5	8	น้ำมันเตา	3.904	8497.6	149245.6	0.15783	250	120
	9	ก๊าซ	1.922	2671.3	155777.3	0.10194	3800	1000
6	10	ก๊าซ	0.001	9644.8	100804.7	0.09791	2100	900
7	11	ดีเซล	2.164	9645.8	156185.6	0.31065	300	100
	12	น้ำมันเตา	4.276	6663.6	495117.6	0.14924	2200	1000

หมายเหตุ P_{max} = Maximum Power, P_{min} = Minimum Power, MW = Megawatt, Mbtu = Megabtu

ที่มา: กมล (2543)

ตารางผนวกที่ 3 ตารางแสดงข้อมูลบัสในระบบจำลอง

Bus	Type	Pd (MW)	Qd (MVAR)	Gs	Bs	Area	Vm	Va	BasekV	Zone	Vmax	Vmin
1	3	0	0	0	0	1	1	0	500	1	1.1	0.9
2	2	0	0	0	0	1	1	0	500	1	1.1	0.9
3	2	0	0	0	0	1	1	0	230	1	1.1	0.9
4	2	0	0	0	0	1	1	0	500	1	1.1	0.9
5	2	0	0	0	0	1	1	0	500	1	1.1	0.9
6	2	1300	685	0	0	1	1	0	230	1	1.1	0.9
7	2	0	0	0	0	1	1	0	500	1	1.1	0.9
8	1	0	0	0	0	1	1	0	230	1	1.1	0.9
9	1	2000	1050	0	0	1	1	0	115	1	1.1	0.9
10	1	0	0	0	0	1	1	0	230	1	1.1	0.9
11	1	0	0	0	0	1	1	0	230	1	1.1	0.9
12	1	1910	1010	0	0	1	1	0	230	1	1.1	0.9
13	1	0	0	0	0	1	1	0	230	1	1.1	0.9
14	1	6700	3800	0	0	1	1	0	230	1	1.1	0.9
15	1	2350	1240	0	0	1	1	0	115	1	1.1	0.9
16	1	0	0	0	0	1	1	0	115	1	1.1	0.9
17	1	0	0	0	0	1	1	0	115	1	1.1	0.9
18	1	2000	880	0	0	1	1	0	115	1	1.1	0.9
19	1	1740	1050	0	0	1	1	0	115	1	1.1	0.9

ตารางผนวกที่ 4 ตารางแสดงข้อมูลสายส่งในระบบจำลอง

From Bus	To Bus	r	x	b	Rate A (MW)	Rate B (MW)	Rate C (MW)	Ratio	Angle	Status
1	2	0.00065	0.01188	1.34746	2250	2250	2250	0	0	1
1	4	0.00297	0.05445	6.17584	2250	2250	2250	0	0	1
1	5	0.00086	0.01584	1.79661	2250	2250	2250	0	0	1
2	7	0.00041	0.00743	0.84218	2250	2250	2250	0	0	1
3	12	0.04092	0.32193	0.60668	520	520	520	0	0	1
3	12	0.04092	0.32193	0.60668	520	520	520	0	0	1
3	10	0.05589	0.43971	0.82863	520	520	520	0	0	1
3	10	0.05589	0.43971	0.82863	520	520	520	0	0	1
6	11	0.07086	0.55749	1.05059	520	520	520	0	0	1
6	11	0.07086	0.55749	1.05059	520	520	520	0	0	1
8	12	0.01198	0.09422	0.17756	520	520	520	0	0	1
8	12	0.01198	0.09422	0.17756	520	520	520	0	0	1
10	12	0.05489	0.43186	0.81384	520	520	520	0	0	1
10	12	0.05489	0.43186	0.81384	520	520	520	0	0	1
11	13	0.01597	0.12563	0.23675	520	520	520	0	0	1
11	13	0.01597	0.12563	0.23675	520	520	520	0	0	1
13	14	0.01098	0.08637	0.16271	520	520	520	0	0	1
13	14	0.01098	0.08637	0.16271	520	520	520	0	0	1
14	8	0.00749	0.05889	0.11098	520	520	520	0	0	1
11	14	0.01048	0.08245	0.15537	520	520	520	0	0	1
11	14	0.01048	0.08245	0.15537	520	520	520	0	0	1
17	9	0.25752	1.13250	0.16962	200	200	200	0	0	1
17	9	0.25752	1.13250	0.16962	200	200	200	0	0	1
17	9	0.25752	1.13250	0.16962	200	200	200	0	0	1

ตารางผนวกที่ 4 (ต่อ)

From Bus	To Bus	r	x	b	Rate A (MW)	Rate B (MW)	Rate C (MW)	Ratio	Angle	Status
17	18	0.34546	1.51921	0.22754	200	200	200	0	0	1
17	18	0.34546	1.51921	0.22754	200	200	200	0	0	1
17	18	0.34546	1.51921	0.22754	200	200	200	0	0	1
15	16	0.04711	0.20717	0.03103	200	200	200	0	0	1
15	16	0.04711	0.20717	0.03103	200	200	200	0	0	1
15	16	0.04711	0.20717	0.03103	200	200	200	0	0	1
18	19	0.40827	1.79543	0.26891	200	200	200	0	0	1
18	19	0.40827	1.79543	0.26891	200	200	200	0	0	1
18	19	0.40827	1.79543	0.26891	200	200	200	0	0	1
1	12	0	0.00125	0	5500	0	0	0	0	1
1	13	0	0.00125	0	5500	0	0	0	0	1
2	8	0	0.00125	0	5500	0	0	0	0	1
3	9	0	0.00125	0	5500	0	0	0	0	1
4	10	0	0.00125	0	5500	0	0	0	0	1
5	11	0	0.00125	0	5500	0	0	0	0	1
12	17	0	0.00125	0	5500	0	0	0	0	1
8	15	0	0.00125	0	5500	0	0	0	0	1
10	18	0	0.00125	0	5500	0	0	0	0	1
11	19	0	0.00125	0	5500	0	0	0	0	1
14	16	0	0.00125	0	5500	0	0	0	0	1
7	14	0	0.00125	0	5500	0	0	0	0	1

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาววัลลภา ตังคณานุรักษ์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 14 ตุลาคม 2525
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า เกียรตินิยมอันดับ 2) มหาวิทยาลัยมหิดล
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรระดับ 4
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ฝ่ายวิศวกรรมไฟฟ้าและระบบควบคุม
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-