ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า — **สาขา**

วิศวกรรมไฟฟ้า — **ภาควิชา**

เรื่อง การจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าคำนึงถึงสภาวะเกินพิกัดในตลาดซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมที่มีการซื้อขายผ่านตลาดกลางร่วมกับสัญญาซื้อขายแบบทวิภาคี/พหุภาคี โดยใช้วิธีเสนอราคาปรับลดแบบกลุ่ม

Power Generation Allocation Considering System Congestion in Mixed Electricity Markets with Pool and Bilateral/Multilateral Contracts using Group Curtailment Bids

นามผู้วิจัย นายศราวุธ ภาสพานทอง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต ดำรงกุลกำจร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

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

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าคำนึงถึงสภาวะเกินพิกัดในตลาดซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมที่มีการซื้อขายผ่านตลาดกลางร่วมกับสัญญาซื้อขายแบบทวิภาคี/พหุภาคี โดยใช้วิธีเสนอราคาปรับลดแบบกลุ่ม

Power Generation Allocation Considering System Congestion in Mixed Electricity Markets with Pool and Bilateral/Multilateral Contracts using Group Curtailment Bids

โดย

นายศราวุธ ภาสพานทอง

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ศราวุธ ภาสพานทอง 2557: การจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าคำนึงถึงสภาวะเกินพิกัดในตลาดซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมที่มีการซื้อขายผ่านตลาดกลางร่วมกับสัญญาซื้อขายแบบทวิภาคี/พหุภาคี โดยใช้วิธีเสนอราคาปรับลดแบบกลุ่ม ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต ดำรงกุลกำจร, Ph.D. 86 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการหาคำตอบของปัญหาสภาวะเกินพิกัดที่เกิดขึ้นในระบบซื้อขายไฟฟ้าแบบเสรีของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี (Bilateral/Multilateral contract) ในตลาดการซื้อขายไฟฟ้า ซึ่งการศึกษาการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ สัญญาการซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่นคง (Firm Bilateral Contract) และสัญญาซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบไม่มั่นคง (Nonfirm Bilateral Contract) โดยใช้หลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด (Optimal Power Flow : OPF) มาช่วยในการคำนวณ ซึ่งหากระบบไม่สามารถรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าหรือระบบเกิดสภาวะเกินพิกัด (Congastion) อันเนื่องมาจากเกิดการติดขัดของสายส่ง (Transmission Congastion) จนไม่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้ตามสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ดังนั้นศูนย์ควบคุมไฟฟ้าอิสระ (Independent System Operation : OPF) จะต้องใช้วิธีเสนอราคาปรับลดแบบกลุ่ม (Group Curtailment Bids) สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบพหุภาคี เพื่อแก้ไขปัญหาการเกิดสภาวะเกินพิกัดของระบบ ซึ่งผู้ซื้อขายไฟฟ้าพหุภาคีต้องเสนอราคาที่สูงเพื่อแข่งขันกับผู้ซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่นคงเพื่อไม่ให้ถูกปรับลดสัญญาซื้อขายไฟฟ้า และถ้าผู้ซื้อขายไฟฟ้าแบบพหุภาคีถูกปรับลดสัญญา ซึ่งส่งผลให้ปริมาณกำลังไฟฟ้าลดลงจากสัญญาที่ได้ตกลงไว้ ผู้ซื้อขายไฟฟ้าพหุภาคี จำเป็นต้องซื้อขายไฟฟ้าในตลาดซื้อขายไฟฟ้า เพื่อรักษาระดับปริมาณกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการ โดยที่โหลดรวม ณ บัสใดๆ จะมีค่าคงที่และไม่มีการตัดโหลด

การศึกษาได้ใช้โปรแกรม MATLAB มาเขียนฟังก์ชั่นทดสอบการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี กับระบบการทดสอบ IEEE 14 บัส

/ /

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Sarawut Paspantong 2014: Power Generation Allocation Considering System Congestion in Mixed Electricity Markets with Pool and Bilateral/Multilateral Contracts using Group Curtailment Bids. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Parnjit Damrongkulkamjorn, Ph.D. 86 pages.

This thesis proposes the study of congestion management in energy transactions with bilateral and multilateral contracts in electricity market. The bilateral transactions include the firm bilateral and nonfirm bilateral contracts. The study applies the concept of optimal power flow in order to optimally dispatch power generations. When there are transmission congestions in the system resulting in the shortage of power generation in bilateral or multilateral contracts, the independent system operator (ISO) uses the non-curtailment bids for bilateral contracts and group curtailment bids for multilateral contracts to curtail the contract. The participants in multilateral contracts must offer higher bids than the participants in the firm bilateral contracts in order to receive the full amount of power generation on the contract. If the contract is curtailed, the shortage power generation is compensated by the purchase from the pool. Therefore the demand at each and every bus in the system is satisfied without being shed.

The algorithm is written in MATLAB in order to illustrate the study of bilateral and multilateral transactions of the modified IEEE 14 bus system.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปานจิต ดำรงกุลกำจร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้ช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ตลอดจนการให้คำปรึกษาแนะนำและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ผู้แทนบัณฑิตวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ในการศึกษางานวิจัยและเขียนเล่มวิทยานิพนธ์ และนำไปใช้ประโยชน์ในด้านของการทำงาน การประกอบอาชีพต่อไปในอนาคต

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้อบรมสั่งสอนและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง สุดท้ายขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ นิสิตปริญญาโท ปริญญาเอก ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับงานวิจัยในครั้งนี้

ศราวุธ ภาสพานทอง

กรกฎาคม 2557

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	37
อุปกรณ์	37
วิธีการ	37
ผลและวิจารณ์	53
ผล	53
วิจารณ์	68
สรุปและข้อเสนอแนะ	69
สรุป	69
ข้อเสนอแนะ	70
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	71
ภาคผนวก	74
ภาคผนวก ก ข้อมูลระบบทดสอบ IEEE 14 บัส	75
ภาคผนวก ข รายละเอียดผลลัพธ์ของกรณีศึกษา	79
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	86

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1	ราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1	45
2	ราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2	46
3	ราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 3	48
4	ราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 6	49
5	ราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 8	51
6	เส้นโค้งราคาและพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	54
7	ข้อมูลการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี	55
8	กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	61
9	กำลังไฟฟ้าของโหลด	62
10	กำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี	63
11	กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง	65
12	กำลังไฟฟ้าสูญเสียและค่าใช้จ่ายจากการผลิตกำลังไฟฟ้าของระบบ	67

ตารางผนวกที่

ก1	ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบจำลอง IEEE 14 บัส	76
ก2	ข้อมูลค่าใช้จ่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบจำลอง IEEE 14 บัส	76
ก3	ข้อมูลบัสในระบบจำลอง IEEE 14 บัส	77
ก4	ข้อมูลสายส่งในระบบจำลอง IEEE 14 บัส	78
ข1	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณีที่ 1	80
ข2	กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณีที่ 1	81
ข3	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณีที่ 2	82
ข4	กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณีที่ 2	83

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ข5 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณีที่ 3 84

ข6 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณีที่ 3 85

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	บทบาทและหน้าที่การดำเนินกิจการไฟฟ้าในภาวะที่มีการแข่งขัน	6
2	โครงสร้างกิจการไฟฟ้าในอนาคต	7
3	การซื้อขายกำลังไฟฟ้าเสรีผ่านตลาดกลาง	8
4	การซื้อขายกำลังไฟฟ้าเสรีผ่านตลาดกลางและแบบทวิภาคี	13
5	การซื้อขายกำลังไฟฟ้าเสรีผ่านตลาดกลางและแบบพหุภาคี	17
6	ราคาสายส่งไฟฟ้า	18
7	ราคาเสนอขายต่อ MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1	45
8	การหาสมการเส้นโค้งราคาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของการผลิตกับปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1	46
9	ราคาเสนอขายต่อ MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2	47
10	การหาสมการเส้นโค้งราคาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของการผลิตกับปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2	47
11	ราคาเสนอขายต่อ MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 3	48
12	การหาสมการเส้นโค้งราคาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของการผลิตกับปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 3	49
13	ราคาเสนอขายต่อ MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 6	50
14	การหาสมการเส้นโค้งราคาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของการผลิตกับปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 6	50
15	ราคาเสนอขายต่อ MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 8	51
16	การหาสมการเส้นโค้งราคาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของการผลิตกับปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 8	52
17	ระบบทดสอบ IEEE 14 บัส	54

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

a_i, b_i, c_i คือ ค่าสัมประสิทธิ์ต้นทุนการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i

B_F คือ การทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่นคง

B_{NF} คือ การทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบไม่มั่นคง

G คือ เซตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

I_{gen} คือ เซตของบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

I_{bus} คือ เซตของบัสในระบบ

I_{line} คือ เซตของสายส่งในระบบ

I_{load} คือ เซตของบัสที่มีโหลด

k คือ กลุ่มของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุภาคี

M คือ การทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุภาคี

P_{D_i} คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ต้องการของผู้ใช้กำลังไฟฟ้าที่บัส i

$P_{D_{ij}}^{B_F}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง (Firm bilateral contract) ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j

$P_{D_{ij}}^{B_F^{req}}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ต้องการจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง (Firm bilateral contract) ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j

$P_{D_{ij}}^{B_{NF}}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง (Nonfirm bilateral contract) ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j

$P_{D_{ij}}^{B_{NF}^{req}}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ต้องการจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง (Nonfirm bilateral contract) ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j

$P_{D_{j,k}}^{M}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุภาคีที่ส่งให้กับโหลดกลุ่ม k ที่บัส j

$P_{D_{j,k}}^{M,req}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ต้องการสำหรับการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบพหุภาคีที่ส่งให้กับโหลดกลุ่ม k ที่บัส j

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

$P_{D_{j,k}}^{M,req}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ต้องการจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุภาคี (Multilateral contract) ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไป ยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j

$P_{D_i}^{P}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ตลาดกลางต้องการที่บัส i

$P_{D_{ji}}^{B_{NF}}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ต้องการสำหรับการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบไม่มั่นคงที่บัส j ซื้อจากบัส i

$P_{G_{i,k}}^{M}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่จัดสรรให้กับการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบพหุภาคีซึ่งผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าส่งกำลังไฟฟ้าจากบัส i ให้กับโหลดกลุ่ม k

P_{G_i} คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ผลิตต้องผลิตเพื่อจ่ายให้กับโหลดที่บัส i

$P_{G_i}^{\max}$ คือ กำลังการผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i

$P_{G_i}^{\min}$ คือ กำลังการผลิตต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i

$P_{G_{i,k}}^{M,req}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่จัดสรรให้กับการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบพหุภาคีตามความต้องการซึ่งผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าส่งกำลังไฟฟ้าจากบัส i ให้กับโหลดกลุ่ม k

$P_{G_i}^{P}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ผลิตต้องผลิตเพื่อจ่ายให้กับโหลดที่ซื้อขายผ่านกลางที่บัส i

$P_i(V,\delta)$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงทั้งหมดที่ไหลออกจากบัส i

Q_{G_i} คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i

$Q_{G_i}^{\max}$ คือ กำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าเสมือนสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i

$Q_{G_i}^{\min}$ คือ กำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าเสมือนต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i

$S_{ij}(V,\delta)$ คือ กำลังไฟฟ้าสุทธิที่ไหลผ่านสายส่งจากบัส i ไปยังบัส j

$S_{ij,\max}$ คือ พิกัดสูงสุดของสายส่งที่ไหลผ่านสายส่งจากบัส i ไปยังบัส j

V_i คือ ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัส i

$V_i^{\max}$ คือ พิกัดสูงสุดของแรงดันที่บัส i

$V_i^{\min}$ คือ พิกัดต่ำสุดสุดของแรงดันที่บัส i

$W_{ij}^{B_F}$ คือ แฟกเตอร์เงินจ่ายเพิ่มพิเศษเพื่อหลีกเลี่ยงการปรับลดของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากบัส i ไปยังบัส j สำหรับการทำธุรกิจไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่นคง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

$W_{ij}^{B_{NF}}$ คือ แฟกเตอร์เงินจ่ายเพิ่มพิเศษเพื่อหลีกเลี่ยงการปรับลดของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากบัส i ไปยังบัส j สำหรับการทำธุรกิจไฟฟ้าทวิภาคีแบบไม่มั่นคง

W_{k}^{M} คือ แฟกเตอร์เงินจ่ายเพิ่มพิเศษเพื่อหลีกเลี่ยงการปรับลดของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากบัส i ไปยังบัส j สำหรับการทำธุรกิจไฟฟ้าพหุภาคี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าคำนึงถึงสภาวะเกินพิกัดในตลาดซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมที่มีการซื้อขายผ่านตลาดกลางร่วมกับสัญญาซื้อขายแบบทวิภาคี/พหุภาคี โดยใช้วิธีเสนอราคาปรับลดแบบกลุ่ม

Power Generation Allocation Considering System Congestion in Mixed Electricity Markets with Pool and Bilateral/Multilateral Contracts using Group Curtailment Bids

คำนำ

เนื่องจากในปัจจุบันปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้ามีเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการเปิดตลาดเสรีเพื่อการซื้อขายกำลังไฟฟ้าจึงเป็นระบบทางเลือกที่สำคัญ กล่าวคือ ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเลือกซื้อกำลังไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าได้ตามความต้องการ เรียกว่าการซื้อขายไฟฟ้าแบบไม่ผ่านตลาดกลาง โดยการซื้อขายไฟฟ้านั้นจะกระทำภายใต้ข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้า เรียกว่าการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี (Bilateral/Multilateral Contract) อย่างไรก็ตาม การทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคีนั้น ต้องมีการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบสายส่งไฟฟ้า (Transmission Line System) ซึ่งจะมีการใช้ระบบสายส่งไฟฟ้าร่วมกับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า (Pool Market) และการซื้อขายดังกล่าวเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้เกิดสภาวะเกินพิกัด (Congestion) ขึ้นในระบบไฟฟ้า เนื่องจากข้อจำกัดต่างๆ ภายในระบบสายส่งไฟฟ้า

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงได้มุ่งเน้นเพื่อศึกษาพร้อมทั้งหาวิธีการแก้ไขปัญหาสภาวะเกินพิกัดที่อาจเกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้ากำลัง โดยทำการศึกษาเกี่ยวกับการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคีในตลาดซื้อขายไฟฟ้า (Electric Market) ร่วมกับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาด โดยใช้หลักการการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด การทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี เป็นรูปแบบที่ผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าที่แต่ละบัส ตกลงซื้อขายไฟฟ้ากันโดยตรง โดยกำหนดให้หนึ่งผู้ผลิตไฟฟ้าทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้ากับหนึ่งผู้ใช้ไฟฟ้าที่บัส ซึ่งการศึกษาการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ สัญญาซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่นคง และสัญญาซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบไม่มั่นคงโดยจะมีการเสนอราคาเพื่อไม่ให้เกิดการปรับลดสัญญา (Noncurtailment bid) สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่นคงและสำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบไม่มั่นคง การทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคี เป็นรูปแบบที่ผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้าที่แต่ละบัส ตกลงซื้อขายกำลังไฟฟ้ากันโดยตรง โดยกำหนดให้หนึ่งผู้ผลิตไฟฟ้าที่บัสหรือมากกว่า ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้ากับกลุ่มของผู้ใช้ไฟฟ้าที่บัสตั้งแต่ 2 รายขึ้นไป หรือระหว่างกลุ่มของผู้ผลิตไฟฟ้าที่บัสตั้งแต่สองรายขึ้นไปกับผู้ใช้ไฟฟ้าเพียงหนึ่งราย โดยผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถดำเนินการซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตรายใดก็ได้ นอกจากนี้ผู้ผลิตและผู้ซื้อไฟฟ้ายังสามารถซื้อขายและส่งผ่านกำลังไฟฟ้าระหว่างกลุ่มภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด โดยใช้หลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด (Optimal Power Flow : OPF) ถ้าหากระบบไม่สามารถรองรับหรือระบบเกิดสภาวะเกินพิกัด (Congestion) อันเนื่องมาจากเกิดการติดขัดของสายส่งจนไม่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้ตามสัญญาที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ผู้ดูแลระบบจะต้องใช้วิธีเสนอปรับลดแบบกลุ่ม มาปรับลดกำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี เพื่อแก้ไขปัญหาการเกิดสภาวะเกินพิกัดของระบบ โดยปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบบทวิภาคี/พหุภาคี ที่ถูกปรับลดกำลังไฟฟ้า จะถูกปรับเปลี่ยนให้ไปซื้อไฟฟ้าจากตลาดกลางแทน นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มฟังก์ชันถ่วงน้ำหนัก (Penalty Cost) ซึ่งประกอบด้วยค่าน้ำหนัก (Weight) คูณกับฟังก์ชั่นกำลังสองของกำลังไฟฟ้าที่ถูกตัดเพื่อแก้ไขสภาวะเกินพิกัด โดยค่าน้ำหนักดังกล่าวจะเป็นตัวจัดลำดับความสำคัญของแต่ละรายการการซื้อขายไฟฟ้า ซึ่งแปรผันตามการจ่ายเงินเพิ่มพิเศษเพื่อใช้ในการตัดสินใจลดปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย การซื้อขายไฟฟ้าจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี อันจะช่วยแก้ไขสภาวะเกินพิกัดของระบบ

งานวิจัยนี้เป็นการจำลองระบบโดยใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อนำมาทดสอบการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ร่วมกับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง ในระบบ IEEE 14 บัส โดยใช้หลักการการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุดมาช่วยในการคำนวณวิเคราะห์ ซึ่งจะมีการปรับปรุงฟังก์ชั่นเป้าหมาย ให้มีฟังก์ชั่นของระบบการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี โดยใช้วิธีเสนอราคาปรับลดแบบกลุ่ม โดยมีสมการเงื่อนไข ของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี เพิ่มเข้ามาจากเงื่อนไขของสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุดแบบปกติ เมื่อทำการทดสอบการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุดกับระบบทดสอบ IEEE 14 บัสแล้ว ผลการทดลองได้แสดงให้เห็นค่ากำลัง ไฟฟ้าที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ที่ถูกปรับลดกำลังไฟฟ้า ได้ถูกปรับเปลี่ยนให้เกิดการซื้อไฟฟ้าจากตลาดกลางแทน โดยที่โหลดรวม ณ บัสใดๆ จะมีค่าคงที่และไม่มีการตัดโหลด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการซื้อขายไฟฟ้าเสรี (Electricity Market) ในสภาวะเกินพิกัด (Congestion) สำหรับการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ในตลาดซื้อขายไฟฟ้า ซึ่งการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีจะกระทำภายใต้สัญญาโดยแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ สัญญาการซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่นคงและสัญญาการซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ร่วมกับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง (Pool Market) โดยใช้วิธีเสนอราคาปรับลดแบบกลุ่ม ซึ่งงานวิจัยนี้มุ่งเน้นเกี่ยวกับการศึกษาถึงผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น และแนวทางการแก้ไขที่มีต่อระบบไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี เพื่อให้มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าที่มีเสถียรภาพ มีความมั่นคง และคุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด โดยใช้วิธีการเสนอราคาปรับลดแบบกลุ่ม (Group Curtailment Bids)

ขอบเขตงานวิจัย

ในงานวิจัยจะศึกษาการซื้อขายไฟฟ้าเสรี (Electricity Market) ที่มีการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ซึ่งการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีจะกระทำภายใต้สัญญาโดยแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ สัญญาการซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่นคง และสัญญาการซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบไม่มั่นคงร่วมกับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง (Pool Market) โดยใช้วิธีเสนอราคาปรับลดแบบกลุ่ม และทำการทดสอบกับระบบของ IEEE 14bus ในการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด ด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งกำหนดให้โหลดรวม ณ บัสใดๆจะมีค่าคงที่และไม่เกิดการตัดโหลด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การตรวจเอกสาร

1. กิจการไฟฟ้าในประเทศไทย สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ [สพช.] (2543)

1.1 โครงสร้างกิจการไฟฟ้าในปัจจุบัน

ปัจจุบัน กิจการไฟฟ้าอยู่ในรูปแบบของการดำเนินธุรกิจแบบผูกขาด โดยมีโครงสร้างของกิจการซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ระบบหลักๆ ได้แก่ ระบบผลิต ระบบสายส่ง ระบบจำหน่าย และผู้ค้าปลีกไฟฟ้า สามารถอธิบายได้ดังนี้

ระบบผลิตไฟฟ้า (Generation) คือ ขบวนการผลิตไฟฟ้า ซึ่งเปลี่ยนรูปจากพลังงานอื่น (ถ่านหิน น้ำมัน พลังงานน้ำ พลังงานนิวเคลียร์ และพลังงานจากธรรมชาติ เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม) มาเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยที่แหล่งผลิตไฟฟ้ามักติดตั้งห่างไกลจากแหล่งชุมชน และอยู่ไกลจากแหล่งเชื้อเพลิง

ระบบสายส่งไฟฟ้า (Transmission) คือ ขบวนการส่งกำลังไฟฟ้าปริมาณมากๆ จากแหล่งผลิตกำลังไฟฟ้ามายังแหล่งชุมชน หรือโรงงานอุตสาหกรรม ผ่านระบบสายส่งไฟฟ้า

ระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Distribution) คือ การกระจายกำลังไฟฟ้าปริมาณสูงจากระบบสายส่งไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้ารายย่อย ซึ่งจะทำการปรับระดับแรงดันไฟฟ้า และปริมาณกำลังไฟฟ้าให้เหมาะสมกับผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละราย

ผู้ค้าปลีกไฟฟ้า (Retailer) คือ การบริการไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟ ซึ่งรวมไปถึงการวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้า และการเรียกเก็บเงินจากผู้ใช้ไฟ นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ให้บริการอื่นๆ ซึ่งเกี่ยวข้องกับพลังงานไฟฟ้า เป็นต้นว่า การควบคุมคุณภาพของพลังงานไฟฟ้า และการรณรงค์ให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพแก่ผู้ใช้ไฟ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ซึ่งปัจจุบันกิจการไฟฟ้าทั้งหมดของประเทศไทยรวมถึงในหลายๆ ประเทศ อยู่ภายใต้การควบคุมและดูแลของภาครัฐ และไม่มีการแข่งขันทางการค้า นั้นคือเป็นการดำเนินกิจการแบบผูกขาด แม้ว่าจะเปิดโอกาสให้เอกชนเข้ามาลงทุนสร้างโรงไฟฟ้าเพื่อแบ่งเบาภาระหนี้สินในการก่อสร้างโรงไฟฟ้าก็ตาม แต่ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ยังคงขายให้กับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตเพียงผู้เดียว จากนั้นการไฟฟ้าฝ่ายผลิต (กฟผ.) จึงจะขายกำลังไฟฟ้าให้กับการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ตามลำดับ เพื่อส่งต่อไปยังผู้ใช้ไฟ

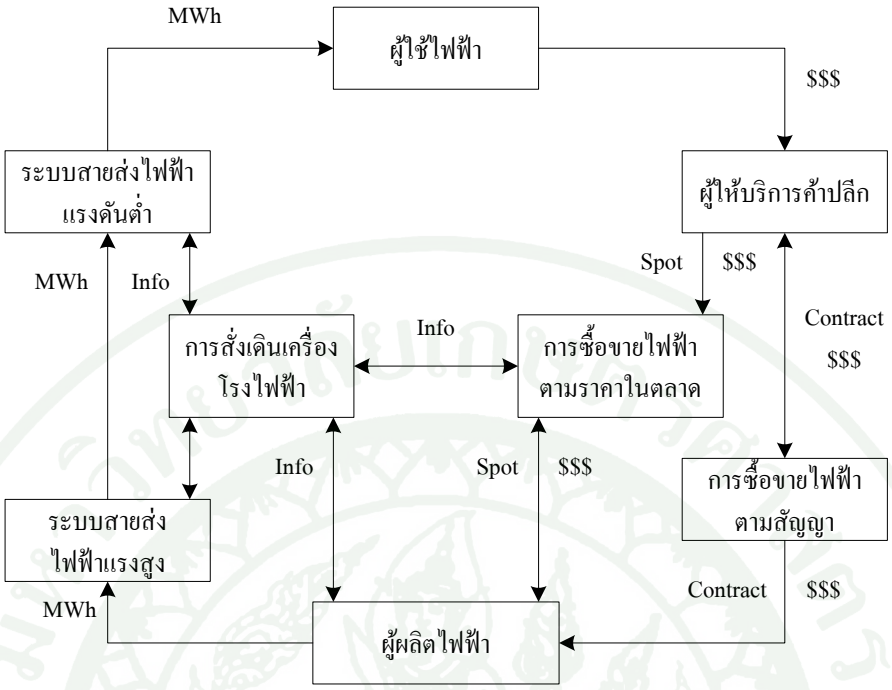
1.2 การปรับโครงสร้างและแปรรูปกิจการไฟฟ้า

การปรับโครงสร้างและแปรรูปกิจการไฟฟ้าเป็นการปรับโครงสร้างกิจการไฟฟ้าให้มีการแข่งขันกันมากยิ่งขึ้น ควบคู่ไปกับการระดมทุนให้เอกชนเข้ามาลงทุนและถือหุ้นในกิจการไฟฟ้า โดยส่วนใดของกิจการไฟฟ้าที่สามารถเพิ่มการแข่งขันได้ ก็จะให้มีการแข่งขันกันมากขึ้น แต่ส่วนใดที่ไม่สามารถเพิ่มการแข่งขันได้ เนื่องจากเป็นกิจการผูกขาดโดยธรรมชาติ เช่น สายส่ง และสายจำหน่าย เพราะไม่มีประโยชน์ที่จะต้องลงทุนปักเสาพาดสายใหม่ให้ซ้ำซ้อนจากเดิม จะมีการกำกับดูแลอย่างเข้มงวด เพื่อคุ้มครองผลประโยชน์ของผู้บริโภค

ส่วนของระบบผลิตไฟฟ้า จะมีผู้ผลิตไฟฟ้าจำนวนหลายราย เข้ามาแข่งขันเพื่อประมูลขายไฟฟ้าในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า (Power pool) สำหรับส่วนของผู้ค้าปลีกไฟฟ้าจะเปิดให้มีการแข่งขันจากผู้ค้าปลีกไฟฟ้า (Retailer) หลายราย ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเลือกซื้อจากผู้ค้าปลีกรายใดก็ได้ โดยผู้ค้าปลีกดังกล่าวสามารถซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าต่างๆ ผ่านตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้าหรือซื้อจากผู้ผลิตไฟฟ้าโดยตรง แล้วจัดส่งไฟฟ้ามาตามสายไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้เกิดการแข่งขันในการขายไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า (Retail Competition) ทั้งในด้านราคาและคุณภาพบริการ

บทบาทหน้าที่ และการดำเนินงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินกิจการโดยทั่วไปของธุรกิจไฟฟ้า สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1 ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) แต่ละเครื่องของผู้ผลิตไฟฟ้าจะได้รับการสั่งให้เดินเครื่อง (Dispatch) ตามลำดับต้นทุนในการผลิตเพื่อทำให้ต้นทุนรวมของการผลิตไฟฟ้ามีค่าต่ำที่สุด หลังจากนั้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องจะทำการผลิตและส่งพลังงานไฟฟ้าตามจำนวนที่ได้รับการสั่งการผ่านเข้าสู่ระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง เมื่อเข้าใกล้สู่บริเวณที่มีการใช้ไฟฟ้า ก็จะถูกแปลงและส่งเข้าสู่ระบบสายไฟฟ้าแรงดันต่ำ ก่อนที่จะจำหน่ายให้แก่ลูกค้าแต่ละรายต่อไป

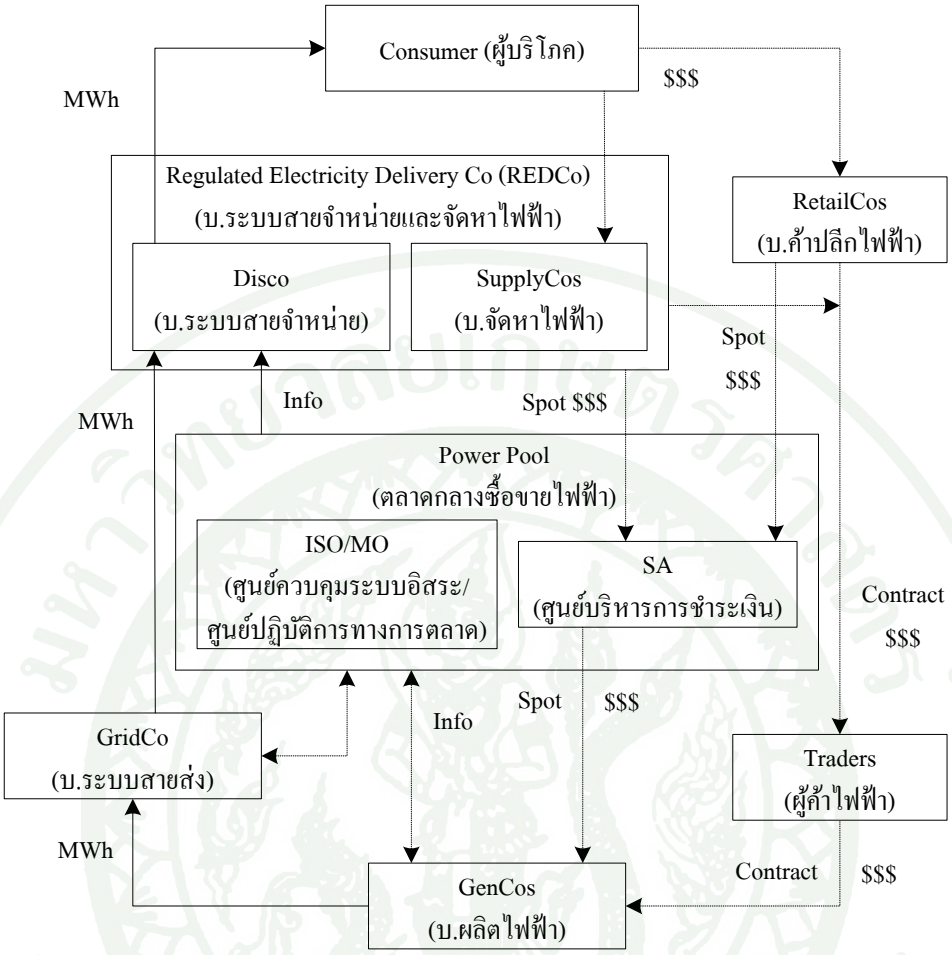
ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 1 บทบาทและหน้าที่การดำเนินกิจการไฟฟ้าในภาวะที่มีการแข่งขัน

เมื่อพิจารณาจากโครงสร้างกิจการไฟฟ้าดังกล่าว เราอาจสามารถกำหนดหน่วยงานที่รับผิดชอบในการดำเนินงานต่างๆ ได้ตามที่แสดงในภาพที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าบริษัทผลิตไฟฟ้า (Gen Cos) สามารถเป็นบริษัทเอกชนที่เป็นเจ้าของโรงไฟฟ้า มีการดำเนินกิจการในลักษณะที่มีการแข่งขันกันได้ ส่วนบริษัทระบบส่งไฟฟ้า (Grid Cos) และบริษัทระบบจำหน่ายไฟฟ้า (Dis Cos) ยังเป็นของรัฐและอยู่ภายใต้การควบคุมของรัฐฯ เช่นกัน โดยจะทำหน้าที่ดูแลกิจการระบบสายส่งแรงสูง และสายจำหน่ายแรงต่ำตามลำดับ บริษัทค้าปลีกไฟฟ้า (Retail Cos) ซึ่งเป็นบริษัทเอกชนและไม่อยู่ภายใต้การควบคุมของรัฐจะทำการแข่งขันในการจัดหาพลังงานไฟฟ้าและให้บริการแก่ลูกค้าทั่วไป ส่วนบริษัทจัดหาไฟฟ้า (Supply Cos) ซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุมขององค์กรกำกับดูแลของรัฐจะทำหน้าที่จัดหาและบริการไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าที่ไม่ต้องการ หรือไม่สามารถซื้อไฟฟ้าจากบริษัทค้าปลีกไฟฟ้าได้ ทั้งนี้เพื่อสามารถให้บริการแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าในทุกประเภทได้อย่างครบถ้วน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 2 โครงสร้างกิจการไฟฟ้าในอนาคต

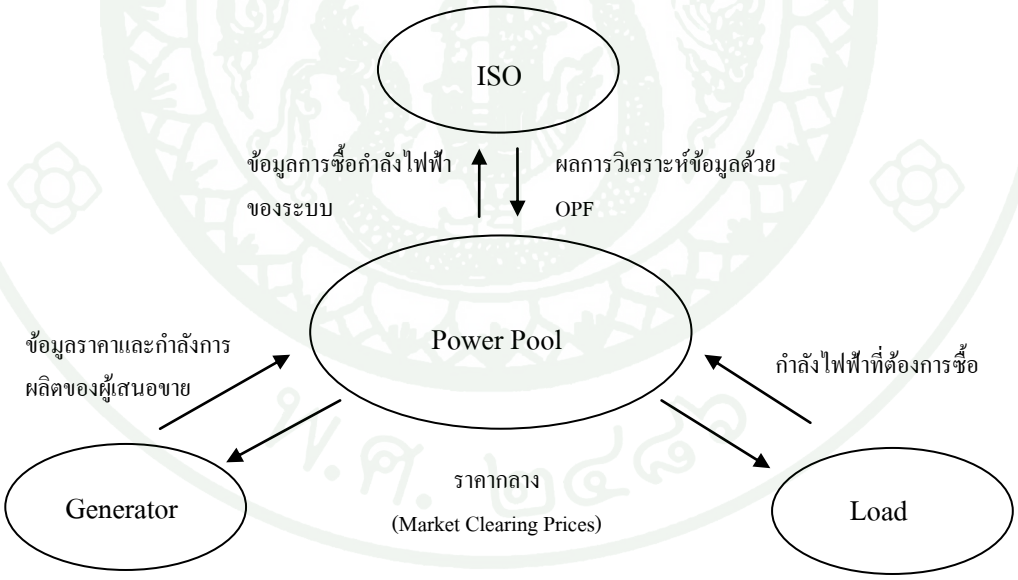
ภายใต้โครงสร้างดังกล่าวจะมีผู้ค้าไฟฟ้า (Traders) ทำหน้าที่ติดต่อประสานงานต่อรองและดำเนินการซื้อขายไฟฟ้าตามสัญญา (Contract Trading) นอกจากนั้น ยังจำเป็นต้องมีศูนย์ควบคุมระบบอิสระ (Independent System Operator : ISO) ทำหน้าที่สั่งการปฏิบัติงานและควบคุมการทำงานของระบบไฟฟ้าให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ศูนย์ปฏิบัติการทางการตลาด (Market Operator : MO) ทำหน้าที่บริหารตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า และศูนย์บริหารการชำระเงิน (Settlement Administrator : SA) ทำหน้าที่รับผิดชอบทำความตกลงทางด้านการชำระเงินค่าซื้อขายไฟฟ้าให้แก่หน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ทั้งนี้ ทั้ง ISO MO และ SA จะต้องทำงานอย่างสอดคล้องประสานกัน อีกทั้งต้องเป็นอิสระจากหน่วยงานใดหน่วยงานหนึ่งที่ดำเนินกิจการอยู่ในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า โดยหน้าที่การดำเนินงานของ ISO และ MO นั้นอาจอยู่ภายใต้ความรับผิดชอบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ของหน่วยงานเดียวกันได้

2. การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าในระบบที่มีการซื้อขายไฟฟ้าเสรี

การซื้อขายกำลังไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง (Power Pool Transactions) ผู้ผลิตจะเสนอราคาขายและปริมาณกำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ให้แก่ตลาดกลาง พร้อมกันนั้น ผู้ซื้อต้องส่งข้อมูลปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ต้องการให้กับตลาดกลางด้วย ข้อมูลจากทั้งสองส่วนจะถูกส่งให้กับศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ เพื่อวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด หากปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ต้องการซื้อขายทำให้ระบบขาดเสถียรภาพทางไฟฟ้า อาจจำเป็นต้องปรับปริมาณกำลังไฟฟ้าในส่วนของผู้ผลิตหรือส่วนของผู้ซื้อ หรือทั้งสองส่วนตามแต่จะตกลง กรณีไม่มีผลกระทบต่อระบบเกินที่จะยอมรับ ISO จะส่งข้อมูลจากการวิเคราะห์ให้กับตลาดกลางเพื่อใช้ประกาศราคากลาง (Market Clearing Prices)



ภาพที่ 3 การซื้อขายกำลังไฟฟ้าเสรีผ่านตลาดกลาง

3. การทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี

ปัจจุบันการซื้อขายกำลังไฟฟ้าเสรี สำหรับประเทศไทยนั้น ยังไม่มีการซื้อขายกำลังไฟฟ้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

แบบเสรีเกิดขึ้น ซึ่งปัจจุบันระบบผลิตกำลังไฟฟ้ารับผิดชอบโดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) และระบบจำหน่ายรับผิดชอบโดยการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าภูมิภาค (กฟภ.) ตามลำดับ

การซื้อขายกำลังไฟฟ้าเสรี เช่นใน Integrated Nepal Power System (INPS) และ The National Grid Company ของประเทศอังกฤษ จะแยกระบบเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ระบบผลิต ระบบระบบสายส่ง และระบบจำหน่าย เพื่อความสะดวกในการควบคุมดูแลและบริหารจัดการระบบเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ดังนั้นการซื้อขายจะกระทำผ่านตลาดกลาง (Power Pool) ภายใต้การควบคุมของศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ การซื้อขายโดยทั่วไปจะกระทำผ่านตัวแทน โดยตัวแทนของแต่ละส่วนจะเสนอข้อมูลในส่วนที่รับผิดชอบ เช่น ฝ่ายผลิตจะเสนอข้อมูลของราคาและปริมาณกำลังไฟฟ้าที่สามารถผลิตได้ ผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าจะเสนอปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ เมื่อทราบข้อมูลทั้งของผู้ผลิตและปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ต้องการแล้ว ศูนย์ควบคุมระบบอิสระ ซึ่งเป็นผู้ดูแลระบบ จะทำการจัดสรรกำลังการผลิตในแต่ละราย โดยคำนึงถึงความคุ้มค่าและประสิทธิภาพของระบบเป็นหลัก เมื่อได้รับการจัดสรรแล้วผู้ผลิตจะผลิตกำลังไฟฟ้าตามที่ได้รับการจัดสรรให้กับตลาดกลาง โดยศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระจะเป็นองค์กรกลางดูแลการซื้อขายทั้งระบบ

จุดประสงค์การเปิดตลาดซื้อขายกำลังไฟฟ้าเสรีนั้น ก็เพื่อให้ผู้ใช้เลือกซื้อกำลังไฟฟ้าจากผู้ผลิตได้ตามที่ต้องการ ทำให้เกิดการซื้อขายแบบไม่ผ่านตลาดกลางขึ้น โดยการซื้อขายดังกล่าวจะกระทำภายใต้ข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตและผู้ซื้อโดยไม่ผ่านตลาดกลาง เรียกว่าเป็นการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี

ลักษณะการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี

สัญญาการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี มี 2 ลักษณะ คือ

1. สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง (Firm bilateral contract) คือ สิทธิ์ที่ได้มาในการใช้ระบบไฟฟ้า สำหรับการจัดส่งพลังงานไฟฟ้าตามที่ต้องการ โดยการที่จะยอมให้ผู้ค้าไฟฟ้ารายไหนมีสิทธิ์ที่จะทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง (Firm) นั้น ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระจะเป็นผู้คอยตรวจสอบและกำหนด โดยจะคำนึงถึงความคุ้มค่าและประสิทธิภาพของระบบ ตามหลักแนวทางปฏิบัติในปัจจุบัน สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงจะไม่ได้รับ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เงินชดเชยใดๆในกรณีที่ใช้ระบบสายส่งได้ไม่เต็มที่สมบูรณ์เนื่องจากว่าเกิดสภาวะฉุกเฉิน ในบางตลาดซื้อขายไฟฟ้า การที่จะได้รับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงนั้น สามารถกระทำได้โดยการซื้อสิทธิ์ในการใช้สายส่ง (Transmission rights) ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นเครื่องประกันที่ว่า จะไม่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการส่งพลังงานที่สูงแก่ผู้ทำการค้าไฟฟ้า (Height power-transfer cost) สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบมั่นคง ที่ไม่ได้ซื้อสิทธิ์ในการใช้สายส่งนี้ ไม่ได้หมายความว่าจะเกิดผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการส่งพลังงานไฟฟ้า (Power-transfer payment) เนื่องจากว่าศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระจะไม่ยอมให้มีการยกเลิกสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบมั่นคง ถึงแม้ว่า การยกเลิกสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบมั่นคงนี้จะเป็นอะไรที่น่าสนใจทางการค้าของผู้ร่วมทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีก็ตาม ในโครงสร้างตลาดการค้าไฟฟ้าแบบใหม่ บางครั้งผู้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบคงที่ อาจจะสมัครใจให้ถูกตัดกำลังไฟฟ้าได้ ด้วยเหตุผลทางการค้าหรือเพื่อความคุ้มค่าทางการเงินที่ดีกว่า

ความต้องการเพื่อให้เกิดแนวทางการร่วมมือกันของผู้ร่วมทำการค้าไฟฟ้าให้ไปในทิศทางเดียวกัน ผู้ร่วมทำการค้าไฟฟ้าจึงได้มีการเสนอว่า ในแต่ละสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงจะต้องได้รับการชดเชย ในกรณีที่เกิดการตัดกำลังไฟฟ้า (Curtailment) ยกเว้นในกรณีที่เกิดในสภาวะฉุกเฉินที่ไม่ต้องชดเชย โดยค่าชดเชยที่ผู้ผู้ร่วมทำการค้าไฟฟ้าแบบสัญญาการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีมั่นคงจะได้รับและปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จะถูกตัดนี้ จะถูกกำหนดโดยศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ ดังนั้น ค่าใช้จ่ายสำหรับผลิตกำลังไฟฟ้าทั้งหมด (The overall generation cost) รวมกับค่าชดเชยที่ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระต้องจ่าย จะถูกทำให้มีค่าน้อยที่สุด (Minimize) เนื่องจากศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระไม่มีแหล่งทางการเงิน ดังนั้นค่าชดเชยที่ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระต้องจ่าย จะหาได้จากการเรียกเก็บจากผู้ร่วมทำการค้าในตลาดไฟฟ้าทุกคน

ถ้าผู้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบมั่นคง ไม่ต้องการที่จะถูกตัดกำลังไฟฟ้าเลย ผู้ทำสัญญาก็ต้องยอมที่จะเสนอราคาปรับลดสัญญาในราคาที่สูง (High curtailment bid) เพื่อป้องกันไม่ให้ถูกตัดกำลังไฟฟ้า แต่การกระทำแบบนี้ อาจจะเป็นการกระทำที่ไม่ดีนักเนื่องจากว่า เมื่อเกิดสภาวะเกินพิกัด (Congestion) ค่าใช้จ่ายในการส่งพลังงานไฟฟ้า (Power-transfer cost) อาจจะมีค่าที่สูงมากและอาจจะทำให้ผลกำไรที่น่าจะได้จากการทำการค้าแบบทวิภาคีหมดไป

บางครั้งผู้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง อาจจะเสนอให้ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระตัดกำลังไฟฟ้า ถ้าหากผู้ทำสัญญาเห็นว่าสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบมั่นคงได้ก่อให้เกิดผล

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เสียต่อการค้าไฟฟ้า ผู้ทำสัญญาอาจจะยอมเสนอราคาปรับสัญญาโหลดแบบลบ (Negative bilateral curtailment bids) ให้แก่ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ

2. สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง (Nonfirm bilateral contract) คือ สิทธิ์ที่ได้มาในการใช้ระบบไฟฟ้า สำหรับการจัดส่งกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ แต่สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง อาจจะถูกศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระตัดกำลังไฟฟ้าได้ โดยที่จะไม่ได้รับการชดเชยใดๆ ถ้าหากผู้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบไม่มั่นต้อคง การไม่ให้ถูกตัดกำลังไฟฟ้า ผู้ทำสัญญาต้องเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา (Noncurtailment bids) ให้กับศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ

ปริมาณกำลังไฟฟ้าของผู้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบไม่มั่นคงที่จะถูกปรับลดสัญญาและค่าใช้จ่ายอื่นๆที่เกี่ยวข้อง จะถูกกำหนดโดยศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ เพื่อให้ค่าใช้จ่ายสำหรับผลิตกำลังไฟฟ้าทั้งหมดรวมกับค่าชดเชยที่ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระต้องจ่ายให้กับผู้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบมั่นคง ที่ถูกปรับลดกำลังไฟฟ้า และเงินที่ได้จากการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา (Noncurtail payment) ที่ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระได้รับจากผู้ทำสัญญาแบบไม่มั่นคง จะต้องถูกทำให้มีค่าน้อยที่สุด

การเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาที่ผู้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงจ่ายให้กับศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระจะเกิดประโยชน์ต่อผู้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ก็ต่อเมื่อ การเสนอราคาเพื่อให้ปรับลดสัญญานี้ มีค่าน้อยกว่าผลกำไรที่ผู้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง จะได้รับทั้งหมด

การเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดโหลดแบบลบ คือ การเรียกร้องค่าชดเชยจากตลาดกลางสามารถกระทำได้ ถ้าหากผู้ร่วมทำสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้าชื่อว่าการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ไม่ก่อให้เกิดผลกำไร แต่การซื่อขายกำลังไฟฟ้าผ่านตลาดกลางจะก่อให้เกิดผลกำไรที่มากกว่า

ในตลาดการค้าไฟฟ้าแบบใหม่ ได้เสนอว่า ยอมให้ทั้งผู้ซื้อและผู้ขายไฟฟ้ามีอิสระที่ยอมรับความแตกต่างของ การเสนอราคาเพื่อการปรับลดสัญญาและการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาจากแนวทางการปฏิบัตินี้ได้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่ว่า ราคาไฟฟ้าที่ได้จากการทำสัญญาซื่อขายแบบทวิภาคีนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัญญาในระยะยาวด้วยแล้ว อาจจะทำให้ราคาซื่อขายไฟฟ้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หันเหไปจากอัตราของราคาไฟฟ้า (Spot market rate) ดังนั้นทั้งผู้ซื้อและผู้ขายไฟฟ้าจึงไม่มีความจำเป็นที่จะเห็นด้วยหรือไม่ ต่อการปรับลดสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี นอกจากนี้ทั้งผู้ซื้อและผู้ขายไฟฟ้าอาจจะไม่เห็นด้วยหรือยอมรับระดับราคาของการเสนอราคาเพื่อการปรับลดสัญญา และระดับราคาของการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา ซึ่งจะขึ้นอยู่กับตัวสัญญาการซื้อขายไฟฟ้าค่าธรรมเนียมต่างๆ รวมไปถึงผู้ร่วมทำการค้าไฟฟ้าอาจจะมีอิสระหรือถูกจำกัดด้วย

การซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี (Bilateral Transactions) แม้กำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายจะไม่กระทำผ่านตลาดกลาง แต่ยังต้องใช้ส่ายส่งร่วมกับตลาดกลาง ดังนั้นผู้ซื้อและผู้ผลิตที่ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี จึงต้องส่งข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่จะซื้อขายให้กับตลาดกลางด้วย เพื่อให้ผู้ดูแลระบบวิเคราะห์การทำงานของระบบได้ เป็นผลให้กำลังไฟฟ้าที่ต้องผลิตแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ผลิตให้กับตลาดกลางและส่วนที่ผลิตให้กับการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี ดังสมการ (1)

$$P_G = P_G^p + P_G^b \tag{1}$$

โดย P_G คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ผลิตต้องจ่ายให้กับโหลดทั้งระบบ [MW]

P_G^b คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ผลิตต้องผลิตเพื่อจ่ายให้ตามที่ผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีต้องการ [MW]

P_G^p คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ผลิตต้องผลิตเพื่อจ่ายให้กับโหลดที่ซื้อขายผ่านตลาดกลาง [MW]

ทำนองเดียวกัน ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผู้ซื้อต้องการทั้งหมด จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ กำลังไฟฟ้าที่ต้องการซื้อจากตลาดกลางและซื้อผ่านการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี สามารถพิจารณาได้ดังนี้

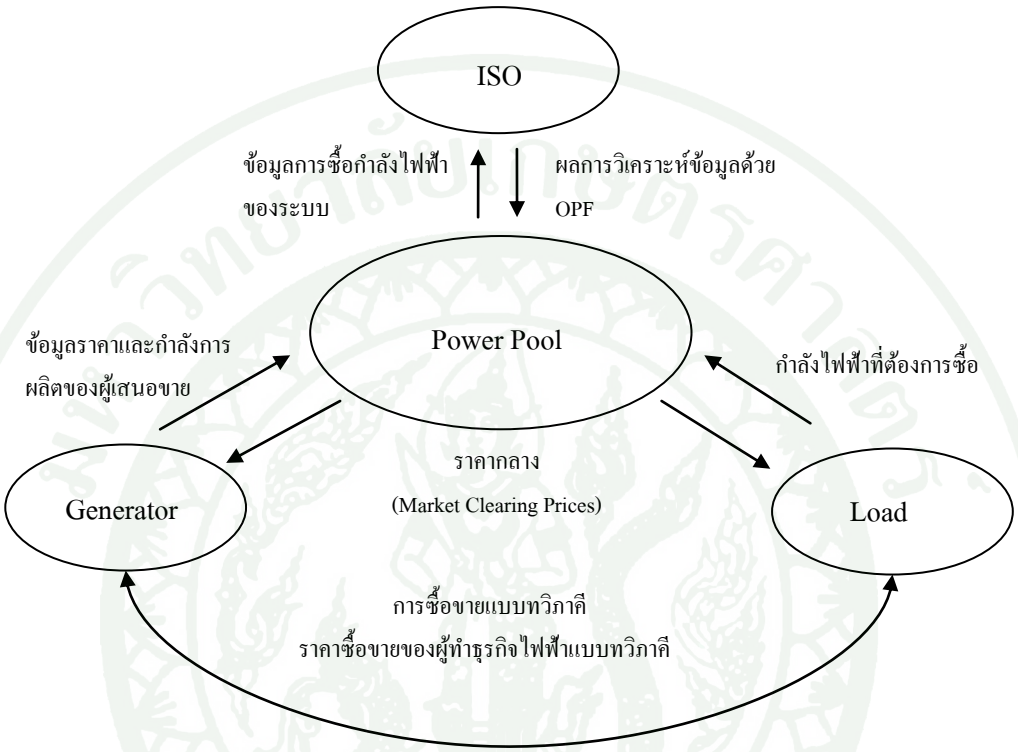
$$P_D = P_D^P + P_D^b \tag{2}$$

โดย P_D คือ เวคเตอร์ $(n \times 1)$ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ซื้อต้องการทั้งระบบที่มี n บัส [MW]

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

P_D^b คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ซื้อต้องการซื้อผ่านการทำธุรกิจแบบทวิภาคี [MW]

P_D^p คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ซื้อต้องการซื้อผ่านตลาดกลาง [MW]



ภาพที่ 4 การซื้อขายกำลังไฟฟ้าเสรีผ่านตลาดกลางและแบบทวิภาคี

เนื่องจากรายงานนี้ ได้ศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาสภาวะเกินพิกัดของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีภายใต้สัญญาการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี 2 แบบ คือ 1. สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง (Firm bilateral contract) 2. สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง (Nonfirm bilateral contract) ดังนั้น จึงสามารถเขียนค่า P_G^b และค่า P_D^b ได้ใหม่ดังสมการที่ (3) และ (4)

$$P_G^b = P_G^F + P_G^{NF} \tag{3}$$

โดย P_G^F คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ผลิตต้องผลิตเพื่อจ่ายให้ตามที่ผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบภาคีแบบมั่นคงต้องการ [MW]

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

P_G^{NF} คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ผลิตต้องผลิตเพื่อจ่ายให้ตามที่ผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงต้องการ [MW]

$$P_D^b = P_D^F + P_D^{NF} \tag{4}$$

โดย P_D^F คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ซื้อต้องการซื้อผ่านการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงต้องการ [MW]

P_D^{NF} คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ซื้อต้องการซื้อผ่านการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงต้องการ [MW]

ดังนั้นจะสามารถเขียน สมการ P_G และสมการ P_D ได้ใหม่ดังสมการที่ (5) และ (6)

$$P_G = P_G^p + P_G^F + P_G^{NF} \tag{5}$$

$$P_D = P_D^p + P_D^F + P_D^{NF} \tag{6}$$

ในการซื้อขาย ผู้ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีต้องเสนอข้อมูลการซื้อขายให้กับตลาดกลาง เช่นเดียวกับผู้ซื้อและผู้ผลิตที่ซื้อขายผ่านตลาดกลาง ข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งให้กับ ISO เพื่อวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่ให้ผลดีที่สุด หากปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จะซื้อขายทำให้ระบบขาดเสถียรภาพทางไฟฟ้า อาจจำเป็นต้องปรับปริมาณกำลังไฟฟ้าในส่วนของตลาดกลางหรือส่วนของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี หรือทั้งสองส่วน

ในรายงานนี้กำหนดให้ความต้องการกำลังไฟฟ้าของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าทั้งหมดมีค่าคงที่ กรณีไม่มีผลกระทบต่อระบบเกินที่จะยอมรับ ISO จะส่งข้อมูลจากการวิเคราะห์ให้กับตลาดกลางให้แก่ผู้ผลิตและผู้ซื้อผ่านตลาดกลาง ส่วนราคาซื้อขายของผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี (Bilateral Prices) นั้น ตลาดกลางจะไม่ทราบข้อมูลเนื่องจากราคาซื้อขาย ผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีจะตกลงราคากันเอง ดังแสดงในภาพที่ 4 ซึ่งจะแสดงการหาราคาในลำดับถัดไป

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

4. ศูนย์กลางการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี

ตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้าในระบบปฏิบัติการอิสระของนิวยอร์ก (NYISO) เป็นการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ได้ มาจากการจ่ายกำลังไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้า และจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ซื้อไฟฟ้าตามลำดับ ซึ่งการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีจะประกอบไปด้วย 3 ส่วน ดังนี้

1. ผู้ผลิตไฟฟ้า (Internal Generator)
2. ผู้ใช้ไฟฟ้า (Internal Load Bus)
3. ผู้มีส่วนร่วมซึ่งทำหน้าที่รับผิดชอบทางการเงิน (Financially Responsible Party : FRP)

FRP คือ ผู้รับผิดชอบซึ่งทำหน้าที่เรียกเก็บค่าใช้จ่ายสายส่งไฟฟ้าทั้งหมด (สภาวะเกินพิกัดและการสูญเสียของสายส่งไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบ) โดยที่ FRP สามารถเป็นองค์กรเดียวกับผู้ผลิตไฟฟ้า และผู้ใช้ไฟฟ้า หรืออาจเป็นองค์กรอิสระอื่นๆ เช่น นักการตลาด/โบรกเกอร์ ซึ่งทำหน้าที่อำนวยความสะดวกในการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าระหว่างผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ใช้ไฟฟ้า โดยที่ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงนั้น จะอยู่นอกเหนือจากผู้มีส่วนร่วมทางการตลาดที่มีอยู่ในระบบปฏิบัติการอิสระของนิวยอร์ก (NYISO)

การทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี เริ่มต้นจากแนวคิดของศูนย์กลางการซื้อขายไฟฟ้า ซึ่งกำลัง ไฟฟ้าที่ผู้ผลิตไฟฟ้าผลิตได้จะถูกส่งไปยังศูนย์กลางการซื้อขายไฟฟ้า การทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าอาจจะดำเนินการหลังจากศูนย์กลางการซื้อขายไฟฟ้าส่งกำลังไฟฟ้าทั้งหมด หรือส่งกำลังไฟฟ้าบางส่วนไปยังผู้ใช้ไฟฟ้ายังจุดอื่นๆ ในอีกความหมายหนึ่ง คือ เงื่อนไขของผู้มีส่วนร่วมในการซื้อขายไฟฟ้า สามารถที่จะกำหนดสิทธิของกำลังไฟฟ้าที่ศูนย์กลางการซื้อขายไฟฟ้าได้ และมีสิทธิที่จะส่งกำลังไฟฟ้าจากศูนย์กลางการซื้อขายไฟฟ้าได้เช่นกัน

4.1 นิยามของศูนย์กลางการซื้อขายไฟฟ้า

ศูนย์กลางการซื้อขายไฟฟ้า คือ ผู้มีส่วนร่วมในการซื้อขายไฟฟ้า ที่ได้รับสิทธิในการซื้อขายไฟฟ้า หรือได้รับสิทธิ์ในการส่งมอบกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากศูนย์กลางการซื้อขายไฟฟ้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รายได้ของศูนย์กลางการซื้อขายไฟฟ้า

4.2 การให้บริการที่ครอบคลุมตลาดซื้อขายไฟฟ้า

ศูนย์กลางการซื้อขายไฟฟ้า ทำหน้าที่อำนวยความสะดวกในการซื้อขายไฟฟ้า และเพิ่มสภาพคล่องให้กับตลาดซื้อขายไฟฟ้า และเป็นหน่วยงานที่ทำหน้าที่ให้บริการสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้า (LSEs) ในการดำเนินการเพื่อการซื้อขายกำลังไฟฟ้า

4.3 เครดิต

ศูนย์กลางการซื้อขายไฟฟ้าอาจจะให้การสนับสนุนผู้ซื้อไฟฟ้ารายย่อย ซึ่งหน่วยงานที่ทำหน้าที่ให้บริการสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถสร้างความน่าเชื่อถือทางการเงินให้กับตลาดขนาดใหญ่ได้

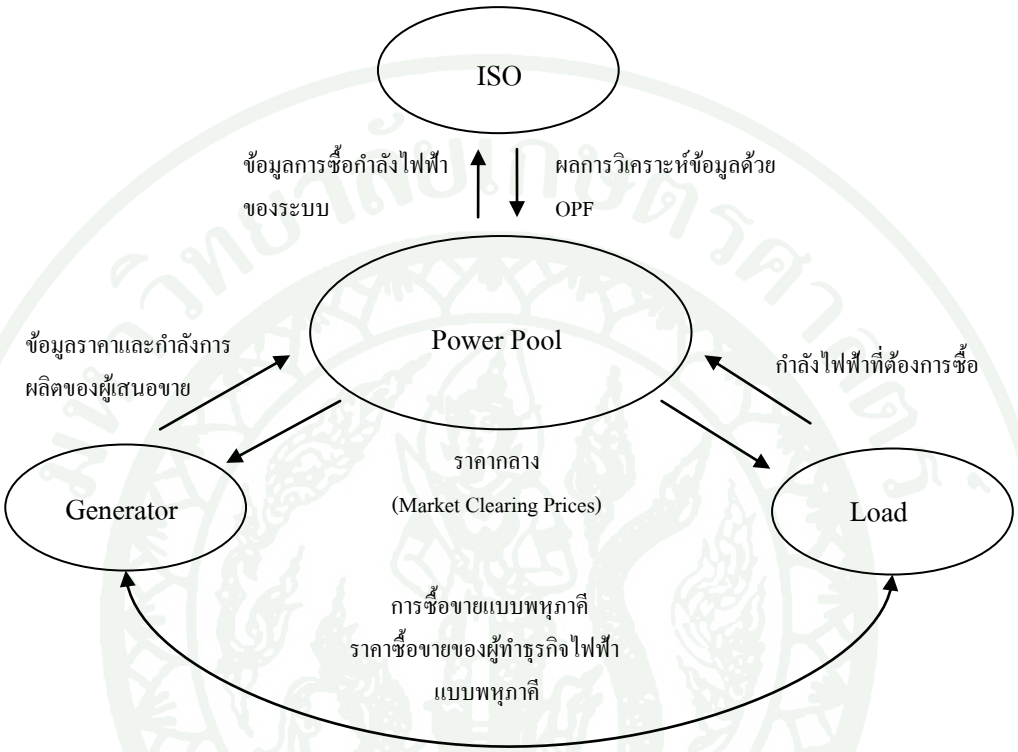
ศูนย์กลางการซื้อขายไฟฟ้าอาจจะช่วยลดภาระของโหลดทางกายภาพของตลาดซื้อขายไฟฟ้าในระบบปฏิบัติการอิสระของนิวยอร์ก (NYISO) โดยการให้เครดิตความคุ้มครองความต้องการจากการซื้อขายกำลังไฟฟ้าเทียบกับศูนย์กลางการซื้อขายไฟฟ้า

5. การทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุภาคี

การทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุภาคี (Multilateral Contract) คือ การทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าระหว่างผู้ผลิตไฟฟ้ากับผู้ซื้อไฟฟ้าที่แต่ละบัส โดยมีนายหน้าหรือคนกลางซึ่งทำหน้าที่ติดต่อเพื่อดำเนินการซื้อขายไฟฟ้า ซึ่งลักษณะของการซื้อขายไฟฟ้าดังกล่าวเป็นการตกลงซื้อขายกำลังไฟฟ้ากันโดยตรง โดยกำหนดให้หนึ่งผู้ผลิตไฟฟ้าที่บัสหรือมากกว่า ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้ากับกลุ่มของผู้ใช้ไฟฟ้าที่บัสตั้งแต่ 2 รายขึ้นไป หรือระหว่างกลุ่มของผู้ผลิตไฟฟ้าที่บัสตั้งแต่สองรายขึ้นไปกับผู้ใช้ไฟฟ้าเพียงหนึ่งราย โดยผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถดำเนินการซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตรายใดก็ได้ นอกจากนี้ผู้ผลิตและผู้ซื้อไฟฟ้ายังสามารถซื้อขาย และส่งผ่านกำลังไฟฟ้าระหว่างกลุ่มภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ดังที่กล่าวมาการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบพหุภาคีจำเป็นต้องใช้สายส่งร่วมกับตลาดกลาง ดังนั้นผู้ซื้อและผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าจะต้องส่งข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่จะซื้อขายให้กับตลาดกลาง เพื่อให้ศูนย์ควบคุม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ระบบไฟฟ้าอิสระวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด ก่อนการจัดสรรกำลังไฟฟ้าตามความต้องการของผู้ซื้อและผู้ขายกำลังไฟฟ้า สามารถพิจารณาดังภาพรูปที่ 5

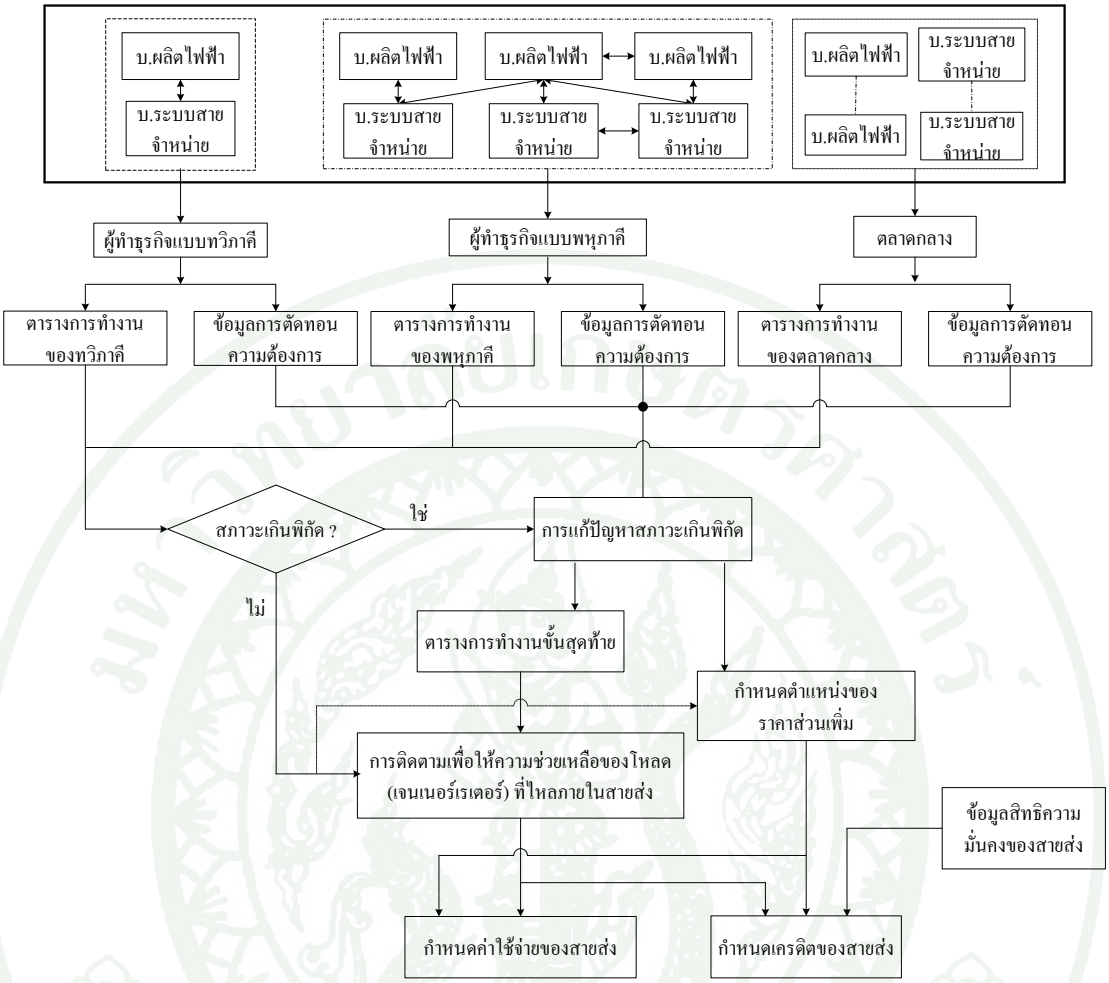


ภาพที่ 5 การซื้อขายกำลังไฟฟ้าเสรีผ่านตลาดกลางและแบบพหุภาคี

6. การเสนอราคาค่าใช้จ่ายของสายส่งสำหรับการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี

การตัดโหลดเพื่อลดความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า เป็นการลดภาระให้กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและการไหลของโหลด และเพิ่มความมั่นคงของสายส่ง และตำแหน่งของราคาส่วนเพิ่มนั้น มีการนำเสนอเกี่ยวกับวิธีการแก้ปัญหาสภาวะเกินพิกัด และเป็นการจัดสรรสายส่งโดยใช้วิธีการเรียกเก็บค่าใช้จ่ายสายส่งและการให้เครดิตกับผู้ใช้ไฟฟ้า ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 6

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 6 ราคาสายส่งไฟฟ้า

7. การจัดลำดับความสำคัญของการจัดสรรระบบสายส่ง

การจัดลำดับความสำคัญของการจัดสรรระบบสายส่ง เป็นการพิจารณาการปรับโครงสร้างระบบไฟฟ้ากำลังของตลาดกลางร่วมกับการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี วิธีการนี้ช่วยให้เกิดความเชื่อถือได้ และสร้างความเชื่อมั่นเกี่ยวกับความไม่เป็นธรรมสำหรับการจัดลำดับความสำคัญของการตัดโหลด การดำเนินการขึ้นอยู่กับผู้มีส่วนร่วมทางการตลาด การจ่ายเงินเพิ่มพิเศษในที่นี้ เป็นส่วนประกอบการจัดลำดับความสำคัญและกระบวนการการตัดโหลด ซึ่งประกอบด้วยกำลังการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การจัดลำดับความสำคัญ แสดงถึงกลยุทธ์ของการดำเนินการ โดยศูนย์ควบคุมระบบอิสระ ซึ่งมีหน้าที่ในการตัดโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้าเพื่อแก้ปัญหาสภาวะเกินพิกัดที่เกิดขึ้นในระบบ ซึ่งศูนย์ควบคุมระบบอิสระจะกำหนดลำดับของการตัดโหลดสำหรับผู้ใช้ไฟฟ้าสำหรับผู้มีส่วนร่วมทางการตลาด ซึ่งผู้มีส่วนร่วมทางการตลาดอาจจะมีการจ่ายเงินเพิ่มพิเศษเพื่อหลีกเลี่ยงการถูกตัดโหลด โดยที่ศูนย์ควบคุมระบบอิสระจะเพิ่มฟังก์ชันในเทอมของตลาดกลาง ในฟังก์ชันเป้าหมายเพื่อนำเสนอการจ่ายเงินเพิ่มพิเศษเพื่อหลีกเลี่ยงการถูกตัดโหลดตามปริมาณที่ตนความต้องการ

กระบวนการที่ใช้ในการตัดโหลดของผู้ใช้ไฟฟ้า ในกรณีที่สายส่งไฟฟ้าเกิดสภาวะเกินพิกัดขึ้นในระบบ สามารถพิจารณาได้ดังต่อไปนี้

1. แบบอิสระ (Free Mode) แบบนี้เมื่อเกิดสภาวะเกินพิกัดในระบบ ผู้มีส่วนร่วมในตลาดต้องแข่งขันกัน โดยจ่ายเงินเพิ่มพิเศษ ซึ่งแปรผันตามค่าน้ำหนัก เพื่อให้ตนเองได้รับกำลังไฟฟ้าโดยไม่ถูกตัดทอนความต้องการ

2. แบบป้องกันส่วนกลาง (Pool Protection Mode) แบบนี้จะให้ความสำคัญกับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางมากกว่า เมื่อเกิดสภาวะเกินพิกัดในระบบ จะตัดทอนความต้องการของผู้ทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีและพหุภาคีก่อนเสมอ

3. แบบป้องกันสัญญา (Contract Protection Mode) แบบนี้จะให้ความสำคัญกับการผู้ทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีและพหุภาคีตามลำดับ เมื่อเกิดสภาวะเกินพิกัดขึ้นในระบบ จะทำการตัดทอนความต้องการของผู้ที่ทำการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางก่อน

การพิจารณาที่เกิดขึ้นนี้ ใช้โหมดอิสระในการดำเนินการ เนื่องจากมีความน่าเชื่อถือ และสามารถเสนอราคาซื้อขายตามความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้าได้ ซึ่งโหมดอิสระนี้จะใช้คำนวณการวางแผนขั้นตอนสุดท้ายของแต่ละการดำเนินการ หลังจากการแก้ปัญหาสภาวะเกินพิกัด

การเสนอโครงร่างสำหรับชดเชยการสูญเสียสามารถพิจารณาได้ 2 ส่วนดังนี้

1. ศูนย์ควบคุมระบบอิสระต้องการจัดสรรการบริการนี้ให้กับตลาดกลาง
2. ขึ้นอยู่กับค่าแฟกเตอร์การสูญเสียของสายส่ง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การดำเนินการดังกล่าว จะมีการเพิ่มกำลังเพื่อให้ครอบคลุมการสูญเสียของกำลังไฟฟ้า โดยทำการเลือกใช้วิธีที่ 1

ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ สำหรับการจัดสรรสายส่งกับการจัดลำดับความสำคัญ ในทฤษฎีนี้จะใช้ (PL แสดงถึง ตลาดกลาง และ T แสดงถึง ผู้ทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี) ตัวแปร G, D และ L แสดงถึง กำลังไฟฟ้าจริง ปริมาณความต้องการกำลังไฟฟ้า และการสูญเสียตามลำดับ ตัวแปร Q และ R แสดงถึง กำลังไฟฟ้าเสมือน และปริมาณความต้องการตามลำดับ เงื่อนไขของสมการจะประกอบไปด้วย ผลรวมของกำลังไฟฟ้าที่ส่งเข้าไปในแต่ละบัสของผู้ใช้ไฟฟ้า สมการสมดุลกำลังของการทำธุรกิจซื้อขายแบบทวิภาคี/พหุภาคี และสมการการตัดโหลดเพื่อลดความต้องการของผู้ทำธุรกิจซื้อขายแบบทวิภาคี/พหุภาคี

ผลรวมของกำลังไฟฟ้าจริงที่ส่งเข้าไปที่แต่ละบัส i เท่ากับกำลังไฟฟ้าที่ส่งเข้าไปที่บัส i เนื่องการการดำเนินการของตลาดกลาง กำลังไฟฟ้าที่ส่งเข้าไปที่บัส i เนื่องจากการดำเนินการของการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี เพื่อให้ครอบคลุมโหลดกับกำลังไฟฟ้าที่ส่งเพิ่มเข้าไปที่บัส i เนื่องจากการดำเนินการของการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี เพื่อชดเชยการสูญเสียของสายส่ง ในทำนองเดียวกัน ผลรวมที่ดึงเอากำลังไฟฟ้าจริงที่บัส j ซึ่งเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่ส่งออกจากบัส j เนื่องจากการดำเนินการของตลาดกลาง กำลังไฟฟ้าที่ส่งออกจากบัส i เนื่องจากการดำเนินการของการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี โดยทั่วไปความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถพิจารณาได้จากสมการดังต่อไปนี้

สมการที่ (7) และ (8) คือ สมการที่ตลาดกลางกำหนดให้มีการชดเชยการสูญเสีย

$$P_i = G_i^{PL} + \sum_{k \in K} G_{k,i}^{T} + \sum_{k \in K} L_{k,i}^{T} \tag{7}$$

$$Q_i = Q_i^{PL} + \sum_{k \in K} Q_{k,i}^{T} + \sum_{k \in K} Q_{k,i}^{L} \tag{8}$$

สมการที่ (9) และ (10) คือ สมการความต้องการกำลังไฟฟ้า

$$D_j = D_j^{PL} + \sum_{k \in K} D_{k,j}^{T} \tag{9}$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$R_j = R_j^{PL} + \sum_{k \in K} R_{k,j}^T \tag{10}$$

เมื่อ i คือ เซตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส

j คือ เซตของโหลดบัส

k คือ ดัชนีของการทำธุรกิจซื้อขายแบบทวิภาคี/พหุภาคี

K คือ การดำเนินการของการทำธุรกิจซื้อขายแบบทวิภาคี/พหุภาคี

กำลังไฟฟ้าสมดุลของผู้ทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี สามารถพิจารณาได้ดังสมการดังที่ (11)

$$\sum_{i \in I_G} G_{k,i}^T = \sum_{j \in J_D} D_{k,j}^T \tag{11}$$

จากสมการที่ (11) สมการความสมดุลกับความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า และผลรวมทางด้านกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ในคู่สัญญาของการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบพหุภาคี เกิดความสมดุลกับผลรวมของโหลด การดำเนินการของการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบพหุภาคี

การตัดโหลดสำหรับความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้า พิจารณาดังสมการที่ 12

$$D_{k,j}^T = \text{ฟังก์ชันของ} \quad G_{k,1}^T,\ G_{k,2}^T, \ldots,\ G_{k,i}^T, \ldots \tag{12}$$

จากสมการที่ (12) การเพิ่มขึ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แต่ละตัวเมื่อการดำเนินการนั้นถูกตัดโหลดความต้องการ โดยสมมติให้ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างการดำเนินการเป็นความต้องการและเป็นผลรวมซึ่งเป็นการดำเนินการทางด้านกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ดังนั้นจากสมการที่ (11) และ (12) จึงประกอบด้วยเงื่อนไขของสมการในทฤษฎีปัญหา ซึ่งสมการที่ (11) จะเหมือนกันกับ (12) เมื่อระบบมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหนึ่งชุดและโหลดหนึ่งชุด

โดยทั่วไปทฤษฎีการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด และเงื่อนไขของอสมการประกอบด้วยขอบเขตของกำลังไฟฟ้าของตลาดกลาง ระดับแรงดัน และโหลดเกินพิกัดของสายส่ง เมื่อการ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ดำเนินการทั้งหมดมีการเพิ่มในส่วนของกำลังเพื่อชดเชยการสูญเสียที่เกิดขึ้น ฟังก์ชันเป้าหมายจะประกอบไปด้วยพจน์ที่ครอบคลุมเรื่องของค่าใช้จ่ายของสายส่งเพื่อชดเชยการสูญเสียสำหรับการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี

สำหรับเงื่อนไขของสมการจะต้องประกอบไปด้วยสมการสำหรับการเพิ่มกำลังที่จัดให้กับผู้มีส่วนร่วมในการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี และตลาดกลางเพื่อชดเชยการสูญเสีย ซึ่งในทฤษฎีนี้ ได้สมมติให้ศูนย์ควบคุมระบบอิสระจะต้องชดเชยสำหรับค่าการสูญเสียของสายส่งจากการผลิตให้กับตลาดกลาง

ฟังก์ชันเป้าหมายของค่าใช้จ่ายของสายส่ง เพื่อชดเชยการสูญเสียสำหรับการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี

$$Max \sum_{i \in S_D^{PL}} D_i^{PL} C_{Di}^{PL} - \sum_{i \in S_G^{PL}} G_i^{PL} C_{Gi}^{PL} - \sum_{i \in S_D^{PL}} \gamma_i^{PL}(D_i^{PL}) - \sum_{k \in K} \sum_{i \in S_G^T} \gamma_{k,i}^T G_{k,i}^T \quad (13)$$

จากสมการที่ (14)-(21) แสดงถึงเงื่อนไขของสมการ โดยกำลังไฟฟ้าจริงที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัส ใด ๆ

$$P_i = G_i^{PL} + \sum_{k \in K} G_{k,i}^T + \sum_{k \in K} L_{k,i}^T \quad (14)$$

กำลังไฟฟ้าเสมือนที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ที่บัส i ใด ๆ

$$Q_i = Q_i^{PL} + \sum_{k \in K} Q_{k,i}^T + \sum_{k \in K} Q_{k,i}^T \quad (15)$$

กำลังไฟฟ้าจริงที่โหลดบัส j ใด ๆ

$$D_j = D_j^{PL} + \sum_{k \in K} D_{k,j}^T \quad (16)$$

กำลังไฟฟ้าเสมือนที่โหลดบัส j ใด ๆ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$R_j = R_j^{PL} + \sum_{k \in K} R_{k,j}^T \tag{17}$$

กำลังไฟฟ้าสมดุลแบบกลุ่ม

$$\sum_{i \in I_G} P_{k,i}^T = \sum_{j \in J_D} D_{k,j}^T \tag{18}$$

การตัดทอนความต้องการแบบกลุ่ม

$$D_{k,j}^T = \omega_{k,j}^M \sum_{i \in S_{k,G}^M} G_{k,i}^T \tag{19}$$

กำลังไฟฟ้าจริงสุทธิที่จ่ายให้ในแต่ละบัส

$$v_i \sum_m [v_m [g_{im} \cos(\delta_i - \delta_m) + \mathrm{b}_{im} \sin(\delta_i - \delta_m)]] = P_i - D_i \tag{20}$$

กำลังไฟฟ้ารีเสมือนสุทธิที่จ่ายให้ในแต่ละบัส

$$v_i \sum_m [v_m [g_{im} \sin(\delta_i - \delta_m) - \mathrm{b}_{im} \cos(\delta_i - \delta_m)]] = Q_i - R_i \tag{21}$$

เงื่อนไขของอสมการพิจารณาได้ดังสมการที่ (22)-(28) และกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลระหว่างบัส พิจารณาได้จากสมการที่ (22)-(28)

$$\underline{f_l} \le f_l \le \overline{f_l} \tag{22}$$

$$f_l = v_j^2 g_{jj} + v_j v_m [g_{jm} \cos(\delta_j - \delta_m) + \mathrm{b}_{jm} \sin(\delta_j - \delta_m)] \tag{23}$$

ขอบเขตของกำลังไฟฟ้าจริงสำหรับตลาดกลาง

$$\underline{G_i^{PL}} \le G_i^{PL} \le \overline{G_i^{PL}} \tag{24}$$

ขอบเขตของกำลังไฟฟ้าเสมือนสำหรับตลาดกลาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$\underline{Q}_i^{PL} \le Q_i^{PL} \le \bar{Q}_i^{PL} \tag{25}$$

ขอบเขตของกำลังไฟฟ้าจริงสำหรับการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี

$$\underline{G}_{k,i}^{T} \le G_{k,i}^{T} \le \bar{G}_{k,i}^{T} \tag{26}$$

ขอบเขตของกำลังไฟฟ้าเสมือนสำหรับการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี

$$\underline{Q}_{k,i}^{T} \le Q_{k,i}^{T} \le \bar{Q}_{k,i}^{T} \tag{27}$$

ขอบเขตของแรงดัน

$$\underline{v}_i \le v_i \le \bar{v}_i \tag{28}$$

เมื่อ

$$C_{Gi}^{PL} = a_{Gi} G_i^{PL} + b_{Gi} \left(G_i^{PL} \right)^2 \tag{29}$$

$$C_{Di}^{PL} = a_{Di} D_i^{PL} + b_{Di} \left(D_i^{PL} \right)^2 \tag{30}$$

$$\gamma_i^{PL} \left(D_i^{PL} \right) = W_{k,i}^{PL} \left(D_i^{PL,0} - D_i^{PL} \right)^2 \tag{31}$$

$$\gamma_{k,i}^{T} \left(G_{k,i}^{T} \right) = W_{k,i}^{T} \left(G_{k,i}^{T,0} - G_{k,i}^{T} \right)^2 \tag{32}$$

โดย $\left(D_i^{PL,0} - D_i^{PL} \right)$ คือ ปริมาณความต้องการของตลาดกลาง

$\left(G_{k,i}^{T,0} - G_{k,i}^{T} \right)$ คือ ปริมาณที่ต้องการจ่ายให้กับการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคีที่ขาดไป

k คือ การดำเนินการของการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี

K คือ เซตการดำเนินการของการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี

i, j, m คือ ดัชนีของบัส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

l	คือ สายส่งสำหรับเส้นที่เกิดสภาวะเกินพิกัดที่บัส *j-m*
$D_i^{PL,0}$	คือ เงื่อนไขการวางแผนสำหรับความต้องการของตลาดกลางที่บัส *i*
$G_{k,i}^{T,0}$	คือ เงื่อนไข (ที่ต้องการ) การวางแผนสำหรับการดำเนินการ *k* ผู้ทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคีที่บัส *i*
γ	คือ ฟังก์ชันการตัดโหลดสะท้อนให้เห็นถึงการจ่ายเงินเพิ่มพิเศษเพื่อหลีกเลี่ยงการตัดโหลด
W_i^{PL}	คือ การเงินจ่ายเพิ่มพิเศษโดยการดำเนินการของตลาดกลางเพื่อหลีกเลี่ยงการตัดโหลด
$W_{k,i}^{T}$	คือ การเงินจ่ายเพิ่มพิเศษโดยการดำเนินการของการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคีของกลุ่ม *k* เพื่อหลีกเลี่ยงการตัดโหลด
C_{Gi}^{PL}	คือ การเสนอราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับตลาดกลางที่บัส *i*
C_{Di}^{PL}	คือ การเสนอราคาของโหลดสำหรับตลาดกลางที่บัส *i*
a_{Gi}, b_{Gi}	คือ ส.ป.ส. เชิงเส้น/ไม่เชิงเส้นของการเสนอราคาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำหรับตลาดกลางที่บัส *i*
a_{Di}, b_{Di}	คือ ส.ป.ส. เชิงเส้น/ไม่เชิงเส้นของการเสนอราคาโหลดสำหรับตลาดกลางที่บัส *i*
$\omega_{k,j}^{M}$	คือ น้ำหนักในการตัดโหลดของกลุ่ม *k* สำหรับโหลดของการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบพหุภาคีที่บัส *j*
$S_{k,G}^{M}$	คือ เซตของบัสเมื่อ *k* การทำธุรกิจซื้อขายแบบพหุภาคีของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีอยู่
S_D^{PL}	คือ เซตของโหลดบัสสำหรับการดำเนินงานของตลาดกลาง
S_G^{PL}	คือ เซตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า บัสสำหรับการดำเนินการของตลาดกลาง
S_D^{T}	คือ เซตของโหลดบัสสำหรับการดำเนินงานของการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี
S_G^{T}	คือ เซตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สำหรับการดำเนินงานของการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

8. การจัดการระบบสายส่งกำลัง (Power System Transmission Management)

การจัดสรรสายส่งในอนาคต ต้องการรวมตลาดกลางและการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี เข้าด้วยกัน ซึ่งในทางอุดมคติ เราสามารถที่จะส่งกำลังไฟฟ้าให้กับการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ได้เต็มพิกัดและยังสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับตลาดกลาง ได้ตามความต้องการทั้งหมดโดยใช้ต้นทุนต่ำ แต่ในความเป็นจริงมิได้เป็นเช่นนั้น เมื่อทำการหาการไหลของโหลด (Load Flow) และจากเงื่อนไขต่าง ๆ ของการทำงาน ดังนั้นในการพิจารณาสามารถแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

1. สภาวะปกติ (Normal) เป็นสภาวะที่ทุกๆ การซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลาง สามารถทำได้ตามความต้องการ และไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อความมั่นคงของระบบ

2. สภาวะเกินพิกัด (Congestion) เป็นสภาวะที่การซื้อขายกำลังไฟฟ้าไม่สามารถทำได้ตามความต้องการ เนื่องจากการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบมีผลกระทบต่อข้อจำกัดของระบบปฏิบัติการ (Operating Constraints) เช่น พิกัดสายส่ง พิกัดของกำลังการผลิต ฯลฯ

R.S. Fang *et al.,* (1999) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรสายส่งแบบเสรี ซึ่งเป็นการจัดสรรการซื้อขายกำลังไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง ร่วมกับการทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ในกรณีที่เกิดสภาวะเกินพิกัดขึ้น โดยมีการจัดลำดับของการดำเนินการทางไฟฟ้าและกลยุทธ์ที่ใช้ในการปรับลดตามข้อตกลงที่เกิดขึ้น รวมไปถึงกลยุทธการทำงานร่วมกันระหว่างผู้มีส่วนร่วมทางการตลาดในการซื้อขายไฟฟ้า โดยมุ่งเน้นไปถึงการบริการของสายส่งและความสัมพันธ์ทางการตลาด

การซื้อขายไฟฟ้าในตลาดซื้อขายไฟฟ้าเสรีสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี ดังนี้

1. การซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง (Power Pool Transactions) เป็นการซื้อขายผ่านตลาดกลาง ผู้ผลิตแต่ละรายจะเสนอราคาขายของตนเองเข้ามายังตลาด ผู้ดำเนินการทางการตลาดจะทำการคัดเลือกผู้ผลิตที่และสั่งให้มีการเดินเครื่องเพื่อผลิตกำลังไฟฟ้า โดยเลือกผู้ผลิตที่เสนอราคาต่ำสุดก่อน ตามมาด้วยผู้ผลิตที่เสนอราคาสูงขึ้นตามลำดับ จนถึงจุดที่มีการผลิตเพียงพอกับความต้องการในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งราคาของผู้ผลิตที่แพงที่สุดที่ถูกกำหนดให้เดินเครื่องผลิตไฟฟ้า คือราคาซื้อ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ขายไฟฟ้าในช่วงนั้น และผู้ผลิตทุกรายที่ถูกกำหนดให้เดินเครื่องผลิตไฟฟ้าจะได้ราคาไฟฟ้านี้เท่ากันหมด จะเห็นว่าราคาซื้อขายไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลาจะมีความผันผวน สะท้อนถึงอุปสงค์และอุปทาน

2. การซื้อขายนอกตลาดกลาง (Bilateral Transactions) หรือการซื้อขายผ่านผู้ทำธุรกิจซื้อขายแบบทวิภาคี เป็นการซื้อขายนอกตลาดกลาง ผู้ผลิตและผู้ใช้ไฟฟ้าทำการตกลงซื้อขายกันเอง ราคาซื้อขายไฟฟ้าจะแน่นอนไม่ขึ้นกับอุปสงค์และอุปทาน แต่การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากผู้ผลิตมาสู่ผู้ใช้ไฟฟ้ายังต้องผ่านสายส่งและสายจำหน่ายของระบบ

9. การจัดการในระบบกำลัง (Power System Management)

การจัดการในระบบกำลังสำหรับระบบไฟฟ้าแบบไม่ถูกควบคุม ของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีจะดำเนินการภายใต้เงื่อนไข ซึ่งเป็นการพัฒนาวิธีการเพื่อนำเสนอเกี่ยวกับการจัดสรรสายส่งที่ดีที่สุด และกลไกของปฏิบัติงานได้ถูกนำมาเปรียบเทียบ ซึ่งถือว่าเป็นการจัดการในรูปแบบใหม่ และมีรูปแบบของการดำเนินงาน โดยสามารถพิจารณาได้ดังนี้

1. การดำเนินงานของทวิภาคี : เป็นการดำเนินการร่วมกันระหว่างบริษัทผลิตไฟฟ้า (GENCO) และบริษัทระบบสายจำหน่าย (DISCO) โดยไม่มีการแทรกแซงของบุคคลที่ 3

2. การดำเนินงานของพหุภาคี : เป็นรูปแบบที่ดำเนินการโดยนายหน้าซื้อขายพลังงาน (Energy Broker) และมีความเกี่ยวข้องกันมากกว่าสองฝ่ายขึ้นไป ในบางสถานการณ์จะดำเนินการเพื่อลดความเสี่ยงการในการทำธุรกิจบริษัทผลิตไฟฟ้าและบริษัทระบบสายจำหน่าย ซึ่งอาจจะมีการดำเนินงานโดยการทำสัญญาผ่านนายหน้าซื้อขายพลังงานมากกว่าการซื้อขายกำลังไฟฟ้าโดยตรง

3. การดำเนินงานของระบบควบคุม : ศูนย์ระบบควบคุมไฟฟ้าอิสระจะทำหน้าที่ควบคุมและกำหนดการดำเนินงานร่วมกับบริษัทผลิตไฟฟ้า ซึ่งการควบคุมระบบนั้นเป็นสิ่งจำเป็นซึ่งช่วยในการชดเชยค่าสูญเสียของสายส่งและค่าความถี่ที่ไม่แน่นอนรวมไปถึงประเด็นการจ่ายค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การนำเสนอเกี่ยวกับปัญหาของการจัดสรรสายส่งที่เหมาะสม คือ การลดค่าความเบี่ยงเบนจากความต้องการในการดำเนินงานซึ่งกระทำโดยผู้มีส่วนร่วมทางการตลาด ในทางอุดมคติการซื้อขายไฟฟ้าแบบเสรีโดยปราศจากการปรับลดที่เกิดขึ้นจากเงื่อนไขของการปฏิบัติงานนั้นมีความเป็นไปได้ แต่ในความเป็นจริงสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าและเงื่อนไขของการปฏิบัติงานอาจเป็นความต้องการด้วยเช่นกัน

ทฤษฎีทั่วไปทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดสรรที่ดีที่สุด สามารถพิจารณาได้ดังนี้

$$\text{Min } f(u,x) = [(u-u^0)^T \cdot A] \cdot w \cdot [(u-u^0)^T \cdot A]^T \tag{33}$$

เงื่อนไข คือ

$$\tilde{g}(u,x) = 0 \tag{34}$$

$$h(u,x) \le 0 \tag{35}$$

โดยที่ w คือ เงินจ่ายเพิ่มพิเศษเพื่อหลีกเลี่ยงการปรับลดโหลดของสายส่ง

u คือ เซตของตัวแปรควบคุม

u^0 คือ ความต้องการหรือจุดมุ่งหมายของปริมาณ u

x คือ เซตของตัวแปรไม่อิสระ

A คือ เมตริกส์คงที่ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการปรับลดโดยใช้กลยุทธของผู้มีส่วนร่วมทางการตลาด

สมการที่ (34) คือ เงื่อนไขบังคับของสมการและระบบสมการสำหรับการไหลของกำลังไฟฟ้าและสมการที่ (35) แสดงเงื่อนไขบังคับของอสมการรวมทั้งข้อจำกัดของการไหลภายในสายส่งไฟฟ้า

รูปแบบการดำเนินงานแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ

1. เป็นรูปแบบของสัญญาที่ผู้ผลิตแต่ละรายส่งกำลังไฟฟ้าบางส่วนเข้าที่บัสของเครื่องกำเนิดและส่งกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้า (Load Bus)

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

2. เป็นรูปแบบของกลุ่มถ่ายโอนที่ส่งกำลังไฟฟ้าทั้งหมดเข้าไปที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส ซึ่งเท่ากับผลรวมของกลุ่มลูกค้าที่บัสอื่น ๆ (ยกเว้นบัส 1) และโหลดไฟฟ้าจริง D_j ที่โหลดบัส j ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังนี้

$$P_i = \sum_{j=m+1}^{n} P1_{ij} + \sum_{k=1}^{K} P2_{ik} \qquad i = 2,3,...,m \quad (36)$$

$$D_j = \sum_{i=2}^{n} D1_{ji} + \sum_{k=1}^{K} D2_{jk} \qquad j = m+1,...,n \quad (37)$$

โดยที่ K คือ จำนวนของกลุ่มส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

$P1_{ij}$ คือ กำลังไฟฟ้าที่ส่งเข้าไปที่บัส i เพื่อให้ลุล่วงตามความต้องการของข้อตกลงแต่ละรายกับลูกค้าที่บัส i

$P2_{ik}$ คือ กำลังไฟฟ้าที่ส่งเข้าไปที่บัส i ภายใต้ข้อตกลงของกลุ่มส่งผ่านกำลังไฟฟ้า k

$D1_{ji}$ คือ กำลังไฟฟ้าที่ได้รับที่บัส j ภายใต้ข้อตกลงของแต่ละรายกับที่ขายที่บัส i

$D2_{jk}$ คือ กำลังไฟฟ้าที่ได้รับที่บัส j ภายใต้ข้อตกลงของกลุ่มส่งผ่านกำลังไฟฟ้า k

สมการสมดุลกำลังในข้อตกลงของแต่ละราย คือ

$$P1_{ij} = D1_{ji} \qquad i = 2,...,m \; ; \; j = m+1,...,n \quad (38)$$

สมการสมดุลของผู้ทำธุรกิจซื้อขายไฟฟ้าแบบกลุ่มสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\sum_{i=2}^{m} P2_{ik} = \sum_{j=m+1}^{n} D2_{jk} \qquad k=1,...,K \quad (40)$$

สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าปรากฏสามารถเขียนได้ดังนี้

$$g(u,x) = 0 \quad (40)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กลยุทธการปรับลดโหลด จะดำเนินการโดยศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ (Independent System Operator : ISO) ซึ่งทำร่วมกับผู้มีส่วนร่วมทางการตลาด มีรูปแบบการจำลองเกี่ยวกับการจัดสรรที่ดีที่สุด สามารถพิจารณาได้ดังต่อไปนี้

1. การปรับลดแบบจุดต่อจุด (Point-to-Point Curtailment) คือ กลยุทธการปรับลดซึ่งเกี่ยวข้องกับข้อตกลงของกำลังในแต่ละราย หากมีข้อตกลงของแต่ละราย กล่าวคือ $\{P1_{ij}, D1_{ji}\}$ ถ้าหากปรับลดโหลด $P1_{ij}$ จะเหมือนกับการปรับลด $D1_{ji}$ ด้วยเช่นกัน โดยฟังก์ชันเป้าหมายของการจัดสรรที่ดีที่สุด คือ

$$\text{Min } f_1(u,x) = \sum_{i=2}^{m} \sum_{j=m+1}^{n} [W1_{ij} \cdot (P1_{ij} - P1_{ij}^0)^2] \tag{41}$$

โดยที่ $W1_{ij}$ คือ แฟกเตอร์การจ่ายเงินเพิ่มพิเศษเพื่อหลีกเลี่ยงการปรับลดของข้อตกลงแต่ละราย $\{P1_{ij}, D1_{ji}\}$

$P1_{ij}^0$ คือ ขนาดที่ต้องการของ $P1_{ij}$

2. การปรับลดแบบกลุ่ม (Group Curtailment) คือ กลยุทธการปรับลดโดยการถ่ายโอนซึ่งเกี่ยวข้องกับการกำหนดความเป็นไปได้ของการถ่ายโอนซึ่งปราศจากการปรับลดโดยฟังก์ชันเป้าหมายของการจัดสรรที่ดีที่สุด คือ

$$\text{Min } f_2(u,x) = \sum_{k=1}^{K} [W2_k \cdot (\sum_{i=2}^{m} P2_{ik} - \sum_{i=2}^{m} P2_{ik}^0)^2] \tag{42}$$

โดยที่ $W2_k$ คือ แฟกเตอร์การจ่ายเงินเพิ่มพิเศษเพื่อหลีกเลี่ยงการปรับลดของการถ่ายโอนกลุ่ม k

$P2_{ik}^0$ คือ ขนาดที่ต้องการของ $P2_{ik}$

การปรับลดเป็นกลุ่มสามารถกระจายจำนวนของผู้มีส่วนร่วมของกลุ่มได้ ความสัมพันธ์ของการปรับลดแบบกลุ่มสามารถเขียนได้ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$D2_{jk} = M_{jk}(P2_{2k},...,P2_{mk}) \qquad j = m+1,...,n \text{ ; k=1,...,K} \quad (43)$$

จากสิ่งที่กล่าวมา ถ้าแหล่งจ่ายกำลัง $P2_{ik}$ ที่อยู่นอกเหนือจากกลุ่มถูกปรับลดทำให้ส่วนที่เหลืออยู่จะต้องมีการกระจายทั่วโหลด $D2_{jk}$ ซึ่งเป็นไปตามข้อตกลงบางอย่างตามทฤษฎี

3. การปรับลดแบบแยกส่วน (Separate Curtailment) คือ กลยุทธการปรับลดโดยการถ่ายโอนแบบกลุ่มซึ่งจะทำการลดการเปลี่ยนแปลงทุก ๆ ครั้งของการส่งกำลังไฟฟ้าเข้าที่เครื่องกำเนิดที่บัสและโหลดบัสของกลุ่มบนพื้นฐานของแฟกเตอร์การจ่ายเงินเพิ่มพิเศษโดยฟังก์ชันเป้าหมายของการจัดสรรที่ดีที่สุด คือ

$$\text{Min } f_3(u,x) = \sum_{k=1}^{K}\sum_{i=2}^{m}[W2_{ik} \cdot (P2_{ik} - P2_{ik}^0)^2] \quad (44)$$

โดยที่ $W2_{ik}$ คือ แฟกเตอร์การจ่ายเงินเพิ่มพิเศษเพื่อหลีกเลี่ยงการปรับลดของการส่งกำลังไฟฟ้าของกลุ่ม $P2_{ik}$

จากกลยุทธ์ที่กล่าวมาข้างต้นนั้น ยังมีกลยุทธ์ที่ใช้สำหรับการปรับลดอีกหลายวิธี ซึ่งมาจากพื้นฐานของการปรับลดพื้นฐานดังที่ได้กล่าวมา

10. การจัดการกับสภาวะเกินพิกัด (Congestion Management)

จตุรวิทย์ (2554) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการจัดการสภาวะเกินพิกัดในระบบสายส่ง ในตลาดซื้อขายไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี ในตลาดซื้อขายไฟฟ้า ภายใต้สัญญาซื้อขายแบบทวิภาคี 2 แบบ คือ สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง และสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง โดยใช้หลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด พร้อมทั้งเสนอวิธีการปรับลดสัญญาเมื่อระบบเกิดการติดขัดของสายส่ง ด้วยวิธีการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา (Noncurtailment Bids) สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงและสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง รวมถึงราคาของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง เพื่อใช้สำหรับการแก้ปัญหาของสภาวะเกินพิกัดของระบบสายส่ง โดยการจำลองระบบทดสอบ IEEE 14 บัส ด้วยโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ข้อมูลทางวิศวกรรม MATLAB จากการศึกษาทำให้ทราบว่า หากผู้ทำธุรกิจ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงไม่ต้องการให้ถูกปรับลดโหลด จะต้องยอมจ่ายราคาเสนอซื้อเพื่อไม่ให้ถูกปรับลดสัญญาในราคาที่สูงกว่าสัญญาอื่น ๆ โดยผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงจะถูกปรับลดสัญญาก่อนเมื่อระบบเกิดสภาวะเกินพิกัด จากการศึกษาทำให้ทราบว่าตำแหน่งที่ตั้งของโหลดไม่มีผลต่อการถูกปรับลกโหลดอีกด้วย และกำลังไฟฟ้าที่ถูกปรับลดโหลด จะถูกปรับเปลี่ยนให้ไปซื้อกำลังไฟฟ้าจากตลาดกลางแทน

ณรงศักดิ์ (2551) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี ในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า ในด้านการจัดสรรกำลังไฟฟ้า การไหลของกำลังไฟฟ้า และการคิดราคาสายส่ง โดยใช้หลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด (Optimal Power Flow : OPF) พร้อมเสนอการคิดราคาสายส่งสำหรับผู้ค้าในตลาดทั้งหมดด้วยราคาไฟฟ้าที่บัส (Nodal Price) การศึกษาได้ใช้โปรแกรม MATLAB ชื่อ MATPOWER ที่ปรับปรุงโปรแกรมการคำนวณการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีในระบบ 30 บัส โดยทดสอบระบบด้วยหลักการไหลของกำลังไฟฟ้าทีดีที่สุด ในกรณีดังนี้ กรณีแรก ศึกษาระบบที่มีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี กล่าวคือผู้ผลิตและผู้ซื้อทำการซื้อขายผ่านตลาดกลางทั้งหมด กรณี 2 ระบบมีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี 1 คู่ โดยผู้ซื้อที่บัส 2 ซื้อกำลังไฟฟ้าที่ต้องการทั้งหมดจากผู้ผลิตที่บัส 2 กรณีสุดท้าย เมื่อระบบมีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีหลายคู่ โดยโหลดที่บัส 2, 7 และ 8 ซื้อกำลังไฟฟ้าจากบัส 2 จากการใช้หลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด ได้คำนวณและเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสายส่ง รายได้ของผู้ผลิต และรายจ่ายของผู้รับซื้อกำลังไฟฟ้า ทั้งกรณีที่มีและไม่มีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี

พรเทพ (2556) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการจัดสรรการผลิตกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดที่มีราคาเสนอขายแบบขั้นบันไดในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้าแบบรวมศูนย์กลางร่วมกับทวิภาคีและพหุภาคี ด้วยวิธีคำนวณแบบผสม ด้วยการจำลองระบบ IEEE 30 บัส และทำการศึกษาระบบ 2 กรณีดังนี้ กรณีแรก ทำการเปลี่ยนแปลงค่าการตกลงซื้อขายกำลังไฟฟ้าจริงของโหลดในระบบทั้ง 3 ส่วน คือ ระบบรวมศูนย์กลาง ทวิภาคีและพหุภาคี กรณีที่สอง ทำการศึกษาโดยการเว้นช่วงราคาเสนอขายของบัสที่ถูกจำกัดค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของระบบ จากการศึกษาพบว่า เมื่อระบบไม่เกิดการติดขัดของสายส่งสัญญาซื้อขายแบบทวิภาคีและพหุภาคี ได้รับการจัดสรรตามความต้องการ ในขณะที่ค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงในส่วนของรวมศูนย์กลาง สอดคล้องกับราคาเสนอขายที่เรียงจากน้อยไปหามาก และค่าการหลีกเลี่ยงการถูกตัดทอนจะไม่ส่งผลกระทบต่อการจัดสรรการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของระบบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสกล (2547) เสนอการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ขึ้นมา เพื่อทำการจำลองสภาวะการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดซื้อขายไฟฟ้าเสรี (Electricity Market) ที่มีการซื้อขายไฟฟ้านอกตลาดกลางร่วมกับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเพื่อศึกษาการจัดการตลาดในด้านกำลังการผลิตของผู้ผลิตและกำลังไฟฟ้าที่ต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้าแต่ละรายในทุกสภาวะ เพื่อเป็นแนวทางในการหาวิธีจัดการออกกฎข้อบังคับที่เป็นธรรมกับทุกฝ่ายหรือเป็นแนวทางในการเลือกซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางหรือนอกตลาดกลางของผู้ผลิตและผู้ใช้ไฟฟ้า หลักการทำงานของโปรแกรม ในสภาวะปกติจะใช้หลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุดโดยวิธีประมาณ (DC Optimal Power Flow) เพื่อให้มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดและทุกรายการซื้อขายได้รับกำลังไฟฟ้าที่ต้องการเต็มที่ แต่ถ้าระบบเกิดสภาวะเกินพิกัด จะมีการใช้ค่าน้ำหนัก (Weight) ซึ่งแปรผันตามเงินจ่ายเพิ่มพิเศษในการจัดลำดับความสำคัญเพื่อตัดสินใจลดกำลังไฟฟ้าที่ต้องการของแต่ละรายการซื้อขาย เพื่อแก้ไขสภาวะเกินพิกัด ตามรูปแบบการจัดการซื้อขายไฟฟ้าเมื่อเกิดสภาวะเกินพิกัด โปรแกรมได้ใช้ทดสอบกับระบบทดสอบ 5 บัส พบว่าการซื้อขายไฟฟ้านอกตลาดกลางที่บัสปลายทางมีโอกาสทำให้เกิดผลกระทบต่อการซื้อขายอื่นๆ มาก และการซื้อขายนอกตลาดกลางหลายรายการ กรณีเกิดการเกินพิกัด แม้ว่าจะมีค่าน้ำหนักเท่ากัน การซื้อขายไฟฟ้านอกตลาดกลางที่ไกลจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากกว่า จะถูกตัดกำลังไฟฟ้าที่ต้องการมากกว่า ส่วนการซื้อขายกำลังไฟฟ้านอกตลาดกลางที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะไม่ถูกตัดกำลังไฟฟ้า

Chieh Hsieh et al. (2002) ได้เสนอการแบ่งสรรค่าใช้จ่ายเมื่อเกิดสภาวะเกินพิกัดและตัวดรรชนีค่าสภาวะเกินพิกัดของตลาดการค้าไฟฟ้า เมื่อเกิดสภาวะเกินพิกัดขึ้น การจัดสรรค่าพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินใหม่ (Re-dispatch) ก็จะถูกทำให้อยู่ในรูปของการลดปัญหาที่เกิดขึ้นโดยมีฟังก์ชั่นเป้าหมายเป็นผลรวมกำลังสองของตัวแปรกำลังไฟฟ้าที่ผลิต กำลังไฟฟ้าที่ไหลไปยังสายส่งที่เกิดสภาวะเกินพิกัดของแต่ละผู้ผลิต ซึ่งจะคำนวณจากแฟกเตอร์การจำหน่ายที่เกิดขึ้น และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากสภาวะเกินพิกัด จะพิจารณาจากอัตราส่วนของปริมาณไฟฟ้าที่ไหลในสายไฟฟ้าที่เกิดสภาวะเกินพิกัด จะนำค่าน้ำหนัก (weight) มาใช้กับกรณีที่เกิดสภาวะเกินพิกัดกับสายไฟฟ้าหลายเส้น และได้นำเสนอดัชนีสภาวะเกินพิกัด 2 ตัว คือ ดัชนีการเกิดสภาวะเกิดพิกัดเฉลี่ย และดัชนีการเกิดสภาวะเกินพิกัดที่เปลี่ยนแปลง ซึ่งจะเป็นตัวบอกสภาวะการเกิดสภาวะเกินพิกัดในระบบไฟฟ้า โดยระบบที่ใช้ทดสอบนี้จะเป็นระบบ IEEE 14 บัส

Padhy *et al.,* (2002) ศึกษาเกี่ยวกับการจัดการการเกิดสภาวะเกินพิกัดของโมเดลไฟฟ้าแบบผสม (Hybrid Model) ทั้งกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้าเสมือนของระบบไฟฟ้า โมเดลแบบ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผสมนี้จะคำนวณการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีที่ดีที่สุดและผลจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีที่ทำให้เกิดการตัดโหลดไฟฟ้าขึ้น โดยจะแบ่งเป็นสองขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนแรก จะใช้หลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุดแบบ classical gradient descent เพื่อคำนวณหาชุดวิธีการตัดไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของความแตกต่างทั้งหมดของการซื้อขายกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ากำลังไฟฟ้าเสมือน ส่วนในขั้นตอนที่สอง fuzzy decision opinion matrix จะถูกนำมาใช้เพื่อเลือกแผนการซื้อขายไฟฟ้าที่ดีที่สุด (Optimal Transaction) โดยจะคำนึงถึงการเพิ่มขึ้นของการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี การลดลงเป็นเปอร์เซ็นต์ของการตัดไฟฟ้า และการเปลี่ยนแปลงที่ตามมาของค่าใช้จ่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและผลกำไรในหน่วยเปอร์ยูนิต ซึ่งทำการจำลองโดยใช้ระบบ IEEE 30 บัส

Hussin et al. (2006) ได้นำเสนอการจัดการกับสภาวะเกินพิกัด (Congestion management) ในตลาดซื้อขายไฟฟ้าเสรี (Electricity market) มีการเปรียบเทียบกันระหว่างทฤษฎีเดิมที่มีอยู่ในปัจจุบันกับทฤษฎีใหม่ที่ได้นำเสนอในการจัดสรรค่าธรรมเนียมที่ต้องจ่ายเมื่อเกิดสภาวะเกินพิกัด (Congestion charge) ของผู้มีส่วนร่วมในการซื้อขายกำลังไฟฟ้าทั้งหมด โดยจะใช้ระบบไฟฟ้า 3 บัส เพื่อการศึกษาและมีการแสดงผลที่ได้จากการใช้ทฤษฎีเดิมและทฤษฎีใหม่ที่ได้นำเสนอนี้

Ferreira *et al.,* (2007) เสนอโปรแกรมที่ใช้จัดการกับสภาวะเกินพิกัด และเสนอโปรแกรมที่ใช้คำนวณค่าใช้จ่ายของระบบสายส่งในตลาดการค้าไฟฟ้าเสรี การจัดการกับสภาวะเกินพิกัดจะอยู่บนพื้นฐานของการปรับปรุงสูตรการคำนวณหลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุดโดยวิธีประมาณ โดยมีเป้าหมายสำคัญเพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการแก้ปัญหาการจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าโดยจะมีศูนย์ปฏิบัติการทางการตลาด (Market operator) เป็นผู้ดูแล การคิดค่าสายส่ง (Transmission Price) จะพิจารณาจากผลกระทบทางกายภาพที่เกิดจากผู้มีส่วนร่วมในการซื้อขายไฟฟ้าในระบบสายส่ง และยังมีค่าธรรมเนียม (Tariff) อื่นๆ เช่นค่าใช้จ่ายเพื่อที่จะให้ระบบยังอยู่ได้ ค่าใช้จ่ายเมื่อเกิดสภาวะเกินพิกัดเบื้องต้นและค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย เป็นต้น

Yunhe Hou and Felix (2007) ได้ศึกษาความเสี่ยงของการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีในระยะยาว โดยจะนำเสนอโมเดลการคิดราคาการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีในระยะยาวและความเสี่ยงที่จะเกิดจากสภาวะเกินพิกัด โดยโมเดลที่นำเสนอนี้ จะมีรายได้จากการเจรจาสัญญา (The negotiated income) ตัวแปรของราคาเชื้อเพลิง (Variable fuel cost) ความเสื่อมราคาของการลงทุน (Investment depreciation) และค่าใช้จ่ายสภาวะเกินพิกัด (Congestion payment) มาเกี่ยวข้องในสัญญาทั้งหมด ค่าใช้จ่ายสภาวะเกินพิกัดจะคำนวณโดยวิธี หลักการไหลของกำลังไฟฟ้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ที่ดีที่สุดแบบเอซี (AC Optimal Power Flow) และ ค่าค่าใช้จ่ายสภาวะเกินพิกัดจะใช้วิธี 2n-concentration ในการคำนวณหาค่าใช้จ่ายสภาวะเกินพิกัด แทนวิธี Monte Carlo เมื่อเปรียบเทียบวิธี 2n-concentration กับวิธี Monte Carlo แล้ว วิธี2n-concentration จะใช้เวลาน้อยกว่าวิธี Monte Carlo ในการคำนวณหาค่าใช้จ่ายสภาวะเกินพิกัดที่ยอมรับได้

11. การคำนวณราคาค่าใช้สายส่ง (Calculate Pricing Transmission)

Shirmohammad *et al.,* (1996) เสนอเทคนิคพื้นฐานสำหรับการคิดราคาค่าใช้สายส่งพร้อมยกตัวอย่างหลักการเบื้องต้นของการคิดราคาสายส่ง และแสดงวิธีคิดราคาสายส่งจากค่าสายส่งที่ดีกว่ารูปแบบเดิม นอกจากนี้ยังอธิบายถึงรูปแบบและวิธีที่ใช้ในแง่ของประสิทธิภาพและความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ บทสรุปของบทความได้จากการนำบางรูปแบบที่เสนอ ไปประยุกต์ใช้กับการคิดราคาสายส่งในประเทศบราซิล ส่วนสำคัญในการพิจารณาราคาสายส่งคือ ต้องพิจารณาอย่างมีเหตุผลและถูกต้องตามหลักการ ซึ่งหลักการคิดค่าใช้สายส่งด้วยราคาสายส่งนั้นนับเป็นมูลค่าเพิ่มเติมที่สำคัญ และมีองค์ประกอบจากหลายส่วนตามตัวอย่างในแต่ละรูปแบบ นอกจากนั้นยังเสนอแนวทางการใช้งานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและความคุ้มค่าแก่ระบบให้มากที่สุด โดยเป้าหมายสูงสุดคือ การนำกลไกราคาสายส่งไปหมุนให้ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ไฟลดลง

Singh *et at.,* (1998) เสนอการศึกษาการจัดการค่าใช้จ่ายสายส่ง ซึ่งเกิดจากข้อจำกัดของสายส่งในตลาดไฟฟ้าเสรี เช่น การใช้สายส่งเต็มพิกัด ซึ่งได้ยกตัวอย่าง 2 วิธี วิธีแรกใช้ราคาที่บัสจากการซื้อขายผ่านตลาดกลาง และวิเคราะห์องค์ประกอบทางการเงินเพื่อให้การใช้ราคาที่บัสมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมยกตัวอย่างการทดสอบกับระบบขนาดใหญ่ วิธีที่สอง การแบ่งค่าใช้จ่ายสำหรับการซื้อขายแบบทวิภาคี พร้อมอธิบายพื้นฐานของวิธีการ ประกอบด้วย game-theoretic ซึ่งใช้คำนวณในบางส่วน ทั้งการซื้อขายผ่านตลาดกลาง และแบบทวิภาคีนั้นเป็นประเด็นที่ระบบไฟฟ้ามีการปรับโครงสร้างเช่น แคลิฟอร์เนีย ซึ่งต้องทำความเข้าใจในแง่ของเศรษฐศาสตร์ให้มากยิ่งขึ้น เพราะยังเป็นเรื่องใหม่ของระบบการซื้อขายไฟฟ้า โดยราคาที่บัสนั้นให้ผลราคาที่ถูกต้องตามตำแหน่งติดตั้งก็จริง แต่จะมีความแตกต่างของราคาอย่างไม่มีกฎเกณฑ์หากนำไปใช้กับผู้ขายแบบทวิภาคี ส่วนสำคัญของราคาที่บัสนั้น เกี่ยวข้องกับการเป็นเครื่องมือทางการเงิน ซึ่งยังไม่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป เพื่อขจัดปัญหาการใช้สายส่งเต็มพิกัดจากการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี ทำให้การจัดสรรกำลังไฟฟ้าของส่วนกลางเป็นไปอย่างจำกัด ถึงแม้ฟังก์ชันเป้าหมายสำหรับจัดการการใช้สาย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ส่งเต็มพิกัดจะไม่แน่ชัด แต่สามารถใช้สมการค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดได้ ซึ่งการจัดสรรระบบที่มีขีดจำกัดทั้ง 2 แบบ ควรให้ผลต่างของค่าใช้จ่ายที่เกิดจากขีดจำกัดของระบบที่ผู้ซื้อไฟต้องจ่ายมีค่าเท่ากัน

Gedra (1999) เสนอวิธีคำนวณราคาที่บัสให้ถูกที่สุด ค่าใช้สายส่งเต็มพิกัด พร้อมยกตัวอย่างประกอบ โดยใช้ค่าประมาณจากการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบดีซีและแสดงค่าใช้จ่ายของระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่ง นอกจากนี้ยังวิเคราะห์การขยายสายส่งและยกตัวอย่างการศึกษาการทำสัญญาซื้อขายในระยะยาว ทั้งมาตรการป้องกันและการลงทุน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการทำสัญญาในระบบด้วยมาตรการราคาในระยะยาวเป็นการส่งเสริมให้มีการลงทุนทั้งผู้ผลิตและผู้ซื้อ และมีโอกาสป้องกันความเสี่ยงในเรื่องของราคาได้ ซึ่งเป็นข้อดีของการทำสัญญาซื้อขายล่วงหน้า อย่างไรก็ตามวิธีการดังที่กล่าวมานั้นถือว่ายังเป็นวิธีการที่ไม่เหมาะสมพอที่จะนำมาใช้เพื่อเรียกเก็บค่าใช้สายส่งเต็มพิกัดเพื่อส่งเสริมให้มีการลงทุนในระบบสายส่ง

Chen *et al.,* (2002) เสนอการศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบราคาที่บัสที่มีส่วนสัมพันธ์กับองค์ประกอบต่างๆ เช่น กำลังการผลิต การใช้สายส่งเต็มพิกัด ข้อจำกัดของแรงดันไฟฟ้า และข้อจำกัดหรือองค์ประกอบอื่นๆ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวไม่เพียงนำไปปรับปรุงประสิทธิ ภาพระบบและจัดการการใช้สายส่งเต็มพิกัดได้เท่านั้น แต่ยังใช้กำหนดราคาไฟฟ้าได้อย่างมีเหตุผล หรือใช้เป็นเครื่องมือชี้ถึงความคุ้มค่าในการลงทุนในระบบผลิตและระบบสายส่ง

Gil *et al.,* (2006) เสนอวิธีแบ่งค่าใช้สายส่งด้วยการควบคุมราคาไฟฟ้าที่บัส วิธีที่ใช้จะเกี่ยวกับการผลิตและการใส่กำลังไฟฟ้าเข้าไปในบัสในการคำนวณการจัดสรรกำลังไฟฟ้าทั่วไป เพื่อให้เกิดผลต่างของราคาที่บัส ที่ครอบคลุมความต้องการรายได้จาการใช้สายส่งเต็มพิกัด ราคาไฟฟ้าแบบใหม่ไม่เพียงสะท้อนค่าใช้จ่ายอันเกิดจากข้อจำกัดของสายส่ง แต่ยังสะท้อนถึงค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนของระบบด้วย

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computor)
2. ระบบปฏิบัติการ Window 7
3. โปรแกรม Microsoft office
4. โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ข้อมูลทางวิศวกรรม MATLAB 7.10.0

วิธีการ

งานวิจัยนี้ เริ่มจากการรวบรวมข้อมูลปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จะซื้อขายในระบบ รวมทั้งข้อมูลการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี จากนั้น ใช้การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด (OPF) ซึ่งผลจากผลที่ได้จากการวิเคราะห์ จะทำให้ทราบถึงปริมาณกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในแต่ละสายส่ง แรงดันไฟฟ้า มุมเฟสของแต่ละบัส และราคาที่บัส แต่ถ้าระบบไม่สามารถรองรับหรือระบบเกิดสภาวะเกินพิกัด (Congestion) ขึ้นในระบบ เนื่องจากเกิดการติดขัดของสายส่ง (Transmission Congestion) จนไม่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้ตามสัญญาที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ผู้ดูแลระบบ จะต้องใช้ราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาแบบกลุ่ม รวมไปถึงราคาของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง ซึ่งมีหน่วยเป็น $/MW มาปรับลดกำลังไฟฟ้าที่ต้องการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี เพื่อแก้ไขปัญหาการเกิดสภาวะเกินพิกัดของระบบ ดังนั้นศูนย์ควบคุมไฟฟ้าอิสระ (Independent System Operator : ISO) จะต้องใช้วิธีเสนอราคาปรับลดแบบกลุ่ม (Group Curtailment Bids) สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบพหุภาคี เพื่อแก้ไขปัญหาการเกิดสภาวะเกินพิกัดของระบบ ซึ่งผู้ซื้อขายไฟฟ้าพหุภาคีต้องเสนอราคาที่สูงกว่าผู้ซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่นคงเพื่อไม่ให้ถูกปรับลดสัญญาซื้อขายไฟฟ้า และถ้าผู้ซื้อขายไฟฟ้าพหุภาคีถูกปรับลดสัญญา ซึ่งส่งผลให้ปริมาณกำลังไฟฟ้าลดลงจากสัญญาที่ได้ตกลงไว้ ผู้ซื้อขายไฟฟ้าพหุภาคีจำเป็นต้องซื้อขายไฟฟ้าในตลาดซื้อขายไฟฟ้า เพื่อรักษาระดับปริมาณกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการ โดยที่โหลดรวม ณ บัสใดๆ จะมีค่าคงที่และไม่มีการตัดโหลด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เนื่องจากงานวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาสภาวะเกินพิกัด ของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ซึ่งภายใต้สัญญาการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง และสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ดังนั้น จึงสามารถเขียนค่า P_G^b และค่า P_D^b ได้ใหม่ดังสมการที่ (45) และ (46)

$$P_G^b = P_G^F + P_G^{NF} \tag{45}$$

โดย P_G^F คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ผลิตต้องผลิตเพื่อจ่ายให้ตามที่ผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบภาคีแบบมั่นคงต้องการ [MW]

P_G^{NF} คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ผลิตต้องผลิตเพื่อจ่ายให้ตามที่ผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงต้องการ [MW]

$$P_D^b = P_D^F + P_D^{NF} \tag{46}$$

โดย P_D^F คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ซื้อต้องการซื้อผ่านการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงต้องการ [MW]

P_D^{NF} คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ซื้อต้องการซื้อผ่านการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงต้องการ [MW]

ดังนั้น แทนค่าสมการที่ (45) ในสมการที่ (1) และแทนค่าสมการที่ (46) ในสมการที่ (2)

จะสามารถเขียนสมการ P_G และสมการ P_D ได้ใหม่ดังสมการที่ (47) และ (48)

$$P_G = P_G^p + P_G^F + P_G^{NF} \tag{47}$$

$$P_D = P_D^p + P_D^F + P_D^{NF} \tag{48}$$

ในการซื้อขาย ผู้ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ต้องเสนอข้อมูลการซื้อขายให้กับตลาดกลางเช่นเดียวกับผู้ซื้อและผู้ผลิตที่ซื้อขายผ่านตลาดกลาง ข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งให้กับศูนย์ควบคุม

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ไฟฟ้าอิสระ เพื่อวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด หากปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จะซื้อขายทำให้ระบบขาดเสถียรภาพทางไฟฟ้า อาจจำเป็นต้องปรับปริมาณกำลังไฟฟ้าในส่วนของตลาดกลางหรือส่วนของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี หรือทั้งสามส่วน

ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ความต้องการกำลังไฟฟ้าของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าทั้งหมดมีค่าคงที่ กรณีไม่มีผลกระทบต่อระบบเกินที่จะยอมรับได้ ศูนย์ควบคุมไฟฟ้าอิสระจะส่งข้อมูลจากการวิเคราะห์ให้กับตลาดกลาง ผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง ส่วนราคาซื้อขายของผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคีนั้น ตลาดกลางจะไม่ทราบข้อมูลเนื่องจากราคาซื้อขาย ผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคีจะตกลงราคากันเอง ดังแสดงในภาพที่ 4 และ 5

1. การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด (OPF) เมื่อระบบมีการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมที่มีการซื้อขายผ่านตลาดกลางร่วมกับสัญญาซื้อขายแบบทวิภาคี/พหุภาคี โดยใช้การเสนอราคาปรับลดแบบกลุ่ม

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุดโดยวิธีประมาณ จะนำเส้นโค้งราคา และข้อมูลระบบ ที่จำกัดความจุของสายส่ง (ดูภาคผนวก) เพื่อศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้า โดยถือว่าความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบมีค่าคงที่ และคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด (Galiana et al., 2002b)

งานวิจัยฉบับนี้จะมีการปรับปรุงฟังก์ชั่นเป้าหมาย โดยรูปแบบทั่วไปของสมการ OPF ที่มีการปรับปรุงฟังก์ชั่นเป้าหมายนี้ จะอยู่ในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) ภายใต้เงื่อนไขของสมการ (Constraints) การทำงานที่เหมาะสมไม่เกินขีดจำกัด (Limit) ของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เขียนอยู่ในรูปสมการคณิตศาสตร์แบบเงื่อนไขบังคับของสมการ (Equality Constraints) และเงื่อนไขบังคับของอสมการ (Inequality Constraints) โดยการเพิ่มฟังก์ชั่นถ่วงน้ำหนัก (Penalty function) ของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคีเข้าไป โดยฟังก์ชั่นถ่วงน้ำหนักของแต่ละประเภทการซื้อขาย จะประกอบด้วยค่าน้ำหนัก (Weight) ซึ่งแปรผันตามเงินจ่ายเพิ่มพิเศษ (Willing to Pay) คูณกับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายแบบทวิภาคี/พหุภาคี ที่ถูกปรับลดความต้องการกำลังไฟฟ้าลง แล้วถูกเปลี่ยนไปเป็นกำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายผ่านตลาดกลาง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) ของระบบการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี แบบที่มีการเสนอราคาเพื่อการปรับลดสัญญา สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง และแบบที่มีการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง สัญญาซื้อขายไฟฟ้าที่มีการเสนอราคาปรับลดแบบกลุ่ม และสัญญาปรับลดแบบกลุ่ม สำหรับการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบพหุภาคี และแบบที่มีการเสนอราคาซื้อขายผ่านตลาดกลาง (pool)

เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใดๆ อาจจะผลิตกำลังไฟฟ้าจริงเพื่อขายให้กับทั้งผู้ซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและผู้ที่ซื้อไฟฟ้าผ่านการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ซึ่งการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ ที่มีสัญญาการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงและแบบไม่มั่นคง ดังนั้น กำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายเข้าบัส i คือ

$$P_{G_i} = P_{G_i}^{P} + \sum_{i,j \in B_F} P_{D_{ij}}^{B_F} + \sum_{i,j \in B_{NF}} P_{D_{ij}}^{B_{NF}} + \sum_{k \in M} P_{G_{i,K}}^{M} \tag{49}$$

ในทำนองเดียวกัน ความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า มีทั้งความต้องการกำลังไฟฟ้าจากการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง และจากการซื้อขายไฟฟ้าผ่านการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ซึ่งการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ สัญญาการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงและแบบไม่มั่นคง ดังนั้น ความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายเข้าบัส i คือ

$$P_{D_i} = P_{D_i}^{P} + \sum_{j \in B_F} P_{D_{ji}}^{B_F} + \sum_{j \in B_{NF}} P_{D_{ji}}^{B_{NF}} + \sum_{k \in M} P_{D_{i,k}}^{M} \qquad i \in I_{bus} \tag{50}$$

ดังนั้นจึงเขียนฟังก์ชันเป้าหมายได้ใหม่ดังนี้

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$Min\sum_{i\in G}\Bigg[a_i+b_i\left(P_{G_i}^{P}+\sum_{i,j\in B_F}P_{D_{ij}}^{B_F}+\sum_{i,j\in B_{NF}}P_{D_{ij}}^{B_{NF}}+\sum_{k\in M}P_{G_{i,K}}^{M}\right)+$$
$$c_i\left(P_{G_i}^{P}+\sum_{i,j\in B_F}P_{D_{ij}}^{B_F}+\sum_{i,j\in B_{NF}}P_{D_{ij}}^{B_{NF}}+\sum_{k\in M}P_{G_{i,K}}^{M}\right)^2\Bigg]+\sum_{ij\in B_F}W_{ij}^{B_F}(P_{D_{ij}}^{B_F,req}-P_{D_{ij}}^{B_F}) \quad (51)$$
$$+\sum_{ij\in B_{NF}}W_{ij}^{B_{NF}}(P_{D_{ij}}^{B_{NF},req}-P_{D_{ij}}^{B_{NF}})+\sum_{\substack{k\in M\\ j\in D}}W_k^M(P_{D_{j,k}}^{M_{req}}-P_{D_{j,k}}^{M})$$

เงื่อนไขบังคับสมการ (Equality constraints) ได้แก่

ก. สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าจริง

$$P_i(V,\delta)=\left(P_{G_i}^{P}+\sum_{i,j\in B_F}P_{D_{ij}}^{B_F}+\sum_{i,j\in B_{NF}}P_{D_{ij}}^{B_{NF}}+\sum_{k\in M}P_{G_{i,K}}^{M}\right)-\left(P_{D_i}^{P}+\sum_{j\in B_F}P_{D_{ji}}^{B_F}+\sum_{j\in B_{NF}}P_{D_{ji}}^{B_{NF}}+\sum_{k\in M}P_{D_{i,k}}^{M}\right)$$
$$;\ i\in I_{bus} \quad (52)$$

ข. สมการความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงสมดุล ณ บัสที่ i ใช้ควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบที่บัส i ให้มีค่าตามที่ต้องการ

$$P_{D_i}^{P}+\sum_{j\in B_F}P_{D_{ji}}^{B_F}+\sum_{j\in B_{NF}}P_{D_{ji}}^{B_{NF}}+\sum_{k\in M}P_{D_{i,k}}^{M}=P_{D_i} \qquad i\in I_{bus} \quad (53)$$

โดยที่โหลดรวม ณ บัสใดๆ ต้องมาค่าเท่ากับ P_{D_i} และไม่มีการตัดโหลด

ค. กำลังไฟฟ้าสมดุลของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุภาคี

$$\sum_{i\in G}P_{G_{i,k}}^{M}=\sum_{j\in D}P_{D_{j,k}}^{M} \qquad ;\ k\in M \quad (54)$$

ง. สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าเสมือน

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$Q_i(V,\delta) = Q_{G_i} - Q_{D_i} \qquad ; i \in I_{bus} \quad (55)$$

เงื่อนไขบังคับอสมการ (Inequality constraints) ได้แก่ ขีดจำกัดของปริมาณทางไฟฟ้าในระบบส่งไฟฟ้า

ก. พิกัดสูงสุดของกำลังไฟฟ้าสุทธิที่ไหลในสายส่ง

$$\left|S_{ij}(\delta,V)\right| \le S_{ij,\max} \qquad ; i,j \in I_{line} \quad (56)$$

ข. พิกัดสูงสุดและต่ำสุดของแรงดันที่บัส

$$V_i^{\min} \le V_i \le V_i^{\max} \qquad ; i \in I_{bus} \quad (57)$$

ค. พิกัดกำลังไฟฟ้าเสมือนสูงสุดและต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$Q_i^{\min} \le Q_i \le Q_i^{\max} \qquad ; i \in I_{gen} \quad (58)$$

ง. พิกัดกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดและต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$P_{G_i}^{\min} \le P_{G_i}^{P} + \sum_{j \in B_F} P_{D_{ij}}^{B_F} + \sum_{j \in B_{NF}} P_{D_{ij}}^{B_{NF}} + \sum_{k \in M} P_{G_{i,K}}^{M} \le P_{G_i}^{\max} \qquad ; i \in I_{gen} \quad (59)$$

จ. ขอบเขตค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดและต่ำสุด ที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง

$$0 \le P_{D_{ij}}^{B_F} \le P_{D_{ij}}^{B_{F,req}} \qquad ; i,j \in B_F \quad (60)$$

เป็นการบังคับให้ระบบจัดสรรกำลังไฟฟ้าจริงของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ไม่มากไปกว่าที่ตกลงไว้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าจริงแบบทวิภาคีแบบมั่นคง และต้องจัดสรรไม่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 MW

ฉ. อสมการขอบเขตค่ากำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดและต่ำสุด ที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง

$$0 \le P_{D_{ij}}^{B_{NF}} \le P_{D_{ij}}^{B_{NF},req} \quad ; i,j \in B_{NF}, \quad (61)$$

เป็นการบังคับให้ระบบจัดสรรกำลังไฟฟ้าจริงของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ไม่มากไปกว่าที่ตกลงไว้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าจริงแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง และต้องจัดสรรไม่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 MW

ช. ขอบเขตต่ำสุดค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ตลาดกลางต้องการ

$$0 \le P_{D_i}^{P} \quad ; i \in I_{load} \quad (62)$$

เป็นการบังคับค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรของผู้ที่ซื้อกำลังไฟฟ้าผ่านตลาดกลางไม่ให้มีค่าน้อยกว่า 0 MW

ซ. เงื่อนไขกำลังไฟฟ้าจริงที่ผลิตให้กับผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุภาคี

$$\sum_{i \in G} P_{G_{i,k}}^{M} \le \sum_{i \in G} P_{G_{i,k}}^{M,req} \quad ; k \in M \quad (63)$$

ฌ. เงื่อนไขกำลังไฟฟ้าจริงของสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบพหุภาคี ที่ได้รับการจัดสรร $P_{D_{j,k}}^{M}$ เป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$0 \le P_{D_{j,k}}^{M} \le P_{D_{j,k}}^{M,req} \quad ; j \in D \cap k \in M \quad (64)$$

ญ. เงื่อนไขกำลังไฟฟ้าจริงที่ตลาดกลางต้องการ ต้องมีค่าเป็นบวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$0 \le P_{G_i}^{P} \le P_{G_i}^{\max} \qquad ; i \in G \quad (65)$$

ฎ. เงื่อนไขกำลังไฟฟ้าจริงของสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบพหุภาคี

$$0 \le P_{G_{i,k}}^{M} \le P_{G_i}^{\max} \qquad ; i \in G \cap k \in M \quad (66)$$

ผลจากการคำนวณด้วย OPF จะทำให้ทราบถึงปริมาณกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายผ่านตลาดกลาง ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายแบบทวิภาคี/พหุภาคี กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง ข้อจำกัดของระบบ มุมเฟสของแต่ละบัส และราคาที่บัส กำลังไฟฟ้าที่ผู้ผลิตได้รับจัดสรร จะใช้หาค่าราคากลาง (Market Clearing Prices)

2. เส้นโค้งราคา (Cost Curve)

เมื่อทราบข้อมูลปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จะซื้อขายในระบบแล้ว ข้อมูลอีกส่วนที่ต้องทราบก่อนวิเคราะห์ระบบด้วยหลักการไหลของกำลังไฟฟ้าทีดีที่สุด (OPF) คือ เส้นโค้งราคา ซึ่งหาได้จากราคาขายที่ผู้ผลิตเสนอราคากำลังไฟฟ้าในรูปตารางข้อมูลให้กับตลาดกลาง โดยตารางดังกล่าวแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับราคาไฟฟ้าที่ผลิต ดังตารางที่ 1 โดยข้อมูลชุดนี้ผู้ดูแลระบบจะเป็นผู้นำไปใช้เพื่อทดสอบระบบที่มีการตกลงซื้อขายกำลังไฟฟ้า เพื่อทดสอบเกี่ยวกับ สมรรถนะหรือข้อจำกัดของระบบ เพื่อป้องกันความเสี่ยงที่จะเกิดปัญหาในระบบ เพราะหากผู้ดูแลระบบสั่งให้ระบบทำงานตามข้อมูลราคาเสนอขายที่ผู้ผลิตเสนอขาย โดยไม่คำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ ของระบบแล้ว อาจทำให้ระบบไม่สามารถรับกำลังไฟฟ้าที่ไหลในระบบได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาเส้นโค้งราคา (Cost Curve) ของผู้ผลิต เพื่อนำไปเป็นฟังก์ชั่นเป้าหมาย (Objective Function)

การหาเส้นโค้งราคา เริ่มจากการนำข้อมูลราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าซึ่งแบ่งเป็น 5 ช่วงดังตารางที่ 1 ไปหาพื้นที่ใต้กราฟในแต่ละช่วง MW ดังภาพที่ 7 ซึ่งเป็นค่าใช้จ่าย (Cost) ของการผลิตกำลังไฟฟ้าในช่วงนั้นๆ ดังตารางที่ 1 จากนั้นนำราคาแต่ละช่วงมาเขียนเป็นเส้นกราฟ แล้วใช้ Excel หาค่า Coefficients ในรูปสมการ Polynomial กำลัง 2 ดังสมการ

$$C_i = a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i \qquad (67)$$

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

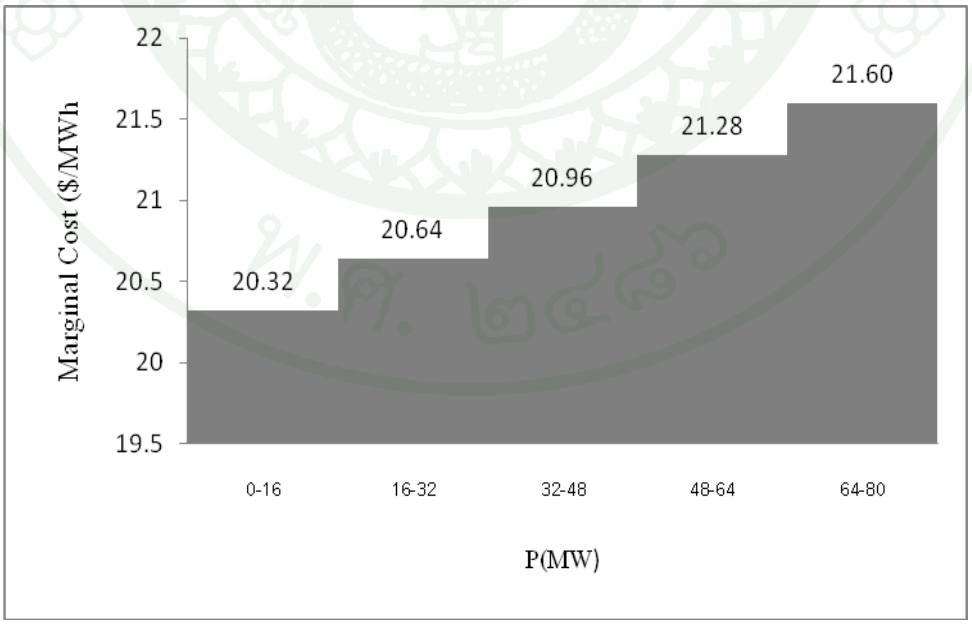
จากภาพที่ 8 จะได้สมการเส้นโค้งราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1

$$C_1 = 0.020P_{G_1}^2 + 20P_{G_1} \tag{68}$$

ซึ่งสมการเส้นโค้งราคาที่ได้จะนำไปใช้ในการคำนวณของ OPF

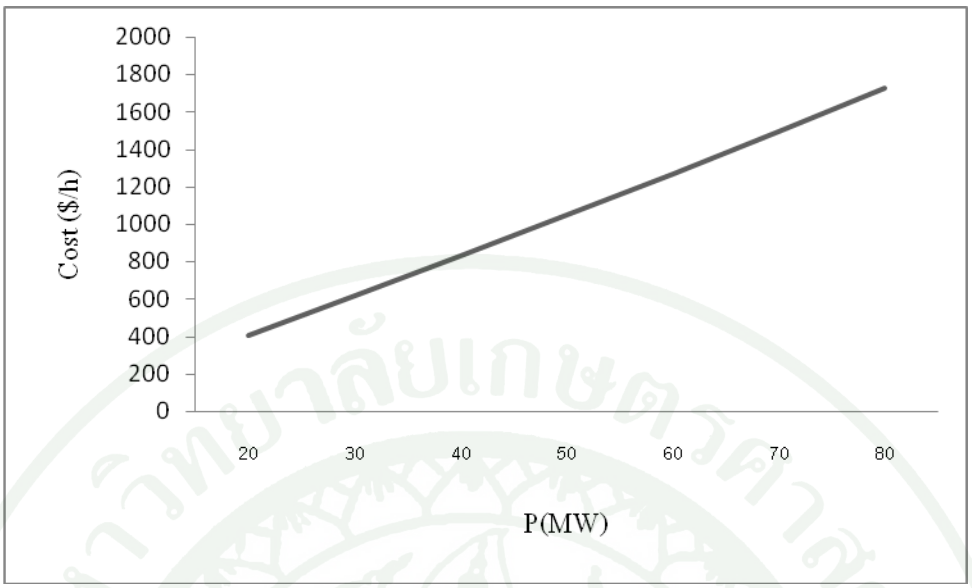
ตารางที่ 1 ราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1

Power (MW)	Bidding Prices ($/MWh)	Cost ($/h)
0 -16	20.32	325.12
16 - 32	20.64	660.48
32 - 48	20.96	1,006.08
48 - 64	21.28	1.361.92
64 - 80	21.60	1,728.00



ภาพที่ 7 ราคาเสนอขายต่อ MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 8 การหาสมการเส้นโค้งราคาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของการผลิตกับปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1

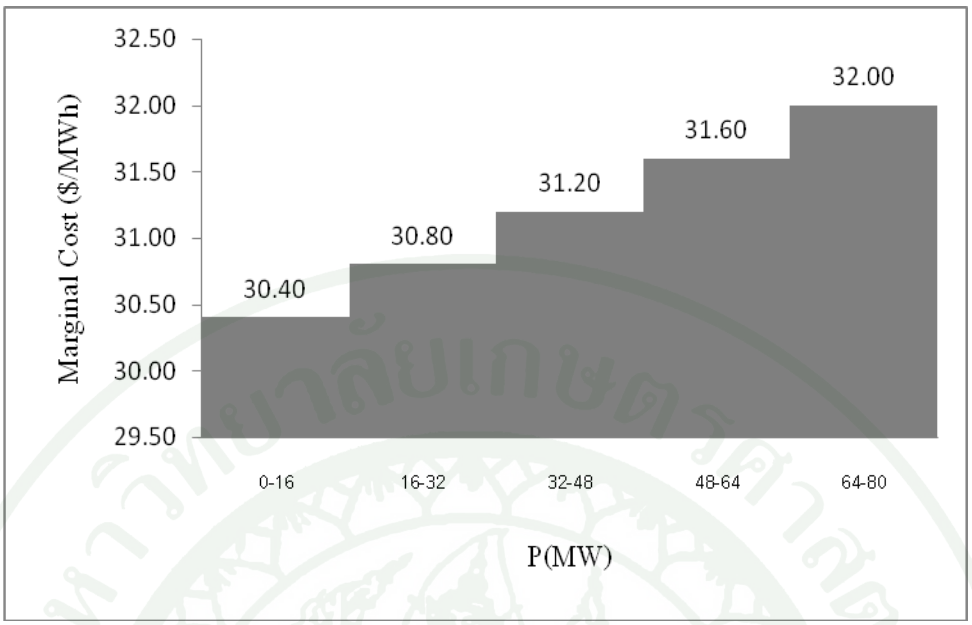
จากภาพที่ 10 จะได้สมการเส้นโค้งราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 2

$$C_2 = 0.025P_{G_2}^2 + 30P_{G_2} \tag{69}$$

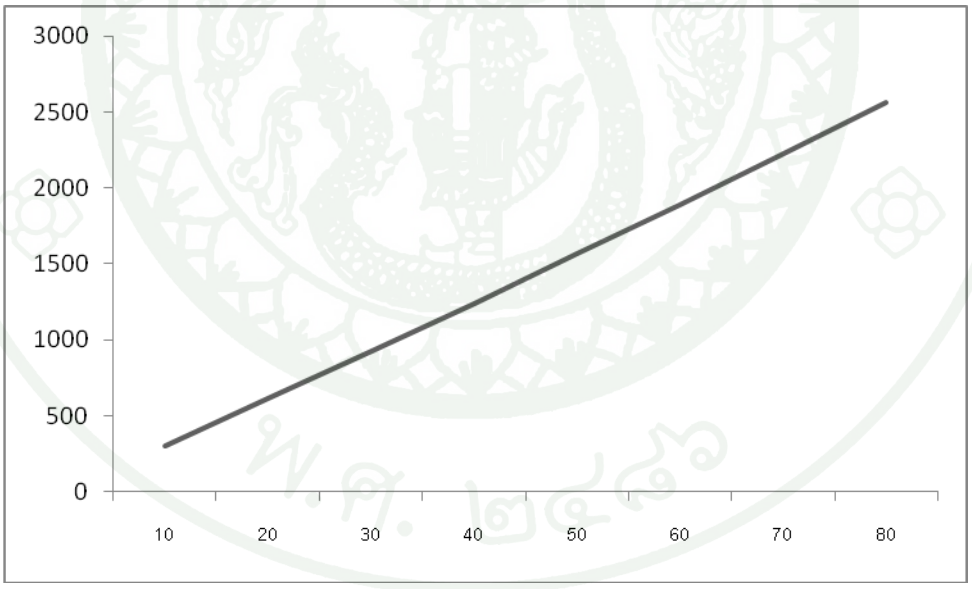
ตารางที่ 2 ราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2

Power (MW)	Bidding Prices ($/MWh)	Cost ($/h)
0 -16	30.40	486.40
16 - 32	30.80	985.60
32 - 48	31.20	1,497.60
48 - 64	31.60	2,022.40
64 - 80	32.00	2,560.00

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 9 ราคาเสนอขายต่อ MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2



ภาพที่ 10 การหาสมการเส้นโค้งราคาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของการผลิตกับปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2

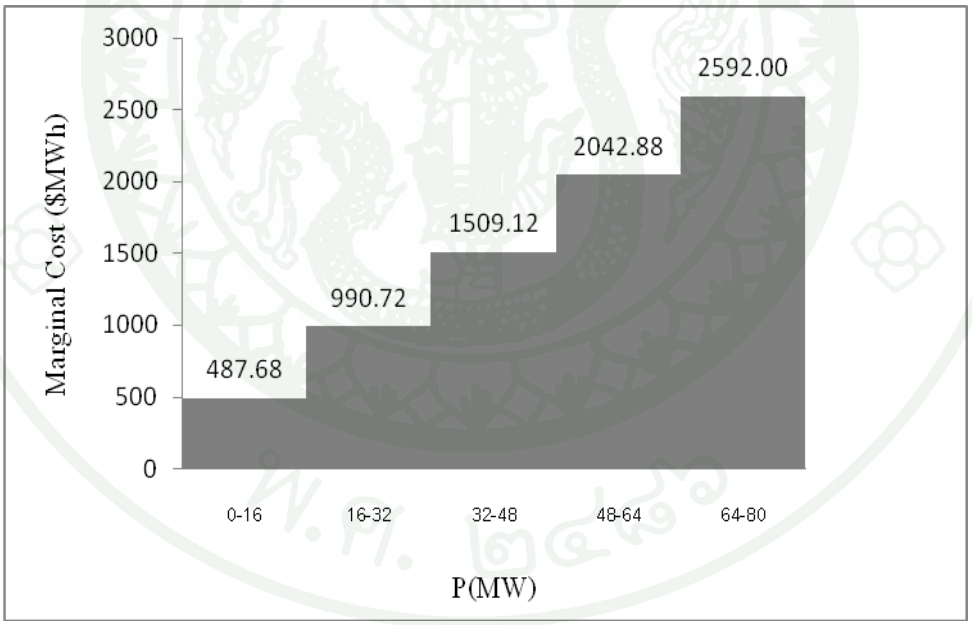
จากภาพที่ 12 จะได้สมการเส้นโค้งราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$C_3 = 0.030P_{G_3}^2 + 30P_{G_3} \tag{70}$$

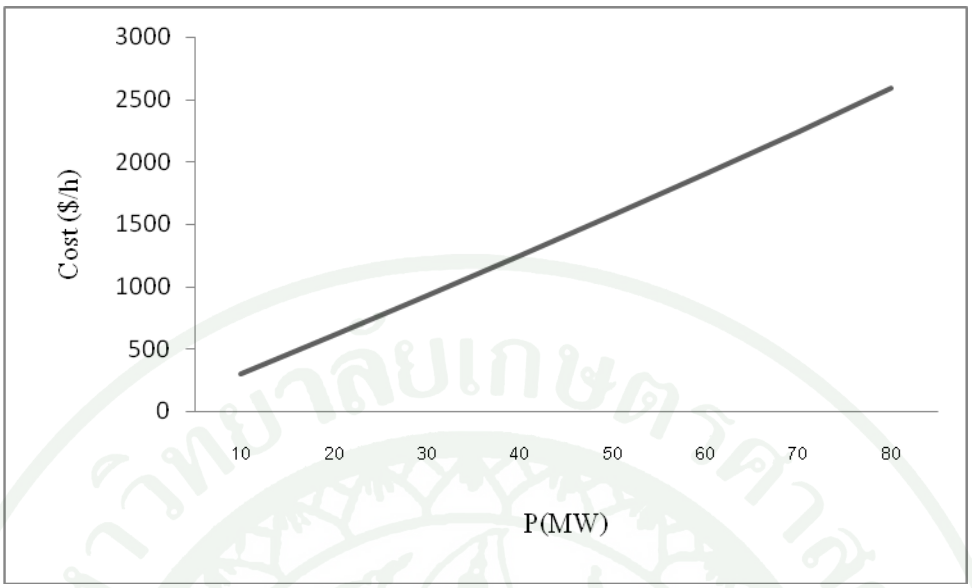
ตารางที่ 3 ราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 3

Power (MW)	Bidding Prices ($/MWh)	Cost ($/h)
0 -16	30.48	487.68
16 - 32	30.96	990.72
32 - 48	31.44	1,509.12
48 - 64	31.92	2,042.88
64 - 80	32.40	2,592.00



ภาพที่ 11 ราคาเสนอขายต่อ MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 3

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 12 การหาสมการเส้นโค้งราคาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของการผลิตกับปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 3

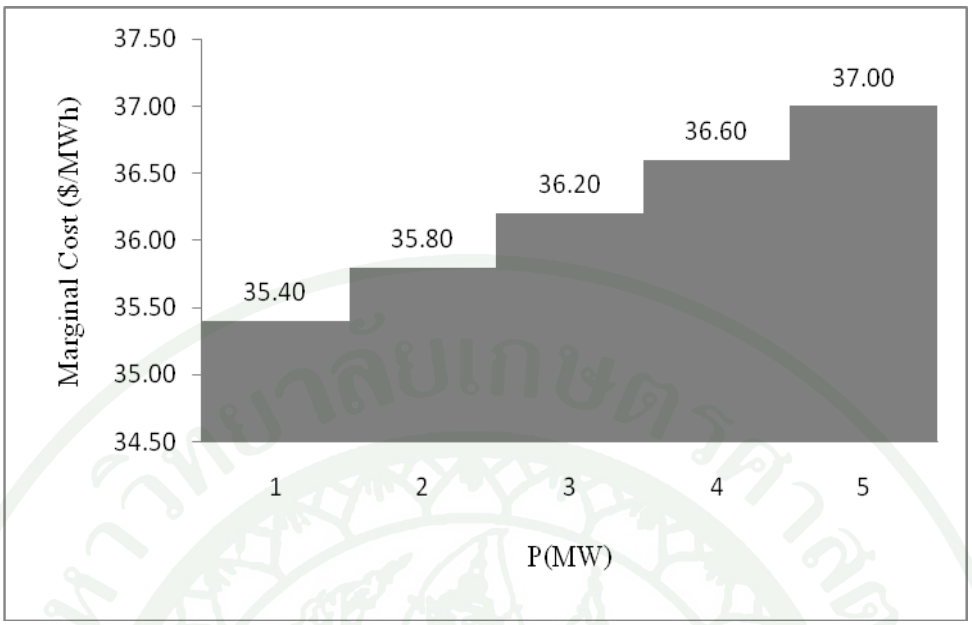
จากภาพที่ 14 จะได้สมการเส้นโค้งราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 6

$$C_6 = 0.025P_{G_6}^2 + 35P_{G_6} \tag{71}$$

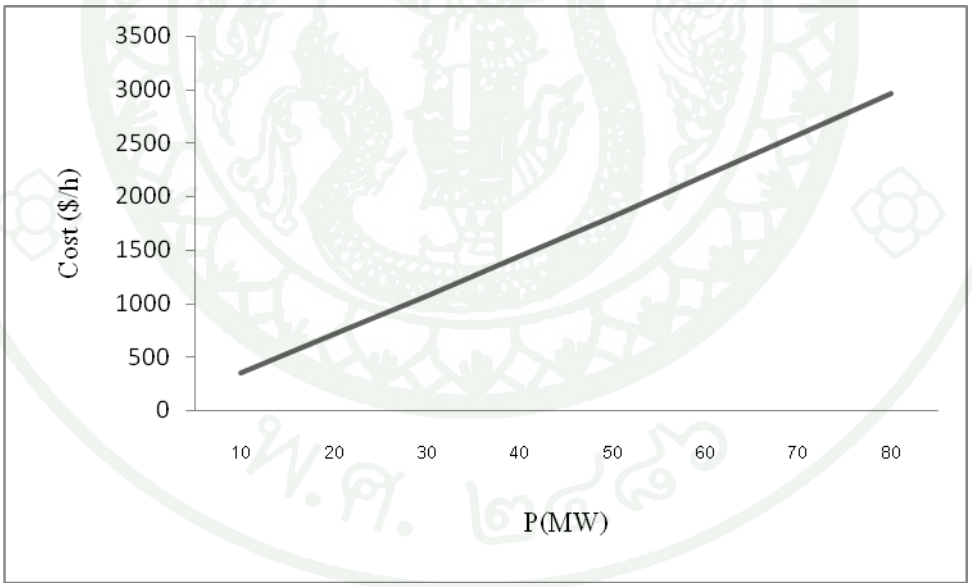
ตารางที่ 4 ราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 6

Power (MW)	Bidding Prices ($/MWh)	Cost ($/h)
0 -16	35.40	566.40
16 - 32	35.80	1,145.60
32 - 48	36.20	1,737.60
48 - 64	36.60	2,342.40
64 - 80	37.00	2,960.00

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 13 ราคาเสนอขายต่อ MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 6



ภาพที่ 14 การหาสมการเส้นโค้งราคาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของการผลิตกับปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 6

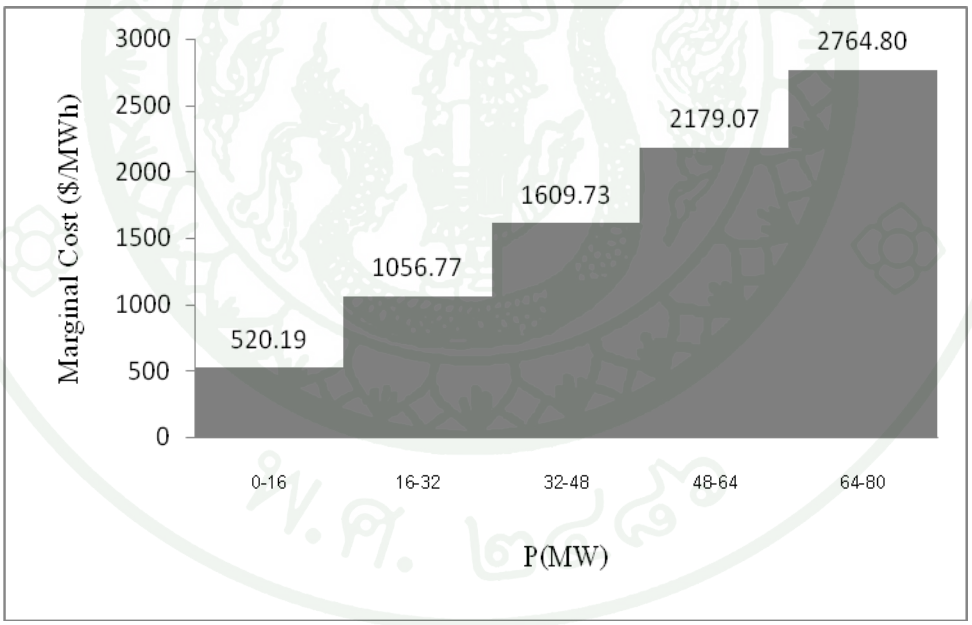
จากภาพที่ 16 จะได้สมการเส้นโค้งราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

$$C_8 = 0.032P_{G_8}^2 + 32P_{G_8} \tag{72}$$

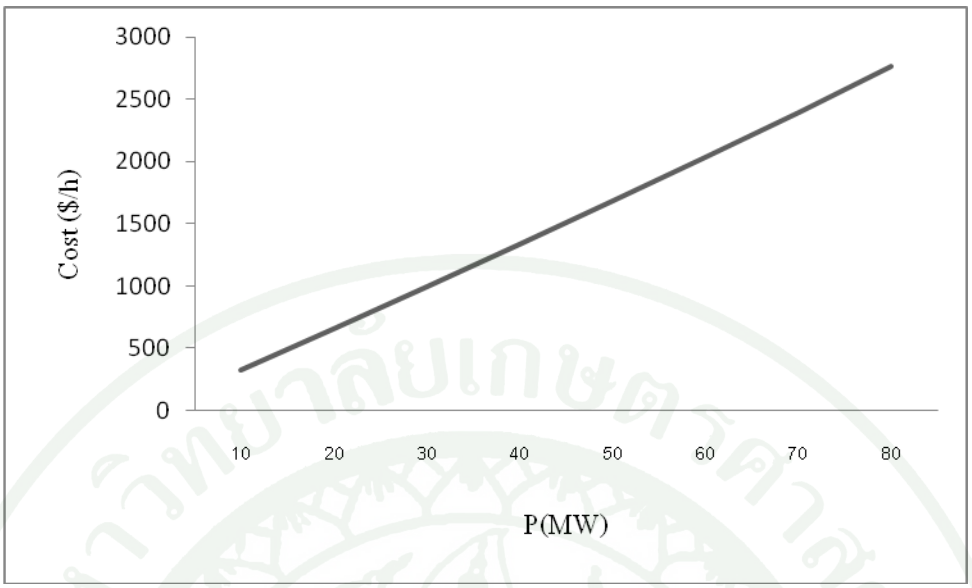
ตารางที่ 5 ราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 8

Power (MW)	Bidding Prices ($/MWh)	Cost ($/h)
0 -16	32.51	520.19
16 - 32	33.02	1,056.77
32 - 48	33.54	1,609.73
48 - 64	34.05	2,179.07
64 - 80	34.56	2,764.80



ภาพที่ 15 ราคาเสนอขายต่อ MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 16 การหาสมการเส้นโค้งราคาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของการผลิตกับปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 8

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ผลและวิจารณ์

ผล

การศึกษาได้ใช้โปรแกรม MATLAB เขียนโปรแกรมการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด (OPF) ของระบบทดสอบ IEEE 14 บัส ที่มีการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ซึ่งการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ สัญญาการซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่นคง และสัญญาซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ระบบที่ใช้ทดสอบ ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) 5 เครื่อง ติดตั้งอยู่ที่บัสที่ 1, 2, 3, 6 และบัสที่ 8 เชื่อมกับสายส่ง 20 เส้น เส้นโค้งราคา (Cost curve) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคำนวณจากราคาที่ผู้ผลิตเสนอขายแก่ตลาดกลางดังตารางที่ 6 และระบบมีโหลดรวมทั้งหมด 259 MW

ในงานวิจัยได้แยกเป็นกรณีศึกษา 3 กรณีดังนี้

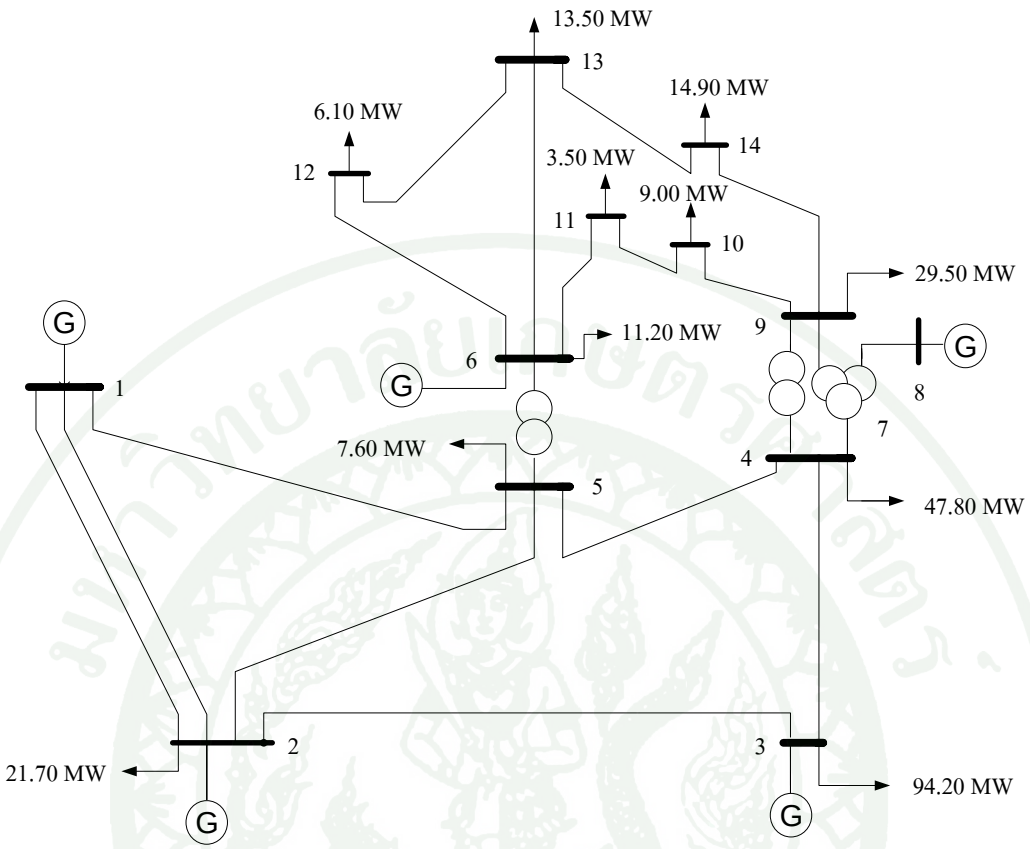
กรณีที่ 1 ระบบไม่มีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ผู้ซื้อและผู้ขายทำการซื้อขายกำลังไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเท่านั้น

กรณีที่ 2 ระบบมีการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี กำหนดให้การทำธุรกิจไฟฟ้าทวิภาคีเสนอราคาแข่งขันกับการทำธุรกิจไฟฟ้าพหุภาคีโดยใช้วิธีเสนอราคาปรับลดแบบกลุ่ม และกำหนดให้การแข่งขันเพื่อเสนอราคาเฉพาะสัญญาซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่นคง

กรณีที่ 3 ระบบมีการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี กำหนดให้การทำธุรกิจไฟฟ้าทวิภาคีเสนอราคาแข่งขันกับการทำธุรกิจไฟฟ้าพหุภาคีโดยใช้วิธีเสนอราคาปรับลดแบบกลุ่ม และกำหนดให้การแข่งขันเพื่อเสนอราคาสำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่นคงและไม่มั่นคง

กรณีที่ 2 ถึง กรณีที่ 3 ปริมาณการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี เป็นไปตามตารางที่ 7

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์



ภาพที่ 17 ระบบทดสอบ IEEE 14 บัส

ตารางที่ 6 เส้นโค้งราคาและพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Generator Bus	P_g^{max} (MW)	P_g^{min} (MW)	a	b	c
1	120	50	0.020	20	0
2	90	20	0.025	30	0
3	50	10	0.030	30	0
6	50	10	0.025	35	0
8	50	10	0.032	32	0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 7 ข้อมูลการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี

		สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี						สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบพหุภาคี									
		กรณีที่ 2			กรณีที่ 3			กรณีที่ 2					กรณีที่ 3				
ส่ง	รับ	มั่งคง	ไม่มั่นคง	ราคาเสนอ	มั่งคง	ไม่มั่นคง	ราคาเสนอ	k	ส่ง	รับ	PDM	ราคาเสนอ	k	ส่ง	รับ	PDM	ราคาเสนอ
		(MW)	(MW)	($/MWh)	(MW)	(MW)	($/MWh)	1	1	2	20	2.2	1	1	2	20	0.5
1	3	90	-	1.5	90	-	1.3		2	6	10			2	6	10	
1	4	25	-	1.3	25	-	1.1	รวม			30		รวม			30	
1	13	-	-	-	-	10	0.4	2	1	4	20	2.7	2	1	4	20	0.7
2	6	-	-	-	-	10	0.5		3	9	15			3	9	15	
2	14	-	-	-	-	10	0.3	รวม			35		รวม			35	
รวม		115	-	-	115	30	-	รวม			65	-	รวม			65	

หมายเหตุ PDM หมายถึง ความต้องการไฟฟ้าของโหลดบัสที่ทำสัญญาซื้อขายแบบพหุภาคี

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

หลังจากคำนวณด้วยวิธีการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด ผลจากการคำนวณ ตามสมการที่ (51) ถึงสมการที่ (66) ได้ผลตามตารางดังต่อไปนี้

1. ผลของกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามตารางที่ 8
2. ผลของกำลังไฟฟ้าของโหลดตามตารางที่ 9
3. ผลของกำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคีตามตารางที่ 10

สามารถพิจารณาผลการวิจัยได้ดังนี้

กรณีที่ 1 เนื่องจากไม่มีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ผู้ซื้อและผู้ขายไฟฟ้าทำการซื้อขายกำลังไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเท่านั้น จึงทำให้ไม่มีกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 ได้รับการจัดสรรการผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับตลาดกลางมากที่สุด 111.57 MW คิดเป็น 42.36% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด (263.37 MW) ดังตารางที่ 8 เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1 มีราคาต่ำที่สุด และเหตุที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุดเพียง 111.57 MW เนื่องจากเกิดสภาวะเต็มพิกัดของระบบสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 2 ดังตารางที่ 11 ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2 ที่มีราคาแพงกว่า ได้รับการจัดสรรการผลิตให้กับตลาดกลาง 34.82 MW คิดเป็น 13.22% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด ดังตารางที่ 8 และเหตุที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุดเพียง 34.82 MW เนื่องจากเกิดสภาวะเต็มพิกัดของระบบสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 2 กับบัสที่ 4 ดังตารางที่ 11 ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 3 ได้รับการจัดสรรการผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับตลาดกลาง 50.00 MW คิดเป็น 18.98% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด (263.37 MW) ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัส 6 ได้รับการจัดสรรการผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับตลาดกลาง 43.10 MW คิดเป็น 16.36% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด (263.37 MW) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 8 ได้รับการจัดสรรการผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับตลาดกลาง 23.88 MW คิดเป็น 9.07% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด (263.37 MW) ตามลำดับ ดังตารางที่ 8

กรณีที่ 2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 ได้รับการจัดสรรการผลิตมากที่สุด 111.58 MW คิดเป็น 42.37% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด (263.37 MW) เทียบเคียงกับกรณีที่ 1 ดังตารางที่ 8 เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 มีราคาต่ำที่สุด และเหตุที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุดเพียง 111.58 MW เนื่องจากเกิดสภาวะเต็มพิกัดของระบบสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 2 ดังตารางที่ 11 นอกจากนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 1 ยังเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับการซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่นคงเพียงอย่างเดียว (111.58 MW) จากความต้องการกำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง 115 MW ดังตารางที่ 8 และตารางที่ 10 ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2 ได้รับการจัดสรรการผลิตเพียง 34.83 MW คิดเป็น 13.22% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด ดังตารางที่ 8 และเกิดสภาวะเต็มพิกัดของระบบสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 2 กับบัสที่ 4 ดังตารางที่ 11 โดยแบ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตให้กับตลาดกลาง 4.83 MW และเป็นค่ากำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าพหุภาคีที่ทำสัญญาซื้อขายกับกลุ่ม k1 จำนวน 30 MW ซึ่งได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าตามที่ผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุภาคีกลุ่ม k1 ต้องการ ดังตารางที่ 8 และตารางที่ 10 ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 3 ได้รับการจัดสรรการผลิตเพียง 50.00 MW คิดเป็น 18.98% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด ดังตารางที่ 8 โดยแบ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตให้กับตลาดกลาง 15.00 MW และเป็นค่ากำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าพหุภาคีที่ทำสัญญาซื้อขายกับกลุ่ม k2 จำนวน 35 MW ซึ่งได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าตามที่ผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุภาคีกลุ่ม k2 ต้องการ ดังตารางที่ 8 และตารางที่ 10

เมื่อมองในแง่ของการทำธุรกิจไฟฟ้าทวิภาคี/พหุภาคี จากตารางที่ 10 จะเห็นได้ว่า กำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่นคงระหว่างผู้ผลิตไฟฟ้าบัสที่ 1 ที่ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้ากับผู้ซื้อไฟฟ้าบัสที่ 3 ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าตามที่ผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่นคงต้องการ เนื่องจากมีการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาในราคาที่สูง ดังตารางที่ 7 แต่กำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่นคงระหว่างผู้ผลิตไฟฟ้าบัสที่ 1 ที่ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้ากับผู้ซื้อไฟฟ้าบัสที่ 4 ได้ถูกปรับลดกำลังไฟฟ้าและถูกปรับเปลี่ยนให้ไปซื้อกำลังไฟฟ้าจากตลาดกลาง เนื่องจากมีการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาในราคาที่ต่ำกว่า ดังตารางที่ 7 รายละเอียดสามารถพิจารณาได้ดังนี้ การซื้อขายกำลังไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่นคงของผู้ผลิตไฟฟ้าบัสที่ 1 และผู้ซื้อไฟฟ้าบัสที่ 3 ซึ่งได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้า 90 MW ดังตารางที่ 9 และตารางที่ 10 และการซื้อขายกำลังไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่นคงของผู้ผลิตไฟฟ้าบัสที่ 1 และผู้ซื้อไฟฟ้าบัสที่ 4 ซึ่งได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าเพียง 21.58 MW จากความต้องการกำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่นคง 25 MW ดังตารางที่ 9 และตารางที่ 10 ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ถูกปรับลดจำนวน 3.42 MW จะถูกปรับเปลี่ยนให้ไปซื้อกำลังไฟฟ้าจากตลาดกลางแทน ส่วนกำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุภาคี ระหว่างผู้ผลิตไฟฟ้าบัสที่ 1 และบัส 2 กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 2 และบัส 6 ทำสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้ากลุ่ม k1 จำนวน 30 MW ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าบัสที่ 2 (30 MW) จากการร่วมกันผลิต

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กำลังไฟฟ้าระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1 และบัสที่ 2 โดยแบ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตให้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส 2 จำนวน 20 MW และผลิตให้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส 6 จำนวน 10 MW ดังตารางที่ 9 และตารางที่ 10 ตามที่ผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าพหุภาคีต้องการ และกำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุภาคี ระหว่างผู้ผลิตไฟฟ้าบัสที่ 1 และบัส 3 กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 4 และบัส 9 ทำสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้ากลุ่ม k2 จำนวน 35 MW ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าบัสที่ 3 (35 MW) จากการร่วมกันผลิตกำลังไฟฟ้าระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1 และบัสที่ 3 โดยแบ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตให้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส 4 จำนวน 20 MW และผลิตให้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส 9 จำนวน 15 MW ดังตารางที่ 9 และตารางที่ 10 และสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบพหุภาคีกลุ่ม k1 และ k2 ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าตามความต้องการครบทุกสัญญา ดังตารางที่ 7 ตารางที่ 10

กรณีที่ 3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 ได้รับการจัดสรรการผลิตมากที่สุด 119.27 MW คิดเป็น 45.29% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด (263.37 MW) ดังตารางที่ 8 เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1 มีราคาต่ำที่สุด และเหตุที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุดเพียง 119.27 MW เนื่องจากเกิดสภาวะเกินพิกัดของระบบสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 2 ดังตารางที่ 11 นอกจากนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1 ยังเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีเพียงอย่างเดียว (119.27 MW) โดยแบ่งเป็นค่ากำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง 115.00 MW ตามที่ผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงต้องการ และเป็นค่ากำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง 4.27 MW จากความต้องการกำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง 10 MW ดังตารางที่ 8 และตารางที่ 10 ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2 ได้รับการจัดสรรการผลิต 59.48 MW คิดเป็น 22.58% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด (263.37 MW) ดังตารางที่ 8 และเกิดสภาวะเกินพิกัดของระบบสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 2 กับบัสที่ 4 ดังตารางที่ 11 โดยแบ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตให้กับตลาดกลาง 18.28 MW เป็นค่ากำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง 18.40 MW และเป็นค่ากำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุภาคี กลุ่ม k1 จำนวน 22.80 MW ดังตารางที่ 8 ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 3 ได้รับการจัดสรรการผลิต 50 MW คิดเป็น 18.98% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด (263.37 MW) ดังตารางที่ 8 โดยแบ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตให้กับตลาดกลาง 15.00 MW และเป็นค่ากำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุภาคี กลุ่ม k2 จำนวน 35 MW ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัส 6 ได้รับการจัดสรรการผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับตลาดกลาง 23.70 MW คิดเป็น 9.00% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด และเครื่อง

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กำเนิดไฟฟ้าที่บัส 8 ได้รับการจัดสรรการผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับตลาดกลาง 11.88 MW คิดเป็น 4.51% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด ดังตารางที่ 8 ตามลำดับ

เมื่อมองในแง่ของการทำธุรกิจไฟฟ้าทวิภาคี/พหุภาคี จากตารางที่ 10 กำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าตามที่ผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงต้องการทุกสัญญา เนื่องจากมีการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาในราคาที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ดังตารางที่ 7 ส่วนกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงนั่นขึ้นอยู่กับราคาเสนอเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา ดังตารางที่ 7 เช่น การซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัสที่ 1 และผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 13 ซึ่งได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้า 4.27 MW จากความต้องการกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง 10 MW ดังตารางที่ 10 และเนื่องจากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัสที่ 1 จะผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ซื้อไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่งคงก่อน และนอกจากนี้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1 ยังเกิดสภาวะเกิดพิกัดของสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 2 ดังตารางที่ 11 ส่วนการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัสที่ 2 และผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 6 ซึ่งได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้า 8.40 MW จากความต้องการกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง 10 MW ดังตารางที่ 10 และเนื่องจากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัสที่ 1 จะผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ซื้อไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่งคง และผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแบบพหุภาคีก่อน และนอกจากนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1 ยังเกิดสภาวะเกิดพิกัดของสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 2 กับบัสที่ 6 ดังตารางที่ 11 ส่วนการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัสที่ 2 และผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 14 ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าตามความต้องการ ดังตารางที่ 10 ถึงแม้ว่าผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 14 จะอยู่ไกลกว่าผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส 6 ก็ตาม แต่ผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 14 ทำสัญญากับผู้ผลิตที่บัส 2 เพียงรายเดียวจึงได้รับสิทธิในการจัดสรรกำลังไฟฟ้าตามความต้องการนั้นเอง ส่วนการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุภาคี ทำสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้าเช่นเดียวกับกรณีที่ 2 และเสนอราคาปรับลดโหลดแบบกลุ่มต่ำกว่า ดังตารางที่ 7 หากพิจารณาจะเห็นว่ากลุ่ม k1 เสนอราคาปรับลดแบบกลุ่มสูงกว่ากลุ่ม k2 และกำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุภาคีระหว่างผู้ผลิตไฟฟ้าบัสที่ 1 และบัส 2 กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 2 และบัส 6 ทำสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้ากลุ่ม k1 จำนวน 30 MW ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าบัสที่ 2 จำนวน 22.80 MW (30 MW) จากการร่วมกันผลิตกำลังไฟฟ้าระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1 และบัสที่ 2 และเหตุที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1 ไม่สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้เนื่องจากเกิดสภาวะเกินพิกัดของสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 2 และยังต้องผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ทำ

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีอีกด้วย จึงไม่สามารถร่วมกันจ่ายโหลดให้กับการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุภาคีได้ ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่จัดสรรได้ แบ่งเป็นกำลังไฟฟ้าเพื่อผลิตให้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส 2 จำนวน 20 MW และผลิตให้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส 6 จำนวน 2.80 MW ดังตารางที่ 9 และตารางที่ 10 ส่วนกำลังไฟฟ้าที่ถูกปรับลดจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุภาคีจำนวน 7.20 MW จะถูกปรับเปลี่ยนให้ไปซื้อกำลังไฟฟ้าจากตลาดกลางแทน และกำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุภาคีระหว่างผู้ผลิตไฟฟ้าบัสที่ 1 และบัส 3 กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 4 และบัส 9 ทำสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้ากลุ่ม k2 จำนวน 35 MW ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าบัสที่ 3 (35 MW) จากการร่วมกันผลิตกำลังไฟฟ้าระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1 และบัสที่ 3 โดยแบ่งเป็นกำลังไฟฟ้าเพื่อผลิตให้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส 4 จำนวน 20 MW และผลิตให้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส 9 จำนวน 15 MW ดังตารางที่ 9 และตารางที่ 10 และสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบพหุภาคีกลุ่ม k1 และ k2 ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าตามความต้องการครบทุกสัญญา ดังตารางที่ 9 และตารางที่ 10

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 8 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

	การซื้อขายผ่านตลาดกลาง และสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี									สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบพหุภาคี					
บัส	กรณีที่ 1			กรณีที่ 2			กรณีที่ 3			กรณีที่ 2			กรณีที่ 3		
	P_g^P	P_g^F	P_g^{NF}	P_g^P	P_g^F	P_g^{NF}	P_g^P	P_g^F	P_g^{NF}	k	บัส	P_g^M	k	บัส	P_g^M
1	111.57	-	-	-	111.58	-	-	115.00	4.27	1	1	-	1	1	-
2	34.82	-	-	4.83	-	-	18.28	-	18.40		2	30		2	22.80
3	50.00	-	-	15.00	-	-	15.00	-	-	รวม		30	รวม		22.80
6	43.10	-	-	43.14	-	-	23.70	-	-	2	1	-	2	1	-
8	23.88	-	-	23.82	-	-	11.88	-	-		3	35		3	35
รวม	263.37	-	-	86.79	111.58	-	68.86	115.00	22.67	รวม		35	รวม		35

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 9 กำลังไฟฟ้าของโหลด

บัส	การซื้อขายผ่านตลาดกลาง และสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี								
	กรณีที่ 1			กรณีที่ 2			กรณีที่ 3		
	P_d^P	P_d^F	P_d^{NF}	P_d^P	P_d^F	P_d^{NF}	P_d^P	P_d^F	P_d^{NF}
2	21.70	-	-	1.70	-	-	1.70	-	-
3	94.20	-	-	4.20	90.00	-	4.20	90.00	-
4	47.80	-	-	6.22	21.58	-	2.80	25.00	-
5	7.60	-	-	7.60	-	-	7.60	-	-
6	11.20	-	-	1.20	-	-	0.00	-	8.40
9	29.50	-	-	14.50	-	-	14.50	-	-
10	9.00	-	-	9.00	-	-	9.00	-	-
11	3.50	-	-	3.50	-	-	3.50	-	-
12	6.10	-	-	6.10	-	-	6.10	-	-
13	13.50	-	-	13.50	-	-	9.23	-	4.27
14	14.90	-	-	14.90	-	-	4.90	-	10.00
รวม	259.00	-	-	82.42	111.58	-	63.53	115.00	22.67

สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบพหุภาคี								
กรณีที่ 2				กรณีที่ 3				
k	บัส	P_d^M		k	บัส	P_d^M		
1	2	20		1	2	20		
	6	10			6	2.8		
รวม		30		รวม		22.8		
2	4	20		2	4	20		
	9	15			9	15		
รวม		35		รวม		35		
รวม		65		รวม		57.8		

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 10 กำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี

ส่ง	รับ	การทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี						k	บัส		การทำธุรกิจไฟฟ้าแบบพหุภาคี		
		สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบมั่นคง			สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบไม่มั่นคง								
		กำลังไฟฟ้าที่ต้องการ	กำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรร		กำลังไฟฟ้าที่ต้องการ	กำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรร			ส่ง	รับ	กำลังไฟฟ้าที่ต้องการ	กำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรร	กำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรร
		P(MW)	กรณี 2 P(MW)	กรณี 3 P(MW)	P(MW)	กรณี 2 P(MW)	กรณี 3 P(MW)				P(MW)	กรณี 2 P(MW)	กรณี 3 P(MW)
1	3	90	90.00	90.00	-	-	-	1	1	2	20	20	20
1	4	25	21.58	25.00	-	-	-		2	6	10	10	2.80
1	13	-	-	-	10	-	4.27	รวม			30	30	22.80
2	6	-	-	-	10	-	8.40	2	1	4	20	20	20
2	14	-	-	-	10	-	10.00		3	9	15	15	15
รวม		115	111.58	115.00	30	-	22.67	รวม			35	35	35

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

การไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง

จากตารางที่ 11 เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1 มีราคาต่ำที่สุด จึงได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้ามากที่สุด 111.57 MW คิดเป็น 42.36% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด (263.37 MW) และมีการทำสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1 เกือบทุกสัญญา จึงทำให้กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งที่เชื่อมกับบัสที่ 1 ไหลเต็มพิกัดของสายส่ง เช่น สายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 2 จะมีกำลังไฟฟ้าไหลเต็มพิกัดของสาย (75 MW)

เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 2 ที่มีราคาแพงกว่า ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้ามากที่สุด 34.82 MW คิดเป็น 13.22% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด (263.37 MW) และมีการทำสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 2 เกือบทุกสัญญา จึงทำให้กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งที่เชื่อมกับบัสที่ 2 ไหลเต็มพิกัดของสายส่ง เช่น สายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 2 กับบัสที่ 4 จะมีกำลังไฟฟ้าไหลเต็มพิกัดของสายส่ง เป็นต้น

นอกจากนี้ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งเส้นทุกเส้น จะมีค่าใกล้เคียงกันทุกกรณีเนื่องจากความต้องการกำลังไฟฟ้า ณ บัสใดๆของระบบทุกกรณี มีค่าคงที่

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง

บัส		กรณี 1			กรณี 2			กรณี 3			พิกัด
ส่ง	รับ	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	S (MVA)
1	2	75.00	0.21	75.00	75.00	0.21	75.00	74.99	-1.21	75.00	75
1	5	36.57	6.18	37.09	36.58	6.13	37.09	44.28	7.37	44.89	75
2	3	36.74	-5.98	37.22	36.74	-6.01	37.23	41.67	-5.42	42.02	75
2	4	29.69	4.28	30.00	29.70	4.22	30.00	39.70	4.88	40.00	75
2	5	20.70	3.15	20.94	20.70	3.09	20.93	30.41	3.95	30.67	75
3	4	-8.07	15.49	17.47	-8.06	15.46	17.43	-3.30	15.35	15.70	75
4	5	-38.32	-3.63	38.49	-38.35	-3.58	38.52	-39.93	-2.18	39.99	75
4	7	4.16	18.54	19.00	4.20	18.42	18.89	15.91	16.85	23.17	60
4	9	7.31	9.21	11.76	7.32	9.18	11.74	11.59	8.84	14.58	60
5	6	10.25	4.36	11.14	10.23	4.32	11.10	25.47	5.60	26.08	60
6	11	12.81	7.95	15.08	12.82	7.93	15.07	10.27	7.87	12.94	30
6	12	8.64	2.99	9.14	8.64	2.99	9.14	8.31	3.03	8.85	30
6	13	20.69	9.61	22.81	20.70	9.60	22.82	19.38	9.54	21.60	30

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางที่ 11 (ต่อ)

บัส		กรณี 1			กรณี 2			กรณี 3			พิกัด
ส่ง	รับ	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)	S (MVA)
7	8	-23.88	7.15	24.93	-23.82	6.97	24.82	-11.88	4.47	12.69	30
7	9	28.04	10.66	30.00	28.02	10.72	30.00	27.80	11.28	30.00	30
9	10	0.00	0.32	0.32	-0.01	0.34	0.34	2.45	0.22	2.46	30
9	14	5.85	1.16	5.96	5.84	1.18	5.96	7.44	1.09	7.52	30
10	11	-9.00	-5.48	10.54	-9.01	-5.46	10.54	-6.55	-5.58	8.60	30
12	13	2.44	1.18	2.71	2.44	1.18	2.71	2.11	1.23	2.44	30
13	14	9.28	4.32	10.24	9.29	4.30	10.24	7.68	4.36	8.83	30

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

กำลังไฟฟ้าสูญเสียและค่าใช้จ่ายของระบบ

จากการวิจัยพบว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ ในกรณีศึกษาที่ 1 กรณีศึกษาที่ 2 และกรณีศึกษาที่ 3 มีค่าต่างกันไม่เกิน 25% ทุกกรณี เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 และบัสที่ 2 และบัสที่ 3 ผลิตกำลังไฟฟ้าได้เท่ากันหมดทุกกรณี เป็นผลมาจากความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบ ณ บัสใดๆ มีค่าคงที่และมีค่าเท่ากันทุกกรณีศึกษา โดยมีความสัมพันธ์กับการไหลของกำลังไฟฟ้า ซึ่งหากการไหลของกำลังไฟฟ้ามีมากขึ้น ย่อมทำให้เกิดการสูญเสียในระบบมากขึ้นด้วย ดังแสดงในตารางที่ 12 ส่วนค่าใช้จ่ายในระบบ เมื่อระบบมีการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี เป็นผลทำให้ค่าใช้จ่ายของระบบมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการเสนอราคาราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง และสำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง รวมไปถึงการเสนอราคาปรับลดแบบกลุ่ม มาเป็นตัวกำหนดปริมาณกำลังผลิตของผู้ผลิตไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี

ตารางที่ 12 กำลังไฟฟ้าสูญเสียและค่าใช้จ่ายจากการผลิตกำลังไฟฟ้าของระบบ

	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3
กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (MW)	4.368	4.367	5.330
ค่าใช้จ่ายจากการผลิต กำลังไฟฟ้า ($/hr)	7,467.56	7,472.02	7,352.63

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิจารณ์

จากการศึกษาการซื้อขายไฟฟ้าเสรี ที่มีการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคีโดยใช้วิธีเสนอราคาปรับลดแบบกลุ่ม ที่มีสัญญาการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง และแบบที่มีสัญญาการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ร่วมกับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง พบว่าเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 ได้รับการจัดสรรการผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับตลาดกลางมากที่สุดในทุกกรณีศึกษา 111.57 MW คิดเป็น 42.36% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด (263.37 MW) เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1 มีราคาต่ำที่สุด และเหตุที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุดเพียง 111.57 MW เนื่องจากเกิดสภาวะเต็มพิกัดของระบบสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 2 ดังตารางที่ 11

จากกรณีศึกษาที่ 2 และ กรณีศึกษาที่ 3 แสดงให้เห็นว่า เมื่อระบบเกิดสภาวะติดขัดหรือเกิดสภาวะเกินพิกัดของสายส่ง ผู้ดูแลระบบจะทำการปรับลดกำลังไฟฟ้าของผู้ที่ทำสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบพหุภาคี ก่อนที่จะปรับลดกำลังไฟฟ้าของผู้ที่ทำสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงและแบบไม่มั่นคง โดยพิจารณาจากราคาเสนอเพื่อไม่ให้ปรับลดโหลด ถ้าสัญญาการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงสัญญาไหน เสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดโหลดในราคาที่ต่ำกว่าสัญญาอื่นๆ สัญญานั้นก็จะโดนปรับลดกำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงก่อน สัญญาการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงที่เสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดโหลดในราคาที่สูงกว่า โดยไม่ได้คำนึงถึงตำแหน่งบัสของผู้ซื้อและผู้ผลิตกำลังไฟฟ้า

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยฉบับนี้ เป็นการศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาสภาวะเกินพิกัด ของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ในตลาดการซื้อขายไฟฟ้าโดยใช้หลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด ซึ่งการศึกษาการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี แบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง และสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง รวมไปถึงการซื้อขายกำลังไฟฟ้าผ่านตลาดกลางด้วย การศึกษาใช้โปรแกรม MATLAB มาทดสอบการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี กับระบบทดสอบ IEEE 14 บัส เพื่อวิเคราะห์ กำลังการผลิต การไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง ข้อจำกัดของระบบ กำลังไฟฟ้าที่ทำการซื้อขายแบบทวิภาคี/พหุภาคี ที่ได้รับการจัดสรร ผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่า ถ้าระบบไม่สามารถรองรับหรือระบบเกิดสภาวะติดขัดอันเนื่องมากจากเกิดการติดขัดของสายส่ง จนไม่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้ตามสัญญาที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ศูนย์ควบคุมไฟฟ้าอิสระ จะต้องใช้วิธีเสนอราคาปรับลดแบบกลุ่มสำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบพหุภาคี เพื่อแก้ไขปัญหาการเกิดสภาวะเกินพิกัดของระบบ ซึ่งผู้ซื้อขายไฟฟ้าพหุภาคีต้องเสนอราคาที่สูงเพื่อแข่งขันกับผู้ซื้อขายไฟฟ้าทวิภาคีแบบมั่นคงเพื่อไม่ให้ถูกปรับลดสัญญาซื้อขายไฟฟ้า และถ้าผู้ซื้อขายไฟฟ้าแบบพหุภาคีถูกปรับลดสัญญา ซึ่งส่งผลให้ปริมาณกำลังไฟฟ้าลดลงจากสัญญาที่ได้ตกลงไว้ ผู้ซื้อขายไฟฟ้าพหุภาคี จำเป็นต้องซื้อขายไฟฟ้าในตลาดซื้อขายไฟฟ้า เพื่อรักษาระดับปริมาณกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการ โดยที่โหลดรวม ณ บัสใดๆ จะมีค่าคงที่และไม่มีการตัดโหลด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษากับระบบที่มีการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ภายใต้สัญญาการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี 2 แบบ คือ สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงและสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง เพื่อศึกษาการศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาสภาวะเกินพิกัด ของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ในตลาดการซื้อขายไฟฟ้าโดยใช้หลักการการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด ดังนั้นการศึกษาต่อไปสามารถศึกษาการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ในตลาดการซื้อขายไฟฟ้าโดยใช้หลักการคำนวณด้วยวิธีอื่น รวมไปถึงการคิดราคาสายส่งด้วยราคาที่บัส รายได้ของผู้ผลิต รายจ่ายของผู้ซื้อ เพื่อศึกษาผลกระทบและแนวทางการแก้ไขปัญหาสภาวะเกินพิกัดของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี/พหุภาคี ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

จตุรวิทย์ บุษรา. 2554. **การจัดการสภาวะเกินพิกัดของระบบสายส่งในตลาดซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมโดยใช้หลักการการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุดโดยวิธีประมาณ.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปานจิต ดำรงกุลกำจร. 2543. **เอกสารประกอบการสอนวิชา Computer Methods in Power System Analysis.** ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. กรุงเทพฯ.

ณรงศักดิ์ เรืองโฉม. 2551. **การทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้าในด้านการจัดสรรกำลังไฟฟ้าและค่าใช้สายส่ง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรเทพ ปัญญาแก้ว. 2556. **การจัดสรรค่าการผลิตกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดที่มีราคาเสนอขายแบบขั้นบันไดในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้าแบบรวมศูนย์กลางร่วมกับทวิภาคีและพหุภาคีโดยใช้วิธีการคำนวณแบบผสม**. วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. ปีที่ : 20 ฉบับที่ : 3: 48-63

สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ. 2543. **การปรับโครงสร้างกิจการไฟฟ้าและการจัดตั้งตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า**.

เอกสกล เทพสุภรณ์กุล. 2547. **การศึกษาการซื้อขายไฟฟ้านอกตลาดกลางในตลาดซื้อขายไฟฟ้าเสรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Chen, L., H. Suzuki, T. Wachi and Y. Shimura. 2002. Components of nodal prices for electric power systems. **IEEE Trans. Power Syst.** 17: 41-49.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Ferreira, M. Judite., Z.A. Vale and J. Cardoso. 2007. A congestion management and transmission price simulator for competitive electricity markets. **IEEE Trans. Power Syst.** 1: 1-8.

Hussin, F. M.Y.Hassan and K.L.Lo. 2006. Transmission Congestion Management Assessment in Deregurate Electricity Market, pp. 250-255. *In* 4th **Student Conference on Research and Development (SCOReD 2006)**. 27-28 June 2006, Shah Alam, Selangor, MALAYSIA.

Galina, F.D., I. Kockar and P.C. Franco. 2002. Combined pool/bilateral dispatch – path I: performance of trading strategies. **IEEE Transactions on Power Systems.** 17: 92-99.

Galina, F.D. and I. Kockar. 2002. Combined pool/bilateral dispatch – path II: curtailment of firm and nonfirm contract. **IEEE Transactions on Power Systems.** 17: 1184-1190.

Gedra, T.W. 1999. On transmission congestion and pricing. **IEEE Trans. Power Syst.** 14: 241-248.

Gil, H.A., F.D. Galina and E.L.D. Silva. 2006. Nodal price control: a mechanism for transmission network cost allocation. **IEEE Trans. Power Syst.** 21: 3-10.

Hsieh, S-C., C-C. Chu and H-M. Wang. 2007. A congestion management and transmission price simulator for competitive electricity markets. **IEEE Trans. Power Syst.** 1: 1-6.

Hou, Y. and F.F Wu. 2007. long-term bilateral contract pricing with risks of congestion charge. **IEEE Trans. Power Syst.** 1: 1-6.

Leotard, J-P. and M. Ilic. 1999. On the objective of transmission pricing under open acces. **IEEE Power Engineering Society 1999 Winter Meeting.** 1: 476-483.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

New York Independent System Operator. 2012. **Market Operations**.

Available Source: http://www.nyiso.com, Jun 16, 2012.

Padhy, N. P., Y.R. Sood, A. Moamenand, M. Kumar and H.O. Gupta. 2002. A hybrid model for congestion management with real and reactive power transaction. **IEEE Trans. Power Syst.** 1: 1-7.

Fang, R.S., A.K.David **Optimal Dispatch Under Transmission Contracts**, *Proc.* IEEE Transaction on Power Systems, Vol.14, No.2, May, 1999.

Shahidehpour, M., H. Yamin and Z. Li. 2002. **Market Operations in Electric Power Systems : Forecasting, Scheduling and Risk Management**. John Wiley & Sons, Inc

Shirmohammad, D., X. V. Filho, B. Gorenstin and M. V. F. Pereira. 1996. Some fundamental technical concept about cost based transmission priceing. **IEEE Trans. Power Syst.** 11: 1002-1008.

Singh, H., S. Hao and A. Papalexopoulos. 1998. Transmission congestion management in competitive electricity markets. **IEEE Trans. Power Syst.** 132: 672-680

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ก

ข้อมูลระบบจำลอง IEEE 14 บัส

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ข้อมูลระบบจำลอง IEEE 14 บัส

System MVA base = 100 MVA

ตารางผนวกที่ ก1 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบจำลอง IEEE 14 บัส

Bus	Pg	Qg	Qmax	Qmin	Vg	mBase	Status	Pmax	Pmin
1	232.4	-16.9	60	-50	1.05	100	1	120	50
2	40	42.4	50	-40	1.045	100	1	90	20
3	0	23.4	40	0	1.01	100	1	50	10
6	0	12.2	24	-6	1.00	100	1	50	10
8	0	17.4	24	-6	1.02	100	1	60	10

ตารางผนวกที่ ก2 ข้อมูลค่าใช้จ่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบจำลอง IEEE 14 บัส

Bus	Startup	Shutdown	n	a	b	c
1	0	0	3	0.020	20	0
2	0	0	3	0.025	30	0
3	0	0	3	0.030	30	0
6	0	0	3	0.025	35	0
8	0	0	3	0.032	32	0

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก3 ข้อมูลบัสในระบบจำลอง IEEE 14 บัส

Bus	Type	Pd	Qd	Gs	Bs	Area	Vm	Va	BaseKv	Zone	Vmax	Vmin
1	3	0	0	0	0	1	1.05	0	0	1	1.05	0.95
2	2	21.70	12.70	0	0	1	1.04	-4.98	0	1	1.05	0.95
3	2	94.20	19	0	0	1	1.01	-12.72	0	1	1.05	0.95
4	1	47.80	-3.90	0	0	1	1.02	-10.33	0	1	1.05	0.95
5	1	7.60	1.60	0	0	1	1.02	-8.78	0	1	1.05	0.95
6	2	11.20	7.50	0	0	1	1.00	-14.22	0	1	1.05	0.95
7	1	0	0	0	0	1	1.02	-13.37	0	1	1.05	0.95
8	2	0	0	0	0	1	1.02	-13.36	0	1	1.05	0.95
9	1	29.50	16.60	0	19	1	1.03	-14.94	0	1	1.05	0.95
10	1	9	5.80	0	0	1	1.04	-15.10	0	1	1.05	0.95
11	1	3.50	1.80	0	0	1	1.01	-14.79	0	1	1.05	0.95
12	1	6.10	1.60	0	0	1	1.01	-15.07	0	1	1.05	0.95
13	1	13.50	5.80	0	0	1	1.02	-15.16	0	1	1.05	0.95
14	1	14.90	5	0	0	1	1.03	-16.04	0	1	1.05	0.95

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ก4 ข้อมูลสายส่งในระบบจำลอง IEEE 14 บัส

From Bus	To Bus	r	x	b	Rate A	Rate B	Rate C	Ratio	Angle	Status
1	2	0.01938	0.05917	0.0528	75	75	75	0	0	1
1	5	0.05403	0.22304	0.0492	75	75	75	0	0	1
2	3	0.04699	0.19797	0.0438	75	75	75	0	0	1
2	4	0.05811	0.17632	0.0340	75	75	75	0	0	1
2	5	0.05695	0.17388	0.0346	75	75	75	0	0	1
3	4	0.06701	0.17103	0.0128	75	75	75	0	0	1
4	5	0.01335	0.04211	0	75	75	75	0	0	1
4	7	0	0.20912	0	60	60	60	0.978	0	1
4	9	0	0.55618	0	60	60	60	0.969	0	1
5	6	0	0.25202	0	60	60	60	0.932	0	1
6	11	0.09498	0.19890	0	30	30	30	0	0	1
6	12	0.12291	0.25581	0	30	30	30	0	0	1
6	13	0.06615	0.13027	0	30	30	30	0	0	1
7	8	0	0.17615	0	30	30	30	0	0	1
7	9	0	0.11001	0	30	30	30	0	0	1
9	10	0.03181	0.08450	0	30	30	30	0	0	1
9	14	0.12711	0.27038	0	30	30	30	0	0	1
10	11	0.08205	0.19207	0	30	30	30	0	0	1
12	13	0.22092	0.19988	0	30	30	30	0	0	1
13	14	0.17093	0.34802	0	30	30	30	0	0	1

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ภาคผนวก ข

รายละเอียดผลลัพธ์ของกรณีศึกษา

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข1 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบทดสอบ IEEE 14 บัส กรณีที่ 1

Bus	Voltage		Generation		Load		Lambda ($/MVA-hr)	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P	Q
1	1.0500	0.00	111.57	0.76	-	-	24.463	0.000
2	1.0369	-2.33	34.82	8.08	21.70	12.70	31.741	-31.741
3	1.0342	-6.37	50.00	40.00	94.20	19.00	35.316	-35.316
4	1.0141	-5.05	-	-	47.80	-3.90	37.193	-37.193
5	1.0208	-4.19	-	-	7.60	1.60	34.870	-34.870
6	1.0103	-5.62	43.10	24.00	11.20	7.50	37.155	-37.155
7	0.9759	-5.56	-	-	-	-	33.526	0.000
8	0.9640	-2.99	23.88	-6.00	-	-	33.528	0.000
9	0.9644	-7.43	-	-	29.50	16.60	42.197	-42.197
10	0.9641	-7.43	-	-	9.00	5.80	41.628	-41.628
11	0.9828	-6.65	-	-	3.50	1.80	39.572	-39.572
12	0.9924	-6.67	-	-	6.10	1.60	38.215	-38.215
13	0.9846	-6.81	-	-	13.50	5.80	38.820	-38.820
14	0.9536	-8.33	-	-	14.90	5.00	41.863	-41.863
Total			263.37	66.84	259.00	73.50		

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 14 บัส กรณีที่ 1

Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus Injection		To Bus Injection		Loss (I^2 * Z)	
			P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1	2	75.00	0.21	-74.01	2.81	0.99	3.02
2	1	5	36.57	6.18	-35.90	-3.39	0.67	2.78
3	2	3	36.74	-5.98	-36.13	8.53	0.61	2.55
4	2	4	29.69	4.28	-29.21	-2.81	0.49	1.48
5	2	5	20.70	3.15	-20.47	-2.44	0.23	0.71
6	3	4	-8.07	15.49	8.26	-15.01	0.19	0.49
7	4	5	-38.32	-3.63	38.52	4.24	0.19	0.61
8	4	7	4.16	18.54	-4.16	-17.81	0.00	0.73
9	4	9	7.31	9.21	-7.31	-8.46	0.00	0.75
10	5	6	10.25	4.36	-10.25	-4.06	0.00	0.30
11	6	11	12.81	7.95	-12.60	-7.51	0.21	0.44
12	6	12	8.64	2.99	-8.54	-2.78	0.10	0.21
13	6	13	20.69	9.61	-20.36	-8.95	0.34	0.66
14	7	8	-23.88	7.15	23.88	-6.00	0.00	1.15
15	7	9	28.04	10.66	-28.04	-9.62	0.00	1.04
16	9	10	0.00	0.32	0.00	-0.32	0.00	0.00
17	9	14	5.85	1.16	-5.80	-1.06	0.05	0.10
18	10	11	-9.00	-5.48	9.10	5.71	0.10	0.23
19	12	13	2.44	1.18	-2.43	-1.17	0.02	0.01
20	13	14	9.28	4.32	-9.10	-3.94	0.18	0.38
							4.368	17.64

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข3 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบทดสอบ IEEE 14 บัส กรณีที่ 2

Bus	Voltage		Generation		Load		Lambda ($/MVA-hr)	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P	Q
1	1.0500	0.00	111.58	0.72	-	-	23.163	0.000
2	1.0369	-2.33	34.83	7.92	21.70	12.70	31.742	-31.742
3	1.0343	-6.37	50.00	40.00	94.20	19.00	35.368	35.368
4	1.0142	-5.05	-	-	47.80	-3.90	-37.290	37.290
5	1.0209	-4.19	-	-	7.60	1.60	34.771	-34.771
6	1.0105	-5.62	43.14	24.00	11.20	7.50	37.157	-37.157
7	0.9763	-5.56	-	-	-	-	33.524	0.000
8	0.9647	-3.01	23.82	-5.83	-	-	33.524	0.000
9	0.9647	-7.44	-	-	29.50	16.60	42.349	-42.349
10	0.9644	-7.43	-	-	9.00	5.80	41.755	-41.755
11	0.9830	-6.66	-	-	3.50	1.80	39.638	-39.638
12	0.9926	-6.67	-	-	6.10	1.60	38.232	-38.232
13	0.9848	-6.81	-	-	13.50	5.80	38.848	-38.848
14	0.9538	-8.33	-	-	14.90	5.00	41.968	-41.968
Total			263.37	66.81	259.00	73.50		

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข4 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 14 บัส กรณีที่ **2**

Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus Injection		To Bus Injection		Loss (I^2 * Z)	
			P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1	2	75.00	0.21	-74.01	2.81	0.99	3.02
2	1	5	36.58	6.13	-35.90	-3.35	0.67	2.78
3	2	3	36.74	-6.01	-36.14	8.57	0.61	2.55
4	2	4	29.70	4.22	-29.22	-2.74	0.49	1.48
5	2	5	20.70	3.09	-20.47	-2.38	0.23	0.71
6	3	4	-8.06	15.46	8.26	-14.98	0.19	0.49
7	4	5	-38.35	-3.58	38.55	4.18	0.19	0.61
8	4	7	4.20	18.42	-4.20	-17.70	0.00	0.73
9	4	9	7.32	9.18	-7.32	-8.44	0.00	0.75
10	5	6	10.23	4.32	-10.23	-4.02	0.00	0.30
11	6	11	12.82	7.93	-12.61	-7.49	0.21	0.44
12	6	12	8.64	2.99	-8.54	-2.78	0.10	0.21
13	6	13	20.70	9.60	-20.36	-8.94	0.34	0.66
14	7	8	-23.82	6.97	23.82	-5.83	0.00	1.14
15	7	9	28.02	10.72	-28.02	-9.69	0.00	1.04
16	9	10	-0.01	0.34	0.01	-0.34	0.00	0.00
17	9	14	5.84	1.18	-5.80	-1.07	0.05	0.10
18	10	11	-9.01	-5.46	9.11	5.69	0.10	0.23
19	12	13	2.44	1.18	-2.43	-1.16	0.02	0.01
20	13	14	9.29	4.30	-9.10	-3.93	0.18	0.38
							4.367	17.62

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข5 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบทดสอบ IEEE 14 บัส กรณีที่ 3

Bus	Voltage		Generation		Load		Lambda ($/MVA-hr)	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P	Q
1	1.0500	0.00	119.27	0.54	-	-	24.371	0.000
2	1.0377	-2.35	59.48	11.44	21.70	12.70	32.974	-32.974
3	1.0324	-6.90	50.00	40.00	94.20	19.00	35.121	35.121
4	1.0093	-6.02	-	-	47.80	-3.90	-35.789	35.789
5	1.0156	-5.10	-	-	7.60	1.60	34.146	-34.146
6	1.0037	-8.71	23.70	24.00	11.20	7.50	36.185	35.685
7	0.9749	-7.96	-	-	-	-	32.761	0.000
8	0.9671	-6.69	11.88	-4.17	-	-	32.761	0.000
9	0.9627	-9.83	-	-	29.50	16.60	40.118	-40.118
10	0.9617	-9.95	-	-	9.00	5.80	39.730	-39.730
11	0.9785	-9.47	-	-	3.50	1.80	38.130	-38.130
12	0.9859	-9.72	-	-	6.10	1.60	37.186	-37.186
13	0.9787	-9.81	-	-	13.50	5.80	-37.728	37.728
14	0.9500	-11.00	-	-	14.90	5.00	-40.390	40.390
Total			264.33	71.81	259.00	73.50		

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ตารางผนวกที่ ข6 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 14 บัส กรณีที่ 3

Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus Injection		To Bus Injection		Loss (I^2 * Z)	
			P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1	2	74.99	-1.21	-74.00	4.22	0.99	3.02
2	1	5	44.28	7.37	-43.29	-3.29	0.99	4.08
3	2	3	41.67	-5.42	-40.90	8.66	0.77	3.25
4	2	4	39.70	4.88	-38.84	-2.26	0.86	2.62
5	2	5	30.41	3.95	-29.91	-2.43	0.50	1.52
6	3	4	-3.30	15.35	3.45	-14.96	0.16	0.40
7	4	5	-39.93	-2.18	40.14	2.84	0.21	0.66
8	4	7	15.91	16.85	-15.91	-15.75	0.00	1.10
9	4	9	11.59	8.84	-11.59	-7.68	0.00	1.16
10	5	6	25.47	5.60	-25.47	-3.94	0.00	1.66
11	6	11	10.27	7.87	-10.11	-7.54	0.16	0.33
12	6	12	8.31	3.03	-8.21	-2.83	0.10	0.20
13	6	13	19.38	9.54	-19.08	-8.94	0.31	0.60
14	7	8	-11.88	4.47	11.88	-4.17	0.00	0.30
15	7	9	27.80	11.28	-27.80	-10.24	0.00	1.04
16	9	10	2.45	0.22	-2.45	-0.22	0.00	0.01
17	9	14	7.44	1.09	-7.36	-0.93	0.08	0.16
18	10	11	-6.55	-5.58	6.61	5.74	0.07	0.15
19	12	13	2.11	1.23	-2.10	-1.22	0.01	0.01
20	13	14	7.68	4.36	-7.54	-4.07	0.14	0.28
							5.330	22.55

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายศราวุธ ภาสพานทอง
เกิดวันที่	22 สิงหาคม 2521
สถานที่เกิด	ชุมพร
ประวัติการศึกษา	วศ.บ.วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/ หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์