



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การจัดการสภาวะเกินพิกัดของระบบสายส่งในตลาดซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมโดยใช้การ
เสนอราคาไม่ให้ปรับลดสัญญา

Transmission Congestion Management in Hybrid Electricity Market using
Noncurtailment Bids

นามผู้วิจัย นายจตุรวิทย์ บุษรา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต คำรงกุลกำจร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การจัดการสถานะเกินพิกัดของระบบสายส่งในตลาดซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมโดยใช้การเสนอราคา
ไม่ให้ปรับลดสัญญา

Transmission Congestion Management in Hybrid Electricity Market using Noncurtailment
Bids

โดย

นายจตุรวิทย์ บุขรธา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

จตุรวิทย์ นุชรา 2554: การจัดการสถานะเกินพิกัดของระบบสายส่งในตลาดซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมโดยใช้การเสนอราคาไม่ให้ปรับลดสัญญา ปรัญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต คำรงกุลกำจร, Ph.D. 79 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาสถานะเกินพิกัด ของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี (Bilateral contract) ในตลาดการซื้อขายไฟฟ้า ภายใต้สัญญาการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี 2 แบบ คือ สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง (Firm bilateral contract) และสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง (Nonfirm bilateral contract) โดยใช้หลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด (Optimal Power Flow : OPF) มาช่วยในการคำนวณวิเคราะห์จะทำให้ทราบถึงปริมาณกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในแต่ละสายส่ง แรงดันไฟฟ้า มุมเฟสของแต่ละบัส และราคาทีบัส แต่ถ้ระบบไม่สามารถรองรับหรือระบบเกิดสถานะติดขัด (Congestion) อันเนื่องมาจากเกิดการติดขัดของสายส่ง (Transmission Congestion) จนไม่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้ตามสัญญาที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี ศูนย์ควบคุมไฟฟ้าอิสระ (Independent System Operator : ISO) จะต้องใช้ราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา (Noncurtailment Bids) สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงและสำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง รวมไปถึงราคาของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง (Pool) ซึ่งมีหน่วยเป็น \$/MW มาปรับลดกำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี เพื่อแก้ไขปัญหาการเกิดสถานะเกินพิกัดของระบบ โดยผู้ที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงจะต้องเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาในราคาที่สูงกว่าผู้ที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงในราคาที่สูงกว่ามาก โดยปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ถูกปรับลดจะแปรผกผันกับปริมาณราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาที่จ่ายและกำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีที่ถูกปรับลดกำลังไฟฟ้า จะถูกปรับเปลี่ยนให้ไปซื้อกำลังไฟฟ้าจากตลาดกลางแทน โดยที่โหลรวม ณ บัสใดๆจะมีค่าคงที่และไม่มี การตัดโหล

การศึกษาได้ใช้โปรแกรม MATLAB มาเขียนฟังก์ชันทดสอบการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีกับระบบทดสอบ IEEE 14 บัส

Jaturawit Busara 2011: Transmission Congestion Management in Hybrid Electricity Market using Noncurtailment Bids. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Parnjit Damrongkulkamjorn, Ph.D. 79 pages.

This thesis proposes the study of congestion management in electricity market with bilateral contracts considering both firm and nonfirm bilateral contracts. The study applies the optimal power flow (OPF) to determine the optimal generation dispatched from each generator, power flow in transmission lines, magnitude and angle bus voltages, and nodal prices. When transmission congestion occurs due to bilateral contracts, the Independent System Operator (ISO) determines the contract curtailment based on the noncurtailment bids in \$/MW offered by the participants of firm and nonfirm bilateral contracts. The noncurtailment bids offered by firm contracts are much higher than those offered by nonfirm contracts. The curtailed amount is reciprocal to the noncurtailment bids offered by the contracts. The curtailed amount from the contract is compensated by power generated from other generators in pool. In this research, it is assumed that there is no load shedding required.

The proposed algorithm is programmed in MATLAB and tested with a modified IEEE 14 bus system.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

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

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแต่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้อบรมและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

จตุรวิทย์ บุษรา
กันยายน 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	27
อุปกรณ์	27
วิธีการ	27
ผลและวิจารณ์	44
ผล	44
วิจารณ์	60
สรุปและข้อเสนอแนะ	61
สรุป	61
ข้อเสนอแนะ	62
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	63
ภาคผนวก	65
ภาคผนวก ก ข้อมูลระบบทดสอบ IEEE 14 บัส	66
ภาคผนวก ข รายละเอียดผลลัพธ์ของกรณีศึกษา	70
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	79

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1	36
2	ราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2	37
3	ราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 3	39
4	ราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 6	40
5	ราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 8	42
6	เส้นโค้งราคาและพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	45
7	ข้อมูลการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีและราคาเสนอเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา	46
8	กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	53
9	กำลังไฟฟ้าของโหลด	54
10	กำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงและแบบไม่มั่นคง	55
11	กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง	57
12	กำลังไฟฟ้าสูญเสียและค่าใช้จ่ายจากการผลิตกำลังไฟฟ้าของระบบ	59
ตารางผนวกที่		
ก1	ข้อมูลของบัสในระบบทดสอบ IEEE 14bus	67
ก2	ข้อมูลค่าใช้จ่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ IEEE 14 บัส	67
ก3	ข้อมูลบัสในระบบทดสอบ IEEE 14 บัส	68
ก4	ข้อมูลสายส่งในระบบทดสอบ IEEE 14 บัส	69
ข1	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณี ที่ 1	71
ข2	กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณีที่ 1	72
ข3	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณี ที่ 2	73
ข4	กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณีที่ 2	74

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข5	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณี ที่ 3	75
ข6	กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณีที่ 3	76
ข7	ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณี ที่ 4	77
ข8	กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณีที่ 4	78

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การซื้อขายกำลังไฟฟ้าเสรีผ่านตลาดกลาง	4
2	การซื้อขายกำลังไฟฟ้าเสรีผ่านตลาดกลางและแบบทวิภาคี	6
3	ราคาเสนอขายต่อ MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1	36
4	การหาสมการเส้นโค้งราคาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของการผลิตกับปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1	37
5	ราคาเสนอขายต่อ MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2	38
6	การหาสมการเส้นโค้งราคาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของการผลิตกับปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2	38
7	ราคาเสนอขายต่อ MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 3	39
8	การหาสมการเส้นโค้งราคาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของการผลิตกับปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 3	40
9	ราคาเสนอขายต่อ MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 6	41
10	การหาสมการเส้นโค้งราคาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของการผลิตกับปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 6	41
11	ราคาเสนอขายต่อ MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 8	42
12	การหาสมการเส้นโค้งราคาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของการผลิตกับปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 8	43
13	ระบบทดสอบ IEEE 14 บัส	45

การจัดการสถานะเกินพิกัดของระบบสายส่งในตลาดซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมโดยใช้การ เสนอราคาไม่ให้ปรับลดสัญญา

Transmission Congestion Management in Hybrid Electricity Market using Noncurtailment Bids

คำนำ

เนื่องจากปัจจุบันความต้องการการใช้ไฟฟ้ามีมากขึ้น ทำให้มีการเปิดตลาดซื้อขายไฟฟ้าเสรี เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าเลือกซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าได้ตามที่ต้องการ เรียกว่าการซื้อขายไฟฟ้าแบบไม่ผ่านตลาดกลางโดยการซื้อขายดังกล่าวจะกระทำภายใต้ข้อตกลงระหว่างผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ซื้อไฟฟ้า โดยการซื้อขายไฟฟ้าแบบไม่ผ่านตลาดกลาง เรียกว่า การทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี อย่างไรก็ตาม การทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีนั้น ต้องมีการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านสายส่ง ซึ่งจะมีการใช้สายส่งร่วมกับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง และอาจก่อให้เกิดสถานะเกินพิกัดของระบบสายส่งเกิดขึ้นได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาสถานะเกินพิกัด ของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีในตลาดการซื้อขายไฟฟ้า โดยใช้หลักการการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด ภายใต้สัญญาการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี 2 แบบ คือ สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงและสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง โดยจะมีการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา (Noncurtailment bid) สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงและสำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง รวมไปถึง ราคาของการซื้อขายผ่านตลาดกลาง ซึ่งถ้าระบบไม่สามารถรองรับหรือระบบเกิดสถานะติดขัด (Congestion) อันเนื่องมาจากเกิดการติดขัดของสายส่ง (Transmission Congestion) จนไม่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้ตามสัญญาที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี ผู้ดูแลระบบ (Independent System Operator : ISO) จะต้องใช้ราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงและสำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง รวมไปถึงราคาของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง (Pool) ซึ่งมีหน่วยเป็น \$/MW มาปรับลดกำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี เพื่อแก้ไขปัญหาการเกิดสถานะเกินพิกัดของระบบ โดยปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ถูกปรับลดจะแปร ผกผันกับปริมาณ ราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาที่จ่าย

และกำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีที่ถูกปรับลดกำลังไฟฟ้า จะถูกปรับเปลี่ยนให้ไปซื้อ
กำลังไฟฟ้าจากตลาดกลางแทน

งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม MATLAB มาทดสอบการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี ในระบบ
ทดสอบ 14 บัส โดยใช้หลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด (OPF) มาช่วยในการคำนวณวิเคราะห์
โดยรูปแบบทั่วไปของสมการ OPF จะมีการปรับปรุงฟังก์ชันเป้าหมาย ให้มีฟังก์ชันของระบบการ
ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี ที่มีการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้า
แบบทวิภาคีแบบมั่นคงและสำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง โดยมีสมการ
เงื่อนไข ของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีเพิ่มเข้ามาจากเงื่อนไขของสมการ OPF ปกติ เมื่อทำการ
วิเคราะห์หลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด กับระบบทดสอบ IEEE 14 บัสแล้ว ผลการทดลอง
ได้แสดงให้เห็น ค่ากำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีที่ถูกปรับลดกำลังไฟฟ้า ได้ถูก
ปรับเปลี่ยนให้ไปซื้อกำลังไฟฟ้าจากตลาดกลางแทน โดยที่ไหลรวม ณ บัสใดๆ จะมีค่าคงที่และไม่
มีการตัดไหล

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาการซื้อขายไฟฟ้าเสรี (Electricity Market) ที่มีการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี ที่มีสัญญาการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงและแบบที่มีสัญญาการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ร่วมกับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง รวมไปถึงผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี เพื่อให้มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าที่มีเสถียรภาพ มีความมั่นคง และคุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด

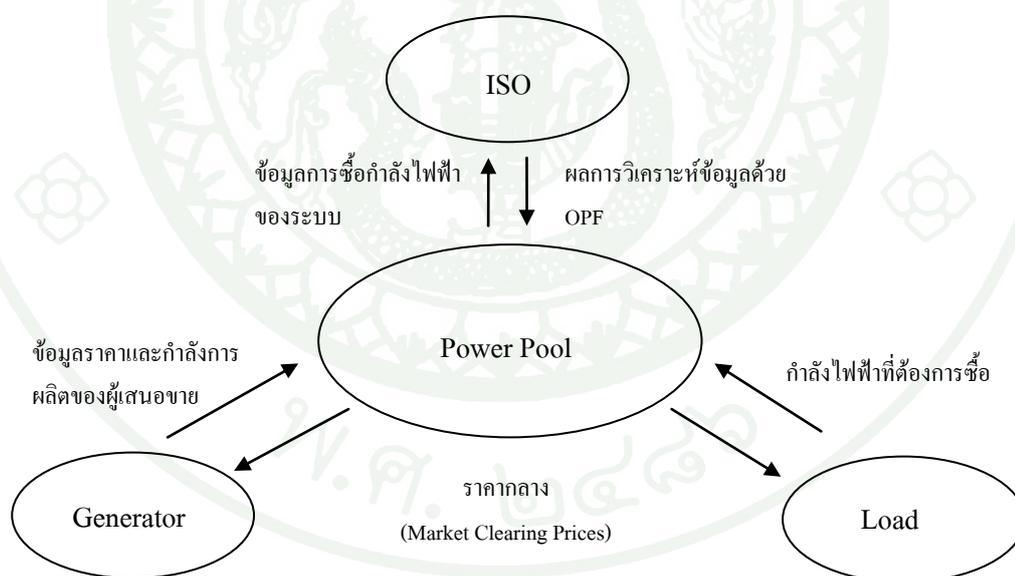
ขอบเขตงานวิจัย

ในงานวิจัยจะศึกษาการซื้อขายไฟฟ้าเสรี (Electricity Market) ที่มีการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี ที่มีสัญญาการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง และแบบที่มีสัญญาการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ซึ่งกำหนดใช้ระบบของ *IEEE 14bus* แล้วคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด ด้วยโปรแกรม MATLAB โดยที่โหลดรวม ณ บัสใด ๆ จะมีค่าคงที่และไม่มีการตัดโหลด

การตรวจเอกสาร

1. การวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าในระบบที่มีการซื้อขายไฟฟ้าเสรี

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



ภาพที่ 1 การซื้อขายกำลังไฟฟ้าเสรีผ่านตลาดกลาง

2. การทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี

การซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี แม้กำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายจะไม่กระทำผ่านตลาดกลาง แต่ยังคงใช้สายส่งร่วมกับตลาดกลาง ดังนั้นผู้ซื้อและผู้ผลิตที่ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี จึงต้องส่งข้อมูลกำลังไฟฟ้าที่จะซื้อขายให้กับตลาดกลางด้วย เพื่อให้ผู้ดูแลระบบวิเคราะห์การทำงานของระบบได้ เป็นผลให้กำลังไฟฟ้าที่ต้องผลิตแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ผลิตให้กับตลาดกลางและส่วนที่ผลิตให้กับการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี ดังสมการ (1)

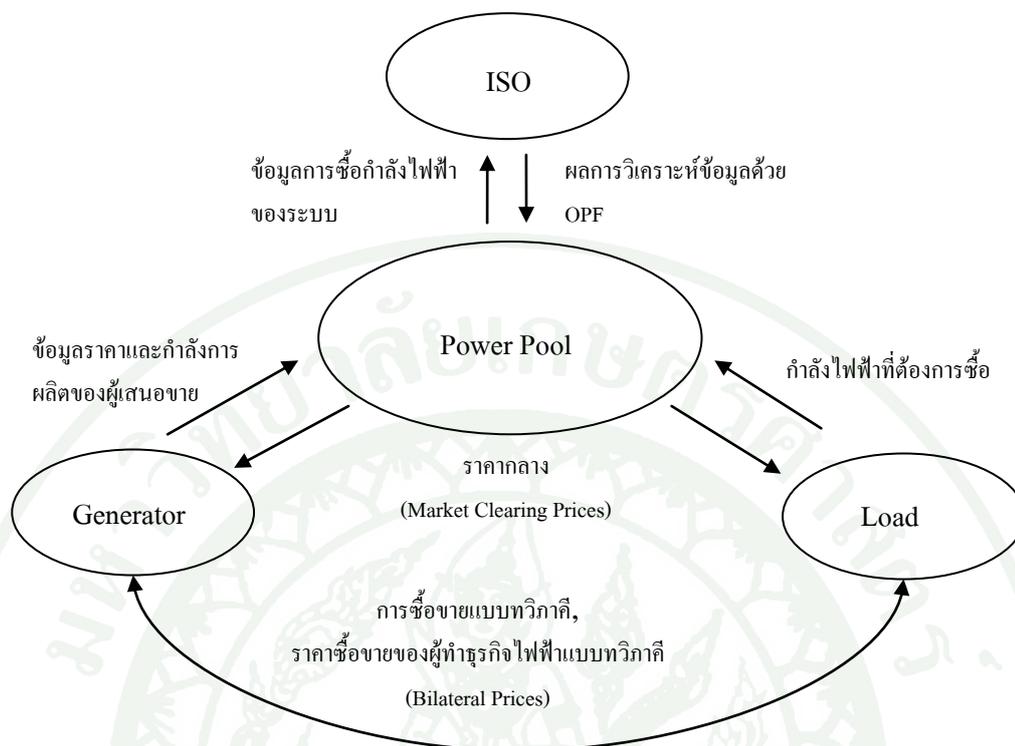
$$P_G = P_G^p + P_G^b \quad (1)$$

โดย P_G คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ผลิตต้องจ่ายให้กับโหลดทั้งระบบ [MW]
 P_G^b คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ผลิตต้องผลิตเพื่อจ่ายให้ตามที่ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีต้องการ [MW]
 P_G^p คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ผลิตต้องผลิตเพื่อจ่ายให้กับโหลดที่ซื้อขายผ่านตลาดกลาง [MW]

ทำนองเดียวกัน ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผู้ซื้อต้องการทั้งหมด จะประกอบด้วย 2 ส่วน คือ กำลังไฟฟ้าที่ต้องการซื้อจากตลาดกลางและซื้อผ่านการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี ดังสมการ (2)

$$P_D = P_D^p + P_D^b \quad (2)$$

โดย P_D คือ เวกเตอร์ ($n \times 1$) กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ซื้อต้องการทั้งระบบที่มี n บัส [MW]
 P_D^b คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ซื้อต้องการซื้อผ่านการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี [MW]
 P_D^p คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ซื้อต้องการซื้อผ่านตลาดกลาง [MW]



ภาพที่ 2 การซื้อขายกำลังไฟฟ้าเสรีผ่านตลาดกลางและแบบทวิภาคี

Galiana et al. (2002a) เสนอการศึกษาระดับความสัมพันธ์ที่เหมาะสม ในการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี ร่วมกับระบบการซื้อขายกำลังไฟฟ้าในตลาดกลาง เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการระบบซื้อขายไฟฟ้าเสรี โดยจุดประสงค์หลักคือ การศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการซื้อขายในตลาดและแบบทวิภาคีในด้านระดับการผลิตและความต้องการกำลังไฟฟ้า ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างค่าใช้จ่ายกับความเสถียรของระบบที่จะเกิดการใช้สายส่งเต็มพิกัด ดังนั้นความเข้าใจในระดับการผลิตและความต้องการกำลังไฟฟ้าในระบบ ทั้งการซื้อขายในตลาดกลางและแบบทวิภาคี จึงควรจะเป็นสิ่งที่ให้ ความสำคัญเป็นอันดับแรก การวิเคราะห์จะคำนึงถึงการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด และค่าใช้จ่ายของระบบต่อน้อยที่สุด ภายใต้ข้อจำกัดของสายส่งและระดับความสามารถในการผลิต โดยจะกำหนดให้ระดับการผลิตต่ำสุดของผู้ผลิตที่ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี ต้องผลิตกำลังไฟฟ้าเท่ากับผลรวมของกำลังไฟฟ้าที่ได้ทำสัญญาซื้อขายแบบทวิภาคีไว้แล้ว ซึ่งผลจากการคำนวณรายได้ผู้ผลิตได้ดังสมการ (3) และรายจ่ายของผู้รับกำลังไฟฟ้าได้ดังสมการ (4)

$$R_{gi} = \lambda_i(P_{gi} - P_{gi}^b) + \sum_{j=1}^n \pi_{ij} GD_{ij} - \sum_{j=1}^n \left(\frac{\lambda_j - \lambda_i}{2} \right) GD_{ij} \quad (3)$$

$$E_{di} = \lambda_j(P_{dj} - P_{dj}^b) + \sum_{i=1}^n \pi_{ij} GD_{ij} - \sum_{i=1}^n \left(\frac{\lambda_j - \lambda_i}{2} \right) GD_{ij} \quad (4)$$

- โดย R_{gi} คือ รายได้ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้า
 E_{di} คือ รายจ่ายของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้า
 λ คือ ราคากำลังไฟฟ้าที่บัสของผู้ผลิต i หรือ ผู้รับกำลังไฟฟ้า j
 P_{gi} คือ กำลังไฟฟ้าของผู้ผลิตแต่ละราย
 P_{dj} คือ กำลังไฟฟ้าของผู้ซื้อแต่ละราย
 P_{gi}^b คือ กำลังไฟฟ้าของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าแต่ละรายที่ผลิตในธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี
 P_{dj}^b คือ กำลังไฟฟ้าของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแต่ละรายที่ซื้อในธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี
 π_{ij} คือ ราคาไฟฟ้าสำหรับผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี
 GD_{ij} คือ ค่าของกำลังไฟฟ้าจริงที่ถูกส่งจากผู้ผลิตบัส i ไปยังผู้รับบัส j สำหรับผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี
 n คือ จำนวนคู่สัญญาที่ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี

สำหรับการคำนวณได้ใช้ระบบ 5 บัส โดยการซื้อขายแบบทวิภาคีนั้น เป็นการซื้อขายแบบระดับกำลังไฟฟ้าของระบบคงที่ และสามารถเลือกระดับการซื้อขายทั้ง 2 แบบ ดังนี้

1. ซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี 58.8% ของระบบ
2. ซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี 91.2% ของระบบ
3. ซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี 100% ของระบบ

จากการศึกษาทั้ง 3 กรณี พบว่า

1. กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งของ 2 กรณีแรก มีค่าเท่ากัน
2. ค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงขึ้น 0.2%

3. เนื่องจากเกิดการใช้งานสายส่งจนเต็มพิกัด ทำให้ผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าในตลาดต้องการกำลังไฟฟ้าที่แพงมากขึ้น
4. มีผลกระทบต่อราคาไฟฟ้าที่บัสอย่างชัดเจน
5. มีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าส่งกำลังไฟฟ้าของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีของแต่ละกรณีค่อนข้างมาก

Galiana et al. (2002b) เสนอการศึกษาในระดับที่เหมาะสม ในการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี ร่วมกับระบบการซื้อขายกำลังไฟฟ้าในตลาดกลาง (Pool Transaction) เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการระบบซื้อขายไฟฟ้าเสรีโดยจุดประสงค์หลักคือ การศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีในด้านระดับการผลิตและความต้องการกำลังไฟฟ้า ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความสมดุลระหว่างค่าใช้จ่ายกับความเสี่ยงของระบบที่จะเกิดการใช้สายส่งเต็มพิกัด นอกจากนี้ ยังกล่าวถึง ลักษณะการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี (Bilateral contracts) ที่มีสองลักษณะคือ สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง (Firm bilateral contract) และสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง (Nonfirm bilateral contract) โดยจะมีการเสนอราคาเพื่อการปรับลดสัญญา (Curtailment bids) ที่เกี่ยวข้องกับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง และจะมีการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา (Noncurtailment bids) ที่เกี่ยวข้องกับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงด้วย สมการการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด (Optimal Power Flow : OPF) จะถูกปรับเปลี่ยนจากสมการในเอกสารที่หนึ่งเพื่อให้เหมาะสมกับการดำเนินการในเอกสารส่วนที่สองนี้ รวมไปถึงการคิดรายได้ของผู้ผลิตไฟฟ้าที่ได้จากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีและรายได้จากการขายไฟฟ้าให้กับตลาดกลางรวมไปถึงค่าใช้จ่ายของผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ซื้อไฟฟ้า ภายใต้ข้อจำกัดของสายส่งและระดับความสามารถในการผลิต โดยจะกำหนดให้ระดับการผลิตต่ำสุดของผู้ผลิตที่ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี ต้องผลิตกำลังไฟฟ้าเท่ากับผลรวมของกำลังไฟฟ้าที่ได้ทำสัญญาซื้อขายแบบทวิภาคีไว้แล้ว

สัญญาการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี มี 2 ลักษณะ คือ

1. สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง คือ สิทธิที่ได้มาในการใช้ระบบไฟฟ้าสำหรับการจัดส่งพลังงานไฟฟ้าตามที่ต้องการ โดยการที่จะยอมให้ผู้ค้าไฟฟ้ายาไรไหนมีสิทธิที่จะทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงนั้น ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ จะเป็นผู้คอยตรวจสอบและกำหนด โดยจะคำนึงถึงความคุ้มค่าและประสิทธิภาพของระบบ ตามหลักแนวทาง

ปฏิกิริยาในปัจจุบัน สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง จะไม่ได้รับเงินชดเชยใดๆในกรณีที่ใช้ระบบสายส่งได้ไม่เต็มที่มีสมรรถนะเนื่องจากเกิดสถานะฉุกเฉิน (Emergency) ในบางตลาดซื้อขายไฟฟ้า การที่จะได้รับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงนั้น สามารถกระทำได้โดยการซื้อสิทธิ์ในการใช้สายส่ง (Transmission rights) ซึ่งเปรียบเสมือนเป็นเครื่องประกันที่ว่า จะไม่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการส่งพลังงานที่สูงแก่ผู้ทำการค้าไฟฟ้า (Height power-transfer cost) สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบมั่นคง ที่ไม่ได้ซื้อสิทธิ์ในการใช้สายส่ง ไม่ได้หมายความว่า จะเกิดผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการส่งพลังงานไฟฟ้า (Power-transfer payment) เนื่องจากว่าศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระจะไม่ยอมให้มีการยกเลิกสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบมั่นคง ถึงแม้ว่าการยกเลิกสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบมั่นคงนี้จะป็นอะไรที่น่าสนใจทางการค้าของผู้ร่วมทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีก็ตาม ในโครงสร้างตลาดการค้าไฟฟ้าแบบใหม่ บางครั้งผู้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบคงที่ อาจจะสมัครใจให้ถูกตัดกำลังไฟฟ้าได้ ด้วยเหตุผลทางการค้าหรือเพื่อความคุ้มค่าทางการเงินที่คิดว่า

ความต้องการเพื่อให้เกิดแนวทางการร่วมมือกัน ของผู้ร่วมทำการค้าไฟฟ้า ให้ไปในทิศทางเดียวกัน ผู้ร่วมทำการค้าไฟฟ้าจึงได้มีการเสนอว่า ในแต่ละสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง จะต้องได้รับการชดเชย ในกรณีที่เกิดการตัดกำลังไฟฟ้า (Curtailment) ยกเว้นในกรณีที่เกิดในสถานะฉุกเฉิน ที่ไม่ต้องชดเชย โดยค่าชดเชยที่ผู้ร่วมทำการค้าไฟฟ้าแบบสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีมั่นคงจะได้รับและปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จะถูกตัดนี้ จะถูกกำหนดโดยศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ ดังนั้นค่าใช้จ่ายสำหรับผลิตกำลังไฟฟ้าทั้งหมด (The overall generation cost) รวมกับค่าชดเชยที่ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระต้องจ่าย จะต้องถูกทำให้มีค่าน้อยที่สุด (Minimize) และเนื่องจากว่าศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ ไม่มีแหล่งทางการเงิน ดังนั้นค่าชดเชยที่ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระต้องจ่าย จะหาได้จากการเรียกเก็บจากผู้ร่วมทำการค้าในตลาดไฟฟ้าทุกคน

ถ้าผู้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบมั่นคง ไม่ต้องการที่จะถูกตัดกำลังไฟฟ้าเลย ผู้ทำสัญญาก็ต้องยอมที่จะเสนอราคาปรับลดสัญญาในราคาที่สูง (High curtailment bid) เพื่อป้องกันไม่ให้ถูกตัดกำลังไฟฟ้า แต่การกระทำแบบนี้ อาจจะเป็นการกระทำที่ไม่ดีนักเนื่องจากว่า เมื่อเกิดสถานะเกินพิกัด (Congestion) ค่าใช้จ่ายในการส่งพลังงานไฟฟ้า (Power-transfer cost) อาจจะมีค่าที่สูงมากและอาจจะทำให้ผลกำไรที่น่าจะได้จากการทำงานแบบทวิภาคีหมดไป บางครั้งผู้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง อาจจะเสนอให้ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ (ISO) ตัดกำลังไฟฟ้า ถ้าหากผู้ทำสัญญาเห็นว่าสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบมั่นคง ได้ก่อให้เกิดผลเสียต่อการค้าไฟฟ้า ผู้ทำ

สัญญาอาจจะยอมเสนอราคาปรับสัญญาไหลดแบบลบ (Negative bilateral curtailment bids) ให้แก่ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ

2. สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง คือ สิทธิที่ได้มาในการใช้ระบบไฟฟ้าสำหรับการจัดส่งกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ แต่สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง อาจจะถูกศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระตัดกำลังไฟฟ้าได้โดยที่จะไม่ได้รับการชดเชยใดๆ ถ้าหากผู้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบไม่มั่นคงต้องการไม่ให้ถูกตัดกำลังไฟฟ้า ผู้ทำสัญญาต้องเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาให้กับศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ

ปริมาณกำลังไฟฟ้าของผู้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบไม่มั่นคงที่จะถูกปรับลดสัญญาและค่าใช้จ่ายอื่นๆที่เกี่ยวข้อง จะถูกกำหนดโดยศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระเพื่อให้ค่าใช้จ่ายสำหรับผลิตกำลังไฟฟ้าทั้งหมดรวมกับค่าชดเชย ที่ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระต้องจ่ายให้กับผู้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบมั่นคงที่ถูกปรับลดกำลังไฟฟ้าและเงินที่ได้จากการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา ที่ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ ได้รับจากผู้ทำสัญญาแบบไม่มั่นคง จะต้องถูกทำให้มีค่าน้อยที่สุด การเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาที่ผู้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง จ่ายให้กับศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ จะเกิดประโยชน์ต่อผู้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงก็ต่อเมื่อ การเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญานี้ มีค่าน้อยกว่าผลกำไรที่ผู้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง จะได้รับทั้งหมด

การเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดไหลดแบบลบ (Negative noncurtailment bids) คือ การเรียกร้องค่าชดเชยจากตลาดกลาง ก็สามารถกระทำได้ ถ้าหากผู้ร่วมทำสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้าซื้อว่าการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงไม่ก่อให้เกิดผลกำไรแต่การซื้อขายกำลังไฟฟ้าผ่านตลาดกลางจะก่อให้เกิดผลกำไรที่มากกว่า

ในตลาดการค้าไฟฟ้าแบบใหม่ ได้เสนอว่า ยอมให้ทั้งผู้ซื้อและผู้ขายไฟฟ้า มีอิสระที่ยอมรับความแตกต่างของ การเสนอราคาเพื่อการปรับลดสัญญาและการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา จากแนวทางการปฏิบัตินี้ได้แสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ที่ว่า ราคาไฟฟ้าที่ได้จากการทำสัญญาซื้อขายแบบทวิภาคีนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสัญญาในระยะยาวด้วยแล้ว อาจจะทำให้ราคาซื้อขายไฟฟ้าหันเหไปจากอัตราของราคาไฟฟ้า (Spot market rate) ดังนั้นทั้งผู้ซื้อและผู้ขายไฟฟ้าจึงไม่มีความจำเป็นที่จะเห็นด้วยหรือไม่ ต่อการปรับลดสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี นอกจากนี้ทั้งผู้ซื้อและ

ผู้ขายไฟฟ้าอาจจะไม่เห็นด้วยหรือยอมรับระดับราคาของการเสนอราคาเพื่อการปรับลดสัญญาและระดับราคาของการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา ซึ่งจะขึ้นอยู่กับตัวสัญญาการซื้อขายไฟฟ้า ค่าธรรมเนียมต่างๆ รวมไปถึงผู้ร่วมทำการค้าไฟฟ้าอาจจะมีอิสระหรือถูกจำกัดด้วย

สมการการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี แบบที่มีการเสนอราคาเพื่อการปรับลดสัญญา สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง และแบบที่มีการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง

$$\text{เมื่อ} \quad GD = GDF + GDNF \quad (5)$$

โดย GD คือ เมตริกซ์ของกำลังไฟฟ้าจริงทั้งหมดที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี ที่ส่งกำลังไฟฟ้าจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อ กำลังไฟฟ้าที่บัส j

GDF คือ เมตริกซ์ของกำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ที่ส่งกำลังไฟฟ้าจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อ กำลังไฟฟ้าที่บัส j

$GDNF$ คือ เมตริกซ์ของกำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ที่ส่งกำลังไฟฟ้าจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อ กำลังไฟฟ้าที่บัส j

$$bf_{ij} = bf_{gij} + bf_{dij} \quad (6)$$

bf_{ij} คือ ราคาเสนอเพื่อการปรับลดสัญญาสุทธิ (The combined curtailment bids) ของค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ถูกส่งจากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้า บัส i ไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัส j (GDF_{ij}) ในสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง [\$/MWh]

bf_{gij} คือ ราคาเสนอเพื่อการปรับลดสัญญา ของค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ถูกส่งจากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัส i ไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัส j (GDF_{ij}) [\$/MWh] ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้า ที่มีสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง

bf_{dij} คือ ราคาเสนอเพื่อการปรับลดสัญญา ของค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ถูกส่งจากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัส i ไปยังผู้ซื้อพลังงานไฟฟ้าบัส j (GDF_{ij}) [\$/MWh] ของผู้ซื้อพลังงานไฟฟ้า ที่มีสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง

$$bnf_{ij} = bnf_{gij} + bnf_{dij} \quad (7)$$

โดย bnf_{ij} คือ ราคาเสนอเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาสุทธิ (The combined noncurtailment bids)

ของค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ถูกส่งจากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัส i ไปยังผู้ซื้อพลังงานไฟฟ้าบัส j ($GDNF_{ij}$) [\$/MWh] ในสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง

bnf_{gij} คือ ราคาเสนอเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา ของค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ถูกส่งจากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัส i ไปยังผู้ซื้อพลังงานไฟฟ้าบัส j ($GDNF_{ij}$) [\$/MWh] ของผู้ผลิตพลังงานไฟฟ้า ที่มีสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง

bnf_{dij} คือ ราคาเสนอเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา ของค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ถูกส่งจากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัส i ไปยังผู้ซื้อพลังงานไฟฟ้าบัส j ($GDNF_{ij}$) [\$/MWh] ของผู้ซื้อพลังงานไฟฟ้า ที่มีสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง

ถ้าหากค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการ ที่ได้จากการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ถูกปรับลดค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการไป ศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ จะต้องจ่ายเงินชดเชยให้กับผู้ร่วมทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง เป็นจำนวนเงินทั้งหมด [\$/h] ดังสมการสมการ (8)

$$CF_{ij} = bf_{ij}(GDF_{ij}^{req} - GDF_{ij}) \quad (8)$$

โดย CF_{ij} คือ จำนวนเงินชดเชยที่ผู้ร่วมทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ได้รับจากศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ ในกรณีที่ค่ากำลังไฟฟ้าที่ผู้ร่วมทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงต้องการ ที่จะได้จากการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงถูกปรับลดค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการไป [\$/h]

bf_{ij} คือ ราคาเสนอเพื่อการปรับลดสัญญาสุทธิ (The combined curtailment bids) ของค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ถูกส่งจากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัส i ไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัส j (GDF_{ij}) ในสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง [\$/MWh]

GDF_{ij}^{req} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ที่ต้องการจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]

GDF_{ij} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]

ถ้าหากสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงต้องการได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าเป็นจำนวน $GDNF_{ij} \leq GDNF_{ij}^{req}$ เมื่อนั้น ผู้ร่วมทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ก็จะต้องยอมจ่ายเงินให้กับศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ เป็นจำนวนเงิน [\$/h] ดังสมการ (9)

$$CNF_{ij} = bnf_{ij} GDNF_{ij} \quad (9)$$

โดย CNF_{ij} คือ จำนวนเงินที่ผู้ร่วมทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ต้องจ่ายให้กับศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ [\$/h]

bnf_{ij} คือ ราคาเสนอเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญารวมทั้งหมด (The combined noncurtailment bids) ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าและของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ของค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ถูกส่งจากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัส i ไปยังผู้รับกำลังไฟฟ้าบัส j ($GDNF_{ij}$) [\$/MWh]

$GDNF_{ij}^{req}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ที่ต้องการจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]

$GDNF_{ij}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]

สมการการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด ของระบบการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี แบบที่มีการเสนอราคาเพื่อการปรับลดสัญญา สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบ

มั่นคง และแบบที่มีการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง

$$\text{Min}_{P_g, Q_g, GDF, GDNF} C(P_g) + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b f_{ij} (GDF_{ij}^{req} - GDF_{ij}) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b n f_{ij} GDNF_{ij}$$

เมื่อ

$$\begin{aligned} (P_g, Q_g) &\in S \\ 0 &\leq GDF_{ij} \leq GDF_{ij}^{req} \\ 0 &\leq GDNF_{ij} \leq GDNF_{ij}^{req} \\ P_g &\geq P_g^b = (GDF + GDNF).e \end{aligned} \quad (10)$$

โดย $C(P_g)$ คือ ค่าใช้จ่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด
 S คือ ข้อกำหนดการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ
 e คือ เวกเตอร์ $[1 \ 1 \ 1 \ \dots \ 1]^t$ ขนาด $n \times 1$ เมื่อ n เป็นจำนวนหลักของ GD

ซึ่ง $C(P_g)$ สามารถคำนวณได้จาก

$$C(P_g) = \sum_{i=1}^n C_i(P_{gi}) \quad (11)$$

โดย $C_i(P_{gi})$ คือ ค่าใช้จ่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละรายที่เสนอให้กับตลาดกลาง
 S คือ ข้อกำหนดการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ อันได้แก่

$$P_{gi}^{\min} \leq P_{gi} \leq P_{gi}^{\max}$$

$$Q_{gi}^{\min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi}^{\max}$$

$$V_{gi}^{\min} \leq V_{gi} \leq V_{gi}^{\max}$$

$$P_g = P_d + P(\delta, V)$$

$$Q_g = Q_d + Q(\delta, V)$$

$$|P_f(\delta, V) \leq P_f^{\max}|$$

สมการรายได้และรายจ่ายทั้งหมดของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้า มีดังนี้

$$R_{gi} = R_{gi}^p + R_{gi}^b - E_{gi}^{bcl} + R_{gi}^f - E_{gi}^{nf} \quad (12)$$

เมื่อ R_{gi}^p คือ รายได้ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าแต่ละรายที่ได้จากผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับตลาดกลาง [\$/h]

$$R_{gi}^p = \lambda_i \cdot P_{gi}^p \quad (13)$$

โดย λ_i คือ ราคากำลังไฟฟ้าที่บัสของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้า i (Nodal prices หรือ Bus incremental costs) [\$/MWh]

P_{gi}^p คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าต้องผลิตเพื่อขายให้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายผ่านตลาดกลางที่บัส i [MW]

เมื่อ R_{gi}^b คือ รายได้ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าแต่ละรายที่ได้จากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี [\$/h]

$$R_{gi}^b = \sum_{j=1}^n \pi_{ij}^f GDF_{ij} + \sum_{j=1}^n \pi_{ij}^{nf} GDNF_{ij} \quad (14)$$

โดย π_{ij}^f คือ ราคาไฟฟ้าสำหรับผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีที่ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง [\$/MWh]

π_{ij}^{nf} คือ ราคาไฟฟ้าสำหรับผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีที่ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง [\$/MWh]

GDF_{ij} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]

$GDNF_{ij}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]

เมื่อ E_{gi}^{bcl} คือ รายจ่ายทั้งหมดของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าแต่ละราย
[\$/h]

$$E_{gi}^{bcl} = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^n (E_{ij}^{ctr} + E_{ij}^{bcl} + E_{ij}^{bcl}) \quad (15)$$

โดย E_{ij}^{ctr} คือ รายจ่ายค่าขึ้นยืนสถานะการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง [\$/h]

$$E_{ij}^{ctr} = b_{ij}^{ctr} GDF_{ij}^{req} \quad (16)$$

b_{ij}^{ctr} คือ อัตราราคาค่าคงสถานะการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง (Firm status rate) [\$/MWh]

GDF_{ij}^{req} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ต้องการจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]

เมื่อ E_{ij}^{bcl} คือ รายจ่ายของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าและผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง [\$/h]

$$E_{ij}^{bcl} = (\lambda_j - \lambda_i) GDF_{ij} \quad (17)$$

โดย λ_i คือ ราคากำลังไฟฟ้าที่บัสของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้า i (Nodal prices หรือ Bus incremental costs) [\$/MWh]

λ_j คือ ราคากำลังไฟฟ้าที่บัสของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า j (Nodal prices หรือ Bus incremental costs) [\$/MWh]

GDF_{ij} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]

โดย E_{ij}^{bcl} คือ รายจ่ายของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าและผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง [\$/h]

$$Enf_{ij}^{bcl} = (\lambda_j - \lambda_i) GDNF_{ij} \quad (18)$$

โดย λ_i คือ ราคากำลังไฟฟ้าที่บัสของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้า i (Nodal prices หรือ Bus incremental costs) [\$/MWh]

λ_j คือ ราคากำลังไฟฟ้าที่บัสของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า j (Nodal prices หรือ Bus incremental costs) [\$/MWh]

$GDNF_{ij}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]

เมื่อ R_{gi}^f คือ รายได้ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าแต่ละรายที่จะได้รับจากจากศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ ในกรณีที่มีค่ากำลังไฟฟ้าที่ผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าต้องการ จะได้จากการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ถูกปรับลดค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการไป [\$/h]

$$R_{gi}^f = \sum_{j=1}^n bf_{gij} (GDF_{ij}^{req} - GDF_{ij}) \quad (19)$$

โดย bf_{gij} คือ ราคาเสนอเพื่อการปรับลดสัญญา ของค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ถูกส่งจากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัส i ไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัส j (GDF_{ij}) [\$/MWh] ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้า ที่มีสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง

GDF_{ij} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]

GDF_{ij}^{req} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ต้องการจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]

เมื่อ E_{gi}^{nf} คือ รายจ่ายที่ผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าแต่ละรายต้องจ่ายให้กับศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ ถ้าหากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ทำการสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง [\$/h]

$$E_{gi}^{nf} = \sum_{j=1}^n bnf_{gij} \cdot GDNF_{ij} \quad (20)$$

โดย bnf_{gij} คือ ราคาเสนอเพื่อให้รับลดสัญญา ของค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ถูกส่งจากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัส i ไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัส j ($GDNF_{ij}$) [\$/MWh] ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้า ที่มีสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง

$GDNF_{ij}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]

สมการรายได้และรายจ่ายทั้งหมด ของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า

การคิดค่ารายรับและรายจ่ายของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า จะคิดเช่นเดียวกันกับผู้ผลิตกำลังไฟฟ้า

คือ รายจ่ายสุทธิของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแต่ละราย [\$/h]

$$E_{dj} = E_{dj}^p + E_{dj}^b + E_{dj}^{bcl} - R_{dj}^f + E_{dj}^{nf} \quad (21)$$

เมื่อ E_{dj}^p คือ รายจ่ายของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแต่ละรายที่ต้องจ่ายให้กับตลาดกลาง [\$/h]

$$E_{dj}^p = \lambda_j P_{dj}^p \quad (22)$$

โดย P_{dj}^p คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าต้องการซื้อจากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้า ที่มีการซื้อขายผ่านตลาดกลางที่บัส j [MW]

λ_j คือ ราคากำลังไฟฟ้าที่บัสของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า j (Nodal prices หรือ Bus incremental costs) [\$/MWh]

เมื่อ E_{dj}^b คือ รายจ่ายของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแต่ละรายที่เกิดจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี [\$/h]

$$E_{dj}^b = \sum_{i=1}^n \pi_{ij}^f GDF_{ij} + \sum_{i=1}^n \pi_{ij}^{nf} GDNF_{ij} \quad (23)$$

โดย π_{ij}^f คือ ราคาไฟฟ้าสำหรับผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีที่ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง [\$/MWh]

π_{ij}^{rf} คือ ราคาไฟฟ้าสำหรับผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีที่ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง [\$/MWh]

GDF_{ij} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]

$GDNF_{ij}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]

เมื่อ E_{di}^{bcl} คือ รายจ่ายทั้งหมดของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแต่ละราย [\$/h]

$$E_{dj}^{bcl} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n (Ef_{ij}^{tr} + Ef_{ij}^{bcl} + Enf_{ij}^{bcl}) \quad (24)$$

โดย Ef_{ij}^{tr} คือ รายจ่ายค่ายืนยันสถานะการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง (Firm status payment) [\$/h]

$$Ef_{ij}^{tr} = bf_{ij}^{tr} GDF_{ij}^{req} \quad (25)$$

bf_{ij}^{tr} คือ อัตราราคาค่าคงสถานะการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง (Firm status rate) [\$/MWh]

GDF_{ij}^{req} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ที่ต้องการจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]

เมื่อ Ef_{ij}^{bcl} คือ รายจ่ายของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าและผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง [\$/h]

$$Ef_{ij}^{bcl} = (\lambda_j - \lambda_i) GDF_{ij} \quad (26)$$

- โดย λ_i คือ ราคากำลังไฟฟ้าที่บัสของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้า i (Nodal prices หรือ Bus incremental costs) [\$/MWh]
- λ_j คือ ราคากำลังไฟฟ้าที่บัสของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า j (Nodal prices หรือ Bus incremental costs) [\$/MWh]
- GDF_{ij} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]

- โดย Enf_{ij}^{bcl} คือ รายจ่ายของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าและผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง [\$/h]

$$Enf_{ij}^{bcl} = (\lambda_j - \lambda_i)GDNF_{ij} \quad (27)$$

- โดย λ_i คือ ราคากำลังไฟฟ้าที่บัสของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้า i (Nodal prices หรือ Bus incremental costs) [\$/MWh]
- λ_j คือ ราคากำลังไฟฟ้าที่บัสของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า j (Nodal prices หรือ Bus incremental costs) [\$/MWh]
- $GDNF_{ij}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]

- เมื่อ R_{dj}^f คือ รายได้ของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแต่ละรายที่จะได้รับจากจากศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ ในกรณีที่มีค่ากำลังไฟฟ้าที่ผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าต้องการ จะได้จากการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ถูกปรับลดค่ากำลังไฟฟ้าที่ต้องการไป [\$/h]

$$R_{dj}^f = \sum_{i=1}^n bf_{dij} (GDF_{ij}^{req} - GDF_{ij}) \quad (28)$$

- โดย bf_{dij} คือ ราคาเสนอเพื่อการปรับลดสัญญา ของค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ถูกส่งจากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัส i ไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัส j (GDF_{ij}) [\$/MWh] ของผู้ซื้อ กำลังไฟฟ้า ที่มีสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง
- GDF_{ij} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]
- GDF_{ij}^{req} คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ที่ต้องการจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]

- เมื่อ E_{di}^{nf} คือ รายจ่ายที่ผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าแต่ละรายต้องจ่ายให้กับศูนย์ควบคุมระบบไฟฟ้าอิสระ ถ้าหากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าได้ทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง [\$/h]

$$E_{di}^{nf} = \sum_{i=1}^n bnf_{dij} \cdot GDNF_{ij} \quad (29)$$

- โดย bnf_{dij} คือ ราคาเสนอเพื่อให้ปรับลดสัญญา ของค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ถูกส่งจากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัส i ไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัส j ($GDNF_{ij}$) [\$/MWh] ของผู้ซื้อ กำลังไฟฟ้า ที่มีสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง
- $GDNF_{ij}$ คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]

สำหรับการคำนวณได้ใช้ระบบ 5 บัส โดยการซื้อขายแบบทวิภาคีนั้น จะเปรียบเทียบรายได้ และรายจ่ายของผู้ร่วมทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี โดยมีระดับการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี 2 แบบ ดังนี้

1. ซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี 100% ของระบบ และมีการเสนอราคาปรับลดสัญญา
2. ซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี 100% ของระบบ และไม่มี การเสนอราคาปรับลดสัญญา

จากการศึกษาทั้ง 2 กรณี พบว่า

การซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี 100% ของระบบ และมีการเสนอราคาปรับลดโหลดจะมีรายได้ที่สูงกว่าและมีรายจ่ายที่ต่ำกว่าการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี 100% ของระบบ และไม่มี การเสนอราคาปรับลดโหลด

ณรงค์ศักดิ์ (2551) เสนอการศึกษาการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี ในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า ในด้านการจัดสรรกำลังไฟฟ้า การไหลของกำลังไฟฟ้า และการคิดราคาสายส่ง โดยใช้หลักการไหล ของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด (Optimal Power Flow) พร้อมเสนอการคิดราคาสายส่งสำหรับผู้ค้าในตลาด ทั้งหมดด้วยราคาไฟฟ้าที่บัส (Nodal Price) การศึกษาได้ใช้โปรแกรม MATLAB ชื่อ MATPOWER ที่เพิ่มฟังก์ชัน โปรแกรมคำนวณการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีในระบบ 30 บัส โดยทดสอบระบบ ด้วยหลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด ในกรณี ดังนี้ กรณีแรก ศึกษาระบบที่มีการทำธุรกิจไฟฟ้า แบบทวิภาคี ผู้ผลิตและผู้ซื้อทำการซื้อขายผ่านตลาดกลางทั้งหมด กรณี 2 ระบบมีการทำธุรกิจไฟฟ้า แบบทวิภาคี 1 คู่ โดยผู้ซื้อที่บัส 2 ซื้อกำลังไฟฟ้าที่ต้องการทั้งหมดจากผู้ผลิตที่บัส 2 กรณีสุดท้าย เมื่อ ระบบมีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีหลายคู่ โดยโหลดที่บัส 2, 7 และ 8 ซื้อกำลังไฟฟ้าจากบัส 2 จากการ ใช้หลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด ได้คำนวณและเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสายส่ง รายได้ของ ผู้ผลิต และรายจ่ายของผู้รับซื้อกำลังไฟฟ้า ทั้งกรณีที่มีและไม่มีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี

ผลจากการศึกษาระบบ 30 บัส แสดงให้เห็นว่าการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี ส่งผลให้การ ไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบและราคาที่บัสมีการเปลี่ยนแปลงหากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตที่ระดับ ข้อจำกัด ซึ่งทำให้ค่าสายส่งเพิ่มขึ้นทั้งระบบ ผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าผ่านธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีอาจได้ ราคาที่ถูกลง แต่ต้องประสบกับราคาสายส่งที่เพิ่มขึ้นหากการชื้อขายนั้นทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง กับการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุดของระบบ นอกจากนี้ยังชี้ให้เห็นว่าการคิดราคาสายส่งด้วย ราคาที่บัสอาจสามารถใช้เป็นเครื่องมือให้ผู้ดูแลระบบจัดการการใช้สายส่งได้

เอกสกล (2547) เสนอการเขียน โปรแกรมคอมพิวเตอร์ จำลองสถานะการซื้อขายไฟฟ้าใน ตลาดซื้อขายไฟฟ้าเสรี ที่มีการซื้อขายไฟฟ้านอกตลาดกลาง ร่วมกับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาด กลาง เพื่อศึกษาการจัดการตลาดในด้านกำลังการผลิตของผู้ผลิต และกำลังไฟฟ้าที่ต้องการของผู้ใช้ ไฟฟ้าแต่ละรายในทุกสถานะ เพื่อเป็นแนวทางในการหาวิธีจัดการ ออกกฎข้อบังคับที่เป็นธรรม กับทุกฝ่ายหรือเป็นแนวทางในการเลือกซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางหรือนอกตลาดกลางของผู้ผลิต และผู้ใช้ไฟฟ้า หลักการทำงานของโปรแกรม ในสถานะปกติจะใช้หลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ ดีที่สุด โดยวิธีประมาณ (DC Optimal Power Flow) เพื่อให้มีต้นทุนการผลิตต่ำที่สุดและทุกรายการชื้อ

ขายได้รับกำลังไฟฟ้าที่ต้องการเต็มที่ แต่ถ้ระบบเกิดสถานะเกินพิกัด จะมีการใช้ค่าน้ำหนัก (Weight) ซึ่งแปรผันตามเงินจ่ายเพิ่มพิเศษในการจัดลำดับความสำคัญ เพื่อตัดสินใจลดกำลังไฟฟ้าที่ต้องการของแต่ละรายการซื้อขาย เพื่อแก้ไขสถานะเกินพิกัด ตามรูปแบบการจัดการซื้อขายไฟฟ้า เมื่อเกิดสถานะเกินพิกัด โปรแกรมได้ใช้ทดสอบกับระบบทดสอบ 5 บัส พบว่าการซื้อขายไฟฟ้านอกตลาดกลางที่บัสปลายทางมีโอกาสทำให้เกิดผลกระทบต่อการซื้อขายอื่นๆมาก และการซื้อขายนอกตลาดกลางหลายรายการ เมื่อเกิดสถานะเกินพิกัด ถึงแม้ว่าจะมีค่าน้ำหนักเท่ากัน แต่จะถูกตัดกำลังไฟฟ้าที่ต้องการไม่เท่ากัน การซื้อขายไฟฟ้านอกตลาดกลางที่ไกลจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามากกว่า จะถูกตัดกำลังไฟฟ้าที่ต้องการมากกว่า ส่วนการซื้อขายไฟฟ้านอกตลาดกลางที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะไม่ถูกตัดกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ

3. การจัดการกับสถานะเกินพิกัด (Congestion Management)

Padhy et al. (2002) เสนอการวิเคราะห์การจัดการการเกิดสถานะเกินพิกัด (Congestion) ของโมเดลไฟฟ้าแบบผสม (Hybrid Model) ทั้งกำลังไฟฟ้าจริง (real power) และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (reactive power) ของระบบไฟฟ้า โมเดลแบบผสมนี้จะคำนวณการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีที่ดีที่สุดและผลจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี ที่ทำให้เกิดการตัดโหลดไฟฟ้าขึ้น โดยจะแบ่งเป็นสองขั้นตอนดังนี้ ขั้นตอนแรก จะใช้หลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุดแบบ classical gradient descent เพื่อคำนวณหาชุดวิธีการตัดไฟฟ้าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของความแตกต่างทั้งหมดของการซื้อขายกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ส่วนในขั้นตอนที่สอง fuzzy decision opinion matrix จะถูกนำมาใช้เพื่อเลือกแผนการซื้อขายไฟฟ้าที่ดีที่สุด (optimal transaction) โดยจะคำนึงถึงการเพิ่มขึ้นของการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี การลดลงเป็นเปอร์เซ็นต์ของการตัดไฟฟ้า และการเปลี่ยนแปลงที่ตามมาของค่าใช้จ่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (cost generation) และผลกำไรในหน่วยเปอร์เซ็นต์ โดยระบบที่ใช้ทดสอบนี้จะเป็นระบบ IEEE 30 บัส

Chieh Hsieh et al. (2002) ได้เสนอการแบ่งสรรค่าใช้จ่ายเมื่อเกิดสถานะเกินพิกัดและตัวตรวจเช็คสถานะเกินพิกัดของตลาดการค้าไฟฟ้า เมื่อเกิดสถานะเกินพิกัดขึ้น การจัดสรรค่าพลังงานไฟฟ้าส่วนเกินใหม่ (Re-dispatch) ก็จะถูกทำให้อยู่ในรูปของ minimization problem โดยมีฟังก์ชันเป้าหมายเป็นผลรวมกำลังสองของตัวแปรกำลังไฟฟ้าที่ผลิต กำลังไฟฟ้าที่ไหลไปยังสายไฟฟ้าที่เกิดสถานะเกินพิกัดของแต่ละผู้ผลิต จะคำนวณโดยใช้ generation distribution factors และค่าใช้จ่ายที่เกิดจากสถานะเกินพิกัด จะพิจารณาจากอัตราส่วนของปริมาณไฟฟ้าที่ไหลในสายไฟฟ้าที่เกิด

สภาวะเกินพิกัด จะนำค่าน้ำหนัก(weight)มาใช้กับกรณีที่เกิดสภาวะเกินพิกัดกับสายไฟฟ้าหลายเส้น และได้นำเสนอตัวชี้วัดสภาวะเกินพิกัด 2 ตัว คือ Average Congestion index และ Varying Congestion Index ซึ่งจะเป็นตัวบอกสภาวะการเกิดสภาวะเกินพิกัดในระบบไฟฟ้า โดยระบบที่ใช้ทดสอบนี้จะเป็นระบบ IEEE 14 บัส

Ferreira et al. (2007) เสนอโปรแกรมที่ใช้จัดการกับสภาวะเกินพิกัด (Congestion management) และเสนอโปรแกรมที่ใช้คำนวณค่าใช้จ่ายของระบบสายส่งในตลาดการค้าไฟฟ้าเสรี การจัดการกับสภาวะเกินพิกัดจะอยู่บนพื้นฐานของการปรับปรุงสูตรการคำนวณหลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด (Optimal Power Flow) โดยจะมีเป้าหมายสำคัญเพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการแก้ปัญหา การจัดสรรกำลังการผลิตไฟฟ้าโดยจะมีศูนย์ปฏิบัติการทางการตลาด (Market operator) เป็นผู้ดูแล การคิดค่าสายส่ง (Transmission price) จะพิจารณาจากผลกระทบทางกายภาพที่เกิดจากผู้ร่วมค้า ไฟฟ้าในระบบสายส่ง และยังมีค่าธรรมเนียม (Tariff) อื่นๆ เช่นค่าใช้จ่ายเพื่อที่จะให้ระบบยังอยู่ได้ ค่าใช้จ่ายเมื่อเกิดสภาวะเกินพิกัดเบื้องต้นและค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสีย โดยระบบที่ใช้ทดสอบนี้จะเป็น ระบบ IEEE 30 บัส

Yunhe Hou and Felix (2007) ได้ศึกษาความเสี่ยงของการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีในระยะยาว โดยจะนำเสนอโมเดลการคิดราคาการทำสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีในระยะยาวและความเสี่ยงที่จะเกิดจากสภาวะเกินพิกัด โดยโมเดลที่นำเสนอนี้ จะมีรายได้จากการเจรจา สัญญา (The negotiated income) ตัวแปรของราคาเชื้อเพลิง (Variable fuel cost) ความเสื่อมราคา ของการลงทุน (Investment depreciation) และค่าใช้จ่ายสภาวะเกินพิกัด (Congestion payment) มา เกี่ยวข้องในสัญญาทั้งหมด ค่าใช้จ่ายสภาวะเกินพิกัดจะคำนวณโดยวิธี หลักการไหลของกำลังไฟฟ้า ที่ดีที่สุดแบบ AC (AC Optimal Power Flow) และ ค่าค่าใช้จ่ายสภาวะเกินพิกัดจะใช้วิธี 2n-concentration ในการคำนวณหาค่าใช้จ่ายสภาวะเกินพิกัด แทนวิธี Monte Carlo เมื่อเปรียบเทียบวิธี 2n-concentration กับวิธี Monte Carlo แล้ว วิธี 2n-concentration จะใช้เวลาน้อยกว่าวิธี Monte Carlo ในการคำนวณหาค่าใช้จ่ายสภาวะเกินพิกัดที่ยอมรับได้

Hussin et al. (2006) ได้นำเสนอการจัดการกับสภาวะเกินพิกัด (Congestion management) ในตลาดซื้อขายไฟฟ้าเสรี (Electricity market) มีการเปรียบเทียบกันระหว่างทฤษฎีเดิมที่มีอยู่ใน ปัจจุบันกับทฤษฎีใหม่ที่ได้นำเสนอในการจัดสรรค่าธรรมเนียมที่ต้องจ่ายเมื่อเกิดสภาวะเกินพิกัด

(Congestion charge) ของผู้ค้ากำลังไฟฟ้าทั้งหมด โดยจะใช้ระบบไฟฟ้า 3 บัส เพื่อการศึกษาและมีการแสดงผลที่ได้จากการใช้ทฤษฎีเดิมและทฤษฎีใหม่ที่ได้นำเสนอ

4. การคิดค่าสายส่ง

Shirmohammad et al. (1996) เสนอเทคนิคพื้นฐานเพื่อคิดค่าใช้จ่ายระบบด้วยราคาสายส่ง พร้อมยกตัวอย่างหลักการเบื้องต้นของการคิดราคาสายส่งและแสดงวิธีคิดราคาสายส่งจากค่าสายส่งที่คิดค่าเดิม นอกจากนี้ยังได้อธิบายถึงรูปแบบและวิธีที่ใช้ในแง่ประสิทธิภาพและความคุ้มค่าในทางเศรษฐศาสตร์ บทสรุปของบทความได้จากการนำบางรูปแบบที่เสนอไปประยุกต์ใช้กับการคิดราคาสายส่งในประเทศบราซิล ส่วนสำคัญในการพิจารณาราคาสายส่งคือ ต้องพิจารณาอย่างมีเหตุผลและถูกต้องตามหลักการ ซึ่งหลักการคิดค่าใช้จ่ายสายส่งด้วยราคาสายส่งนั้นนับเป็นมูลค่าเพิ่มเติมที่สำคัญและมีองค์ประกอบจากหลายส่วนตามตัวอย่างในแต่ละรูปแบบ นอกจากนี้ยังเสนอแนวทางการใช้งานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพและความคุ้มค่าแก่ระบบให้มากที่สุด โดยเป้าหมายสูงสุดคือ การนำกลไกราคาสายส่งไปหมุนให้ค่าใช้จ่ายของผู้ใช้ไฟลดลง

Singh et al. (1998) เสนอการศึกษาการจัดการค่าใช้จ่ายอันเกิดจากข้อจำกัดของสายส่งในตลาดไฟฟ้าเสรี เช่น การใช้สายส่งเต็มพิกัด ซึ่งได้ยกตัวอย่าง 2 วิธี วิธีแรกใช้ราคาที่บัส (Nodal Prices) จากการซื้อขายผ่านตลาดกลาง (Pool) และวิเคราะห์องค์ประกอบทางการเงินเพื่อให้การใช้ราคาที่บัสมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมยกตัวอย่างการทดสอบกับระบบขนาดใหญ่ วิธีที่สอง การแบ่งค่าใช้จ่ายสำหรับการซื้อขายแบบทวิภาคี (Bilateral) พร้อมอธิบายพื้นฐานของวิธีการ อันประกอบด้วย game-theoretic ซึ่งใช้คำนวณในบางส่วน ทั้งการซื้อขายผ่านตลาดกลางและแบบทวิภาคีนั้น เป็นประเด็นที่ระบบไฟฟ้าที่ปรับโครงสร้างเช่น แคลิฟอร์เนีย ต้องทำความเข้าใจในแง่เศรษฐศาสตร์ให้มากขึ้นเพราะยังเป็นเรื่องใหม่ของระบบไฟฟ้า โดยราคาที่บัสนั้นให้ผลราคาที่ถูกต้องตามตำแหน่งติดตั้งก็จริง แต่จะมีความแตกต่างของราคาอย่างไม่มีกฎเกณฑ์หากนำไปใช้กับผู้ขายแบบทวิภาคี ส่วนสำคัญของราคาที่บัสนั้น เกี่ยวข้องกับการเป็นเครื่องมือทางการเงิน ซึ่งยังไม่เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไป เพื่อจัดการใช้สายส่งเต็มพิกัดจากการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี ทำให้การจัดสรรกำลังไฟฟ้าของส่วนกลางเป็นไปอย่างจำกัด ถึงแม้ฟังก์ชันเป้าหมายสำหรับจัดการการใช้สายส่งเต็มพิกัดจะไม่แน่ชัด แต่สามารถใช้สมการค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดได้ ซึ่งการจัดสรรระบบที่มีขีดจำกัดทั้ง 2 แบบ ควรให้ผลต่างของค่าใช้จ่ายที่เกิดจากขีดจำกัดของระบบที่ผู้ซื้อไฟต้องจ่ายมีค่าเท่ากัน

Gedra (1999) เสนอวิธีคำนวณราคาที่ใช้สายส่งที่มากที่สุด ค่าใช้สายส่งเต็มพิกัด พร้อมยกตัวอย่างประกอบ โดยใช้ค่าประมาณจาก (DC Load Flow) และแสดงค่าใช้จ่ายของระบบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่ง นอกจากนี้ยังวิเคราะห์การขยายสายส่งและยกตัวอย่างการศึกษาการทำสัญญาซื้อขายในระยะยาว ทั้งมาตรการป้องกันและการลงทุน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าการทำสัญญาในระบบด้วยมาตรการราคาในระยะยาวเป็นการส่งเสริมให้มีการลงทุนทั้งผู้ผลิตและผู้ซื้อ และมีโอกาสป้องกันความเสี่ยงในเรื่องของราคาได้ ซึ่งเป็นข้อดีของการทำสัญญาซื้อขายล่วงหน้า อย่างไรก็ตามยังเป็นการไม่เหมาะสม ที่จะใช้การเก็บค่าใช้สายส่งเต็มพิกัดเพื่อส่งเสริมให้มีการลงทุนในระบบสายส่ง

Leotard and IliC (1999) เสนอปัญหาของค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของระบบไฟฟ้าที่ประกอบด้วยหลายส่วน ซึ่งถือว่าฟังก์ชันของราคาที่ใช้ในการจัดสรรกำลังไฟฟ้าในปัจจุบันนั้นเป็นฟังก์ชันที่ดีแล้ว แต่ในบทความที่ได้นำเสนอว่า ฟังก์ชันเป้าหมายของระบบสายส่งไม่สามารถวิเคราะห์แยกจากระบบผลิตอย่างเป็นอิสระได้ ในงานเสนอหลายชิ้นได้เสนอว่า การวิเคราะห์สายส่งในระยะสั้นจะขึ้นกับแหล่งจ่ายของระบบ ส่วนการวิเคราะห์ในระยะยาวขึ้นกับระบบสายส่งเพียงอย่างเดียว แต่เนื่องจากรายได้ของระบบที่เกิดขึ้นมาจากผู้ซื้อไฟเพียงฝ่ายเดียว ซึ่งต้องจ่ายตามกำลังการผลิต ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบสายส่งจึงไม่อาจแยกตัวออกจากระบบผลิตได้

Chen et al. (2002) เสนอการศึกษารายละเอียดขององค์ประกอบราคาที่ใช้ (Nodal Prices) ที่มีส่วนสัมพันธ์กับองค์ประกอบต่างๆ เช่น กำลังการผลิต, การใช้สายส่งเต็มพิกัด, ข้อจำกัดของแรงดันไฟฟ้า และ ข้อจำกัดหรือองค์ประกอบอื่นๆ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวไม่เพียงนำไปปรับปรุงประสิทธิภาพระบบและจัดการการใช้สายส่งเต็มพิกัดได้เท่านั้น แต่ยังใช้กำหนดราคาไฟฟ้าได้อย่างมีเหตุผล หรือใช้เป็นเครื่องมือชี้ถึงความคุ้มค่าในการลงทุนในระบบผลิตและระบบสายส่ง

Gil et al. (2006) เสนอวิธีแบ่งค่าใช้จ่ายสายส่งด้วยการควบคุมราคาไฟฟ้าที่บัส วิธีที่ใช้จะเกี่ยวกับการผลิตและการใส่กำลังไฟฟ้าเข้าไปในบัสในการคำนวณการจัดสรรกำลังไฟฟ้าทั่วไป เพื่อให้เกิดผลต่างของราคาที่ใช้ ที่ครอบคลุมความต้องการรายได้จากการใช้สายส่งเต็มพิกัด ราคาไฟฟ้าแบบใหม่ไม่เพียงสะท้อนค่าใช้จ่ายอันเกิดจากข้อจำกัดของสายส่ง แต่ยังสะท้อนถึงค่าใช้จ่ายที่เป็นต้นทุนของระบบด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)
2. ระบบปฏิบัติการ Window xp
3. โปรแกรม Microsoft office
4. โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ข้อมูลทางวิศวกรรม MATLAB 7.9

วิธีการ

งานวิจัย เริ่มจากการรวบรวมข้อมูลปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จะซื้อขายในระบบทดสอบ IEEE 14 บัส รวมทั้งข้อมูลการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี จากนั้น ใช้การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่ให้ผลดีที่สุด มาช่วยในการคำนวณวิเคราะห์ จะทำให้ทราบถึงปริมาณกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในแต่ละสายส่ง แรงดันไฟฟ้า มุมเฟสของแต่ละบัสและราคาที่บัส แต่ถ้ระบบไม่สามารถรองรับหรือระบบเกิดสภาวะติดขัด (Congestion) อันเนื่องมาจากเกิดการติดขัดของสายส่ง (Transmission Congestion) จนไม่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้ตามสัญญาที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี ผู้ดูแลระบบ จะต้องใช้ราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาสำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงและสำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง รวมไปถึงราคาของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง ซึ่งมีหน่วยเป็น \$/MW มาปรับลดกำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี เพื่อแก้ไขปัญหาการเกิดสภาวะเกินพิกัดของระบบ โดยผู้ที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงจะต้องเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาในราคาที่สูงกว่าผู้ที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงในราคาที่สูงกว่ามาก โดยปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ถูกปรับลดจะแปรผันผกผันกับปริมาณราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาที่จ่ายและกำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีที่ถูกปรับลดกำลังไฟฟ้า จะถูกปรับเปลี่ยนให้ไปซื้อกำลังไฟฟ้าจากตลาดกลางแทน โดยที่โหนดรวม ณ บัสใดๆจะมีค่าคงที่และไม่มีการตัดโหลด

การคำนวณมีตัวแปรดังต่อไปนี้

P_{Gi}^P	คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ผลิตต้องผลิตเพื่อจ่ายให้กับโหลดที่ซื้อขายผ่านตลาดกลางที่บัส i [MW]
P_{Gi}^{\max}	คือ กำลังการผลิตสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i [MW]
P_{Gi}^{\min}	คือ กำลังการผลิตต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i [MW]
Q_{Gi}	คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายเข้าบัส i [MW]
Q_{Di}	คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าเสมือนที่บัส i [MW]
Q_{Gi}^{\max}	คือ กำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าเสมือนสูงสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i [MW]
Q_{Gi}^{\min}	คือ กำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าเสมือนต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i [MW]
V_i	คือ ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัส i [V]
$V_{i,\max}$	คือ พิกัดสูงสุดของแรงดันที่บัส i [V]
$V_{i,\min}$	คือ พิกัดต่ำสุดของแรงดันที่บัส i [V]
a_i, b_i, c_i	คือ ค่าสัมประสิทธิ์ต้นทุนการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส i
P_{Gij}^F	คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ผลิตต้องส่งให้ผู้ซื้อในการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อ กำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]
$P_{Dij}^{F,req}$	คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ที่ต้องการจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อ กำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]
P_{Dij}^F	คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อ กำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]
P_{Gij}^{NF}	คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ผลิตต้องส่งให้ผู้ซื้อในการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อ กำลังไฟฟ้าที่บัส j [MW]
$P_{Dij}^{NF,req}$	คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ที่ต้องการจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อ กำลังไฟฟ้าที่ บัส j [MW]
P_{Dij}^{NF}	คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ได้รับการจัดสรรจากการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ที่ส่งจากบัส i ของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อ กำลังไฟฟ้าที่ บัส j [MW]
P_{Di}	คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ต้องการที่บัส i [MW]
P_{Di}^P	คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ตลาดกลางต้องการที่บัส i [MW]
P_{li}	คือ กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่ง l [MW]
P_{li}^{\max}	คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่ง l [MW]

B_{ij}^F	คือ ราคาเสนอเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา ของค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ ถูกส่งจากผู้ผลิต กำลังไฟฟ้า บัส i ไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า บัส j ในสัญญาซื้อขาย ไฟฟ้าแบบทวิภาคี แบบมั่นคง [\$/MWh]
B_{ij}^{NF}	คือ ราคาเสนอเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา ของค่ากำลังไฟฟ้าจริงที่ถูกส่งจากผู้ผลิต กำลังไฟฟ้า บัส i ไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า บัส j [\$/MWh] ในสัญญาซื้อขายไฟฟแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง
B_i^P	คือ ราคาของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง [\$/MWh]
$P_i(V, \delta)$	คือ กำลังไฟฟ้าจริงทั้งหมดที่ไหลเข้าบัส i [MW]
$Q_i(V, \delta)$	คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนทั้งหมดที่ไหลเข้าบัส i [MW]
$P_{ik}(\delta_i, \delta_k)$	คือ กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัส i และบัส k [MW]
$S_i(\delta, V)$	คือ กำลังไฟฟ้าสุทธิที่ไหลในสายส่งที่ i [MW]
S_l^{\max}	คือ พิกัดสูงสุดของสายส่งที่ l [MW]
δ_i	คือ มุมของแรงดันที่บัส i
δ_k	คือ มุมของแรงดันที่บัส k
I_{gen}	คือ เซตของบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
I_{bus}	คือ เซตของบัสในระบบ
I_{line}	คือ เซตของสายส่งในระบบ
I_F	คือ เซตของบัสที่ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง
I_{NF}	คือ เซตของบัสที่ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง
I_{load}	คือ เซตของบัสที่มีโหลด

เนื่องจากงานวิจัยนี้ จึงได้ศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาสภาวะเกินพิกัด ของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี ภายใต้สัญญาการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี 2 แบบ คือ สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงและสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ดังนั้น จึงสามารถเขียนค่า P_G^b และค่า P_D^b ได้ใหม่ดังสมการที่ (30) และ (31)

$$P_G^b = P_G^F + P_G^{NF} \quad (30)$$

โดย P_G^F คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ผลิตต้องผลิตเพื่อจ่ายให้ตามที่ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงต้องการ [MW]

P_G^{NF} คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ผลิตต้องผลิตเพื่อจ่ายให้ตามที่ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงต้องการ [MW]

$$P_D^b = P_D^F + P_D^{NF} \quad (31)$$

โดย P_D^F คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ซื้อต้องการซื้อผ่านการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงต้องการ [MW]

P_D^{NF} คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ผู้ซื้อต้องการซื้อผ่านการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงต้องการ [MW]

ดังนั้น แทนค่าสมการที่ (30) ในสมการที่ (1) และแทนค่าสมการที่ (31) ในสมการที่ (2)

จะสามารถเขียนสมการ P_G และสมการ P_D ได้ใหม่ดังสมการที่ (32) และ (33)

$$P_G = P_G^P + P_G^F + P_G^{NF} \quad (32)$$

$$P_D = P_D^P + P_D^F + P_D^{NF} \quad (33)$$

ในการซื้อขาย ผู้ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีต้องเสนอข้อมูลการซื้อขายให้กับตลาดกลาง เช่นเดียวกับผู้ซื้อและผู้ผลิตที่ซื้อขายผ่านตลาดกลาง ข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งให้กับศูนย์ควบคุมไฟฟ้าอิสระ เพื่อวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่ให้ผลดีที่สุด หากปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จะซื้อขายทำให้ระบบขาดเสถียรภาพทางไฟฟ้า อาจจำเป็นต้องปรับปริมาณกำลังไฟฟ้าในส่วนของตลาดกลางหรือส่วนของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี หรือทั้งสองส่วน

ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ความต้องการกำลังไฟฟ้าของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าทั้งหมดมีค่าคงที่ กรณีที่ไม่มีผลกระทบต่อระบบเกินที่จะยอมรับ ศูนย์ควบคุมไฟฟ้าอิสระจะส่งข้อมูลจากการวิเคราะห์ให้กับตลาดกลาง ให้แก่ผู้ผลิตและผู้ซื้อผ่านตลาดกลาง ส่วนราคาซื้อขายของผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีนั้น ตลาดกลางจะไม่ทราบข้อมูลเนื่องจากราคาซื้อขาย ผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีจะตกลงราคาตัวเอง ดังแสดงในภาพที่ 2

1. วิธีการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่ให้ผลดีที่สุด (OPF) เมื่อระบบมีการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมโดยใช้การเสนอราคาปรับลดสัญญา

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ให้ผลดีที่สุด จะนำเส้นโค้งราคา และข้อมูลระบบ ที่จำกัดความจุของสายส่ง(ฤดูกาลผนวก) เพื่อศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้า โดยถือว่าความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบมีค่าคงที่ และคำนึงถึงค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด (Galiana et al., 2002b)

รูปแบบทั่วไปของสมการ OPF ที่มีการปรับปรุงฟังก์ชันเป้าหมายนี้ จะอยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์ ในรูปของฟังก์ชันที่ประกอบด้วยฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) ภายใต้อื่นไขของสมการ (Constraints) การทำงานที่เหมาะสมไม่เกินขีดจำกัด (Limit) ของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เขียนอยู่ในรูปสมการคณิตศาสตร์แบบเงื่อนไขบังคับสมการ (Equality Constraints) และเงื่อนไขบังคับสมการ (Inequality Constraints)

ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) ของระบบการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี แบบที่มีการเสนอราคาเพื่อเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงและสำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงและที่มีการเสนอราคาซื้อขายผ่านตลาดกลาง

เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใดๆ อาจจะผลิตกำลังไฟฟ้าจริงเพื่อขายให้กับทั้งผู้ซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและผู้ซื้อไฟฟ้าผ่านการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีทั้งแบบมั่นคงและแบบไม่มั่นคง ดังนั้น กำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายเข้าบัส i คือ

$$P_{Gi} = P_{Gi}^P + \sum_{I_F} P_{Dij}^F + \sum_{I_{NF}} P_{Dij}^{NF} \quad (34)$$

ในทำนองเดียวกัน ความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้า มีทั้งความต้องการกำลังไฟฟ้าจากการซื้อไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง และจากการซื้อขายกำลังไฟฟ้าผ่านการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีทั้งแบบมั่นคงและแบบไม่มั่นคง ดังนั้น ความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i คือ

$$P_{Di} = \sum_{k \in I_F} P_{D_{ki}}^F + \sum_{k \in I_{NF}} P_{D_{ki}}^{NF} + P_{Di}^P \quad (35)$$

ดังนั้นจะได้ฟังก์ชันเป้าหมายใหม่ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{Min} \sum_{i=1}^{NG} \left[a_i + b_i (P_{Gi}^P + \sum_{I_F} P_{Dij}^F + \sum_{I_{NF}} P_{Dij}^{NF}) + c_i \left(P_{Gi}^P + \sum_{I_F} P_{Dij}^F + \sum_{I_{NF}} P_{Dij}^{NF} \right)^2 \right] \\ + \sum_{I_F} B_{ij}^F (P_{Dij}^{F,req} - P_{Dij}^F) + \sum_{I_{NF}} B_{ij}^{NF} (P_{Dij}^{NF,req} - P_{Dij}^{NF}) - \sum_{I=1}^N B_i^P (P_{Di}^P) \end{aligned} \quad (36)$$

เงื่อนไขบังคับสมการ (Equality constraints) ได้แก่

ก. สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าจริง

$$P_i(V, \delta) = \left[P_{Gi}^P + \sum_{i \in I_F} P_{Dij}^F + \sum_{i \in I_{NF}} P_{Dij}^{NF} \right] - \left[\sum_{k \in I_F} P_{D_{ki}}^F + \sum_{k \in I_{NF}} P_{D_{ki}}^{NF} + P_{Di}^P \right] ; i \in I_{bus} \quad (37)$$

ข. สมการการไหลของกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ

$$Q_i(V, \delta) = Q_{Gi} - Q_{Di} ; i \in I_{bus} \quad (38)$$

ค. สมการความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงสมดุล ณ บัสที่ i ใช้ควบคุมความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงรวมของระบบที่บัส i ให้มีค่าตามที่ต้องการ

$$\sum_{k \in I_F} P_{D_{ki}}^F + \sum_{k \in I_{NF}} P_{D_{ki}}^{NF} + P_{Di}^P = P_{Di} ; i \in I_{bus} \quad (39)$$

โดยที่โหลดรวม ณ บัสใดๆ ต้องมีค่าเท่ากับ P_{Di} และไม่มี การตัดโหลด

เงื่อนไขบังคับอสมการ (Inequality constraints) ได้แก่ ข้อจำกัดของปริมาณทางไฟฟ้าในระบบส่งไฟฟ้า

ก. พิกัดกำลังไฟฟ้าจริงสูงสุดและต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$P_{Gi}^{\min} \leq P_{Gi}^P + \sum_{I_F} P_{Dij}^F + \sum_{I_{NF}} P_{Dij}^{NF} \leq P_{Gi}^{\max} \quad ; i \in I_{gen} \quad (40)$$

ข. เงื่อนไขกำลังไฟฟ้าตามสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงที่ได้รับการจัดสรร P_{Dij}^F เป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$0 \leq P_{Dij}^F \leq P_{Dij}^{F,req} \quad ; i \in I_F, j \in I_F \quad (41)$$

ซึ่งเป็นการบังคับให้ระบบจัดสรรกำลังไฟฟ้าจริงของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ไม่เกินกว่าที่ตกลงไว้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าจริงแบบทวิภาคีแบบมั่นคง

ค. เงื่อนไขกำลังไฟฟ้าตามสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงที่ได้รับการจัดสรร P_{Dij}^{NF} เป็นไปตามสมการต่อไปนี้

$$0 \leq P_{Dij}^{NF} \leq P_{Dij}^{NF,req} \quad ; i \in I_{NF}, j \in I_{NF} \quad (42)$$

ซึ่งเป็นการบังคับให้ระบบจัดสรรกำลังไฟฟ้าจริงของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ไม่เกินกว่าที่ตกลงไว้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าจริงแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง

ง. เงื่อนไขกำลังไฟฟ้าจริงที่ตลาดกลางต้องการ ต้องมีค่าไม่เป็นลบ

$$0 \leq P_{Di}^P \quad ; i \in I_{load} \quad (43)$$

จ. พิกัดกำลังไฟฟ้าเสมือนสูงสุดและต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

$$Q_{Gi}^{\min} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi}^{\max} \quad ; \quad i \in I_{gen} \quad (44)$$

ฉ. พิกัดสูงสุดและต่ำสุดของแรงดันที่บัส

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \quad ; \quad i \in I_{bus} \quad (45)$$

ช. พิกัดสูงสุดของกำลังไฟฟ้าสุทธิที่ไหลในสายส่ง

$$|S_i(\delta, V)| \leq S_i^{\max} \quad ; \quad i \in I_{line} \quad (46)$$

แก้ปัญหา OPF ของระบบที่มีการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี แบบที่มีการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงและสำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงและที่มีการเสนอราคาซื้อขายผ่านตลาดกลาง ตามสมการที่ (36) ถึงสมการที่ (46) สามารถคำนวณได้โดยการเขียนโปรแกรมในโปรแกรม MATLAB ผลจากการคำนวณ จะทำให้ทราบถึงปริมาณกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายผ่านตลาดกลาง ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายแบบทวิภาคี กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง ข้อจำกัดของระบบ มุมเฟสของแต่ละบัส และราคาที่บัส

ในกรณีที่ระบบเกิดสถานะติดขัด (Congestion) อันเนื่องมาจากเกิดการติดขัดของสายส่ง (Transmission Congestion) จนไม่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้ตามสัญญาที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี โปรแกรม MATLAB ที่เขียนฟังก์ชันหลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด ของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี จะทำการจัดสรรกำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีใหม่ โดยให้กำลังไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีที่ถูกปรับลดกำลังไฟฟ้า ไปซื้อกำลังไฟฟ้าจากตลาดกลางแทน โดยที่โหนดรวม ณ บัสใดๆจะมีค่าคงที่และไม่มีการตัดโหนด

2. เส้นโค้งราคา (Cost Curve)

เมื่อทราบข้อมูลปริมาณกำลังไฟฟ้าที่จะซื้อขายในระบบแล้ว ข้อมูลอีกส่วนที่ต้องทราบก่อนวิเคราะห์ระบบด้วยหลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด (OPF) คือ เส้นโค้งราคา ซึ่งหาได้จากราคาขายที่ผู้ผลิตเสนอราคากำลังไฟฟ้าในรูปตารางข้อมูลให้กับตลาดกลาง โดยตารางดังกล่าวแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากับราคาไฟฟ้าที่ผลิต ดังตารางที่ 1 โดยข้อมูลชุดนี้ผู้ดูแลระบบจะเป็นผู้นำไปใช้เพื่อทดสอบระบบที่มีการตกลงซื้อขายกำลังไฟฟ้า เพื่อทดสอบเกี่ยวกับสมรรถนะหรือข้อจำกัดของระบบ เพื่อป้องกันความเสี่ยงที่จะเกิดปัญหาในระบบ เพราะหากผู้ดูแลระบบสั่งให้ระบบทำงานตามข้อมูลราคาเสนอขายที่ผู้ผลิตเสนอขาย โดยไม่คำนึงถึงข้อจำกัดต่างๆ ของระบบแล้ว อาจทำให้ระบบไม่สามารถรับกำลังไฟฟ้าที่ไหลในระบบได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาเส้นโค้งราคา (Cost Curve) ของผู้ผลิต เพื่อนำไปเป็นฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function)

การหาเส้นโค้งราคา เริ่มจากการนำข้อมูลราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าซึ่งแบ่งเป็น 5 ช่วงดังตารางที่ 1 ไปหาพื้นที่ใต้กราฟในแต่ละช่วง MW ดังภาพที่ 3 ซึ่งเป็นค่าใช้จ่าย (Cost) ของการผลิตกำลังไฟฟ้าในช่วงนั้นๆ ดังตารางที่ 1 จากนั้นนำราคาแต่ละช่วงมาเขียนเป็นเส้นกราฟ แล้วใช้ Excel หาค่า Coefficients ในรูปสมการ Polynomial กำลัง 2 ดังสมการ

$$C_i = a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i \quad (47)$$

จากภาพที่ 4 จะได้สมการเส้นโค้งราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1

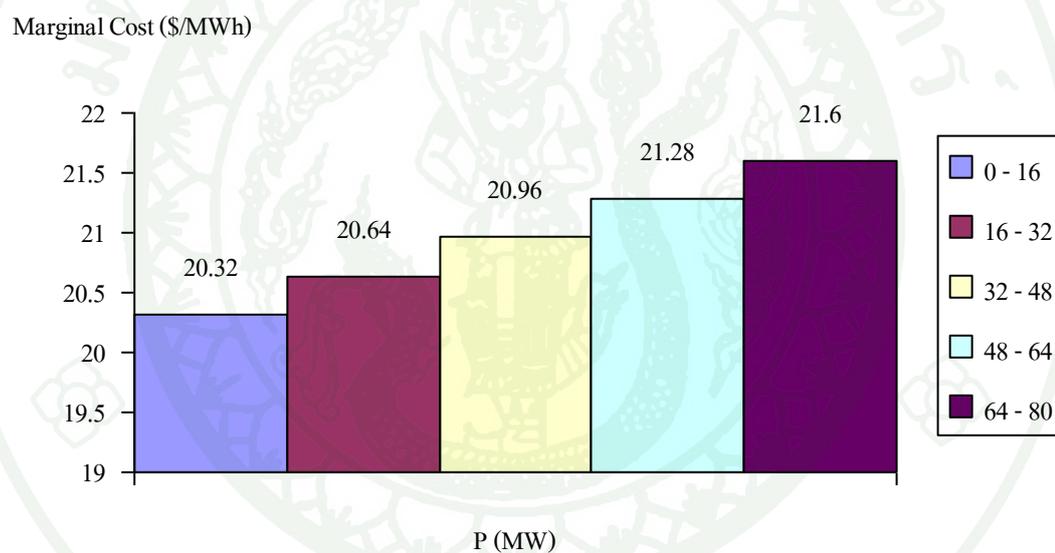
$$C_1 = 0.02 P_{G1}^2 + 20 P_{G1} \quad (48)$$

ซึ่งสมการเส้นโค้งราคาที่ได้จะนำไปใช้ในการคำนวณของ OPF

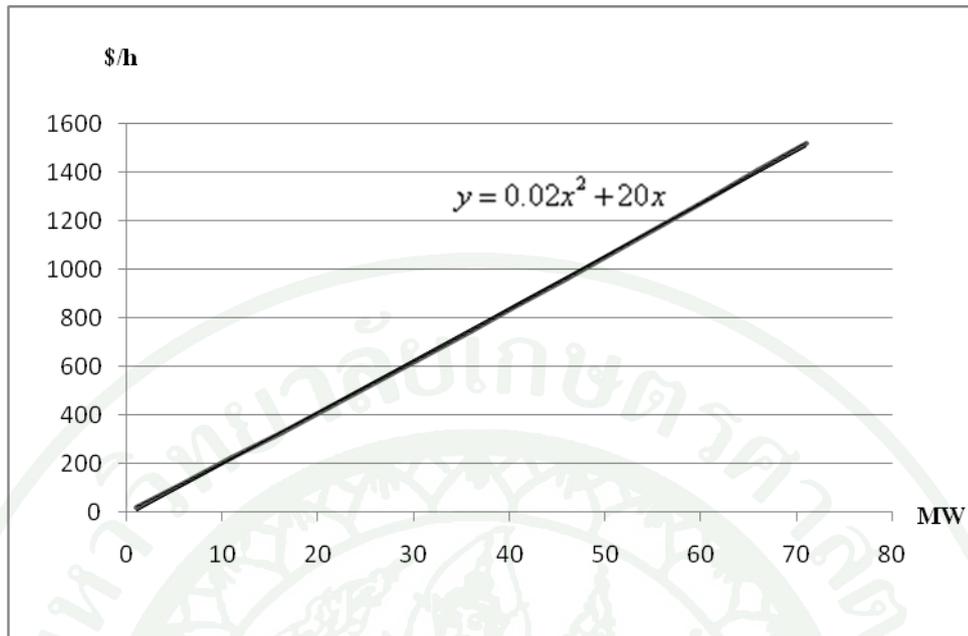
เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัส 2 บัส 3 บัส 6 และบัสที่ 8 จะสามารถหาสมการเส้นโค้งราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้เช่นเดียวกันกับวิธีการหาสมการเส้นโค้งราคา ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1

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	1,006.10
48 - 64	21.28	1,361.90
64 - 80	21.60	1,728.00



ภาพที่ 3 ราคาเสนอขายต่อ MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1



ภาพที่ 4 การหาสมการเส้นโค้งราคาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของการผลิตกับปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1

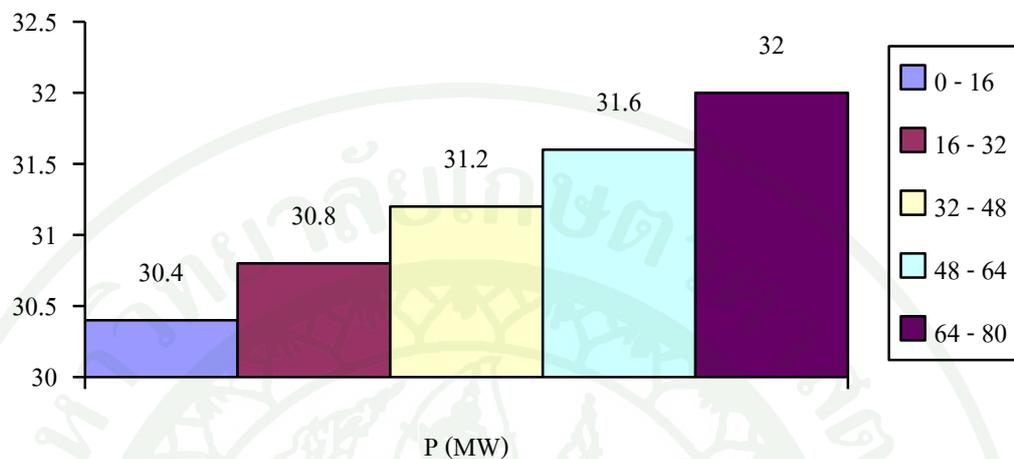
จากภาพที่ 6 จะได้สมการเส้นโค้งราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 2

$$C_2 = 0.025P_{G2}^2 + 30P_{G2} \quad (49)$$

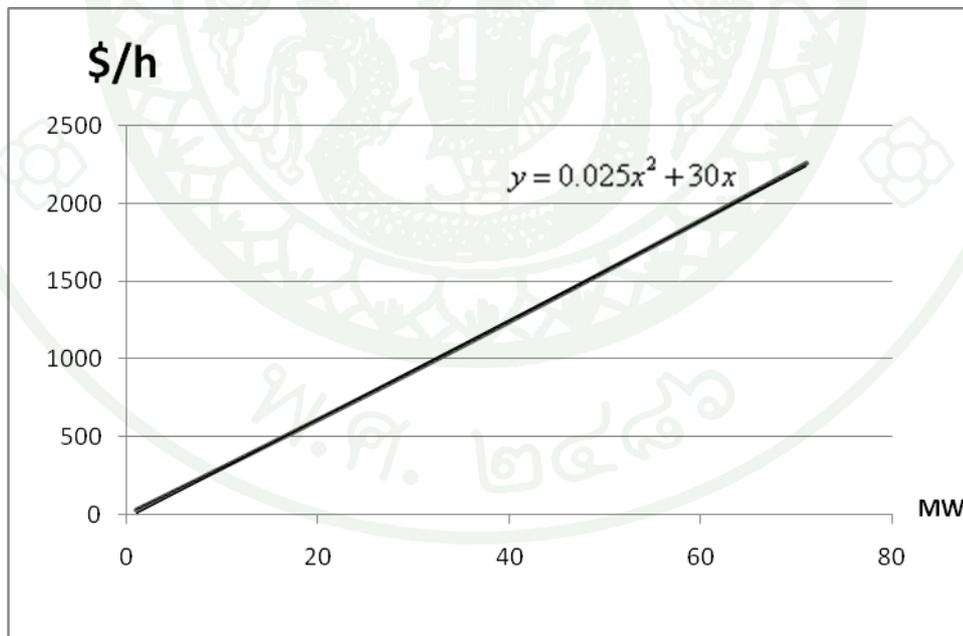
ตารางที่ 2 ราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2

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

Marginal Cost (\$/MWh)



ภาพที่ 5 ราคาเสนอขายต่อ MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2



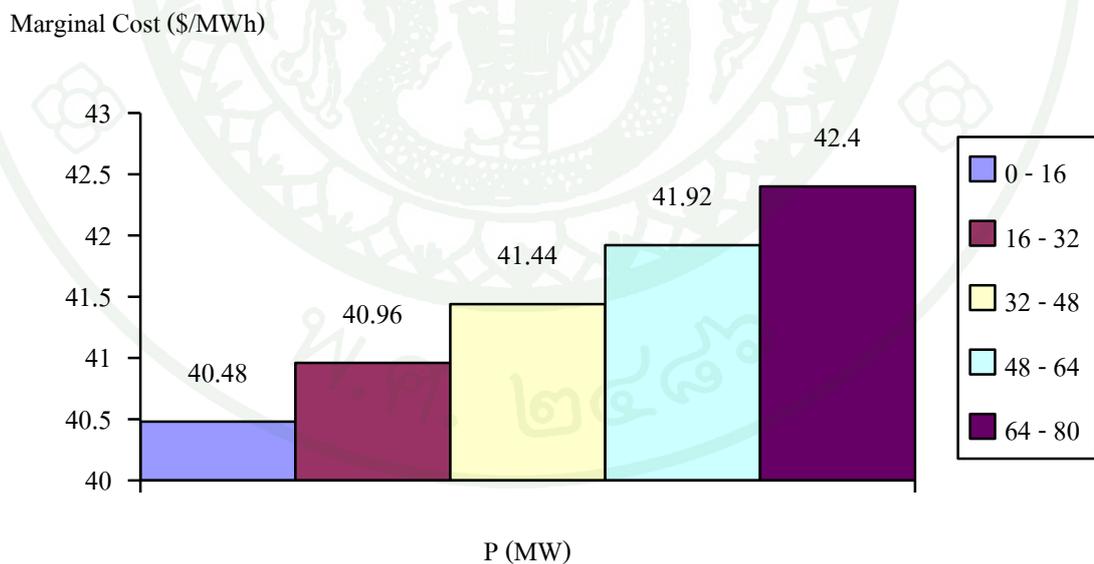
ภาพที่ 6 การหาสมการเส้นโค้งราคาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของการผลิตกับปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2

จากภาพที่ 8 จะได้สมการเส้นโค้งราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 3

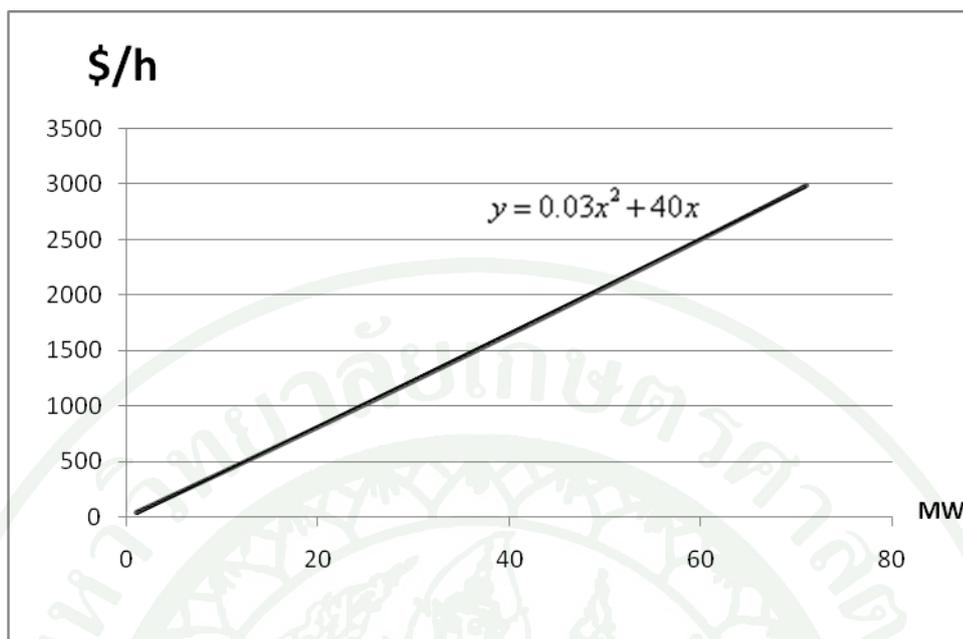
$$C_3 = 0.03P_{G3}^2 + 40P_{G3} \quad (50)$$

ตารางที่ 3 ตัวอย่างราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 3

Power (MW)	Bidding Prices (\$/MWh)	Cost (\$/h)
0 - 16	40.48	647.70
16 - 32	40.96	1,310.70
32 - 48	41.44	1,989.10
48 - 64	41.92	2,682.90
64 - 80	42.40	3,392.00



ภาพที่ 7 ราคาเสนอขายต่อ MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 3



ภาพที่ 8 การหาสมการเส้นโค้งราคาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของการผลิตกับปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 3

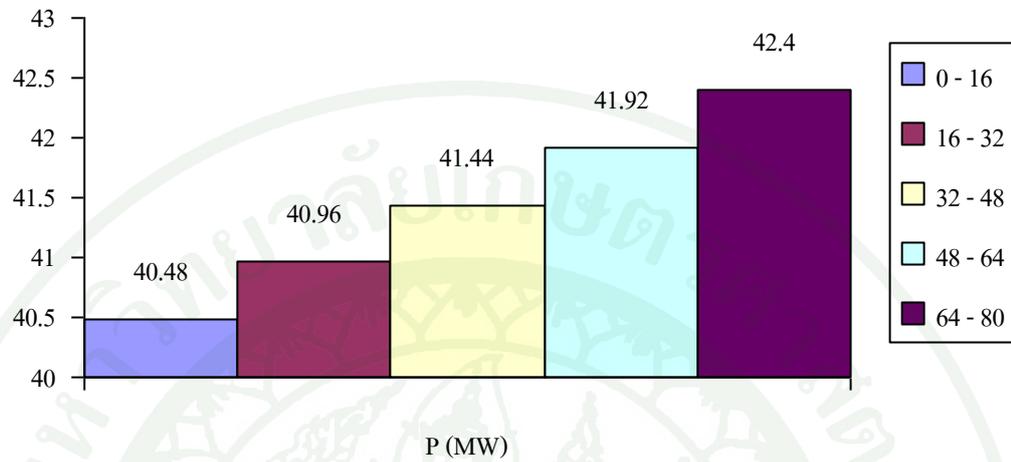
จากภาพที่ 10 จะได้สมการเส้นโค้งราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 4

$$C_4 = 0.03P_{G4}^2 + 40P_{G4} \quad (51)$$

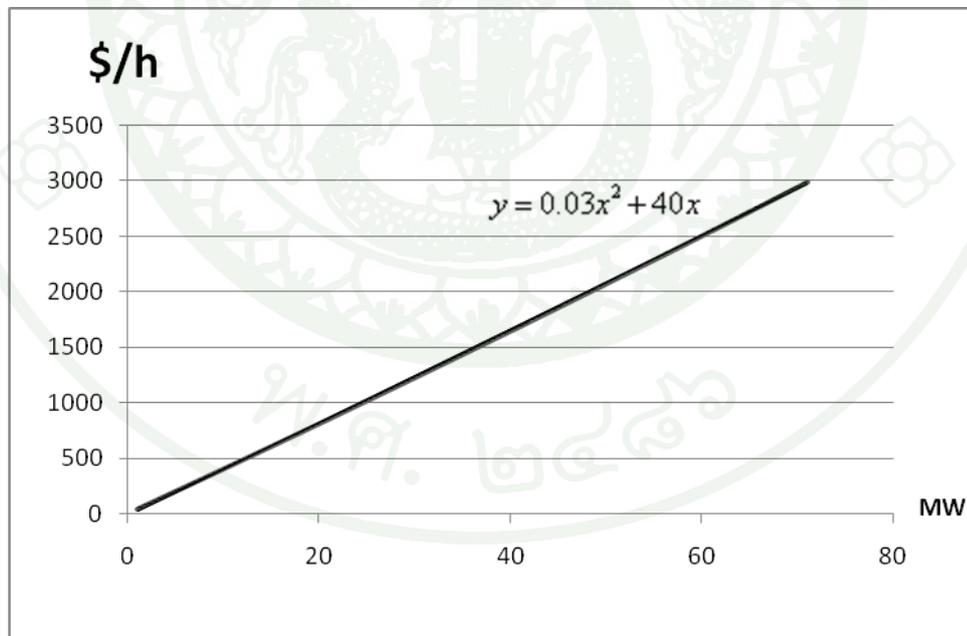
ตารางที่ 4 ราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 6

Power (MW)	Bidding Prices (\$/MWh)	Cost (\$/h)
0 - 16	40.48	647.70
16 - 32	40.96	1,310.70
32 - 48	41.44	1,989.10
48 - 64	41.92	2,682.90
64 - 80	42.40	3,392.00

Marginal Cost (\$/MWh)



ภาพที่ 9 ราคาเสนอขายต่อ MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 6



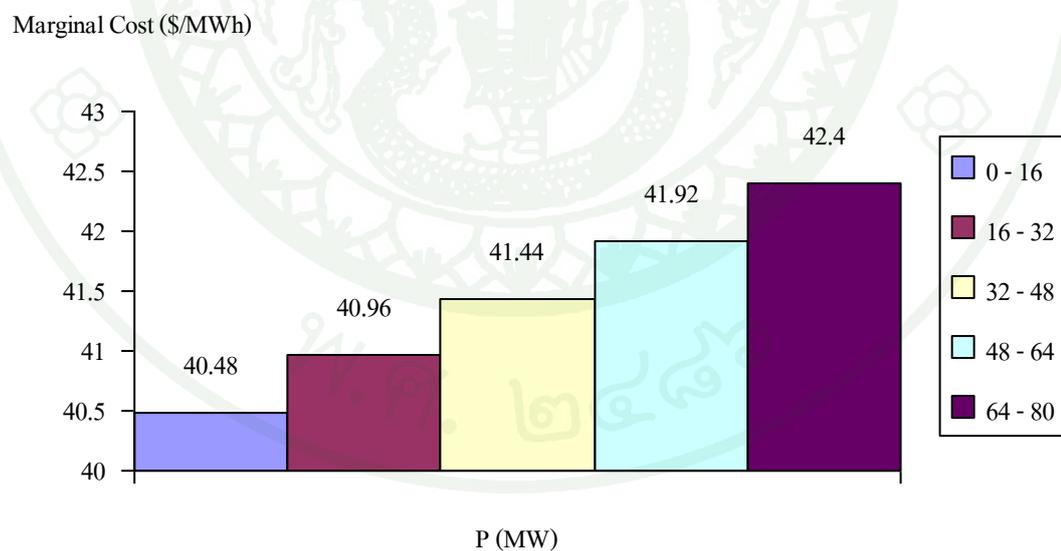
ภาพที่ 10 การหาสมการเส้นโค้งราคาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของการผลิตกับปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 6

จากภาพที่ 12 จะได้สมการเส้นโค้งราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 8

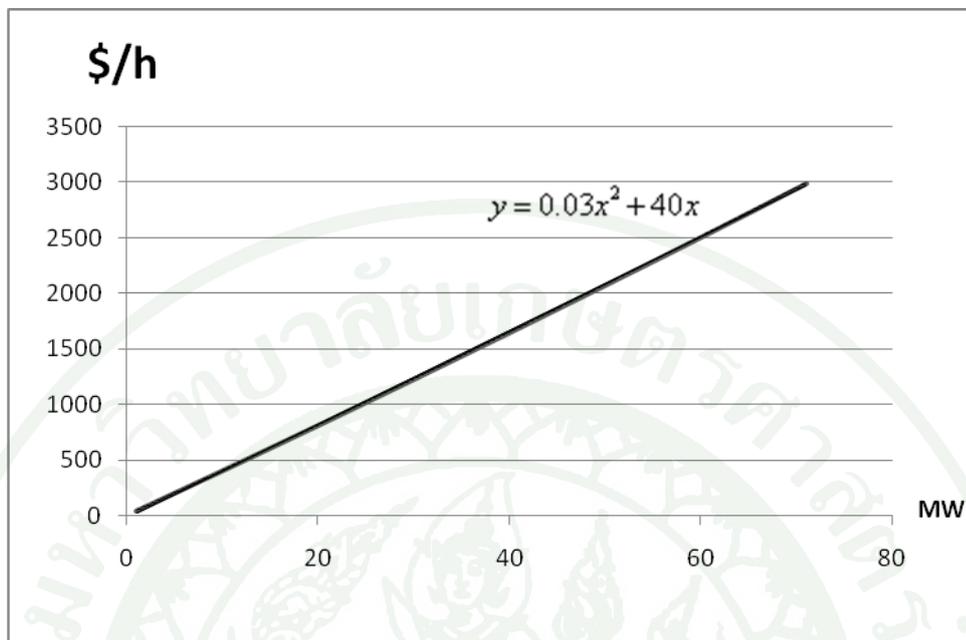
$$C_5 = 0.03P_{G5}^2 + 40P_{G5} \quad (52)$$

ตารางที่ 5 ราคาเสนอขายกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 8

Power (MW)	Bidding Prices (\$/MWh)	Cost (\$/h)
0 - 16	40.48	647.70
16 - 32	40.96	1,310.70
32 - 48	41.44	1,989.10
48 - 64	41.92	2,682.90
64 - 80	42.40	3,392.00



ภาพที่ 11 ราคาเสนอขายต่อ MW ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ 8



ภาพที่ 12 การหาสมการเส้นโค้งราคาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายของการผลิตกับปริมาณกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 8

ผลและวิจารณ์

ผล

การศึกษาได้ใช้โปรแกรมMATLAB เขียนโปรแกรมการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด (OPF) ของระบบทดสอบ IEEE 14 บัส ที่มีการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี ที่มีสัญญาการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง และแบบที่มีสัญญาการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ระบบที่ใช้ทดสอบ ประกอบด้วยเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) 5 เครื่อง ติดตั้งอยู่ที่บัสที่ 1, 2, 3, 6 และบัสที่ 8 เชื่อมกับสายส่ง 20 เส้น เส้นโค้งราคา (Cost curve) ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าคำนวณจากราคาที่ผู้ผลิตเสนอขายแก่ตลาดกลางดังตารางที่ 3 และระบบมีโหลดรวมทั้งหมด 259 MW

ในงานวิจัยได้แยกเป็นกรณีศึกษา 4 กรณีดังนี้

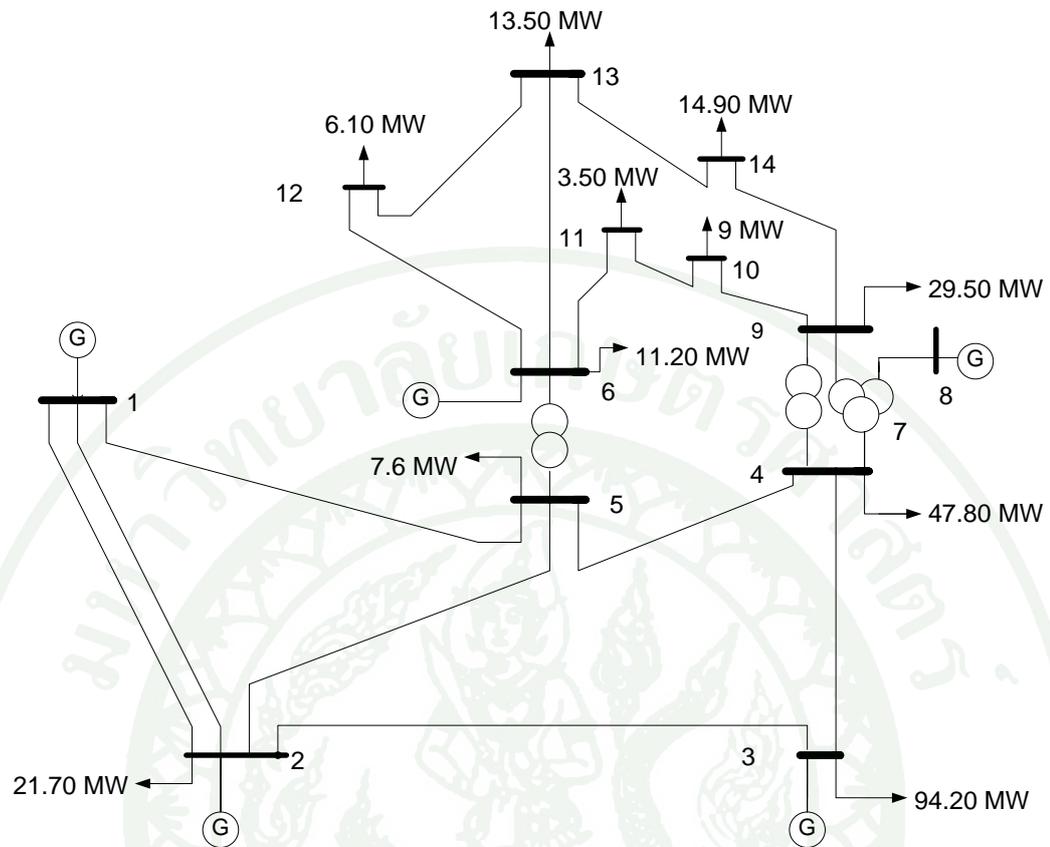
กรณีที่ 1 ไม่มีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี ผู้ซื้อและผู้ขายทำการซื้อขายกำลังไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเท่านั้น

กรณีที่ 2 ระบบมีการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี ที่มีการแข่งขันการเสนอราคา เฉพาะราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง และให้ราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงมีค่าเท่ากัน

กรณีที่ 3 ระบบมีการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี ที่มีการแข่งขันการเสนอราคา เฉพาะราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง และให้ราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงมีค่าเท่ากัน

กรณีที่ 4 ระบบมีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงเพียงอย่างเดียว และมีการแข่งขันการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา

กรณีที่ 2 ถึง กรณีที่ 4 ปริมาณการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีเป็นไปตามตารางที่ 7



ภาพที่ 13 ระบบทดสอบ IEEE 14 บัส

ตารางที่ 6 เส้นโค้งราคาและพิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

Generator Bus	P_g^{\max} (MW)	P_g^{\min} (MW)	a	b	c
1	190	0	0.02	20	0
2	140	0	0.025	30	0
3	20	0	0.03	40	0
6	20	0	0.03	40	0
8	20	0	0.03	40	0

ตารางที่ 7 ข้อมูลการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีและราคาเสนอเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา

Gen Bus	Load Bus	Firm	Nonfirm	Bidding Prices (\$/MWh)						Firm	Nonfirm	Bidding Prices (\$/MWh)	
		Bilateral (MW)	Bilateral (MW)	Case 1		Case 2		Case 3		Bilateral (MW)	Bilateral (MW)	Case 4	
				Firm	Nonfirm	Firm	Nonfirm	Firm	Nonfirm			Firm	Nonfirm
1	3	90	-	-	-	4	-	3	-	90	-	2	-
1	4	20	20	-	-	3	0.2	3	0.2	40	-	2	-
1	9	20	-	-	-	2	-	3	-	20	-	3	-
1	13	10	-	-	-	2	-	3	-	10	-	3	-
1	14	-	10	-	-	-	0.2	-	0.5	10	-	4	-
2	6	-	10	-	-	-	0.2	-	0.2	10	-	2	-
Total		140	40							180			

หลังจากคำนวณด้วยวิธีการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด ผลจากการคำนวณ ตามสมการที่ (36) ถึงสมการที่ (46) ได้ผลตามตารางดังต่อไปนี้

1. ผลของกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตามตารางที่ 8
2. ผลของกำลังไฟฟ้าของโหลดตามตารางที่ 9
3. ผลของกำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงและแบบไม่มั่นคงตามตารางที่ 10

สามารถพิจารณาผลการวิจัยได้ดังนี้

กรณีที่ 1 เนื่องจากไม่มีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี ผู้ซื้อและผู้ขายกำลังไฟฟ้า ทำการซื้อขายกำลังไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเท่านั้น จึงทำให้ไม่มีกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี โดย เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 ได้รับการจัดสรรการผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับตลาดกลางมากที่สุด 151.37 MW คิดเป็น 56.60% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด (267.43 MW) ดังตารางที่ 8 เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 มีราคาต่ำที่สุด และเหตุที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุดเพียง 151.37 MW เนื่องจากเกิดสถานะเต็มพิกัดของระบบสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 2 ดังตารางที่ 11 ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2 ที่มีราคาแพงกว่า ได้รับการจัดสรรการผลิตให้กับตลาดกลาง 115.32 MW คิดเป็น 43.12% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด ดังตารางที่ 8 และเกิดสถานะเต็มพิกัดของระบบสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 2 กับบัสที่ 3 เช่นกัน ดังตารางที่ 11 ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 3 ซึ่งมีราคาแพงที่สุดได้รับการจัดสรรการผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับตลาดกลาง 2.74 MW คิดเป็น 1.02% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมดและไม่มีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 3 ดังตารางที่ 8

กรณีที่ 2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 ได้รับการจัดสรรการผลิตมากที่สุด 151.37 MW คิดเป็น 56.60% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด (267.43 MW) เช่นเดียวกับกรณีที่ 1 ดังตารางที่ 8 เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 มีราคาต่ำที่สุด และเหตุที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุดเพียง 151.37 MW เนื่องจากเกิดสถานะเต็มพิกัดของระบบสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 2 ดังตารางที่ 11 นอกจากนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 ยังเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ผลิตให้กับการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีเพียงอย่างเดียว (151.37 MW) โดย

แบ่งเป็นค่ากำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง 140.00 MW ตามที่ผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงต้องการและเป็นค่ากำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง 11.37 MW จากความต้องการกำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง 20 MW ดังตารางที่ 8 และตารางที่ 10 ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2 ได้รับการจัดสรรการผลิต 115.32 MW คิดเป็น 43.12% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด ดังตารางที่ 8 และเกิดสถานะเต็มพิกัดของระบบสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 2 กับบัสที่ 3 เช่นกัน ดังตารางที่ 11 โดยแบ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตให้กับตลาดกลาง 105.32 MW และเป็นค่ากำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง 10.00 MW ดังตารางที่ 8 เหตุที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2 ผลิตกำลังไฟฟ้าให้การทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีเพียงแค่ 10 MW เนื่องจาก ได้มีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2 เพียงแค่ 10 MW เท่านั้น ดังตารางที่ 7 ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 3 ได้รับการจัดสรรการผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับตลาดกลางเท่ากับกรณีที่ 1 คือ ได้รับการจัดสรรการผลิต 2.74 MW คิดเป็น 1.02% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมดดังตารางที่ 8 และไม่มีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 3

เมื่อมองในแง่ของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี จากตารางที่ 10 จะเห็นว่า กำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงต้องการทุกสัญญา เนื่องจากมีการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาในราคาที่สูง ดังตารางที่ 7 จึงทำให้ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการ แต่กำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ได้ถูกปรับลดกำลังไฟฟ้าและถูกปรับเปลี่ยนให้ไปซื้อกำลังไฟฟ้าจากตลาดกลาง เช่น การซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัสที่ 1 และผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 4 ซึ่งได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้า 11.37 MW จากความต้องการกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง 20 MW ดังตารางที่ 6 เนื่องจากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัสที่ 1 จะผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงก่อน โดยส่วนกำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ที่ถูกปรับลดกำลังไฟฟ้าจำนวน 8.63 MW จะถูกปรับเปลี่ยนให้ไปซื้อกำลังไฟฟ้าจากตลาดกลางแทน และ การซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัสที่ 1 และผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 14 ซึ่งไม่ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงเลย จากความต้องการกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง 10 MW ดังตารางที่ 10 เนื่องจากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัสที่ 1 จะผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงก่อน และเกิดสถานะเต็มพิกัดของระบบสายส่งที่เชื่อมระหว่าง

บัสที่ 1 กับบัสที่ 2 ดังตารางที่ 11 กำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง จึงถูกปรับเปลี่ยนให้ไปซื้อกำลังไฟฟ้าจากตลาดกลางแทนทั้งหมดจำนวน 10 MW

กรณีที่ 3 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 ได้รับการจัดสรรการผลิตมากที่สุด 151.37 MW คิดเป็น 56.60% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด (267.43 MW) เช่นเดียวกับกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 ดังตารางที่ 8 เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1 มีราคาต่ำที่สุด และเหตุที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุดเพียง 151.37 MW เนื่องจากเกิดสถานะเต็มพิกัดของระบบสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 2 ดังตารางที่ 11 นอกจากนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 ยังเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ผลิตให้กับการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีเพียงอย่างเดียว (151.37 MW) โดยแบ่งเป็นกำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง 140.00 MW ตามที่ผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงต้องการและเป็นกำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง 11.37 MW จากความต้องการกำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง 20 MW ดังตารางที่ 8 และตารางที่ 10 ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2 ได้รับการจัดสรรการผลิต 115.32 MW คิดเป็น 43.12% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด ดังตารางที่ 8 และเกิดสถานะเต็มพิกัดของระบบสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 2 กับบัสที่ 3 เช่นเดียวกับกรณีที่ 2 ดังตารางที่ 11 โดยแบ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตให้กับตลาดกลาง 105.32 MW และเป็นกำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง 10.00 MW ดังตารางที่ 8 เหตุที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2 ผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีเพียงแค่ 10 MW เนื่องจากได้มีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2 เพียงแค่ 10 MW เท่านั้น ดังตารางที่ 7 ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 3 ได้รับการจัดสรรการผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับตลาดกลางเท่ากับกรณีที่ 1 และกรณีที่ 2 คือ ได้รับการจัดสรรการผลิต 2.74 MW คิดเป็น 1.02% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด ดังตารางที่ 8 และไม่มีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 3

เมื่อมองในแง่ของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี จากตารางที่ 10 จะเห็นว่า กำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ได้รับได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าตามที่ผู้ทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงต้องการทุกสัญญา เนื่องจากมีการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาในราคาที่สูงกว่ามากเมื่อเทียบกับราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงและมีค่าทำกันทุกสัญญา ดังตารางที่ 7 จึงทำให้ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการ ดังตารางที่ 10 ส่วนกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง

นั้น ขึ้นอยู่กับจำนวนราคาเสนอเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาดังตารางที่ 7 เช่น การซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัสที่ 1 กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 4 ซึ่งได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้า 1.37MW จากความต้องการกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง 20 MW และการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัสที่ 1 กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 14 ซึ่งได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้า 10 MW จากความต้องการกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง 10 MW ดังตารางที่ 10 เหตุที่ผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงบัสที่ 14 ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงมากกว่าผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงบัสที่ 4 เนื่องจาก ผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงบัสที่ 14 เสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาในราคาที่สูงกว่าผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงบัสที่ 4 ดังตารางที่ 7 จึงทำให้การซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัสที่ 1 กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 14 ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าตามที่ต้องการ 10 MW ถึงแม้ว่าผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 14 จะอยู่ไกลกว่าผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 4 ก็ตาม แต่ผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 14 เสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา มากกว่า จึงได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้ามากกว่านั่นเอง นอกจากนี้ยังมีผลมาจากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัสที่ 1 จะผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงก่อน และได้เกิดสถานะเต็มพิกัดของระบบสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 2 ดังตารางที่ 11 ด้วยเหตุนี้ กำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัสที่ 1 และผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 4 จึงถูกปรับเปลี่ยนให้ไปซื้อกำลังไฟฟ้าจากตลาดกลางแทนเป็นจำนวน 18.63 MW

กรณีที่ 4 ระบบมีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงเพียงอย่างเดียว โดยมีราคาเสนอเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาที่แตกต่างกันในแต่ละสัญญา ดังตารางที่ 7 โดยเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 ได้รับการจัดสรรการผลิตมากที่สุด 151.37 MW คิดเป็น 56.60% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด (267.43 MW) เช่นเดียวกับกรณีที่ 1 กรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 ดังตารางที่ 8 เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1 มีราคาต่ำที่สุด และเหตุที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุดเพียง 151.37 MW เนื่องจากเกิดสถานะเต็มพิกัดของระบบสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 2 ดังตารางที่ 11 นอกจากนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 ยังเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ผลิตให้กับการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงเพียงอย่างเดียว (151.37 MW) ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2 ได้รับการจัดสรรการผลิต 115.32 MW คิดเป็น 43.12% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด ดังตารางที่ 8 และเกิดสถานะเต็มพิกัดของระบบสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 2 กับบัสที่ 3 เช่นเดียวกับกรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 ดังตารางที่ 11 โดยแบ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ผลิตให้กับตลาดกลาง 105.32 MW และเป็นกำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง 10.00 MW

ดังตารางที่ 8 เหตุที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 2 ผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี เพียงแค่ 10 MW เนื่องจากว่า ได้มีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2 เพียงแค่ 10 MW เท่านั้น ดังตารางที่ 7 ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 3 ได้รับการจัดสรรการผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับตลาดกลางเท่ากับกรณีที่ 1 กรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 คือ ได้รับการจัดสรรการผลิต 2.74 MW คิดเป็น 1.02% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด ดังตารางที่ 8 และไม่มีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 3

เมื่อมองในแง่ของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี จากตารางที่ 10 จะเห็นว่า กำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ได้รับการจัดสรรขึ้นอยู่กับจำนวนราคาเสนอเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาดังตารางที่ 7 เช่น การซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัสที่ 1 กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 4 ซึ่งได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้า 34.36 MW จากความต้องการกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง 40 MW และ การซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัสที่ 1 กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 3 ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง 77.01 MW จากความต้องการกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง 90 MW ทั้งสองสัญญานี้เสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาในราคาที่เท่ากันและมีราคาต่ำกว่าผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงที่ซื้อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 คือ มีการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาในราคาที่ต่ำกว่า ผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง ที่บัสที่ 9 บัสที่ 13 และบัสที่ 14 ดังตารางที่ 7 ด้วยเหตุนี้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 จึงผลิตกำลังไฟฟ้า ให้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงบัสที่ 9 บัสที่ 13 และบัสที่ 14 ให้ครบตามกำลังไฟฟ้าที่ต้องการก่อน จึงมาผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงบัสที่ 3 และบัสที่ 4 ซึ่งผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงบัส ที่ 9 บัสที่ 13 และบัสที่ 14 จะได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าครบตามที่ต้องการ ดังตารางที่ 10 ถึงแม้ผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงบัสที่ 3 และบัสที่ 4 จะอยู่ใกล้กับผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัสที่ 1 มากกว่าผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง บัสที่ 9 บัสที่ 13 และบัสที่ 14 ก็ตาม ส่วนการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 2 คือ การซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัสที่ 2 และผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 6 เนื่องจากว่า ได้มีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2 เพียงแค่ 10 MW และมีการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 2 เพียงสัญญาเดียว จึงทำให้การซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าบัสที่ 2 และผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 6 ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าครบตามที่ต้องการดังตารางที่ 10 ถึงแม้ว่าจะเสนอ

ราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาเท่ากับการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงของผู้ผลิตกำลังไฟฟ้า巴士ที่ 1 กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า巴士ที่ 4 และผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า巴士ที่ 3 ก็ตาม

กำลังไฟฟ้าของโหลด จากตารางที่ 9 แสดงกำลังไฟฟ้าของโหลด ที่แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า โหลดได้รับกำลังไฟฟ้าตามที่กำหนดในแต่ละกรณีศึกษา เช่น 巴士ที่ 3 และ巴士ที่ 4 ของกรณีศึกษาที่ 2 กรณีศึกษาที่ 3 และกรณีศึกษาที่ 4 โดย巴士ที่ 3 ได้ทำสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง โดยมีกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ 90.00 MW หลังจากวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าด้วยหลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด ในแต่ละกรณีศึกษา กำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรที่巴士ที่ 3 จะมีค่ากำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับราคาเสนอเพื่อไม่ให้ปรับลดโหลด ที่แตกต่างกันในแต่ละกรณีศึกษาที่ ถ้าจ่ายราคาเสนอเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาในราคาที่สูงก็จะได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าในปริมาณที่มาก โดย巴士ที่ 3 ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าทั้งจากตลาดกลาง (P_d^P) นอกตลาดกลางภายใต้สัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบมั่นคง (P_d^F) ส่วน巴士ที่ 4 เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 10 จะเห็นว่ากรณีศึกษาที่ 2 และกรณีศึกษาที่ 3 ได้ทำสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง โดยมีกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ 20.00 MW และได้ทำสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง โดยมีกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ 20.00 MW ส่วน กรณีศึกษาที่ 4 巴士 4 ได้ทำสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงเพียงอย่างเดียว 40 MW หลังจากวิเคราะห์กำลังไฟฟ้าด้วยหลักการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด กำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรที่巴士ที่ 4 จะมีค่ากำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับราคาเสนอเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาที่แตกต่างกันในแต่ละกรณี โดย กรณีที่ 2 และกรณีที่ 3 巴士ที่ 4 ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าทั้งจากตลาดกลาง (P_d^P) นอกตลาดกลางภายใต้สัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบมั่นคง (P_d^F) และแบบไม่มั่นคง (P_d^{NF}) ส่วนกรณีที่ 4 巴士 4 ได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้าทั้งจากตลาดกลาง (P_d^P) และนอกตลาดกลางภายใต้สัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบมั่นคง (P_d^F)

ตารางที่ 8 กำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ปี	กรณี 1			กรณี 2			กรณี 3			กรณี 4		
	P_g^P	P_g^F	P_g^{NF}									
1	151.37	-	-	-	140.00	11.37	-	140.00	11.37	-	151.37	-
2	115.32	-	-	105.32	-	10.00	105.32	-	10.00	105.32	10.00	-
3	2.74	-	-	2.74	-	-	2.74	-	-	2.74	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
รวม	269.43	-	-	108.06	140.00	21.37	108.06	140.00	21.37	108.06	161.37	-

ตารางที่ 9 กำลังไฟฟ้าของโหลด

บัส	กรณี 1			กรณี 2			กรณี 3			กรณี 4		
	P_d^P	P_d^F	P_d^{NF}									
2	21.70	-	-	21.70	-	-	21.7	-	-	21.7	-	-
3	94.20	-	-	4.20	90.00	-	4.2	90.00	-	17.19	77.01	-
4	47.80	-	-	16.43	20.00	11.37	26.43	20.00	1.37	13.44	34.36	-
5	7.60	-	-	7.60	-	-	7.6	-	-	7.6	-	-
6	11.20	-	-	1.20	-	10.00	1.2	-	10.00	1.2	10.00	-
9	29.50	-	-	9.50	20.00	-	9.5	20.00	-	9.5	20.00	-
10	9.00	-	-	9.00	-	-	9	-	-	9	-	-
11	3.50	-	-	3.50	-	-	3.5	-	-	3.5	-	-
12	6.10	-	-	6.10	-	-	6.1	-	-	6.1	-	-
13	13.50	-	-	3.50	10.00	-	3.5	10.00	-	3.5	10.00	-
14	14.90	-	-	14.90	-	-	4.9	-	10.00	4.9	10.00	-
รวม	259	-	-	97.63	140.00	21.37	97.63	140.00	21.37	97.63	161.37	-

ตารางที่ 10 กำลังไฟฟ้าของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงและแบบไม่มั่นคง

Gen Bus	Load Bus	Firm Bilateral Contract						Nonfirm Bilateral Contract					
		Request Power P(MW)	Schedule Power			Request Power P(MW)	Schedule Pwer P (MW)	Request Power P (MW)	Schedule Power			Request Power P(MW)	Schedule Pwer P (MW)
			case 1 P (MW)	case 2 P(MW)	case 3 P (MW)				case 4 P (MW)	case 1 P (MW)	case 2 P (MW)		
1	3	90	-	90	90	90	77.01	-	-	-	-	-	-
1	4	20	-	20	20	40	34.36	20	-	11.37	1.37	-	-
1	9	20	-	20	20	20	20	-	-	-	-	-	-
1	13	10	-	10	10	10	10	-	-	-	-	-	-
1	14	-	-	-	-	10	10	10	-	-	10	-	-
2	6	-	-	-	-	10	10	10	-	10	10	-	-
Total		140	-	140	140	180	161.37	40	-	21.37	21.37	-	-

การไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง

จากตารางที่ 11 เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1 มีราคาต่ำที่สุด จึงได้รับการจัดสรรกำลังไฟฟ้ามากที่สุด 151.37 MW คิดเป็น 56.60% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด (267.43 MW) และการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี มีการซื้อกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าบัสที่ 1 เกือบทุกสัญญาการซื้อขายกำลังไฟฟ้า จึงทำให้กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งที่เชื่อมกับบัสที่ 1 ไหลเต็มพิกัดของสายส่ง เช่น สายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 2 จะมีกำลังไฟฟ้าไหลเต็มพิกัดของสาย (90 MW)

ส่วนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 2 ได้รับการจัดสรรการผลิต 115.32 MW คิดเป็น 43.12% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด และเกิดสภาวะเต็มพิกัดของระบบสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 2 กับบัสที่ 3 เช่นกันในทุกกรณีศึกษา

นอกจากนี้ ค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งเส้นทุกเส้น จะมีค่าเท่ากันทุกกรณีเนื่องจากความต้องการกำลังไฟฟ้า ณ บัสใดๆของระบบทุกกรณี มีค่าคงที่

ตารางที่ 11 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง

บัส		กรณี 1			กรณี 2			กรณี 3			กรณี 4		
ส่ง	รับ	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)									
1	2	89.93	-3.57	90.00	89.93	-3.57	90.00	89.93	-3.57	90.00	89.93	-3.57	90.00
1	5	61.44	12.60	62.72	61.44	12.60	62.72	61.44	12.60	62.72	61.44	12.60	62.72
2	3	74.93	3.19	75.00	74.93	3.19	75.00	74.93	3.19	75.00	74.93	3.19	75.00
2	4	59.87	9.72	60.66	59.87	9.72	60.66	59.87	9.72	60.66	59.87	9.72	60.66
2	5	47.35	8.48	48.09	47.35	8.48	48.09	47.35	8.48	48.09	47.35	8.48	48.09
3	4	-18.94	16.95	25.42	-18.94	16.95	25.42	-18.94	16.95	25.42	-18.94	16.95	25.42
4	5	-53.37	-1.38	53.38	-53.37	-1.38	53.38	-53.37	-1.38	53.38	-53.37	-1.38	53.38
4	7	28.00	17.99	33.29	28.00	17.99	33.29	28.00	17.99	33.29	28.00	17.99	33.29
4	9	16.13	9.32	18.63	16.13	9.32	18.63	16.13	9.32	18.63	16.13	9.32	18.63
5	6	44.35	9.69	45.39	44.35	9.69	45.39	44.35	9.69	45.39	44.35	9.69	45.39
6	11	7.33	8.25	11.04	7.33	8.25	11.04	7.33	8.25	11.04	7.33	8.25	11.04
6	12	7.94	3.14	8.54	7.94	3.14	8.54	7.94	3.14	8.54	7.94	3.14	8.54
6	13	17.88	9.70	20.34	17.88	9.70	20.34	17.88	9.70	20.34	17.88	9.70	20.34

ตารางที่ 11 (ต่อ)

บัส		กรณี 1			กรณี 2			กรณี 3			กรณี 4		
ส่ง	รับ	P (MW)	Q (MVar)	S (MVA)									
7	8	0.0000	4.93	4.93	0.0000	4.93	4.93	0.0000	4.93	4.93	0.0000	4.93	4.93
7	9	28.00	10.76	30.00	28.00	10.76	30.00	28.00	10.76	30.00	28.00	10.76	30.00
9	10	5.34	-0.27	5.35	5.34	-0.27	5.35	5.34	-0.27	5.35	5.34	-0.27	5.35
9	14	9.29	0.77	9.32	9.29	0.77	9.32	9.29	0.77	9.32	9.29	0.77	9.32
10	11	-3.67	-6.09	7.11	-3.67	-6.09	7.11	-3.67	-6.09	7.11	-3.67	-6.09	7.11
12	13	1.75	1.35	2.21	1.75	1.35	2.21	1.75	1.35	2.21	1.75	1.35	2.21
13	14	5.84	4.70	7.49	5.84	4.70	7.49	5.84	4.70	7.49	5.84	4.70	7.49

กำลังไฟฟ้าสูญเสียและค่าใช้จ่ายของระบบ

จากการวิจัยพบว่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบ ในกรณีศึกษาที่ 1 กรณีศึกษาที่ 2 กรณีศึกษาที่ 3 และ กรณีศึกษาที่ 4 มีค่าเท่ากันทุกกรณี เนื่องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 และบัสที่ 2 ผลิตกำลังไฟฟ้าได้เท่ากันหมดทุกกรณี เป็นผลมาจากความต้องการกำลังไฟฟ้าของระบบ ณ บัสใด ๆ มีค่าคงที่และมีค่าเท่ากันทุกกรณีศึกษา โดยมีความสัมพันธ์กับการไหลของกำลังไฟฟ้า ซึ่งหากการไหลของกำลังไฟฟ้ามีมากขึ้น ย่อมทำให้เกิดการสูญเสียในระบบมากขึ้นด้วย ดังแสดงในตารางที่ 12 ส่วนค่าใช้จ่ายในระบบ เมื่อระบบมีการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคี เป็นผลทำให้ค่าใช้จ่ายของระบบมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องมากจากมีการเสนอราคาราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง และสำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง มาเป็นตัวกำหนดปริมาณกำลังผลิตของผู้ผลิตไฟฟ้าแบบทวิภาคี

ตารางที่ 12 กำลังไฟฟ้าสูญเสียและค่าใช้จ่ายจากการผลิตกำลังไฟฟ้าของระบบ

	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 3	กรณีที่ 4
กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (MW)	10.431	10.431	10.431	10.431
ค่าใช้จ่ายจากการผลิต กำลังไฟฟ้า (\$/hr)	7,387.54	7,391.27	7,391.27	7,424.80

วิจารณ์

จากการศึกษาการซื้อขายไฟฟ้าเสรี ที่มีการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี ที่มีสัญญาการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง และแบบที่มีสัญญาการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ร่วมกับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง พบว่า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 ได้รับการจัดสรรการผลิตกำลังไฟฟ้าให้กับตลาดกลางมากที่สุดในทุกกรณีศึกษา 151.37 MW คิดเป็น 56.60% ของกำลังไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรทั้งหมด (267.43 MW) เนื่องจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 มีราคาต่ำที่สุด และเหตุที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสที่ 1 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุดเพียง 151.37 MW เนื่องจากเกิดสถานะเต็มพิกัดของระบบสายส่งที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 1 กับบัสที่ 2 ดังตารางที่ 11

จากกรณีศึกษาที่ 2 และ กรณีศึกษาที่ 3 แสดงให้เห็นว่า เมื่อระบบเกิดสถานะติดขัดหรือเกิดสถานะเต็มพิกัด ผู้ดูแลระบบจะทำการปรับลดกำลังไฟฟ้าของผู้ที่ทำสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงก่อนที่จะปรับลดกำลังไฟฟ้าของผู้ที่ทำสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง โดยพิจารณาจากราคาเสนอเพื่อไม่ให้ปรับลดโหลด ถ้าสัญญาการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงสัญญาไหน เสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดโหลดในราคาที่ต่ำกว่าสัญญาอื่นๆ สัญญานั้นก็จะโดนปรับลดกำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงก่อนสัญญาการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงที่เสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดโหลดในราคาที่สูงกว่า โดยไม่ได้คำนึงถึงตำแหน่งบัสของผู้ซื้อและผู้ผลิตกำลังไฟฟ้า และจากกรณีศึกษาที่ 4 แสดงให้เห็นว่าถ้าระบบเกิดสถานะติดขัดหรือเกิดสถานะเต็มพิกัด ผู้ดูแลระบบจะทำการปรับลดกำลังไฟฟ้าของผู้ที่ทำสัญญาซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงที่เสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดโหลดในราคาที่ต่ำกว่าสัญญาอื่นๆก่อน โดยไม่ได้คำนึงถึงตำแหน่งบัสของผู้ซื้อและผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าเช่นกัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยฉบับนี้ เป็นการศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาสภาวะเกินพิกัด ของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีในตลาดการซื้อขายไฟฟ้า โดยใช้หลักการการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด ภายใต้สัญญาการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี 2 แบบ คือ สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงและสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง โดยจะมีการเสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาสำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงและสำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง รวมไปถึงจะมีราคาของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง ด้วย การศึกษาใช้โปรแกรม MATLAB มาทดสอบการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคี กับระบบทดสอบ IEEE 14 บัส ทำการวิเคราะห์ กำลังการผลิต การไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง ข้อจำกัดของระบบ กำลังไฟฟ้าที่ทำการซื้อขายแบบทวิภาคีที่ได้รับการจัดสรร ผลการ วิจัยแสดงให้เห็นว่า ถ้าระบบไม่สามารถรองรับหรือระบบเกิดสภาวะติดขัดอันเนื่องมาจากเกิดการติดขัดของสายส่ง จนไม่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้ตามสัญญาที่ซื้อขาย ไฟฟ้าแบบทวิภาคี สามารถใช้ราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญา สำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงและสำหรับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง รวมไปถึงถึงราคาของการซื้อขาย ไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง มาแก้ไขปัญหาก็สามารถเกิดการติดขัดของสายส่ง ได้ โดยผู้ที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคงจะต้อง เสนอราคาเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาในราคาที่สูงกว่าผู้ที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง ในราคาที่สูงกว่ามาก ถ้าผู้ทำสัญญาไฟฟ้าแบบทวิภาคีต้องการได้รับการจัดสรรกำลัง ไฟฟ้าตามที่ต้องการและป้องกันการถูกปรับลดสัญญา ก็ต้องยอมจ่ายราคาเสนอเพื่อไม่ให้ปรับลดสัญญาในราคาที่สูงกว่า สัญญาอื่นๆในระบบการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี ซึ่งการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคงจะถูกปรับลดกำลังไฟฟ้าก่อนการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง เมื่อระบบเกิดสภาวะติดขัดอันเนื่องมาจากเกิดการติดขัดของสายส่ง โดยตำแหน่งที่ตั้งของบัสโหลดไม่มีผลต่อการถูกปรับลดกำลังไฟฟ้า ซึ่งกำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีที่ถูกปรับลดกำลังไฟฟ้าง จะถูกปรับเปลี่ยนให้ไปซื้อกำลังไฟฟ้าจากตลาดกลางแทน โดยที่โหลดรวม ณ บัสใดๆจะมีค่าคงที่และไม่มีการตัดโหลด

ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษากับระบบที่มีการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีภายใต้สัญญาการซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคี 2 แบบ คือ สัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบมั่นคง และสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแบบทวิภาคีแบบไม่มั่นคง เพื่อศึกษาการศึกษาวิธีการแก้ไขปัญหาสถานะเกินพิกัด ของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีในตลาดการซื้อขายไฟฟ้า โดยใช้หลักการการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด ดังนั้นการศึกษาต่อไปสามารถศึกษาการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีในตลาดการซื้อขายไฟฟ้าโดยใช้หลักการคำนวณด้วยวิธีอื่น รวมไปถึงการคิดราคาขายส่งด้วยราคาที่บัส รายได้ของผู้ผลิต ระบายของผู้ซื้อ เพื่อศึกษาผลกระทบและแนวทางการแก้ไขปัญหาสถานะเกินพิกัด ของการทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

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

ณรงค์ศักดิ์ เรืองโนม. 2551. การทำธุรกิจไฟฟ้าแบบทวิภาคีในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้าในด้านการจัดสรรกำลังไฟฟ้าและค่าใช้จ่ายส่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

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.

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.

F.Hussin, M.Y.Hassan and K.L.Lo. 2006. Transmission Congestion Management Assessment in Deregulate 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 access. **IEEE Power Engineering Society 1999 Winter Meeting.** 1: 476-483.

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.

Shirmohammad, D., X. V. Filho, B. Gorenstin and M. V. F. Pereira. 1996. Some fundamental technical concept about cost based transmission pricing. **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





ข้อมูลระบบจำลอง IEEE 14 บัส

System MVA base = 100 MVA

ตารางผนวกที่ ก1 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ IEEE 14 บัส

Bus	Pg	Qg	Qmax	Qmin	Vg	mBase	Status	Pmax	Pmin
1	232.4	-16.9	60	-50	1.06	100	1	190	0
2	40	42.4	50	-40	1.045	100	1	140	0
3	0	23.4	40	0	1.01	100	1	20	0
6	0	12.2	24	-6	1.07	100	1	20	0
8	0	17.4	24	-6	1.09	100	1	20	0

ตารางผนวกที่ ก2 ข้อมูลค่าใช้จ่ายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบทดสอบ IEEE 14 บัส

Bus	Startup	Shutdown	n	a	b	c
1	0	0	3	0.02	20	0
2	0	0	3	0.025	30	0
3	0	0	3	0.03	40	0
6	0	0	3	0.03	40	0
8	0	0	3	0.03	40	0

ตารางผนวกที่ ก3 ข้อมูลบัสในระบบทดสอบ IEEE 14 บัส

Bus	Type	Pd	Qd	Gs	Bs	Area	Vm	Va	BaseKv	Zone	Vmax	Vmin
1	3	0	0	0	0	1	1.06	0	0	1	1.06	0.94
2	2	21.70	12.7	0	0	1	1.045	-4.98	0	1	1.06	0.94
3	2	94.20	19	0	0	1	1.01	-12.72	0	1	1.06	0.94
4	1	47.8	-3.9	0	0	1	1.019	-10.33	0	1	1.06	0.94
5	1	7.6	1.6	0	0	1	1.02	-8.78	0	1	1.06	0.94
6	2	11.2	7.5	0	0	1	1.07	-14.22	0	1	1.06	0.94
7	1	0	0	0	0	1	1.062	-13.37	0	1	1.06	0.94
8	2	0	0	0	0	1	1.09	-13.36	0	1	1.06	0.94
9	1	29.5	16.6	0	19	1	1.056	14.94	0	1	1.06	0.94
10	1	9	5.8	0	0	1	1.051	-15.1	0	1	1.06	0.94
11	1	3.5	1.8	0	0	1	1.057	-14.79	0	1	1.06	0.94
12	1	6.1	1.6	0	0	1	1.055	-15.07	0	1	1.06	0.94
13	1	13.5	5.8	0	0	1	1.05	-15.16	0	1	1.06	0.94
14	1	14.9	5	0	0	1	1.036	-16.04	0	1	1.06	0.94

ตารางผนวกที่ ก4 ข้อมูลสายส่งในระบบทดสอบ 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	90	90	90	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	0.034	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	0.1989	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	0.0845	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



ตารางผนวกที่ ข1 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณี
ที่ 1

Bus	Voltage		Generation		Load		Lambda (\$/MVA-hr)	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P	Q
1	1.06	0	151.37	3.3	-	-	26.055	0
2	1.0468	-2.78	115.32	32.87	21.7	12.7	35.766	0
3	1.0168	-10.71	2.74	40	94.2	19	40.164	0.009
4	1.0017	-8.25	-	-	47.8	-3.9	36.866	1.133
5	1.0097	-6.99	-	-	7.6	1.6	35.766	1.231
6	0.9917	-13.4	0	24	11.2	7.5	38.468	2.999
7	0.9659	-11.72	-	-	-	-	33.148	0
8	0.9569	-11.72	0	-4.88	-	-	33.148	0
9	0.9542	-13.64	-	-	29.5	16.6	42.424	3.932
10	0.9527	-13.93	-	-	9	5.8	42.057	3.968
11	0.9681	-13.8	-	-	3.5	1.8	40.446	3.574
12	0.9739	-14.37	-	-	6.1	1.6	39.586	3.466
13	0.9671	-14.41	-	-	13.5	5.8	40.165	3.755
14	0.94	-15.18	-	-	14.9	5	43.057	5.064
Total			269.43	95.30	259.00	73.50		

ตารางผนวกที่ ข2 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณีที่ 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	89.93	-3.57	-88.53	7.83	1.4	4.27
2	1	5	61.44	12.6	-59.55	-4.79	1.89	7.81
3	2	3	74.93	3.19	-72.52	6.97	2.41	10.16
4	2	4	59.87	9.72	-57.92	-3.8	1.95	5.92
5	2	5	47.35	8.48	-46.14	-4.8	1.2	3.67
6	3	4	-18.94	16.95	19.36	-15.88	0.42	1.07
7	4	5	-53.37	-1.38	53.75	2.58	0.38	1.2
8	4	7	28	18	-28	-15.69	0	2.31
9	4	9	16.13	9.32	-16.13	-7.39	0	1.92
10	5	6	44.35	9.69	-44.35	-4.6	0	5.09
11	6	11	7.33	8.25	-7.21	-8	0.12	0.25
12	6	12	7.94	3.14	-7.85	-2.95	0.09	0.19
13	6	13	17.88	9.71	-17.6	-9.16	0.28	0.55
14	7	8	0	4.93	0	-4.88	0	0.05
15	7	9	28	10.76	-28	-9.7	0	1.06
16	9	10	5.34	-0.27	-5.33	0.3	0.01	0.03
17	9	14	9.29	0.77	-9.17	-0.51	0.12	0.26
18	10	11	-3.67	-6.1	3.71	6.2	0.05	0.11
19	12	13	1.75	1.35	-1.74	-1.34	0.01	0.01
20	13	14	5.84	4.7	-5.73	-4.49	0.1	0.21
							10.431	46.12

ตารางผนวกที่ ข3 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณี
ที่ 2

Bus	Voltage		Generation		Load		Lambda (\$/MVA-hr)	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P	Q
1	1.06	0	151.37	3.3	-	-	25.855	0
2	1.0468	-2.78	115.32	32.87	21.7	12.7	35.766	0
3	1.0168	-10.71	2.74	40	94.2	19	40.164	0.015
4	1.0017	-8.25	-	-	47.8	-3.9	36.832	1.151
5	1.0097	-6.99	-	-	7.6	1.6	35.722	1.252
6	0.9917	-13.4	0	24	11.2	7.5	38.481	3.077
7	0.9659	-11.72	-	-	-	-	33.036	0
8	0.9569	-11.72	0	-4.88	-	-	33.036	0
9	0.9542	-13.64	-	-	29.5	16.6	42.509	4.019
10	0.9527	-13.93	-	-	9	5.8	42.131	4.053
11	0.9681	-13.8	-	-	3.5	1.8	40.491	3.656
12	0.9739	-14.37	-	-	6.1	1.6	39.608	3.552
13	0.9671	-14.41	-	-	13.5	5.8	40.197	3.845
14	0.94	-15.18	-	-	14.9	5	43.144	5.19
Total			269.43	95.30	259.00	73.50		

ตารางผนวกที่ ๗4 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณีที่ 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	89.93	-3.57	-88.53	7.83	1.4	4.27
2	1	5	61.44	12.6	-59.55	-4.79	1.89	7.81
3	2	3	74.93	3.19	-72.52	6.97	2.41	10.16
4	2	4	59.87	9.72	-57.92	-3.8	1.95	5.92
5	2	5	47.35	8.48	-46.14	-4.8	1.2	3.67
6	3	4	-18.94	16.95	19.36	-15.88	0.42	1.07
7	4	5	-53.37	-1.38	53.75	2.58	0.38	1.2
8	4	7	28	18	-28	-15.69	0	2.31
9	4	9	16.13	9.32	-16.13	-7.39	0	1.92
10	5	6	44.35	9.69	-44.35	-4.6	0	5.09
11	6	11	7.33	8.25	-7.21	-8	0.12	0.25
12	6	12	7.94	3.14	-7.85	-2.95	0.09	0.19
13	6	13	17.88	9.71	-17.6	-9.16	0.28	0.55
14	7	8	0	4.93	0	-4.88	0	0.05
15	7	9	28	10.76	-28	-9.7	0	1.06
16	9	10	5.34	-0.27	-5.33	0.3	0.01	0.03
17	9	14	9.29	0.77	-9.17	-0.51	0.12	0.26
18	10	11	-3.67	-6.1	3.71	6.2	0.05	0.11
19	12	13	1.75	1.35	-1.74	-1.34	0.01	0.01
20	13	14	5.84	4.7	-5.73	-4.49	0.1	0.21
							10.431	46.12

ตารางผนวกที่ ข5 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณี
ที่ 3

Bus	Voltage		Generation		Load		Lambda (\$/MVA-hr)	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P	Q
1	1.06	0	151.37	3.3	-	-	25.855	0
2	1.0468	-2.78	115.32	32.87	21.7	12.7	35.766	0
3	1.0168	-10.71	2.74	40	94.2	19	40.164	0.015
4	1.0017	-8.25	-	-	47.8	-3.9	36.832	1.151
5	1.0097	-6.99	-	-	7.6	1.6	35.722	1.252
6	0.9917	-13.4	0	24	11.2	7.5	38.481	3.077
7	0.9659	-11.72	-	-	-	-	33.036	0
8	0.9569	-11.72	0	-4.88	-	-	33.036	0
9	0.9542	-13.64	-	-	29.5	16.6	42.509	4.019
10	0.9527	-13.93	-	-	9	5.8	42.131	4.053
11	0.9681	-13.8	-	-	3.5	1.8	40.491	3.656
12	0.9739	-14.37	-	-	6.1	1.6	39.608	3.552
13	0.9671	-14.41	-	-	13.5	5.8	40.197	3.845
14	0.94	-15.18	-	-	14.9	5	43.144	5.19
Total			269.43	95.30	259.00	73.50		

ตารางผนวกที่ ๖6 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณีที่ 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	89.93	-3.57	-88.53	7.83	1.4	4.27
2	1	5	61.44	12.6	-59.55	-4.79	1.89	7.81
3	2	3	74.93	3.19	-72.52	6.97	2.41	10.16
4	2	4	59.87	9.72	-57.92	-3.8	1.95	5.92
5	2	5	47.35	8.48	-46.14	-4.8	1.2	3.67
6	3	4	-18.94	16.95	19.36	-15.88	0.42	1.07
7	4	5	-53.37	-1.38	53.75	2.58	0.38	1.2
8	4	7	28	18	-28	-15.69	0	2.31
9	4	9	16.13	9.32	-16.13	-7.39	0	1.92
10	5	6	44.35	9.69	-44.35	-4.6	0	5.09
11	6	11	7.33	8.25	-7.21	-8	0.12	0.25
12	6	12	7.94	3.14	-7.85	-2.95	0.09	0.19
13	6	13	17.88	9.71	-17.6	-9.16	0.28	0.55
14	7	8	0	4.93	0	-4.88	0	0.05
15	7	9	28	10.76	-28	-9.7	0	1.06
16	9	10	5.34	-0.27	-5.33	0.3	0.01	0.03
17	9	14	9.29	0.77	-9.17	-0.51	0.12	0.26
18	10	11	-3.67	-6.1	3.71	6.2	0.05	0.11
19	12	13	1.75	1.35	-1.74	-1.34	0.01	0.01
20	13	14	5.84	4.7	-5.73	-4.49	0.1	0.21
							10.431	46.12

ตารางผนวกที่ ๗ ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบทดสอบ IEEE 14 บัสกรณี
ที่ 4

Bus	Voltage		Generation		Load		Lambda (\$/MVA-hr)	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P	Q
1	1.06	0	151.37	3.3	-	-	24.055	0
2	1.0468	-2.78	115.32	32.87	21.7	12.7	35.766	0
3	1.0168	-10.71	2.74	40	94.2	19	40.164	0.066
4	1.0017	-8.25	-	-	47.8	-3.9	36.525	1.313
5	1.0097	-6.99	-	-	7.6	1.6	35.325	1.447
6	0.9917	-13.4	0	24	11.2	7.5	38.595	3.779
7	0.9659	-11.72	-	-	-	-	32.026	0
8	0.9569	-11.72	0	-4.88	-	-	32.026	0
9	0.9542	-13.64	-	-	29.5	16.6	43.27	4.796
10	0.9527	-13.93	-	-	9	5.8	42.793	4.823
11	0.9681	-13.8	-	-	3.5	1.8	40.887	4.391
12	0.9739	-14.37	-	-	6.1	1.6	39.812	4.323
13	0.9671	-14.41	-	-	13.5	5.8	40.485	4.653
14	0.94	-15.18	-	-	14.9	5	43.92	6.331
Total			269.43	95.30	259.00	73.50		

ตารางผนวกที่ ข8 กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งของระบบทดสอบ IEEE 14 บั๊สกรณีที 4

Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus		To Bus		Loss ($I^2 * Z$)	
			P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)
1	1	2	89.93	-3.57	-88.53	7.83	1.4	4.27
2	1	5	61.44	12.6	-59.55	-4.79	1.89	7.81
3	2	3	74.93	3.19	-72.52	6.97	2.41	10.16
4	2	4	59.87	9.72	-57.92	-3.8	1.95	5.92
5	2	5	47.35	8.48	-46.14	-4.8	1.2	3.67
6	3	4	-18.94	16.95	19.36	-15.88	0.42	1.07
7	4	5	-53.37	-1.38	53.75	2.58	0.38	1.2
8	4	7	28	18	-28	-15.69	0	2.31
9	4	9	16.13	9.32	-16.13	-7.39	0	1.92
10	5	6	44.35	9.69	-44.35	-4.6	0	5.09
11	6	11	7.33	8.25	-7.21	-8	0.12	0.25
12	6	12	7.94	3.14	-7.85	-2.95	0.09	0.19
13	6	13	17.88	9.71	-17.6	-9.16	0.28	0.55
14	7	8	0	4.93	0	-4.88	0	0.05
15	7	9	28	10.76	-28	-9.7	0	1.06
16	9	10	5.34	-0.27	-5.33	0.3	0.01	0.03
17	9	14	9.29	0.77	-9.17	-0.51	0.12	0.26
18	10	11	-3.67	-6.1	3.71	6.2	0.05	0.11
19	12	13	1.75	1.35	-1.74	-1.34	0.01	0.01
20	13	14	5.84	4.7	-5.73	-4.49	0.1	0.21
							10.431	46.12

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นายจตุรวิทย์ บุษรา
เกิดวันที่	26 กันยายน 2526
สถานที่เกิด	สุรินทร์
ประวัติการศึกษา	วศ.บ.วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	