การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการจำลองตลาดซื้อขายไฟฟ้า

นาย พัฒนะ พงศ์จริยา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-9825-3
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF GENETIC ALGORITHM IN ELECTRICITY MARKET SIMULATION

Mr. Pattana Pongjariya

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-9825-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการจำลองตลาดซื้อขายไฟฟ้า
โดย	นาย พัฒนะ พงศ์จริยา
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ไชยะ แช่มช้อย)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

……กรรมการ
(นายพงษ์ศักดิ์ หาญบุญญานนท์)

……กรรมการ
(อาจารย์ ดร.แนบบุญ หุนเจริญ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พัฒนะ พงศ์จริยา :การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการจำลองตลาดซื้อขายไฟฟ้า (APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS IN ELECTRICITY MARKET SIMULATION)
อ. ที่ปรึกษา รศ.ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ 117 หน้า ISBN 974-17-9825-3

การเตรียมความพร้อมและปรับปรุงระบบดำเนินการเพื่อรองรับโครงสร้างกิจการไฟฟ้าที่อาจมีการปล่อยเสรีในอนาคตเป็นสิ่งสำคัญสำหรับประเทศไทย ดังนั้นการศึกษาถึงผลของปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อสภาวะในการซื้อขายไฟฟ้าจึงต้องทำการศึกษาผ่านแบบจำลองการซื้อขาย ไฟฟ้า ซึ่งแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นต้องมีความใกล้เคียงกับสภาพการซื้อขายจริง ส่วนหนึ่งที่สำคัญของการจำลอง คือ การตัดสินใจเสนอราคาของผู้ผลิตและผู้ค้าปลีกไฟฟ้า วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic algorithms) จำลองการปรับเปลี่ยนราคาในการเสนอซื้อขายไฟฟ้าในแต่ละครั้งของสมาชิกในตลาดให้เป็นไปตามเป้าหมายของการได้รับกำไรสูงสุดจากการประกอบธุรกรรม

ในวิทยานิพนธ์นี้จะจำลองการซื้อขายไฟฟ้าภายใต้สภาวะตลาดแบบคู่สัญญา (Bilateral market) ซึ่งแบ่งกรณีศึกษาเป็น 2 ช่วง คือ การซื้อขายพลังงานในช่วงสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา และการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า (Balancing mechanism: BM) โดยทำการศึกษาผลกระทบต่อราคาไฟฟ้าที่เกิดจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการซื้อขาย ความคลาดเคลื่อนของปริมาณไฟฟ้าที่ตกลงทำสัญญาไว้ล่วงหน้าเทียบกับปริมาณที่เกิดขึ้นจริง จำนวนผู้ซื้อและจำนวนผู้ขายในตลาด ทั้งนี้ในการจำลองดังกล่าวจะมีการพิจารณาถึง ต้นทุนการดำเนินงานของสมาชิก ลักษณะการจัดเรียงของเครือข่ายส่ง ตลอดจนขีดจำกัดของสายส่งและได้นำวิธีการจัดสรรกำลังการผลิตแบบออปติมัลเพาเวอร์โฟวล์มาใช้วิเคราะห์ผลข้างต้น นอกจากนั้นยังได้ทำการศึกษาผลของความแออัดของระบบส่งไฟฟ้าที่มีต่อราคาไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ซึ่งผลที่ได้รับสามารถนำไปสู่การปรับปรุงระบบให้มีความเหมาะสมยิ่งขึ้น อีกทั้งยังสามารถพัฒนาเพื่อช่วยสมาชิกในตลาดเสนอราคาไฟฟ้าที่เหมาะสมได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต_____

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา_____

ปีการศึกษา 2545 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม_____

##447-04347-21 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD : DEREGULATION / GENETIC ALGORITHM / AGENT-BASED /MARKET SIMULATION / PRICED-BASED DISPATCH

PATTANA PONGJARIYA : APPLICATION OF GENETIC ALGORITHM IN ELECTRICITY MARKET SIMULATION : ASSOC. BUNDHIT EUA-ARPORN, Ph.D 117 pp. ISBN 974-17-9825-3

Power system deregulation which could happen in the future for Thailand is an essential issue to be studied. However such trading under the new structure has not come into practice yet. Therefore, the study of factors influencing electricity prices and other concerns in the system can be done by means of a computer simulation. A complicated issue in the simulation is that how we cope with price bidding and offering from electricity producers and retailers respectively. In this developed framework, genetic algorithm is employed so that market participants can adjust their bid and offer prices corresponding to their market strategies, i.e. maximize benefit of company.

In this thesis, the study focuses on electricity trading in a bilateral market, which can be divided into 2 trading periods, the advanced agreement based on bilateral contact and the Balancing Mechanism (BM). The study focuses on factors having impact on the long-term price set in both periods, i.e. traded energy volume, the accuracy of contracted energy, and the number of buyers and sellers. In addition, the study takes into account operating cost, system configuration, and transmission line congestion. Optimal power flow is applied for energy dispatch. Then, the impact of transmission congestion on electricity prices is analyzed. The simulation results may lead to the improvement of system operation and the optimal prices bid and offered by market participants.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Electrical Engineering Student's signature _____.
Field of study Electrical Engineering Advisor's signature _____.
Academic year 2002 Co-Advisor's signature _____.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีมาตลอด รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขเนื้อหาจนสำเร็จเรียบร้อย และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วยอ. ไชยะ แช่มช้อย อ.ดร. แนบบุญ หุนเจริญ และ นาย พงษ์ศักดิ์ หาญบุญญานนท์ที่ได้เสียสละเวลาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดามารดา ที่ให้กำลังใจตลอดมา ตลอดจน พี่ น้อง และ เพื่อนๆ ทุกคนที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

นาย พัฒนะ พงศ์จริยา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย……..…….. ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ……...……. จ

กิตติกรรมประกาศ…….. ฉ

สารบัญ……...…… ช

สารบัญตาราง……...…….. ญ

สารบัญภาพ…… ……...…… ฏ

บทที่

1. บทนำ……...…….…… 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ 3

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์..... 3

1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน..... 4

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์..... 4

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์..... 4

2. ตลาดการซื้อขายไฟฟ้า..... 6

2.1 รูปแบบของตลาดการซื้อขายไฟฟ้า..... 6

2.1.1 ตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า..... 7

2.1.2 ตลาดการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเป็นหลัก..... 9

2.2 รูปแบบของสัญญาซื้อขายไฟฟ้า..... 11

2.3 การซื้อขายไฟฟ้าในช่วงเวลาจริงเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า..... 12

2.3.1 บทบาทของสมาชิกในการซื้อขายไฟฟ้า
ในช่วงเวลาจริงเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า..... 12

2.3.2 รูปแบบค่าใช้จ่ายในการตกลงทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้า..... 13

2.3.3 การคำนวณราคาในช่วงเวลาจริงเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า... 13

2.3.4 ตัวอย่างการคำนวณ SBP, SSP..... 16

3. การจัดสรรกำลังการผลิต..... 24

3.1 การจัดสรรกำลังการผลิตโดยเรียงลำดับราคา..... 24

3.2 การจัดสรรกำลังการผลิตโดยวิธีออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์..... 27

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

3.2.1 ทฤษฎีพื้นฐาน ... 27
3.2.1.1 การวิเคราะห์หาค่าเหมาะสมที่สุด ... 28
3.2.1.2 การวิเคราะห์โหลดโฟลว์ ... 33
3.2.2 การคำนวณออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ ... 37
4. ทฤษฎีพื้นฐานและการประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึม ... 45
4.1 ทฤษฎีพื้นฐาน ... 45
4.1.1 การเลือกสรร ... 47
4.1.2 การแลกเปลี่ยนข้อมูล ... 52
4.1.3 การกลายพันธุ์หรือการผ่าเหล่า ... 54
4.1.4 การแทนที่ ... 54
4.2 การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึม ... 55
5. แบบจำลองการซื้อขายไฟฟ้า ... 58
5.1 โครงสร้างแบบจำลองการซื้อขายไฟฟ้า ... 58
5.1.1 แบบจำลองผู้ผลิตไฟฟ้า ... 59
5.1.2 แบบจำลองผู้ค้าปลีกไฟฟ้า ... 59
5.1.3 แบบจำลองตลาดการซื้อขายไฟฟ้าหรือกลไกการซื้อขาย ... 60
5.1.3.1 แบบจำลองการซื้อขายไฟฟ้าในช่วงก่อนเวลาปิดรับข้อมูลการซื้อขายไฟฟ้า (การทำสัญญาแบบคู่สัญญา) ... 61
5.1.3.2 แบบจำลองการซื้อขายไฟฟ้าในช่วงเวลาจริงเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า ... 68
6. การจำลองการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา ... 70
6.1 การศึกษาผลกระทบของความต้องการซื้อของผู้ค้าปลีกไฟฟ้าต่อราคาในการซื้อขายไฟฟ้า ... 71
6.2 การศึกษาผลกระทบของจำนวนผู้ค้าปลีกไฟฟ้าเมื่อความต้องการซื้อไฟฟ้าเท่ากับความต้องการขายไฟฟ้า ... 74
6.3 การศึกษาผลกระทบของความต้องการขายของผู้ผลิตไฟฟ้าต่อราคาในการซื้อขายไฟฟ้า ... 76
6.4 การศึกษาผลกระทบของจำนวนผู้ผลิตไฟฟ้าเมื่อความต้องการซื้อไฟฟ้าเท่ากับความต้องการขายไฟฟ้า ... 79

สารบัญ(ต่อ)

บทที่ หน้า

6.5 สรุป..... 81

7. การจำลองการซื้อขายไฟฟ้าในช่วงเวลาจริงเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า..... 82

7.1 การศึกษาราคาไฟฟ้าในช่วงเวลาจริงเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า เมื่อไม่มีข้อจำกัดของสายส่งและไม่มีความคลาดเคลื่อนจากการทำนายความต้องการไฟฟ้า..... 84

7.2 การศึกษาราคาไฟฟ้าในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า เมื่อมีข้อจำกัดของสายส่งและมีความคลาดเคลื่อนจากการทำนายความต้องการไฟฟ้า..... 86

7.2.1 เมื่อกำหนดให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงคงที่..... 86

7.2.2 เมื่อกำหนดให้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ทำสัญญาคงที่..... 91

7.2.3 เมื่อกำหนดให้พลังงานไฟฟ้าที่ทำสัญญาเท่ากับร้อยละ 95 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าจริง..... 96

7.3 สรุป..... 100

8. สรุปและข้อเสนอแนะ..... 101

8.1 สรุปผลการวิจัย..... 101

8.2 ข้อเสนอแนะ..... 102

รายการอ้างอิง..... 103

ภาคผนวก..... 105

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 117

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและระยะห่าง	51
5.1	ข้อมูลการซื้อขายไฟฟ้าในรอบที่ผ่านมา	64
5.2	ข้อมูลการเสนอราคาซื้อขายไฟฟ้าของประชากรแต่ละตัวของสมาชิก G1	64
5.3	ข้อมูลการคำนวณค่าความแข็งแกร่งของประชากรตัวที่ 1	64
5.4	ผลการซื้อขายเพื่อหาค่าความแข็งแกร่งของประชากรตัวที่ 1 ของสมาชิก G1	65
6.1	ราคาไฟฟ้าที่ได้จากการจำลองการซื้อขายไฟฟ้า เมื่อเปลี่ยนปริมาณความต้องการซื้อไฟฟ้า	72
6.2	ราคาไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองการซื้อขายไฟฟ้าและจำนวนผู้ค้าปลีก เมื่อความต้องการซื้อไฟฟ้าเท่ากับความต้องการขายไฟฟ้า	74
6.3	ราคาไฟฟ้าที่ได้จากการจำลองการซื้อขายไฟฟ้า เมื่อเปลี่ยนปริมาณความต้องการขายไฟฟ้า	77
6.4	ราคาไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองการซื้อขายไฟฟ้าและจำนวนผู้ผลิตไฟฟ้า เมื่อความต้องการซื้อไฟฟ้าเท่ากับความต้องการขายไฟฟ้า	79
7.1	ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความต้องการไฟฟ้าต่างๆ	84
7.2	ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าต่างๆ เมื่อผู้ค้าปลีกทำสัญญาซื้อพลังงานรายละ 80 MWh	86
7.3	ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าต่างๆ เมื่อผู้ค้าปลีกทำสัญญาซื้อพลังงานรายละ 90 MWh	87
7.4	ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าต่างๆ เมื่อผู้ค้าปลีกทำสัญญาซื้อพลังงานรายละ 95 MWh	87
7.5	ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าต่างๆ เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าจุดโหลดละ 105 MWh	91
7.6	ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าต่างๆ เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าจุดโหลดละ 110 MWh	92
7.7	ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าต่างๆ เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าจุดโหลดละ 120 MWh	92

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ หน้า

7.8 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าต่างๆ เมื่อความต้องการใช้ ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 80 MWh และปริมาณพลังงานไฟฟ้าทำสัญญารายละ 76 MWh..... 96

7.9 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าต่างๆ เมื่อความต้องการใช้ ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 90 MWh และปริมาณพลังงานไฟฟ้าทำสัญญารายละ 85.5 MW..... 97

7.10 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าต่างๆ เมื่อความต้องการใช้ ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 110 MWh และปริมาณพลังงานไฟฟ้าทำสัญญารายละ 104.5 MWh..... 97

7.11 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าต่างๆ เมื่อความต้องการใช้ ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 120 MWh และปริมาณพลังงานไฟฟ้าทำสัญญารายละ 114 MWh..... 98

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	โครงสร้างทางการตลาดของกิจการไฟฟ้า	6
2.2	โครงสร้างและความสัมพันธ์ของตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า	8
2.3	ราคา SBP และ SSP ของตลาดการซื้อขายระบบ NETA ในประเทศอังกฤษ	16
3.1	ข้อมูลการเสนอราคาซื้อและขายไฟฟ้าในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบ	25
3.2	การจัดสรรกำลังการผลิตโดยวิธีเรียงลำดับราคา	26
3.3	การประมาณเป็นฟังก์ชันกำลังสอง	31
3.4	ขั้นตอนการคำนวณโหลดโฟลว์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน	36
3.5	แบบจำลองสายส่ง	40
3.6	ขั้นตอนการคำนวณออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์	43
4.1	โครงสร้างการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึม	46
4.2	ขั้นตอนการเลือกสรรประชากรแบบ Roulette-wheel selection	48
4.3	ขั้นตอนการเลือกสรรประชากรแบบ Stochastic universal sampling	48
4.4	ย่านในแบบ Linear ลักษณะ Full ring และ Half ring	49
4.5	ย่านในแบบ Two-dimensional ลักษณะ Full cross และ Half cross	50
4.6	ย่านในแบบ Two-dimensional ลักษณะ Full star และ Half star	50
4.7	Single-point crossover	52
4.8	Multi-point crossover แบบใช้จุดตัด 3 จุด	53
4.9	Uniform crossover	53
4.10	ตัวอย่างแสดงการผ่าเหล่าของข้อมูล	54
5.1	โครงสร้างแบบจำลองการซื้อขายไฟฟ้า	59
5.2	ตัวอย่างการเข้าคู่สัญญาในแบบจำลอง	62
5.3	ตัวอย่างการสร้างประชากรของสมาชิกแต่ละราย	63
5.4	ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบ Two point crossover	65
5.5	แผนภาพการทำงานของโปรแกรมแบบจำลองการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา	67
5.6	แผนภาพการทำงานของโปรแกรมแบบจำลองการซื้อขายในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า	69
6.1	ความสัมพันธ์ระหว่างราคาและพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ค้าปลีกไฟฟ้าต้องการซื้อ	73
6.2	ความสัมพันธ์ระหว่างราคาไฟฟ้าและจำนวนผู้ค้าปลีกไฟฟ้า	75
6.3	ความสัมพันธ์ระหว่างราคาและพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ผลิตไฟฟ้าต้องการขาย	78

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่		หน้า
6.4	ความสัมพันธ์ระหว่างราคาไฟฟ้าและจำนวนผู้ผลิตไฟฟ้า.....	80
6.5	ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ผลิตไฟฟ้าและต้นทุนการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย.....	80
7.1	ระบบไฟฟ้า 9 บัสที่ใช้ในแบบจำลอง.....	83
7.2	ความสัมพันธ์ระหว่างราคาไฟฟ้าและความต้องการไฟฟ้าเมื่อไม่มีข้อจำกัดของระบบไฟฟ้าและไม่มีความผิดพลาดจากการทำนายความต้องการไฟฟ้า.....	85
7.3	สัมพันธ์ระหว่างราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าต่างๆ เมื่อผู้ค้าปลีกทำสัญญาซื้อพลังงานรายละ 80, 90, 95 MWh.....	88
7.4	ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายที่ 1 กับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ค้าปลีกทำสัญญาซื้อพลังงานที่ความจุสายส่งไฟฟ้า 50 MW.....	88
7.5	ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายที่ 2 กับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ค้าปลีกทำสัญญาซื้อพลังงานที่ความจุสายส่งไฟฟ้า 50 MW.....	89
7.6	ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายที่ 3 กับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ค้าปลีกทำสัญญาซื้อพลังงานที่ความจุของสายส่งไฟฟ้า 50 MW.....	89
7.7	ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าต่างๆ เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 105, 110, 120 MWh.....	93
7.8	ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายที่ 1 กับความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงที่ความจุของสายส่งไฟฟ้า 55 MW.....	93
7.9	ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายที่ 2 กับความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงที่ความจุของสายส่งไฟฟ้า 55 MW.....	94
7.10	ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายที่ 3 กับความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงที่ความจุของสายส่งไฟฟ้า 55 MW.....	94
7.11	ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายที่ 1 ที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าต่างๆ เมื่อพลังงานไฟฟ้าที่ทำสัญญาเท่ากับร้อยละ 95 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าจริง.....	98
7.12	ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายที่ 2 ที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าต่างๆ เมื่อพลังงานไฟฟ้าที่ทำสัญญาเท่ากับร้อยละ 95 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าจริง.....	99
7.13	ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายที่ 3 ที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าต่างๆ เมื่อพลังงานไฟฟ้าที่ทำสัญญาเท่ากับร้อยละ 95 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าจริง.....	99

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การดำเนินงานทางด้านพลังงานไฟฟ้าของประเทศไทยในปัจจุบัน ส่วนใหญ่อยู่ภายใต้การดำเนินการโดยรัฐวิสาหกิจ ซึ่งหากแบ่งตามโครงสร้างการดำเนินงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 หน่วยงาน คือ

1) การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) มีหน้าที่ควบคุมดูแลการผลิตไฟฟ้าให้มีความเพียงพอต่อความต้องการไฟฟ้าของผู้บริโภคและดูแลระบบส่งไฟฟ้า

2) การไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) มีหน้าที่จำหน่ายและรับผิดชอบระบบจำหน่ายให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าในเขตกรุงเทพฯ นนทบุรี และสมุทรปราการ

3) การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) มีหน้าที่จำหน่ายและรับผิดชอบระบบจำหน่ายให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่อื่นๆ นอกเหนือจาก 3 จังหวัดข้างต้น

อย่างไรก็ดี รัฐบาลได้มีแนวคิดเกี่ยวกับการปล่อยเสรี (Deregulation) กิจการด้านพลังงานไฟฟ้า ซึ่งมีจุดประสงค์อย่างเป็นทางการ ดังนี้

1) เพิ่มการแข่งขันในกิจการพลังงาน ทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

2) จัดระบบซื้อขายไฟฟ้าที่มีความโปร่งใสและเป็นกลางส่งเสริมให้มีการลงทุนจากภาคเอกชนในกิจการไฟฟ้า

3) ผู้ใช้ไฟฟ้ามีทางเลือกในการซื้อขายไฟฟ้า ได้รับบริการและคุณภาพไฟฟ้าที่ดีขึ้น

4) ลดภาระการลงทุนและหนี้สินของภาครัฐ

5) มีระบบชดเชยต้นทุนและหนี้สินติดค้างที่มีความเป็นธรรมต่อผู้ใช้ไฟฟ้าทุกราย

6) ผู้ใช้ไฟฟ้ามีไฟฟ้าใช้เพียงพอ ระบบไฟฟ้ามีความมั่นคงและราคาไม่ผันผวนเกินไป

7) มีระบบการดูแลผู้ใช้ไฟฟ้าในชนบทและผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีรายได้น้อย

8) ช่วยพัฒนาตลาดทุน

สำหรับประเทศไทย ขณะนี้กำลังอยู่ในขั้นเตรียมการสำหรับการปล่อยเสรี เพื่อให้สามารถตั้งกฎเกณฑ์ต่างๆ ให้มีความเหมาะสมและลดปัญหาที่อาจจะเกิดในการดำเนินงานจริง จึงจำเป็นต้องศึกษากลไกและสภาวะของตลาดในรูปแบบต่างๆ ที่เกิดขึ้นแล้วในหลายๆประเทศ จากการศึกษาพบว่า การซื้อขายสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ คือ

1) การซื้อขายโดยอาศัยตลาดกลางเป็นหลัก (Pool based)

2) การซื้อขายโดยอาศัยการทำสัญญาแบบคู่สัญญาเป็นหลัก (Bilateral based)

อย่างไรก็ดีไม่ว่าเป็นการซื้อขายไฟฟ้าในรูปแบบใด ประเด็นที่น่าสนใจประการหนึ่ง คือ การบริหารรายได้ของสมาชิกในตลาด โดยหากเป็นการซื้อขายโดยอาศัยการทำสัญญาแบบคู่สัญญาเป็นหลัก ค่าใช้จ่ายส่วนหนึ่งเกิดจากการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าคลาดเคลื่อนไปจากความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงของผู้บริโภค ส่งผลให้คุณค่าของการทำนายความต้องการใช้ไฟฟ้าเป็นประเด็นหนึ่งที่สำคัญที่จะต้องนำมาพิจารณา

ปัจจัยที่สำคัญประการหนึ่งที่ส่งผลต่อรายได้ของสมาชิกในตลาด คือ การจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าในส่วนที่นอกเหนือจากการทำสัญญาแบบคู่สัญญาในตลาดการซื้อขายไฟฟ้าซึ่งจะมีศูนย์ควบคุมระบบเป็นผู้รับผิดชอบดูแลจัดการและควบคุมความมั่นคงของระบบ และให้มีต้นทุนต่อผู้บริโภคต่ำที่สุด วิธีการจัดการหรือวิธีการดำเนินงานของศูนย์ควบคุมระบบจะขึ้นกับกฎระเบียบและข้อปฏิบัติของตลาดที่กำหนดขึ้น ซึ่งจะแตกต่างกันตามลักษณะเงื่อนไขและข้อจำกัดของตลาด การจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าของประเทศไทยในปัจจุบันใช้วิธีการพิจารณาถึงต้นทุนในการผลิตพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของระบบ (Cost-based operation) เพื่อให้ระบบไฟฟ้ามีต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่ต่ำที่สุด แต่สำหรับตลาดการซื้อขายไฟฟ้าในอนาคตที่จะเกิดขึ้นหลังจากการปล่อยเสรี จะมีการเปลี่ยนแปลงจากเงื่อนไขดังกล่าวมาพิจารณาถึงราคาซื้อขายไฟฟ้า (Price-based) แทน เนื่องจากแนวโน้มของตลาดซื้อขายไฟฟ้ากำลังเปลี่ยนมาสู่ระบบที่ให้เอกชนมีส่วนร่วมในการผลิตและขายไฟฟ้ามากขึ้น ดังนั้น การใช้ราคาส่วนเพิ่ม (Incremental cost) ของการผลิตพลังงานไฟฟ้า ในการจัดสรรกำลังการผลิตก็จะเปลี่ยนมาสู่การพิจารณาโดยใช้ราคาที่เสนอซื้อขายในการจัดสรรกำลังการผลิตแทน [1,2]

เนื่องจากตลาดการซื้อขายไฟฟ้ายังไม่เกิดขึ้นในขณะนี้ทำให้การศึกษาจำเป็นต้องศึกษาผ่านแบบจำลองที่สมมุติขึ้น โดยแบบจำลองที่ใช้จะต้องมีความใกล้เคียงกับสภาวะที่เกิดขึ้นในตลาด โดยประเด็นหนึ่งที่น่าสนใจ คือ กลไกการตั้งราคาเสนอซื้อและเสนอขายพลังงานไฟฟ้า ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงเสนอวิธีจำลองกระบวนการคิดและตัดสินใจของสมาชิกในตลาด โดยใช้เจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic algorithms) ซึ่งเลียนแบบกระบวนการวิวัฒนาการทางธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต จากนั้นจึงจำลองสภาวะที่เกิดขึ้นในระบบและศึกษาต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษารูปแบบและวิธีการจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าของระบบที่มีการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเป็นหลัก

2. ศึกษาวิธีการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้า โดยวิธีออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์

3. ศึกษาวิธีการคิดราคาค่าไฟฟ้าในตลาดซื้อขายไฟฟ้า ทั้งในส่วนการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าล่วงหน้าและที่เกิดจากความคลาดเคลื่อนระหว่างปริมาณที่ทำสัญญาและปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริง

4. ศึกษาเจนเนติกอัลกอริทึม(Genetic algorithms) เพื่อใช้จำลองการตัดสินใจตั้งราคาเสนอซื้อและเสนอขายไฟฟ้าของสมาชิกในตลาดการซื้อขายไฟฟ้า และจำลองตลาดการซื้อขายไฟฟ้าแบบใช้ราคาซื้อขาย (Price-based)

5. ศึกษาผลกระทบทางด้านค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการทำนายความต้องการไฟฟ้าคลาดเคลื่อน เมื่อเกิดข้อจำกัดของระบบ ภายใต้การซื้อขายไฟฟ้าที่มีลักษณะตลาดแบบคู่สัญญาเป็นหลัก โดยใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการปรับราคาเสนอซื้อและเสนอขายไฟฟ้า

1.3 ขอบเขตการศึกษาและวิจัย

1. ละเลยปัญหาการจัดสรรกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ

2. ศึกษาเฉพาะผลกระทบทางเทคนิคที่มีผลต่อรายรับและรายจ่ายของสมาชิกในตลาด

3. ตลาดการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเป็นหลักที่ใช้ในแบบจำลอง อ้างอิงจากรูปแบบของระบบ NETA ในประเทศอังกฤษ

4. ราคาที่เสนอซื้อและเสนอขายจะเป็นแบบระดับราคาเดียวเท่านั้น

5. ความต้องการไฟฟ้าคงที่ตลอดช่วงเวลาที่พิจารณา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน

1. ศึกษาการซื้อขายไฟฟ้าระบบที่มีการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเป็นหลัก
2. ศึกษาเจนเนติกอัลกอริทึม สำหรับจำลองการตัดสินใจของสมาชิกในตลาด
2. ศึกษาวิธีการคำนวณการจัดสรรกำลังการผลิตวิธีต่างๆ
3. ศึกษาการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์
4. ออกแบบ ปรับปรุง พัฒนาและทดสอบโปรแกรม
5. จำลองและวิเคราะห์สภาพตลาดซื้อขายไฟฟ้าในกรณีศึกษาต่างๆ
6. วิเคราะห์ และสรุปผลงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์

1. ทราบถึงผลกระทบที่เกิดจากการทำนายความต้องการไฟฟ้าคลาดเคลื่อนต่อรายได้ของผู้เข้าร่วมแข่งขัน ซึ่งสามารถใช้ในการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันในตลาดได้
2. สามารถสร้างแบบจำลองตลาดการซื้อขายไฟฟ้าแบบใช้ราคาซื้อขาย (Price-based)
3. สามารถใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้น และผลการทดลอง ช่วยในการปรับปรุงระบบสำหรับรองรับการปล่อยเสรีที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในแต่ละบทเป็นดังนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงโครงสร้างการซื้อขายไฟฟ้าในรูปแบบต่างๆและลักษณะของการเสนอซื้อขายไฟฟ้าในตลาด ทั้งในแบบตลาดกลางการซื้อขายไฟฟ้าและแบบการทำสัญญาแบบคู่สัญญาเป็นหลัก

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีเกี่ยวกับการจัดสรรกำลังการผลิตแบบต่างๆ และทฤษฎีเกี่ยวกับปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด รวมถึงการประยุกต์ใช้กับการจัดสรรกำลังการผลิตในตลาดการซื้อขายไฟฟ้า

บทที่ 4 กล่าวถึง ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับเจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic algorithms) และเสนอวิธีการประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการจำลองกลไกการตัดสินใจของผู้มีส่วนร่วมในตลาด

บทที่ 5 กล่าวถึง โครงสร้างและข้อจำกัดของแบบจำลองตลาดการซื้อขายไฟฟ้า ทั้งในส่วนผู้ผลิตไฟฟ้า ผู้ค้าปลีกไฟฟ้าและกลไกการซื้อขายไฟฟ้า โดยแยกพิจารณาเป็นการซื้อขายก่อนเวลาปิดรับข้อมูลซื้อขายไฟฟ้าและการซื้อขายไฟฟ้าเพื่อให้ระบบเกิดความสมดุล

บทที่ 6 กล่าวถึง ผลการคำนวณของแบบจำลองการซื้อขายไฟฟ้าก่อนเวลาปิดรับข้อมูลการซื้อขาย ซึ่งใช้เจนเนติกอัลกอริทึมเป็นกลไกการตกลงราคาซื้อขายระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายพลังงานไฟฟ้า โดยไม่คำนึงถึงเงื่อนไขของระบบไฟฟ้ากำลัง

บทที่ 7 กล่าวถึง ผลการคำนวณของการใช้แบบจำลองการซื้อขายไฟฟ้าเพื่อให้ระบบเกิดความสมดุล ซึ่งใช้เจนเนติกอัลกอริทึมเป็นกลไกการเสนอราคาซื้อขายในตลาดของผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ค้าปลีกไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์ถึงผลกระทบทางด้านราคาที่เกิดขึ้น เมื่อระบบไฟฟ้ามีความแออัดขึ้น

บทที่ 8 เป็นการสรุปและเสนอแนวทางการศึกษาที่ควรดำเนินการวิจัยต่อไป

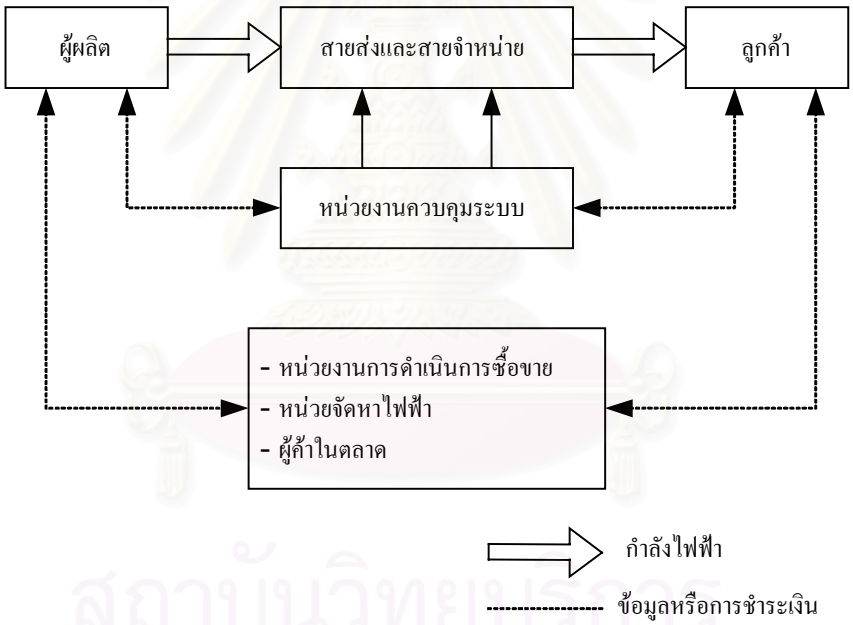
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ตลาดการซื้อขายไฟฟ้า

2.1 รูปแบบของตลาดการซื้อขายไฟฟ้า

ตลาดการซื้อขายไฟฟ้าประกอบด้วย ผู้ผลิต ผู้จำหน่าย ผู้ใช้ไฟฟ้าและองค์กรกำกับดูแล ผู้ผลิตจะมีหน้าที่ดำเนินการผลิตไฟฟ้าส่งผ่านระบบสายส่งและสายจำหน่ายให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า การดำเนินการดังกล่าวจำเป็นต้องมีผู้ดำเนินการหรือผู้จำหน่ายไฟฟ้าเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า นอกจากนั้นยังจำเป็นต้องมี องค์กรที่มีหน้าที่ควบคุมเพื่อให้เกิดการซื้อขายและส่งจ่ายพลังงานดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ ลักษณะของตลาดดังกล่าวพอนำเสนอได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางการตลาดของกิจการไฟฟ้า

การดำเนินงานตามลักษณะผูกรวมธุรกิจ (Vertical integration) นั้น โรงไฟฟ้าส่วนใหญ่หรือทั้งหมดจะอยู่ในความดูแลของหน่วยงานเพียงแห่งเดียว ซึ่งจะเป็นผู้ควบคุมระบบ ตลอดจนมีหน่วยงานดำเนินการให้บริการในการจัดหาไฟฟ้าให้แก่ลูกค้า สำหรับรูปแบบในการแปรรูปกิจการไฟฟ้าที่ดำเนินการกันในแต่ละประเทศนั้น แม้ว่ามีรายละเอียดที่แตกต่างกัน แต่เมื่อพิจารณาอย่างละเอียดจะพบว่าล้วนแต่มีพื้นฐานมาจากโครงสร้างหลัก 2 ประการ คือ

1. ตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า (Power pool)

2. การซื้อขายแบบคู่สัญญา (Bilateral contract)

โครงสร้างทั้งสองมักมีการกระจายอำนาจในการดำเนินธุรกิจให้แก่ระบบผลิตและระบบจำหน่ายไฟฟ้า ส่วนระบบส่งนั้นยังคงเป็นการทำงานในลักษณะรวมศูนย์อยู่เช่นเดิม ภายใต้โครงสร้างดังกล่าวมักทำการแยกระบบผลิตออกเป็นบริษัทผลิตไฟฟ้าจำนวนหนึ่ง จากนั้นบริษัทเหล่านี้ต่างก็ดำเนินการพิจารณาผลิตหรือขยายกำลังการผลิตไฟฟ้าของตนเองตามสภาวการณ์ของตลาดที่คาดว่าจะเกิดขึ้น ส่วนระบบจำหน่ายก็อาจมีการแบ่งแยกออกเป็นบริษัทค้าปลีกโดยเชื่อว่าจะก่อให้เกิดการใช้ทรัพยากรและมีการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น อีกทั้งยังก่อให้เกิดการแข่งขันและเพิ่มทางเลือกในการเลือกซื้อบริการของผู้ใช้ไฟฟ้า

การกระจายอำนาจในลักษณะดังกล่าว หากสามารถจัดสรรประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากการดำเนินกิจการได้อย่างเท่าเทียมกันและมีความยุติธรรม ซึ่งอาจสะท้อนผ่านโครงสร้างกิจการที่ดี และมีกฎระเบียบหรือการควบคุมที่เหมาะสมแล้ว ปัญหาที่เกิดจากการกระจายอำนาจในลักษณะดังกล่าวก็จะไม่มากไปกว่าการดำเนินการแบบรวมศูนย์ สำหรับลักษณะของโครงสร้างทั้งสองประเภทข้างต้นสามารถกล่าวโดยสรุปได้ดังต่อไปนี้

2.1.1 ตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า [3,4]

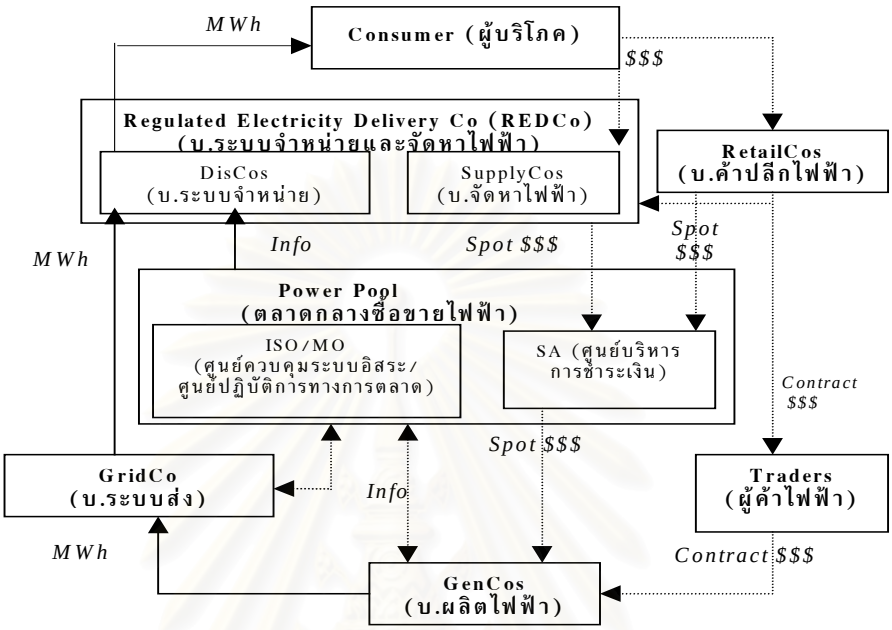
การแปรรูปกิจการด้านพลังงานไฟฟ้าภายใต้โครงสร้างเช่นนี้จะมีการสร้างตลาดกลางการซื้อขายไฟฟ้าขึ้น โดยตลาดกลางนี้จะมีหน้าที่เป็นศูนย์กลางการซื้อขายไฟฟ้าระหว่างผู้ผลิตและผู้ค้าปลีก และมีศูนย์ควบคุมระบบอิสระ (Independent System Operator : ISO) ควบคุมดูแลการซื้อขายและจัดสรรกำลังการผลิตของโรงผลิตไฟฟ้าต่างๆ ทั้งนี้ราคาไฟฟ้าที่ผู้ผลิตและผู้ซื้อแต่ละรายเสนอเข้าสู่ตลาดกลางจะนำมาใช้ในการตัดสินเพื่อกำหนดราคาค่าไฟฟ้าซึ่งเป็นไปตามหลักการของราคาหน่วยสุดท้าย (Marginal Clearing Price: MCP)

โครงสร้างของตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้ามีรูปแบบดังรูปที่ 2.2 มีสมาชิกในตลาดประกอบด้วย

1) ศูนย์ควบคุมระบบอิสระ (Independent System Operator: ISO)

ศูนย์ควบคุมระบบอิสระมีหน้าที่สั่งเดินเครื่องโรงไฟฟ้าและประสานงานกับศูนย์ปฏิบัติการทางการตลาด (Market Operator: MO) โดยเลือกโรงไฟฟ้าที่เสนอราคาต่ำที่สุดให้เดินเครื่องก่อน ศูนย์ควบคุมระบบอิสระจะเป็นผู้ควบคุมการปฏิบัติการของบริษัทระบบส่งไฟฟ้า และปฏิบัติงานร่วมกับศูนย์ปฏิบัติการทางการตลาด ส่วนศูนย์บริหารการชำระเงิน (Settlement Administrator: SA)

ซึ่งทำหน้าที่ทำความตกลงทางด้านการชำระเงินค่าซื้อไฟฟ้า อาจจะรวมอยู่กับตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า หรืออาจจะแยกออกไปดำเนินการโดยเป็นองค์กรเอกเทศก็ได้



รูปที่ 2.2 โครงสร้างและความสัมพันธ์ของตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า

2) บริษัทผลิตไฟฟ้า (Generation Companies: GenCos)

บริษัทผลิตไฟฟ้ามีหน้าที่ในการผลิตไฟฟ้าเพื่อขายให้กับระบบซึ่งส่วนใหญ่จะต้องผ่านตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า โดยในส่วนที่ขายให้กับตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้านั้นจะมีการแข่งขันเพื่อที่จะเสนอราคาไฟฟ้า บริษัทผลิตไฟฟ้าเหล่านี้อาจจะเป็นโรงไฟฟ้าในปัจจุบันของ กฟผ. ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (Independent Power Producer: IPP) ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small Power Producer: SPP) หรือผู้ผลิตไฟฟ้าจากประเทศเพื่อนบ้าน

3) บริษัทระบบส่งไฟฟ้า (GridCo)

บริษัทระบบส่งไฟฟ้าจะเป็นเจ้าของระบบไฟฟ้าและมีหน้าที่ดูแลและบำรุงรักษาระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูงภายใต้สัญญาที่ทำกับศูนย์ควบคุมระบบอิสระ บริษัทระบบส่งไฟฟ้าจะต้องไม่มีความเกี่ยวข้องใดๆ กับหน่วยงานอื่นๆ

4) บริษัทค้าปลีกไฟฟ้า (RetailCos)

บริษัทค้าปลีกไฟฟ้าซึ่งอาจมีทั้งภาคเอกชนหรือภาครัฐมีหน้าที่จัดหาและจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า ณ ราคาตลาดในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า (Spot Prices) บวกด้วยอัตราค่าบริการจัดจำหน่าย

2.1.2 ตลาดการซื้อขายแบบคู่สัญญาเป็นหลัก [5,6,7]

โครงสร้างการซื้อขายไฟฟ้าในรูปแบบนี้ พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการทำสัญญากันเองระหว่างผู้ผลิตและผู้จำหน่ายไฟฟ้า โดยศูนย์ควบคุมจะไม่เข้าไปเกี่ยวข้องหากแต่จะทำหน้าที่เพียงการรักษาเสถียรภาพของระบบเท่านั้น ระบบที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงต่อไปและนำมาใช้อ้างอิง คือ ระบบ NETA (New Electricity Trading Arrangement) ซึ่งปัจจุบันเป็นระบบการซื้อขายไฟฟ้าในประเทศอังกฤษ เริ่มใช้เมื่อ ค.ศ.2001 ซึ่งประเทศอังกฤษได้ปรับเปลี่ยนจากการใช้ตลาดกลางมาสู่รูปแบบการทำสัญญาระหว่างคู่สัญญาเป็นหลัก ทั้งนี้สมาชิกในโครงสร้างแบบใหม่นี้โดยรวมแล้วจะมีลักษณะค่อนข้างคล้ายคลึงกับระบบตลาดกลางเดิม สมาชิกในตลาดการซื้อขายไฟฟ้ารูปแบบใหม่จะประกอบไปด้วย

1) ศูนย์ควบคุมระบบ (The system operator: SO)

ศูนย์ควบคุมระบบ คือ หน่วยงานกลางซึ่งเป็นผู้ดูแลระบบ มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพและรักษาเสถียรภาพของระบบไว้ โดยมีหน้าที่หลักๆ ดังนี้

(1) จัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าเฉพาะส่วนที่เกิดขึ้นในกลไกการรักษาเสถียรภาพของระบบ (Balancing mechanism) เท่านั้น โดยจะเปิดโอกาสให้มีการเสนอซื้อและเสนอขายไฟฟ้าเข้ามา จากนั้นก็จะจัดสรรกำลังการผลิตตามความเหมาะสม

(2) รวบรวมข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงในระบบ

(3) ทำนายปริมาณความต้องการไฟฟ้าเพื่อแจ้งให้กับผู้ผลิตและผู้ค้าปลีกไฟฟ้าทราบ

(4) จัดส่งข้อมูลการผลิตและการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงให้ศูนย์บริการการชำระเงิน

2) บริษัทผลิตไฟฟ้า (GenCos)

บริษัทผลิตไฟฟ้ามีหน้าที่ในการผลิตไฟฟ้าเพื่อให้ตรงกับปริมาณไฟฟ้าที่บริษัทได้ทำสัญญาไว้และต้องแจ้งตารางการบำรุงรักษาเครื่องจักรให้กับศูนย์ควบคุมระบบ

3) บริษัทระบบส่งไฟฟ้า (GridCo)

บริษัทระบบส่งไฟฟ้ามีหน้าที่ในการดูแลบำรุงรักษาและขยายระบบส่งไฟฟ้าแรงสูงภายใต้สัญญาที่ทำกับศูนย์ควบคุมระบบอิสระ

4) บริษัทค้าปลีกไฟฟ้า (RetailCos)

บริษัทค้าปลีกไฟฟ้ามีหน้าที่ในการจัดหาไฟฟ้าให้เพียงพอกับปริมาณความต้องการไฟฟ้าที่ได้ทำสัญญาไว้กับผู้ใช้ไฟฟ้า โดยอาจจะเป็นภาครัฐหรือภาคเอกชนดำเนินการก็ได้

รูปแบบการซื้อขายไฟฟ้าในโครงสร้างแบบนี้เริ่มต้นจากการเปิดโอกาสให้ผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ค้าปลีกไฟฟ้าทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้ากันเองโดยอิสระ ซึ่งปริมาณไฟฟ้าที่ซื้อขายโดยผู้ค้าปลีกไฟฟ้าจะขึ้นกับปริมาณความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ รูปแบบการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าระหว่างผู้ค้าปลีกไฟฟ้ากับผู้ใช้ไฟฟ้าจะมีหลากหลาย ซึ่งอาจจะทำสัญญาซื้อขายแบบใช้พลังงานคงที่ตลอดช่วงเวลาหนึ่งหรืออาจเป็นไปในรูปแบบที่สามารถปรับเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าได้ในบางช่วงเวลา แต่สำหรับผู้ใช้ไฟฟ้ารายย่อยปริมาณความต้องการไฟฟ้าจะได้มาจากการทำนายล่วงหน้าโดยใช้ข้อมูลจากข้อมูลที่ผ่านมาในอดีต จากนั้นเมื่อถึงช่วงเวลา 1 ชั่วโมงก่อนที่จะถึงเวลาจริง ผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ค้าปลีกไฟฟ้าจะต้องแจ้งข้อมูลการซื้อขายไฟฟ้าที่ได้ทำสัญญาไว้ รวมถึงข้อมูลการเสนอซื้อขายไฟฟ้าในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า(Balancing Mechanism: BM) ให้ศูนย์ควบคุมระบบทราบ

ศูนย์ควบคุมระบบมีหน้าที่ในการเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดของระบบกับความต้องการไฟฟ้าที่ได้ทำนายไว้ว่าจะเพียงพอที่จะทำให้ระบบดำเนินต่อหรือไม่ หากไม่เพียงพอศูนย์ควบคุมระบบก็สามารถเรียกผู้ผลิตมาทำสัญญาเพิ่มเติม จนกระทั่งคาดว่าเพียงพอกับความต้องการไฟฟ้า ซึ่งวิธีการนี้เป็นกลไกหนึ่งในการจำกัดปริมาณไฟฟ้าที่จะซื้อขายกันในตลาดซื้อขายเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า เพื่อหลีกเลี่ยงความผันผวนของราคาที่อาจเกิดขึ้น เมื่อถึงเวลาจริงศูนย์ควบคุมระบบจะใช้ข้อมูลการเสนอซื้อขายไฟฟ้าเพื่อรักษาเสถียรภาพของระบบ โดยอาจใช้หลักการจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าแบบเรียงลำดับราคาหรือออปติมัลเพาเวอร์โฟว์ล (Optimum power flow) หรือใช้ทั้ง 2 วิธีร่วมกันก็ได้ ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

ความแตกต่างระหว่างการซื้อขายไฟฟ้าในระบบตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้าเมื่อเทียบกับระบบการทำสัญญาแบบคู่สัญญา[5] สรุปได้ดังนี้

1) การซื้อขายไฟฟ้าในระบบอาศัยการทำสัญญาแบบคู่สัญญาเป็นหลัก จะเปิดโอกาสให้ภาคเอกชนตกลงทำสัญญาซื้อขายกันโดยอิสระด้วยราคาและเงื่อนไขที่พอใจกันทั้งสองฝ่าย

2) ศูนย์ควบคุมระบบในตลาดการซื้อขายไฟฟ้าแบบทำสัญญาระหว่างคู่สัญญาเป็นหลักจะทำหน้าที่เพียงการรักษาเสถียรภาพของระบบเท่านั้นซึ่งจะเป็นพลังงานไฟฟ้าส่วนน้อยของระบบ ทำให้สามารถลดความผันผวนของราคาได้

3) การเสนอซื้อขายไฟฟ้าในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้าจะมีทั้งผู้ผลิตและผู้ค้าปลีกไฟฟ้าเสนอซื้อและเสนอขายไฟฟ้า นั่นคือ ผู้ค้าปลีกไฟฟ้าที่ทำสัญญาระยะยาวและระยะกลางไว้ หากรู้สึกว่าปริมาณไฟฟ้าที่ทำสัญญาซื้อมากเกินไปก็จะพยายามเสนอขายไฟฟ้าปริมาณที่เกินมานั้นออกไป หรือหากรู้สึกว่าปริมาณไฟฟ้าที่ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่ได้ทำสัญญาไว้กับผู้ใช้ไฟฟ้า ก็จะพยายามเสนอซื้อไฟฟ้าจนกระทั่งเพียงพอ และในทำนองเดียวกัน หากผู้ผลิตไฟฟ้าไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ตามที่ทำสัญญาไว้ก็จะพยายามเสนอซื้อไฟฟ้าจากผู้อื่นเพื่อให้ผลิตไฟฟ้าแทนซึ่งอาจจะเป็นผู้ผลิตไฟฟ้ารายอื่นหรือจากสัญญาที่ผู้ค้าปลีกไฟฟ้าทำไว้ก็ได้ เพื่อให้สามารถจ่ายไฟฟ้าได้เพียงพอกับที่ทำสัญญาไว้ หรือถ้าราคาในตลาดต่ำกว่าต้นทุนผันแปรต่อหน่วยของตนก็จะซื้อพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งอื่นมาแทนเพื่อให้ตนเองมีกำไรสูงขึ้น

4) การจ่ายค่าพลังงานไฟฟ้าในระบบตลาดกลางจะจ่ายตามราคาการผลิตหน่วยสุดท้ายของระบบ (System marginal price: SMP) แต่ในระบบคู่สัญญาจะจ่ายตามราคาที่ตกลงในสัญญากับผู้ผลิตไฟฟ้า (Pay as bid)

2.2 รูปแบบของสัญญาซื้อขายไฟฟ้า

การทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าในปัจจุบันอาจมีหลายรูปแบบ เนื่องจากเป็นการทำสัญญาที่ขึ้นกับความพอใจของทั้งผู้ซื้อและผู้ขาย โดยรูปแบบของสัญญาสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

1. สัญญาซื้อขายแบบไม่สามารถปรับเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าในแต่ละเวลาได้ การทำสัญญาประเภทนี้จะเป็นการตกลงซื้อพลังงานไฟฟ้าจากผู้ผลิต โดยไม่สนใจผลทางด้านความมั่นคงของระบบ กล่าวคือ จะผลิตเป็นปริมาณที่ได้ตกลงทำสัญญาไว้เสมอ การจ่ายเงินในสัญญาแบบนี้จะเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งเสมอ ไม่ขึ้นกับปริมาณไฟฟ้าที่ผลิต ณ เวลาจริง

2. สัญญาซื้อขายแบบปรับเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าในแต่ละเวลาได้ เป็นการตกลงทำสัญญาแบบสามารถปรับเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าให้เป็นไปตามความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าในแต่ละขณะ โดยมากสัญญาประเภทนี้จะทำขึ้นเพื่อการสำรองพลังงานไฟฟ้า (Reserve) และเพื่อความมั่นคง (Security) ของระบบ การจ่ายเงินในสัญญาประเภทนี้จะมีทั้ง 2 ส่วน คือ ค่าเตรียมกำลังการผลิต (Availability payment) และค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy payment) ค่าใช้จ่ายทั้งหมดสามารถคำนวณได้ดังสมการ (2.1)

$$\text{ค่าใช่จ่ายทั้งหมด} = \text{Availability payment} + (\text{Energy payment} * E) \qquad (2.1)$$

เมื่อ E หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่ผู้ผลิตไฟฟ้าผลิตจริงในชั่วโมงนั้น

2.3 การซื้อขายไฟฟ้าในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า (Balancing Mechanism: BM) [8,9]

การซื้อขายในช่วงนี้จะเกิดขึ้นหลังจากปิดรับข้อมูลของการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้จำหน่ายไฟฟ้าหรือประมาณ 1 ชั่วโมงก่อนเวลาจริง เช่น การจ่ายไฟฟ้าในช่วงเวลา 13.00-13.30 น. (กรณีพิจารณาทุกครึ่งชั่วโมง) การปิดรับข้อมูลของการทำสัญญาจะเป็นเวลา 12.00 น. เป็นต้น หลังจากนั้น ศูนย์ควบคุมระบบจะรวบรวมข้อมูลการซื้อขายทั้งหมด เพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับปริมาณความต้องการไฟฟ้าที่ได้ทำนายไว้ เมื่อศูนย์ควบคุมระบบทำการวิเคราะห์และพบว่าไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขทางด้านเสถียรภาพของระบบก็อาจจะทำสัญญาเพิ่มเติมกับสมาชิกในตลาดเพื่อปรับปริมาณไฟฟ้าในตลาดการซื้อขาย ซึ่งอาจจะทำสัญญากับผู้ผลิตหรือผู้จำหน่ายหรือผู้ใช้ไฟฟ้ารายใหญ่ก็ได้ นอกจากนี้ ศูนย์ควบคุมระบบยังจะต้องพิจารณาถึงปริมาณไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบไม่ให้มีปริมาณที่มากเกินไป มิฉะนั้นอาจจะเกิดความผันผวนทางด้านราคาไฟฟ้าขึ้น ซึ่งจะส่งผลถึงให้ราคาค่าไฟฟ้าโดยรวมสูงขึ้น

การดำเนินงานจัดสรรกำลังการผลิตเพื่อเสถียรภาพของระบบนี้ ศูนย์ควบคุมระบบจะมีทางเลือกสำหรับดำเนินการ 2 ทางเลือก คือ

1. เลือกทำสัญญาล่วงหน้ากับผู้ผลิตไฟฟ้าบางราย เพื่อสำรองกำลังการผลิตไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการไฟฟ้า

2. เลือกจัดสรรกำลังการผลิตในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบ

การดำเนินการของศูนย์ควบคุมระบบว่าจะดำเนินการตามทางเลือกใดหรือจะใช้ทั้ง 2 วิธีควบคู่กันไปในอัตราส่วนเท่าใดนั้น จะขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของระบบและสมาชิกในระบบ ซึ่งเป็นปัญหาที่น่าสนใจประการหนึ่ง แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะไม่ศึกษาถึงปัญหาดังกล่าว

2.3.1 บทบาทของสมาชิกในการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า [10]

1. ศูนย์ควบคุมระบบ(The system operator: SO)

ศูนย์ควบคุมระบบจะมีหน้าที่จัดซื้อพลังงานไฟฟ้าและกำลังการผลิตไฟฟ้าสำรองเพื่อให้เกิดเสถียรภาพของระบบและจำกัดปริมาณไฟฟ้าที่จะซื้อขายในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า นอกจากนี้จะเป็นผู้ดำเนินการในการซื้อขายไฟฟ้าในส่วนที่คลาดเคลื่อนไปจากการทำสัญญาที่แจ้งไว้ ณ เวลาก่อนปิดรับข้อมูลการทำสัญญาการซื้อขายไฟฟ้า โดยจะเป็นผู้กำหนดราคาสำหรับผู้ที่ต้องการซื้อพลังงานไฟฟ้าเพิ่ม เมื่อไม่สามารถจัดหาพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการที่เกิดขึ้นจริงของตนหรือปริมาณพลังงานที่ตนได้ทำสัญญาไว้กับผู้ซื้อ (System Buy Price: SBP) และราคาสำหรับการขายพลังงานไฟฟ้าเมื่อพลังงานไฟฟ้าที่ตนได้ทำสัญญาไว้เกินจากความต้องการจริง

ของตนหรือผลิตได้เกินจากที่ตนได้ทำสัญญาไว้กับผู้ซื้อ (System Sell Price: SSP) โดยปกติแล้ว SSP < ราคาในการซื้อขายไฟฟ้าก่อนเวลาปิดรับข้อมูล < SBP

2. ผู้ผลิตไฟฟ้า (GenCos)

ผู้ผลิตไฟฟ้าสามารถปรับเปลี่ยนปริมาณพลังงานไฟฟ้าเพิ่มเติมจากที่ตนได้ทำสัญญาไว้ โดยอาจจะเสนอซื้อพลังงานไฟฟ้าเพิ่มเติม เมื่อทราบว่าไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ตามปริมาณที่ทำสัญญาไว้หรืออาจจะเสนอซื้อไฟฟ้าในราคาที่ต่ำกว่าต้นทุนการผลิตของตนก็ได้ ในทางกลับกันผู้ผลิตไฟฟ้าอาจจะเสนอขายพลังงานไฟฟ้าเพิ่ม หากคาดว่าสามารถสร้างกำไรได้เพิ่มขึ้น

3. ผู้จำหน่ายไฟฟ้า (RetailCos)

ผู้จำหน่ายไฟฟ้าสามารถปรับเปลี่ยนปริมาณพลังงานไฟฟ้าเพิ่มเติมจากที่ตนทำสัญญาไว้ โดยอาจจะเสนอซื้อพลังงานไฟฟ้าเพิ่มเติมเมื่อคาดการณ์ว่าปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้บริโภคสูงกว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้ทำสัญญาไว้ ในทางกลับกัน ผู้จำหน่ายไฟฟ้าอาจจะเสนอขายไฟฟ้า เมื่อคาดการณ์ว่าปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าของผู้บริโภคต่ำกว่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้ทำสัญญาไว้หรืออาจจะขายพลังงานที่ตนได้ทำสัญญาไว้กับผู้ผลิตเมื่อสามารถสร้างผลกำไรได้เสมือนว่าเป็นผู้ผลิตไฟฟ้ารายหนึ่ง

2.3.2 รูปแบบค่าใช้จ่ายในการตกลงทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้า

1. ค่าเตรียมการผลิตหรือค่าธรรมเนียมการผลิต (Availability payment or Option fee) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นเพื่อให้ผู้ผลิตไฟฟ้าเตรียมกำลังการผลิตให้พร้อมในเวลาที่ต้องการ โดยค่าใช้จ่ายส่วนนี้จะไม่เกี่ยวข้องกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจริง นั่นคือ ไม่ว่าจะได้รับการสั่งให้ผลิตหรือไม่ ผู้ผลิตไฟฟ้าก็จะได้รับค่าใช้จ่ายส่วนนี้เสมอ มีหน่วยเป็น บาท/ชั่วโมง

2. ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy payment) เป็นค่าใช้จ่ายที่แปรผันตามปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตจริง หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นราคาขายพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยที่ผู้ผลิตขายให้กับผู้ที่ทำสัญญาด้วย มีหน่วยเป็น บาท/(ชั่วโมง*MWh)

2.3.3 การคำนวณราคาในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า [9]

การซื้อขายไฟฟ้าในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า ศูนย์ควบคุมระบบจะเป็นผู้จัดสรรกำลังการผลิตตามความเหมาะสม การดำเนินการซื้อขายส่วนนี้เป็นกลไกของการซื้อขายไฟฟ้าแบบการทำสัญญาระหว่างคู่สัญญาเป็นหลัก มีจุดประสงค์เพื่อทำให้ระบบเกิดความสมดุล นั่นคือ สามารถปรับปรุงกำลังการผลิตให้สามารถรองรับปริมาณการใช้ไฟฟ้าที่เกิดขึ้น ณ เวลาจริง ซึ่ง

รวมถึงการสั่งซื้อกำลังการผลิตสำรองด้วย เพื่อทำให้ระบบสามารถดำเนินต่อเนื่องได้โดยไม่กระทบต่อ ผู้ใช้ไฟฟ้า

เมื่อผ่านเวลาการจ่ายไฟฟ้าจริงไปแล้ว สมาชิกในตลาดที่ไม่สามารถผลิตหรือใช้ไฟฟ้าได้ตามสัญญาที่ตกลงกันไว้ ศูนย์ควบคุมระบบจะมีวิธีการคำนวณราคาสำหรับส่วนที่คลาดเคลื่อน ดังสมการ (2.2) และ (2.3)

$$SBP_j = \frac{\sum_i \sum^n \left\{ QAPO_{ij}^n * PO_{ij}^n * TLM_{ij} \right\} + BCA_j}{\sum_i \sum^n \left\{ QAPO_{ij}^n * TLM_{ij} \right\} + BVA_j} + BPA_j \qquad (2.2)$$

$$SSP_j = \frac{\sum_i \sum^n \left\{ QAPB_{ij}^n * PB_{ij}^n * TLM_{ij} \right\} + SCA_j}{\sum_i \sum^n \left\{ QAPB_{ij}^n * TLM_{ij} \right\} + SVA_j} + SPA_j \qquad (2.3)$$

เมื่อ *SBP* = System Buy Price (Bath/MWh) หมายถึง ราคาต่อหน่วยไฟฟ้าที่ซื้อจากศูนย์ควบคุมระบบ เมื่อผู้ผลิตไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าได้ต่ำกว่าปริมาณที่แจ้งไว้ หรือ ผู้ค้าปลีกไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าเกินกว่าที่แจ้งไว้

SSP = System Sell Price (Bath/MWh) หมายถึง ราคาต่อหน่วยไฟฟ้าที่ขายให้ศูนย์ควบคุมระบบ เมื่อผู้ผลิตไฟฟ้าผลิตไฟฟ้าได้เกินกว่าที่แจ้งไว้ หรือ ผู้ค้าปลีกไฟฟ้าใช้ไฟฟ้าต่ำกว่าปริมาณที่แจ้งไว้

i = จำนวนสมาชิกในตลาด

j = Settlement period ที่ j

n = จำนวนสัญญาที่ในแต่ละสมาชิก i

QAPO = Volume Accepted Offer (MWh) หมายถึง ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ศูนย์ควบคุมระบบเลือกซื้อจากผู้ขายไฟฟ้าที่เสนอราคาเข้ามา

QAPB = Volume Accepted Bids (MWh) หมายถึง ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ศูนย์ควบคุมระบบเลือกขายให้ผู้ซื้อไฟฟ้าที่เสนอราคาเข้ามา

PO = Price Accepted Offer (Baht/MWh) หมายถึง ราคาต่อหน่วยที่ศูนย์ควบคุมระบบสั่งซื้อจากผู้ที่เสนอราคาขายเข้ามา

PB = Price Accepted Bid (Baht/MWh) หมายถึง ราคาต่อหน่วยที่ศูนย์ควบคุมระบบสั่งขายให้ผู้ที่เสนอราคาซื้อเข้ามา

TLM = Transmission Loss Multiplier หมายถึง ค่าตัวคูณที่ใช้สำหรับการปรับราคาเพื่อชดเชยกำลังสูญเสียทางไฟฟ้า

BCA = Buy Price Cost Adjustment (Baht/Settlement period) หมายถึง ค่าใช้จ่ายสำหรับการจัดซื้อพลังงานไฟฟ้าล่วงหน้า เพื่อประโยชน์ทางด้านความมั่นคงของระบบ

SCA = Sell Price Cost Adjustment (Baht/Settlement period) หมายถึง ค่าใช้จ่ายสำหรับการเตรียมการลดพลังงานไฟฟ้าล่วงหน้า เพื่อประโยชน์ทางด้านความมั่นคงของระบบ

BVA = Buy Price Volume Adjustment (MWh/Settlement period) หมายถึง ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการจัดซื้อพลังงานไฟฟ้าล่วงหน้า

SVA = Sell Price Volume Adjustment (MWh/Settlement period) หมายถึง ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการจัดขายพลังงานไฟฟ้าล่วงหน้า

BPA = Buy Price Price Adjustment (Baht/h) หมายถึง ค่าใช้จ่ายต่อกำลังไฟฟ้าต่อชั่วโมง เพื่อให้เตรียมการผลิตให้พร้อมเมื่อศูนย์ควบคุมระบบต้องการเพิ่ม (Availability Payment) ซึ่งรวมถึงกำลังการผลิตสำรอง (Reserve) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการ (2.4)

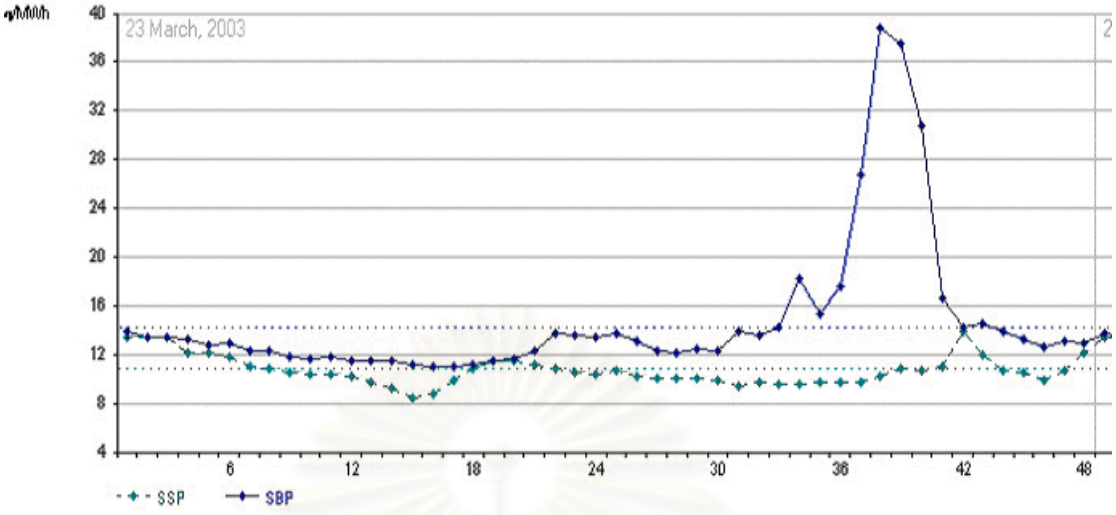
BPA = (ค่าเตรียมการผลิตประเภท Standing reserve + ค่าเตรียมการผลิตประเภท Firm regulating reserve + ค่าเตรียมการผลิตของการทำสัญญาซื้อพลังงานล่วงหน้า) / (ปริมาณพลังงานของ Standing reserve + ปริมาณพลังงานของ Firm regulating reserve + ปริมาณพลังงานของสัญญาซื้อขายพลังงานล่วงหน้า) (2.4)

SPA = Sell Price Price Adjustment (Baht/h) หมายถึง ค่าใช้จ่ายต่อกำลังไฟฟ้าต่อชั่วโมง เพื่อให้เตรียมการลดความต้องการใช้ไฟฟ้าเมื่อศูนย์ควบคุมระบบต้องการลด (Availability Payment) ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังสมการ (2.5)

SPA = (ค่าเตรียมการผลิตประเภท Negative reserve + ค่าเตรียมการผลิตของสัญญาขายพลังงานล่วงหน้า) / (ปริมาณพลังงานของ Negative reserve + ปริมาณพลังงานของสัญญาขายพลังงานล่วงหน้า (2.5)

ราคา SBP และ SSP ที่กำหนดโดยสมการที่ (2.2) และ (2.3) นั้นเป็นราคาที่เป็นเสมือนส่วนปรับสำหรับสมาชิกในตลาดที่ไม่สามารถทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าได้ตรงกับความต้องการไฟฟ้าของตน โดย SBP เป็นราคาที่ใช้คิดสำหรับสมาชิกที่ไม่สามารถผลิตหรือจัดหาไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการของตน ซึ่งอาจจะเป็นผู้ผลิตไฟฟ้าหรือผู้ค้าปลีกไฟฟ้าก็ได้ เช่น หากผู้ผลิตไฟฟ้าเกิดปัญหาเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจนไม่สามารถผลิตไฟฟ้าได้ตรงกับที่ทำสัญญาไว้ ส่วนต่างที่เกิดขึ้นจะต้องถูกคิดราคาด้วย SBP ซึ่งราคาสูงกว่าราคาในตลาดขณะนั้น หรือถ้าหากผู้ค้าปลีกทำสัญญาซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้าที่ได้ทำสัญญาไว้กับตน ส่วนต่างที่เกิดขึ้นจะต้องถูกคิดราคาด้วยราคา SBP ส่วนต่างที่เกิดขึ้นจะต้องถูกคิดราคาด้วย SBP ซึ่งราคาสูงกว่าราคาในตลาดขณะนั้น ในทางตรงกันข้าม หากผู้ค้าปลีกไฟฟ้าทำสัญญาซื้อพลังงานจากผู้ผลิตไฟฟ้าเกินจากปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงของผู้ใช้ไฟฟ้า ส่วนเกินที่เกิดขึ้นจะถูกซื้อด้วยราคา SSP ซึ่งมักจะต่ำกว่าราคาในตลาดขณะนั้น

ตัวอย่างราคา SBP และ SSP จริงในตลาดการซื้อขายของประเทศอังกฤษ ณ วันที่ 23 มีนาคม 2546 ตลอดช่วง 48 Settlement period หรือ ตลอด 24 ชั่วโมง ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ราคา SBP และ SSP ของตลาดการซื้อขายระบบ NETA ในประเทศอังกฤษ

2.3.4 ตัวอย่างการคำนวณ *SBP* **,** *SSP* [11]

ในขั้นตอนนี้จะนำเสนอวิธีการคำนวณ ที่พิจารณาผลเฉพาะด้านการเงิน (Financial) เท่านั้น โดยจะยังไม่รวมผลที่คำนึงถึงความมั่นคงและลักษณะทางไฟฟ้าของระบบการพิจารณาในขั้นนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ตัวอย่าง คือ

ตัวอย่างที่ 1 ไม่มีการทำสัญญาซื้อขายเพื่อสำรองกำลังการผลิตและไม่มีการทำสัญญาซื้อขายพลังงาน

ตัวอย่างที่ 2 มีการทำสัญญาซื้อขายเพื่อสำรองกำลังการผลิตและไม่มีการทำสัญญาซื้อขายพลังงาน

ตัวอย่างที่ 3 มีการทำสัญญาซื้อขายเพื่อสำรองกำลังการผลิตและมีการทำสัญญาซื้อขายพลังงาน

โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 ไม่มีการทำสัญญาซื้อขายเพื่อสำรองกำลังการผลิตและไม่มีการทำสัญญาซื้อขายพลังงาน

กำหนดให้

- ไม่มีการทำสัญญาซื้อขายเพื่อสำรองกำลังการผลิต
- ไม่มีการทำสัญญาซื้อพลังงานของศูนย์ควบคุมระบบ
- ไม่มีการทำสัญญาขายพลังงานของศูนย์ควบคุมระบบ
- PO = £ 22 /MWh
- PB = £ 20 /MWh
- QAPO = 10000 MWh
- QAPB = 8000 MWh
- BCA = 0 £
- BVA = 0 MWh
- BPA = £ 0 /MWh
- SCA = £ 0
- SVA = 0 MWh
- SPA = £ 0 /MWh
- TLM = 1.02

กรณีศูนย์ควบคุมระบบไม่มีส่วนร่วมกับการซื้อขายพลังงานเพื่อสำรองกำลังการผลิต

($BCA = 0, BVA = 0, BPA = 0, SCA = 0, SVA = 0, SPA = 0$)

$$SBP_j = \frac{\sum_i \sum^n \left\{ QAPO_{ij}^n * PO_{ij}^n * TLM_{ij} \right\} + BCA_j}{\sum_i \sum^n \left\{ QAPO_{ij}^n * TLM_{ij} \right\} + BVA_j} + BPA_j$$

$$= \frac{\{\{10000 * 22 * 1.02\} + 0\}}{\{\{10000 * 1.02\} + 0\}} + 0$$

$$= £\,22 \ /\text{MWh}$$

$$SSP_j = \frac{\sum_i \sum^n \left\{ QAPB_{ij}^n * PB_{ij}^n * TLM_{ij} \right\} + SCA_j}{\sum_i \sum^n \left\{ QAPB_{ij}^n * TLM_{ij} \right\} + SVA_j} + SPA_j$$

$$= \frac{\{\{8000 * 20 * 1.02\} + 0\}}{\{\{8000 * 1.02\} + 0\}} + 0$$

$$= £\,20 \ /\text{MWh}$$

กรณีศูนย์ควบคุมระบบมีส่วนร่วมกับการซื้อขายพลังงานเพื่อการสำรองกำลังการผลิต

$$SBP_j = \frac{\sum_i \sum^n \left\{ QAPO_{ij}^n * PO_{ij}^n * TLM_{ij} \right\} + BCA_j}{\sum_i \sum^n \left\{ QAPO_{ij}^n * TLM_{ij} \right\} + BVA_j} + BPA_j$$

$$= \frac{\{\{10000 * 22 * 1.02\} + 0\}}{\{\{10000 * 1.02\} + 0\}} + 0$$

$$= \text{£}22 \text{ /MWh}$$

$$SSP_j = \frac{\sum_i \sum^n \left\{ QAPB_{ij}^n * PB_{ij}^n * TLM_{ij} \right\} + SCA_j}{\sum_i \sum^n \left\{ QAPB_{ij}^n * TLM_{ij} \right\} + SVA_j} + SPA_j$$

$$= \frac{\{\{8000 * 20 * 1.02\} + 0\}}{\{\{8000 * 1.02\} + 0\}} + 0$$

$$= \text{£}20 \text{ /MWh}$$

ตัวอย่างนี้จะแสดงถึงการดำเนินการอย่างง่ายของศูนย์ควบคุมระบบ โดยไม่มีการสั่งสำรองพลังงานไฟฟ้าและไม่มีการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าให้กับสมาชิกในตลาด ซึ่งระดับราคา SBP และ SSP จะอยู่ที่ £22 /MWh และ £20 /MWh ตามลำดับ แต่เนื่องจากศูนย์ควบคุมระบบไม่ได้ดำเนินการใดๆนอกจากการสั่งซื้อขายไฟฟ้าในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบ ดังนั้นราคา SBP และ SSP ของกรณีศูนย์ควบคุมระบบไม่มีส่วนร่วมกับการซื้อขายพลังงานไฟฟ้าและกรณีศูนย์ควบคุมระบบมีส่วนร่วมกับการซื้อขายจึงมีค่าเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างที่ 2 มีการทำสัญญาซื้อขายเพื่อสำรองกำลังการผลิตและไม่มีการทำสัญญาซื้อขายพลังงาน

กำหนดให้

- มีการทำสัญญาประเภท Standing reserve ดังนี้

  <u>สัญญา A</u>

  - ค่าเตรียมการผลิต = £ 20 /ชั่วโมง
  - กำลังไฟฟ้าตามสัญญา = 20 MW

  <u>สัญญา B</u>

  - ค่าเตรียมการผลิต = £ 30 /ชั่วโมง
  - กำลังไฟฟ้าตามสัญญา = 15 MW
- มีการทำสัญญาประเภท Firm regulating reserve ดังนี้

  <u>สัญญา C</u>

  - ค่าเตรียมการผลิต = £ 10 /ชั่วโมง
  - กำลังไฟฟ้าตามสัญญา = 5 MW
- ไม่มีการทำสัญญาซื้อพลังงานของศูนย์ควบคุมระบบ
- ไม่มีการทำสัญญาขายพลังงานของศูนย์ควบคุมระบบ
- PO = £ 22 /MWh
- PB = £ 20 /MWh
- QAPO = 10000 MWh
- QAPB = 8000 MWh
- BCA = £ 0
- BVA = 0 MWh
- BPA = $\frac{(20+30+10)}{(20+15+5)} = £1.5$ /MWh
- SCA = £ 0
- SVA = 0 MWh
- SPA = £ 0 /MWh
- TLM = 1.02

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กรณีศูนย์ควบคุมระบบไม่มีส่วนร่วมกับการซื้อขายพลังงานเพื่อสำรองกำลังการผลิต

($BCA = 0, BVA = 0, BPA = 0, SCA = 0, SVA = 0, SPA = 0$)

$$SBP_j = \frac{\sum_i \sum^n \left\{QAPO_{ij}^n * PO_{ij}^n * TLM_{ij}\right\} + BCA_j}{\sum_i \sum^n \left\{QAPO_{ij}^n * TLM_{ij}\right\} + BVA_j} + BPA_j$$

$$= \frac{\{\{10000 * 22 * 1.02\} + 0\}}{\{\{10000 * 1.02\} + 0\}} + 0$$

$$= £22 \text{ /MWh}$$

$$SSP_j = \frac{\sum_i \sum^n \left\{QAPB_{ij}^n * PB_{ij}^n * TLM_{ij}\right\} + SCA_j}{\sum_i \sum^n \left\{QAPB_{ij}^n * TLM_{ij}\right\} + SVA_j} + SPA_j$$

$$= \frac{\{\{8000 * 20 * 1.02\} + 0\}}{\{\{8000 * 1.02\} + 0\}} + 0$$

$$= £20 \text{ /MWh}$$

กรณีศูนย์ควบคุมระบบมีส่วนร่วมกับการซื้อขายพลังงานเพื่อสำรองกำลังการผลิต

$$SBP_j = \frac{\sum_i \sum^n \left\{QAPO_{ij}^n * PO_{ij}^n * TLM_{ij}\right\} + BCA_j}{\sum_i \sum^n \left\{QAPO_{ij}^n * TLM_{ij}\right\} + BVA_j} + BPA_j$$

$$= \frac{\{\{10000 * 22 * 1.02\} + 0\}}{\{\{10000 * 1.02\} + 0\}} + 1.5$$

$$= £23.50 \text{ /MWh}$$

$$SSP_j = \frac{\sum_i \sum^n \left\{QAPB_{ij}^n * PB_{ij}^n * TLM_{ij}\right\} + SCA_j}{\sum_i \sum^n \left\{QAPB_{ij}^n * TLM_{ij}\right\} + SVA_j} + SPA_j$$

$$= \frac{\{\{8000 * 20 * 1.02\} + 0\}}{\{\{8000 * 1.02\} + 0\}} + 0$$

$$= £20 \text{ /MWh}$$

ตัวอย่างนี้จะเป็นกรณีที่ศูนย์ควบคุมระบบมีการสั่งสำรองพลังงานไฟฟ้าด้วยสัญญา 3 ฉบับ คือ A, B และ C แต่เนื่องจากสัญญาทั้ง 3 ฉบับเป็นสัญญาที่สั่งเพิ่มกำลังการผลิต เมื่อศูนย์ควบคุมระบบต้องการเท่านั้น ไม่มีการทำสัญญาเพื่อลดกำลังการผลิตหรือเพิ่มความต้องการใช้ไฟฟ้าจึงทำให้ราคา SBP มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น £23.50 /MWh ในขณะที่ราคา SSP มีราคาเท่าเดิม

ตัวอย่างที่ 3 มีการทำสัญญาซื้อขายเพื่อสำรองกำลังการผลิตและมีการทำสัญญาซื้อขายพลังงาน

กำหนดให้

- มีการทำสัญญาประเภท Standing reserve ดังนี้

  <u>สัญญา A</u>

  - ค่าเตรียมการผลิต = £ 20 /ชั่วโมง
  - กำลังไฟฟ้าตามสัญญา = 20 MW

  <u>สัญญา B</u>

  - ค่าเตรียมการผลิต = £ 30 /ชั่วโมง
  - กำลังไฟฟ้าตามสัญญา = 15 MW

- มีการทำสัญญาประเภท Firm regulating reserve ดังนี้

  <u>สัญญา C</u>

  - ค่าเตรียมการผลิต = £ 10 /ชั่วโมง
  - กำลังไฟฟ้าตามสัญญา = 5 MW

- มีการทำสัญญาซื้อพลังงานของศูนย์ควบคุมระบบ

  <u>สัญญา D</u>

  - ซื้อไฟฟ้า 500 MW ที่ราคา £ 20 /MWh ต่อเนื่องเป็นเวลา 10 ชั่วโมง การจ่ายเงินจะจ่ายเป็นจำนวน £ 100000 หรือ £ 5000 ต่อช่วงเวลาการซื้อขาย (30 นาที)

  <u>สัญญา E</u>

  - ค่าเตรียมการผลิตสำหรับการเตรียมกำลังผลิต 200 MW ที่ราคา £ 18 /MWh จำนวน £ 5000 ตลอดเวลา 10 ชั่วโมง (20 ช่วงเวลาการซื้อขาย: 20 Settlement period)

- ไม่มีการทำสัญญาขายพลังงานของศูนย์ควบคุมระบบ
- PO = £ 22 /MWh
- PB = £ 20 /MWh
- QAPO = 10000 MWh
- QAPB = 8000 MWh
- BCA = £ 5000 per SP(D) + 200 MW * £ 18 /MWh * 0.5 per SP(E)= £ 6800 per SP (SP = Settlement Period)
- BVA = $\frac{500}{2} MWh(D) + \frac{200}{2} MWh(E)$ = 350 MWh per SP
- BPA = $\frac{(20+30+10+500)}{(20+15+5+200)}$ = £ 2.333 /MWh
- SCA = £ 0

- SVA = 0 MWh
- SPA = 0 MWh
- TLM = 1.02

กรณีศูนย์ควบคุมระบบไม่มีส่วนร่วมกับการซื้อขายพลังงานเพื่อสำรองกำลังการผลิต

($BCA = 0, BVA = 0, BPA = 0, SCA = 0, SVA = 0, SPA = 0$)

$$SBP_j = \frac{\sum_i \sum^n \{QAPO_{ij}^n * PO_{ij}^n * TLM_{ij}\} + BCA_j}{\sum_i \sum^n \{QAPO_{ij}^n * TLM_{ij}\} + BVA_j} + BPA_j$$
$$= \frac{\{\{10000 * 22 * 1.02\} + 0\}}{\{\{10000 * 1.02\} + 0\}} + 0$$
$$= £22 \text{ /MWh}$$

$$SSP_j = \frac{\sum_i \sum^n \{QAPB_{ij}^n * PB_{ij}^n * TLM_{ij}\} + SCA_j}{\sum_i \sum^n \{QAPB_{ij}^n * TLM_{ij}\} + SVA_j} + SPA_j$$
$$= \frac{\{\{8000 * 20 * 1.02\} + 0\}}{\{\{8000 * 1.02\} + 0\}} + 0$$
$$= £20 \text{ /MWh}$$

กรณีศูนย์ควบคุมระบบมีส่วนร่วมกับการซื้อขายพลังงานเพื่อสำรองกำลังการผลิต

$$SBP_j = \frac{\sum_i \sum^n \{QAPO_{ij}^n * PO_{ij}^n * TLM_{ij}\} + BCA_j}{\sum_i \sum^n \{QAPO_{ij}^n * TLM_{ij}\} + BVA_j} + BPA_j$$
$$= \frac{\{\{10000 * 22 * 1.02\} + 6800\}}{\{\{10000 * 1.02\} + 350\}} + 2.333$$
$$= £24.248 \text{ /MWh}$$

$$SSP_j = \frac{\sum_i \sum^n \{QAPB_{ij}^n * PB_{ij}^n * TLM_{ij}\} + SCA_j}{\sum_i \sum^n \{QAPB_{ij}^n * TLM_{ij}\} + SVA_j} + SPA_j$$
$$= \frac{\{\{8000 * 20 * 1.02\} + 0\}}{\{\{8000 * 1.02\} + 0\}} + 0$$
$$= £20 \text{ /MW}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างนี้จะมีการทำสัญญาเพื่อสำรองพลังงานไฟฟ้าด้วยสัญญา A, B และ C แต่มีการซื้อไฟฟ้าด้วยสัญญา D และ E เพิ่มขึ้นมา อาจเนื่องจากศูนย์ควบคุมระบบต้องการปรับปริมาณไฟฟ้าให้ใกล้เคียงกับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้น เพื่อเป็นการจำกัดปริมาณไฟฟ้าที่จะซื้อขายผ่านตลาดเพื่อความสมดุลของระบบ

การทำสัญญา A, B, C, D และ E เป็นการทำสัญญาเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตเท่านั้น จึงทำให้ราคา SBP เพิ่มขึ้น แต่ราคา SSP เท่าเดิม สิ่งที่สังเกตอีกประการหนึ่ง คือ ราคา SBP เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ 2 อาจเนื่องจากปริมาณไฟฟ้ารวมของสมาชิกที่แจ้งไว้กับศูนย์ควบคุมระบบ ณ เวลาปิดรับข้อมูลการซื้อขายไฟฟ้ามีค่าน้อยกว่าความต้องการใช้ไฟฟ้าที่จะเกิดขึ้นมาก ศูนย์ควบคุมระบบจึงทำสัญญา D และ E เพื่อเพิ่มปริมาณไฟฟ้าในระบบให้มากขึ้น จึงเกิดเป็นค่าใช้จ่าย ดังนั้นราคา SBP จึงต้องสูงขึ้นเพื่อใช้ปรับผู้ที่ทำให้ระบบเกิดความไม่สมดุลในปริมาณมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การจัดสรรกำลังการผลิต

การจัดสรรกำลังการผลิตในตลาดการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเป็นหลักในช่วงตลาดเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้าเป็นหน้าที่ของศูนย์ควบคุมระบบ (System Operator: SO) ซึ่งจะเกิดขึ้นหลังจากเวลาปิดรับข้อมูลการซื้อขาย (Gate-closure) หรือประมาณ 1 ชั่วโมงก่อนการจ่ายพลังงานจริง โดยวิธีการจัดสรรกำลังการผลิตที่นิยมใช้ คือ การจัดสรรกำลังการผลิตโดยการเรียงลำดับราคาและวิธีออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์[12] ซึ่งทั้ง 2 วิธีมีเป้าหมายของการจัดสรรกำลังการผลิต คือ การจัดสรรกำลังการผลิตโดยให้มีต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าต่ำหรือเพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายกับผู้ใช้ไฟฟ้าน้อยที่สุด

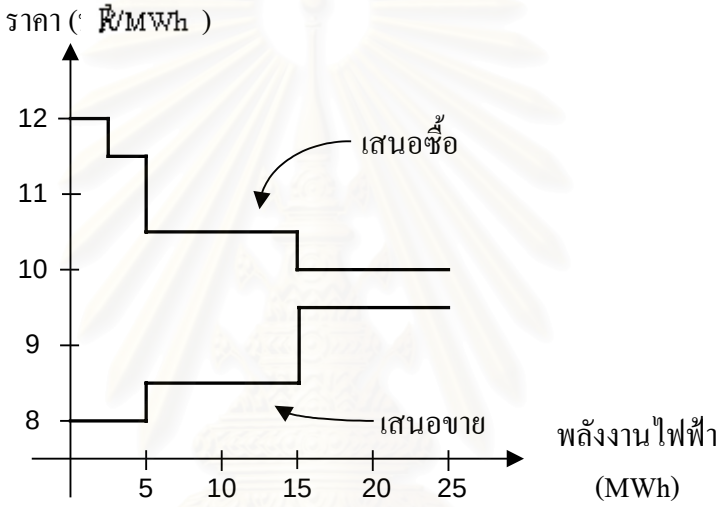
การจัดสรรกำลังการผลิตทั้ง 2 วิธีมีข้อดีข้อเสียต่างกัน คือ วิธีเรียงลำดับราคาจะมีความเร็วในการคำนวณสูง แต่คำตอบที่ได้อาจจะไม่เป็นจุดที่เป็นค่าเหมาะสมที่สุด เนื่องจากวิธีเรียงลำดับราคาไม่ได้นำข้อมูลทางด้านระบบไฟฟ้ามาประกอบการพิจารณาและในบางครั้งคำตอบที่ได้อาจจะไม่สามารถนำไปใช้ได้ในทางปฏิบัติ ในทางตรงกันข้าม วิธีออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์เป็นวิธีที่มีข้อเสีย คือ ต้องใช้เวลาในการคำนวณมากหากระบบที่พิจารณามีขนาดใหญ่ แต่คำตอบที่ได้จะเป็นจุดที่เป็นค่าเหมาะสมที่สุดและสามารถใช้ได้จริง ดังนั้นการเลือกใช้วิธีการจัดสรรกำลังการผลิตแบบใดจะขึ้นอยู่กับกฎเกณฑ์และความเหมาะสมของแต่ละพื้นที่ โดยทั่วไป การจัดสรรกำลังการผลิตจะใช้วิธีการจัดสรรโดยเรียงลำดับราคาก่อนจากนั้นจึงตรวจสอบกับเงื่อนไขของระบบ หากสอดคล้องกับเงื่อนไขระบบก็จะนำผลที่ได้ไปใช้กับระบบ แต่หากไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขของระบบ ก็จะจัดสรรกำลังการผลิตใหม่โดยใช้วิธีออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ หรือที่เรียกกันว่า การทำรีดิสแพช (Re-dispatch)

การจัดสรรกำลังการผลิตทั้ง 2 วิธี สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

3.1 การจัดสรรกำลังการผลิตโดยการเรียงลำดับราคา (Merit order)

การจัดสรรกำลังการผลิตวิธีนี้ จะนำข้อมูลการเสนอซื้อ และเสนอขายไฟฟ้ามาเรียงลำดับ โดยการเสนอซื้อไฟฟ้าจะเรียงลำดับจากราคาสูงไปหาต่ำ และการเสนอขายไฟฟ้าจะเรียงลำดับจากราคาต่ำไปหาสูง จากนั้น เมื่อถึงเวลาจริง หากกำลังการผลิตที่แจ้งไว้กับศูนย์ควบคุมระบบ ณ เวลาปิดรับข้อมูลการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้ามีปริมาณต่ำกว่าความต้องการไฟฟ้าของผู้บริโภค ก็จะสั่งเพิ่มกำลังการผลิตจากผู้เสนอขายไฟฟ้าที่เสนอราคาขายในราคาต่ำที่สุดก่อน หากไม่เพียงพอกับ

ความต้องการไฟฟ้า ก็จะสั่งเพิ่มกำลังการผลิตให้แก่ผู้เสนอขายไฟฟ้าในลำดับถัดมา จนกระทั่งเพียงพอกับความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า ในทางตรงกันข้ามหากกำลังการผลิตที่แจ้งไว้กับศูนย์ควบคุมระบบ ณ เวลาปิดรับข้อมูลการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้ามีปริมาณสูงกว่าความต้องการไฟฟ้าของผู้บริโภค ก็จะสั่งขายกำลังการผลิตซึ่งหมายความว่าเป็น การตกลงขายพลังงานให้กับผู้เสนอซื้อไฟฟ้าที่เสนอซื้อในราคาสูงสุดก่อนนั่นเอง หากไม่เพียงพอที่ทำให้ระบบเกิดความสมดุลได้ ก็จะสั่งขายกำลังการผลิตกับผู้เสนอซื้อไฟฟ้าในลำดับสูงรองลงมา จนกระทั่งสามารถทำให้ระบบเกิดความสมดุลได้ การเสนอซื้อ เสนอขายและการสั่งจากศูนย์ควบคุมระบบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 และ 3.2



รูปที่ 3.1 ข้อมูลการเสนอราคาซื้อและขายไฟฟ้าในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบ

กำหนดให้ สมาชิกในตลาด เสนอข้อมูลการซื้อขายดังต่อไปนี้

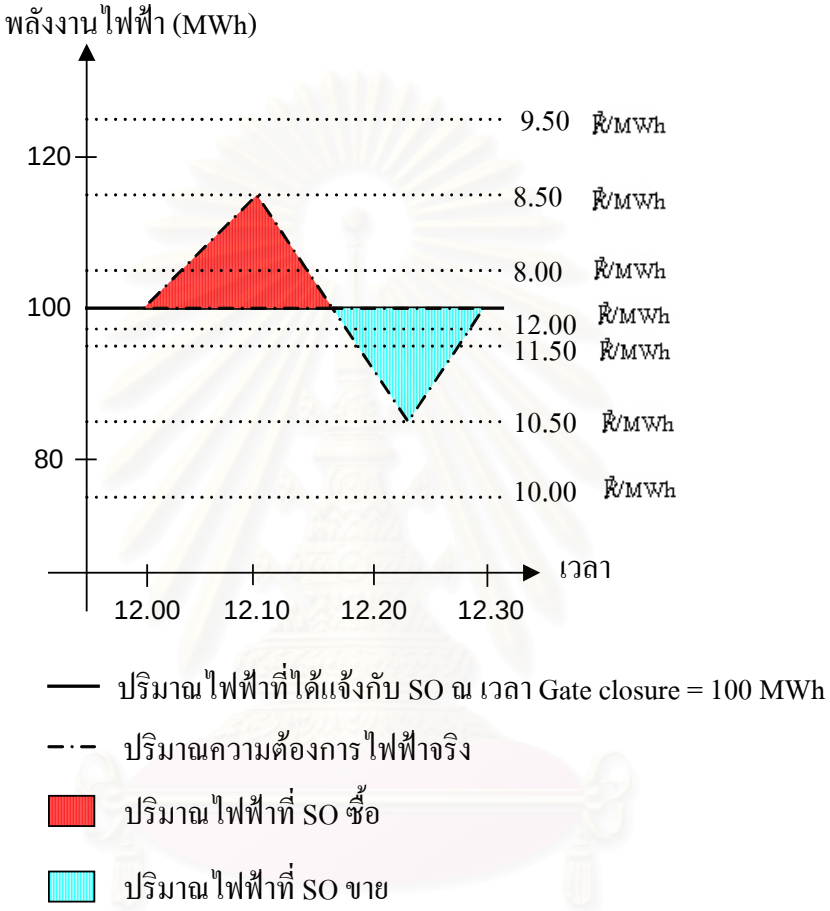
<u>ข้อมูลการเสนอซื้อไฟฟ้า</u>

- จำนวน 2.5 MWh ในราคา 12.00 ฿/MWh
- จำนวน 2.5 MWh ในราคา 11.50 ฿/MWh
- จำนวน 10.0 MWh ในราคา 10.50 ฿/MWh
- จำนวน 10.0 MWh ในราคา 10.00 ฿/MWh

<u>ข้อมูลการเสนอขายไฟฟ้า</u>

- จำนวน 5.0 MWh ในราคา 8.00 ฿/MWh
- จำนวน 10.0 MWh ในราคา 8.50 ฿/MWh
- จำนวน 10.0 MWh ในราคา 9.50 ฿/MWh

ซึ่งสามารถเรียงลำดับราคาการเสนอซื้อและเสนอขายไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 3.1 จากนั้นสมมุติให้ปริมาณไฟฟ้าที่ศูนย์ควบคุมระบบได้รับแจ้งเมื่อเวลาปิดรับข้อมูลการซื้อขายไฟฟ้า คือ 100 MWh ตลอดช่วงเวลาครึ่งชั่วโมง การจัดสรรกำลังการผลิตเมื่อเทียบกับความต้องการไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การจัดสรรกำลังการผลิตโดยวิธีเรียงลำดับราคา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 การจัดสรรกำลังการผลิตโดยวิธีออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ (Optimal Power Flow: OPF) [13]

ออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ คือ การจัดสรรกำลังการผลิตให้สอดคล้องกับการหาค่าเหมาะสมของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ต้องการ โดยคำนึงถึงสมการการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power flow equation) และข้อจำกัดด้านต่างๆ โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ที่ทำการวิเคราะห์

ตัวอย่างของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่นิยมใช้งานมีดังนี้

- ต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าจริง (Active power)
- กำลังสูญเสียรวมในระบบส่ง
- ขนาดหรือจำนวนการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรต่างๆในระบบ
- การไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง
- ต้นทุนด้านการเงินต่างๆ ที่สามารถสร้างความสัมพันธ์กับตัวแปรในระบบได้

เนื่องจากในตลาดซื้อขายไฟฟ้า ความต้องการโดยรวมของระบบ คือ ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดและต้องเพียงพอต่อความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งคือการวิเคราะห์การจัดสรรกำลังการผลิตอย่างประหยัด เราสามารถใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นผลรวมของราคาการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของระบบ

ข้อจำกัดต่างๆ ในระบบที่นอกเหนือจากสมการการไหลของกำลังไฟฟ้า เช่น พิกัดกำลังของสายส่ง กำลังการผลิตส่งผ่านระหว่างบริเวณ (Power interchange) อัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังการผลิต (Ramp rate) นั้น สามารถนำมาพิจารณาร่วมในปัญหาโดยอาจเป็นสมการหรืออสมการเงื่อนไขก็ได้ หากผู้ทำการวิเคราะห์ต้องการการจัดสรรกำลังการผลิตที่สอดคล้องกับเงื่อนไขนั้นๆ

3.2.1 ทฤษฎีพื้นฐาน

การคำนวณออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ สามารถแยกศึกษาได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้

1) การวิเคราะห์หาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization)

2) การวิเคราะห์โหลดโฟลว์ (Load flow)

3.2.1.1 การวิเคราะห์หาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization) [14,15]

วิธีการคำนวณในการวิเคราะห์หาค่าเหมาะสมที่สุดมีหลายวิธีการ โดยแต่ละวิธีการนั้นจะมีลักษณะและวิธีการใช้งานต่างกันออกไป ซึ่งในวิธีการคำนวณแต่ละแบบ ต่างก็อาศัยหลักการพื้นฐานที่เหมือนกันคือ สมการลากรอง (Lagrange equation) และเงื่อนไขจำเป็น (Necessary condition) ของ Karush-Kuhn-Tucker (KKT) ในการแก้ปัญหาเพื่อคำนวณค่าเหมาะสม (Optimization) การคำนวณตามหลักการวิเคราะห์ออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์สามารถเขียนรูปแบบของปัญหาในสมการทางคณิตศาสตร์ทั่วไปดังนี้

$$\textit{Minimize} \quad F(\boldsymbol{x}) \tag{3.1}$$

$$\textit{subject to} \quad \boldsymbol{g}(\boldsymbol{x}) = 0 \tag{3.2}$$

$$\boldsymbol{h}(\boldsymbol{x}) \le 0 \tag{3.3}$$

โดย $F(\boldsymbol{x})$ คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการคำนวณ

$g(\boldsymbol{x})$ คือ ข้อจำกัดหรือเงื่อนไขของปัญหาในรูปของสมการ

$\boldsymbol{h}(\boldsymbol{x})$ คือ ข้อจำกัดหรือเงื่อนไขของปัญหาในรูปของอสมการ

คำตอบของสมการที่ (3.1) ถึง (3.3) สามารถหาได้โดย เงื่อนไขจำเป็นของ Karush-Kuhn-Tucker (KKT) จากสมการลากรอง $L(x,\lambda,\mu)$ ดังแสดงต่อไปนี้

$$L(\boldsymbol{x},\boldsymbol{\lambda},\boldsymbol{\mu}) = F(\boldsymbol{x}) + \boldsymbol{\lambda}^T \boldsymbol{g}(\boldsymbol{x}) + \boldsymbol{\mu}^T \boldsymbol{h}(\boldsymbol{x}) \tag{3.4}$$

กำหนดให้ $\boldsymbol{x}$, $\boldsymbol{\lambda}$, $\boldsymbol{\mu}$ เป็นเวกเตอร์ตัวแปร ณ จุดคำตอบของชุดสมการที่ (3.1) ถึง (3.3) จะได้ว่าสมการต่อไปนี้จะต้องเป็นจริง คือ

$$\frac{\partial \mathrm{L}}{\partial \mathrm{x}_\mathrm{r}} = \frac{\partial\left(\mathrm{F}(\boldsymbol{x}) + \boldsymbol{\lambda}^\mathrm{T}\boldsymbol{g}(\boldsymbol{x}) + \boldsymbol{\mu}^\mathrm{T}\boldsymbol{h}(\boldsymbol{x})\right)}{\partial \mathrm{x}_\mathrm{r}}\Big|_{\mathbf{x},\boldsymbol{\lambda},\boldsymbol{\mu}} = 0 \tag{3.5}$$

$$\frac{\partial \mathrm{L}}{\partial \lambda_\mathrm{s}} = \mathrm{g}_\mathrm{s}(\boldsymbol{x})\big|_{\mathbf{x}} = 0 \tag{3.6}$$

$$\frac{\partial \mathrm{L}}{\partial \mu_\mathrm{t}} = \mathrm{h}_\mathrm{t}(\boldsymbol{x})\big|_{\mathbf{x}} = 0 \tag{3.7}$$

โดยสมการที่ (3.7) สามารถเขียนได้อีกรูปแบบหนึ่ง คือ

$$\boldsymbol{\mu}^T \boldsymbol{h}(\boldsymbol{x}^*) = 0 \text{ เมื่อ } \mu_t \geq 0 \tag{3.8}$$

โดย r, s, t คือ ลำดับที่สมาชิกของเวกเตอร์ $\boldsymbol{x}$, $\boldsymbol{\lambda}$, $\boldsymbol{\mu}$ ตามลำดับ

ขั้นตอนที่สำคัญในการคำนวณหาค่าเหมาะสมที่สุดสามารถสรุปได้ดังนี้

1) วิธีการหาทิศทางการลู่เข้าสู่ค่าเหมาะสมที่สุด

วิธีการหาทิศทางการลู่เข้าสู่ค่าเหมาะสมที่สุดมีผลต่อความเร็วในการลู่เข้าสู่คำตอบของปัญหาอย่างมาก วิธีที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันมีหลายวิธีโดยแต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะของปัญหาที่ใช้งาน ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเพียงวิธีควอซาย-นิวตัน (Quasi-Newton) เท่านั้น ดังนี้

วิธีในกลุ่มของวิธีควอซาย-นิวตันมีมากมายหลายวิธี แต่ทุกวิธีมีจุดประสงค์เพื่อประมาณค่า $\nabla^2 f(x_k)$ ด้วยเมตริกซ์ B_k ทิศทางการลู่เข้าสู่คำตอบหาได้จากสมการ

$$B_k \vec{p}_k = -\nabla f(x_k) \tag{3.9}$$

หรือ $$\vec{p}_k = -\mathrm{H_k} \nabla f(x_k) \tag{3.10}$$

การประมาณค่าของ $\nabla^2 f(x_k)$ เริ่มต้นจาก

$$f''(x_k) \approx \frac{f'(x_k) - f'(x_{k-1})}{x_k - x_{k-1}} \tag{3.11}$$

การประมาณให้เป็นเมตริกซ์ B_k นั้นจะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขเซคแคน (Secant condition) ซึ่งคือ

$$B_k(x_k - x_{k-1}) = \nabla f(x_k) - \nabla f(x_{k-1}) \tag{3.12}$$

เนื่องจากเงื่อนไขนี้ไม่เพียงพอที่จะทำให้ B_k มีเพียงแค่รูปแบบเดียวได้ จึงมีวิธีการหาค่า B_k หลายวิธี ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างการประมาณหาค่า B_k โดยใช้วิธี BFGS (Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno)

$$B_{k+1} = B_k + \frac{\Delta g_k \Delta g_k^T}{\Delta g_k^T \Delta x_k} - \frac{B_k \Delta x_k \Delta x_k^T B_k}{\Delta x_k^T B_k \Delta x_k} \tag{3.13}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การประมาณหาค่า H_k โดยใช้วิธี DFP (Davidon-Fletcher-Powell)

$$H_{k+1} = H_k + \frac{\Delta x_k \Delta x_k^T}{\Delta x_k^T \Delta g_k} - \frac{H_k \Delta g_k \Delta g_k^T H_k}{\Delta g_k^T H_k \Delta g_k} \tag{3.14}$$

โดย $g_k = \nabla f(x_k)$

$\Delta g_k = g_{k+1} - g_k$

$\Delta x_k = x_{k+1} - x_k$

$B_k^{-1} = H_k$

สรุปแล้ววิธีการนี้จะมีอัตราการลู่เข้าที่สูงกว่าวิธีเกรเดียนแต่ยังน้อยกว่าวิธีนิวตัน ถึงอย่างไรก็ตามวิธีนี้จะมีข้อดีกว่าวิธีนิวตันเพราะไม่ต้องหาค่า $\nabla^2 f(x_k)$ หรือ $\left[\nabla^2 f(x_k)\right]^{-1}$ ซึ่งใช้เวลานาน

2) วิธีการหาค่าแอลฟา

การวนซ้ำหาค่าแอลฟานั้น เป็นขั้นตอนที่ใช้ในการหาค่าความยาวของการก้าวจากจุด x_k ไปยังจุด x_{k+1} ในทิศทาง $\vec{p}$ ซึ่งได้จากการคำนวณในหัวข้อที่แล้ว วิธีการแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

(1) การหาค่าแอลฟาที่ทำให้ค่าฟังก์ชันต่ำที่สุดในทิศทางนั้น (Exact line search) เป็นวิธีที่ใช้เวลาในการคำนวณนาน เพราะค่าแอลฟานั้นต้องสอดคล้องกับสมการ $\nabla f(x) = 0$

(2) การหาค่าแอลฟาที่ทำให้ค่าฟังก์ชันต่ำลงเพียงพอในทิศทางนั้น (Inexact line search) เป็นวิธีที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่าแบบแรก โดยต่ำลงเพียงพอนั้นคือจะต้องสอดคล้องกับเงื่อนไขของโวฟ (Wolfe condition) ดังนี้

$$f(x_k + \alpha \vec{p}_k) \le \mathrm{f(x_k)} + \alpha\mu \vec{p}_k^T \nabla f(x_k) \tag{3.15}$$

$$\left|\vec{p}_k^T \nabla f(x_k + \alpha \vec{p}_k)\right| \le -\eta \vec{p}_k^T \nabla f(x_k) \tag{3.16}$$

โดยที่ $0 < \eta < 1$

รูปแบบของปัญหาการหาค่า α ที่ทำให้ $f(x_k + \alpha \vec{p}_k)$ มีค่าต่ำที่สุดหรือต่ำลงเพียงพอในทิศทาง $\vec{p}_k$ ก็จะเป็นปัญหาการหาค่าต่ำสุดใน 1 มิติ (One dimension optimization) ซึ่งมีวิธีที่ใช้แก้ปัญหานี้หลายวิธี ในที่นี้จะขอกล่าวถึงเพียงแค่วิธีการประมาณเป็นฟังก์ชันกำลังสาม (Cubic interpolation method) ดังนี้

การประมาณเป็นฟังก์ชันกำลังสามมีข้อดีคือ ต้องการทราบข้อมูลเพียง 2 จุด ในการประมาณแต่ละครั้ง แต่ข้อเสีย คือ จะต้องทราบค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชันที่จุด 2 จุดนั้น

สมมุติให้เป็นฟังก์ชันคอนเวคซ์ (Convex function) และทราบค่าจุด 2 จุด คือ A และ B ซึ่ง $A < B$, $f'(A) < 0$ และ $f'(B) > 0$ สามารถประมาณให้เป็นฟังก์ชันกำลังสามได้ดังนี้

$$h(\lambda) = a + b\lambda + c\lambda^2 + d\lambda^3 \tag{3.17}$$

เนื่องจากเป็นฟังก์ชันคอนเวคซ์ (Convex) ดังนั้นจะมีจุดที่ทำให้ฟังก์ชัน $f(x)$ มีค่าต่ำที่สุดในช่วง $[A, B]$

ให้ $\tilde{\lambda}^*$ แทนจุดที่ต่ำที่สุดในช่วง $[A, B]$ เมื่อประมาณเป็นฟังก์ชันกำลังสาม จะได้

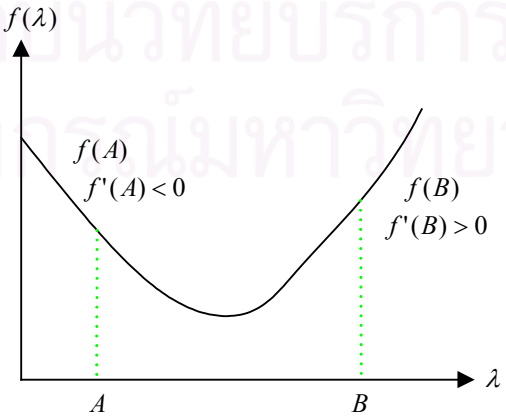
$$\tilde{\lambda}^* = A + \frac{f'(A) + Z + Q}{f'(A) + f'(B) + 2Z}(B - A) \tag{3.18}$$

หรือ $$\tilde{\lambda}^* = B - \frac{f'(B) + Q - Z}{f'(B) + f'(A) + 2Q}(B - A) \tag{3.19}$$

โดย $$Z = \frac{3\{f(A) - f(B)\}}{B - A} + f'(A) + f'(B)$$

$$Q = \left\{Z^2 - f'(A)f'(B)\right\}^{0.5}$$

เมื่อได้ค่า $\tilde{\lambda}^*$ แล้วทำให้มีจุดอยู่ 3 จุด คือ $A, B, \tilde{\lambda}^*$ จะสามารถเลือกจุด 2 จุดที่ล้อมรอบจุดต่ำสุดของฟังก์ชันอยู่ จากนั้นก็จะใช้การประมาณเป็นฟังก์ชันกำลังสามไปเรื่อยๆจนกระทั่งได้ค่า $\tilde{\lambda}^*$ ที่ดีพอ โดยเงื่อนไขในการหยุดคำนวณ อาจจะเป็น $\left|f'(\tilde{\lambda}^*)\right| \le \varepsilon$ เมื่อ $\varepsilon > 0$



รูปที่ 3.3 การประมาณเป็นฟังก์ชันกำลังสอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3) วิธีตัวประกอบการปรับโทษ (Penalty factor)

หลักการของวิธีนี้ คือ จะอนุญาตให้ตัวแปร x_k ในการคำนวณแต่ละรอบออกนอกเซตคำตอบได้ แต่จะมีผลทำให้ฟังก์ชันมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมาก จนในที่สุดเมื่อหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชันจะทำให้ตัวแปรเข้าสู่เซตคำตอบ (เซตคำตอบ หมายถึง เซตของตัวแปร x_k ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขทั้งหมดของปัญหา)

หลักการสำคัญของวิธีการนี้ คือ ต้องการเปลี่ยนสมการเงื่อนไขและอสมการเงื่อนไขเป็นฟังก์ชัน $\psi(x)$ ซึ่งมีสมบัติ ดังนี้

$$\psi(x)\begin{cases} = 0 & for\ x \in feasible\ set \\ > 0 & for\ x \notin feasible\ set \end{cases} \tag{3.20}$$

สมมุติให้ปัญหา คือ

$$\begin{aligned} &Minimize && F(\boldsymbol{x}) \\ &subject\ to && \boldsymbol{g_i}(\boldsymbol{x}) = 0 \quad for \quad i = 1,2,3,...,m \\ & && \boldsymbol{h_i}(\boldsymbol{x}) \geq 0 \quad for \quad i = 1,2,3,...,n \end{aligned}$$

ฟังก์ชัน $\psi(x)$ มีหลายรูปแบบแต่ที่นิยมใช้กัน คือ ฟังก์ชันสูญเสียกำลังสอง (Quadratic loss function)

$$\psi(x) = \begin{cases} \dfrac{1}{2}\displaystyle\sum_{i=1}^{m}\left|h_i(x)\right|^2 \\ \dfrac{1}{2}\displaystyle\sum_{i=1}^{n}\left\{\min\left(0, g_i(x)\right)\right\}^2 \end{cases} \tag{3.21}$$

สามารถเขียนเป็นสมการเพื่อแก้หาค่าต่ำสุดได้ ดังนี้

$$\Pi(x, \rho) = f(x) + \frac{1}{2}\rho\left[\sum_{i=1}^{m}\left|h_i(x)\right|^2 + \sum_{i=1}^{n}\left\{\min\left(0, g_i(x)\right)\right\}^2\right] \tag{3.22}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.1.2 การวิเคราะห์โหลดโฟลว์ (Load flow) [9,10]

โหลดโฟลว์ หรือ เพาเวอร์โฟลว์ เป็นการวิเคราะห์ที่สำคัญในการวิเคราะห์ออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ เนื่องจากเป็นกระบวนการที่ใช้ในการหาสถานะการทำงานขณะต่างๆของระบบ โดยข้อมูลสถานะการทำงานของระบบมีหลายค่าเช่น ขนาดของแรงดันบัส มุมของแรงดันบัส กำลังที่ไหลบนสายส่ง กำลังสูญเสียในระบบส่ง เป็นต้น ซึ่งข้อมูลต่างๆจะได้นำไปใช้ในการคำนวณออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ต่อไป

วิธีการหลักที่ใช้ในการวิเคราะห์โหลดโฟลว์แบบ เอ.ซี. ประกอบด้วย วิธีเกาส์ (Gauss method) วิธีเกาส์-ไซเดิล (Gauss-Seidel method) และวิธีนิวตัน-ราฟสัน (Newton-Raphson method) อย่างไรก็ตามมักนิยมใช้วิธีนิวตัน-ราฟสัน เนื่องจากสามารถหาคำตอบได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีนิวตัน-ราฟสัน เท่านั้น

สมการโหลดโฟลว์ สามารถเขียนในรูปของกำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้าบัส และแรงดันที่บัสได้ดังนี้

$$P_i - jQ_i = V_i^* \sum_{n=1}^{N} Y_{in} V_n \tag{3.23}$$

โดย P_i คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลเข้าสู่บัส i

Q_i คือ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟที่ไหลเข้าสู่บัส i

V_i, V_n คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส i และ n ตามลำดับ

V_i^* คือ สังยุคเชิงซ้อนของแรงดันไฟฟ้าที่บัส i

Y_{in} คือ สมาชิกในตำแหน่งที่ (i,n) ของบัสแอดมิตแตนซ์เมตริกซ์

N คือ จำนวนบัสทั้งหมดในระบบกำลังไฟฟ้า

เมื่อพิจารณาสมการที่ (3.23) จะสามารถเขียนสมการแสดงค่ากำลังจริง และกำลังรีแอคทีฟที่จ่ายเข้าไปยังบัส i ของระบบไฟฟ้ากำลังที่ประกอบไปด้วยบัสจำนวน N บัส ได้ดังสมการที่ (3.24) และ (3.25)

$$P_i = \sum_{n=1}^{N} \left| Y_{in} V_i V_n \right| \cos(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \tag{3.24}$$

$$Q_i = -\sum_{n=1}^{N} \left| Y_{in} V_i V_n \right| \sin(\theta_{in} + \delta_n - \delta_i) \tag{3.25}$$

โดย P_i, Q_i คือ กำลังจริงและกำลังรีแอคทีฟที่จ่ายเข้าบัส i

$|V_i|, \delta_i$ คือ ขนาดและมุมเฟสของแรงดันบัสที่บัส i

$|V_n|, \delta_n$ คือ ขนาดและมุมเฟสของแรงดันบัสที่บัส n

$|Y_{in}|, \theta_{in}$ คือ สมาชิกตำแหน่ง (i,n) ของเมตริกซ์แอดมิตแตนซ์ของระบบ

สมการที่ (3.24) และ (3.25) เรียกว่าสมการโหลดโฟลว์ ซึ่งเป็นสมการที่มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น การวิเคราะห์โหลดโฟลว์โดยการใช้วิธีนิวตัน-ราฟสัน จะเปลี่ยนสมการ โหลดโฟลว์ให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นโดยการใช้การกระจายของอนุกรมเทเลอร์ (Taylor series expansion) กระจายฟังก์ชันของ P และ Q รอบจุดประมาณเริ่มต้นและไม่คำนึงถึงพจน์ตั้งแต่อันดับสองขึ้นไป โดยจะเขียนให้อยู่ในรูปของสมการความคลาดเคลื่อนของกำลังจริงและกำลังรีแอคทีฟเป็นเมตริกซ์ ดังสมการที่ (3.29)

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \vdots \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & \vdots & J_2 \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ J_3 & \vdots & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \vdots \\ |\Delta V| \end{bmatrix} \tag{3.26}$$

โดย $\Delta P, \Delta Q$ คือ เวคเตอร์ความคลาดเคลื่อนของกำลังจริงและกำลังรีแอคทีฟของแต่ละบัส

$\Delta\delta$ คือ เวคเตอร์ของมุมเฟสของแรงดันไฟฟ้าที่บัสซึ่งต้องทำการแก้ไข

$\Delta|V|$ คือ เวคเตอร์ของขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัสซึ่งต้องทำการแก้ไข

J_1, J_2, J_3, J_4 คือ เมตริกซ์ จาโคเบียนย่อย (Sub jacobian matrix)

แต่ละสมาชิกของ ΔP และ ΔQ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.27) และ (3.28) ตามลำดับ

$$\Delta P_i = (P_{gi} - P_{di}) - P_{i,calc} \tag{3.27}$$

$$\Delta Q_i = (Q_{gi} - Q_{di}) - Q_{i,calc} \tag{3.28}$$

โดย ΔP_i คือ สมาชิกตัวที่ i ของเวคเตอร์ความคลาดเคลื่อนกำลังจริง

ΔQ_i คือ สมาชิกตัวที่ i ของเวคเตอร์ความคลาดเคลื่อนกำลังรีแอคทีฟ

P_{gi} คือ ค่ากำลังจริงที่ผลิตได้จากบัส i

P_{di} คือ ค่าความต้องการกำลังจริงของบัส i

Q_{gi} คือ ค่ากำลังรีแอคทีฟที่ผลิตได้จากบัส i

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Q_{di} คือ ค่าความต้องการกำลังรีแอคทีฟของบัส i

$P_{i,calc}$ คือ ค่ากำลังจริงที่คำนวณได้จากสมการที่ (3.24) สำหรับบัส i

$Q_{i,calc}$ คือ ค่ากำลังรีแอคทีฟที่คำนวณได้จากสมการที่ (3.25) สำหรับบัส I

สำหรับสมาชิกแต่ละสมาชิกของเมตริกซ์จาโคเบียนย่อย J_1 สามารถหาได้โดยใช้สมการที่ (3.29) และ (3.30) สมาชิกของเมตริกซ์จาโคเบียนย่อย J_2 หาได้โดยใช้สมการที่ (3.31) และ (3.32) สมาชิกของเมตริกซ์จาโคเบียนย่อย J_3 หาได้โดยใช้สมการที่ (3.33) และ (3.34) และ สมาชิกของเมตริกซ์จาโคเบียนย่อย J_4 หาได้โดยใช้สมการที่ (3.35) และ (3.36) ตามลำดับ

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = \left|V_i V_j Y_{ij}\right| \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \tag{3.29}$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} \left|V_i V_j Y_{ij}\right| \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \tag{3.30}$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -\left|V_i V_j Y_{ij}\right| \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \tag{3.31}$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} \left|V_i V_j Y_{ij}\right| \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \tag{3.32}$$

$$\frac{\partial P_i}{\left|\partial V_j\right|} = \left|V_i Y_{ij}\right| \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \tag{3.33}$$

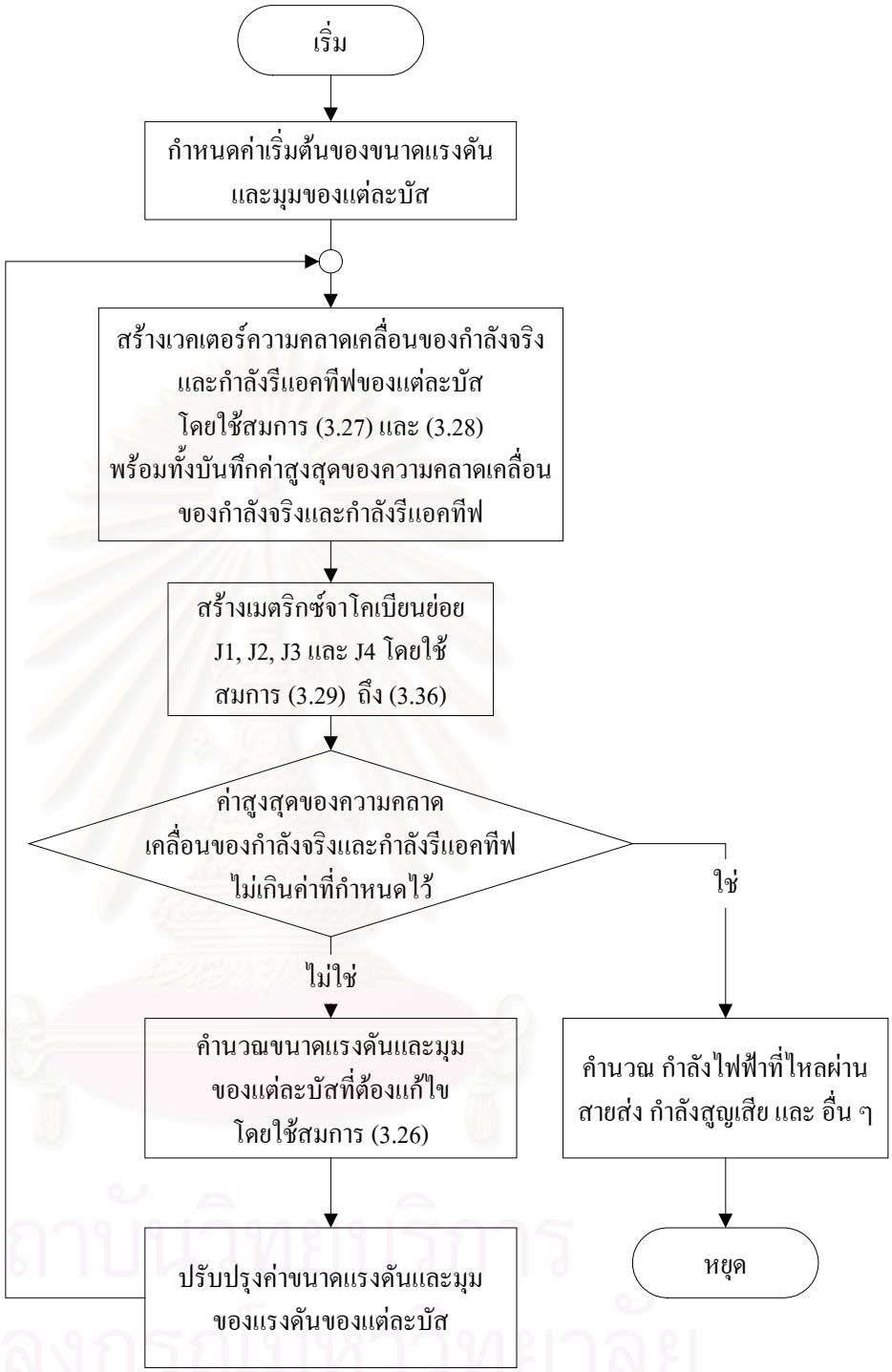
$$\frac{\partial P_i}{\left|\partial V_i\right|} = 2\left|V_i Y_{ii}\right| \cos\theta_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} \left|V_j Y_{ij}\right| \cos(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \tag{3.34}$$

$$\frac{\partial Q_i}{\left|\partial V_j\right|} = \left|V_i Y_{ij}\right| \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \tag{3.35}$$

$$\frac{\partial Q_i}{\left|\partial V_i\right|} = 2\left|V_i Y_{ii}\right| \sin\theta_{ii} + \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq i}}^{n} \left|V_i Y_{ij}\right| \sin(\theta_{ij} + \delta_i - \delta_j) \tag{3.36}$$

การคำนวณโหลดโฟลว์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันนั้นจำเป็นต้องทำการคำนวณสมการที่ (3.26) ซ้ำเพื่อหาค่าที่จะนำไปปรับเปลี่ยนค่ามุมกับขนาดแรงดันที่แต่ละบัสได้แก่ $\Delta\delta$ และ $\Delta|V|$ จากนั้นจึงนำไปใช้เป็นค่าเริ่มต้นสำหรับการคำนวณในรอบถัดไป จนกระทั่งค่าความคลาดเคลื่อนของกำลังจริงและกำลังรีแอคทีฟที่ทุกบัสในระบบน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ค่าหนึ่งจึงหยุดคำนวณ

จากขั้นตอนทั้งหมดดังกล่าวข้างต้นสามารถสรุปเป็นโฟลว์ชาร์ตแสดงขั้นตอนการคำนวณโหลดโฟลว์ตามวิธีนิวตัน-ราฟสัน ได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการคำนวณโหลดโฟลว์ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.2 การคำนวณออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ [4,15,16]

รูปแบบของปัญหาที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (3.37) – (3.40) โดยที่สมการ (3.38) คือ สมการสมดุลของกำลังไฟฟ้า (Power balance equation)

$$Min\sum_{g=1}^{N_g} C_g\left(P_g\right) \tag{3.37}$$

$$\sum_{d=1}^{N_d} P_d + P_l - \sum_{g=1}^{N_g} P_g = 0 \tag{3.38}$$

$$\left|P_t\right| \le P_{t,\lim it} \tag{3.39}$$

$$P_{g,\min} \le P_g \le P_{g,\max} \tag{3.40}$$

โดย N_g คือ จำนวนผู้จ่ายไฟฟ้า (เครื่องกำเนิดไฟฟ้า)

$C_g\left(P_g\right)$ คือ ราคาไฟฟ้าของผู้จ่ายไฟฟ้า g เมื่อจ่ายไฟฟ้าปริมาณ P_g

P_d คือ กำลังไฟฟ้าที่ต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า ในบัส d

N_d คือ จำนวนบัสของผู้ใช้ไฟฟ้า (โหลด)

P_l คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่สูญเสียทั้งหมดในระบบ

P_g คือ กำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า g ผลิต

$P_{g,\min}$ คือ พิกัดล่างของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า g

$P_{g,\max}$ คือ พิกัดบนของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า g

P_t คือ กำลังไฟฟ้าที่ไหลบนสายส่ง t

$P_{t,\lim it}$ คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าที่ไหลบนสายส่ง t

ปัญหาการคำนวณออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์ในสมการที่ (3.37) ถึง (3.40) สามารถแก้ได้โดยวิธีการคำนวณ ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 3.2.1 ซึ่งอนุพันธ์ของพจน์ $\partial P_l / \partial P_g$ และ $\partial P_t / \partial P_g$ สามารถคำนวณได้โดยวิธีการที่พัฒนาจาก [4] โดยอาศัยการวิเคราะห์ เอ.ซี. นิวตัน-ราฟสัน กับเทคนิคการหาอนุพันธ์แยกส่วนและเทคนิคกฎลูกโซ่ ดังแสดงต่อไป

1) การคำนวณสมการความไวของกำลังสูญเสียในระบบ

การคำนวณค่าความไวของกำลังสูญเสียในระบบโดยวิธีนี้จะใช้สมมติฐานว่ากำลังสูญเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบได้รับการชดเชยจากบัสต่างๆในระบบ ดังนั้นสามารถเขียนสมการแสดงการจ่ายกำลังไฟฟ้าของบัสต่างๆที่สัมพันธ์กับกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบได้ดังนี้

$$P_l = \left(P_1 - P_{1,load}\right) + \left(P_2 - P_{2,load}\right) + \ldots + \left(P_i - P_{i,load}\right) + \ldots + \left(P_N - P_{N,load}\right) \qquad (3.41)$$

โดยที่ P_i คือ กำลังไฟฟ้าจริงจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i

$P_{i,load}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ร่วมจ่ายให้โหลดในระบบโดยบัส i

P_l คือ กำลังไฟฟ้าจริงทั้งหมดที่สูญเสียในระบบ

สมการที่ (3.41) สามารถเขียนได้ในรูปของกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และปริมาณโหลด ณ แต่ละบัสได้เป็น

$$\sum_{i_g=1}^{N_g} P_{i_g} + \sum_{i_l=1}^{N_l} P_{i_l} = P_L$$

โดยที่ P_{i_g} คือ ปริมาณการผลิตจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ i_g

P_{i_l} คือ ปริมาณโหลดจากโหลดที่ i_l

N_g คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมดในระบบ

N_l คือ จำนวนโหลดทั้งหมดในระบบ

สมการดังกล่าวมีชื่อเรียกว่า สมการสมดุลกำลังไฟฟ้า (Power balance equation) และสามารถแทนผลรวมกำลังการผลิตและปริมาณโหลดด้านซ้ายของสมการด้วยสมการการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power flow equation) ของทุกบัสในระบบ ดังนี้

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\left|\mathrm{V}_i\right\|\mathrm{V}_j\left|y_{ij}\left[\cos\left(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}\right)\right] = P_{\mathrm{L}} \qquad (3.43)$$

เช่นเดียวกับการคำนวนโดยวิธีพิจารณาว่ากำลังสูญเสียในระบบได้รับการชดเชยจากบัสอ้างอิง โดยการใช้ทฤษฎีอนุพันธ์แยกส่วน (Partial differentiation) และกฎลูกโซ่ (Chain rule) จะได้

$$\frac{\partial \mathrm{P_L}}{\partial \delta_{\mathrm{m}}} = \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{N}}\left[\frac{\partial \mathrm{P_L}}{\partial \mathrm{P_i}} \cdot \frac{\partial \mathrm{P_i}}{\partial \delta_{\mathrm{m}}} + \frac{\partial \mathrm{P_L}}{\partial \mathrm{Q_i}} \cdot \frac{\partial \mathrm{Q_i}}{\partial \delta_{\mathrm{m}}}\right] \qquad (3.44)$$

และ

$$\frac{\partial P_L}{\partial |V_m|} = \sum_{i=1}^{N}\left[\frac{\partial P_L}{\partial P_i}\cdot\frac{\partial P_i}{\partial |V_m|} + \frac{\partial P_L}{\partial Q_i}\cdot\frac{\partial Q_i}{\partial |V_m|}\right] \tag{3.45}$$

ซึ่งสามารถเขียนในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_L}{\partial \delta_m} \\ \frac{\partial P_L}{\partial |V_m|} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_i}{\partial \delta_m} & \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_m} \\ \frac{\partial P_i}{\partial |V_m|} & \frac{\partial Q_i}{\partial |V_m|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_L}{\partial P_i} \\ \frac{\partial P_L}{\partial Q_i} \end{bmatrix} \tag{3.46}$$

โดยที่ $\frac{\partial P_i}{\partial \delta_m}$, $\frac{\partial P_i}{\partial |V_m|}$, $\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_m}$, $\frac{\partial Q_i}{\partial |V_m|}$ คือ สมาชิกในเมตริกซ์จาโคเบียน ดังนั้นสมการที่ (3.46) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

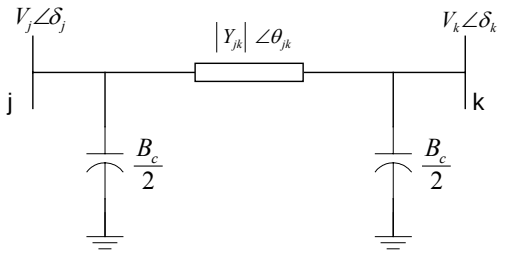
$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_L}{\partial \delta_m} \\ \frac{\partial P_L}{\partial |V_m|} \end{bmatrix} = \left[J^T\right] \begin{bmatrix} \frac{\partial P_L}{\partial P_i} \\ \frac{\partial P_L}{\partial Q_i} \end{bmatrix} \tag{3.47}$$

ดังนั้นค่าความไวของกำลังสูญเสียในระบบเมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้าสุทธิที่จ่ายเข้าบัสต่างๆ คือ

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_L}{\partial P_i} \\ \frac{\partial P_L}{\partial Q_i} \end{bmatrix} = \left[J^T\right]^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_L}{\partial \delta_m} \\ \frac{\partial P_L}{\partial |V_m|} \end{bmatrix} \tag{3.48}$$

โดย P_L ในสมการด้านขวาคือสมการที่ (3.43)

2) การคำนวณความไวของกำลังไฟฟ้าที่ไหลบนสายส่งเมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้าสุทธิที่จ่ายเข้าบัสต่างๆ โดยการพิจารณาสายส่ง ซึ่งต่ออยู่ที่บัส j และ k ดังแสดงในรูปที่ 3.5 สมการของกำลังปรากฏที่ไหลในสายส่งแสดงดังสมการที่ (3.49)



รูปที่ 3.5 แบบจำลองสายส่ง

$$S_{jk}=|V_j|^2|Y_{jk}|\angle-\theta_{jk}-|V_j||V_k||Y_{jk}|\angle\delta_j-\delta_k-\theta_{jk}+j\frac{B_c}{2}|V_j|^2 \tag{3.49}$$

จะได้ส่วนจริงในสมการ (3.52) เป็นดังนี้

$$P_{jk}=|V_j|^2|Y_{jk}|\cos(\theta_{jk})-|V_j||V_k||Y_{jk}|\cos(\delta_j-\delta_k-\theta_{jk}) \tag{3.50}$$

โดยที่ S_{jk} คือ กำลังปรากฏที่ไหลในสายส่ง j-k

P_{jk} คือ กำลังจริงที่ไหลในสายส่ง j-k

$|V_j|,|V_k|$ คือ ขนาดแรงดันที่บัส j และ k ตามลำดับ

δ_j,δ_k คือ มุมของแรงดันที่บัส j และ k ตามลำดับ

$Y_{jk}\angle\theta_{jk}$ คือ ค่าแอดมิตแตนซ์ ของสายส่ง

B_c คือ ค่าซัสเซพแตนท์ของตัวอัดประจุสายส่ง

เช่นเดียวกับการคำนวณความไวของกำลังสูญเสียในระบบ สามารถคำนวณความไวของกำลังไฟฟ้าที่ไหลบนสายส่งเมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้าสุทธิที่จ่ายเข้าบัสต่างๆ ได้ดังนี้

โดยการใช้ทฤษฎีอนุพันธ์แยกส่วน และกฎลูกโซ่ จะได้

$$\frac{\partial P_{jk}}{\partial \delta_m}=\sum_{i=1}^{N}\left[\frac{\partial P_{jk}}{\partial P_i}\cdot\frac{\partial P_i}{\partial \delta_m}+\frac{\partial P_{jk}}{\partial Q_i}\cdot\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_m}\right] \tag{3.51}$$

และ

$$\frac{\partial P_{jk}}{\partial |V_m|}=\sum_{i=1}^{N}\left[\frac{\partial P_{jk}}{\partial P_i}\cdot\frac{\partial P_i}{\partial |V_m|}+\frac{\partial P_{jk}}{\partial Q_i}\cdot\frac{\partial Q_i}{\partial |V_m|}\right] \tag{3.52}$$

โดยที่ N คือ จำนวนบัสในระบบไฟฟ้า

P_i คือ กำลังไฟฟ้าจริงสุทธิที่ฉีดเข้าบัสที่ i

Q_i คือ กำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟสุทธิที่ฉีดเข้าบัสที่ i

δ_m คือ มุมของแรงดันไฟฟ้าที่บัส m

$|V_m|$ คือ ขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส m

ซึ่งสามารถเขียนในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_{jk}}{\partial \delta_m} \\ \frac{\partial P_{jk}}{\partial |V_m|} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_i}{\partial \delta_m} & \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_m} \\ \frac{\partial P_i}{\partial |V_m|} & \frac{\partial Q_i}{\partial |V_m|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{jk}}{\partial P_i} \\ \frac{\partial P_{jk}}{\partial Q_i} \end{bmatrix}$$

โดยที่ $\frac{\partial P_i}{\partial \delta_m}$, $\frac{\partial P_i}{\partial |V_m|}$, $\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_m}$, $\frac{\partial Q_i}{\partial |V_m|}$ คือ สมาชิกในเมตริกซ์จาโคเบียน ดังนั้นสมการที่ (3.53) สามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_{jk}}{\partial \delta_m} \\ \frac{\partial P_{jk}}{\partial |V_m|} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{jk}}{\partial P_i} \\ \frac{\partial P_{jk}}{\partial Q_i} \end{bmatrix} \quad (3.5$$

ดังนั้นค่าความไวของกำลังไฟฟ้าที่ไหลบนสายส่งเมื่อเทียบกับกำลังไฟฟ้าสุทธิที่จ่ายเข้าบัสต่างๆ คือ

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial P_{jk}}{\partial P_i} \\ \frac{\partial P_{jk}}{\partial Q_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J^T \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{jk}}{\partial \delta_m} \\ \frac{\partial P_{jk}}{\partial |V_m|} \end{bmatrix} \quad (3.55)$$

โดยที่ $\frac{\partial P_{jk}}{\partial P_i}$ คือ ค่าความไวของกำลังไฟฟ้าที่ไหลบนสายส่ง j-k เทียบกับกำลังไฟฟ้าจริงสุทธิที่จ่ายเข้าบัส i

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$\frac{\partial P_{jk}}{\partial Q_i}$ คือ ค่าความไวของกำลังไฟฟ้าที่ไหลบนสายส่ง j-k เทียบกับกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟสุทธิที่จ่ายเข้าบัส i

สมการที่ (3.55) สามารถหาคำตอบได้โดยการแทนค่าอินเวอร์สของเมตริกซ์จาโคเบียน และ ค่าการหาอนุพันธ์แยกส่วนของกำลังไฟฟ้าที่ไหลบนสายส่งเทียบกับมุมและขนาดของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งค่าการหาอนุพันธ์แยกส่วนดังกล่าวสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3.50) ดังแสดง

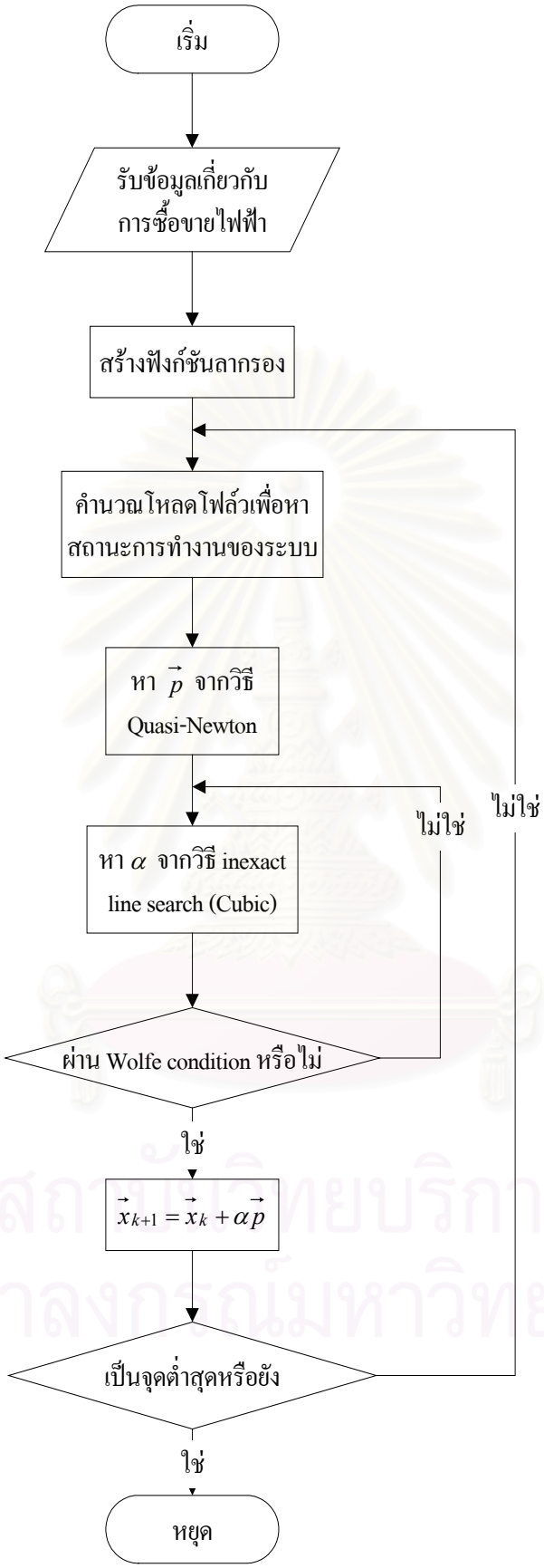
$$\frac{\partial P_{jk}}{\partial \delta_m} = \begin{cases} 0 & \text{for } m \neq j \text{ and } k \\ |V_j||V_k||Y_{jk}|\sin(\delta_j - \delta_k - \theta_{jk}) & \text{for } m = j \\ -|V_j||V_k||Y_{jk}|\sin(\delta_j - \delta_k - \theta_{jk}) & \text{for } m = k, \end{cases} \tag{3.56}$$

และ

$$\frac{\partial P_{jk}}{\partial |V_m|} = \begin{cases} 0 & \text{for } m \neq j \text{ and } k \\ 2|V_j||Y_{jk}|\cos(\theta_{jk}) - |V_j||Y_{jk}|\cos(\delta_j - \delta_k - \theta_{jk}) & \text{for } m = j \\ -|V_j||Y_{jk}|\cos(\delta_j - \delta_k - \theta_{jk}) & \text{for } m = k \end{cases} \tag{3.57}$$

ขั้นตอนการคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการคำนวณออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสนใจเฉพาะการจัดสรรกำลังการผลิตด้วยวิธีออปติมัลเพาเวอร์โฟวล์ เพื่อนำไปใช้เป็นกลไกการตัดสินใจของศูนย์ควบคุมระบบ เนื่องจากวิธีออฟติมัลเพาเวอร์โฟวล์สามารถให้คำตอบที่เป็นค่าเหมาะสมที่สุดของระบบ แม้ว่าในปัจจุบันยังมีปัญหาเกี่ยวกับระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณกับระบบขนาดใหญ่ อย่างไรก็ดีเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ได้รับการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว จึงคาดว่าในอนาคตอันใกล้ คอมพิวเตอร์จะจะสามารถคำนวณระบบไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่ได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ทฤษฎีพื้นฐานและการประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึม

ในช่วงแรก เจนเนติกอัลกอริทึมเป็นกระบวนวิธีซึ่งได้รับการพัฒนาโดย J.H. Holland [8] และเป็นกระบวนวิธีหนึ่งสำหรับใช้ในการหาค่าเหมาะสมที่สุด ซึ่งมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบดั้งเดิม คือ สามารถแก้ปัญหาในปริภูมิที่ไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous search space) ได้และไม่จำเป็นต้องทราบข้อมูลเกี่ยวกับอนุพันธ์ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปัญหา แต่มีข้อเสีย คือ ต้องอาศัยการวนซ้ำคำนวณหลายๆ รอบจึงทำให้ต้องใช้เวลาในการคำนวณนาน อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ได้มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและต่อเนื่อง ทำให้เจนเนติกอัลกอริทึมได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับ ดังเห็นได้จากการนำเจนเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาค่าเหมาะสมที่สุด เช่น การใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการหาค่าเหมาะสมที่สุดของระบบไฟฟ้า (Optimum power flow)[17], การสร้างแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์เพื่อศึกษาการแข่งขันในตลาดโดยใช้เจนเนติกอัลกอริทึมเป็นกระบวนการเรียนรู้ [21] เป็นต้น

4.1 ทฤษฎีพื้นฐาน[18]

เจนเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการค้นหาคำตอบแบบสุ่มเห็น (Stochastic search) ที่มีแนวความคิดในการคำนวณที่เลียนแบบมาจากการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต โดยจะใช้หลักของการอยู่รอดของผู้ที่มีความแข็งแกร่งที่สุดซึ่งผู้ที่แข็งแกร่งที่สุดจะได้รับการคัดเลือกเพื่อสืบพันธุ์ให้กำเนิดลูกที่มีความแข็งแกร่งต่อไป

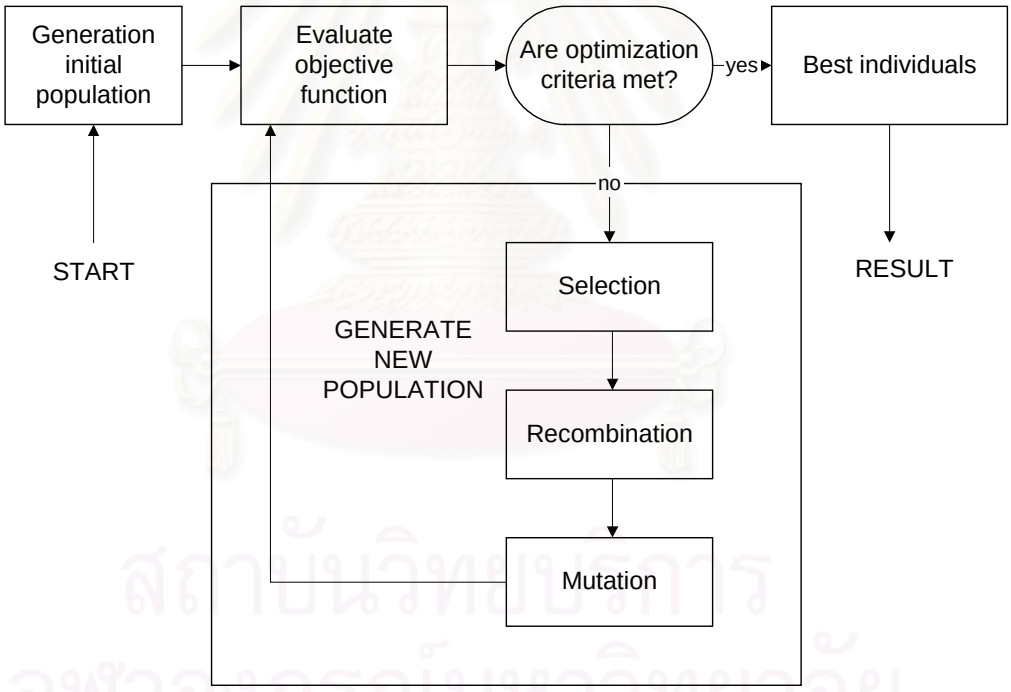
กระบวนการดังกล่าวเป็นกระบวนการที่ดำเนินต่อเนื่องไปเรื่อยๆ เพื่อสืบทอดคุณลักษณะและพัฒนาให้เผ่าพันธุ์มีความแข็งแกร่งหรือมีความสามารถที่จะดำรงชีวิตอยู่ภายใต้สิ่งแวดล้อมนั้นมากยิ่งขึ้น ในทำนองเดียวกันหากเมื่อนำแนวคิดนี้มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization problem) โดยมีขั้นตอนเริ่มจากการสุ่มสร้างประชากรในกลุ่มขึ้น จากนั้นก็คำนวณค่าความแข็งแกร่ง (Fitness) ของประชากรแต่ละตัวจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะเปรียบเสมือนกับดัชนีที่ใช้บ่งชี้ถึงความสามารถในการดำรงชีวิตอยู่ภายใต้สิ่งแวดล้อม จากนั้นทำการเลือกสรรประชากรที่มีความแข็งแกร่งเพื่อนำมาให้กำเนิดประชากรรุ่นถัดไป การให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่ในกลุ่มจะเกิดจากการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างรุ่นพ่อแม่ที่ได้รับการคัดสรรมาแล้ว โดยอาศัยสมมุติฐานที่ว่า เมื่อนำข้อมูลจากรุ่นพ่อรุ่นแม่ที่มีความแข็งแกร่งมาผสมกันแล้วย่อมมี

โอกาศที่จะได้รุ่นลูกที่มีความแข็งแกร่งยิ่งขึ้น ซึ่งคล้ายกับการแลกเปลี่ยนรหัสทางพันธุกรรมของยีน (Gene) ของสิ่งมีชีวิตในธรรมชาติ จากนั้นนำประชากรรุ่นใหม่ที่เกิดขึ้นไปแทนที่ประชากรเดิมบางตัวหรือทุกตัวในกลุ่ม ทำขั้นตอนเหล่านี้ซ้ำไปเรื่อยจนกระทั่งได้ผลตอบที่เป็นค่าเหมาะสมที่สุด

เจนเนติกอัลกอริทึม สามารถแบ่งขั้นตอนออกเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. *การเลือกสรร (Selection)*
2. *การแลกเปลี่ยนข้อมูล (Recombination/Crossover)*
3. *การกลายพันธุ์หรือการผ่าเหล่า (Mutation)*
4. *การแทนที่ (Reinsertion)*

ขั้นตอนการคำนวณสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครงสร้างการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึม

ที่จุดเริ่มต้นของการคำนวณ ค่าตัวเลขในแต่ละประชากรในกลุ่มจะถูกสุ่มขึ้นทั้งหมดและจะใช้ฟังก์ชันจุดประสงค์ในการหาค่าความแข็งแกร่งในแต่ละประชากร หากยังไม่สอดคล้องกับเงื่อนไขในการหาค่าเหมาะสมที่สุดแล้ว ก็จะทำการคำนวณรอบใหม่ โดยเริ่มจากการคัดเลือกผู้ที่มีความ

แข็งแกร่ง เพื่อนำมาให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่ ซึ่งประชากรรุ่นใหม่ที่เกิดขึ้นนี้จะต้องผ่านขั้นตอนการผ่าเหล่า โดยมีโอกาสที่จะเกิดการผ่าเหล่าต่ำ จากนั้นประชากรรุ่นใหม่จะถูกนำไปแทนที่ในประชากรรุ่นก่อน แล้วก็จะตรวจสอบกับเงื่อนไขในการหาค่าเหมาะสมที่สุด ถ้ายังไม่สอดคล้องก็จะดำเนินการใหม่ตั้งแต่ขั้นตอนการคัดสรร ผสมพันธุ์ กลายพันธุ์ และการแทนที่ เพื่อสร้างกลุ่มประชากรรุ่นถัดไปเรื่อย จนกระทั่งสอดคล้องกับเงื่อนไขการหาค่าเหมาะสมที่สุด

เมื่อพิจารณากระบวนการคิดของเจนเนติกอัลกอริทึม พบว่ามีความแตกต่างจากวิธีการคำนวณหาค่าเหมาะสมที่สุดในแบบดังเดิม ดังนี้

1. เจนเนติกอัลกอริทึมจะคำนวณข้อมูลหลายๆ จุดพร้อมกัน ในขณะที่วิธีดังเดิมจะคำนวณทีละจุด
2. เจนเนติกอัลกอริทึมไม่ต้องการทราบข้อมูลของค่าอนุพันธ์ของฟังก์ชันจุดประสงค์ สมการเงื่อนไข และ อสมการเงื่อนไข
3. เจนเนติกอัลกอริทึมใช้หลักการของความน่าจะเป็นเข้าช่วยในการแก้ปัญหา

ขั้นตอนต่างๆ ในการคำนวณสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

4.1.1 *การเลือกสรร (Selection)*

การเลือกสรร (Selection) เป็นขั้นตอนสำหรับเลือกประชากรเพื่อใช้ในการให้กำเนิดประชากรรุ่นถัดไป โดยในขั้นแรกจะต้องหาค่าความแข็งแกร่ง (Fitness) ของประชากรแต่ละตัวในกลุ่มจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ จากนั้นจึงเลือกประชากรเพื่อนำมาใช้ในการกำเนิดรุ่นถัดไป โดยการเลือกสรรแต่ละวิธีจะอยู่ในหลักการที่ว่า ประชากรที่มีความแข็งแกร่งมากกว่าย่อมมีโอกาสได้รับการคัดเลือกเพื่อนำไปให้กำเนิดรุ่นถัดไปมากกว่า วิธีการเลือกสรรมีหลากหลายวิธี ดังนี้

1) Roulette-wheel selection

Roulette-wheel selection เป็นกระบวนการเลือกสรรแบบ Stochastic sampling ซึ่งมีกระบวนการดังนี้

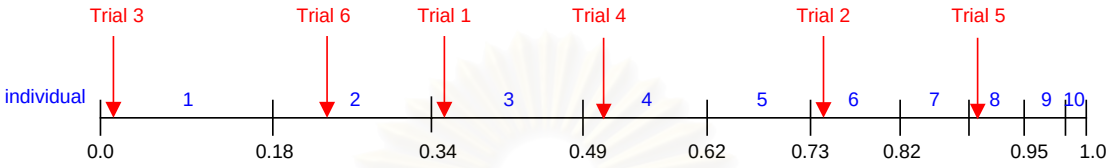
1.1) นำประชากรแต่ละตัวมาเรียงต่อกันเป็นเส้นตรงความยาวตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยให้ช่วงความยาวของเส้นตรงของแต่ละประชากรขึ้นกับค่าความแข็งแกร่ง คือ หากมีความแข็งแกร่งมาก ก็จะมีช่วงความยาวบนเส้นตรงที่สร้างขึ้นแทนค่าของประชากรตัวนั้นยาว

1.2) สุ่มตัวเลขขึ้นมาเพื่อใช้เป็นตัวชี้ไปยังตำแหน่งบนเส้นตรง

1.3) หากตัวชี้ชี้ไปยังประชากรตัวใดแล้วก็ถือว่าประชากรตัวนั้นเป็นผู้ที่ถูกเลือกเพื่อใช้ในการให้กำเนิดรุ่นถัดไป

1.4) ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1.1) ถึง 1.3) จนกระทั่งได้ประชากรครบจำนวนที่จะใช้ในการกำเนิดรุ่นถัดไป

การเลือกสรรประชากรวิธี Roulette-wheel selection จากการสุ่ม 6 ครั้ง สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการเลือกสรรประชากรแบบ Roulette-wheel selection

2) Stochastic universal sampling

Stochastic universal sampling เป็นการเลือกสรรโดยจะดำเนินการคล้ายๆ กับวิธี Roulette-Wheel Selection แตกต่างกันเพียงในขั้นตอนสร้างตัวชี้ ซึ่งในวิธีนี้จะให้ระยะห่างระหว่างตัวชี้คงที่ ซึ่งสามารถแสดงเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

2.1) นำประชากรแต่ละตัวมาเรียงต่อกันเป็นเส้นตรงความยาวตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยให้ช่วงความยาวของเส้นตรงของแต่ละประชากรขึ้นกับค่าความแข็งแกร่ง

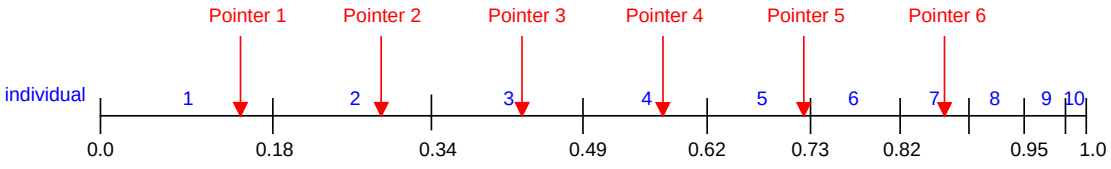
2.2) สร้างตัวชี้ โดยจำนวนตัวชี้จะเท่ากับจำนวนประชากรที่ต้องการใช้ในการกำเนิดรุ่นถัดไป และตัวชี้แต่ละตัวจะชี้ไปยังตำแหน่ง $\frac{1}{\text{Npoint}} * \text{order}$

เมื่อ Npoint คือ จำนวนตัวชี้ ซึ่งจะเท่ากับจำนวนรุ่นพ่อแม่ที่จะใช้ในการให้กำเนิดรุ่นถัดไป

order คือ ลำดับตัวชี้ มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง Npoint

2.3) หากตัวชี้ชี้ไปยังประชากรตัวใดแล้วก็ถือว่าประชากรตัวนั้นเป็นผู้ที่ถูกเลือกเพื่อใช้ในการให้กำเนิดรุ่นถัดไป

การเลือกสรรประชากรวิธี Stochastic universal sampling จากจำนวนตัวชี้ 6 ตัว สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการเลือกสรรประชากรแบบ Stochastic universal sampling

3) Local selection

Local selection เป็นวิธีการเลือกสรรที่จะสนใจเฉพาะประชากรที่อยู่ในย่าน (Neighborhood) ที่กำหนด ซึ่งแตกต่างจาก 2 วิธีแรก (2 วิธีแรก ย่านที่กำหนดจะเป็นทุกประชากรในกลุ่ม) โดยย่านที่กำหนดนี้จะขึ้นอยู่กับโครงสร้างของประชากรแต่ละตัวที่เรียงต่อกันอยู่ และระยะห่าง (Distance) ที่กำหนดหรืออาจกล่าวได้ว่า ย่าน คือ กลุ่มย่อยของประชากรที่เราสนใจเลือก ซึ่งเหมาะกับการวิเคราะห์ปัญหาที่ต้องใช้จำนวนประชากรมากและสามารถแสดงเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

3.1) เลือกประชากรที่อยู่ในกลุ่ม อาจใช้วิธีสุ่มโดยตรงหรือใช้วิธีการเลือกแบบ Roulette-wheel selection หรือ Stochastic universal sampling ก็ได้

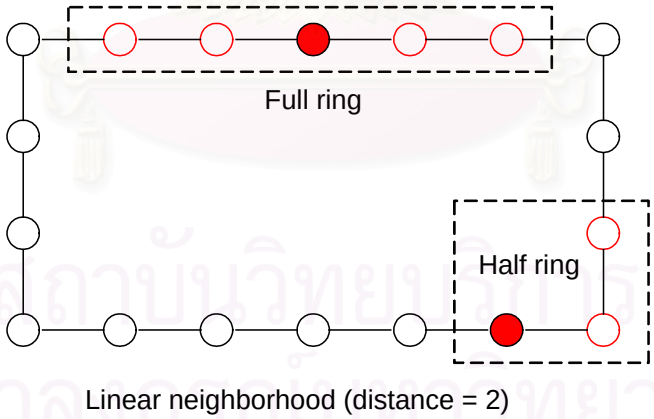
3.2) กำหนดย่านของประชากรที่ถูกเลือกนี้ พร้อมทั้งกำหนดระยะห่างที่พิจารณา

3.3) ในย่านที่กำหนด เลือกประชากรตัวที่มีความแข็งแกร่งที่สุด เพื่อนำมาใช้ในการให้กำเนิดประชากรรุ่นถัดไป

3.4) ทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3.1) ถึง 3.3) จนกระทั่งได้ประชากรครบจำนวนที่จะใช้ในการกำเนิดรุ่นถัดไป

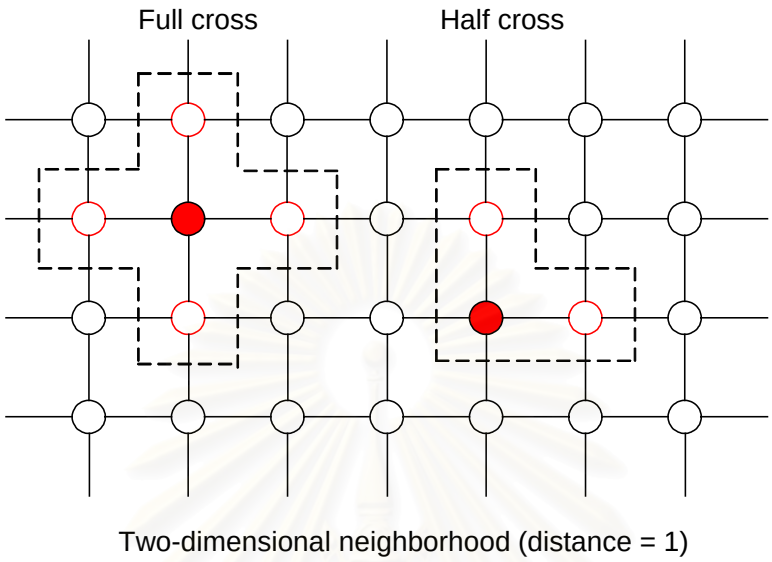
รูปแบบของย่านที่กำหนดจะมีรูปแบบดังนี้

1. Linear จะแบ่งออกเป็น Full ring และ Half ring ดังรูปที่ 4.4

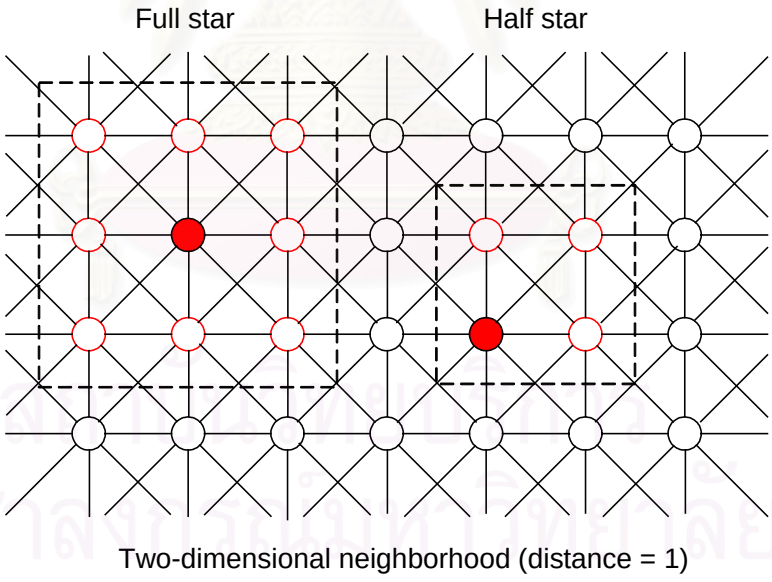


รูปที่ 4.4 ย่านในแบบ Linear ลักษณะ Full ring และ Half ring

2. Two-dimensional จะแบ่งออกเป็น Full cross, Half cross, Full star และ Half star ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.5 ย่านในแบบ Two-dimensional ลักษณะ Full cross และ Half cross



รูปที่ 4.6 ย่านในแบบ Two-dimensional ลักษณะ Full star และ Half star

3. Three-dimensional และวิธีอื่นๆที่มีความซับซ้อนกว่า 2 แบบข้างต้น

ระยะห่าง(Distance) จะเป็นค่าที่กำหนดจำนวนประชากรในย่านซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและระยะห่าง

Structure	Distance	
	1	2
Full ring	2	4
Half ring	1	2
Full cross	4	8(12)
Half cross	2	4(5)
Full star	8	24
Half star	3	8

4) Truncation selection

Truncation selection เป็นวิธีที่คัดเลือกประชากรที่จะใช้ในการให้กำเนิดรุ่นลูก โดยการตัดประชากรที่มีความแข็งแกร่งน้อยๆ ออกไปก่อน ซึ่งประชากรที่มีความแข็งแกร่งเกินกว่าค่าขีดจำกัดที่กำหนด (Threshold) เท่านั้นจึงจะมีสิทธิในการได้รับเลือกให้กำเนิดรุ่นลูกต่อไป

5) Tournament selection

Tournament selection จะเป็นการคัดสรรโดยจัดกลุ่มย่อยแบบสุ่มให้กับประชากร และประชากรที่มีความแข็งแกร่งที่สุดในกลุ่มย่อยก็จะได้เป็นผู้ที่ถูกเลือกให้กำเนิดรุ่นลูกต่อไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.2 *การแลกเปลี่ยนข้อมูล (Recombination/Crossover)*

การแลกเปลี่ยนข้อมูล (Recombination/Crossover) เป็นขั้นตอนที่ใช้สร้างประชากรรุ่นใหม่ โดยอาศัยการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างผู้ให้กำเนิด (Parents) ซึ่งขั้นตอนการแลกเปลี่ยนข้อมูลสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

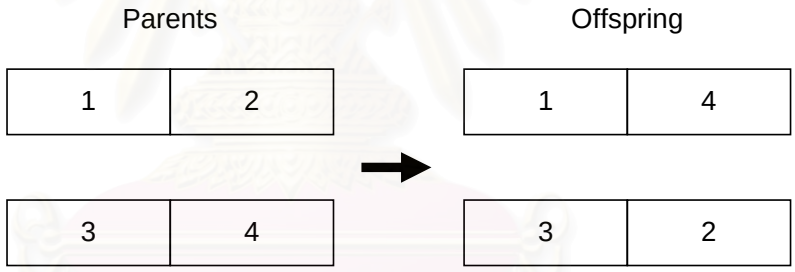
1. Real valued recombination

รายละเอียดของวิธีในกลุ่มนี้ จะไม่กล่าวในที่นี้ แต่สามารถหารายละเอียดได้จาก [18]

2. Binary valued recombination (Crossover)

1) Single-point crossover

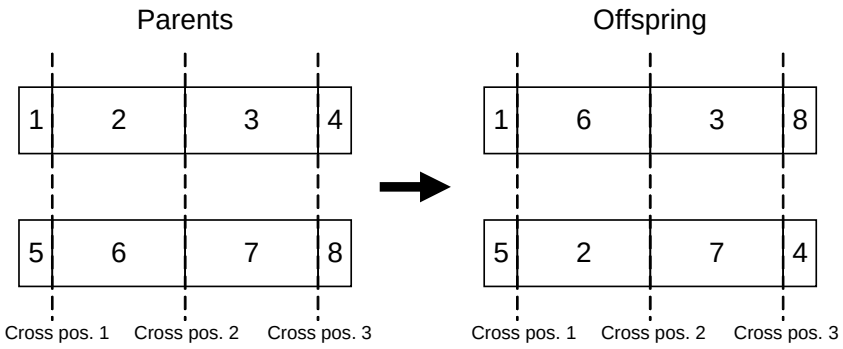
Single-point crossover เป็นกระบวนการที่เริ่มต้นจากการสุ่มตัวเลขที่ใช้แทนตำแหน่งในการตัดต่อข้อมูลจากผู้ให้กำเนิดมายังรุ่นลูก ซึ่งจุดตัดต่อจะเลือกมาเพียงจุดเดียวเท่านั้น การตัดต่อสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 Single-point crossover

2) Multi-point crossover

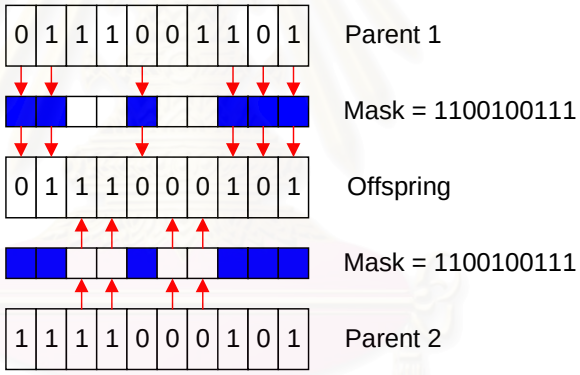
Multi-point crossover เป็นกระบวนการที่คล้ายกับวิธี Single-point crossover แตกต่างกันที่ ในวิธีนี้จะสุ่มตัวเลขเพื่อใช้ในการตัดต่อข้อมูลจากผู้ให้กำเนิดมายังรุ่นลูกหลายจุด ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 Multi-point crossover แบบใช้จุดตัด 3 จุด

3) Uniform crossover

Uniform crossover เป็นวิธีการ Crossover ที่ไม่กำหนดจำนวนจุดตัดที่ใช้ตัดต่อผู้ให้กำเนิด การตัดต่อจะกระทำโดยการสุ่มหน้าต่าง (Mask) จากนั้นอาศัยหน้าต่างที่สุ่มขึ้นในการเลือกแต่ละบิต สำหรับรุ่นลูก ดังแสดงในรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 Uniform crossover

4) Shuffle crossover

Shuffle crossover เป็นวิธีที่คล้ายกับการ Crossover ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น แตกต่างกันที่ก่อนการนำข้อมูลของผู้ให้กำเนิดมาแลกเปลี่ยนกันเพื่อให้กำเนิดรุ่นลูก จะต้องสลับตำแหน่งบิต ก่อนการแลกเปลี่ยนข้อมูล เพื่อลดผลของความสำคัญของลำดับข้อมูล เมื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลเสร็จแล้วก็จะจัดลำดับบิตตามเดิม

4.1.3 *การกลายพันธุ์หรือการผ่าเหล่า (Mutation)*

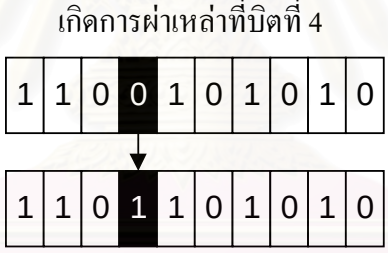
ขั้นตอนนี้จะเปรียบเหมือนการผ่าเหล่าของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ซึ่งกระบวนการนี้จะใช้กับประชากรที่เกิดขึ้นใหม่เท่านั้น ถ้าหากเปรียบเทียบกับการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่จะทำให้มีโอกาสที่ผลตอบจะลู่เข้าสู่จุดคำตอบในช่วงอื่นๆ ที่มีค่าดีกว่าเพราะปัญหาในบางครั้งอาจจะมีจุดคำตอบหลายจุดก็ได้ (Sub-optimum) กระบวนการนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

1) Real valued mutation

รายละเอียดของวิธีในกลุ่มนี้จะไม่ขอกล่าวในที่นี้ แต่จะค้นคว้าได้ใน [18]

2) Binary mutation

การผ่าเหล่า สำหรับข้อมูลแบบไบนารี จะหมายถึงการเปลี่ยนค่าบิตจาก 0 ไป 1 หรือ 1 ไป 0 ด้วยโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ผ่าเหล่าน้อยๆ การผ่าเหล่าของข้อมูลสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ตัวอย่างแสดงการผ่าเหล่าของข้อมูล

4.1.4 *การแทนที่ (Reinsertion)*

ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนการแทนที่ประชากรรุ่นใหม่ที่เกิดขึ้นในประชากรเดิม ซึ่งแบ่งวิธีการแทนที่สามารถแสดงได้ดังนี้

1) Pure reinsertion คือ การแทนที่ประชากรเดิมทั้งหมดด้วยประชากรรุ่นใหม่ที่เกิดขึ้น

2) Uniform reinsertion คือ การแทนที่ประชากรเดิมบางส่วนด้วยประชากรรุ่นใหม่ที่เกิดขึ้นด้วยการสุ่ม วิธีการนี้ในบางครั้งทำให้ประชากรรุ่นเดิมที่มีความแข็งแกร่งถูกแทนที่ด้วยประชากรรุ่นใหม่ ซึ่งเป็นผลให้ข้อมูลบางส่วนหายไป

3) Elitist reinsertion คือ การแทนที่ประชากรเดิมบางส่วนด้วยประชากรรุ่นใหม่ที่เกิดขึ้นโดยการแทนที่จะเริ่มจากการเรียงประชากรรุ่นเดิมตามค่าความแข็งแกร่งแล้วจึงแทนประชากรรุ่น

ใหม่ลงไปในตำแหน่งที่มีความแข็งแกร่งน้อยที่สุด แทนไปเรื่อยๆ จนกระทั่งประชากรรุ่นใหม่ที่สร้างขึ้นถูกแทนที่ลงไปจนหมด

4) Fitness-based reinsertion คือ การแทนที่ประชากรเดิมบางส่วนหรือทั้งหมดด้วยประชากรรุ่นใหม่ที่มีความแข็งแกร่ง นั่นคือ ประชากรรุ่นใหม่ที่เกดขึ้นมีเฉพาะส่วนที่มีความแข็งแกร่งเท่านั้นจึงจะมีสิทธิเข้าแทนที่ประชากรในกลุ่มเดิม ขั้นตอนการแทนที่จะเริ่มจากการคัดเฉพาะประชากรรุ่นใหม่ที่มีความแข็งแกร่ง จากนั้นจึงนำไปแทนที่ในประชากรเดิม

4.2 การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึม

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการสร้างกลไกการตัดสินใจของประชากรในตลาดแต่ละราย ทำให้ประชากรที่จำลองขึ้นมีกระบวนการคิดในการเสนอราคาเพื่อซื้อหรือขายไฟฟ้า และสามารถปรับราคาที่ซื้อขายให้เหมาะสมตามสภาวะของตลาดขณะนั้น ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้เจนเนติกอัลกอริทึมเป็นกลไกการตัดสินใจ เนื่องจากในสภาวะการแข่งขันในตลาด จะมีรูปแบบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์เป็นฟังก์ชันที่ไม่ต่อเนื่องและไม่สามารถหาอนุพันธ์ได้

ประชากรในตลาดที่จำลองขึ้นนี้จะใช้เป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์ผลการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดซึ่งจะกล่าวในบทที่ 5 และ 6 ต่อไป

ขั้นตอนการตัดสินใจของประชากรแต่ละราย มีขั้นตอนดังนี้

1) การสร้างประชากรเริ่มต้น

การสร้างประชากรในรอบแรกจะทำโดยการสุ่มสร้างประชากร (Populations) 20 ตัว เพื่อแทนราคาที่อาจจะใช้ในการเสนอราคาจำนวน 20 ค่า โดยในประชากรแต่ละตัวจะประกอบด้วยเลขฐาน 2 จำนวน 10 หลัก เช่น 1001101010 เป็นต้น โดยราคาของประชากรแต่ละตัวคำนวณจากสมการที่ (4.1) และ (4.2)

ราคาในการเสนอขาย

$$Price_1 = \frac{n}{1023} \times Range + k_1 \qquad (4.1)$$

ราคาในการเสนอซื้อ

$$Price_2 = k_2 - \frac{n}{1023} \times Range \qquad (4.2)$$

โดย $Price_1$ คือ ราคาการเสนอขายของประชากรตัวนั้น

$Price_2$ คือ ราคาการเสนอซื้อของประชากรตัวนั้น

n คือ ตัวเลขที่ได้จากการแปลงเลขฐาน 2 จำนวน 10 หลักเป็นเลขฐาน 10 ซึ่งมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1023

$Range$ คือ ความกว้างของช่วงราคาที่สามารถเสนอซื้อขายได้

k_1 คือ ค่าคงที่ซึ่งแสดงถึงราคาต่ำสุดที่สามารถเสนอขายได้

k_2 คือ ค่าคงที่ซึ่งแสดงถึงราคาสูงสุดที่สามารถเสนอซื้อได้

การกำหนดตัวเลขฐาน 2 จำนวน 10 หลัก แทนประชากรแต่ละตัว ทำให้เสมือนว่ามีรูปแบบการเสนอราคาที่แตกต่างกันได้ถึง 1024 รูปแบบ

2) การรับข้อมูล

ข้อมูลที่ประชากรแต่ละรายจะได้รับ คือ ข้อมูลการซื้อขายของตลาดในรอบที่ผ่านมาเท่านั้น โดยจะไม่ทราบราคาไฟฟ้าที่ประชากรรายอื่นที่จะเสนอในรอบถัดมา

3) การประมวลผลข้อมูลเพื่อหาราคาที่เสนอในรอบต่อไป

3.1) หาค่าความเหมาะสมของราคาหรือหาค่าความแข็งแกร่งของแต่ละประชากร ซึ่งในที่นี้จะหาจากฟังก์ชันกำไร โดยจะให้ระดับราคาที่สร้างกำไรสูงจะมีความแข็งแกร่งสูง และ ราคาที่สร้างกำไรต่ำจะมีความแข็งแกร่งต่ำ กำไรของประชากรแต่ละตัวสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4.3), (4.4) และ (4.5) เมื่อเป็นกำไรสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้า และ สมการที่ (4.3), (4.6) และ (4.7) เมื่อเป็นกำไรสำหรับผู้ค้าปลีกไฟฟ้า

$$\text{กำไร} = \text{รายรับ} - \text{รายจ่าย} \tag{4.3}$$

$$\text{รายรับของผู้ผลิตไฟฟ้า} = \text{พลังงานไฟฟ้าที่ขายให้กับผู้ค้าปลีกไฟฟ้า} \times \text{ราคาขายของผู้ผลิตไฟฟ้า} \tag{4.4}$$

$$\text{รายจ่ายของผู้ผลิตไฟฟ้า} = \text{ต้นทุนการผลิต}$$

$$= 0.00482P^2 + 7.97P + 78 \tag{4.5}$$

$$\text{รายรับของผู้ค้าปลีกไฟฟ้า} = \text{พลังงานที่ขายให้ผู้ใช้ไฟฟ้า} \times \text{ราคาที่ขายให้ผู้ใช้ไฟฟ้า} \tag{4.6}$$

$$\text{รายจ่ายของผู้ค้าปลีกไฟฟ้า} = \text{พลังงานที่ซื้อจากผู้ผลิตไฟฟ้า} \times \text{ราคาที่ซื้อจากผู้ผลิตไฟฟ้า} \tag{4.7}$$

3.2) การเลือกสรร

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้วิธีการคัดสรรแบบทัวนาเมนต์ (Tournament selection) โดยจะจัดกลุ่มของประชากร 20 ตัวเป็น 4 กลุ่มกลุ่มละ 5 ตัว จากนั้นหาผู้ที่มีความแข็งแกร่งที่สุดในแต่ละกลุ่ม กลุ่มละ 1 ตัว ทำให้ได้ประชากรที่ได้รับเลือก 4 ตัวจากนั้นนำประชากร 4 ตัวนี้ไปใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลเพื่อให้กำเนิดประชากรรุ่นใหม่ต่อไป

3.3) การแลกเปลี่ยนข้อมูล

การแลกเปลี่ยนข้อมูลจะเป็นขั้นตอนที่ใช้สร้างประชากรรุ่นใหม่จากประชากรรุ่นเก่าโดยใช้การจับคู่แบบครบทุกคู่เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกัน ดังนั้นจึงทำให้ได้ประชากรรุ่นใหม่จำนวน 6 ตัว การแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลองนี้ คือ การตัดต่อข้อมูลแบบ 2 จุด (Two point crossover) ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 4.1.2 ข้างต้น

3.4) การผ่าเหล่า

เมื่อได้ประชากรรุ่นใหม่แล้วก็จะทำการสุ่มการผ่าเหล่าของข้อมูลของสมาชิกที่เกิดขึ้นใหม่ โดยโอกาสที่จะเกิดการผ่าเหล่า 3 %

3.5) การแทนที่

การแทนที่จะใช้วิธี Elitist reinsertion โดยประชากรที่เกิดขึ้นใหม่ 6 ตัวจะถูกนำไปแทนที่ในประชากรตัวเดิมที่มีความแข็งแกร่งน้อย 6 ตัว ซึ่งการแทนที่นี้จะทำให้จำนวนประชากรเท่าเดิมในทุกรอบการคำนวณ

4) การเสนอราคา

การเสนอราคาที่ใช้ในการแข่งขันจะใช้ราคาของประชากรที่มีความแข็งแกร่งมากที่สุดในรอบการคำนวณที่ผ่านมา

5) วนซ้ำการคำนวณตั้งแต่ข้อ 2 – 4 ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้คำตอบที่ต้องการ

ในบทนี้ได้แสดงถึงขั้นตอนของเจนเนติกอัลกอริทึมและการนำมาประยุกต์ใช้เสมือนเป็นกลไกการตัดสินใจเสนอราคาของสมาชิกในตลาดของสมาชิกแต่ละรายซึ่งมีการปรับเปลี่ยนราคาเพื่อให้มีความเหมาะสมกับสภาวะในตลาดยิ่งขึ้นในรอบการคำนวณถัดไป จากข้อมูลการเสนอราคาของสมาชิกรายอื่นในรอบที่ผ่านมา เพื่อหาราคาที่สามารถสร้างผลกำไรได้ในสภาวะตลาดขณะนั้นโดยที่มีกลไกการตัดสินใจของสมาชิกแยกเป็นอิสระต่อกัน ซึ่งนำไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองการซื้อขายไฟฟ้าเพื่อการวิเคราะห์ต่อไป

บทที่ 5

แบบจำลองการซื้อขายไฟฟ้า

การศึกษาการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดผ่านแบบจำลองเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน เนื่องจากการตอบสนองของสมาชิกในตลาดต่อราคาไฟฟ้า อาจแตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น สภาวะของตลาดในขณะนั้น ประสบการณ์ของผู้ตัดสินใจ เงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆ เป็นต้น ดังนั้นในการศึกษาเพื่อที่จะนำผลไปวิเคราะห์การซื้อขายที่จะเกิดขึ้น จึงต้องมีแบบจำลองที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ส่วนหนึ่งของแบบจำลองที่สำคัญ คือ การจำลองสมาชิกที่สามารถปรับการกระทำของตนเองในตลาดแต่ละช่วงเวลา ซึ่งในอดีตการจำลองสมาชิกในตลาดและกลไกการทำงานของตลาดจะจำลองด้วยสมการหรือกฎเกณฑ์ที่ตายตัว ทำให้แบบจำลองที่ได้ไม่มีความยืดหยุ่นและไม่เหมาะกับการวิเคราะห์ปัญหาบางปัญหา ต่อมาจึงได้เกิดแนวคิดในการเพิ่มความยืดหยุ่นของแบบจำลอง โดยการสร้างแบบจำลองของตลาดที่มีความซับซ้อนด้วยการแยกพิจารณาเป็นส่วนๆ และในแต่ละส่วนจะมีกลไกการคิดเป็นของตนเอง จากนั้นจึงนำแต่ละส่วนมาประกอบกันเพื่อใช้วิเคราะห์ปัญหา ซึ่งเรียกว่า Agent-based computational economics: ACE [19]

Agent-based computational economics มีความเหมาะสมสำหรับการศึกษาปัญหาทางเศรษฐศาสตร์ เนื่องจาก

1. สมาชิกในตลาดที่จำลองขึ้นจะมีความคิดหรือแนวทางปฏิบัติเป็นของตนเอง สามารถกำหนดกลยุทธ์ทางการตลาดได้โดยอิสระ

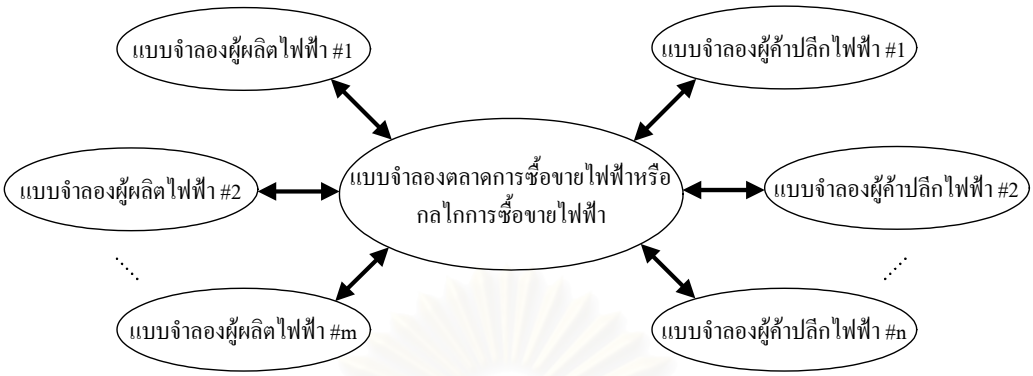
2. สมาชิกในตลาดที่จำลองขึ้นจะมีการกระทำได้หลากหลายรูปแบบ โดยไม่มีข้อจำกัดและไม่มีสมการที่ใช้บังคับการกระทำหรือพฤติกรรมต่างๆ

3. สมาชิกในตลาดที่จำลองขึ้น ไม่จำเป็นต้องมีสมการเป้าหมายในการกระทำที่เป็นฟังก์ชันที่มีอนุพันธ์ โดยสมการที่ใช้อาจจะเป็นฟังก์ชันที่ไม่ต่อเนื่องและไม่มีอนุพันธ์ก็ได้ ทำให้เกิดความยืดหยุ่นในการคำนวณมาก

5.1 โครงสร้างแบบจำลองการซื้อขายไฟฟ้า

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงแบ่งโครงสร้างของแบบจำลองออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. แบบจำลองผู้ผลิตไฟฟ้า
2. แบบจำลองผู้ค้าปลีกไฟฟ้า
3. แบบจำลองตลาดการซื้อขายหรือกลไกการซื้อขาย



รูปที่ 5.1 โครงสร้างแบบจำลองการซื้อขายไฟฟ้า

5.1.1 แบบจำลองผู้ผลิตไฟฟ้า

แบบจำลองผู้ผลิตไฟฟ้าจะจำลองโดยใช้เจนเนติกอัลกอริทึม และจะเป็นการเสนอราคาซื้อขาย (Price-based) แทนการใช้ฟังก์ชันต้นทุนการผลิต (Cost-based) โดยกำหนดให้การตัดสินใจของผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ค้าปลีกไฟฟ้าขึ้นอยู่กับสภาวะของตลาดขณะนั้นเท่านั้น

ทั้งนี้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะศึกษาเฉพาะการเสนอราคาเพื่อซื้อและเสนอราคาเพื่อขายไฟฟ้าตามสถานการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไปตามกลยุทธ์ทางการตลาด (Strategy) ที่ตั้งไว้ โดยเป้าหมายที่จะใช้สร้างแบบจำลองในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ คือ เพื่อให้หน่วยธุรกิจของตนมีกำไรสูงสุด (Profit maximization) แต่ในความเป็นจริงกำไรอาจมิได้เป็นเป้าหมายเดียวของหน่วยธุรกิจ และอาจมีสมาชิกในตลาดที่มิได้ดำเนินธุรกิจภายใต้เป้าหมายนี้ เช่น กำหนดเป้าหมายที่ทำให้ยอดขายสูงสุดหรือมีส่วนแบ่งตลาดมากที่สุดหรือมีความเสี่ยงน้อยที่สุด เป็นต้น อย่างไรก็ดี ท้ายที่สุดแล้วเป้าหมายต่างๆ เหล่านี้ก็เป็นการพยายามทำให้หน่วยธุรกิจของตนมีกำไรสูงสุด [23] โดยขั้นตอนการคำนวณดังแสดงไว้ในบทที่ 4

5.1.2 แบบจำลองผู้ค้าปลีกไฟฟ้า

แบบจำลองผู้ค้าปลีกไฟฟ้าจะมีกลไกการคำนวณคล้ายในแบบจำลองผู้ผลิตไฟฟ้า แตกต่างกันในส่วนรายรับรายจ่าย ซึ่งรายรับของผู้ค้าปลีกจะคิดจากราคาขายให้ผู้ใช้ไฟฟ้าและปริมาณไฟฟ้าที่ขายได้ ส่วนรายจ่ายคิดจากค่าใช้จ่ายจากการซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้า โดยขั้นตอนการคำนวณได้นำแสดงไว้ในบทที่ 4

5.1.3 แบบจำลองตลาดการซื้อขายไฟฟ้าหรือกลไกการซื้อขาย

แบบจำลองตลาดการซื้อขายหรือกลไกการซื้อขายจะแบ่งออกตามช่วงเวลาของการซื้อขาย โดยแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

1. แบบจำลองการซื้อขายไฟฟ้าในช่วงก่อนเวลาปิดรับข้อมูลการซื้อขายไฟฟ้าหรือในช่วงการทำสัญญาแบบคู่สัญญา
2. แบบจำลองการซื้อขายไฟฟ้าในช่วงเวลาจริงเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า

ในการจำลองตลาดการซื้อขายไฟฟ้า กลไกการจัดสรรกำลังการผลิตจะเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม ซึ่งในอดีต จะจัดสรรโดยอาศัยฟังก์ชันต้นทุนการผลิต (Cost function) ที่ส่วนมากจะใช้เป็นฟังก์ชันกำลังสอง (Quadratic production cost function) และมีเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนการผลิตรวมต่ำที่สุด การจัดสรรกำลังการผลิตแบบนี้สามารถกระทำได้ภายใต้การควบคุมแบบรวมศูนย์ กล่าวคือ หน่วยงานที่มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบ เช่น การไฟฟ้าฝ่ายผลิตนั้น มีอำนาจในการสั่งเพิ่มหรือลดกำลังการผลิตได้โดยตรง แต่ในอนาคตการจัดสรรกำลังการผลิตอาจจะไม่สามารถดำเนินการในรูปแบบเดิมได้ หากมีการปล่อยเสรีกิจการไฟฟ้าแล้วภาคการผลิตและภาคจำหน่ายจะถูกแยกออกเป็นอิสระ หน่วยงานที่มีหน้าที่ควบคุมหรือศูนย์ควบคุมระบบจะถูกเปลี่ยนหน้าที่เป็นการดูแลให้ระบบสามารถดำเนินการต่อไปได้แทน กล่าวคือ ไม่มีอำนาจสั่งให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าดำเนินการผลิตได้โดยตรง และกลไกการซื้อขายจะเปลี่ยนจากการใช้ต้นทุนการผลิตไปสู่การใช้ราคาในการซื้อขายแทนและเหตุผลอีกประการหนึ่ง คือ จากความเป็นฟังก์ชันคอนเวคซ์ (Convex function) ของฟังก์ชันต้นทุนการผลิตทำให้เกิดความสัมพันธ์ที่ว่า หากยิ่งผลิตไฟฟ้ามาก จะยิ่งมีต้นทุนการผลิตหน่วยสุดท้ายสูง ซึ่งมีความขัดแย้งกับการซื้อขายจริง ดังนั้นในแบบจำลองนี้จึงใช้กลไกการซื้อขายไฟฟ้าแบบใช้ราคา โดยฟังก์ชันแทนราคาในการเสนอซื้อขายไฟฟ้านั้นอาจจะเป็นฟังก์ชันใดๆ ก็ได้ ราคาจะไม่ขึ้นกับฟังก์ชันต้นทุนการผลิตโดยตรง ทำให้มุมมองของการจัดสรรกำลังการผลิตต้องเปลี่ยนไป ซึ่งกลไกการตั้งราคานั้นเป็นปัญหาที่ซับซ้อนมาก ซึ่งขึ้นกับองค์ประกอบหลายๆประการ เช่น กลยุทธ์ทางการตลาด ปริมาณความต้องการไฟฟ้า (Load) ปริมาณกำลังการผลิตไฟฟ้า (Supply) ความได้เปรียบเสียเปรียบทางระบบไฟฟ้า ส่วนแบ่งทางการตลาด คุณภาพของการให้บริการ เป็นต้น ในบางกรณี ความได้เปรียบเสียเปรียบทางระบบไฟฟ้าในการซื้อขายอาจเกิดขึ้นได้ เนื่องจากไฟฟ้าเป็นสิ่งที่ไม่สามารถจับต้องได้โดยตรงและการขนส่งจะต้องส่งผ่านระบบส่งไฟฟ้าเท่านั้น แต่ระบบส่งไฟฟ้ามีการลงทุนสูง ทำให้ไม่สามารถสร้างระบบส่งจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าได้โดยตรงทั้งหมด ดังนั้นถ้าหากต้องการส่งไปยังลูกค้าจะต้องส่งผ่านระบบส่งไฟฟ้า ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นระบบรวม และจากข้อจำกัดทางด้านเทคนิค ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบางเครื่องที่ติดตั้งอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสมมีความได้เปรียบทางด้านราคา เมื่อเทียบกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

เครื่องอื่น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงให้ความสนใจปัญหาทางด้านระบบส่งไฟฟ้าที่ส่งผลต่อราคาไฟฟ้าในตลาด ดังที่จะได้นำแสดงต่อไปนี้

5.1.3.1 แบบจำลองการซื้อขายไฟฟ้าในช่วงก่อนเวลาปิดรับข้อมูลการซื้อขายไฟฟ้า (การทำสัญญาแบบคู่สัญญา) [21,22]

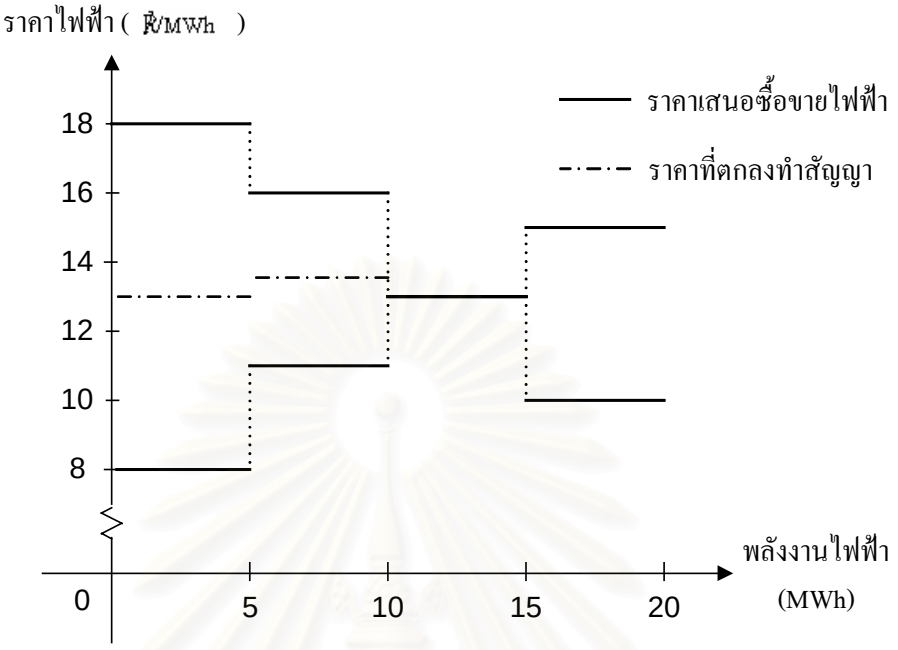
แบบจำลองนี้จะใช้จำลองการซื้อขายไฟฟ้าในช่วงการทำสัญญาแบบคู่สัญญาระหว่างสมาชิกในตลาด โดยยังไม่คำนึงถึงลักษณะทางกายภาพของระบบไฟฟ้าและให้สมาชิกในตลาดตกลงทำสัญญาซื้อขายกันเองโดยอิสระ ในแต่ละรอบการคำนวณ สมาชิกในตลาดจะเสนอซื้อและเสนอขาย จากนั้นจึงใช้กลไกการเข้าคู่สัญญาจับคู่ระหว่างผู้เสนอซื้อและผู้เสนอขาย โดยการเข้าคู่สัญญาจะใช้หลักการทำให้กำไรโดยรวมสูงสุดในแต่ละรอบ[iii] โดยตั้งอยู่บนกฎเกณฑ์ที่ว่า ผู้เสนอราคาซื้อสูงกว่าย่อมมีโอกาสในการเลือกทำสัญญาซื้อไฟฟ้าจากผู้ขายไฟฟ้ารายที่เสนอราคาต่ำที่สุดก่อน และในทำนองเดียวกัน ผู้ที่เสนอราคาขายต่ำกว่าย่อมมีโอกาสในการเลือกทำสัญญาขายไฟฟ้าจากผู้ซื้อไฟฟ้าราคาสูงก่อน

การเข้าคู่สัญญาเริ่มต้นจาก การเรียงลำดับราคาเสนอซื้อไฟฟ้าจากราคาสูงไปหาราคาต่ำและเรียงลำดับราคาเสนอขายไฟฟ้าจากราคาต่ำไปหาราคาสูง จากนั้นจะเริ่มเข้าคู่สัญญาโดยการให้ผู้ที่เสนอราคาซื้อไฟฟ้าที่ราคาสูงที่สุดจะมีสิทธิ์เข้าคู่สัญญาก่อน โดยจะเข้าคู่กับผู้ที่เสนอราคาขายไฟฟ้าในราคาต่ำที่สุด และหากไม่เพียงพอกับปริมาณที่เสนอซื้อไฟฟ้าก็จะเข้าคู่กับผู้ที่เสนอขายไฟฟ้าในราคาสูงถัดมาจนกระทั่งเพียงพอ จากนั้นก็จะเข้าคู่สัญญากับผู้ที่เสนอซื้อไฟฟ้าในราคาต่ำถัดมา จนกระทั่งเข้าคู่สัญญาได้หมด และหากราคาเสนอซื้อไฟฟ้าต่ำกว่าราคาเสนอขายไฟฟ้า ในแบบจำลองถือว่าไม่เกิดการทำสัญญาขึ้น ราคาเมื่อเกิดการเข้าคู่สัญญาจะคิดจากการนำราคาเสนอซื้อไฟฟ้าและราคาเสนอขายไฟฟ้าที่ได้รับการเข้าคู่สัญญาแล้วมาเฉลี่ยกัน โดยเป็นเสมือนการเจรจาต่อรองราคาระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย ดังแสดงในตัวอย่างต่อไปนี้

สมมุติให้มีผู้เสนอซื้อ 4 รายและเสนอขายไฟฟ้า 4 ราย โดยมีรายละเอียดดังนี้

ผู้เสนอซื้อไฟฟ้ารายที่ 1 เสนอซื้อไฟฟ้าราคา 18 ฿/MWh จำนวน 5 MWh
ผู้เสนอซื้อไฟฟ้ารายที่ 2 เสนอซื้อไฟฟ้าราคา 16 ฿/MWh จำนวน 5 MWh
ผู้เสนอซื้อไฟฟ้ารายที่ 3 เสนอซื้อไฟฟ้าราคา 13 ฿/MWh จำนวน 5 MWh
ผู้เสนอซื้อไฟฟ้ารายที่ 4 เสนอซื้อไฟฟ้าราคา 10 ฿/MWh จำนวน 5 MWh
ผู้เสนอขายไฟฟ้ารายที่ 1 เสนอขายไฟฟ้าราคา 8 ฿/MWh จำนวน 5 MWh
ผู้เสนอขายไฟฟ้ารายที่ 2 เสนอขายไฟฟ้าราคา 11 ฿/MWh จำนวน 5 MWh
ผู้เสนอขายไฟฟ้ารายที่ 3 เสนอขายไฟฟ้าราคา 13 ฿/MWh จำนวน 5 MWh
ผู้เสนอขายไฟฟ้ารายที่ 4 เสนอขายไฟฟ้าราคา 15 ฿/MWh จำนวน 5 MWh

การเข้าคู่สัญญาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 ตัวอย่างการเข้าคู่สัญญาในแบบจำลอง

ผลการเข้าคู่สัญญาได้ว่า

ผู้เสนอซื้อไฟฟ้ารายที่ 1 เข้าคู่กับผู้เสนอขายไฟฟ้ารายที่ 1 ด้วยราคา $\frac{18+8}{2}=13$ ₹/MWh จำนวน 5 MWh

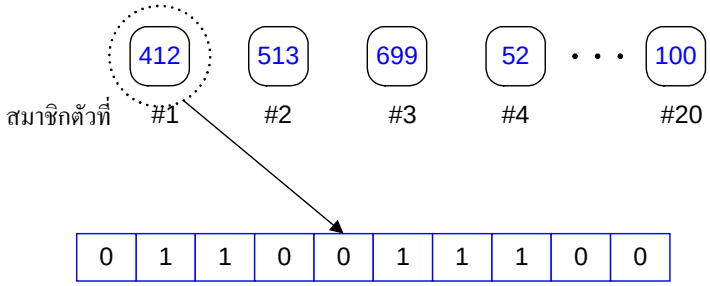
ผู้เสนอซื้อไฟฟ้ารายที่ 2 เข้าคู่กับผู้เสนอขายไฟฟ้ารายที่ 2 ด้วยราคา $\frac{16+11}{2}=13.5$ ₹/MWh จำนวน 5 MWh

ผู้เสนอซื้อไฟฟ้ารายที่ 3 เข้าคู่กับผู้เสนอขายไฟฟ้ารายที่ 3 ด้วยราคา $\frac{13+13}{2}=13$ ₹/MWh จำนวน 5 MWh

ผู้เสนอซื้อไฟฟ้ารายที่ 4และผู้เสนอขายไฟฟ้ารายที่ 4 ไม่สามารถเข้าคู่สัญญากันได้

การคำนวณตามแบบจำลองที่กำหนดขึ้น มีขั้นตอนดังนี้

1. สุ่มสร้างประชากรจำนวน 20 ตัวซึ่งเป็นตัวแทนการเสนอราคาของสมาชิกในตลาดแต่ละราย จนครบทุกราย โดยการสร้างประชากรจะสุ่มตัวเลขฐาน 2 จำนวน 10 หลัก ดังแสดงในรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ตัวอย่างการสร้างประชากรของสมาชิกแต่ละราย

2. ตั้งราคาที่ใช้เสนอซื้อหรือขาย ซึ่งในรอบแรกของการคำนวณจะใช้ข้อมูลประชากรตัวแรกเป็นข้อมูลการเสนอซื้อขายไฟฟ้า และในรอบถัดมาจะใช้ข้อมูลที่มีความแข็งแกร่งที่สุดแทนการเสนอราคาของสมาชิกตัวนั้น โดยการคำนวณราคาจากค่าของประชากรสามารถแสดงได้ดังนี้

กำหนดให้ $k_1 = 0$, $k_2 = 20$, $Range = 20$, $n = 412$

- หากเป็นการเสนอขายไฟฟ้า $Price = \frac{412}{1023} \times 20 + 0 = 8.05$ ₹/MWh
- หากเป็นการเสนอซื้อไฟฟ้า $Price = 20 - \frac{412}{1023} \times 20 = 11.95$ ₹/MWh

3. เข้าคู่สัญญาโดยใช้หลักการที่กล่าวไว้ข้างต้น ทำให้ได้ราคาและปริมาณที่เกิดการซื้อขาย
4. คำนวณรายรับ รายจ่ายและกำไรของสมาชิกแต่ละราย
5. ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมเพื่อหาราคาที่ใช้เสนอซื้อขายในรอบถัดไป ตัวอย่างการคำนวณสามารถแสดงได้ดังนี้

5.1) คำนวณค่าความแข็งแกร่งของประชากรจากฟังก์ชันกำไร

กำหนดให้

- การซื้อขายไฟฟ้าในรอบที่ผ่านมาเป็นดังตารางที่ 5.1
- ข้อมูลประชากรของสมาชิกรายที่ 1 เป็นดังตารางที่ 5.2

การหาค่าความแข็งแกร่งของประชากรตัวที่ 1 ของสมาชิก G1 หาได้จากค่ากำไรของสมาชิก G1 เมื่อแทนที่ค่าของประชากรตัวที่ 1 ในข้อมูลการเสนอซื้อขายไฟฟ้ารอบที่ผ่านมาดังแสดงในตารางที่ 5.3 และ ผลการซื้อขายที่เกิดขึ้นเป็นดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.1 ข้อมูลการซื้อขายไฟฟ้าในรอบที่ผ่านมา

สมาชิก	ราคาเสนอ (₹/MWh)	พลังงานไฟฟ้าที่เสนอ (MWh)
G1	14	100
G2	15.5	100
R1	15	100
R2	16	100

ตารางที่ 5.2 ข้อมูลการเสนอขายไฟฟ้าของประชากรแต่ละตัวของสมาชิก G1

สมาชิก G1	
ประชากร	ราคาเสนอ
1	13.5
2	14.5
3	10
⋮	⋮
20	16

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลการคำนวณค่าความแข็งแกร่งของประชากรตัวที่ 1

การคิดค่า fitness ของประชากรตัวที่ 1	
สมาชิก	ราคาเสนอ
G1	13.5
G2	15.5
R1	15
R2	16

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.4 ผลการซื้อขายเพื่อหาค่าความแข็งแกร่งของประชากรตัวที่ 1 ของสมาชิก G1

สมาชิก	ราคาเสนอ (₹/MWh)	พลังงานไฟฟ้าที่ตกลงทำสัญญา (MWh)	รายรับ (₹)	รายจ่าย (₹)	กำไร (₹)
G1	13.5	100	1475	923.2*	551.8
G2	15.5	100	0	0	0
R1	15	100	0	0	0
R2	16	100	2000**	1475	525

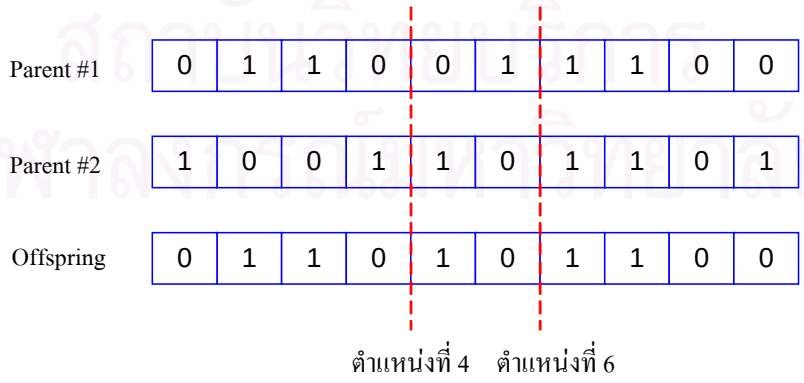
*ค่าใช้จ่ายจากการผลิตไฟฟ้า โดยคำนวณจากฟังก์ชันต้นทุนการผลิต

**รายรับที่เกิดจากการขายไฟฟ้าให้ผู้ใช้ไฟฟ้าในราคา 20 ₹/MWh

ค่าความแข็งแกร่งของประชากรตัวที่ 1 ของ G1 คือ 551.8 การคำนวณจะทำการคำนวณวนซ้ำไปเรื่อยๆจนกระทั่งได้ค่าความแข็งแกร่งของประชากรจนครบ 20 ตัว จากนั้นจึงคำนวณค่าความแข็งแกร่งของสมาชิกรายอื่นต่อไปเรื่อยๆจนครบ

5.2) เลือกสรร (Selection) ประชากรตามความแข็งแกร่งที่คำนวณได้ โดยแบ่งแบบสุ่มเป็น 4 กลุ่มกลุ่มละ 5 ตัว

5.3) แลกเปลี่ยนข้อมูล (Crossover) ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้แบบ Two point crossover โดยใช้จับคู่แบบพบกันหมดของสมาชิก 4 ตัวได้ 6 คู่ถ้ากำหนดให้จุดตัดที่สุ่มได้เป็น4และ 6 การแลกเปลี่ยนข้อมูลเป็นดังแสดงในรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบ Two point crossover

5.4) การผ่าเหล่าของข้อมูล เป็นดังแสดงในหัวข้อ 4.1.3

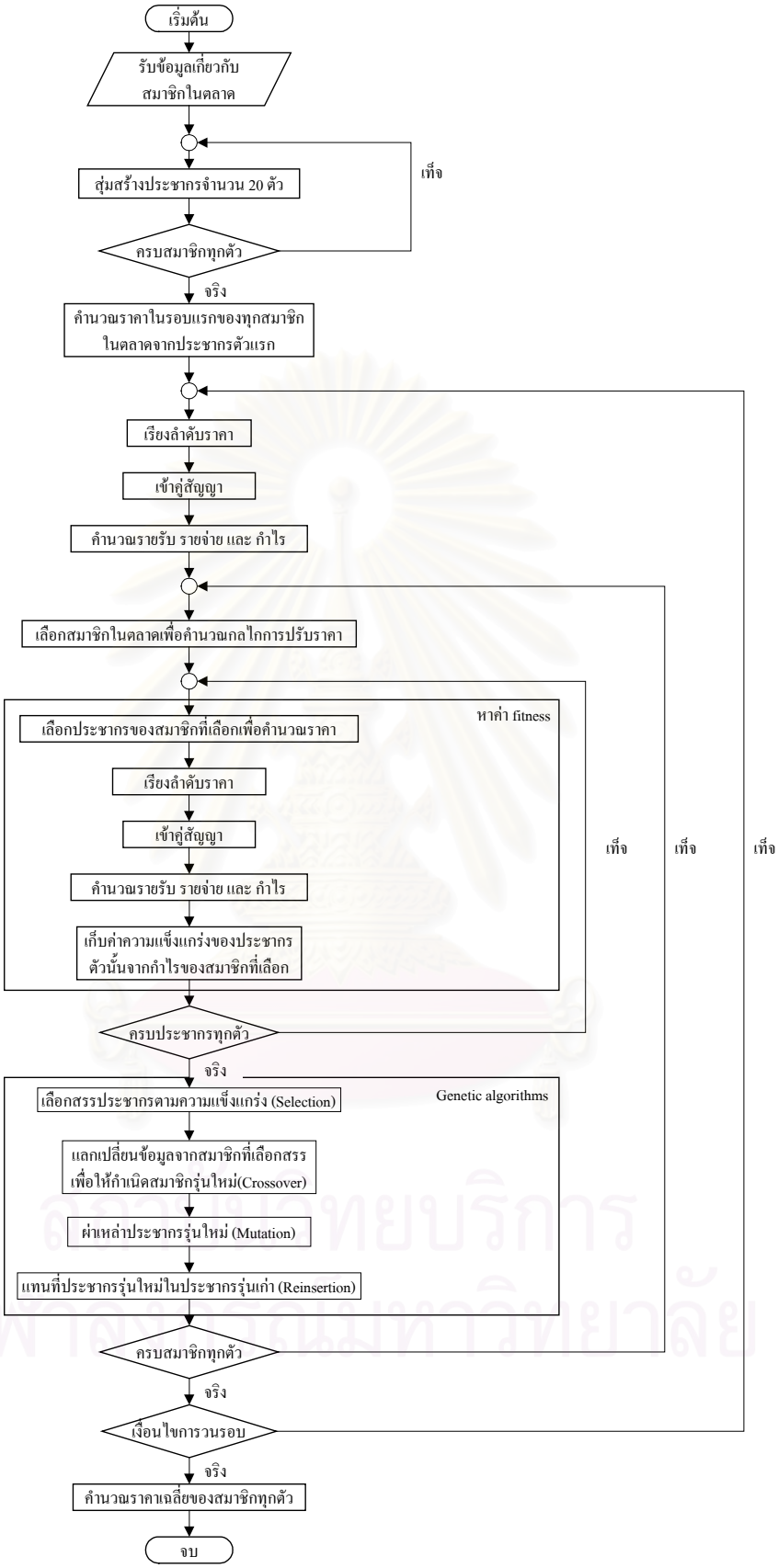
5.5) การแทนที่ ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้วิธี การแทนที่ แบบ Elitist reinsertion โดยนำประชากรรุ่นใหม่ (Offspring) 6 ตัว แทนในสมาชิกรุ่นเก่าที่มีความแข็งแกร่งน้อยที่สุด 6 ลำดับ

5.6) คำนวณไปเรื่อยๆจนกระทั่งครบสมาชิกทุกราย

6. คำนวณซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3 ถึง 5 โดยใช้ข้อมูลราคาของประชากรที่มีความแข็งแกร่งมากที่สุดของสมาชิกแทนราคาสนอซื้อขายจนกระทั่งได้คำตอบที่ต้องการ

แผนภาพการทำงานของโปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 5.5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.5 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมแบบจำลองการซื้อขายแบบคู่สัญญา

5.1.3.2 แบบจำลองการซื้อขายไฟฟ้าในช่วงเวลาจริงเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า

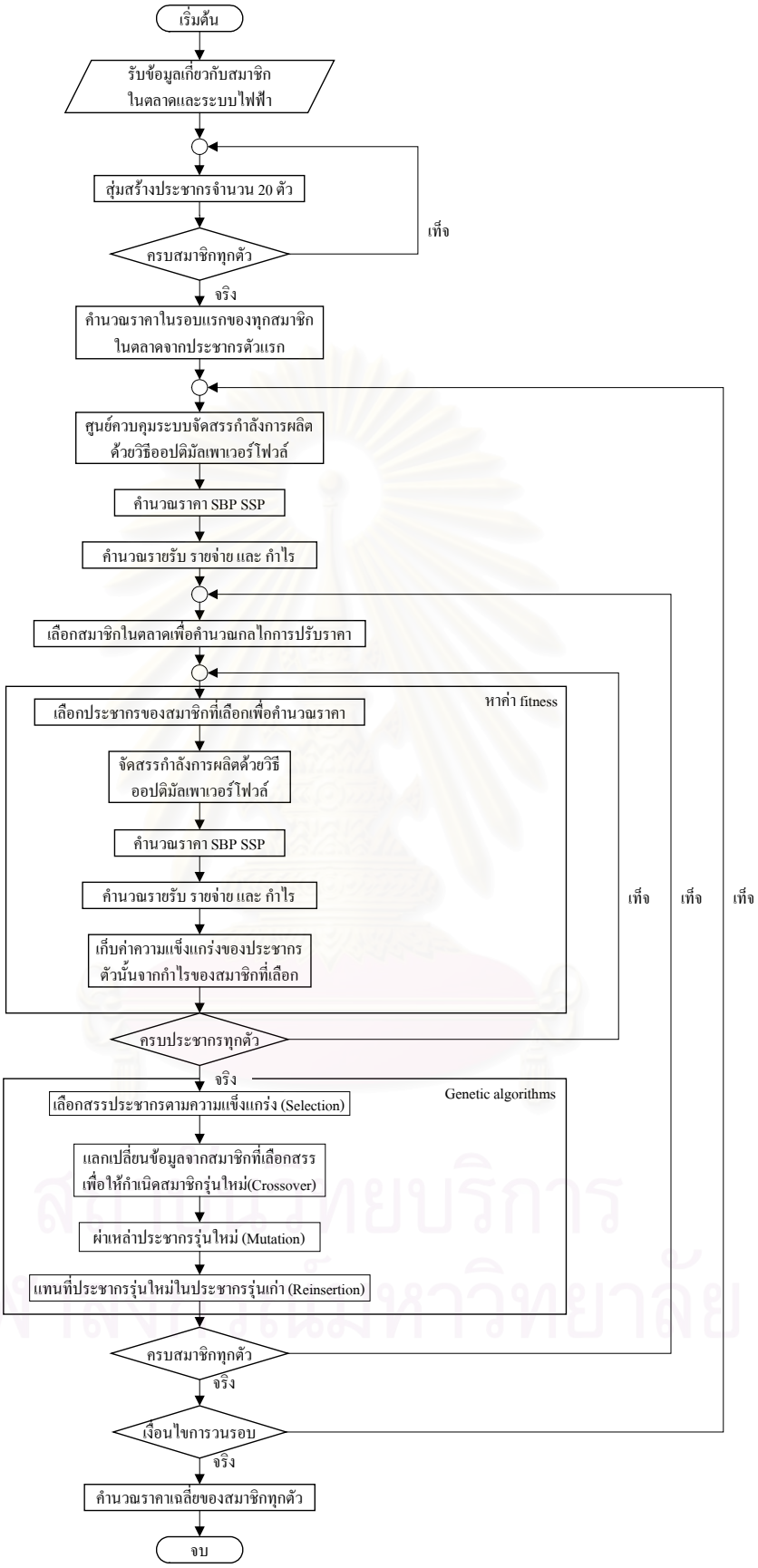
แบบจำลองนี้เป็นการจำลองการซื้อขายไฟฟ้าในช่วงหลังจากเวลาปิดรับข้อมูลการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาหรือเป็นการซื้อขายไฟฟ้าสำหรับเวลาจริง เพื่อรักษาสมดุลของระบบไฟฟ้า โดยในแบบจำลองนี้จะเพิ่มบทบาทศูนย์ควบคุมระบบในการจัดสรรกำลังการผลิตจากข้อมูลราคาการเสนอซื้อหรือขายที่ได้รับ โดยมีสมมุติฐานว่า ศูนย์ควบคุมระบบจะเลือกดำเนินงานให้มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดเพื่อให้ระบบมีความสมดุล ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้ออปติมัลเพาเวอร์โฟวล์จำลองกลไกการจัดสรรกำลังการผลิตของศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง

สำหรับบทบาทของผู้ค้าปลีกไฟฟ้าและผู้ผลิตไฟฟ้า คือ การเสนอราคาและปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการซื้อหรือขายให้ศูนย์ควบคุมระบบทราบ และจะปรับเปลี่ยนราคาไปตามความเหมาะสมของสภาวะตลาดขณะนั้น เพื่อให้สามารถสร้างกำไรในหน่วยธุรกิจของตนมากที่สุด

ขั้นตอนการคำนวณ มีลักษณะคล้ายขั้นตอนการคำนวณของแบบจำลองการซื้อขายแบบคู่สัญญา โดยแตกต่างกันที่ขั้นตอนการเข้าคู่สัญญา ซึ่งในแบบจำลองนี้เปลี่ยนจากการเข้าคู่สัญญาเป็นการจัดสรรกำลังการผลิตแบบออปติมัลเพาเวอร์โฟลว์

แผนภาพการทำงานของโปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 5.6

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.6 แผนภาพการทำงานของโปรแกรมแบบจำลองการซื้อขาย
ในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า

บทที่ 6

การจำลองการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

ในบทนี้จะแสดงถึงผลการจำลองการซื้อขายแบบคู่สัญญา โดยแยกศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการซื้อขายไฟฟ้าในช่วงการทำสัญญาแบบคู่สัญญาโดยแยกเป็นกรณีต่างๆ 4 กรณีดังต่อไปนี้

1. การศึกษาผลกระทบของความต้องการซื้อของผู้ค้าปลีกไฟฟ้าต่อราคาในการซื้อขายไฟฟ้า
2. การศึกษาผลกระทบของจำนวนผู้ค้าปลีกไฟฟ้า เมื่อความต้องการซื้อไฟฟ้าเท่ากับความต้องการขายไฟฟ้า
3. การศึกษาผลกระทบของความต้องการขายของผู้ผลิตไฟฟ้าต่อราคาในการซื้อขายไฟฟ้า
4. การศึกษาผลกระทบของจำนวนผู้ผลิตไฟฟ้า เมื่อความต้องการซื้อไฟฟ้าเท่ากับความต้องการขายไฟฟ้า

สมมุติฐาน

1. กำหนดให้ผู้ผลิตไฟฟ้าไม่สามารถเสนอราคาที่ต่ำกว่าต้นทุนการผลิต
2. กำหนดให้ผู้ค้าปลีกไฟฟ้าไม่สามารถเสนอราคาที่สูงกว่าราคาที่ขายไฟฟ้าให้ผู้ใช้ไฟฟ้า
3. ถ้ามีการเจรจาต่อรองราคา (Negotiate) ระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายเกิดขึ้น จะใช้ราคากึ่งกลางของทั้ง 2 ฝ่ายเป็นราคาที่ตกลงกันได้

ในแบบจำลองประกอบด้วยพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

1. ผู้ผลิตไฟฟ้า

สมการราคาขาย เป็นดังสมการที่ 4.1 ในบทที่ 4

$$Price_1 = \frac{n}{1023} \times Range + k_1$$

โดย $Range$ = 10 ₱/MWh

k_1 = $\frac{0.0082P^2 + 7.78P + 78}{P}$ ₱/MWh (ราคาต่ำสุดที่ผู้ผลิตไฟฟ้าสามารถขายได้)

P_{max} = กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เสนอขาย

2. ผู้ค้าปลีกไฟฟ้า

สมการราคาซื้อ เป็นดังสมการที่ 4.2 ในบทที่4

$$Price_2 = k_2 - \frac{n}{1023} \times Range$$

โดย $Range$ = 10 ₹/MWh

k_2 = 20 ₹/MWh (ราคาสูงสุดที่ผู้ค้าปลีกไฟฟ้าสามารถซื้อได้)

6.1 การศึกษาผลกระทบของความต้องการซื้อของผู้ค้าปลีกไฟฟ้าต่อราคาในการซื้อขายไฟฟ้า

กำหนดให้

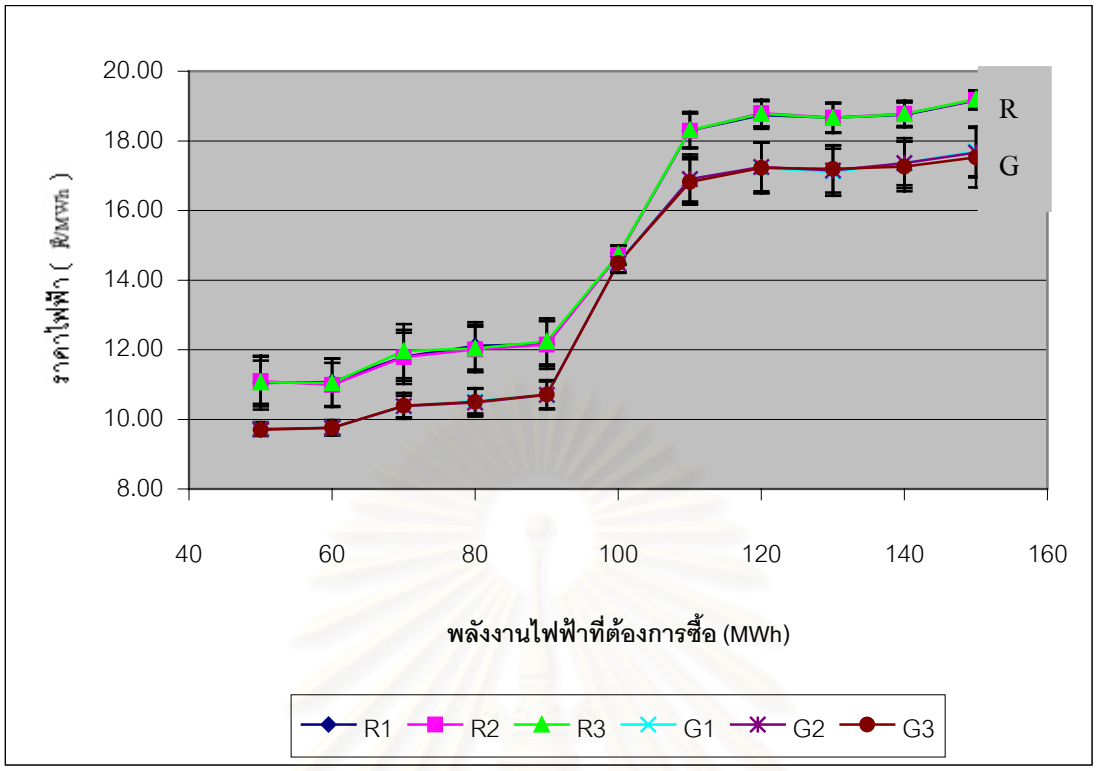
- มีผู้ผลิตไฟฟ้า จำนวน 3 ราย และต้องการขายพลังงานไฟฟ้ารายละ 100 MWh
- มีผู้ค้าปลีกไฟฟ้า จำนวน 3 ราย
- จำนวนรอบในการคำนวณแต่ละครั้ง 100 รอบ

ผลการจำลองเป็นดังตารางที่ 6.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.1 ราคาไฟฟ้าที่ได้จากการจำลองการซื้อขายไฟฟ้า เมื่อเปลี่ยนปริมาณความต้องการซื้อไฟฟ้า

ปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการซื้อของผู้ค้าปลีกไฟฟ้าแต่ละราย (MWh)	ราคาเสนอซื้อขายไฟฟ้า (฿/MWh)											
	ผู้ค้าปลีกไฟฟ้า						ผู้ผลิตไฟฟ้า					
	รายที่ 1 (R1)		รายที่ 2 (R2)		รายที่ 3 (R3)		รายที่ 1 (G1)		รายที่ 1 (G2)		รายที่ 3 (G3)	
	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.
50	11.04	0.76	11.10	0.73	11.07	0.62	9.72	0.20	9.72	0.20	9.70	0.18
60	11.07	0.69	10.99	0.63	11.05	0.70	9.76	0.19	9.76	0.22	9.76	0.22
70	11.80	0.69	11.79	0.78	11.96	0.78	10.37	0.31	10.39	0.37	10.39	0.35
80	12.11	0.68	12.01	0.65	12.04	0.68	10.53	0.37	10.48	0.40	10.50	0.38
90	12.17	0.65	12.14	0.69	12.24	0.66	10.69	0.40	10.70	0.39	10.71	0.42
100	14.72	0.27	14.71	0.27	14.73	0.27	14.50	0.27	14.49	0.27	14.49	0.28
110	18.30	0.49	18.29	0.50	18.31	0.52	16.90	0.64	16.91	0.70	16.81	0.65
120	18.74	0.40	18.79	0.39	18.78	0.37	17.23	0.73	17.25	0.70	17.22	0.72
130	18.66	0.44	18.67	0.42	18.66	0.41	17.10	0.67	17.15	0.73	17.19	0.67
140	18.75	0.35	18.78	0.35	18.77	0.38	17.36	0.72	17.36	0.64	17.26	0.71
150	19.16	0.26	19.18	0.27	19.20	0.25	17.70	0.71	17.66	0.72	17.53	0.87



รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาและพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ค้าปลีกต้องการซื้อ ที่ความต้องการขายรวม 300 MWh (3 ราย รายละ 100 MWh)

จากรูปที่ 6.1 พบว่า กราฟของสมาชิกในตลาดแยกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ค้าปลีกไฟฟ้าโดยผู้ค้าปลีกไฟฟ้าจะมีราคาในการเสนอซื้อไฟฟ้าสูงกว่าราคาในการเสนอขายไฟฟ้าและถ้ากำหนดให้ความต้องการขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าคงที่ เมื่อเพิ่มความต้องการซื้อไฟฟ้าของผู้ค้าปลีกไฟฟ้า ส่งผลให้ราคาเพิ่มสูงขึ้นจนใกล้เคียงกับราคาที่ผู้ค้าปลีกไฟฟ้าขายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า (ราคาสูงสุดที่สามารถเสนอซื้อได้) ซึ่งเสมือนว่า หากมีความต้องการซื้อพลังงานน้อยกว่าความต้องการขายพลังงาน ทำให้เกิดภาวะสินค้าล้นตลาดทำให้ผู้ค้าปลีกไฟฟ้ามีอำนาจในการต่อรองราคาเพื่อซื้อไฟฟ้ามากขึ้น ในทางกลับกัน หากมีความต้องการซื้อพลังงานมากกว่าความต้องการขายพลังงาน ทำให้เกิดภาวะสินค้าขาดตลาด ส่งผลให้ผู้ผลิตไฟฟ้ามีอำนาจในการต่อรองราคาเพื่อขายไฟฟ้ามากขึ้น และจุดที่ความต้องการขายไฟฟ้าเท่ากับ 100 MWh ต่อ 1 ราย เป็นจุดสมดุลระหว่างปริมาณความต้องการซื้อและขายไฟฟ้า

6.2 การศึกษาผลกระทบของจำนวนผู้ค้าปลีกไฟฟ้าเมื่อความต้องการซื้อไฟฟ้าเท่ากับความต้องการขายไฟฟ้า

กำหนดให้

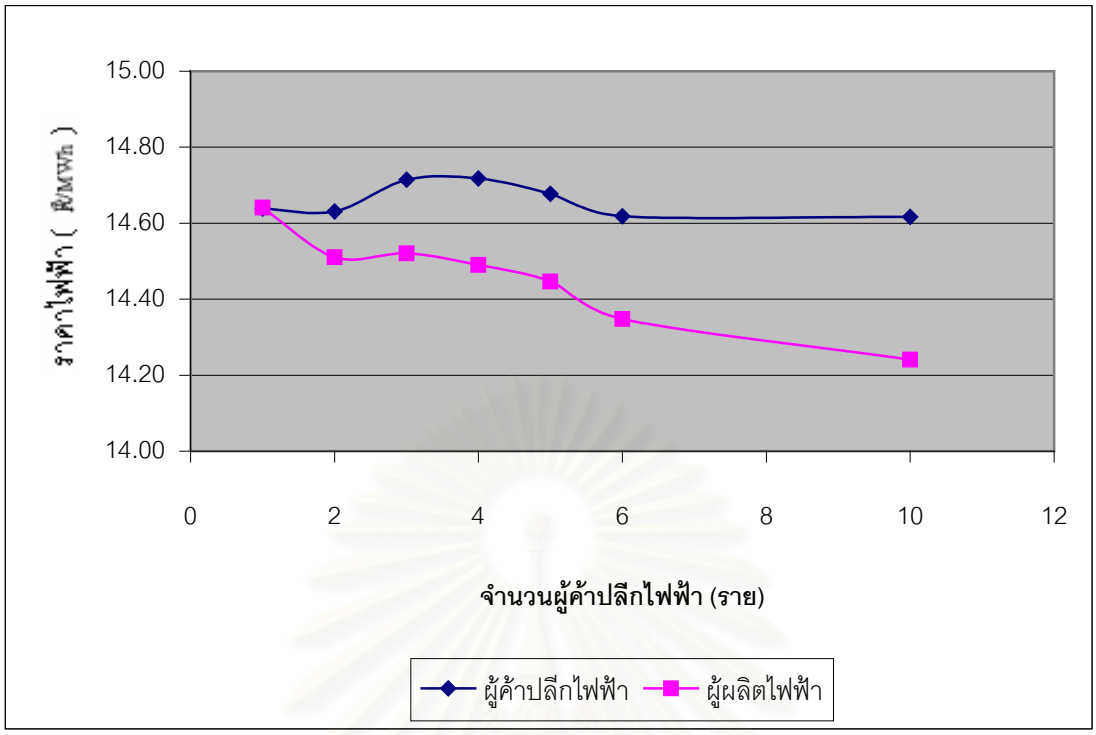
- มีผู้ผลิตไฟฟ้า จำนวน 3 ราย และต้องการขายพลังงานไฟฟ้ารายละ 100 MWh
- มีผู้ค้าปลีกไฟฟ้า มีความต้องการซื้อไฟฟ้ารวม 300 MWh
- จำนวนรอบในการคำนวณแต่ละครั้ง 100 รอบ

ผลการจำลองเป็นดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ราคาไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองการซื้อขายไฟฟ้าและจำนวนผู้ค้าปลีก เมื่อพลังงานไฟฟ้ารวมของผู้ค้าปลีกและผู้ผลิตไฟฟ้าคงที่

จำนวนผู้ค้าปลีกไฟฟ้า	ความต้องการซื้อไฟฟ้าแต่ละราย (MWh)	ราคาเสนอซื้อขายไฟฟ้าเฉลี่ย (₹/MWh)	
		ผู้ค้าปลีกไฟฟ้า	ผู้ผลิตไฟฟ้า
1	300	14.64	14.64
2	150	14.63	14.51
3	100	14.71	14.52
4	75	14.72	14.49
5	60	14.68	14.45
6	50	14.62	14.35
10	30	14.62	14.24

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาไฟฟ้าและจำนวนผู้ค้าปลีกไฟฟ้า

จากรูปที่ 6.2 พบว่า เมื่อจำนวนของผู้ค้าปลีกไฟฟ้ามีจำนวนมากขึ้น ส่งผลให้ระดับราคามีแนวโน้มลดต่ำลง นั่นคือ หากมีผู้ค้าปลีกจำนวนมากขึ้นทำให้เกิดการแข่งขันในการเสนอราคาเพื่อซื้อพลังงานไฟฟ้ามากขึ้นจึงส่งผลให้ระดับราคาลดต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.3 การศึกษาผลกระทบของความต้องการขายของผู้ผลิตไฟฟ้าต่อราคาในการซื้อขายไฟฟ้า

กำหนดให้

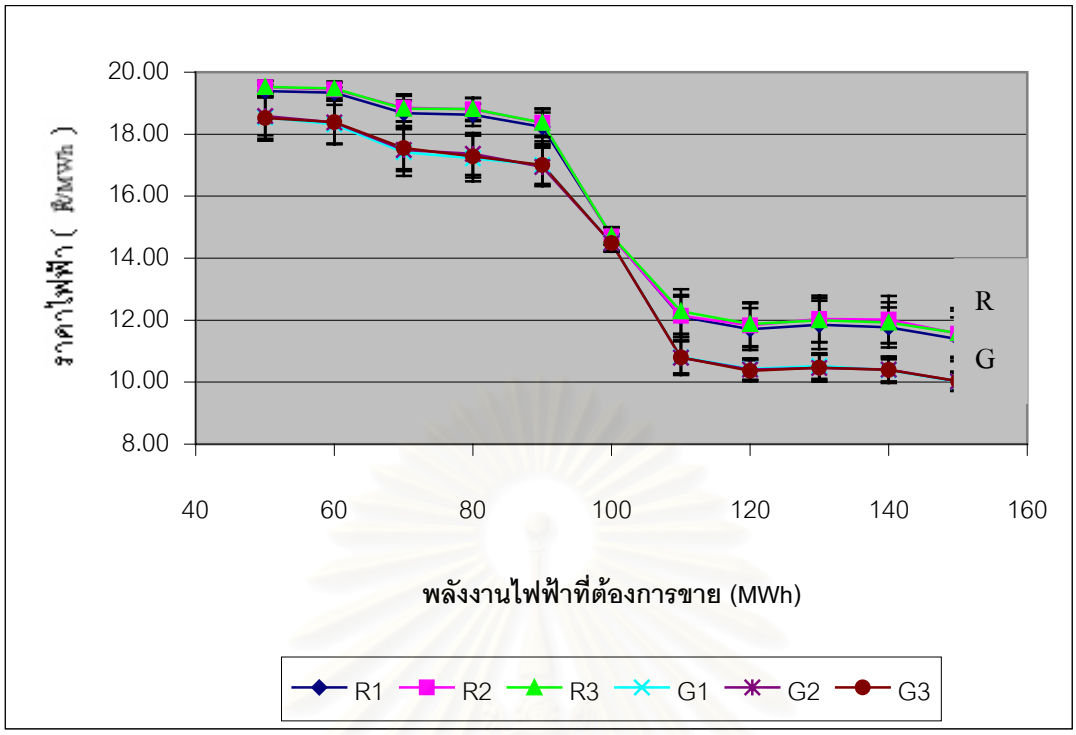
- มีผู้ค้าปลีกไฟฟ้า จำนวน 3 ราย และต้องการซื้อพลังงานไฟฟ้ารายละ 100 MWh
- มีผู้ผลิตไฟฟ้า 3 ราย
- จำนวนรอบในการคำนวณแต่ละครั้ง 100 รอบ

ผลการจำลองเป็นดังตารางที่ 6.3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.3 ราคาไฟฟ้าที่ได้จากการจำลองการซื้อขายไฟฟ้า เมื่อเปลี่ยนปริมาณความต้องการขายไฟฟ้า

ปริมาณไฟฟ้าที่ต้องการขายของผู้ผลิตไฟฟ้าต่อราย (MWh)	ราคาเสนอซื้อขายไฟฟ้า (฿/MWh)											
	ผู้ค้าปลีกไฟฟ้า						ผู้ผลิตไฟฟ้า					
	รายที่ 1 (R1)		รายที่ 2 (R2)		รายที่ 3 (R3)		รายที่ 1 (G1)		รายที่ 2 (G2)		รายที่ 3 (G3)	
	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.
50	19.39	0.21	19.52	0.20	19.53	0.19	18.54	0.69	18.59	0.62	18.52	0.73
60	19.34	0.17	19.44	0.22	19.48	0.22	18.32	0.62	18.38	0.71	18.39	0.70
70	18.68	0.41	18.85	0.44	18.82	0.41	17.42	0.77	17.49	0.68	17.55	0.68
80	18.62	0.36	18.80	0.38	18.81	0.35	17.22	0.74	17.36	0.68	17.28	0.67
90	18.24	0.47	18.37	0.44	18.37	0.46	17.01	0.61	16.95	0.62	17.01	0.67
100	14.72	0.27	14.71	0.27	14.73	0.27	14.50	0.27	14.49	0.27	14.49	0.28
110	12.11	0.65	12.14	0.67	12.28	0.72	10.81	0.53	10.79	0.56	10.79	0.52
120	11.71	0.68	11.83	0.71	11.87	0.71	10.42	0.35	10.40	0.34	10.36	0.34
130	11.85	0.78	12.04	0.76	12.00	0.71	10.52	0.42	10.46	0.44	10.46	0.42
140	11.76	0.64	12.02	0.76	11.92	0.66	10.38	0.36	10.41	0.40	10.40	0.42
150	11.38	0.71	11.57	0.74	11.58	0.81	10.01	0.28	10.02	0.31	10.04	0.30



รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาและพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ผลิตไฟฟ้าต้องการขาย
ที่ความต้องการซื้อไฟฟ้า 300 MWh (3 ราย รายละ 100 MWh)

จากรูปที่ 6.3 พบว่า กราฟของสมาชิกในตลาดแยกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ค้าปลีกไฟฟ้าโดยผู้ค้าปลีกไฟฟ้าจะมีราคาในการเสนอซื้อไฟฟ้าสูงกว่าราคาในการเสนอขายไฟฟ้าและถ้ากำหนดให้ความต้องการซื้อไฟฟ้าของผู้ค้าปลีกไฟฟ้าคงที่ เมื่อเพิ่มความต้องการขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าส่งผลให้ราคาลดต่ำลงใกล้เคียงกับต้นทุนการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ราคาต่ำสุดที่สามารถเสนอขายได้) ซึ่งเสมือนว่าหากมีความต้องการขายพลังงานมากกว่าความต้องการซื้อพลังงาน ทำให้เกิดภาวะสินค้าล้นตลาด ส่งผลให้ผู้ค้าปลีกไฟฟ้ามีอำนาจในการต่อรองราคาเพื่อซื้อไฟฟ้ามากขึ้น ในทางกลับกัน หากมีความต้องการขายพลังงานน้อยกว่าความต้องการซื้อพลังงาน ทำให้เกิดภาวะสินค้าขาดตลาด ส่งผลให้ผู้ผลิตไฟฟ้ามีอำนาจในการต่อรองราคา เพื่อขายไฟฟ้ามากขึ้นและจุดที่ความต้องการขายไฟฟ้าเท่ากับ 100 MWh ต่อ 1 รายเป็นจุดสมดุลระหว่างปริมาณความต้องการซื้อไฟฟ้าและขายไฟฟ้า ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองในหัวข้อ 6.1 และสอดคล้องกับทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์

6.4 การศึกษาผลกระทบของจำนวนผู้ผลิตไฟฟ้าเมื่อความต้องการซื้อไฟฟ้าเท่ากับความต้องการขายไฟฟ้า

กำหนดให้

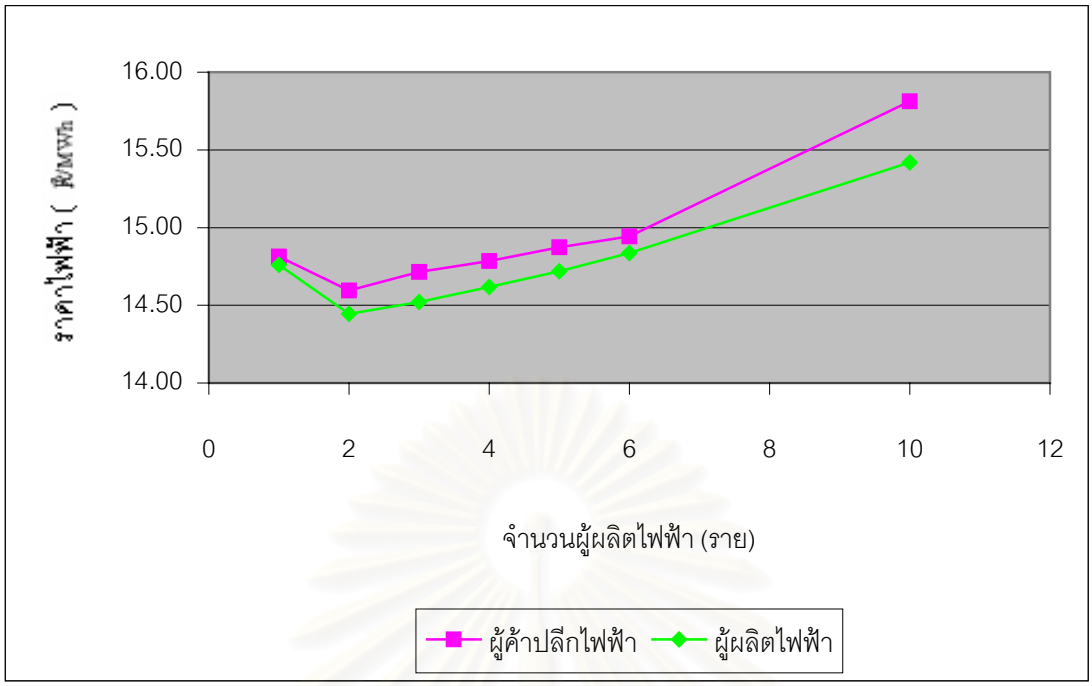
- มีผู้ค้าปลีกไฟฟ้า จำนวน 3 ราย และต้องการซื้อพลังงานไฟฟ้ารายละ 100 MWh
- มีผู้ผลิตไฟฟ้า มีความต้องการขายไฟฟ้ารวม 300 MWh
- จำนวนรอบในการคำนวณแต่ละครั้ง 100 รอบ

ผลการจำลองเป็นดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ราคาไฟฟ้าเฉลี่ยที่ได้จากการจำลองการซื้อขายไฟฟ้าและจำนวนผู้ผลิตไฟฟ้าเมื่อความต้องการซื้อไฟฟ้าเท่ากับความต้องการขายไฟฟ้า

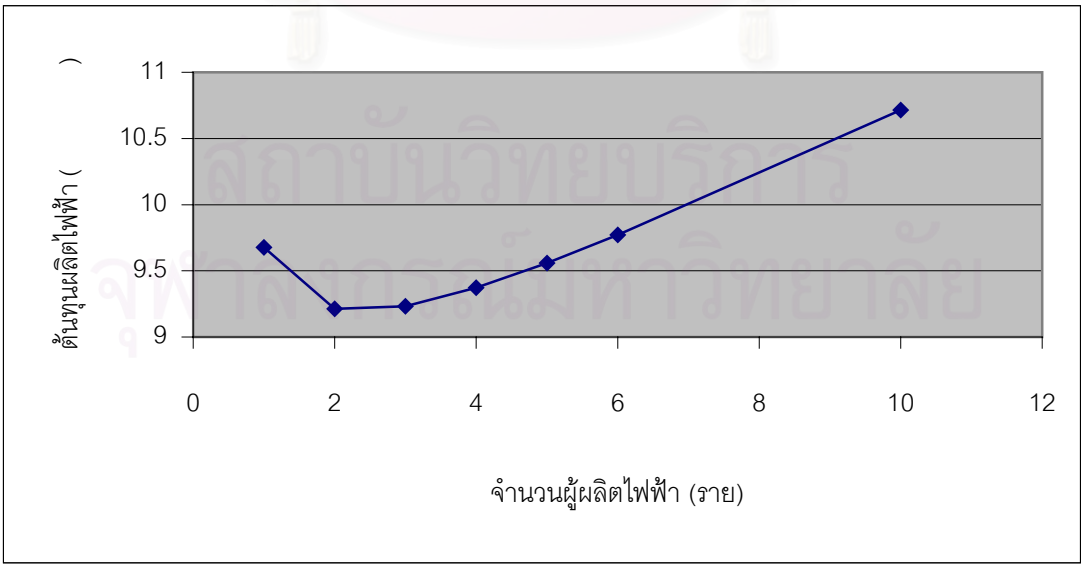
จำนวนผู้ผลิตไฟฟ้า	ความต้องการขายไฟฟ้าต่อ 1 ราย (MWh)	ราคาเสนอซื้อขายไฟฟ้าเฉลี่ย (₹/MWh)	
		ผู้ค้าปลีกไฟฟ้า	ผู้ผลิตไฟฟ้า
1	300	14.81	14.76
2	150	14.60	14.44
3	100	14.71	14.52
4	75	14.78	14.62
5	60	14.87	14.72
6	50	14.94	14.84
10	30	15.81	15.42

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.4 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาไฟฟ้าและจำนวนผู้ผลิตไฟฟ้า

จากรูปที่ 6.4 พบว่า หากจำนวนผู้ผลิตไฟฟ้ามากขึ้น ระดับราคาจะสูงยิ่งขึ้น ผลที่ได้ขัดแย้งกับทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์ เนื่องจากในแบบจำลองนี้กำหนดให้การเสนอราคาของผู้ผลิตไฟฟ้าสามารถเสนอราคาได้ต่ำที่สุดที่ต้นทุนเฉลี่ยของการผลิตไฟฟ้า เป็นผลของฟังก์ชันต้นทุนการผลิตเฉลี่ยมีผลต่อราคามากกว่าผลของจำนวนผู้ผลิตไฟฟ้าในตลาด ซึ่งเส้นต้นทุนเฉลี่ยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.5



รูปที่ 6.5 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนผู้ผลิตไฟฟ้าและต้นทุนการผลิตไฟฟ้าเฉลี่ย

6.5 สรุป

ในบทนี้ได้แสดงถึงการประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมเป็นกลไกการตัดสินใจตั้งราคาเสนอซื้อและเสนอขายไฟฟ้าของสมาชิกในการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา โดยแบบจำลองสามารถแสดงผลของปริมาณความต้องการซื้อขายไฟฟ้าและผลของจำนวนผู้ซื้อและผู้ขายไฟฟ้าในตลาดที่ส่งผลต่อราคาได้ ดังแสดงในหัวข้อ 6.1 – 6.4 ซึ่งผลการจำลองสอดคล้องกับทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์

ในบทต่อไป เป็นการจำลองการซื้อขายไฟฟ้าในช่วงเวลาจริงเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า เป็นแบบจำลองที่มีความซับซ้อนยิ่งขึ้น โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำแบบจำลองของผู้ซื้อและผู้ขายไฟฟ้าที่ใช้ในบทที่ 6 นี้ ไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของแบบจำลองด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

การจำลองการซื้อขายไฟฟ้าในช่วงเวลาจริงเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการจำลองการซื้อขายในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า ซึ่งจะแตกต่างจากแบบจำลองที่ใช้ในบทที่ 6 เนื่องจากในบทที่ 6 เป็นการเจรจาต่อรองกันระหว่างผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ค้าปลีกไฟฟ้าโดยตรง แต่แบบจำลองในบทที่ 7 นี้ จะเป็นการเสนอราคาซื้อและเสนอราคาขายให้กับศูนย์ควบคุมระบบ จากนั้นใช้การจัดสรรกำลังการผลิตแบบออฟติมัลเพาเวอร์โฟวล์เสมือนเป็นตัดสินใจของศูนย์ควบคุมระบบ เป็นผลให้ข้อจำกัดของระบบมีผลต่อปริมาณไฟฟ้าที่สมาชิกแต่ละรายได้รับ อีกทั้งหากมีการทำนายความต้องการไฟฟ้าคลาดเคลื่อนจากที่ใช้จริง จะต้องถูกปรับด้วยราคา SBP และ SSP ซึ่งได้แสดงรายละเอียดไว้แล้วในบทที่ 2

การศึกษาจะแยกเป็นกรณีหลัก 2 กรณีดังต่อไปนี้

1. การศึกษาราคาไฟฟ้าในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า เมื่อไม่มีข้อจำกัดของสายส่งและไม่มีความคลาดเคลื่อนจากการทำนายความต้องการไฟฟ้า
2. การศึกษาราคาไฟฟ้าในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า เมื่อมีข้อจำกัดของสายส่งและมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายความต้องการไฟฟ้า

สมมุติฐาน

1. การซื้อขายไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเป็นการซื้อขายอย่างง่าย คือ ผู้ผลิตไฟฟ้าจะเสนอราคาเพื่อขายไฟฟ้าเท่านั้น และผู้ค้าปลีกไฟฟ้าจะเสนอราคาเพื่อซื้อเท่านั้น
2. กำลังไฟฟ้ารวมทั้งระบบสามารถจ่ายให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าได้อย่างเพียงพอ
3. การตัดสินใจของศูนย์ควบคุมระบบเมื่อระบบเกิดความไม่สมดุล จะดำเนินการดังต่อไปนี้
   - ถ้าโหลดมีปริมาณมากกว่าปริมาณไฟฟ้ารวมที่แจ้งกับศูนย์ควบคุมระบบ ศูนย์ควบคุมระบบจะเลือกซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าเท่านั้น
   - ถ้าโหลดมีปริมาณน้อยกว่าปริมาณไฟฟ้ารวมที่แจ้งกับศูนย์ควบคุมระบบ ศูนย์ควบคุมระบบจะเลือกซื้อไฟฟ้าจากผู้ค้าปลีกไฟฟ้าเท่านั้น

ในแบบจำลองที่ใช้ประกอบด้วยพารามิเตอร์ดังต่อไปนี้

1. ผู้ผลิตไฟฟ้า

สมการราคาขาย เป็นดังสมการที่ 4.1 ในบทที่ 4

$$Price_1 = \frac{n}{1023} \times Range + k_1$$

โดย $Range$ = 20 ₹/MWh

k_1 = 0 ₹/MWh (ราคาต่ำสุดที่ผู้ผลิตไฟฟ้าสามารถขายได้)

2. ผู้ค้าปลีกไฟฟ้า

สมการราคาซื้อ เป็นดังสมการที่ 4.2 ในบทที่4

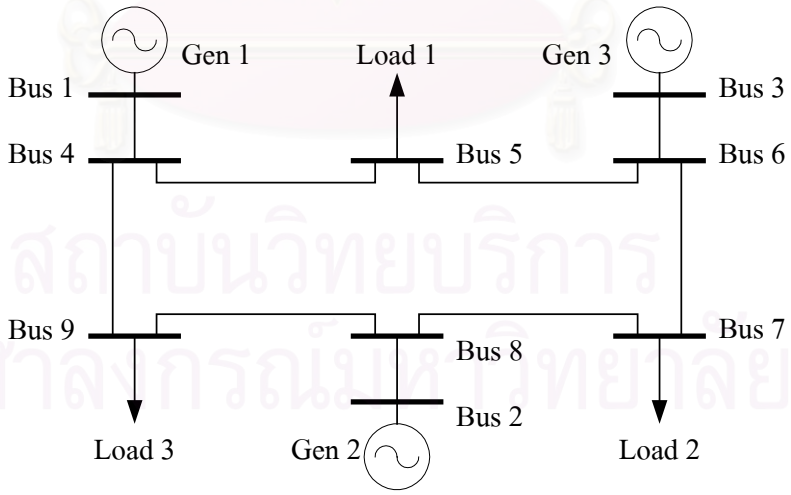
$$Price_2 = k_2 - \frac{n}{1023} \times Range$$

โดย $Range$ = 20 ₹/MWh

k_2 = 20 ₹/MWh (ราคาสูงสุดที่ผู้ค้าปลีกไฟฟ้าสามารถซื้อได้)

3. ระบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าที่ใช้พิจารณาเป็นระบบไฟฟ้าแบบ 9 บัส ดังรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 ระบบไฟฟ้า 9 บัสที่ใช้ในแบบจำลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.1 การศึกษาราคาไฟฟ้าในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า เมื่อไม่มีข้อจำกัดของสายส่งและไม่มีความคลาดเคลื่อนจากการทำนายความต้องการไฟฟ้า

กำหนดให้

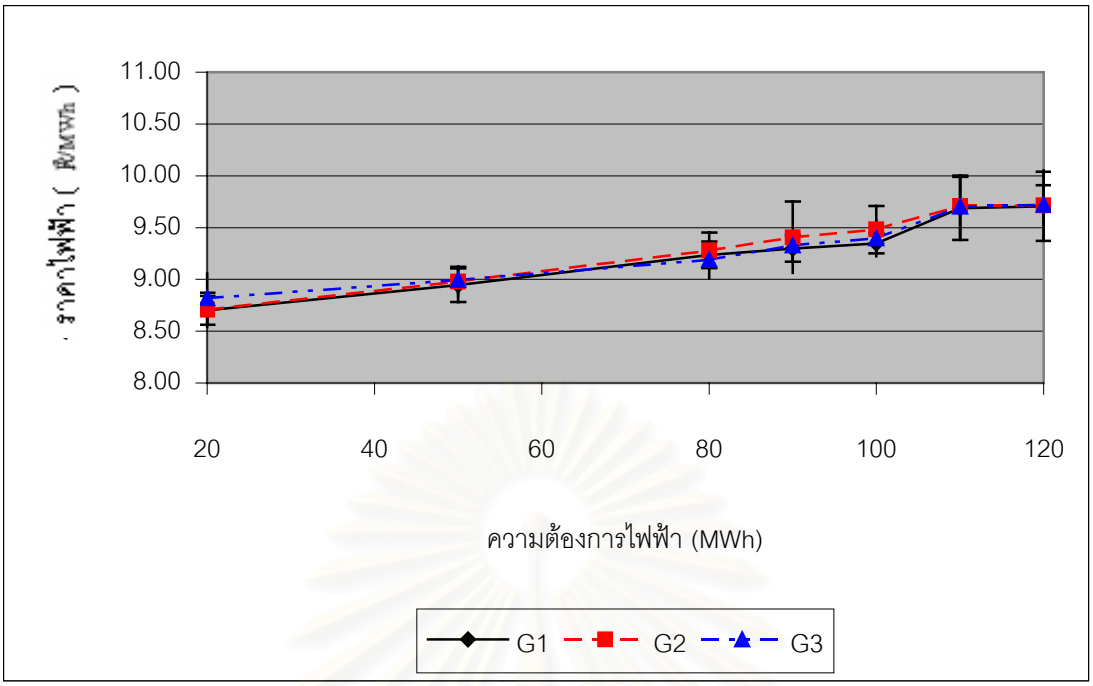
- มีผู้ผลิตไฟฟ้า จำนวน 3 ราย
- มีผู้ค้าปลีกไฟฟ้า จำนวน 3 ราย

ผลการจำลองเป็นดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความต้องการไฟฟ้าต่างๆ

ความต้องการไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้า (MWh)	ราคาขายพลังงานของผู้ผลิตไฟฟ้า (฿/MWh)					
	รายที่ 1 (G1)		รายที่ 2 (G2)		รายที่ 3 (G3)	
	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.
20	8.70	0.14	8.71	0.17	8.82	0.24
50	8.94	0.16	8.98	0.14	9.00	0.12
80	9.24	0.13	9.28	0.17	9.19	0.18
90	9.30	0.13	9.41	0.35	9.33	0.13
100	9.35	0.10	9.48	0.22	9.40	0.17
110	9.69	0.31	9.71	0.29	9.70	0.30
120	9.70	0.33	9.71	0.20	9.72	0.33

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาไฟฟ้าและความต้องการไฟฟ้าเมื่อไม่มีข้อจำกัดของระบบไฟฟ้าและไม่มีความผิดพลาดจากการทำนายความต้องการไฟฟ้า

จากรูปที่ 7.2 พบว่า เมื่อไม่มีความแออัดเกิดขึ้นในระบบ การแข่งขันในตลาดจะเป็นการแข่งขันแบบสมบูรณ์ เนื่องจากผู้ผลิตไฟฟ้าทุกรายมีสินค้าและเงื่อนไขทางด้านระบบเหมือนกัน ดังนั้นราคาของผู้ผลิตทุกรายจึงมีความใกล้เคียงกัน และเนื่องจากปริมาณไฟฟ้าที่ทำสัญญาเท่ากับปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าจริง ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ซื้อขายจึงเป็นพลังงานในส่วนกำลังสูญเสียทางไฟฟ้า(Loss) และเมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้ามากขึ้น กำลังสูญเสียทางไฟฟ้ามากขึ้น ดังนั้นราคาจึงเพิ่มขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.2 การศึกษาราคาไฟฟ้าในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้า เมื่อมีข้อจำกัดของสายส่งและมีค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายความต้องการไฟฟ้า

การศึกษาในกรณีนี้ แบ่งออกเป็น 3 กรณีย่อย ดังนี้

1. เมื่อกำหนดให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 100 MWh คงที่
2. เมื่อกำหนดให้พลังงานไฟฟ้าที่ทำสัญญาเท่ากับ 100 MWh คงที่
3. เมื่อกำหนดให้พลังงานไฟฟ้าที่ทำสัญญาเท่ากับร้อยละ 95ของความต้องการใช้ไฟฟ้าจริง

7.2.1 เมื่อกำหนดให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงคงที่

กำหนดให้

- มีผู้ผลิตไฟฟ้า จำนวน 3 ราย
- มีผู้ค้าปลีกไฟฟ้า จำนวน 3 ราย
- ความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 100 MWh

ผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 7.2-7.4

ตารางที่ 7.2 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ เมื่อผู้ค้าปลีกทำสัญญาซื้อพลังงานรายละ 80 MWh

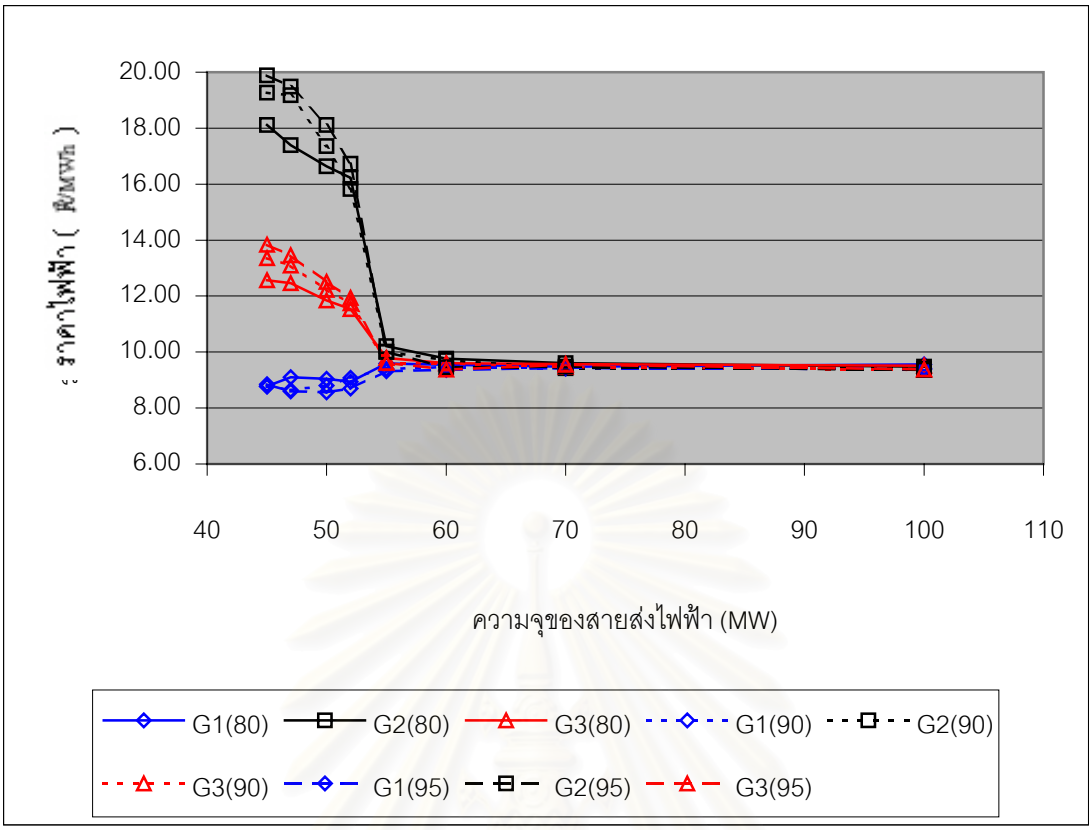
ความจุของสายส่งจากบัส 4 ไปยังบัส 9 (MW)	ราคาขายพลังงานของผู้ผลิตไฟฟ้า (฿/MWh)					
	รายที่ 1 (G1)		รายที่ 2 (G2)		รายที่ 3 (G3)	
	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.
45	8.78	0.53	18.11	0.40	12.57	0.36
47	9.10	0.26	17.39	0.53	12.46	0.19
50	9.05	0.42	16.64	0.88	11.85	0.23
52	8.93	0.52	16.22	0.48	11.53	0.60
55	9.60	0.26	10.21	0.33	9.79	0.21
60	9.55	0.21	9.77	0.23	9.60	0.23
70	9.47	0.17	9.60	0.27	9.57	0.20
100	9.55	0.29	9.48	0.20	9.51	0.23

ตารางที่ 7.3 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ เมื่อผู้ค้าปลีกทำสัญญาซื้อพลังงานรายละ 90 MWh

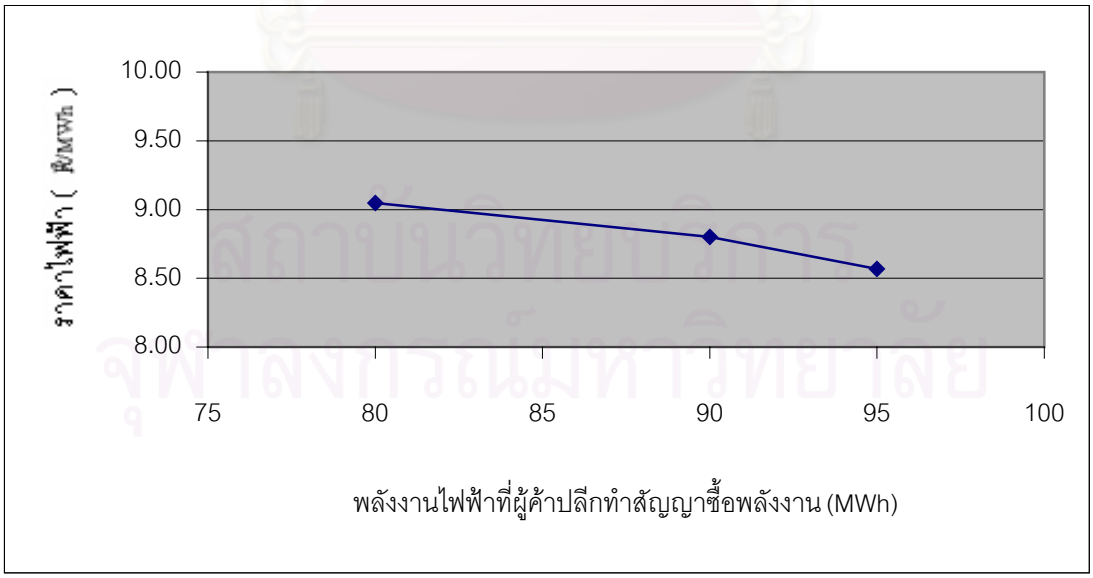
ความจุของสายส่งจากบัส 4 ไปยังบัส 9 (MW)	ราคาขายพลังงานของผู้ผลิตไฟฟ้า (₧/MWh)					
	รายที่ 1 (G1)		รายที่ 2 (G2)		รายที่ 3 (G3)	
	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.
45	8.77	0.56	19.27	0.31	13.36	0.31
47	8.65	0.64	19.18	0.24	13.09	0.44
50	8.80	0.44	17.36	0.60	12.22	0.33
52	9.08	0.26	15.82	1.01	11.74	0.39
55	9.40	0.22	10.01	0.30	9.60	0.21
60	9.47	0.22	9.71	0.31	9.59	0.33
70	9.41	0.22	9.41	0.17	9.46	0.34
100	9.41	0.13	9.40	0.13	9.37	0.08

ตารางที่ 7.4 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ เมื่อผู้ค้าปลีกทำสัญญาซื้อพลังงานรายละ 95 MWh

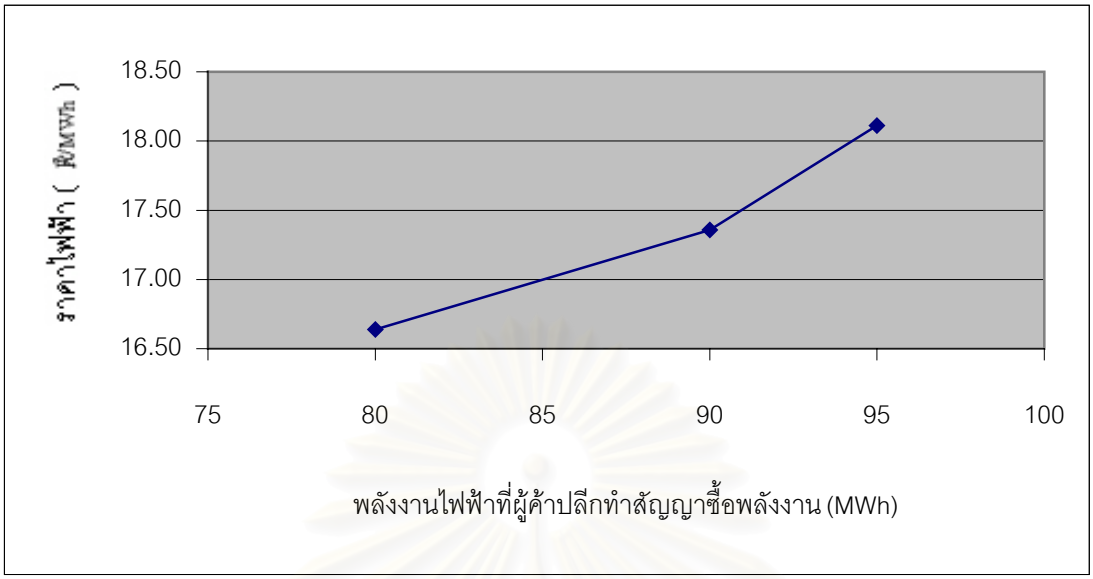
ความจุของสายส่งจากบัส 4 ไปยังบัส 9 (MW)	ราคาขายพลังงานของผู้ผลิตไฟฟ้า (₧/MWh)					
	รายที่ 1 (G1)		รายที่ 2 (G2)		รายที่ 3 (G3)	
	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.
45	8.85	0.87	19.89	0.14	13.83	0.47
47	8.60	0.93	19.49	0.23	13.46	0.45
50	8.57	0.87	18.11	0.52	12.50	0.42
52	8.70	0.42	16.73	0.87	11.93	0.48
55	9.31	0.17	10.00	0.44	9.62	0.25
60	9.36	0.17	9.46	0.14	9.37	0.13
70	9.43	0.22	9.48	0.28	9.55	0.23
100	9.39	0.19	9.37	0.11	9.39	0.14



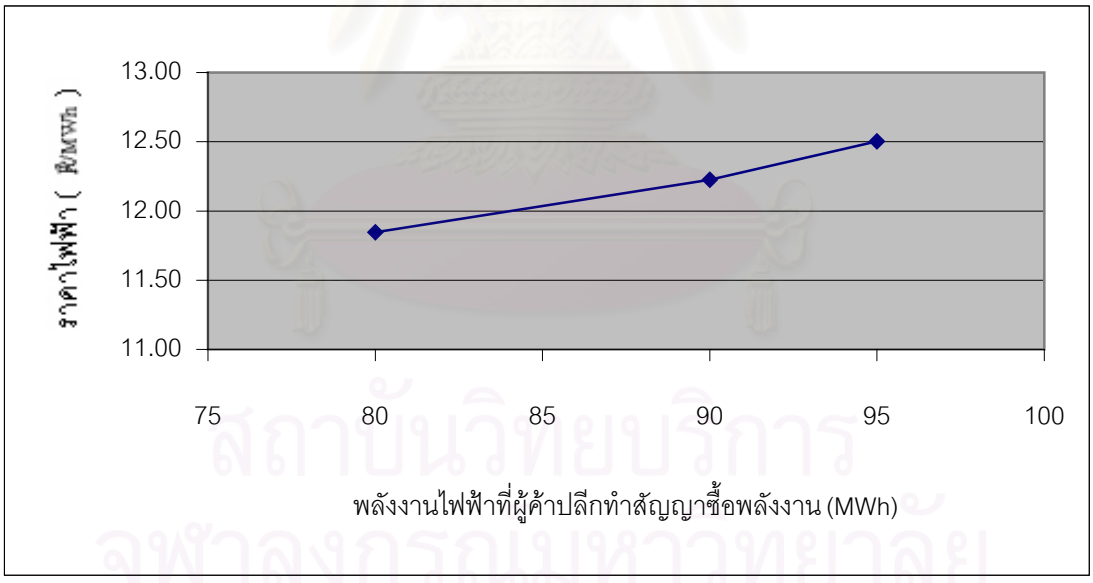
รูปที่ 7.3 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าต่างๆ
เมื่อผู้ค้าปลีกทำสัญญาซื้อพลังงานรายละ 80, 90, 95 MWh



รูปที่ 7.4 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายที่ 1 กับปริมาณพลังงานไฟฟ้า
ที่ผู้ค้าปลีกทำสัญญาซื้อพลังงานที่ความจุของสายส่งไฟฟ้า 50 MW



รูปที่ 7.5 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายที่ 2 กับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ค้าปลีกทำสัญญาซื้อพลังงานที่ความจุของสายส่งไฟฟ้า 50 MW



รูปที่ 7.6 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายที่ 3 กับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ผู้ค้าปลีกทำสัญญาซื้อพลังงานที่ความจุของสายส่งไฟฟ้า 50 MW

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 7.3-7.6 พบว่า ในกรณีที่เกิดการแออัดของสายส่งเชื่อมจากบัส 4 ไปยัง บัส 9 ระดับราคาการเสนอขายของผู้ผลิตไฟฟ้าเมื่อเรียงราคาจากสูงไปหาต่ำ คือ G2, G3, G1 เนื่องจากเมื่อพิจารณาระบบไฟฟ้าที่ใช้คำนวณพบว่า ผู้ผลิตไฟฟ้า G2 มีความจำเป็นต่อระบบมากกว่าผู้ผลิตไฟฟ้า G3 และผู้ผลิตไฟฟ้า G3 มีความจำเป็นต่อระบบมากกว่าผู้ผลิตไฟฟ้า G1

นอกจากนี้ในกรณีที่เกิดการแออัดของสายส่ง เมื่อผู้ค้าปลีกไฟฟ้าทำสัญญาซื้อพลังงานมากขึ้น ระดับราคาการเสนอขายของผู้ผลิตไฟฟ้า G2 และ G3 ในตลาดเพื่อความสมดุลของระบบจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากการซื้อขายไฟฟ้าเป็นรูปแบบอย่างง่าย ดังนั้น หากผู้ค้าปลีกไฟฟ้าทำสัญญาซื้อพลังงานมากขึ้นจะทำให้การปรับเปลี่ยนการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่างๆมีความยืดหยุ่นน้อยลง นั่นคือ ศูนย์ควบคุมระบบมีทางเลือกน้อยลงในการปรับเปลี่ยนการผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่ผู้ผลิตไฟฟ้า G1 แนวโน้มของราคาลดลง เนื่องจากเมื่อระบบมีความยืดหยุ่นน้อยลง ผู้ผลิตไฟฟ้า G1 ย่อมมีโอกาสได้รับการจัดสรรกำลังการผลิตมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.2.2 เมื่อกำหนดให้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ทำสัญญาคงที่

กำหนดให้

- มีผู้ผลิตไฟฟ้า จำนวน 3 ราย
- มีผู้ค้าปลีกไฟฟ้า จำนวน 3 ราย
- พลังงานไฟฟ้าที่ทำสัญญา 100 MWh

ผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 7.5-7.7

ตารางที่ 7.5 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 105 MWh

ความจุของสายส่งจากบัส 4 ไปยังบัส 9 (MW)	ราคาขายพลังงานของผู้ผลิตไฟฟ้า (₹/MWh)					
	รายที่ 1 (G1)		รายที่ 2 (G2)		รายที่ 3 (G3)	
	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.
45	4.64	0.46	20.00	0.00	12.17	0.33
47	8.81	0.53	19.85	0.16	14.02	0.33
50	8.84	0.62	19.20	0.31	13.29	0.35
52	8.73	0.70	18.24	0.44	12.72	0.42
55	8.90	0.48	14.41	1.32	11.20	0.52
60	9.50	0.16	9.74	0.28	9.57	0.19
70	9.40	0.17	9.37	0.16	9.32	0.10
100	9.40	0.16	9.44	0.15	9.34	0.09

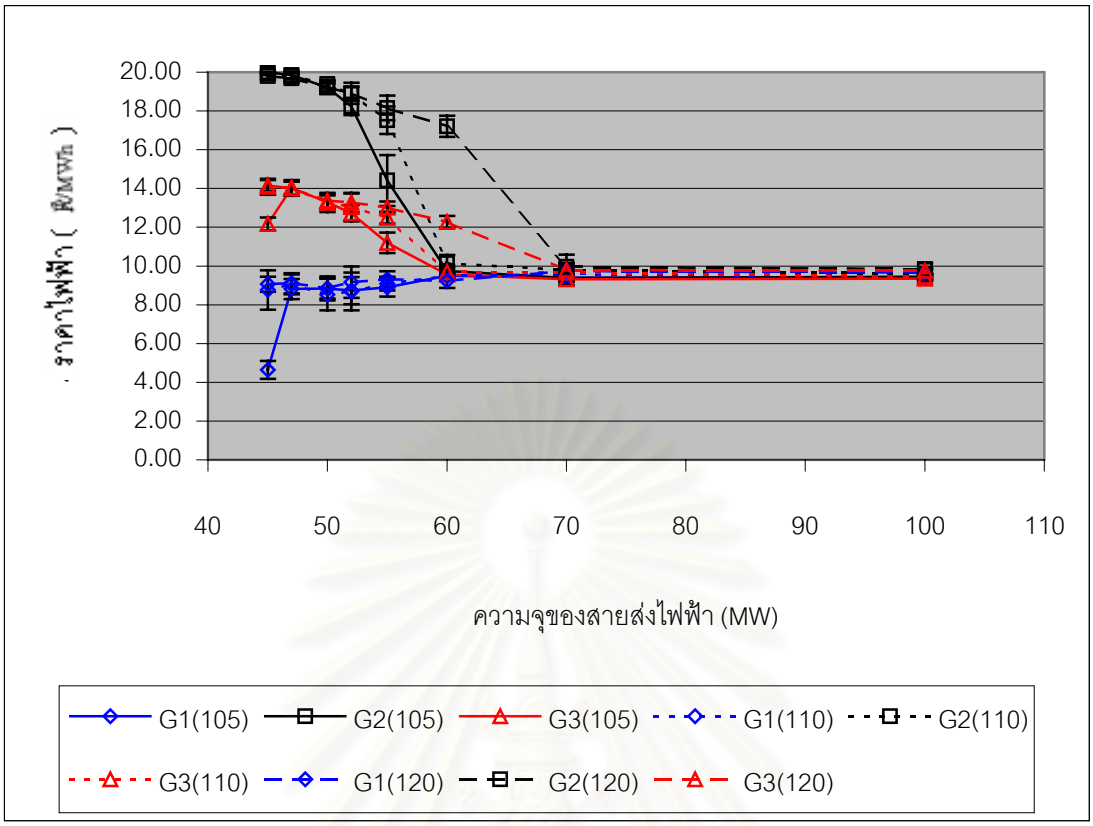
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.6 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 110 MWh

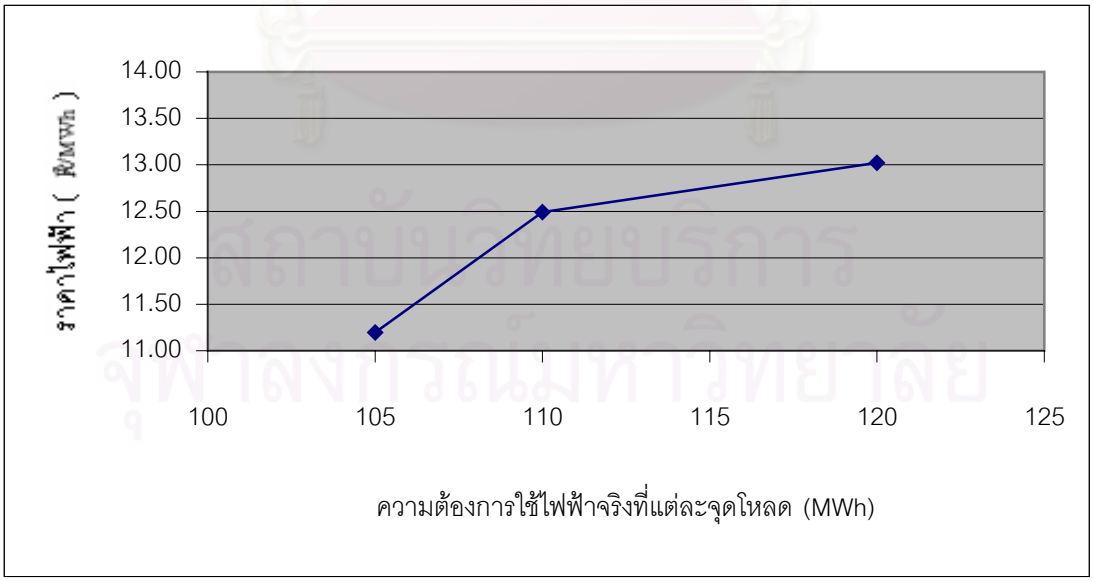
ความจุของสายส่งจากบัส 4 ไปยังบัส 9 (MW)	ราคาขายพลังงานของผู้ผลิตไฟฟ้า (₹/MWh)					
	รายที่ 1 (G1)		รายที่ 2 (G2)		รายที่ 3 (G3)	
	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.
45	8.76	1.01	19.92	0.07	14.09	0.41
47	9.05	0.51	19.82	0.18	14.03	0.40
50	8.53	0.81	19.39	0.22	13.26	0.47
52	8.69	0.98	18.88	0.37	13.04	0.69
55	9.09	0.35	17.52	0.71	12.49	0.30
60	9.48	0.13	10.14	0.44	9.69	0.21
70	9.59	0.33	9.79	0.79	9.67	0.45
100	9.47	0.11	9.59	0.24	9.45	0.09

ตารางที่ 7.7 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 120 MWh

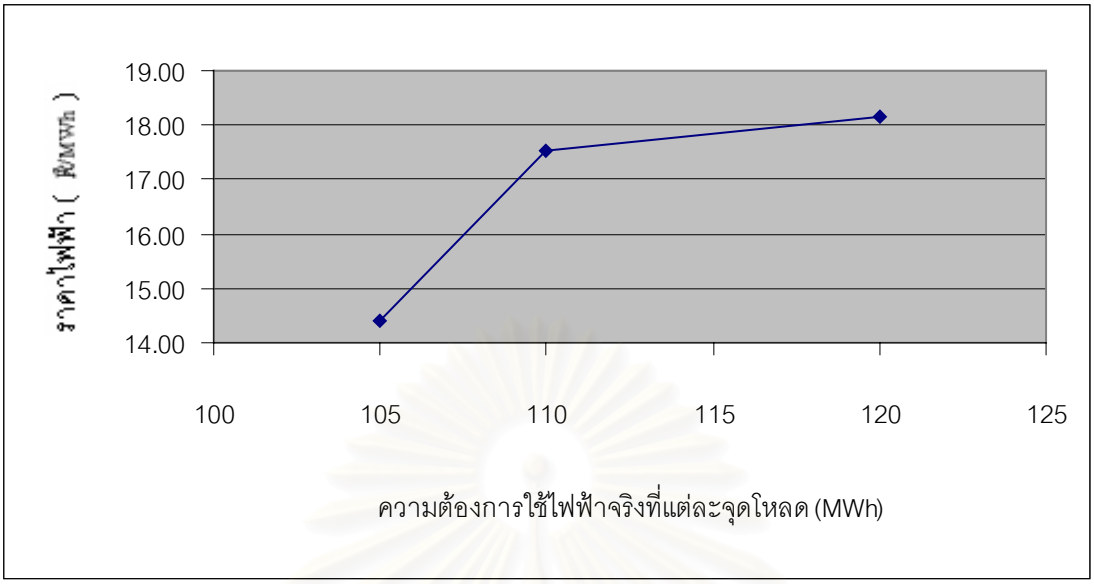
ความจุของสายส่งจากบัส 4 ไปยังบัส 9 (MW)	ราคาขายพลังงานของผู้ผลิตไฟฟ้า (₹/MWh)					
	รายที่ 1 (G1)		รายที่ 2 (G2)		รายที่ 3 (G3)	
	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.
45	9.06	0.39	19.81	0.20	14.16	0.28
47	9.11	0.52	19.69	0.24	14.00	0.38
50	8.85	0.53	19.22	0.21	13.38	0.40
52	9.16	0.81	18.91	0.54	13.27	0.50
55	9.32	0.41	18.15	0.63	13.02	0.30
60	9.24	0.37	17.21	0.55	12.28	0.31
70	9.75	0.20	9.96	0.19	9.80	0.20
100	9.65	0.16	9.85	0.29	9.76	0.13



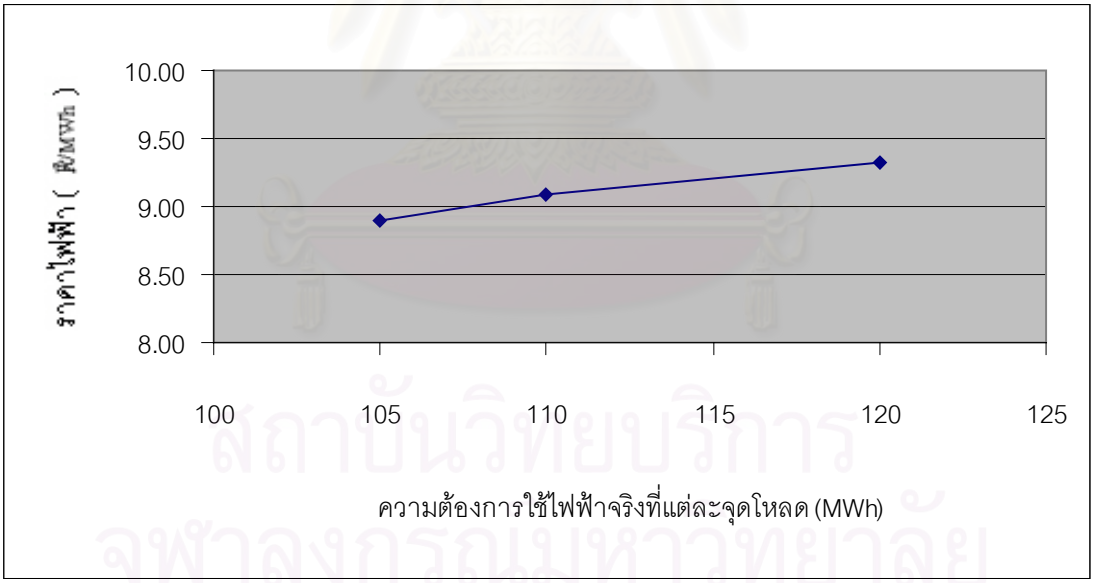
รูปที่ 7.7 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ
เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 105, 110, 120 MWh



รูปที่ 7.8 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายที่ 1 กับความต้องการใช้ไฟฟ้าจริง
ที่ความจุของสายส่งไฟฟ้า 55 MW



รูปที่ 7.9 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายที่ 2 กับความต้องการใช้ไฟฟ้าจริง ที่ความจุของสายส่งไฟฟ้า 55 MW



รูปที่ 7.10 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายที่ 3 กับความต้องการใช้ไฟฟ้าจริง ที่ความจุของสายส่งไฟฟ้า 55 MW

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 7.7-7.10 พบว่า เมื่อปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงเพิ่มขึ้น ราคาการเสนอขายไฟฟ้าในช่วงเวลาจริงเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้นที่ความจุไฟฟ้าของสายส่งไฟฟ้าเดียวกัน เนื่องจากในการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าหากผู้ค้าปลีกไฟฟ้าทำสัญญาซื้อพลังงานต่ำกว่าปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงยิ่งมาก จะทำให้ผู้ผลิตไฟฟ้ามีอำนาจในการตั้งราคาขายให้สูงขึ้นได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.2.3 เมื่อกำหนดให้พลังงานไฟฟ้าที่ทำสัญญาเท่ากับร้อยละ 95ของความต้องการใช้ไฟฟ้าจริง

กำหนดให้

- มีผู้ผลิตไฟฟ้า จำนวน 3 ราย
- มีผู้ค้าปลีกไฟฟ้า จำนวน 3 ราย
- ความต้องการใช้ไฟฟ้าจริง 80, 90, 110, 120 MWh

ผลการทดลองเป็นดังตารางที่ 7.8-7.11

ตารางที่ 7.8 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 80 MWhและปริมาณพลังงานไฟฟ้าทำสัญญารายละ 76 MWh

ความจุของสายส่งจากบัส 4 ไปยังบัส 9 (MW)	ราคาขายพลังงานของผู้ผลิตไฟฟ้า (₹/MWh)					
	รายที่ 1 (G1)		รายที่ 2 (G2)		รายที่ 3 (G3)	
	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.
45	9.00	0.09	9.67	0.15	9.26	0.11
47	9.19	0.19	9.45	0.23	9.30	0.20
50	9.26	0.21	9.24	0.15	9.22	0.14
52	9.39	0.40	9.51	0.65	9.43	0.62
55	9.12	0.09	9.19	0.17	9.24	0.20
60	9.18	0.10	9.32	0.38	9.40	0.34
70	9.25	0.26	9.30	0.35	9.15	0.13
100	9.32	0.17	9.25	0.27	9.36	0.42

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.9 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 90 MWhและปริมาณพลังงานไฟฟ้าทำสัญญารายละ 85.5 MWh

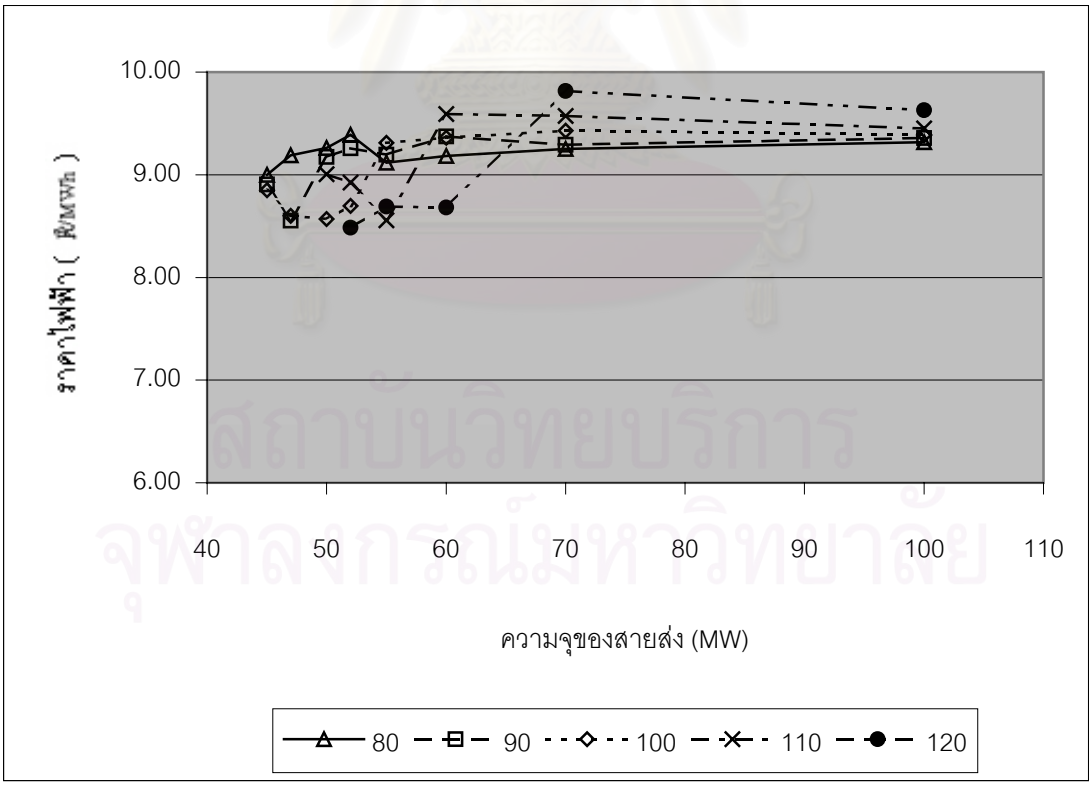
ความจุของสายส่งจากบัส 4 ไปยังบัส 9 (MW)	ราคาขายพลังงานของผู้ผลิตไฟฟ้า (₧/MWh)					
	รายที่ 1 (G1)		รายที่ 2 (G2)		รายที่ 3 (G3)	
	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.
45	8.90	0.41	18.41	0.68	12.77	0.38
47	8.55	0.60	17.74	0.49	12.26	0.36
50	9.17	0.15	9.76	0.24	9.38	0.11
52	9.26	0.29	9.60	0.46	9.31	0.24
55	9.20	0.10	9.28	0.23	9.17	0.11
60	9.37	0.28	9.17	0.13	9.23	0.19
70	9.29	0.17	9.27	0.14	9.31	0.23
100	9.36	0.19	9.28	0.14	9.27	0.09

ตารางที่ 7.10 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 110 MWhและปริมาณพลังงานไฟฟ้าทำสัญญารายละ 104.5 MWh

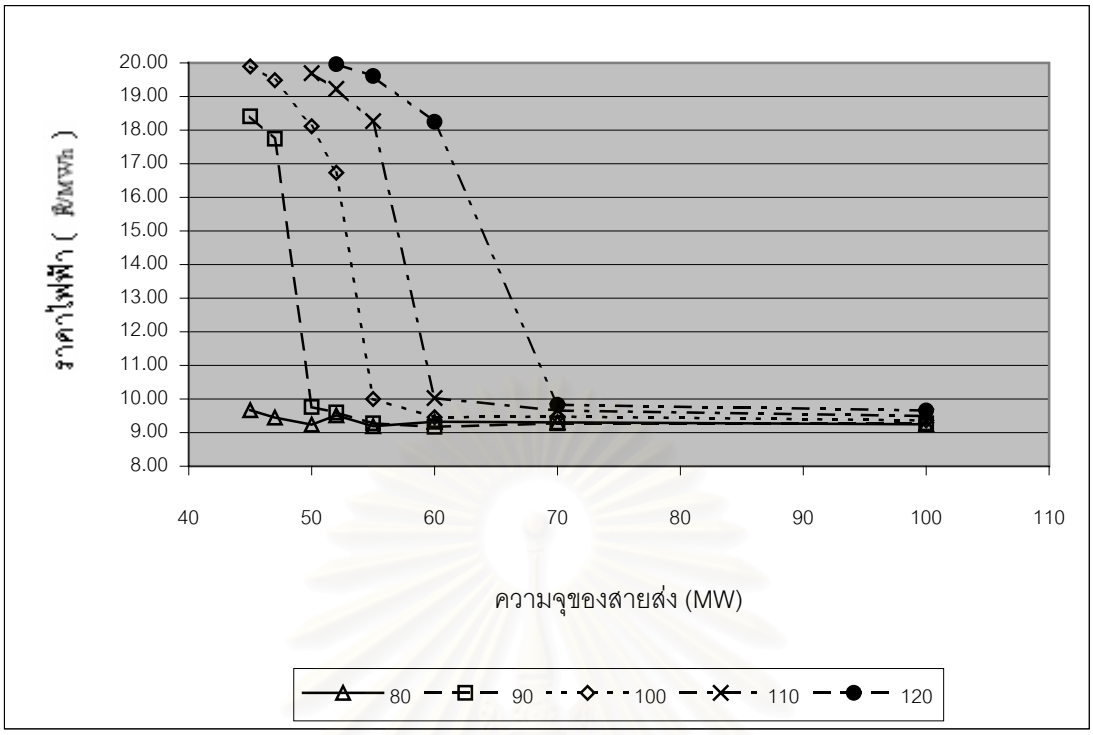
ความจุของสายส่งจากบัส 4 ไปยังบัส 9 (MW)	ราคาขายพลังงานของผู้ผลิตไฟฟ้า (₧/MWh)					
	รายที่ 1 (G1)		รายที่ 2 (G2)		รายที่ 3 (G3)	
	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.
45	-	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	-
50	9.01	0.31	19.69	0.18	13.96	0.26
52	8.93	0.44	19.23	0.32	13.45	0.39
55	8.56	0.50	18.26	0.75	12.53	0.41
60	9.59	0.31	10.03	0.21	9.73	0.12
70	9.57	0.25	9.66	0.34	9.57	0.18
100	9.45	0.15	9.49	0.26	9.44	0.10

ตารางที่ 7.11 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 120 MWhและปริมาณพลังงานไฟฟ้าทำสัญญารายละ 114 MWh

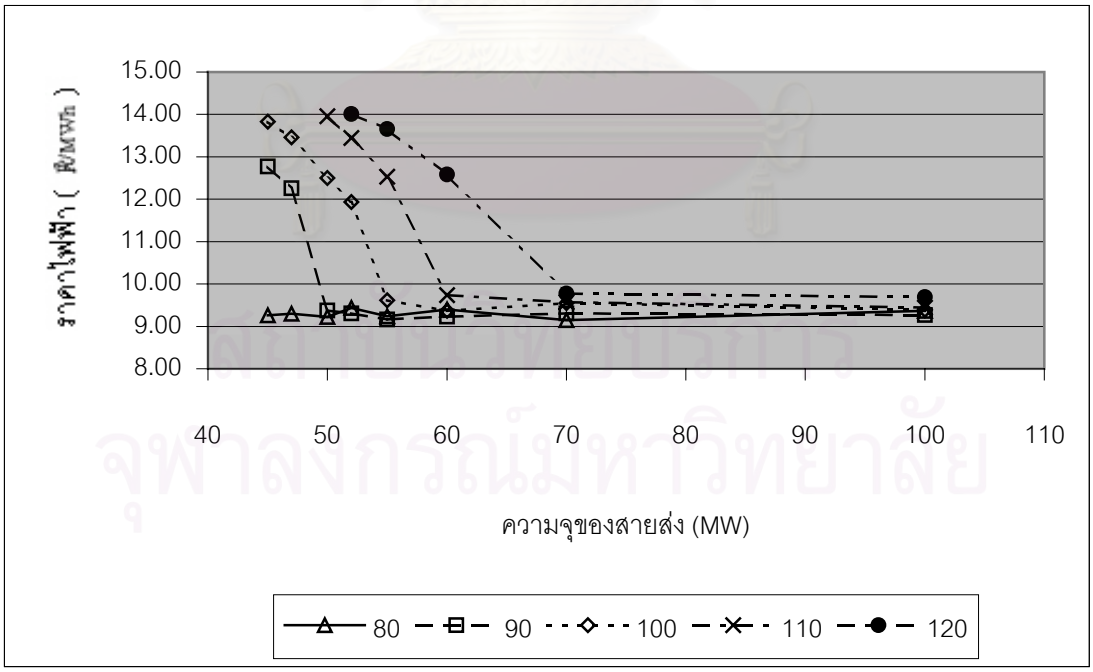
ความจุของสายส่งจากบัส 4 ไปยังบัส 9 (MW)	ราคาขายพลังงานของผู้ผลิตไฟฟ้า (₹/MWh)					
	รายที่ 1 (G1)		รายที่ 2 (G2)		รายที่ 3 (G3)	
	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.	เฉลี่ย	S.D.
45	-	-	-	-	-	-
47	-	-	-	-	-	-
50	-	-	-	-	-	-
52	8.48	1.24	19.96	0.05	14.01	0.83
55	8.69	0.88	19.61	0.12	13.66	0.52
60	8.68	0.52	18.24	0.22	12.58	0.21
70	9.82	0.34	9.83	0.23	9.78	0.20
100	9.63	0.20	9.66	0.14	9.69	0.44



รูปที่ 7.11 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายที่ 1 ที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ เมื่อพลังงานไฟฟ้าที่ทำสัญญาเท่ากับร้อยละ 95 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าจริง



รูปที่ 7.12 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายที่ 2 ที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ เมื่อพลังงานไฟฟ้าที่ทำสัญญาเท่ากับร้อยละ 95 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าจริง



รูปที่ 7.13 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้ารายที่ 3 ที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ เมื่อพลังงานไฟฟ้าที่ทำสัญญาเท่ากับร้อยละ 95 ของความต้องการใช้ไฟฟ้าจริง

จากรูปที่ 7.11 – 7.13 พบว่าที่ค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากันถ้าความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงน้อยจะทำให้ราคาของการซื้อขายในช่วงเวลาจริงเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้าต่ำลง และในทางตรงข้าม หากความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงมากขึ้นทำให้ราคาการซื้อขายไฟฟ้าในช่วงเวลาจริงเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้าสูงขึ้น กล่าวคือ ถ้าระบบมีความแออัดเกิดขึ้น หากมีความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงมากขึ้นจะส่งผลให้ความแออัดของสายส่งมีผลต่อราคายิ่งขึ้น

7.3 สรุป

จากการศึกษาข้างต้น พบว่า เมื่อระบบไฟฟ้ามีข้อจำกัดทางด้านสายส่งเกิดขึ้น ทำให้สมาชิกในตลาดซื้อขายไฟฟ้าแต่ละรายมีความไม่เท่าเทียมกันเกิดขึ้น ทำให้ผู้ผลิตไฟฟ้าบางรายสามารถตั้งราคาการเสนอขายไฟฟ้าให้สูงได้ อีกทั้งเมื่อมีการทำนายความต้องการใช้ไฟฟ้า เพื่อทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาคลาดเคลื่อนไปจากความต้องการใช้ไฟฟ้าจริง ทำให้ราคาไฟฟ้าในตลาดโดยรวมมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นเพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นสมาชิกในตลาดจึงควรมีการทำนายความต้องการไฟฟ้าให้ใกล้เคียงกับความต้องการใช้จริงมากยิ่งขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 8

สรุปและข้อเสนอแนะ

8.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับกลไกการทำงานของตลาดการซื้อขายไฟฟ้า และได้ประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมแทนการตั้งราคาของสมาชิกในตลาด เนื่องจากผลที่ได้สอดคล้องกับทฤษฎีทางเศรษฐศาสตร์ จึงสามารถนำผลการจำลองที่ได้ไปใช้วิเคราะห์ความได้เปรียบเสียเปรียบระหว่างสมาชิกในตลาด ซึ่งมีประโยชน์ทั้งฝ่ายสมาชิกในตลาดและศูนย์ควบคุมระบบ กล่าวคือ สมาชิกในตลาดสามารถรู้จุดสมดุลของราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของตนในการซื้อขายไฟฟ้า ทำให้สามารถใช้จุดสมดุลนั้นตั้งราคาได้ ศูนย์ควบคุมระบบสามารถนำผลที่ได้นี้ไปพัฒนาระบบให้เกิดความยุติธรรมกับสมาชิกในตลาดทุกรายเพื่อเตรียมความพร้อมสำหรับการปล่อยเสรีที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

จากการจำลองสภาวะการซื้อขายในตลาดสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การทำสัญญาซื้อขายพลังงานไฟฟ้าแบบคู่สัญญา ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อราคาในการทำสัญญา คือ ความต้องการซื้อและความต้องการขายพลังงานไฟฟ้า หากมีปริมาณความต้องการซื้อไฟฟ้ามาก ราคาในการทำสัญญาก็จะสูงขึ้น และหากมีปริมาณความต้องการขายไฟฟ้ามาก ราคาในการทำสัญญาก็จะลดต่ำลง อีกทั้งยังมีปัจจัยทางด้านจำนวนผู้ขายพลังงานไฟฟ้าและจำนวนผู้ซื้อพลังงานไฟฟ้า
2. ราคาซื้อขายพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาจริงเพื่อความสมดุลของระบบ หากมีการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาก ทำให้ราคาเสนอขายไฟฟ้าในตลาดลดต่ำลง
3. ราคาซื้อขายพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลาจริงเพื่อความสมดุลของระบบไฟฟ้าขึ้นกับความสมบูรณ์ของระบบส่งไฟฟ้า หากระบบเกิดความแออัดขึ้นจะส่งผลให้สมาชิกในตลาดบางรายมีความได้เปรียบเกิดขึ้นหรือมีอำนาจเหนือตลาด ซึ่งส่งผลให้ราคาซื้อขายไฟฟ้าของสมาชิกที่ได้เปรียบหรือจำเป็นต้องได้รับการจัดสรรกำลังการผลิตจะสามารถตั้งราคาให้สูงได้ ซึ่งส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมในระบบเพิ่มมากขึ้น

4. ในระบบที่มีความแออัดของสายส่งอยู่แล้ว ถ้ามีความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงมาก ยิ่งทำให้ราคาการซื้อขายสูง นั่นคือ ความต้องการไฟฟ้ายิ่งสูงยิ่งทำให้ความแออัดของสายส่งส่งผลกระทบต่อราคาไฟฟ้ามาก

8.2 ข้อเสนอแนะ

1. การจำลองสมาชิกในตลาดด้วยเจนเนติกอัลกอริทึมสามารถกำหนดวัตถุประสงค์ในการตั้งราคาได้หลายวัตถุประสงค์ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้เป็นเพียงการดำเนินนโยบายการตลาดเพื่อให้ได้กำไรโดยรวมสูงสุดเท่านั้น ซึ่งในการศึกษาต่ออาจเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์เป็นวัตถุประสงค์อื่น
2. กลไกการซื้อขายไฟฟ้าในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการจำลองกลไกการซื้อขายอย่างง่าย ซึ่งหากต้องการให้ผลการจำลองใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น สามารถปรับเปลี่ยนการซื้อขายให้มีความซับซ้อนมากขึ้นได้
3. การเสนอราคาของสมาชิกในตลาดในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้เป็นเพียงการเสนอราคาแบบระดับเดียวซึ่งในความเป็นจริงการเสนอราคาอาจจะเป็นแบบ Piece wise linear ก็ได้
4. การคิดราคาไฟฟ้าเพื่อคำนวณหากำไร ในความเป็นจริงจะมีค่าใช้จ่ายอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งแบบจำลองที่ใช้จะคำนวณเพียงแค่ราคาซื้อขายและราคาปรับที่เกิดจากการทำให้ระบบเกิดความไม่สมดุล (SBP, SSP) เท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

1. นายวีรพันธุ์ รักวิจัย, การจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้า และบริการเสริมความมั่นคงของระบบไฟฟ้าในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้าด้วยวิธีโปรแกรมเชิงเส้น, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

2. X. Ma and D. Sun, Energy and Ancillary Service Dispatch in a Competitive Pool, IEEE Power Engineering Review Volume 18 Number 1, January 1998

3. สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, การปรับโครงสร้างกิจการไฟฟ้าและการจัดตั้งตลาดการซื้อขายไฟฟ้า, พฤศจิกายน 2543.

4. นายสุรชัย ชัยทัศนีย์, การคิดราคาในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

5. L. R. Clarke, New Electricity Trading Arrangements in England and Wales, IEEE PES, 2002, pp. 1-3.

6. Paule Stephenson and Mihai Paun, Electricity Market Trading, Power Engineering Journal, December 2001, pp. 277-288

7. John Pettigrew, Trading in Ancillary Services, IEE Colloquium, 6 march 2000.

8. Daniel S. Kirschen, Market Power in the Electricity Pool of England and Wales, IEEE, 2001, pp. 36-40.

9. Offer of Gas and Electricity Markets (OFGEM), The New Electricity Trading Arrangements Volume 2, July 1999, pp. 104-131, http://www.ofgem.gov.uk/docs/reta2.pdf

10. Derek W. Bunn and Fernando S. Oliveira, Agent-Based Simulation-An Application to the New Electricity Trading Arrangements of England and Wales, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol. 5, No. 5, October 2001, pp. 493-503.

11. Nation grid company, Balancing Services Adjustment Data Methodology Statement, 28 march2002,http://www.nationalgridinfo.co.uk/balancing/pdfs/BSAD_Feb_Decision_Letter.pdf

12. George A. Angelidis and Alex D. Papalexopoulos, On the Operation and Pricing of Real-time Competitive Electricity Markets, IEEE, 2002, pp. 420-427.

13. Stephen G. Nash and Ariela Sofer, Linear and Nonlinear Programming, McGraw-Hill, International Editions, 1996.

14. William D. Stevenson Jr., Elements of Power System Analysis, Forth Edition, McGraw-Hill, International Editions, 1982.

15. Allen J. Wood, Bruce F. Wollenberg, Power Generation Operation and Control, John Wiley& Sons, Inc., 1996.

16. Ray D. Zimmerman, Deqiang (David) Gan, MATPOWER, User's Manual, Power Systems Engineering Research Center (PSERC), School of Electrical Engineering, Cornell University, 1997, http://www.pserc.cornell.edu./matpower/matpower.html

17. ธนัดชัย กุลวรวานิชพงษ์, การทำงานที่เหมาะสมของระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้การตัดสินใจระบบฟัซซี่, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า , จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

18. Hartmut Pohlheim, Genetic and Evolutionary Algorithms: Principles Methds and Algorithms, http://www.systemtechnik.tu-ilmenau.de/~pohlheim/GA_Toolbox/algindex.html

19. Loi Lei Lai, Power System Restructuring and Deregulation, John Wiley & Sons, Ltd, England, April 2002.

20. Garng Huang and Qing Zhao, An Auction-Based Dispatch Algorithm for Deregulated Power Systems, IEEE, 2000, pp. 1220-1225.

21. V.Petrov and G.Sheble, Electric Power Market Auction with a Genetic Algorithm as a Learning Mechanism for Auction Participation, Iowa State University, 2000, http://www.public.iastate.edu/~vpetrov/paper/vw_paper.pdf

22. Derek Lane, Alexei Kroujiline, Valentin Petrov and Gerald Sheble, Electricity Market Power: Marginal Cost and Relative Capacity Effects, IEEE, 2000, pp. 1048-1054.

23. นราทิพย์ ชุติวงศ์, ทฤษฎีเศรษฐศาสตร์จุลภาค, พิมพ์ครั้งที่ 4, โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, มิถุนายน 2542.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
ความรู้เบื้องต้นทางเศรษฐศาสตร์[23]

ในทางเศรษฐศาสตร์ การผลิต หมายถึง กระบวนการซึ่งเปลี่ยนจากปัจจัยการผลิต เช่น ที่ดิน แรงงาน ทุน ผู้ประกอบการเพื่อให้ได้มาเป็นผู้ผลิต โดยช่วงเวลาในการศึกษาในด้านต้นทุนการผลิตออกเป็น 2 ช่วงเวลา คือ

1) ระยะสั้น (Short run period) หมายถึง ระยะเวลาที่สั้นจนกระทั่งปัจจัยการผลิตบางชนิดไม่สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดหรือจำนวนได้

2) ระยะยาว (Long run period) หมายถึง ระยะเวลาที่นานเพียงพอจนกระทั่งปัจจัยการผลิตทุกชนิดสามารถเปลี่ยนแปลงได้

การศึกษาในช่วงระยะสั้นนั้น ต้นทุนการผลิตจะมีทั้งต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร แต่ในระยะยาวต้นทุนการผลิตจะเหลือเพียงต้นทุนผันแปรเท่านั้น เนื่องจากระยะยาวจะเป็นระยะเวลาที่นานจนกระทั่งสามารถเลือกปัจจัยการผลิตได้ เช่น หากผลผลิตเพียงพอต่อความต้องการของตลาดเราก็ไม่ต้องสร้างโรงงานใหม่ หากผลผลิตไม่เพียงพอต่อความต้องการเราจึงสร้างโรงงานใหม่ นั่นคือ ต้นทุนในการสร้างโรงงานจะขึ้นอยู่กับความต้องการในการผลิต ต้นทุนในส่วนนี้จึงจัดอยู่ในต้นทุนผันแปรเพราะขึ้นกับปริมาณสินค้าที่จะผลิต

1 ต้นทุนการผลิตระยะสั้น

ต้นทุนการผลิตระยะสั้น หมายถึง สิ่งที่ต้องใช้ไปทั้งทางตรงและทางอ้อมเพื่อที่จะผลิตสินค้าหรือบริการนั้นๆ ในระยะสั้น แบ่งออกเป็น

1) ต้นทุนคงที่ (Fixed cost) หมายถึง ต้นทุนการผลิตที่ไม่ขึ้นกับผลผลิตที่ได้

2) ต้นทุนผันแปร (Variable cost) หมายถึง ต้นทุนการผลิตที่ขึ้นกับผลผลิตที่ได้

2 กำไรในหน่วยธุรกิจ

กำไรในหน่วยธุรกิจแบ่งเป็น

1) กำไรปกติ (Normal profit) หมายถึง มูลค่าของต้นทุนค่าสูญเสียโอกาสจากการเข้ามาประกอบการในธุรกิจหรือกำไรขั้นต่ำของการประกอบธุรกิจหนึ่งๆ ซึ่งในทางเศรษฐศาสตร์จะนับกำไรส่วนนี้เป็นต้นทุนอยู่

2) กำไรที่แท้จริง กำไรทางเศรษฐศาสตร์ที่แท้จริงหรือกำไรเกินปกติ (Pure profit, Pure economic profit, Super normal profit) หมายถึง รายได้ที่เกินกว่าต้นทุนการผลิตทั้งหมด ซึ่งต้นทุนการผลิตในที่นี้จะต้องรวมส่วนของกำไรปกติเข้าไปด้วย

3 ตลาดแข่งขันสมบูรณ์

ตลาดการแข่งขันสมบูรณ์จะมีลักษณะดังต่อไปนี้

1) มีผู้ซื้อและผู้ขายจำนวนมาก (Large number of buyers and sellers) คือ มีผู้ซื้อและผู้ขายเป็นจำนวนมากจนไม่มีอิทธิพลเหนือราคาสินค้า ราคาสินค้าจะถูกกำหนดโดยอุปสงค์และอุปทานของตลาด ผู้ซื้อและผู้ขายแต่ละคนต่างต้องยอมรับราคาดังกล่าวและต่างทำการขายสินค้าในจำนวนที่เท่าที่ตนต้องการ ณ ระดับราคานั้นๆ

2) สินค้าที่ซื้อขายจะมีลักษณะเหมือนกันทุกประการ (Homogeneous product) คือ ไม่มีความแตกต่างระหว่างสินค้าของผู้ขายแต่ละคนเป็นผลทำให้ราคาเป็นเพียงสิ่งเดียวที่ผู้ซื้อตัดสินใจว่าจะซื้อหรือไม่

3) ผู้ซื้อและผู้ขายแต่ละคนต่างดำเนินนโยบายโดยอิสระปราศจากข้อกีดขวางใดๆทั้งสิ้น (Absence of collusion or Artificial restrain) คือ ไม่มีการรวมตัวกันระหว่างผู้ซื้อหรือผู้ขายหรือทั้งผู้ซื้อและผู้ขาย ไม่มีข้อจำกัดรัฐบาล

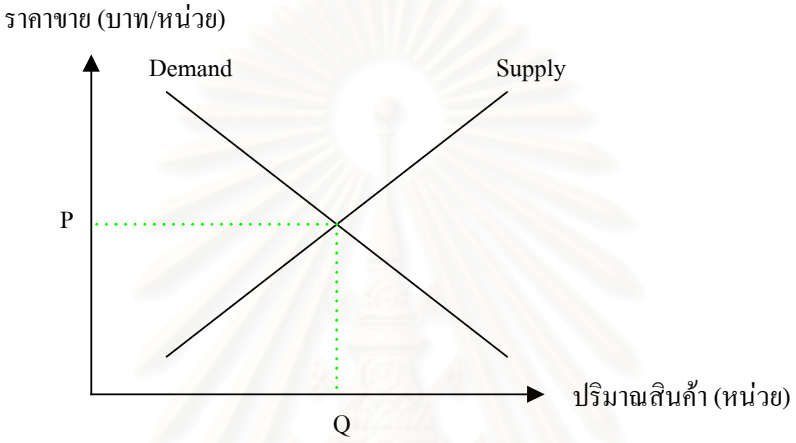
4) การโยกย้ายปัจจัยการผลิตทุกชนิดสามารถทำได้โดยเสรี (Perfect mobility of resources) คือ ปัจจัยการผลิตทุกชนิดไม่ว่าจะเป็นที่ดิน แรงงาน ทุน หรือผู้ประกอบการสามารถที่จะโยกย้ายจากงานหนึ่งไปงานอื่นๆได้ทันที

5) ผู้ซื้อและผู้ขายทุกคนต่างรู้ทางเลือกทุกทางที่ตนมีอยู่ขณะหนึ่งๆเป็นอย่างดี (Perfect knowledge) คือ ไม่มีผู้ซื้อคนใดยอมจ่ายเงินซื้อสินค้าในราคาสูงกว่า

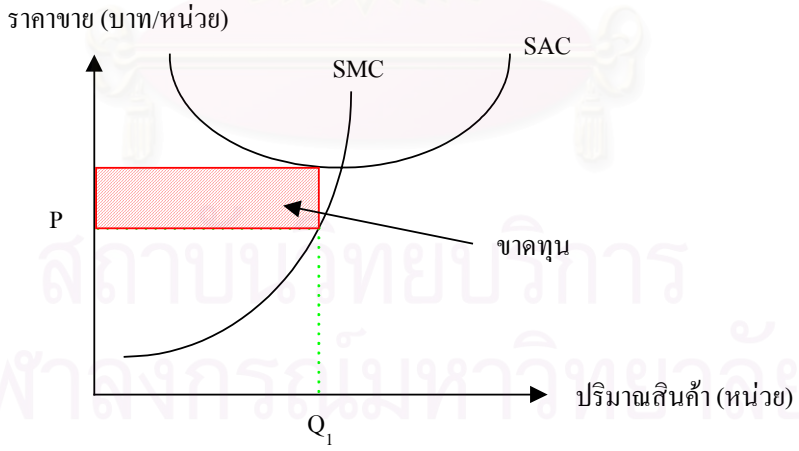
จากเงื่อนไขทั้ง 5 ข้อข้างต้น ทำให้ราคาสินค้าถูกกำหนดโดยอุปสงค์และอุปทานของตลาดและเส้นอุปสงค์ของหน่วยธุรกิจหนึ่งๆจะเป็นเส้นที่ขนานแกนนอน ณ ระดับราคาดังกล่าว (ไม่มีผู้ใดขายสินค้าที่ราคาสูงกว่าหรือต่ำกว่าราคาตลาดนั้น หากเสนอราคาสูงกว่าก็จะไม่มีผู้ซื้อ หากเสนอราคาต่ำกว่าก็จะทำให้กำไรที่ได้ต่ำกว่าที่ควรจะเป็น)

4 ดุลยภาพของหน่วยธุรกิจ (Equilibrium of the firm)

ดุลยภาพของหน่วยธุรกิจ หมายถึง สถานการณ์ซึ่งหน่วยธุรกิจไม่มีแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงนโยบายอีกต่อไป หรืออาจกล่าวได้ว่า ปริมาณการผลิตในขณะนั้นเป็นปริมาณการผลิตที่เหมาะสมที่สุด ถ้าหน่วยธุรกิจมีกำไรก็จะกำไรมากที่สุด แต่ถ้าหน่วยธุรกิจขาดทุนก็จะขาดทุนน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ ก.1-ก.4

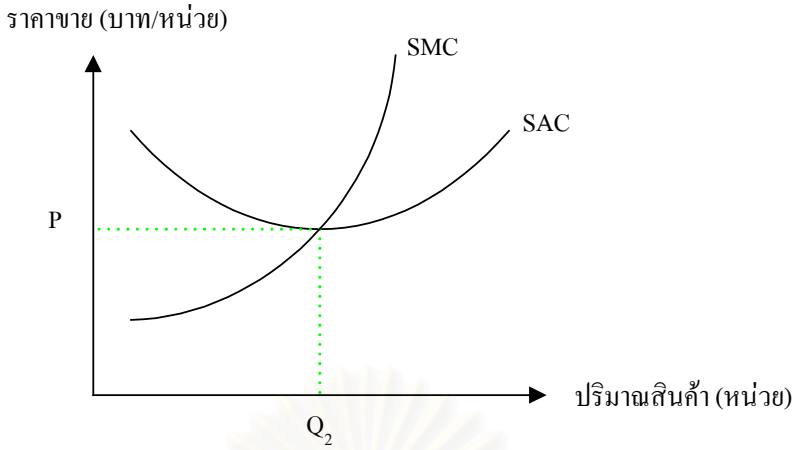


ก.1 เส้น Supply และเส้น Demand ของตลาด

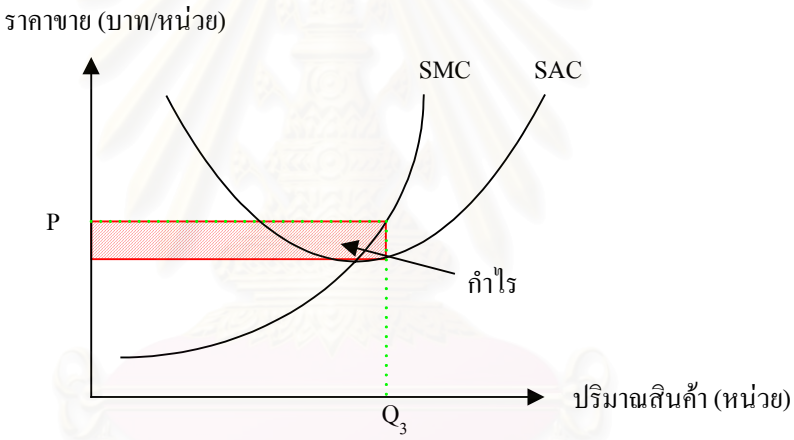


ก.2 ปริมาณการผลิตที่ทำให้หน่วยธุรกิจขาดทุนน้อยที่สุด
เมื่อราคาตลาดต่ำกว่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก.3 ปริมาณการผลิตที่ทำให้หน่วยธุรกิจเท่าทุน
เมื่อราคาตลาดท่ากับต้นทุนการผลิตต่อหน่วย
(จุดสมดุลของหน่วยธุรกิจ)

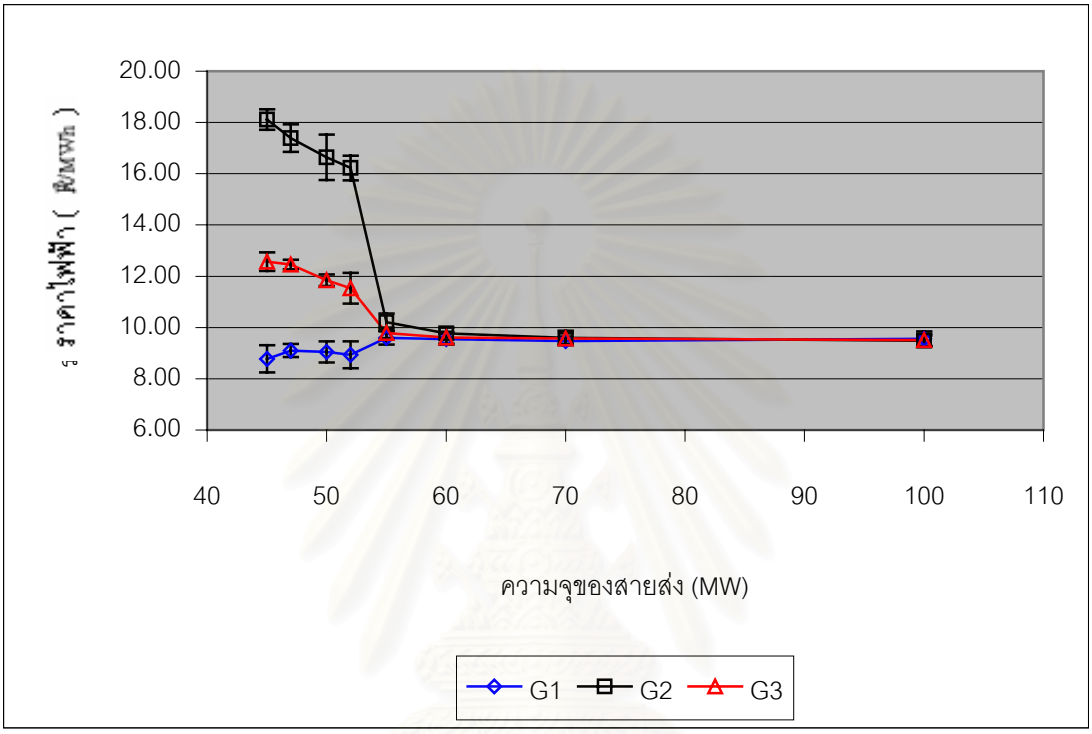


ก.4 ปริมาณการผลิตที่ทำให้หน่วยธุรกิจกำไรมากที่สุด
เมื่อราคาตลาดสูงกว่าต้นทุนการผลิตต่อหน่วย

ตามรูปที่ ก.1-ก.4 แสดงให้เห็นถึงกำไรและขาดทุนในธุรกิจ ซึ่งดุลยภาพในระยะยาวจะเกิดขึ้นเมื่อราคาสินค้าต่อหน่วยเท่ากับจุดต่ำสุดของเส้นต้นทุนเฉลี่ยในระยะยาวกล่าวคือ ถ้าราคาสินค้าสูงกว่าจุดต้นทุนการผลิตเฉลี่ยต่ำสุดก็จะมีหน่วยธุรกิจเข้ามาร่วมแข่งขันมากขึ้นทำให้ต้องลดราคาสินค้าลง ถ้าราคาสินค้าต่ำกว่าจุดต้นทุนการผลิตเฉลี่ยต่ำสุดก็จะทำให้หน่วยธุรกิจขาดทุนจนไม่คุ้มกับการผลิต ทำให้ต้องหยุดการผลิตหรือขึ้นราคาสินค้าจนกระทั่งไม่ขาดทุนในที่สุดก็จะมีราคาสินค้าเท่ากับต้นทุนการผลิตเฉลี่ยในระยะยาว

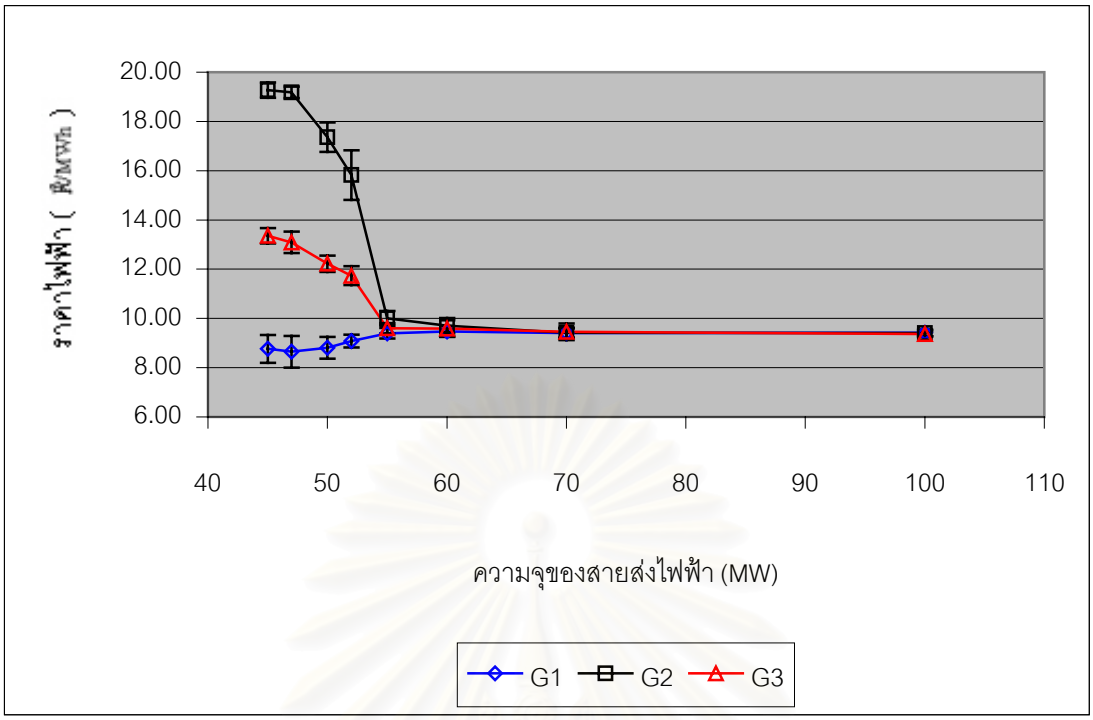
ภาคผนวก ข
ผลการจำลองเพิ่มเติม

ข.1 เพิ่มเติมบทที่ 7 กรณี 2.1เมื่อกำหนดให้ความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 100 MWh คงที่

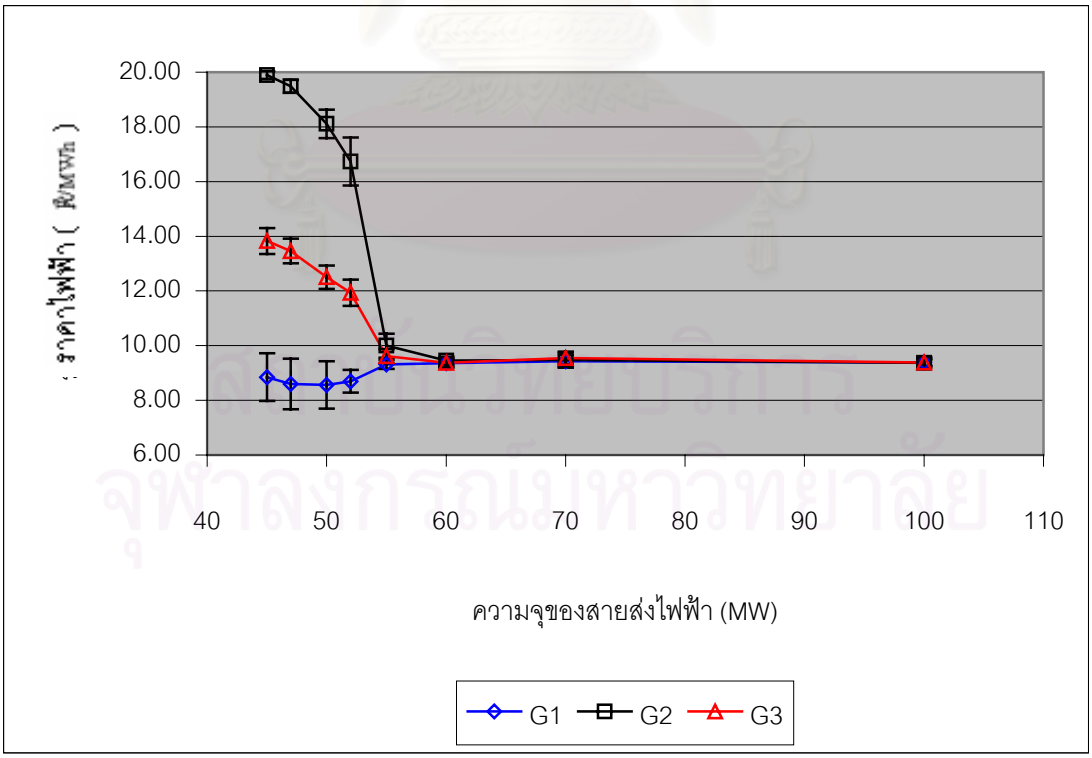


รูปที่ ข.1ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ
เมื่อผู้ค้าปลีกทำสัญญาซื้อพลังงานรายละ 80 MWh

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

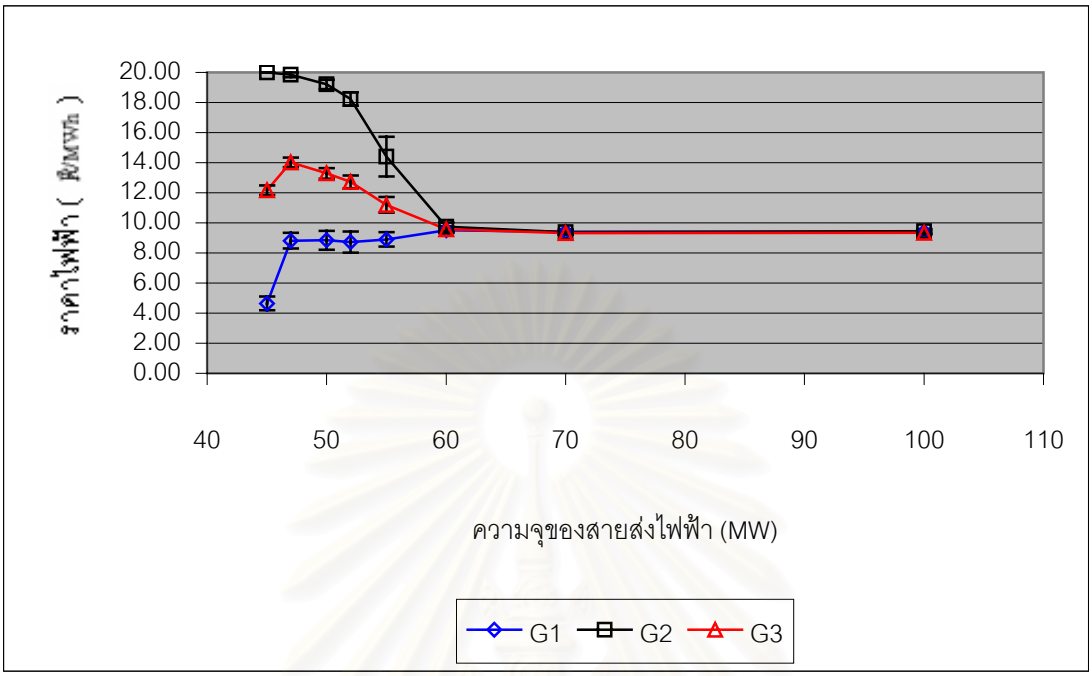


รูปที่ ข.2 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ เมื่อผู้ค้าปลีกทำสัญญาซื้อพลังงานรายละ 90 MWh

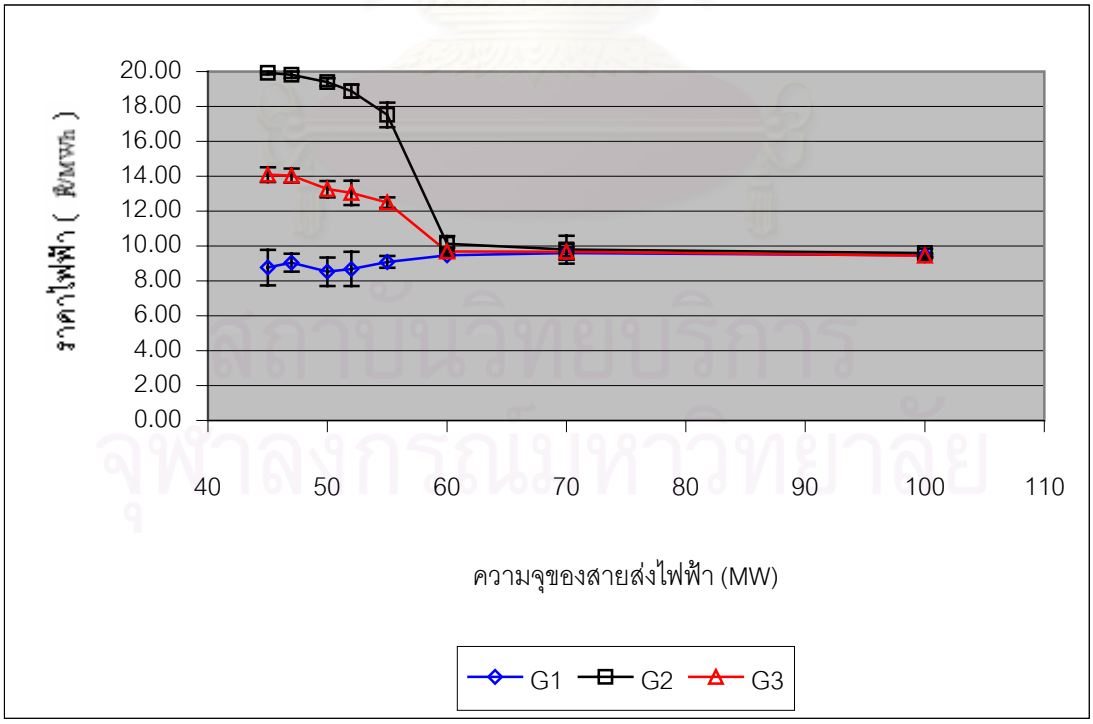


รูปที่ ข.3 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ เมื่อผู้ค้าปลีกทำสัญญาซื้อพลังงานรายละ 95 MWh

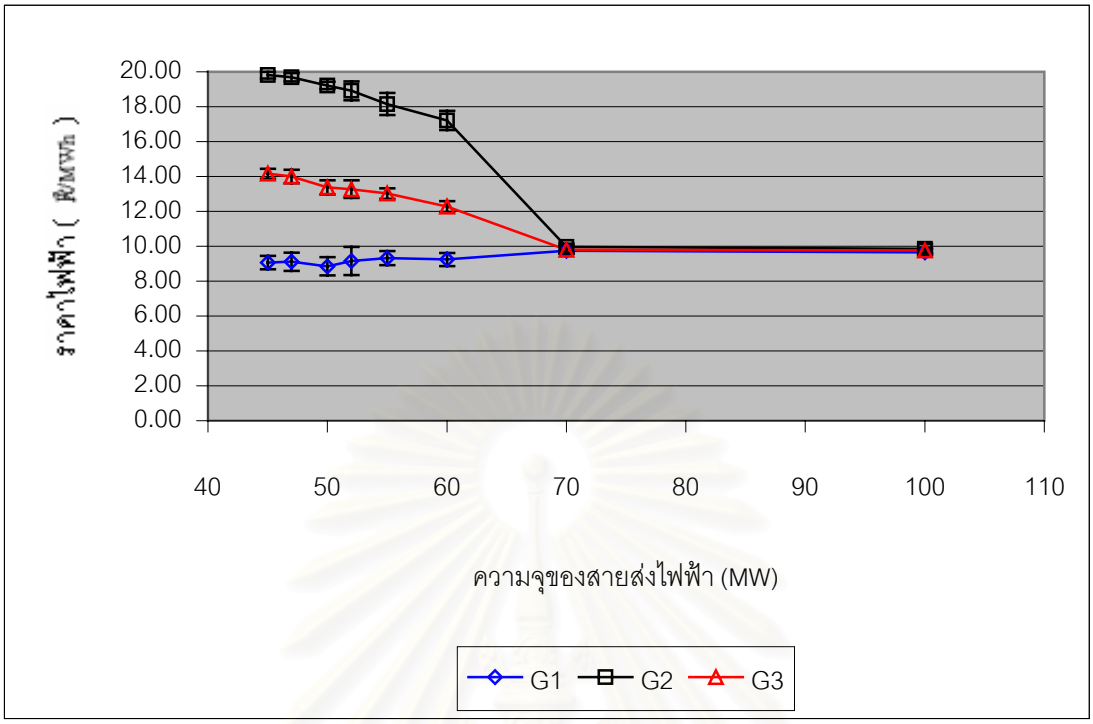
ข.2 เพิ่มเติมบทที่ 7 กรณี 2.2 เมื่อกำหนดให้พลังงานไฟฟ้าที่ทำสัญญาเท่ากับ 100 MWh คงที่



รูปที่ ข.4 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ
เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 105 MWh



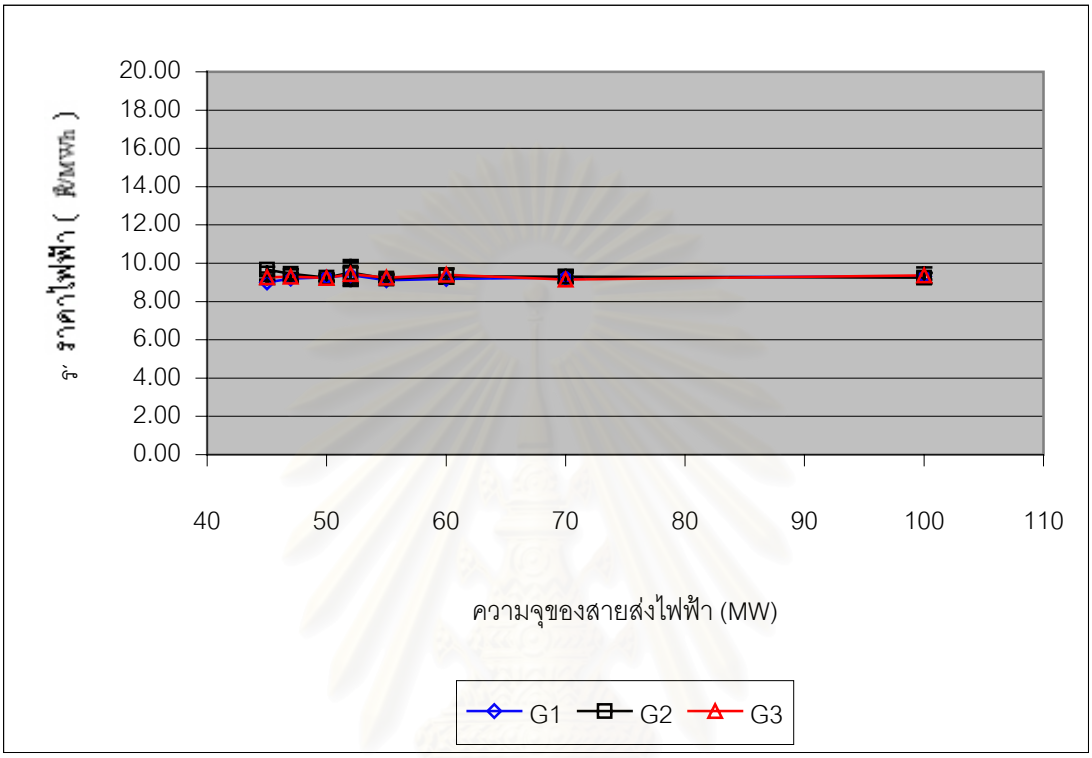
รูปที่ ข.5 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ
เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 110 MWh



รูปที่ ข.6 ราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ
เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 120 MWh

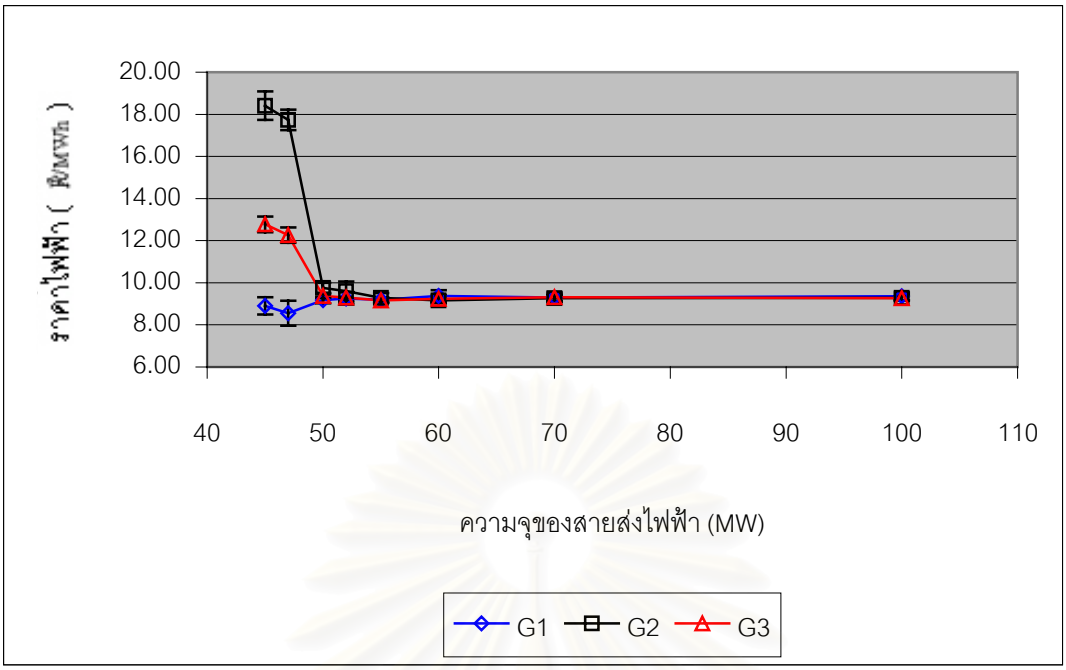
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.3 เพิ่มเติมบทที่ 7 กรณี 2.3 เมื่อกำหนดให้พลังงานไฟฟ้าที่ทำสัญญาเท่ากับร้อยละ 95ของความต้องการใช้ไฟฟ้าจริง

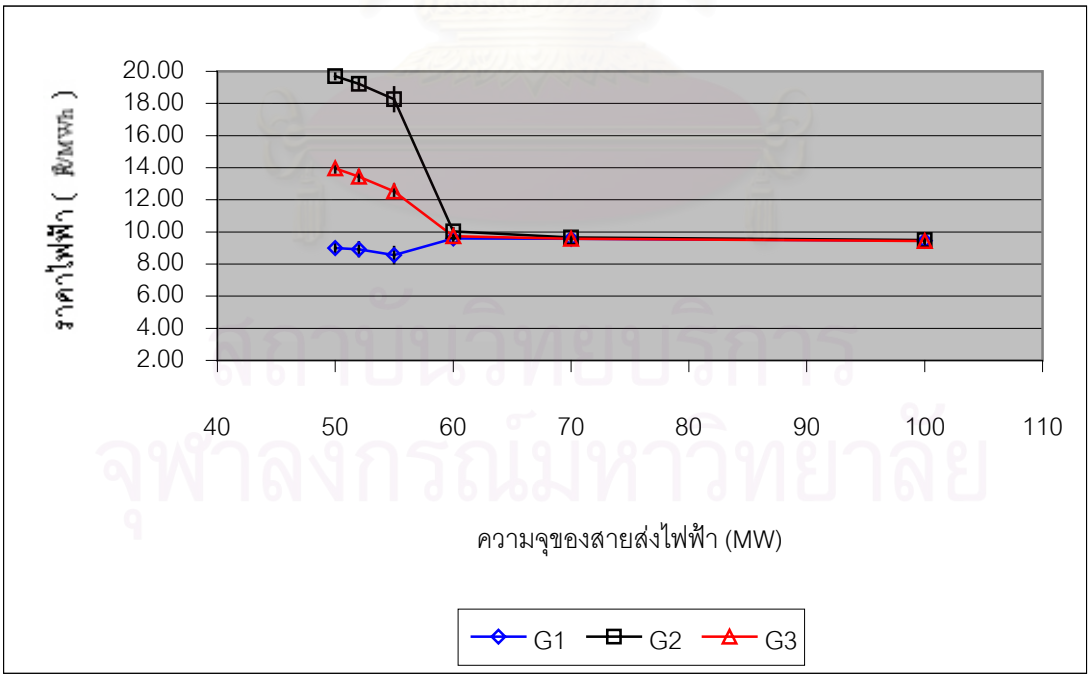


รูปที่ ข.7 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 80 MWhและ
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าทำสัญญารายละ = 76 MWh

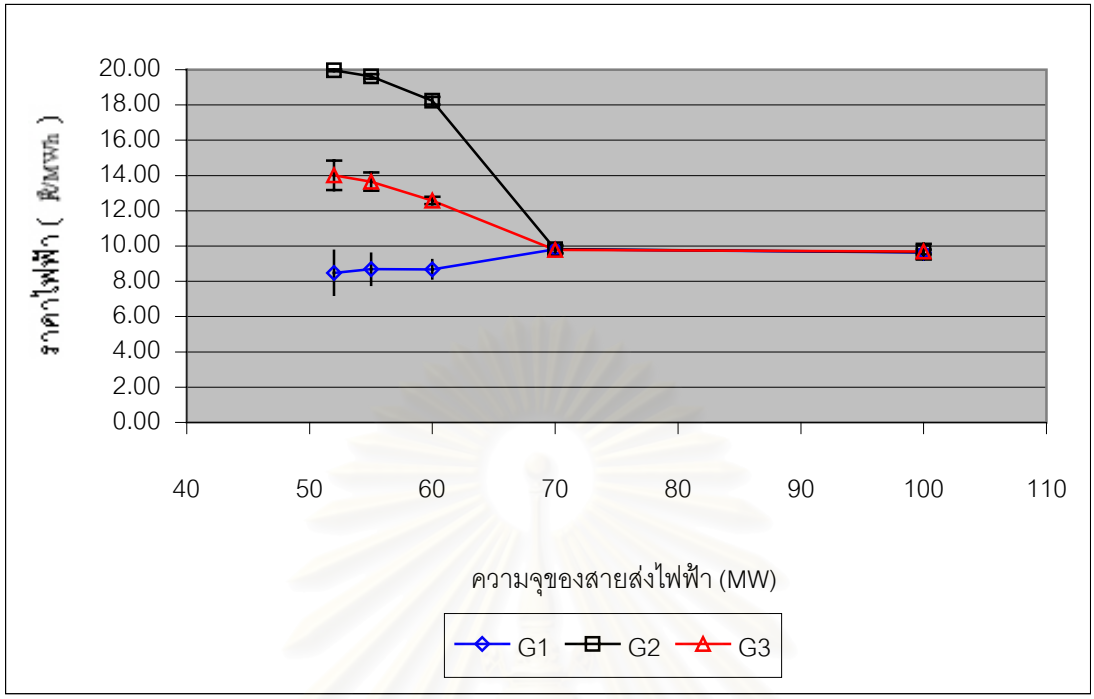
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ข.8 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ
เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 90 MWhและ
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าทำสัญญารายละ = 85.5 MWh



รูปที่ ข.9 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ
เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 110 MWhและ
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าทำสัญญารายละ = 104.5 MWh



รูปที่ ข.10 ความสัมพันธ์ระหว่างราคาขายไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ความจุของสายส่งไฟฟ้าค่าต่างๆ
เมื่อความต้องการใช้ไฟฟ้าจริงจุดโหลดละ 120 MWhและ
ปริมาณพลังงานไฟฟ้าทำสัญญารายละ = 114 MWh

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย พัฒนะ พงศ์จริยา เกิดวันที่ 23 กรกฎาคม พ.ศ. 2523 ที่จังหวัดบุรีรัมย์ สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2544 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาไฟฟ้ากำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย