



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประเมินความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด ในระบบไฟฟ้ากำลังแบบ
ไม่ถูกควบคุม

Evaluation of Maximum Wheeling Capability in a Deregulated Power System

นามผู้วิจัย นายณัฐพล อนันตศิริสมบัติ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต ดำรงกุลกำจร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, M.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กาญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่

เดือน

พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด ในระบบไฟฟ้ากำลังแบบไม่ถูกควบคุม

Evaluation of Maximum Wheeling Capability in a Deregulated Power System

โดย

นายณัฐพล อนันตศิริสมบัติ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2554

ฉัฐพล อนันตศิริสมบัติ 2554: การประเมินความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า
สูงสุด ในระบบไฟฟ้ากำลังแบบไม่ถูกควบคุม ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
(วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต คำรงกุลคำจร, Ph.D. 97 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการศึกษาความสามารถสูงสุดในการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคน
กลางที่เป็นระบบแบบไม่ถูกควบคุม ความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าสูงสุดได้แก่ ปริมาณ
กำลังไฟฟ้าจริงมากที่สุดที่จ่ายเพิ่มเข้าสู่ระบบที่ “บัสผู้ขาย” ในขณะเดียวกันที่ถูกดึงออกจากระบบ
ที่ “บัสผู้ซื้อ” ที่ถูกกำหนดไว้ โดยไม่ทำให้เกิดการเกินพิกัดของการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ
คนกลาง พิกัดของการไหลของกำลังไฟฟ้าที่พิจารณาได้แก่ ขอบเขตแรงดันที่บัส พิกัดของสายส่ง
และขอบเขตการจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบคนกลาง วิธีการคำนวณ
เริ่มจากการหาค่าการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดของระบบคนกลางก่อนมีการส่งผ่าน
กำลังไฟฟ้า จากนั้นจึงทำการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบเมื่อมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า
จากบัสผู้ขายไปยังบัสผู้ซื้อ โดยกำหนดให้บัสผู้ขายเป็นบัสอ้างอิง เพื่อให้บัสผู้ขายเป็นผู้ชดเชย
กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า นอกจากนี้ค่าแรงดันที่บัส และค่า
กำลังไฟฟ้าที่ผลิตจากบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกกำหนดให้เท่ากับค่าที่ได้จากการคำนวณ
กำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดของระบบคนกลางก่อนมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า เพื่อให้ระบบคน
กลางไม่มีการเปลี่ยนแปลงและมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ค่าเริ่มต้นของกำลังไฟฟ้าส่งผ่านระบบคน
กลางได้มาจากการพิจารณาความจุน้อยที่สุดที่เหลือในสายส่งเส้นที่เชื่อมต่อกับบัสผู้ซื้อ ปริมาณ
กำลังไฟฟ้านี้จะถูกปรับในรอบการคำนวณถัดไปโดยใช้สัดส่วนของปริมาณทางไฟฟ้าที่ได้รับ
ผลกระทบจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเทียบกับพิกัดของมัน เมื่อปริมาณทางไฟฟ้าของระบบคน
กลางถึงค่าพิกัด กำลังไฟฟ้าส่งผ่านระบบคนกลางจะไม่สามารถเพิ่มขึ้นได้อีก และปริมาณ
กำลังไฟฟ้านั้นถือเป็นปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถส่งผ่านระบบคนกลางได้จากบัสผู้ขาย
ไปยังบัสผู้ซื้อที่กำหนด การคำนวณนี้ใช้ทดสอบกับระบบ IEEE 30 บัส ผลการคำนวณแสดงให้เห็น
เห็นว่าวิธีการนี้สามารถหาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดส่งผ่านระบบคนกลาง โดยที่การไหลของ
กำลังไฟฟ้าในระบบคนกลางอยู่ในขอบเขตและเหมาะสมที่สุด

Nathapon Anantasirisombut 2011: Evaluation of Maximum Wheeling Capability in a Deregulated Power System. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Parnjit Damrongkulkamjorn, Ph.D. 97 pages

This thesis presents the study of maximum wheeling capability in a deregulated power system. The maximum wheeling capability is determined as the maximum amount of additional real power load injecting into a specified “seller bus” and simultaneously taking out of a specified “buyer bus” without violating any operating power flow constraints. The constraints include voltage limits, line flow limits and reactive power generation limits. The proposed method to calculate the maximum wheeling capability starts by solving optimal power flow (OPF) solution for base case system with no wheeling transaction. Then the power flow solution with additional wheeling real power is solved with given seller and buyer buses, where the seller bus is set to be the slack bus in order for the seller bus to cover the additional losses due to the wheeling transaction. Moreover the bus voltages and power output generations for generator buses are fixed to be the values from OPF in order for the system to stay unchanged and optimal. The initial amount of wheeling real power is approximated by determining the minimum remaining capacity of the lines connected to the buyer bus. The amount of wheeling real power is updated by using the ratio of operating parameters and their limits. When any operating limit is met, the amount of wheeling real power can not be increased and therefore it is the maximum wheeling capability of the system for the given seller and buyer buses. The proposed method is tested on the IEEE 30bus system. The results show that the method could evaluate the maximum wheeling real power without violating any operating constraints while the system stays optimal.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปานจิต กำรงกุลกำจร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้สละเวลาช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัย ตลอดจนให้คำปรึกษาแนะนำข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย และตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณพ่อ และแม่ที่ให้การสนับสนุนส่งเสริมให้ผู้วิจัยทุกๆด้าน และคอยดักเตือนช่วยเหลือให้ผู้วิจัยสามารถศึกษา วิจัย ค้นคว้า และเรียนรู้จนกระทั่งสำเร็จได้เป็นวิทยานิพนธ์ที่สมบูรณ์ฉบับนี้

ณัฐพล อนันตศิริสมบัติ

ธันวาคม 2553

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	5
อุปกรณ์	5
วิธีการ	5
ผลและวิจารณ์	18
สรุปผลงานวิจัย	71
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	73
ภาคผนวก	73
ภาคผนวก ก รายละเอียดของระบบจำลอง <i>IEEE 30bus</i>	76
ภาคผนวก ข รายละเอียดผลลัพธ์ของกรณีศึกษา	82
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	97

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงผลการคำนวณที่ได้จากวิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบคนกลางในขณะที่ไม่มีการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง	18
2	แสดงผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบคนกลาง ในกรณีที่ไม่มีกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง	19
3	การไหลของกำลังไฟฟ้าขณะยังไม่มีกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง	22
4	ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีผู้ขายบัสที่ 7 และผู้ซื้อบัสที่ 15	26
5	การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายบัสที่ 7 และผู้ซื้อบัสที่ 15	28
6	ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีผู้ขายบัสที่ 7 และผู้ซื้อบัสที่ 24	32
7	การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายบัสที่ 7 และผู้ซื้อบัสที่ 24	34
8	การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในสายส่งระหว่างกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายบัสที่ 7 ไปยังผู้ซื้อบัสที่ 15 กับกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายบัสที่ 7 ไปยังผู้ซื้อบัสที่ 24	36
9	ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีผู้ขายบัสที่ 8 และผู้ซื้อบัสที่ 15	40
10	การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายบัสที่ 8 และผู้ซื้อบัสที่ 15	42
11	ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีผู้ขายบัสที่ 8 และผู้ซื้อบัสที่ 24	46
12	การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายบัสที่ 8 และผู้ซื้อบัสที่ 24	48

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
13	การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในสายส่งระหว่างกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายบัสที่ 8 ไปยังผู้ซื้อบัสที่ 15 กับกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายบัสที่ 8 ไปยังผู้ซื้อบัสที่ 24	50
14	ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีผู้ขายบัสที่ 7 และผู้ซื้อบัสที่ 3	54
15	การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายบัสที่ 7 และผู้ซื้อบัสที่ 3	56
16	ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีผู้ขายบัสที่ 3 และผู้ซื้อบัสที่ 7	59
17	การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายบัสที่ 3 และผู้ซื้อบัสที่ 7	61
18	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสระหว่างกรณีไม่มีการส่งกำลังไฟฟ้า กับกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้า	63
19	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกำลังไฟฟ้าในแต่ละสายส่งระหว่างกรณีไม่มีการส่งกำลังไฟฟ้า กับกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้า	65
20	เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแต่ละสายส่งระหว่างกรณีไม่มีการส่งกำลังไฟฟ้า กับกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้า	67
21	ปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถส่งผ่านระบบคนกลางจากผู้ขายกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า	70

ตารางผนวกที่

ก1	ข้อมูลของบัสในระบบจำลอง <i>IEEE 30bus</i>	77
ก2	ข้อมูลของสายส่งในระบบจำลอง <i>IEEE 30bus</i>	79
ก3	ข้อมูลของเครื่องผลิตกำลังไฟฟ้าในระบบทดลอง <i>IEEE 30bus</i>	81

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1	ขั้นตอนการหาปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถไหลผ่านระบบคนกลาง
2	ระบบไฟฟ้าคนกลาง
3	ระบบตัวอย่างสำหรับการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง
4	ผลการคำนวณที่ได้จากวิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบคนกลาง ขณะยังไม่มี การส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง
5	ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบคนกลาง กรณีที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายที่บัสที่ 7 ไปยังผู้ซื้อที่บัสที่ 15
6	ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบคนกลาง กรณีที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายที่บัสที่ 7 ไปยังผู้ซื้อที่บัสที่ 24
7	ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบคนกลาง กรณีที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายที่บัสที่ 8 ไปยังผู้ซื้อที่บัสที่ 15
8	ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบคนกลาง กรณีที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายที่บัสที่ 8 ไปยังผู้ซื้อที่บัสที่ 24
9	ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบคนกลาง กรณีที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายที่บัสที่ 7 ไปยังผู้ซื้อที่บัสที่ 3
10	ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบคนกลาง กรณีที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายที่บัสที่ 3 ไปยังผู้ซื้อที่บัสที่ 7

การประเมินความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด ในระบบไฟฟ้ากำลังแบบไม่ ถูกควบคุม

Evaluation of Maximum Wheeling Capability in a Deregulated Power System

คำนำ

การดำเนินการผลิตกำลังไฟฟ้าจำเป็นต้องมีแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภคอยู่ตลอดเวลา การทำการซื้อขายแลกเปลี่ยนกำลังไฟฟ้ากับระบบไฟฟ้าข้างเคียงที่เชื่อมโยงกันเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในต่างประเทศ ดังนั้นจึงเกิดการซื้อขายไฟฟ้ากันโดยตรงจากผู้ขายไปยังผู้ซื้อผ่านระบบคนกลางโดยที่ไม่ถูกควบคุมขึ้น ซึ่งเป็นทางเลือกในการลดต้นทุนในการผลิต และยังเพิ่มผลกำไรให้แก่ระบบไฟฟ้า

การส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง (Wheeling) หมายถึง การที่ผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า และผู้ขายกำลังไฟฟ้า สามารถซื้อ-ขายกำลังไฟฟ้ากันโดยตรงได้อย่างอิสระผ่านระบบคนกลาง โดยที่ระบบคนกลางยังคงมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด (Optimal) เหมือนก่อนระบบจะมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า และคนกลางไม่มีส่วนในการช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้าแต่อย่างใด

การศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางจะนำโปรแกรม MATPOWER มาใช้ในการคำนวณหาผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้น โดยเริ่มต้นจากการศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม (Optimal Power Flow: OPF) ของระบบคนกลาง เพื่อที่จะคงค่ากำลังไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละบัสของระบบคนกลางอยู่ในสถานะที่เหมาะสมที่สุด จากนั้นทำการกำหนดบัสที่ผู้ซื้อ-ขาย ไฟฟ้าเชื่อมต่อเข้ากับระบบคนกลาง เพื่อที่จะได้นำข้อมูลบัสต่างๆ ไปคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow: PF) เพื่อให้ได้ปริมาณกำลังไฟฟ้าส่งผ่านระบบคนกลาง (Wheeling Transaction) มากที่สุด โดยคำนึงจากขนาดของสายส่ง และแรงดันไฟฟ้าของแต่ละบัสให้อยู่ในขอบเขตที่รับได้ และระบบยังคงทำงานได้ตามปกติ

วัตถุประสงค์

เพื่อหาปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถส่งผ่านระบบคนกลาง โดยมีการกำหนดบัสส่งกำลังไฟฟ้าเข้า และบัสที่ดึงกำลังไฟฟ้าออกจากระบบของคนกลาง ในขณะที่ระบบของคนกลาง ยังคงสามารถจ่ายโหลดได้อย่างปกติในสภาวะเหมาะสมที่สุด และอยู่ภายในเงื่อนไขข้อจำกัดการส่งกำลังไฟฟ้า

ขอบเขตงานวิจัย

ในงานวิจัยจะศึกษาการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง ซึ่งกำหนดใช้ระบบของ *IEEE 30bus* เป็นระบบคนกลาง แล้วคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด (Optimal Power Flow: OPF) ด้วยโปรแกรม MATPOWER จากนั้นทำการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง โดยที่ระบบไฟฟ้าของคนกลางยังคงจ่ายโหลดในสภาวะที่ดีที่สุด และได้กำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านระบบคนกลางมากที่สุด โดยมีเงื่อนไขที่แรงดันไฟฟ้าของระบบคนกลางไม่เกิน $\pm 5\%$ และปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งไม่เกินขีดจำกัดของสายส่ง

การตรวจเอกสาร

Mukerji *et al.* (1992) กล่าวถึงความสำคัญของความมั่นคงในระบบไฟฟ้า (Security) แรงดันไฟฟ้า (Voltage Profile) กำลังการสูญเสีย (Loss) การชดเชยไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Var Reserve) ได้ทำการศึกษาการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง และผู้ใช้ไฟฟ้าอิสระ (NUG) โดยใช้ทฤษฎีการหาค่าความเหมาะสมที่สุด (Optimization Problem) เพื่อคำนวณหาการควบคุมการส่งผ่านที่ดีที่สุดของระบบคนกลาง ขณะที่การสูญเสียกำลังไฟฟ้าน้อยที่สุดที่ยังคงส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้เมื่อเกิดเหตุการณ์ไม่ปกติ (Contingency)

Happ. (1994) นำเสนอค่าใช้จ่ายในการส่งไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง และวิธีการคำนวณปัญหาระยะยาวในอุตสาหกรรมการอำนวยความสะดวกในการส่งผ่านพลังงาน บทความนี้อธิบายและสรุปถึง วิธีการคำนวณ และ วิธีการคิดค่าใช้จ่าย 4 วิธีซึ่งอธิบายถึง การจัดสรรค่าใช้จ่ายของการส่งไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง เมื่อมีผู้ใช้ทำการส่งไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางเข้ามาหลายคู่ค้า

Nakashima *et al.* (1998) บทความนี้ผู้เขียนนำเสนอการประเมินผลทางด้านเทคนิคที่อาจเกิดขึ้นจากการลดการควบคุมระบบการผลิตพลังงานไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งรวมทั้งการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางแบบไม่ถูกควบคุม ถ้าอุตสาหกรรมพลังงาน ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (IPPs) จำนวนมากกำลังมองหาโอกาสต้องเชื่อมต่อกับระบบส่งที่มีอยู่ภายใต้การเปิดสภาพแวดล้อมในการเข้าถึง ผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระบางคนจะขายไฟฟ้าที่มีอยู่ในราคาที่ตลาดและคนอื่นๆอาจมีส่วนร่วมในการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางงานวิจัยนี้รายงานเกี่ยวกับผลกระทบของการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง แนะนำในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่มีอยู่ระบบ การประเมินผลกระทบที่มีอยู่ในระบบไฟฟ้าจะดำเนินการโดยหลายมุมมองเช่น การสูญเสียกำลังงานในสายส่ง ข้อมูลแรงดันไฟฟ้า และความแออัดของเครือข่ายการ กำลังไฟฟ้าของผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระได้ถือว่าถูกกำหนดโดยวัตถุประสงค์ทางเศรษฐกิจ ดังนั้นจึงไม่สามารถควบคุมได้โดยโปรแกรมอรรถประโยชน์ที่มีอยู่ ค่าตัวเลขด้านต่างๆมีการประเมินผลบนพื้นฐานของเศรษฐกิจการส่งกำลังงานและข้อมูลการไหลของกำลังงานไฟฟ้า

Mozafari *et al.* (2004) บทความนี้จะอธิบายถึงวิธีการที่ดีขึ้นสำหรับการคำนวณความสามารถในการส่งกำลังงาน (ATC) ในระบบไฟฟ้ากำลัง การคำนวณ ATC จะทำโดยวิธีคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มผลรวมของโหลดที่ได้รับ

ในบริเวณที่กำหนดเช่นเดียวกับที่ส่งกำลังผลิตไปยังพื้นที่อื่นในขณะที่ยังคงค่าใช้จ่ายขั้นต่ำของเครื่องกำเนิด ข้อจำกัดที่สำคัญคือสมการการไหลของกำลังไฟฟ้า และขอบเขตของระบบ สมมติให้เส้นกราฟต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าของแต่ละเครื่องกำเนิดสามารถใช้ได้ขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรมจะถูกนำมาใช้ในขั้นตอนการ ซึ่งทดสอบโดยระบบ *IEEE 30bus* และผลที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับกรณีที่ไม่ได้ใช้การพิจารณาถึงการส่งกำลังที่เหมาะสมที่สุดระหว่างเครื่องกำเนิดที่มีอยู่

Li *et al.* (2006) บทความนี้นำเสนอวิธีการประเมินเศรษฐกิจ ค่าความสูญเสียของกำลังไฟฟ้าตามสัดส่วนร่วมกัน การวิเคราะห์ใช้เพื่อระบุเส้นทางการส่งไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลดใดๆ และประเมินกำลังไฟฟ้าสูญเสีย นำเสนอโดยใช้ *IEEE 30bus* แสดงให้เห็นการปรับปรุงการใช้งานที่มีประสิทธิภาพ และจัดการความแออัด และยังให้คุณค่าทางเศรษฐกิจ การผลิต การลงทุนในระบบส่ง

Okawa *et al.* (2007) บอกถึงแนวคิดการไหลของพลังงาน (Power Flow Tracing) ระหว่างเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า และ การส่งกำลังไฟฟ้า กล่าวถึงการพิจารณาอัตราการส่งไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางของผู้ใช้ บทความนี้เน้นไปที่ปัจจัยการกระจายของเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า และการปรับปรุงการส่งพลังงาน

Tanongjit. (2008) นำเสนอการศึกษาการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง โดยพิจารณาจากความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้ของระบบคนกลาง แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ถึงการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปโดยระบบคนกลางยังคงมีค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าเท่าเดิม กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปได้แก่ ความแตกต่างระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ไหลในระบบคนกลางขณะที่ไม่มีการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง เทียบกับกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดที่ไหลในระบบก่อนมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า ขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ากำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบจะถูกบังคับให้มีค่าเท่ากับค่าดีที่สุดก่อนมีการส่งกำลังไฟฟ้าเพื่อให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุดและไม่มีการเปลี่ยนแปลง การคิดค่าใช้จ่ายในการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางจะพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้น

Panyakaew. (2008) ได้ทำการศึกษาค่าความเหมาะสมที่สุด (Optimal) ของการแจกแจงกำลังสูญเสียทางไฟฟ้า ระหว่างการทำการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางหลายคู่ค่า และแสดงถึงขั้นตอนของการแจกแจงกำลังสูญเสียทางไฟฟ้าในแต่ละเส้นทางของการส่งกำลังไฟฟ้า

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. ระบบปฏิบัติการ Window 7
3. โปรแกรม Microsoft office
4. โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ข้อมูลทางวิศวกรรม MATLAB 7.9

วิธีการ

การประเมินความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด มีวิธีการคำนวณโดยคิดจากการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้น เพื่อนำการเปลี่ยนแปลงที่ได้มาวิเคราะห์หาค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถส่งผ่านระบบคนกลางได้ โดยที่ระบบคนกลางยังคงรักษาสภาพการจ่ายโหลดอย่างเหมาะสมที่สุดไว้ ดังนั้นการวิเคราะห์หาค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านได้มากที่สุดนั้น ต้องศึกษาระบบคนกลางก่อนโดยใช้การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมที่สุด (Optimal Power Flow : OPF) มาใช้คำนวณการจ่ายกำลังไฟฟ้าของระบบ จากนั้นทำการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง (Wheeling) โดยทำการเลือกตำแหน่งของผู้ขายกำลังไฟฟ้า และผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า และวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม (Optimal Power Flow : OPF) ของระบบไฟฟ้าคนกลางเพื่อทราบถึงปริมาณ และทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในแต่ละสายส่งที่ทำให้ราคาการผลิตกำลังไฟฟ้ารวมต่ำที่สุด และระบบยังคงทำงานได้ตามปกติ

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม จะทำให้ทราบถึงปริมาณ และทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในแต่ละสายส่ง รวมถึงแรงดันไฟฟ้า และมุมเฟสของแต่ละบัส พร้อมทั้งคำนวณถึงความต้องการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละบัสให้ได้รับพลังงานที่เพียงพอและมีค่าใช้จ่ายในระบบน้อยที่สุด จึงต้องใช้โปรแกรม OPF เข้ามาช่วยค้นหาคำตอบ โดยโปรแกรมถูกสร้างขึ้นจากสมการคณิตศาสตร์ในรูปของฟังก์ชันที่ประกอบด้วยฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) ภายใต้เงื่อนไขของสมการ (Constraints) การทำงานที่เหมาะสมไม่เกินขีดจำกัด (Limit) ของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เขียนอยู่ในรูปสมการคณิตศาสตร์แบบเงื่อนไขบังคับสมการ (Equality Constraints) และเงื่อนไขบังคับอสมการ (Inequality Constraints) เข้ามาค้นหาคำตอบดังนี้

ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective function) ได้แก่การรวมต่ำที่สุดของเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้า

$$\min \sum_{i=1}^{N_G} C_i(P_{Gi}) \quad (1)$$

เงื่อนไขบังคับสมการ (Equality constraints) ได้แก่สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

$$P_i(V, \delta) = P_{Gi} - P_{Di} \quad i=1, \dots, N \quad (2)$$

$$Q_i(V, \delta) = Q_{Gi} - Q_{Di} \quad i=1, \dots, N \quad (3)$$

เงื่อนไขบังคับอสมการ (Inequality constraints) ได้แก่ขีดจำกัดของปริมาณทางไฟฟ้าในระบบส่งไฟฟ้า

$$V_{i_{\min}} \leq V_i \leq V_{i_{\max}} \quad i=1, \dots, N \quad (4)$$

$$P_{Gi_{\min}} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi_{\max}} \quad i=1, \dots, N_G \quad (5)$$

$$Q_{Gi_{\min}} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gi_{\max}} \quad i=1, \dots, N_G \quad (6)$$

$$|I_l(V, \delta)| \leq I_{l_{\max}} \quad i=1, \dots, N_l \quad (7)$$

โดยที่ C_i คือ ราคาต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้า i

P_i คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่จ่ายเข้าบัส i

P_{Gi} คือ กำลังไฟฟ้าจริงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายเข้าบัส i

P_{Di} คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส i

Q_i คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนที่จ่ายเข้าบัส i

Q_{Gi} คือ กำลังไฟฟ้าเสมือนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่จ่ายเข้าบัส i

Q_{Di} คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าเสมือนที่บัส i

V_i คือ ขนาดแรงดันไฟฟ้าที่บัส i

$V_{i_{\min}}, V_{i_{\max}}$ คือ พิกัดต่ำสุด, สูงสุด ของแรงดันที่บัส

$P_{Gi_{\min}}, P_{Gi_{\max}}$ คือ พิกัดต่ำสุด, สูงสุด ของกำลังไฟฟ้าจริง

$Q_{Gi_{\min}}, Q_{Gi_{\max}}$ คือ พิกัดต่ำสุด, สูงสุด ของกำลังไฟฟ้าเสมือน

$|I_l(V, \delta)|$ คือ ขนาดกระแสที่ไหลในสาย l

$I_{l_{\max}}$ คือ พิกัดกระแสสูงสุดที่ไหลในสาย l

δ คือ มุมเฟสของแรงดันที่บัส

N คือ จำนวนบัสในระบบ

N_G คือ จำนวนเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าในระบบ

N_l คือ จำนวนสายส่งในระบบ

จากนั้นนำผลที่ได้จากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ดีที่สุด เก็บไว้เพื่อเป็นข้อมูลเริ่มต้นในกรณีศึกษาต่อไป

2. วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าเมื่อเกิดการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง

การไหลของกำลังไฟฟ้าอันเนื่องมาจากการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง ทำให้ปริมาณของกำลังไฟฟ้าในระบบมีมากขึ้น ผลที่ตามมาจากการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางคือ กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Loss) ที่เพิ่มขึ้นสำหรับในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ผู้ทำการส่งกำลังไฟฟ้าเป็นผู้รับผิดชอบปริมาณกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้น เพื่อให้ระบบของคนกลางยังคงสถานะที่ดีที่สุดคือ

ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง โดยกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นสำหรับการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางนี้ถือเป็นปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผู้ซื้อ และผู้ขายทำการตกลงซื้อขายกัน โดยเป็นกำลังไฟฟ้าที่ต้องชดเชยให้ระบบคนกลาง การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) จึงกำหนดให้บัสขายกำลังไฟฟ้าเป็นบัสอ้างอิง (Slack Bus) โดยที่สมมติให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าของผู้ขายกำลังไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่กับบัสในระบบของคนกลาง และบัสซื้อกำลังไฟฟ้าเป็นโหลดบัส โดยสมมติให้มีโหลดเพิ่มขึ้นในบัสที่มีผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ จากนั้นนำผลที่ได้มาพิจารณาตามส่วนต่างๆดังนี้

2.1 ปริมาณการไหลของกำลังไฟฟ้าจะพิจารณากำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นว่ามีกำลังไฟฟ้าไหลมากเกินไปจนจำกัดกำลังไฟฟ้าของสายส่งหรือไม่ถ้าสายส่งไม่สามารถรับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้จะไม่ยอมให้ระบบทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า หรือถ้าสายส่งสามารถรับปริมาณกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงได้ จะนำไปพิจารณาข้อจำกัดอื่น และนำไปเปรียบเทียบกับกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปกับกำลังไฟฟ้าในกรณีเริ่มต้นเพื่อนำไปพิจารณาปริมาณการไหลของกำลังไฟฟ้าให้ได้ปริมาณมากที่สุดต่อไป

2.2 แรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสในการส่งกำลังไฟฟ้าที่กำหนดการผลิตกำลังไฟฟ้า และความต้องการไฟฟ้าในแต่ละบัสให้คงที่ ทางเลือกสำหรับการส่งกำลังไฟฟ้าจึงขึ้นอยู่กับการปรับแรงดัน และมุมเฟสเพื่อให้กำลังไฟฟ้าสามารถไหลผ่านในแต่ละสายส่งได้ จึงแสดงได้ว่าถ้าบัสต้นทางมีแรงดันไฟฟ้าสูง และบัสปลายทางมีแรงดันไฟฟ้าต่ำจะทำให้ความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าได้เป็นจำนวนมาก แต่การที่แรงดันไฟฟ้าสูงจนเกินไปอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อหม้อแปลง หรือเซอร์กิตเบรกเกอร์ได้ หรือถ้าต่ำมากก็อาจทำให้โหลดประเภทมอเตอร์มีกระแสไหลสูงมากจนเกิดความเสียหายได้ จึงต้องเลือกระดับแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะสม โดยกำหนดให้ระดับแรงดันไม่เกิน $\pm 5\%$

2.3 ปริมาณกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลางจะพิจารณากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลางในแต่ละเครื่องถ้า

กำลังไฟรีแอกทีฟมีปริมาณสูงเกินกว่าพิกัดหรือต่ำเกินกว่าพิกัด จะทำการปรับกำลังไฟรีแอกทีฟให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด

จากการพิจารณาหัวข้อต่างๆที่ผ่านมา เมื่อคำนวณผลการไหลของกำลังไฟฟ้าเมื่อเกิดการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางในขั้นแรกเรียบร้อยแล้ว จะทำการพิจารณาอัตราส่วนความจุที่เหลือของสายส่งกำลังไฟฟ้า เพื่อทำการปรับปรุงค่าปริมาณกำลังงานที่ส่งจากบัสต้นทางให้ได้ปริมาณมากที่สุดต่อไป

3. วิธีการปรับค่าปริมาณการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง เพื่อให้ได้ปริมาณการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางสูงสุด

จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) ในขั้นตอนก่อนหน้านี้ จะทราบถึงปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลในแต่ละสายส่งและขนาดของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส ในงานวิจัยนี้จะปรับค่าปริมาณการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหรือลดลง โดยการคำนวณจากปริมาณความจุที่เหลืออยู่ภายในสายส่งกำลังไฟฟ้าซึ่งพิจารณาจากสายส่งที่มีปริมาณความจุที่เหลืออยู่น้อยที่สุดในระบบ หรือคำนวณจากแรงดันไฟฟ้าในบัสที่มีแรงดันไฟฟ้าต่ำที่สุด โดยที่แรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสยังคงไม่เกินขีดจำกัดที่ $\pm 5\%$

การเลือกค่าความต้องการปริมาณกำลังไฟฟ้าในการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) ในรอบการคำนวณแรก โดยหาค่าต่ำสุดจากการนำค่าปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งกำลังไฟฟ้าซึ่งวิเคราะห์จากคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม (Optimal Power Flow : OPF) ขณะที่ยังไม่มีกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางมาเปรียบเทียบกับสัดส่วนความจุที่เหลือในสายส่งกำลังไฟฟ้ากับค่าพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดของสายส่งกำลังไฟฟ้าขณะที่ผู้ขายกำลังไฟฟ้าและผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าเชื่อมต่อเข้ากับระบบคนกลาง แต่ยังไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า ดังสมการ

$$P_w^{(1)} = \min \left(P_k \times \frac{S_{mk(\max)}}{S_{mk}} \right) \quad m=1, \dots, N \quad (8)$$

โดยที่ $P_w^{(1)}$ คือ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผู้ซื้อได้รับผ่านระบบคนกลางในรอบที่ 1
 P_k คือ โหลดที่บัสผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า k
 S_{mk} คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลในสายส่งระหว่างบัส m กับบัส k ที่ได้จาก
 OPF
 $S_{mk(\max)}$ คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏสูงสุดที่ไหลในสายส่งระหว่างบัส m กับบัส k

วิธีการตรวจสอบเงื่อนไขของการปรับค่าปริมาณการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางให้ได้ปริมาณมากที่สุดทำได้โดย พิจารณาค่าต่ำสุดของค่าผลต่างแรงดันไฟฟ้าระหว่างค่าที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้ากับค่าพิกัดต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้า และพิจารณาค่าต่ำสุดของค่าผลต่างของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งระหว่างค่าพิกัดสูงสุดของสายส่งกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าแสดงดังสมการ

$$\Delta V_o = \min(V_m^{(i)} - V_{m(\min)}) \quad m=1, \dots, N \quad (9)$$

$$\Delta S_{op} = \min(S_{nm(\max)} - S_{nm}^{(i)}) \quad m=1, \dots, N; n=1, \dots, N; m \neq n \quad (10)$$

โดยที่ $V_m^{(i)}$ คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส m ในรอบการคำนวณที่ i
 $V_{m(\min)}$ คือ พิกัดต่ำสุดของแรงดันไฟฟ้าที่บัส m
 $S_{nm}^{(i)}$ คือ กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งระหว่างบัส n กับบัส m ในรอบการคำนวณที่ i
 $S_{nm(\max)}$ คือ พิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ไหลในสายส่งระหว่างบัส n กับบัส m
 i คือ รอบการคำนวณที่ i

กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถส่งผ่านระบบคนกลางได้คือ $P_w^{(i)}$ ที่ทำให้ $\delta V_o \leq \epsilon$ หรือ $\delta S_{op} \leq \epsilon$ เมื่อ ϵ ได้แก้ค่าที่ยอมรับได้ (ในที่นี้กำหนดให้เป็น 0.0001)

โดยถ้าหาก δV_o และ δS_{op} ยังไม่น้อยไปกว่า ϵ จะทำการปรับค่าปริมาณการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง เพื่อให้ได้ปริมาณการส่งกำลังไฟฟ้ามากขึ้น โดยนำค่าความต้องการปริมาณไฟฟ้าที่เลือกในรอบการคำนวณที่ i ไปวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) ในขณะที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง ซึ่งในการคำนวณจะทราบค่าแรงดันไฟฟ้ากำลังไฟฟ้าไหลในสายส่ง และกำลังไฟฟ้าสูญเสีย โดยการวิจัยนี้กำหนดให้ผู้ส่งกำลังไฟฟ้าเป็นผู้รับผิดชอบกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

ปริมาณกำลังไฟฟ้าส่งผ่านระบบคนกลาง P_w ในรอบการคำนวณถัดไป $i+1$ จะเพิ่มขึ้นได้ อีกหรือไม่ ขึ้นอยู่กับค่าแรงดันที่บัสต่างๆในระบบ และปริมาณกำลังที่ไหลในสายส่งทุกเส้นที่ยังคงอยู่ในขอบเขตสูงสุดและต่ำสุด ถ้า $P_w^{(i+1)}$ ทำให้แรงดันหรือกำลังที่ไหลในสายส่งถึงขอบเขตดังกล่าว ค่า P_w นั้นถือเป็นค่าสูงสุดที่ระบบคนกลางจะยินยอมให้มีการส่งผ่านจากบัสผู้ขายไปยังบัสผู้ซื้อ กำลังไฟฟ้าได้

ดังนั้นการประมาณค่า P_w ในรอบการคำนวณถัดไป จะพิจารณาจากสัดส่วนเทียบกับขอบเขตของแรงดันและกำลังในสายส่ง โดยพิจารณาจาก δV_o และ δS_{op} ในสมการ (9) และ (10) ถ้าค่า δV_o น้อยกว่า δS_{op} จะใช้สัดส่วนแรงดันของบัส o ซึ่งเป็นบัสที่ทำให้ δV_o น้อยสุดในการพิจารณา $P_w^{(i+1)}$ ดังแสดงในสมการ (11) เพื่อป้องกันไม่ให้แรงดันที่บัส o เกินขอบเขตแรงดัน

$$P_w^{(i+1)} = P_w^{(i)} \times \frac{V_{o(\min)}}{V_o^{(i)}} \quad (11)$$

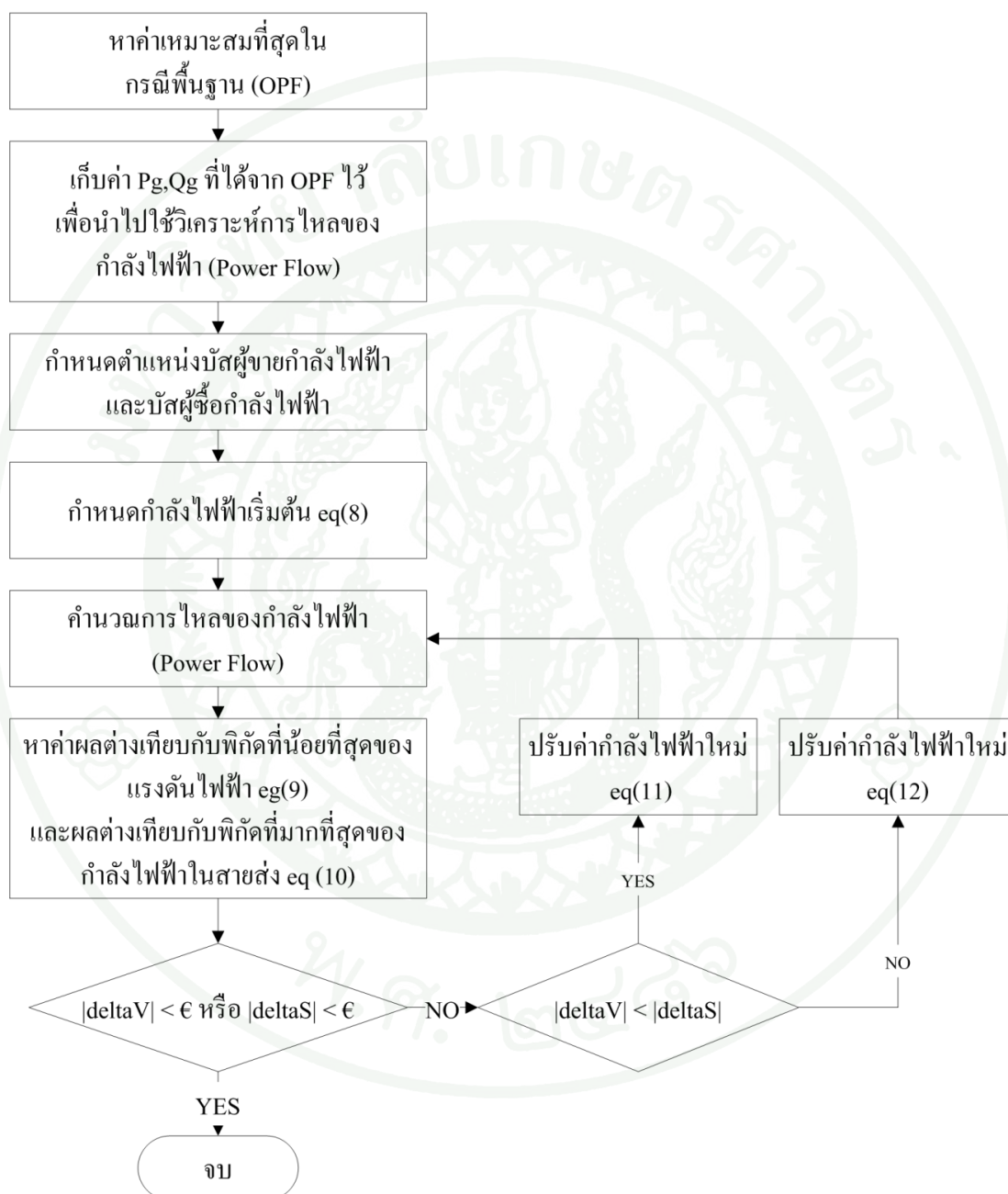
ถ้าค่า δS_{op} น้อยกว่า δV_o จะใช้สัดส่วนกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง op ซึ่งเป็นสายส่งที่เหลือน้อยที่สุดในการพิจารณาหาค่า $P_w^{(i+1)}$ ดังแสดงในสมการ (12) เพื่อป้องกันไม่ให้กำลังไฟฟ้าไหลในสายส่งเกินพิกัด

$$P_w^{(i+1)} = P_w^{(i)} \times \frac{S_{op(max)}}{S_{op}^{(i)}} \quad (12)$$

โดยที่ $P_w^{(i)}$ คือ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผู้ซื้อได้รับผ่านระบบคนกลางในรอบที่ i

$P_w^{(i+1)}$ คือ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผู้ซื้อได้รับผ่านระบบคนกลางในรอบที่ $i+1$

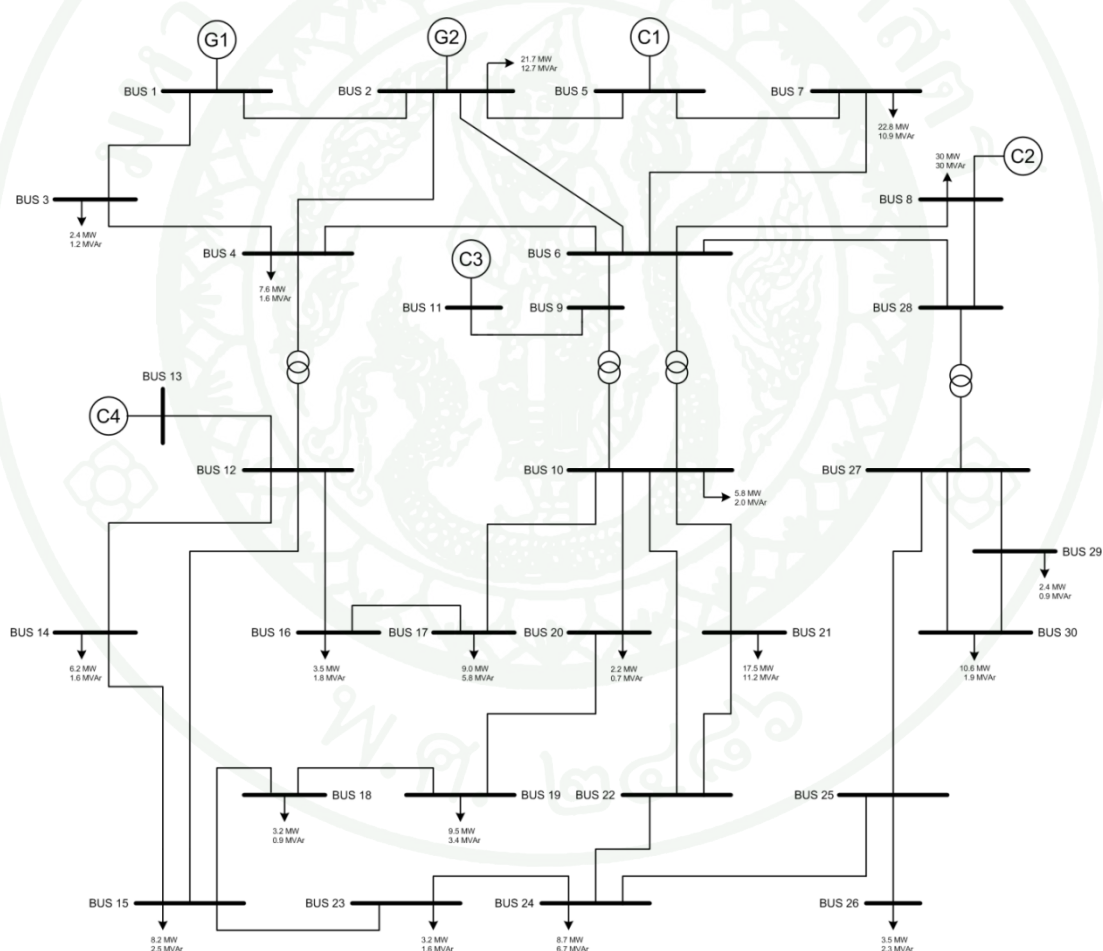
กระบวนการในการคำนวณหากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถส่งผ่านระบบคนกลางได้แสดง
 ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการหาปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถไหลผ่านระบบคนกลาง

กรณีศึกษา

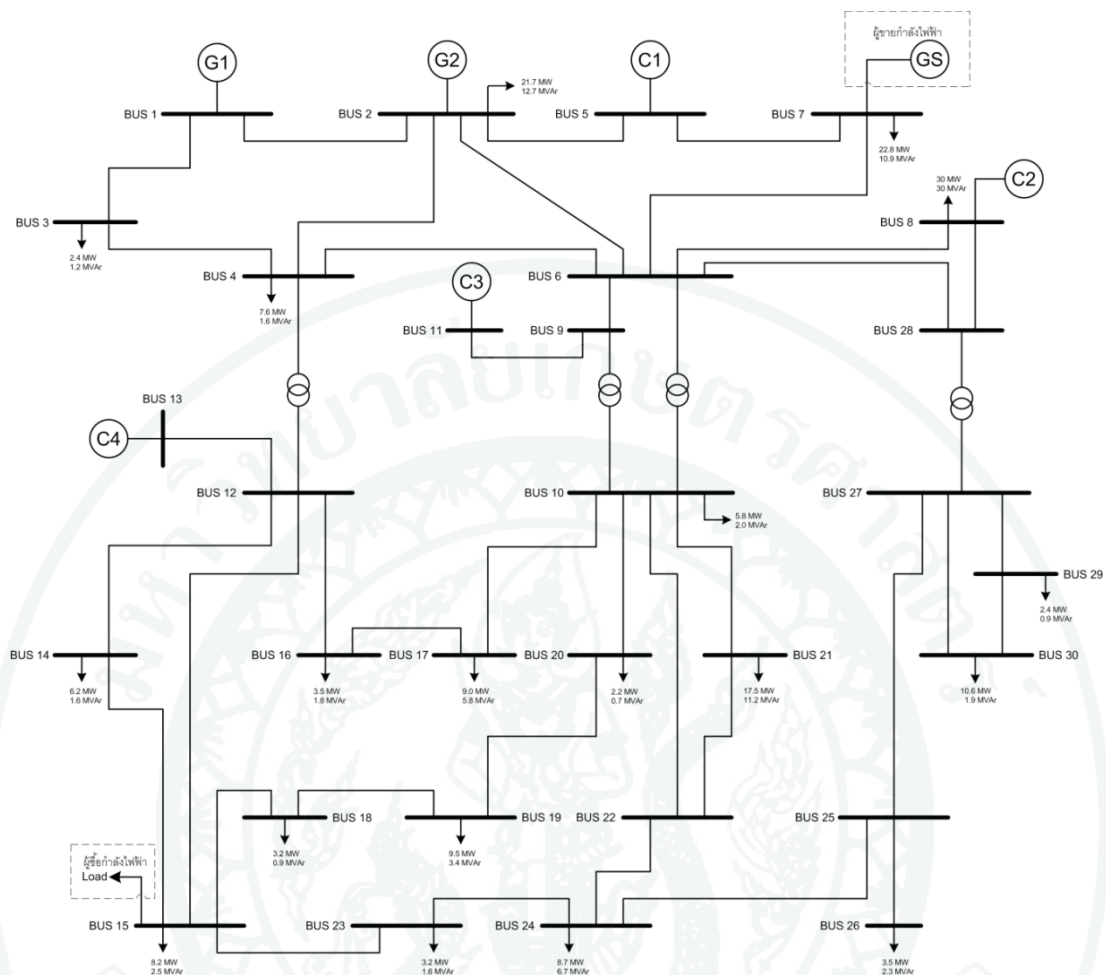
งานวิจัยนี้จะศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าเหมาะสมที่สุดของการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบ
 คนกลาง โดยกำหนดให้ระบบ *IEEE 30bus* เป็นระบบไฟฟ้าคนกลาง ประกอบด้วยบัสทั้งหมด 30
 บัส และสายส่งทั้งหมด 41 เส้น โดยแสดงรายละเอียดตามข้อมูลภาคผนวก ก พร้อมทั้งข้อมูลของ
 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบคนกลาง โดยมีค่ากำลังไฟฟ้าฐาน 100 MVA ซึ่งแสดงระบบไฟฟ้าของ
 คนกลางดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ระบบไฟฟ้าคนกลาง

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า จะเริ่มต้นจากระบบคนกลางที่ยังไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า โดยใช้โปรแกรม MATPOWER วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม (OPF) มาช่วยในการคำนวณ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจะเป็นการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดของระบบคนกลาง โดยคำนึงขีดความสามารถในการจ่ายกำลังไฟฟ้าในเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าแต่ละเครื่อง และความต้องการกำลังไฟฟ้าอย่างเพียงพอ พร้อมทั้งแรงดันในบัสแต่ละบัสต้องอยู่ในขอบเขตที่ใช้งานได้ หลังจากหาคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมแล้ว จะนำข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ได้ไปใช้คำนวณในขั้นต่อไป เพื่อคงค่าของระบบคนกลางให้อยู่ในสถานะที่เหมาะสมที่สุด และนำค่ากำลังไฟฟ้าในแต่ละสายส่ง แรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสไปวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลง เมื่อมีผู้ซื้อ-ขาย กำลังไฟฟ้าต่อเชื่อมเข้ากับระบบคนกลาง

ในขณะทำการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง จะเกิดจุดเชื่อมต่อระหว่างผู้ขายกับระบบคนกลาง และจุดเชื่อมต่อระหว่างผู้ซื้อกับระบบคนกลาง ในงานวิจัยนี้จะกำหนดให้จุดส่งกำลังไฟฟ้าของผู้ขายเป็น “บัสผู้ขาย” และจุดรับกำลังไฟฟ้าของผู้ซื้อเป็น “บัสผู้ซื้อ” โดยที่ทั้งบัสผู้ซื้อ และผู้ขายทำการเชื่อมต่อกับระบบคนกลางโดยตรง จึงไม่มีการเพิ่มบัสใหม่ในระบบคนกลาง ดังตัวอย่างแสดงในภาพที่ 3 โดยบัสผู้ขายได้แก่บัส 7 และบัสผู้ซื้อได้แก่บัส 15



ภาพที่ 3 ระบบตัวอย่างสำหรับการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง

ในการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางในงานวิจัยนี้ จะศึกษาความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าสูงสุด โดยคำนึงถึงระบบคนกลางให้ได้รับผลกระทบให้น้อยที่สุด กล่าวคือให้กำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าในระบบคนกลางยังคงเดิม จึงทำให้การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าจะต้องมีการกำหนดการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องผลิตกำลังไฟฟ้าในแต่ละบัสคงเดิม ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าในบัสผลิตกำลังไฟฟ้ามีค่าคงเดิมด้วย

ดังนั้นหลังจากเชื่อมต่อผู้ขายกำลังไฟฟ้า และผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าเข้ามาในระบบคนกลาง จะวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าโดยกำหนดให้บัสที่มีผู้ขายกำลังไฟฟ้าเพิ่มเข้ามาเป็นบัสอ้างอิง (Slack Bus) ซึ่งทำหน้าที่เสมือนเป็นบัสที่มีการผลิตไฟฟ้า และทำหน้าที่ชดเชยกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Loss) เมื่อมีการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางและบัสที่มีผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าเพิ่มเข้ามาจะถูกกำหนดให้เป็นโหลดบัส (PQ Bus)

ปริมาณของกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการวิเคราะห์การส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางสำหรับงานวิจัยนี้ เริ่มต้นจะเลือกความต้องการในการซื้อกำลังไฟฟ้าโดยใช้สัดส่วนความจุที่เหลือในสายส่ง ขณะที่ไม่มีมีการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง เทียบกับขณะที่มีผู้ขายกำลังไฟฟ้าและผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าเชื่อมต่อเข้ากับระบบคนกลาง และปรับกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นหรือลดลงโดยใช้ค่าปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในรอบที่ i และ $i+1$ เทียบหาสัดส่วนส่วนความจุที่เหลือในสายส่ง หรือเทียบหาสัดส่วนของแรงดันไฟฟ้า จนกระทั่งถึงพิกัดกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่รับได้ของระบบ ดังแสดงในภาพที่ 1

ผลและวิจารณ์

1. วิเคราะห์การไหลของการส่งกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดของระบบคนกลาง ขณะที่ยังไม่มี การส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

ตารางที่ 1 แสดงผลการคำนวณที่ได้จากวิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบคนกลางในกรณีที่ไม่มี การส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง

	กำลังไฟฟ้าจริง (MW)	กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (MVar)
กำลังการผลิต	195.87	116
ชดเชยแรงดันขั้วที่ 5	-	0.204
ชดเชยแรงดันขั้วที่ 24	-	0.037
ชดเชยแรงดันในสายส่ง	-	23.3
โหลด	189.2	107.2
กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Loss)	6.67	32.31

เมื่อพิจารณาผลของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ได้จากในตารางพบว่า กำลังการผลิตรวมไม่เท่ากับผลรวมของโหลดกับกำลังไฟฟ้าสูญเสีย ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากระบบของคนกลางมีการติดตั้งชดเชยแรงดันเข้ามาในขั้วที่ 5 เป็นจำนวน 0.19 MVar และขั้วที่ 24 เป็นจำนวน 0.04 MVar ที่แรงดันไฟฟ้า 1pu ดังนั้นในระบบจะมีการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจากขั้ว 5 เป็นจำนวน $0.19 \times (1.037/1)^2 = 0.204$ MVar และขั้ว 24 เป็นจำนวน $0.04 \times (0.967/1)^2 = 0.037$ MVar รวมทั้งในสายส่งยังติดตั้งชดเชยแรงดันเข้ามาด้วย ทำให้มีการชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเข้ามาอีก 23.3 MVar

โปรแกรมคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม (OPF) สามารถควบคุมแรงดันไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าแต่ละตัว และปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในสายส่งแต่

เส้น ให้ไม่เกินขอบเขตที่จะทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบได้ ในกรณีตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ บัสที่ 1 และ 11 จะมีค่าแรงดันไฟฟ้าสูงเกิน ซึ่งโปรแกรมการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมจะปรับค่าใหม่ให้เหมาะสมที่สามารถทำงานได้ตามขอบเขตที่กำหนด

ตารางที่ 2 แสดงผลการคำนวณแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมของระบบคนกลาง ในขณะที่ไม่มีการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	0	106.35	-11.22	-	-
2	1.047	-1.824	89.52	26.09	21.7	12.7
3	1.026	-4.805	-	-	2.4	1.2
4	1.020	-5.767	-	-	7.6	1.6
5	1.037	-4.838	0	8.08	-	-
6	1.018	-6.706	-	-	-	-
7	1.017	-6.429	-	-	22.8	10.9
8	1.022	-7.510	0	49.96	30.0	30.0
9	1.013	-10.052	-	-	-	-
10	0.993	-11.866	-	-	5.8	2.0
11	1.050	-10.052	0	18.52	-	-
12	1.012	-11.654	-	-	11.2	7.5
13	1.045	-11.654	0	24.57	-	-
14	0.996	-12.554	-	-	6.2	1.6
15	0.990	-12.552	-	-	8.2	2.5
16	0.997	-12.041	-	-	3.5	1.8
17	0.988	-12.147	-	-	9.0	5.8
18	0.978	-13.077	-	-	3.2	0.9

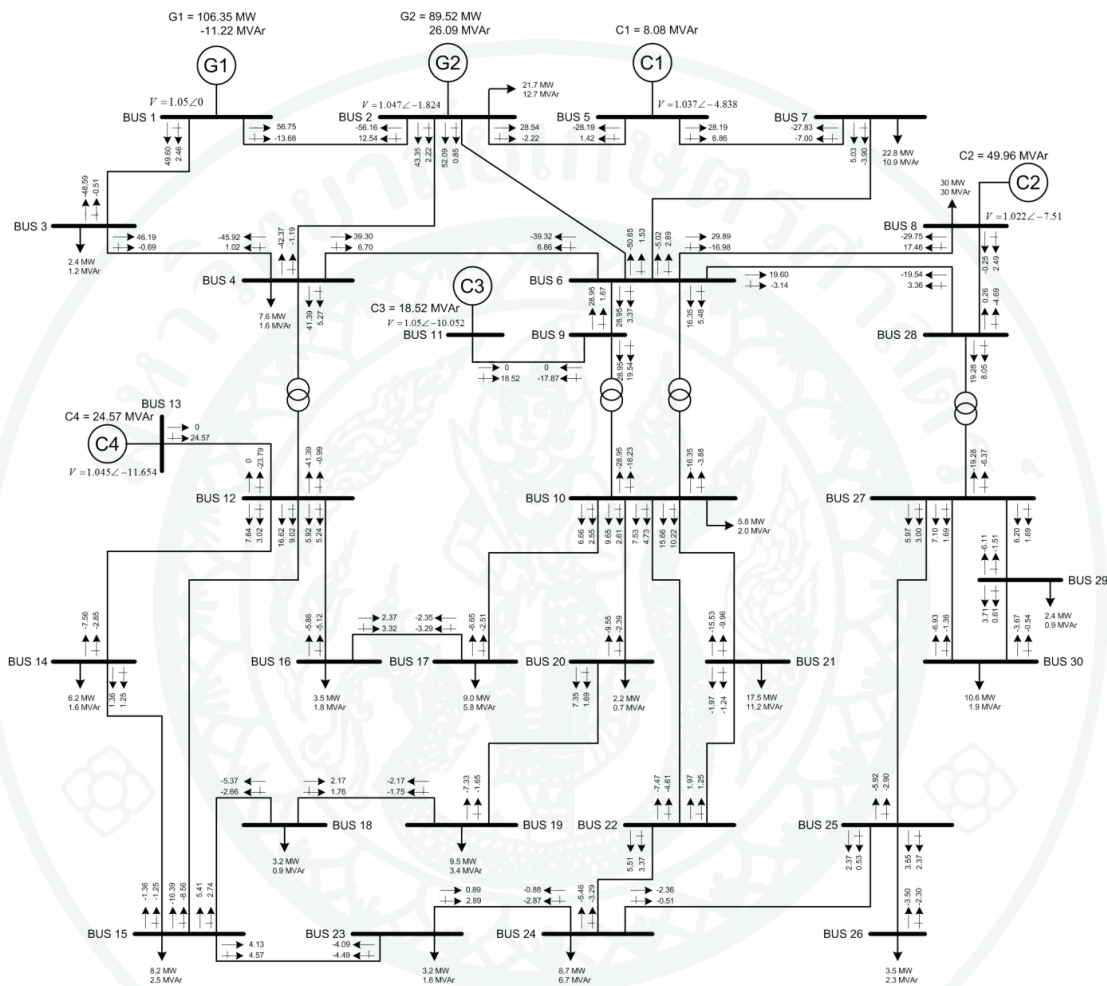
ตารางที่ 2 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
19	0.974	-13.178	-	-	9.5	3.4
20	0.978	-12.912	-	-	2.2	0.7
21	0.979	-12.347	-	-	17.5	11.2
22	0.980	-12.328	-	-	-	-
23	0.077	-12.775	-	-	3.2	1.6
24	0.967	-12.690	-	-	8.7	6.7
25	0.974	-12.275	-	-	-	-
26	0.955	-12.734	-	-	3.5	2.3
27	0.987	-11.726	-	-	-	-
28	1.015	-7.355	-	-	-	-
29	0.966	-13.051	-	-	2.4	0.9
30	0.954	-14.005	-	-	10.6	1.9
รวม			195.87	116.0	189.2	107.2

ในตารางที่ 2 แสดงข้อมูลของแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม โดยแสดงให้เห็นว่า บัสที่ 1 และ 11 มีแรงดันไฟฟ้าสูงสุด เนื่องจากเป็นบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทำให้มีแรงดันไฟฟ้าที่สูง เพื่อที่จะได้ส่งกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดได้ในปริมาณมาก โปรแกรมวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดมีขีดจำกัดของแรงดันไฟฟ้าได้ไม่เกิน $\pm 5\%$ ทำให้แรงดันไฟฟ้าสูงสุดมีค่าไม่เกิน 1.05pu

จากกรณีศึกษาจะแบ่งการไหลของกำลังไฟฟ้าไว้ 2 เขตคือด้านเหนือหม้อแปลงไฟฟ้า และด้านล่างหม้อแปลงไฟฟ้างแสดงในภาพที่ 4 จะพบว่าการไหลของกำลังไฟฟ้าจะไหลจากด้านเหนือของหม้อแปลงไฟฟ้า ไปยังทางด้านล่างของหม้อแปลงไฟฟ้า ซึ่งการไหลของกำลังไฟฟ้าในลักษณะนี้นับได้ว่า ทางด้านเหนือของหม้อแปลงไฟฟ้าส่วนใหญ่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และทางด้านล่าง

ของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นส่วนของผู้รับกำลังไฟฟ้า ทำให้เกิดการไหลของกำลังไฟฟ้าจากบัสผู้ผลิต
กำลังไฟฟ้าไปยังโหลด



ภาพที่ 4 ผลการคำนวณที่ได้จากวิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบคน
กลาง ขณะยังไม่มี การส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง

ตารางที่ 3 แสดงข้อมูลการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบขณะยังไม่มี การส่งกำลังไฟฟ้าผ่าน
ระบบคนกลางในรูปของกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟและกำลังไฟฟ้าปรากฏ รวมทั้ง
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งแต่ละเส้น

ตารางที่ 3 การไหลของกำลังไฟฟ้าขณะยังไม่มีกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง

สายส่ง เส้นที่	จากบัสที่ ไปยังบัส		กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก i ไปยัง j			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
	i	j	P_{ij} (MW)	Q_{ij} (MVar)	$ S_{ij} $ (MVA)	(MW)	(MVar)
1	1	2	56.75	-13.68	58.37	0.587	1.76
2	1	3	49.60	2.46	49.66	1.014	4.15
3	2	4	43.35	2.22	43.40	0.983	2.99
4	3	4	46.19	-0.69	46.19	0.268	0.77
5	2	5	28.54	-2.22	28.62	0.351	1.48
6	2	6	52.09	0.85	52.09	1.441	4.37
7	4	6	39.30	-6.70	39.86	0.181	0.63
8	5	7	28.19	6.86	29.01	0.363	0.92
9	6	7	-5.02	2.89	5.79	0.009	0.03
10	6	8	29.89	-16.98	34.37	0.137	0.48
11	6	9	28.95	3.37	29.14	0	1.70
12	6	10	16.35	5.48	17.24	0	1.59
13	9	11	0	-17.87	17.87	0	0.65
14	9	10	28.95	19.54	34.92	0	1.31
15	4	12	41.39	5.27	41.72	0	4.28
16	12	13	0	-23.79	23.79	0	0.77
17	12	14	7.64	3.02	8.21	0.081	0.17
18	12	15	16.62	9.02	18.90	0.231	0.45
19	12	16	5.92	5.24	7.91	0.058	0.12
20	14	15	1.36	1.25	1.84	0.008	0.01
21	16	17	2.37	3.32	4.07	0.014	0.03
22	15	18	5.41	2.74	6.06	0.040	0.08
23	18	19	2.17	1.76	2.79	0.005	0.01
24	19	20	-7.33	-1.65	7.51	0.020	0.04
25	10	20	9.65	2.61	9.99	0.095	0.21

ตารางที่ 3 (ต่อ)

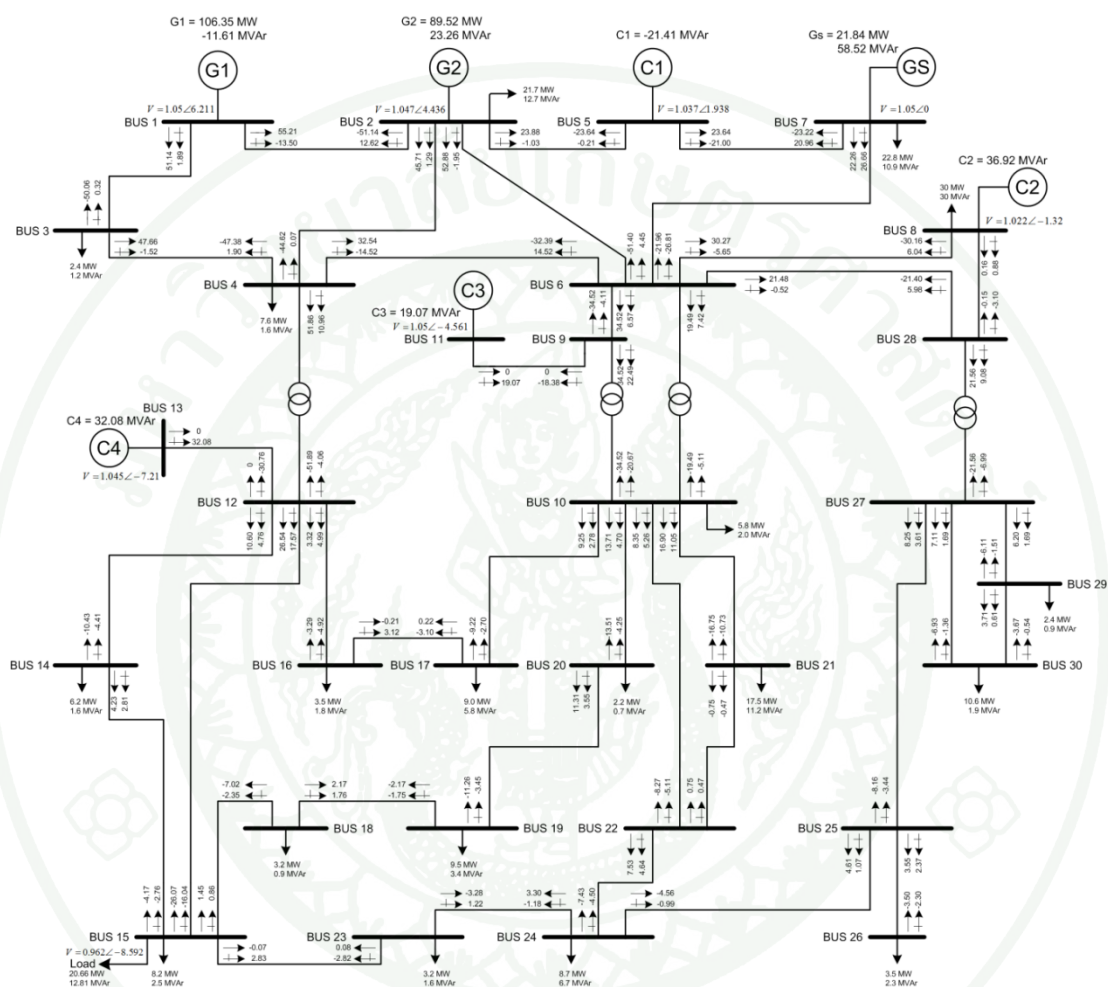
สายส่ง เส้นที่	จากบัสที่ ไปยังบัส		กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก i ไปยัง j			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
	i	j	P_{ij} (MW)	Q_{ij} (MVar)	$ S_{ij} $ (MVA)	(MW)	(MVar)
26	10	17	6.66	2.55	7.13	0.017	0.04
27	10	21	15.66	10.22	18.70	0.123	0.27
28	10	22	7.53	4.73	8.89	0.058	0.12
29	21	22	-1.97	-1.24	2.33	0.001	0
30	15	23	4.13	4.57	6.16	0.039	0.08
31	22	24	5.51	3.37	6.46	0.050	0.08
32	23	24	0.89	2.89	3.02	0.013	0.03
33	24	25	-2.36	-0.51	2.41	0.012	0.02
34	25	26	3.55	2.37	4.27	0.049	0.07
35	25	27	-5.92	-2.90	6.59	0.050	0.10
36	28	27	19.28	8.05	20.89	0	1.68
37	27	29	6.20	1.69	6.43	0.093	0.18
38	27	30	7.10	1.69	7.30	0.175	0.33
39	29	30	3.71	0.61	3.76	0.036	0.07
40	8	28	-0.25	2.49	2.50	0.008	0.03
41	6	28	19.60	-3.14	19.85	0.063	0.22
					รวม	6.673	32.32

2. วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า เมื่อมีการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง

การส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางจะทดลองทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายกำลังไฟฟ้า บัสที่ 7 ไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 15 และ 24 ตามลำดับเนื่องจากบัสที่ 7 มีโหลดของระบบคนกลางและอยู่ในด้านแรงดันไฟฟ้าสูง โดยทั้งบัสที่ 15 และ 24 ตั้งอยู่ในด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำและมีโหลดของระบบคนกลางอยู่เช่นกัน จึงขกกรณีนี้มาศึกษาวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงในระบบคนกลาง และคำนวณหากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถส่งผ่านระบบคนกลางได้

ซึ่งในทุกกรณีศึกษาปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านระบบคนกลางจะเป็นปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถส่งผ่านระบบคนกลาง โดยที่ระบบคนกลางยังคงมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด (Optimal) เหมือนก่อนระบบจะมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

2.1 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายที่บัสที่ 7 ไปยังผู้ซื้อที่บัสที่ 15



ภาพที่ 5 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบคนกลาง กรณีที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายที่บัสที่ 7 ไปยังผู้ซื้อที่บัสที่ 15

หลังจากทำการส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามาในระบบคนกลาง ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าแสดงให้เห็นว่าในแต่ละสายส่งมีปริมาณกำลังไฟฟ้าไหลอยู่มากขึ้น และบางสายส่งมีการไหลกลับทิศของกำลังไฟฟ้าจากกรณีที่ไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) ที่ทำการปรับค่าแรงดัน และมุมในโหนดบัส และปรับค่ากำลังไฟฟ้ารี

แอกทีฟ กับมุมของแรงดันในบัสผลิตกำลังไฟฟ้า เพื่อให้เกิดการไหลของกำลังไฟฟ้าในสถานะที่มี การจำกัดการผลิตกำลังไฟฟ้า และต้องการส่งกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดให้เพียงพอ จึงทำให้ระบบคน กลางเปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของ ระบบคนกลาง ในกรณีผู้ขายบัสที่ 7 และผู้ซื้อบัสที่ 15

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	6.193	106.35	-11.62	-	-
2	1.047	4.416	89.52	20.87	21.7	12.7
3	1.027	1.230	-	-	2.4	1.2
4	1.021	0.234	-	-	7.6	1.6
5	1.042	1.847	0	-15.00	-	-
6	1.023	-0.596	-	-	-	-
7	1.050	0	21.77	54.35	22.8	10.9
8	1.022	-1.329	0	36.91	30.0	30.0
9	1.012	-4.571	-	-	-	-
10	0.988	-6.746	-	-	5.8	2.0
11	1.050	-4.571	0	19.07	-	-
12	1.002	-7.222	-	-	11.2	7.5
13	1.045	-7.222	0	32.08	-	-
14	0.977	-8.467	-	-	6.2	1.6
15	0.962	-8.604	-	-	28.87	15.31
16	0.989	-7.330	-	-	3.5	1.8
17	0.983	-7.154	-	-	9.0	5.8
18	0.958	-8.743	-	-	3.2	0.9
19	0.959	-8.603	-	-	9.5	3.4
20	0.966	-8.202	-	-	2.2	0.7

ตารางที่ 4 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
21	0.974	-7.271	-	-	17.5	11.2
22	0.974	-7.263	-	-	-	-
23	0.956	-8.418	-	-	3.2	1.6
24	0.957	-7.763	-	-	8.7	6.7
25	0.970	-6.950	-	-	-	-
26	0.951	-7.412	-	-	3.5	2.3
27	0.986	-6.154	-	-	-	-
28	1.018	-1.277	-	-	-	-
29	0.966	-7.48	-	-	2.4	0.9
30	0.954	-8.435	-	-	10.6	1.9
รวม			217.64	136.66	209.87	120.01

จากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้านี้ระบบคนกลางมีกำลังการผลิตไฟฟ้าที่ 195.87 MW และ 82.31 MVar แสดงว่าการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางด้วยวิธีนี้ทำให้ระบบคนกลางมีค่าใช้จ่ายคงที่ เนื่องจากการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงของระบบคนกลางคงที่และระบบคนกลางจ่ายกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟน้อยลง ซึ่งผู้ขายกำลังไฟฟ้าส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามาในระบบคนกลางปริมาณมากที่สุดได้จำนวน 21.77 MW, 54.35 MVar เพื่อให้ผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าได้รับกำลังไฟฟ้าขนาด 20.66 MW, 12.80 MVar เนื่องจากสายส่งกำลังไฟฟ้าเส้นที่ 18 ที่เชื่อมระหว่างบัสที่ 12 กับบัสที่ 15 มีขนาดถึงพิกัดสูงสุดของสายส่งดังแสดงในตารางที่ 5 โดยที่ผู้ขายกำลังไฟฟ้าต้องจ่ายกำลังไฟฟ้ามากกว่าที่ผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าได้รับเนื่องมาจากการชดเชยกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Loss) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง จากการที่ปริมาณกำลังไฟฟ้าในระบบคนกลางมีมากขึ้น ทำให้กำลังการไหลของไฟฟ้าในสายส่งมีปริมาณเพิ่มขึ้น ก่อให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มขึ้นตาม จึงกำหนดให้บัสที่มีผู้ขายกำลังไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่เป็นบัสอ้างอิง (Slack Bus) เพื่อต้องการให้เป็นบัสที่รับผิดชอบกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้น

เมื่อพิจารณาถึงแรงดันในแต่ละบัส จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าในบัสที่ 15 ซึ่งเป็นบัสผู้ซื้อ
กำลังไฟฟ้า จะลดลงเมื่อมีการส่งผ่านกำลังงาน ส่วนบัสที่ 7 ซึ่งเป็นบัสผู้ขายกำลังไฟฟ้า
แรงดันไฟฟ้าจะถูกดันไว้ให้คงที่ ที่ $1.05 \angle 0$

ตารางที่ 5 การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายบัสที่ 7 และผู้ซื้อบัสที่ 15

สายส่ง เส้นที่	จากบัสที่ ไปยังบัส		กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก i ไปยัง j			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
	i	j	P_{ij} (MW)	Q_{ij} (MVar)	$ S_{ij} $ (MVA)	(MW)	(MVar)
1	1	2	55.26	-13.51	56.89	0.557	1.67
2	1	3	51.09	1.89	51.13	1.074	4.40
3	2	4	45.64	1.30	45.66	1.086	3.31
4	3	4	47.62	-1.51	47.64	0.284	0.82
5	2	5	24.10	-3.48	24.35	0.252	1.06
6	2	6	52.78	-1.93	52.82	1.477	4.48
7	4	6	32.43	-14.49	35.52	0.143	0.50
8	5	7	23.84	-17.05	29.31	0.357	0.90
9	6	7	-22.16	-26.74	34.73	0.301	0.92
10	6	8	30.27	-5.65	30.79	0.109	0.38
11	6	9	34.52	6.57	35.14	0	2.45
12	6	10	19.49	7.42	20.85	0	2.31
13	9	11	0	-18.38	18.38	0	0.69
14	9	10	34.52	22.49	41.20	0	1.82
15	4	12	51.86	10.96	53.01	0	6.90
16	12	13	0	-30.76	30.76	0	1.32
17	12	14	10.6	4.76	11.62	0.165	0.34
18	12	15	26.74	17.58	32.00	0.675	1.33
19	12	16	3.32	4.99	5.99	0.034	0.07

ตารางที่ 5 (ต่อ)

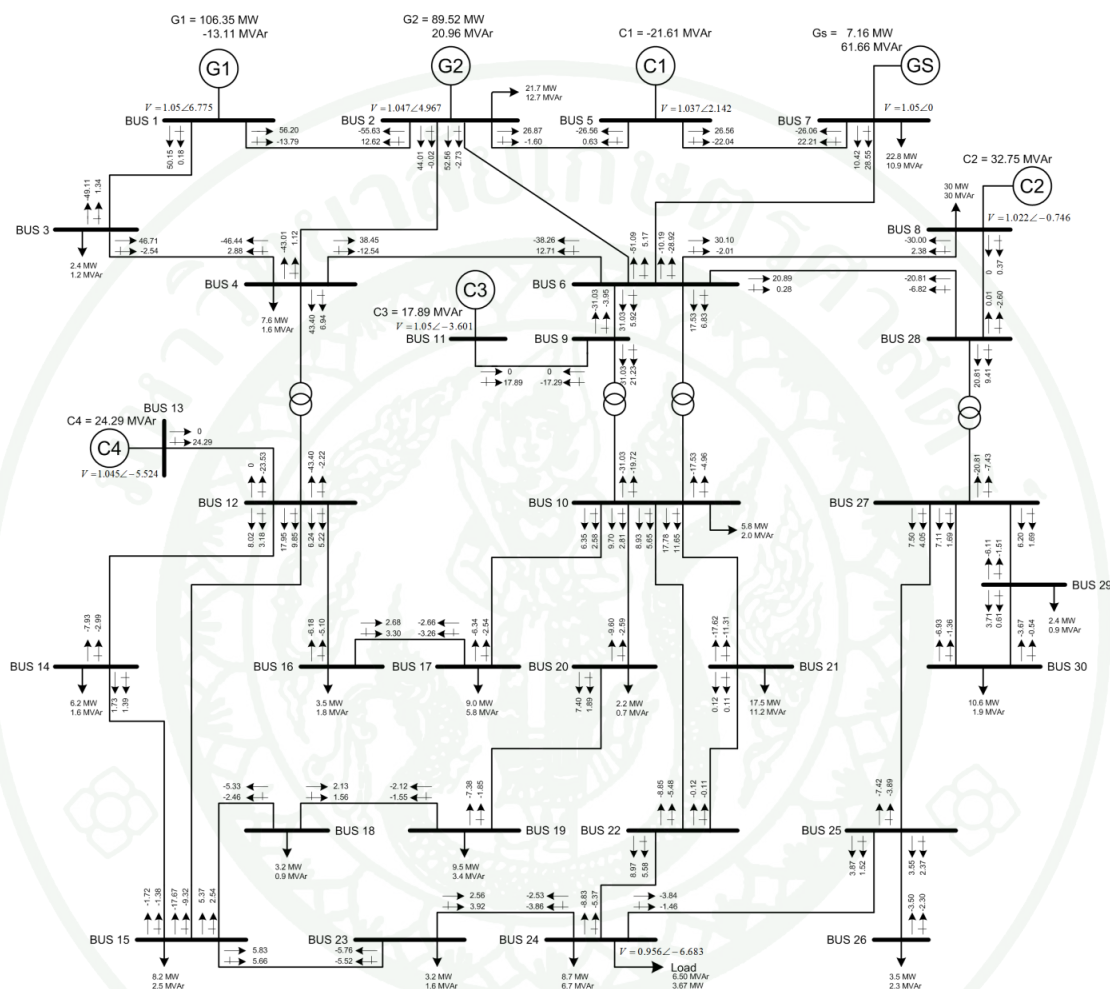
สายส่ง เส้นที่	จากบัสที่ ไปยังบัส		กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก i ไปยัง j			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
	i	j	P_{ij} (MW)	Q_{ij} (MVar)	$ S_{ij} $ (MVA)	(MW)	(MVar)
20	14	15	4.23	2.81	5.08	0.06	0.05
21	16	17	-0.22	3.12	3.13	0.008	0.02
22	15	18	1.45	0.86	1.69	0.003	0.01
23	18	19	-1.76	-0.04	1.76	0.002	0
24	19	20	-11.26	-3.45	11.78	0.051	0.10
25	10	20	-13.71	4.70	14.49	0.201	0.45
26	10	17	9.26	2.78	9.67	0.031	0.08
27	10	21	16.90	11.05	20.19	0.145	0.31
28	10	22	8.35	5.26	9.87	0.072	0.15
29	21	22	-0.75	-0.47	0.89	0	0
30	15	23	-0.07	2.83	2.83	0.009	0.02
31	22	24	7.53	4.64	8.84	0.095	0.15
32	23	24	-3.28	1.22	3.50	0.018	0.04
33	24	25	-4.57	-0.99	4.68	0.045	0.08
34	25	26	3.55	2.37	4.27	0.049	0.07
35	25	27	-8.16	-3.44	8.86	0.091	0.17
36	28	27	21.56	9.08	23.39	0	2.09
37	27	29	6.20	1.69	6.43	0.093	0.18
38	27	30	7.11	1.69	7.31	0.176	0.33
39	29	30	3.71	0.61	3.76	0.036	0.07
40	8	28	0.16	0.88	0.89	0.002	0.01
41	6	28	21.48	-0.52	21.49	0.076	0.27
						7.777	40.32

สำหรับการไหลของกำลังไฟฟ้าขณะที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง เมื่อพิจารณาในแต่ละสายส่งที่เชื่อมต่อกับบัสที่ 7 จะพบว่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้าเพื่อจ่ายโหลดให้บัสที่ 7 มีปริมาณลดลงจากกรณีที่ไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในทุกๆสายส่ง การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกำลังไฟฟ้าในลักษณะนี้อธิบายได้ว่า เมื่อมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเข้ามาในระบบ ปริมาณกำลังไฟฟ้าจะไม่ลดลงหรือเพิ่มขึ้นในสายส่งใดสายส่งหนึ่ง แต่จะมีการปรับแรงดันไฟฟ้าและมุมในแต่ละบัส เพื่อให้กำลังไฟฟ้าส่งไปยังบัสผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าได้

พิจารณากำลังไฟฟ้าที่บัสที่ 7 ซึ่งมีผู้ขายกำลังไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่กับระบบ สายส่งเส้นที่ 8 และ 9 ซึ่งเชื่อมระหว่างบัสที่ 5 กับบัสที่ 7 และบัสที่ 6 กับบัสที่ 7 ตามลำดับมีปริมาณกำลังไฟฟ้าไหลเข้าบัสที่ 7 ลดน้อยลงเนื่องมาจากมีกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายกำลังไฟฟ้าจ่ายโหลดให้บัสที่ 7 ซึ่งการไหลในลักษณะนี้แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ส่งมาจากผู้ขายกำลังไฟฟ้าไม่ได้ถูกส่งไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าโดยตรง แต่เป็นการปรับการไหลของกำลังไฟฟ้าจากระบบคนกลางเพื่อจ่ายให้โหลดของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าอีกที

จากการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางหากพิจารณากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Loss) ในระบบของคนกลาง จะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 7.777 MW ซึ่งมีปริมาณมากกว่าขณะที่ไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าซึ่งมีกำลังสูญเสีย 6.673 MW จึงอธิบายได้ว่าปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลมากขึ้นในระบบคนกลาง ส่งผลให้ปริมาณกำลังไฟฟ้าสูญเสียเพิ่มมากขึ้นด้วย แต่เมื่อพิจารณาในสายส่งแต่ละเส้น กำลังไฟฟ้าสูญเสียในบางสายส่งมีปริมาณน้อยลง อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากสายส่งอื่นๆ มีปริมาณน้อยลงในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า จึงทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียน้อยลงไปด้วย ซึ่งกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นนี้ผู้ขายกำลังไฟฟ้าเป็นผู้ชดเชย ทำให้ผู้ขายกำลังไฟฟ้าต้องส่งกำลังไฟฟ้าเป็นปริมาณที่มากกว่าที่ผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าต้องการจากระบบ

2.2 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายที่บัสที่ 7 ไปยังผู้ซื้อที่บัสที่ 24



ภาพที่ 6 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบคนกลาง กรณีที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายที่บัสที่ 7 ไปยังผู้ซื้อที่บัสที่ 24

ลักษณะการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายบัสที่ 7 ไปยังผู้ซื้อบัสที่ 24 ยังคงมีทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในทิศทางเดียวกับกรณีที่ 2.1 แต่ทำให้แรงดันเปลี่ยนแปลงไปดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีผู้ขายบัสที่ 7 และผู้ซื้อบัสที่ 24

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	6.756	106.35	-13.12	-	-
2	1.047	4.946	89.52	18.50	21.7	12.7
3	1.029	1.873	-	-	2.4	1.2
4	1.024	0.895	-	-	7.6	1.6
5	1.042	2.048	0	-15.00	-	-
6	1.025	-0.052	-	-	-	-
7	1.050	0	7.09	57.35	22.8	10.9
8	1.022	-0.757	0	32.74	30.0	30.0
9	1.015	-3.612	-	-	-	-
10	0.992	-5.555	-	-	5.8	2.0
11	1.050	-3.612	0	17.89	-	-
12	1.012	-5.257	-	-	11.2	7.5
13	1.045	-5.257	0	24.29	-	-
14	0.995	-6.201	-	-	6.2	1.6
15	0.988	-6.223	-	-	8.2	2.5
16	0.996	-5.680	-	-	3.5	1.8
17	0.988	-5.820	-	-	9.0	5.8
18	0.977	-6.757	-	-	3.2	0.9
19	0.973	-6.862	-	-	9.5	3.4
20	0.977	-6.598	-	-	2.2	0.7
21	0.977	-6.103	-	-	17.5	11.2
22	0.977	-6.104	-	-	-	-
23	0.971	-6.588	-	-	3.2	1.6
24	0.956	-6.695	-	-	15.2	10.73

ตารางที่ 6 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
25	0.969	-6.083	-	-	-	-
26	0.950	-6.547	-	-	3.5	2.3
27	0.986	-5.409	-	-	-	-
28	1.019	-0.704	-	-	-	-
29	0.965	-6.737	-	-	2.4	0.9
30	0.953	-7.692	-	-	10.6	1.9
รวม			202.96	122.65	195.7	111.23

ในกรณีนี้ระบบคนกลางต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าลดลงเหลือ 65.3 MVar และเมื่อพิจารณาระดับแรงดัน ผลที่ได้ยังคงคล้ายกับกรณี 2.1 และแรงดันในบัสที่ 26 มีค่า $0.95 \angle -6.547$ ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำมาก จึงทำให้ผู้ขายกำลังไฟฟ้าสามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้เพียง 7.09 MW แต่ระบบคนกลางยังคงสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้า และจ่ายโหลดให้กับระบบได้ เมื่อคำนวณหาผลการไหลของกำลังไฟฟ้า จะได้ผลดังตารางที่ 7

เมื่อพิจารณาถึงกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ ผู้ขายกำลังไฟฟ้าจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ 57.35 MVar ซึ่งอยู่ในระดับที่สูง เนื่องจากในการทดลองนี้ต้องการให้ปริมาณการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ามากที่สุด ผู้ขายกำลังไฟฟ้าจึงต้องจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟเพื่อยกระดับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในพิกัดที่ระบบสามารถจ่ายโหลดได้อย่างปกติ

ตารางที่ 7 การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขาย巴士ที่ 7 และผู้ซื้อ巴士ที่ 24

สายส่ง เส้นที่	จาก巴士ที่ ไปยัง巴士		กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก i ไปยัง j			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
	i	j	P_{ij} (MW)	Q_{ij} (MVar)	$ S_{ij} $ (MVA)	(MW)	(MVar)
1	1	2	56.25	-13.81	57.92	0.578	1.73
2	1	3	50.10	0.69	50.10	1.030	4.22
3	2	4	43.94	-0.01	43.94	1.004	3.06
4	3	4	46.67	-2.53	46.74	0.272	0.78
5	2	5	27.10	-4.12	27.41	0.320	1.34
6	2	6	52.46	-2.71	52.53	1.460	4.43
7	4	6	38.33	-12.50	40.32	0.184	0.64
8	5	7	26.78	-17.98	32.26	0.433	1.09
9	6	7	-10.41	-28.84	30.66	0.231	0.71
10	6	8	30.10	-2.01	30.17	0.104	0.36
11	6	9	31.03	5.92	31.59	0	1.98
12	6	10	17.53	6.83	18.81	0	1.88
13	9	11	0	-17.29	17.29	0	0.60
14	9	10	31.03	21.23	37.60	0	1.51
15	4	12	43.39	6.94	43.94	0	4.71
16	12	13	0	-23.53	23.53	0	0.76
17	12	14	8.02	3.18	8.63	0.089	0.19
18	12	15	17.94	9.85	20.47	0.271	0.53
19	12	16	6.23	5.23	8.13	0.061	0.13
20	14	15	1.73	1.39	2.22	0.011	0.01
21	16	17	2.67	3.00	4.02	0.015	0.03
22	15	18	5.36	2.54	5.93	0.039	0.08
23	18	19	2.13	1.56	2.64	0.005	0.01
24	19	20	-7.38	-1.85	7.61	0.021	0.04
25	10	20	9.70	2.81	10.10	0.097	0.22

ตารางที่ 7 (ต่อ)

สายส่ง เส้นที่	จากบัสที่	ไปยังบัส	กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก i ไปยัง j			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
	i	j	P_{ij} (MW)	Q_{ij} (MVar)	$ S_{ij} $ (MVA)	(MW)	(MVar)
26	10	17	6.36	2.58	6.86	0.015	0.04
27	10	21	17.78	11.65	21.26	0.16	0.34
28	10	22	8.93	5.65	10.57	0.082	0.17
29	21	22	0.12	0.11	0.16	0	0
30	15	23	5.83	5.66	8.13	0.068	0.14
31	22	24	8.97	5.58	10.56	0.134	0.21
32	23	24	2.56	3.92	4.68	0.031	0.06
33	24	25	-3.84	-1.46	4.11	0.035	0.06
34	25	26	3.55	2.37	4.27	0.049	0.07
35	25	27	-7.42	-3.89	8.38	0.082	0.16
36	28	27	20.81	9.41	22.84	0	1.99
37	27	29	6.20	1.69	6.43	0.093	0.18
38	27	30	7.11	1.69	7.31	0.176	0.33
39	29	30	3.71	0.61	3.76	0.036	0.07
40	8	28	0	0.37	0.37	0.001	0
41	6	28	20.89	0.29	20.89	0.072	0.26
					รวม	7.259	35.12

ลักษณะการไหลของกำลังไฟฟ้ายังคงคล้ายกับกรณีที่ 2.1 โดยที่ผู้ขายกำลังไฟฟ้าต้องส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 7.09 MW, 57.35 MVar เพื่อให้ผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าได้รับกำลังไฟฟ้าขนาด 6.5 MW, 4.03 MVar แต่เมื่อเปรียบเทียบการไหลของกำลังไฟฟ้ากับกรณีที่ 2.1 จะพบว่าเมื่อเปลี่ยนผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าจากบัสที่ 15 ไปยังบัสที่ 24 ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการไหลของกำลังไฟฟ้ามากในสายส่งที่ 9 15 และ 18 โดยให้ผลเปลี่ยนแปลงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในสายส่งระหว่างกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายบัสที่ 7 ไปยังผู้ซื้อบัสที่ 15 กับกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายบัสที่ 7 ไปยังผู้ซื้อบัสที่ 24

สายส่ง เส้นที่	จาก บัสที่ i	ไปยัง บัส j	กรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้า				ผลการเปลี่ยนแปลง	
			บัส 7 ไปยังบัส 15		บัส 7 ไปยังบัส 24		ΔP	ΔP_{loss}
			$P(MW)$	$P_{loss}(MW)$	$P(MW)$	$P_{loss}(MW)$		
1	1	2	55.26	0.557	56.25	0.578	-0.99	-0.021
2	1	3	51.09	1.074	50.10	1.030	0.99	0.044
3	2	4	45.64	1.086	43.94	1.004	1.70	0.082
4	3	4	47.62	0.284	46.67	0.272	0.95	0.012
5	2	5	24.10	0.252	27.10	0.320	-3.00	-0.068
6	2	6	52.78	1.477	52.46	1.460	0.32	0.017
7	4	6	32.43	0.143	38.33	0.184	-5.90	-0.041
8	5	7	23.84	0.357	26.78	0.433	-2.94	-0.076
9	6	7	-22.16	0.301	-10.41	0.231	-11.75	0.070
10	6	8	30.27	0.109	30.10	0.104	0.17	0.005
11	6	9	34.52	0	31.03	0	3.49	0
12	6	10	19.49	0	17.53	0	1.96	0
13	9	11	0	0	0	0	0	0
14	9	10	34.52	0	31.03	0	3.49	0
15	4	12	51.86	0	43.39	0	8.47	0
16	12	13	0	0	0	0	0	0
17	12	14	10.60	0.165	8.02	0.089	2.58	0.076
18	12	15	26.74	0.675	17.94	0.271	8.80	0.404
19	12	16	3.32	0.034	6.23	0.061	-2.91	-0.027
20	14	15	4.23	0.060	1.73	0.011	2.50	0.049
21	16	17	-0.22	0.008	2.67	0.015	-2.89	-0.007
22	15	18	1.45	0.003	5.36	0.039	-3.91	-0.036

ตารางที่ 8 (ต่อ)

สายส่ง เส้นที่	จาก บัสที่ i	ไปยัง บัส j	กรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้า				ผลการเปลี่ยนแปลง	
			บัส 7 ไปยังบัส 15		บัส 7 ไปยังบัส 24		ΔP	ΔP_{loss}
			$P(MW)$	$P_{loss}(MW)$	$P(MW)$	$P_{loss}(MW)$		
23	18	19	-1.76	0.002	2.13	0.005	-3.89	-0.003
24	19	20	-11.26	0.051	-7.38	0.021	-3.88	0.030
25	10	20	-13.71	0.201	9.70	0.097	-23.41	0.104
26	10	17	9.26	0.031	6.36	0.015	2.90	0.016
27	10	21	16.90	0.145	17.78	0.160	-0.88	-0.015
28	10	22	8.35	0.072	8.93	0.082	-0.58	-0.010
29	21	22	-0.75	0	0.12	0	-0.87	0
30	15	23	-0.07	0.009	5.83	0.068	-5.90	-0.059
31	22	24	7.53	0.095	8.97	0.134	-1.44	-0.039
32	23	24	-3.28	0.018	2.56	0.031	-5.84	-0.013
33	24	25	-4.57	0.045	-3.84	0.035	-0.73	0.010
34	25	26	3.55	0.049	3.55	0.049	0	0
35	25	27	-8.16	0.091	-7.42	0.082	-0.74	0.009
36	28	27	21.56	0	20.81	0	0.75	0
37	27	29	6.20	0.093	6.20	0.093	0	0
38	27	30	7.11	0.176	7.11	0.176	0	0
39	29	30	3.71	0.036	3.71	0.036	0	0
40	8	28	0.16	0.002	0	0.001	0.16	0.001
41	6	28	21.48	0.076	20.89	0.072	0.59	0.004

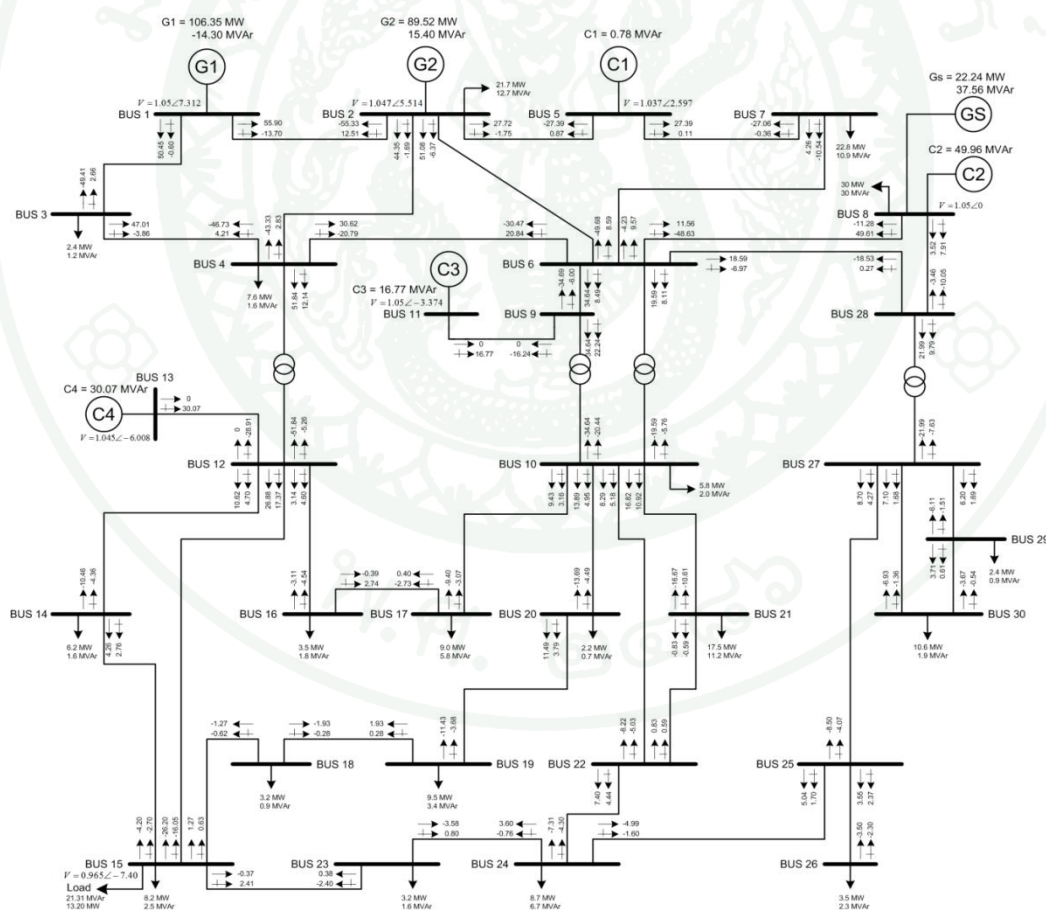
กำลังไฟฟ้าที่ส่งมาจากผู้ขายกำลังไฟฟ้าไม่สามารถส่งไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าได้ทั้งหมดตามปริมาณสัญญาการซื้อขายระหว่างกัน เนื่องจากโปรแกรมวิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าต้องจะควบคุมแรงดัน และมุมเฟสในแต่ละบัสให้กำลังไฟฟ้าสามารถส่งให้โหลดของระบบคนกลางด้วย

กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นยังคงสอดคล้องกับปริมาณกำลังไฟฟ้าในสายส่งนั้นกล่าวคือเมื่อปริมาณกำลังไฟฟ้าในสายส่งเพิ่มมากขึ้น กำลังไฟฟ้าสูญเสียก็จะมากขึ้นตาม และถ้าปริมาณกำลังไฟฟ้าในสายส่งลดน้อยลง กำลังไฟฟ้าสูญเสียก็จะลดน้อยลงตามไปด้วย แต่ในสายส่งที่ 11, 12, 13, 14, 15, 16, 29 และ 36 มีขนาดความต้านทานในสายส่งน้อยมาก กำลังไฟฟ้าสูญเสียจึงไม่เห็นอย่างชัดเจน

3. วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งผู้ส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง

หลังจากทดลองทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายกำลังไฟฟ้าบัสที่ 7 แล้ว จะทำการเปลี่ยนตำแหน่งผู้ขายกำลังไฟฟ้าจากบัสที่ 7 ไปยังบัสที่ 8 เนื่องจากมีชิงโครนัสคอนเดนเซอร์และมีโหลดอยู่ในระบบคนกลาง แต่ยังคงตำแหน่งผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าไว้ที่บัส 15 และ 24 ตามลำดับ โดยผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นดังนี้

3.1 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายที่บัสที่ 8 ไปยังผู้ซื้อที่บัสที่ 15



ภาพที่ 7 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบคนกลาง กรณีที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายที่บัสที่ 8 ไปยังผู้ซื้อที่บัสที่ 15

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า การไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นยังคงมีปริมาณการไหลมากขึ้นกว่ากรณีไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า และทิศทางการไหลมีลักษณะเดียวกับกรณี 2.1 โดยให้ผลแรงดัน และกำลังการผลิตดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีผู้ขายบัสที่ 8 และผู้ซื้อบัสที่ 15

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	7.312	106.35	-14.30	-	-
2	1.047	5.514	89.52	15.40	21.7	12.7
3	1.031	2.374	-	-	2.4	1.2
4	1.027	1.384	-	-	7.6	1.6
5	1.037	2.597	0	0.78	-	-
6	1.031	0.566	-	-	-	-
7	1.025	0.900	-	-	22.8	10.9
8	1.050	0	22.24	87.52	30.0	30.0
9	1.017	-3.374	-	-	-	-
10	0.993	-5.536	-	-	5.8	2.0
11	1.050	-3.374	0	16.77	-	-
12	1.005	-6.008	-	-	11.2	7.5
13	1.045	-6.008	0	30.07	-	-
14	0.980	-7.254	-	-	6.2	1.6
15	0.965	-7.400	-	-	29.51	15.7
16	0.993	-6.117	-	-	3.5	1.8
17	0.988	-5.941	-	-	9.0	5.8
18	0.962	-7.530	-	-	3.2	0.9
19	0.964	-7.387	-	-	9.5	3.4

ตารางที่ 9 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
20	0.970	-6.987	-	-	2.2	0.7
21	0.979	-6.054	-	-	17.5	11.2
22	0.980	-6.046	-	-	-	-
23	0.960	-7.205	-	-	3.2	1.6
24	0.963	-6.540	-	-	8.7	6.7
25	0.978	-5.725	-	-	-	-
26	0.960	-6.179	-	-	3.5	2.3
27	0.997	-4.932	-	-	-	-
28	1.031	-0.067	-	-	-	-
29	0.976	-6.230	-	-	2.4	0.9
30	0.964	-7.163	-	-	10.6	1.9
รวม			218.11	136.24	210.51	120.4

สำหรับการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นของระบบคนกลาง เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น จะเห็นได้ว่าการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งยังคงมีปริมาณและทิศทางของกำลังไฟฟ้าคล้ายกับกรณีที่ 2.1 แต่ในสายส่งเส้นที่ 10 ในกรณีที่ 2.1 จะมีปริมาณกำลังไฟฟ้ามากกว่า และในสายส่งเส้นที่ 11 กรณีที่ 2.1 จะมีปริมาณกำลังไฟฟ้าน้อยกว่า ทั้งนี้เนื่องจากในกรณีนี้บัสที่ 8 มีเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้าของผู้ขายกำลังไฟฟ้าเชื่อมต่ออยู่ จึงทำให้สายส่งที่เชื่อมต่อกับบัสที่ 8 มีปริมาณกำลังไฟฟ้าไหลมากขึ้น ดังแสดงผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขาย巴士ที่ 8 และผู้ซื้อ巴士ที่ 15

สายส่ง เส้นที่	จาก巴士ที่ ไปยัง巴士		กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก i ไปยัง j			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
	i	j	P_{ij} (MW)	Q_{ij} (MVar)	$ S_{ij} $ (MVA)	(MW)	(MVar)
1	1	2	55.90	-13.70	57.55	0.570	1.71
2	1	3	50.45	-0.60	50.45	1.044	4.28
3	2	4	44.35	-1.69	44.38	1.023	3.12
4	3	4	47.01	-3.86	47.17	0.276	0.79
5	2	5	27.72	-1.75	27.78	0.331	1.39
6	2	6	51.08	-6.37	51.48	1.398	4.24
7	4	6	30.62	-20.79	37.01	0.154	0.53
8	5	7	27.39	0.11	27.39	0.321	0.81
9	6	7	-4.23	9.57	10.46	0.030	0.09
10	6	8	11.56	-48.63	49.99	0.282	0.99
11	6	9	34.64	8.49	35.67	0	2.49
12	6	10	19.59	8.11	21.20	0	2.35
13	9	11	0	-16.24	16.24	0	0.53
14	9	10	34.64	22.24	41.16	0	1.80
15	4	12	51.84	12.14	53.24	0	6.89
16	12	13	0	-28.91	28.91	0	1.16
17	12	14	10.62	4.70	11.61	0.165	0.34
18	12	15	26.88	17.37	32.00	0.672	1.32
19	12	16	3.14	4.60	5.569	0.029	0.06
20	14	15	4.26	2.76	5.076	0.059	0.05
21	16	17	-0.39	2.74	2.77	0.006	0.01
22	15	18	1.27	0.63	1.42	0.002	0
23	18	19	-1.93	-0.28	1.95	0.003	0.01
24	19	20	-11.43	-3.68	12.01	0.053	0.11

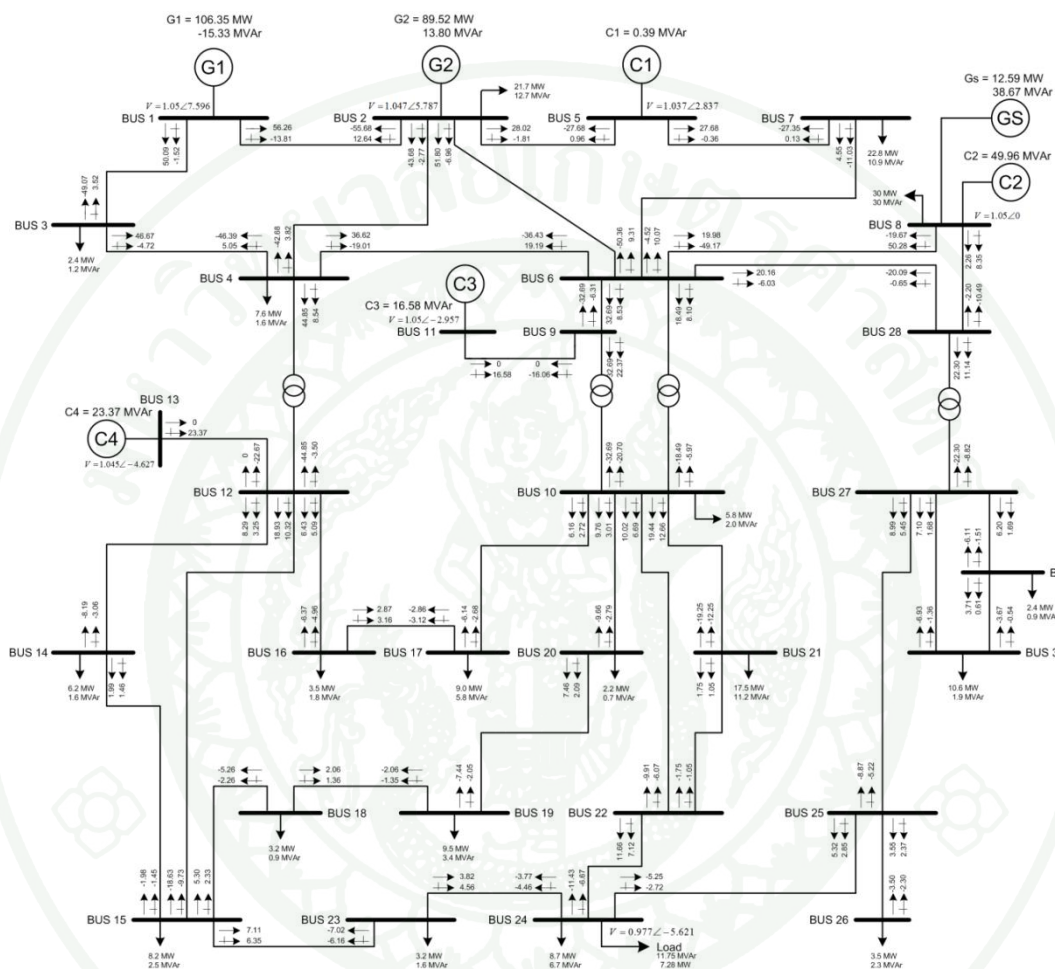
ตารางที่ 10 (ต่อ)

สายส่ง เส้นที่	จากบัสที่ ไปยังบัส		กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก i ไปยัง j			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
	i	j	P_{ij} (MW)	Q_{ij} (MVar)	$ S_{ij} $ (MVA)	(MW)	(MVar)
25	10	20	13.89	4.95	14.75	0.206	0.46
26	10	17	9.43	3.16	9.95	0.032	0.08
27	10	21	16.82	10.92	20.05	0.142	0.31
28	10	22	8.29	5.18	9.78	0.070	0.15
29	21	22	-0.83	-0.59	1.02	0	0
30	15	23	-0.37	2.41	2.44	0.006	0.01
31	22	24	7.40	4.44	8.63	0.089	0.14
32	23	24	-3.58	0.80	3.67	0.019	0.04
33	24	25	-4.99	-1.60	5.24	0.056	0.10
34	25	26	3.55	2.37	4.27	0.048	0.07
35	25	27	-8.59	-4.07	9.51	0.103	0.20
36	28	27	21.99	9.79	24.07	0	2.16
37	27	29	6.20	1.68	6.42	0.091	0.17
38	27	30	7.10	1.68	7.29	0.172	0.32
39	29	30	3.71	0.61	3.76	0.036	0.07
40	8	28	3.52	7.91	8.66	0.055	0.17
41	6	28	18.59	-6.97	19.85	0.057	0.20
					รวม	7.60	39.72

การไหลของกำลังไฟฟ้าแสดงให้เห็นว่า เมื่อทดลองเปลี่ยนตำแหน่งผู้ขายกำลังไฟฟ้าจาก บัส 7 มาอยู่ที่บัส 8 ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลออกจากบัสที่ 7 มีกำลังไฟฟ้าน้อยลง เช่นในสายส่งที่ 9 ที่ส่งจากบัสที่ 7 ไปยังบัสที่ 6 ลดลงจากปริมาณ 22.26 MW, 26.66 MVA_r เป็น 4.26 MW, -10.54 MVA_r และปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งที่เชื่อมต่อกับบัสที่ 8 มีกำลังไฟฟ้าน้อยลง เช่นในสายส่งที่ 10 ที่ส่งจากบัสที่ 6 ไปยังบัสที่ 8 ลดลงจากปริมาณ 30.27 MW, -5.65 MVA_r เป็น 11.56 MW, -48.69 MVA_r เนื่องมาจากการย้ายเครื่องกำเนิดกำลังไฟฟ้านั่นเอง

เมื่อพิจารณาสายส่งที่ 10 ที่เชื่อมระหว่างบัส 6 กับบัส 8 ยังคงมีกำลังไฟฟ้าไหลจากบัส 6 ไปยังบัส 8 เป็นปริมาณ 11.56 MW ทั้งนี้เนื่องจากที่บัส 8 มีโหลดของระบบคนกลางอยู่ 30 MW โปรแกรมวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าจะปรับให้ผู้ขายกำลังไฟฟ้าที่บัสที่ 8 จ่ายโหลดให้แก่บัสที่ 8 ซึ่งการไหลในลักษณะนี้แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ส่งมาจากผู้ขายกำลังไฟฟ้าไม่ได้ถูกส่งไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าโดยตรง แต่เป็นการปรับการไหลของกำลังไฟฟ้าจากระบบคนกลางเพื่อจ่ายให้โหลดของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าอีกที

3.2 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายที่บัสที่ 8 ไปยังผู้ซื้อที่บัสที่ 24



ภาพที่ 8 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบคนกลาง กรณีที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายที่บัสที่ 8 ไปยังผู้ซื้อที่บัสที่ 24

ลักษณะการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายกำลังไฟฟ้าบัสที่ 8 ไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 24 ยังคงมีทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นยังคงคล้ายกับกรณี 2.2 ดังแสดงแรงดันไฟฟ้า และกำลังการผลิตดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีผู้ขายบัสที่ 8 และผู้ซื้อบัสที่ 24

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	7.596	106.35	-15.33	-	-
2	1.047	5.787	89.52	13.80	21.7	12.7
3	1.033	2.680	-	-	2.4	1.2
4	1.029	1.694	-	-	7.6	1.6
5	1.037	2.837	0	0.39	-	-
6	1.032	0.756	-	-	-	-
7	1.025	1.110	-	-	22.8	10.9
8	1.050	0	12.59	88.63	30.0	30.0
9	1.017	-2.957	-	-	-	-
10	0.994	-4.996	-	-	5.8	2.0
11	1.050	-2.957	0	16.58	-	-
12	1.014	-4.627	-	-	11.2	7.5
13	1.045	-4.627	0	23.37	-	-
14	0.996	-5.604	-	-	6.2	1.6
15	0.988	-5.648	-	-	8.2	2.5
16	0.998	-5.078	-	-	3.5	1.8
17	0.989	-5.248	-	-	9.0	5.8
18	0.977	-6.186	-	-	3.2	0.9
19	0.974	-6.294	-	-	9.5	3.4
20	0.978	-6.032	-	-	2.2	0.7
21	0.977	-5.595	-	-	17.5	11.2
22	0.977	-5.612	-	-	-	-
23	0.968	-6.128	-	-	3.2	1.6
24	0.950	-6.395	-	-	20.45	13.98

ตารางที่ 11 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
25	0.970	-5.639	-	-	-	-
26	0.951	-6.102	-	-	3.5	2.3
27	0.991	-4.876	-	-	-	-
28	1.030	0.082	-	-	-	-
29	0.971	-6.188	-	-	2.4	0.9
30	0.959	-7.132	-	-	10.6	1.9
รวม			208.46	127.44	200.95	114.48

ในกรณีนี้เมื่อเปลี่ยนบัสผู้ขายกำลังไฟฟ้าจากบัสที่ 7 ไปยังบัสที่ 8 และผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าอยู่ที่บัส 24 เมื่อพิจารณาในระดับแรงดัน ผลที่ได้ยังคงคล้ายกับกรณี 2.2 และแรงดันในบัสที่ 24 มีค่า $0.95 \angle -6.395$ ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำมาก แต่ระบบคนกลางยังคงสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าและจ่ายโหลดให้กับระบบได้ เมื่อคำนวณหาผลการไหลของกำลังไฟฟ้าจะได้ผลดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขาย巴士ที่ 8 และผู้ซื้อ巴士ที่ 24

สายส่ง เส้นที่	จาก巴士ที่ ไปยัง巴士		กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก i ไปยัง j			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
	i	j	P_{ij} (MW)	Q_{ij} (MVar)	$ S_{ij} $ (MVA)	P_{ij} (MW)	Q_{ij} (MVar)
1	1	2	56.26	-13.81	57.93	0.578	1.73
2	1	3	50.09	-1.52	50.11	1.029	4.22
3	2	4	43.68	-2.77	43.77	0.993	3.03
4	3	4	46.67	-4.72	46.91	0.272	0.78
5	2	5	28.02	-1.81	28.08	0.338	1.42
6	2	6	51.80	-6.96	52.27	1.441	4.37
7	4	6	36.62	-19.01	41.26	0.190	0.66
8	5	7	27.68	-0.36	27.68	0.328	0.83
9	6	7	-4.52	10.07	11.038	0.033	0.10
10	6	8	19.98	-49.17	53.07	0.317	1.11
11	6	9	32.69	8.53	33.78	0	2.23
12	6	10	18.49	8.10	20.19	0	2.13
13	9	11	0	-16.06	16.06	0	0.52
14	9	10	32.69	22.37	39.61	0	1.67
15	4	12	44.85	8.54	45.66	0	5.04
16	12	13	0	-22.67	22.67	0	0.70
17	12	14	8.29	3.25	8.90	0.095	0.20
18	12	15	18.93	10.32	21.56	0.300	0.59
19	12	16	6.43	5.09	8.20	0.062	0.13
20	14	15	1.99	1.46	2.47	0.014	0.01
21	16	17	2.87	3.16	4.27	0.015	0.04
22	15	18	5.30	2.33	5.79	0.037	0.08
23	18	19	2.06	1.36	2.47	0.004	0.01
24	19	20	-7.44	-2.05	7.72	0.021	0.04

ตารางที่ 12 (ต่อ)

สายส่ง เส้นที่	จากบัสที่ ไปยังบัส		กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก i ไปยัง j			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
	i	j	P_{ij}	Q_{ij}	$ S_{ij} $	P_{ij}	Q_{ij}
			(MW)	(MVar)	(MVA)	(MW)	(MVar)
25	10	20	9.76	3.01	10.21	0.099	0.22
26	10	17	6.16	2.72	6.73	0.015	0.04
27	10	21	19.44	12.66	23.19	0.190	0.41
28	10	22	10.02	6.29	11.83	0.103	0.21
29	21	22	1.75	1.05	2.04	0.001	0
30	15	23	7.11	6.35	9.53	0.093	0.19
31	22	24	11.66	7.12	13.66	0.225	0.35
32	23	24	3.82	4.56	5.95	0.050	0.10
33	24	25	-5.25	-2.72	5.91	0.073	0.13
34	25	26	3.55	2.37	4.27	0.049	0.07
35	25	27	-8.87	-5.22	10.29	0.123	0.23
36	28	27	22.30	11.14	24.93	0	2.32
37	27	29	6.20	1.69	6.43	0.092	0.17
38	27	30	7.10	1.68	7.29	0.174	0.33
39	29	30	3.71	0.61	3.76	0.036	0.07
40	8	28	2.26	8.35	8.65	0.055	0.17
41	6	28	20.16	-6.03	21.04	0.066	0.23
					รวม	7.511	36.88

ลักษณะการไหลของกำลังไฟฟ้ายังคงคล้ายกับกรณีที่ 3.1 โดยที่ผู้ขายกำลังไฟฟ้าต้องส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 12.59 MW, 38.68 MVA_r เพื่อให้ผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าได้รับกำลังไฟฟ้าขนาด 11.75 MW, 7.28 MVA_r แต่เมื่อเปรียบเทียบการไหลของกำลังไฟฟ้ากับกรณีที่ 3.1 จะพบว่าเมื่อเปลี่ยนผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าจากบัสที่ 15 ไปยังบัสที่ 24 ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการไหลของกำลังไฟฟ้ามากในสายส่งที่ 10, 15, 18, 30 และ 32 โดยให้ผลเปลี่ยนแปลงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 13 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในสายส่งระหว่างกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายบัสที่ 8 ไปยังผู้ซื้อบัสที่ 15 กับกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายบัสที่ 8 ไปยังผู้ซื้อบัสที่ 24

สายส่ง เส้นที่	จาก บัสที่ i	ไปยัง บัส j	กรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้า				ผลการเปลี่ยนแปลง	
			บัส 8 ไปยังบัส 15		บัส 8 ไปยังบัส 24		ΔP	ΔP_{loss}
			$P(MW)$	$P_{loss}(MW)$	$P(MW)$	$P_{loss}(MW)$		
1	1	2	55.9	0.57	56.26	0.578	-0.36	-0.008
2	1	3	50.45	1.044	50.09	1.029	0.36	0.015
3	2	4	44.35	1.023	43.68	0.993	0.67	0.030
4	3	4	47.01	0.276	46.67	0.272	0.34	0.004
5	2	5	27.72	0.331	28.02	0.338	-0.30	-0.007
6	2	6	51.08	1.398	51.80	1.441	-0.72	-0.043
7	4	6	30.62	0.154	36.62	0.190	-6.00	-0.036
8	5	7	27.39	0.321	27.68	0.328	-0.29	-0.007
9	6	7	-4.23	0.030	-4.52	0.033	0.29	-0.003
10	6	8	11.56	0.282	19.98	0.317	-8.42	-0.035
11	6	9	34.64	0	32.69	0	1.95	0
12	6	10	19.59	0	18.49	0	1.10	0
13	9	11	0	0	0	0	0	0
14	9	10	34.64	0	32.69	0	1.95	0
15	4	12	51.84	0	44.85	0	6.99	0

ตารางที่ 13 (ต่อ)

สายส่ง เส้นที่	จาก บัสที่ i	ไปยัง บัส j	กรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้า				ผลการเปลี่ยนแปลง	
			บัส 8 ไปยังบัส 15		บัส 8 ไปยังบัส 24		ΔP	ΔP_{loss}
			$P(MW)$	$P_{loss}(MW)$	$P(MW)$	$P_{loss}(MW)$		
16	12	13	0	0	0	0	0	0
17	12	14	10.62	0.165	8.29	0.095	2.33	0.070
18	12	15	26.88	0.672	18.93	0.300	7.95	0.372
19	12	16	3.14	0.029	6.43	0.062	-3.29	-0.033
20	14	15	4.26	0.059	1.99	0.014	2.27	0.045
21	16	17	-0.39	0.006	2.87	0.015	-3.26	-0.009
22	15	18	1.27	0.002	5.30	0.037	-4.03	-0.035
23	18	19	-1.93	0.003	2.06	0.004	-3.99	-0.001
24	19	20	-11.43	0.053	-7.44	0.021	-3.99	0.032
25	10	20	13.89	0.206	9.76	0.099	4.13	0.107
26	10	17	9.43	0.032	6.16	0.015	3.27	0.017
27	10	21	16.82	0.142	19.44	0.190	-2.62	-0.048
28	10	22	8.29	0.070	10.02	0.103	-1.73	-0.033
29	21	22	-0.83	0	1.75	0.001	-2.58	-0.001
30	15	23	-0.37	0.006	7.11	0.093	-7.48	-0.087
31	22	24	7.40	0.089	11.66	0.225	-4.26	-0.136
32	23	24	-3.58	0.019	3.82	0.050	-7.40	-0.031
33	24	25	-4.99	0.056	-5.25	0.073	0.26	-0.017
34	25	26	3.55	0.048	3.55	0.049	0	-0.001
35	25	27	-8.59	0.103	-8.87	0.123	0.28	-0.020
36	28	27	21.99	0	22.30	0	-0.31	0
37	27	29	6.20	0.091	6.20	0.092	0	-0.001
38	27	30	7.10	0.172	7.10	0.174	0	-0.002
39	29	30	3.71	0.036	3.71	0.036	0	0

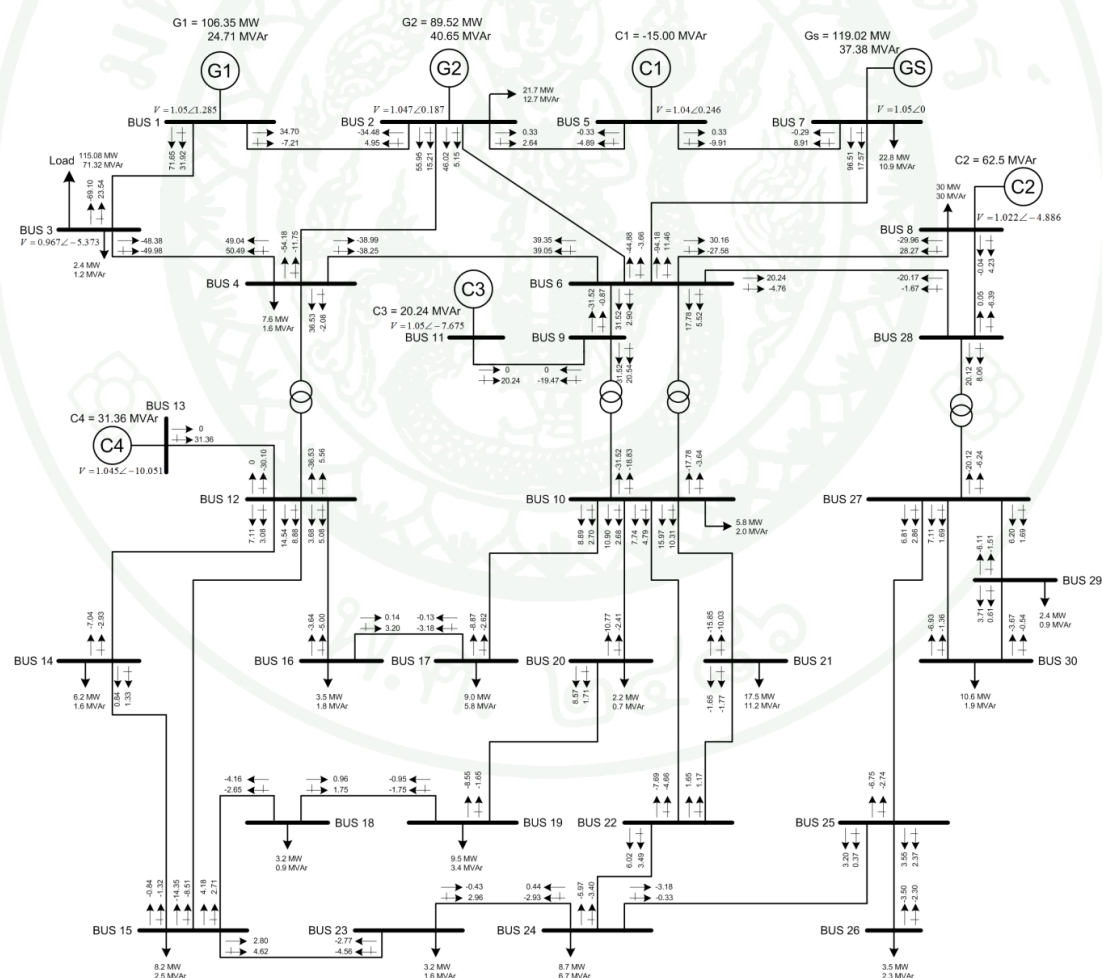
ตารางที่ 13 (ต่อ)

สายส่ง เส้นที่	จาก	ไปยัง	กรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้า				ผลการเปลี่ยนแปลง	
	บัสที่	บัส	บัส 8 ไปยังบัส 15		บัส 8 ไปยังบัส 24		ΔP	ΔP_{loss}
	<i>i</i>	<i>j</i>	$P(MW)$	$P_{loss}(MW)$	$P(MW)$	$P_{loss}(MW)$		
40	8	28	3.52	0.055	2.26	0.055	1.26	0
41	6	28	18.59	0.057	20.16	0.066	-1.57	-0.009

4. วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่งผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า

หลังจากทดลองทำการส่งกำลังไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า巴士ที่ 15 และ 24 ซึ่งเป็นด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำแล้ว จะทำการเปลี่ยนตำแหน่งผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าไปยัง巴士ที่ 3 เนื่องจากตั้งอยู่ในด้านแรงดันไฟฟ้าสูง โดยให้ผู้ขายกำลังไฟฟ้าตั้งอยู่巴士ที่ 7 และมีการสลับตำแหน่งผู้ซื้อกำลังไฟฟ้ากับผู้ขายกำลังไฟฟ้า โดยมีผลการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นดังนี้

4.1 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายที่巴士ที่ 7 ไปยังผู้ซื้อที่巴士ที่ 3



ภาพที่ 9 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบคนกลาง กรณีที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายที่巴士ที่ 7 ไปยังผู้ซื้อที่巴士ที่ 3

หลังจากทำการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางระหว่างผู้ขายกำลังไฟฟ้าที่ตั้งอยู่ด้านแรงดันไฟฟ้าสูงและผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่ตั้งอยู่ด้านแรงดันไฟฟ้าสูงเช่นเดียวกัน ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าแสดงให้เห็นว่าในแต่ละสายส่งมีปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงขึ้นมากจากกรณีที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่ตั้งอยู่ด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำ ซึ่งทำให้ระบบคนกลางเปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีผู้ขายที่บัส 7 และผู้ซื้อที่บัส 3

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	1.285	106.35	24.71	-	-
2	1.047	0.187	89.52	40.65	21.7	12.7
3	0.967	-5.373	-	-	117.48	72.52
4	0.993	-4.664	-	-	7.6	1.6
5	1.040	0.246	0	-15.00	-	-
6	1.014	-4.003	-	-	-	-
7	1.050	0	119.02	37.38	22.8	10.9
8	1.022	-4.886	0	62.50	30	30
9	1.010	-7.675	-	-	-	-
10	0.988	-9.665	-	-	5.8	2.0
11	1.050	-7.675	0	20.24	-	-
12	1.003	-10.051	-	-	11.2	7.5
13	1.045	-10.051	0	31.36	-	-
14	0.987	-10.886	-	-	6.2	1.6
15	0.982	-10.811	-	-	8.2	2.5
16	0.989	10.196	-	-	3.5	1.8
17	0.983	-10.057	-	-	9.0	5.8
18	0.971	-11.186	-	-	3.2	0.9
19	0.968	-11.193	-	-	9.5	3.4

ตารางที่ 14 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
20	0.973	-10.873	-	-	2.2	0.7
21	0.975	-10.164	-	-	17.5	11.2
22	0.975	-10.148	-	-	-	-
23	0.970	-10.873	-	-	3.2	1.6
24	0.962	-10.562	-	-	8.7	6.7
25	0.969	-9.957	-	-	-	-
26	0.951	-10.420	-	-	3.5	2.3
27	0.983	-9.290	-	-	-	-
28	1.011	-4.694	-	-	-	-
29	0.962	-10.626	-	-	2.4	0.9
30	0.950	-11.587	-	-	10.6	1.9
รวม			314.89	201.84	304.28	178.52

จากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในกรณีนี้ทำให้ผู้ขายกำลังไฟฟ้าส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามาในระบบคนกลางปริมาณมากที่สุดได้จำนวน 119.02 MW, 37.38 MVar เพื่อให้ผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าได้รับกำลังไฟฟ้าจำนวน 115.08 MW, 71.32 MVar เนื่องจากแรงดันที่บัส 30 มีขนาด $0.95 \angle -11.587$ ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำมาก แต่ระบบคนกลางยังคงสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าและจ่ายโหลดให้กับระบบได้

การไหลของกำลังไฟฟ้าแสดงให้เห็นว่า เมื่อทดลองเปลี่ยนตำแหน่งผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าจากด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำที่บัส 15 และ 24 มายังด้านแรงดันไฟฟ้าสูงที่บัส 3 ผู้ขายกำลังไฟฟ้าสามารถส่งผ่านปริมาณกำลังไฟฟ้าได้สูงขึ้นมาก เนื่องจากตำแหน่งของผู้ขายกำลังไฟฟ้าตั้งอยู่ใกล้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า และสายส่งกำลังไฟฟ้าในด้านแรงดันไฟฟ้าสูงมีพิกัดสูงสุดของสายส่งขนาดใหญ่ เมื่อคำนวณหาผลไหลของกำลังไฟฟ้าจะได้ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขาย巴士ที่ 7 และผู้ซื้อ巴士ที่ 3

สายส่ง เส้นที่	จาก巴士ที่ ไปยัง巴士		กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก i ไปยัง j			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
	i	j	P_{ij}	Q_{ij}	$ S_{ij} $	P_{ij}	Q_{ij}
			(MW)	(MVar)	(MVA)	(MW)	(MVar)
1	1	2	34.70	-7.21	35.44	0.215	0.65
2	1	3	71.65	31.92	78.44	2.553	10.46
3	2	4	55.95	15.21	57.98	1.764	5.38
4	3	4	-48.38	-48.98	68.85	0.666	1.91
5	2	5	0.33	2.64	2.66	0.006	0.03
6	2	6	46.02	5.15	46.31	1.143	3.47
7	4	6	-38.99	-38.25	54.62	0.358	1.25
8	5	7	0.33	-9.91	9.96	0.037	0.09
9	6	7	-94.18	-11.46	94.87	2.335	7.17
10	6	8	30.16	-27.58	40.87	0.195	0.68
11	6	9	31.52	2.90	31.65	0	2.03
12	6	10	17.78	5.52	18.62	0	1.88
13	9	11	0	-19.47	19.47	0	0.77
14	9	10	31.52	20.34	37.51	0	1.52
15	4	12	36.53	-2.08	36.59	0	3.47
16	12	13	0	-30.10	30.10	0	1.26
17	12	14	7.11	3.08	7.75	0.074	0.15
18	12	15	14.54	8.88	17.04	0.191	0.38
19	12	16	3.68	5.08	6.27	0.037	0.08
20	14	15	0.84	1.33	1.57	0.006	0.01
21	16	17	0.14	3.20	3.20	0.009	0.02
22	15	18	4.18	2.71	4.98	0.028	0.06
23	18	19	0.96	1.75	2.00	0.003	0.01
24	19	20	-8.55	-1.65	8.71	0.027	0.05
25	10	20	10.90	2.68	11.22	0.121	0.27

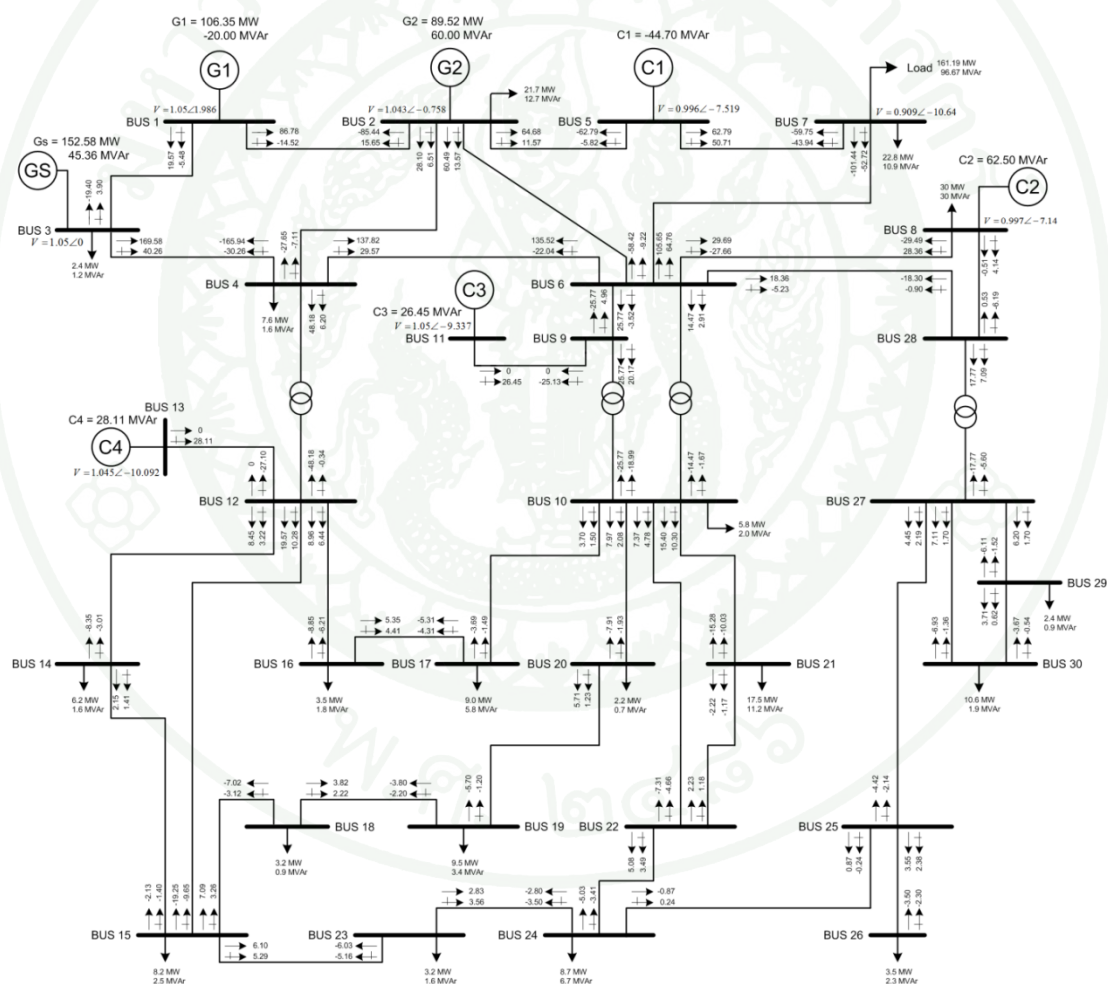
ตารางที่ 15 (ต่อ)

สายส่ง เส้นที่	จากบัสที่	ไปยังบัส	กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก i ไปยัง j			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
	i	j	P_{ij}	Q_{ij}	$ S_{ij} $	P_{ij}	Q_{ij}
			(MW)	(MVar)	(MVA)	(MW)	(MVar)
26	10	17	8.89	2.70	9.29	0.029	0.07
27	10	21	15.97	10.31	19.01	0.129	0.28
28	10	22	7.74	4.79	9.10	0.062	0.13
29	21	22	-1.65	-1.17	2.02	0.001	0
30	15	23	2.80	4.62	5.40	0.030	0.06
31	22	24	6.02	3.49	6.96	0.059	0.09
32	23	24	-0.43	2.96	2.99	0.013	0.03
33	24	25	-3.18	-0.33	3.20	0.021	0.04
34	25	26	3.55	2.37	4.27	0.049	0.07
35	25	27	-6.75	-2.74	7.28	0.062	0.12
36	28	27	20.12	8.06	21.67	0	1.82
37	27	29	6.20	1.69	6.43	0.094	0.18
38	27	30	7.11	1.69	7.31	0.177	0.33
39	29	30	3.71	0.61	3.76	0.037	0.07
40	8	28	-0.04	4.23	4.23	0.017	0.05
41	6	28	20.24	-4.76	20.79	0.068	0.24
					รวม	10.616	46.63

ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งเพิ่มขึ้นจากกรณีไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า เมื่อพิจารณาสายส่งเส้นที่ 2 ที่ส่งจากบัสที่ 1 ไปยังบัสที่ 3 เพิ่มขึ้นจากปริมาณ 49.60 MW, 2.46 MVar เป็น 71.65 MW, 31.92 MVar และในสายส่งเส้นที่ 4 ที่ส่งจากบัสที่ 3 ไปยังบัสที่ 4 ทิศทางของการไหลของกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนทิศทางจากไหลเข้าบัสที่ 4 เป็นไหลเข้าบัสที่ 3 เนื่องมาจากมีผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัสที่ 3 นั่นเอง

เมื่อพิจารณาสายส่งเส้นที่ 8 ที่ส่งจากบัสที่ 5 ไปยังบัสที่ 7 มีปริมาณกำลังไฟฟ้าไหลในสายส่งลดลงจาก 28.19 MW, 6.86 MVA_r เป็น 0.33 MW, -9.91 MVA_r และในสายส่งเส้นที่ 9 ที่ส่งจากบัสที่ 6 ไปยังบัสที่ 7 มีปริมาณกำลังไฟฟ้าไหลย้อนจากบัสที่ 7 ไปยังบัสที่ 6 เพิ่มขึ้นจาก -5.02 MW, 2.89 MVA_r เป็น -94.18 MW, -11.46 MVA_r เนื่องจากมีผู้ขายกำลังไฟฟ้าที่บัสที่ 7 นั้นเอง

4.2 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายที่บัสที่ 3 ไปยังผู้ซื้อที่บัสที่ 7



ภาพที่ 10 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบคนกลาง กรณีที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายที่บัสที่ 3 ไปยังผู้ซื้อที่บัสที่ 7

เมื่อทดลองเปลี่ยนตำแหน่งของผู้ขายกำลังไฟฟ้ามายังบัสที่ 3 ซึ่งตั้งอยู่ใกล้กับบัสกำเนิดไฟฟ้าอ้างอิงเดิมของระบบคนกลาง ทำให้กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบคนกลางมีปริมาณลดลงต่ำกว่าพิกัด การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าจะทำการปรับค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟให้อยู่ในพิกัดที่รับได้ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่บัสกำเนิดไฟฟ้าอ้างอิงเดิมของระบบคนกลางมีขนาดสูงเกินพิกัดที่รับได้ ส่งผลให้ส่งกำลังไฟฟ้าได้เกินกว่าที่แรงดันที่บัสผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าจะรับได้ ดังแสดงในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีผู้ขายที่บัส 3 และผู้ซื้อที่บัส 7

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	1.986	106.35	-20.00	-	-
2	1.043	-0.758	89.52	60.00	21.7	12.7
3	1.050	0	152.58	45.36	2.4	1.2
4	1.016	-3.168	-	-	7.6	1.6
5	0.996	-7.519	0	44.70	-	-
6	0.989	-6.222	-	-	-	-
7	0.909	-10.640	-	-	161.19	96.67
8	0.997	-7.140	0	62.50	30.0	30.0
9	0.998	-9.337	-	-	-	-
10	0.976	-11.006	-	-	5.8	2.0
11	1.050	-9.337	0	26.45	-	-
12	1.007	-10.092	-	-	11.2	7.5
13	1.045	-10.092	0	28.11	-	-
14	0.989	-11.107	-	-	6.2	1.6
15	0.981	-11.176	-	-	8.2	2.5
16	0.986	-10.767	-	-	3.5	1.8

ตารางที่ 16 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	Ang	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
17	0.973	-11.165	-	-	9.0	5.8
18	0.966	-11.900	-	-	3.2	0.9
19	0.961	-12.117	-	-	9.5	3.4
20	0.964	-11.903	-	-	2.2	0.7
21	0.962	-11.491	-	-	17.5	11.2
22	0.963	-11.467	-	-	-	-
23	0.964	-11.601	-	-	3.2	1.6
24	0.950	-11.785	-	-	8.7	6.7
25	0.951	-11.575	-	-	-	-
26	0.932	-12.056	-	-	3.5	2.3
27	0.961	-11.143	-	-	-	-
28	0.987	-6.8880	-	-	-	-
29	0.940	-12.541	-	-	2.4	0.9
30	0.928	-13.549	-	-	10.6	1.9
รวม			348.45	247.12	327.59	192.97

สำหรับการไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีนี้ เนื่องจากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้ามีการบังคับการไหลเพื่อปรับระดับแรงดันของบัสผลิตกำลังไฟฟ้าอ้างอิงเดิมของระบบคนกลาง ทำให้มีกำลังไฟฟ้าไหลในสายส่งเกินกว่าพิกัดสูงสุดที่สายส่งรับได้ เช่นในสายส่งที่ 4 ที่เชื่อมต่อระหว่างบัสที่ 3 กับบัสที่ 4 พิกัดสูงสุดที่สายส่งรับมีขนาด 120 MVA แต่มีกำลังไฟฟ้าไหลผ่านขนาด 174.29 MVA ดังแสดงในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขาย巴士ที่ 3 และผู้ซื้อ巴士ที่ 7

สายส่ง เส้นที่	จาก巴士ที่ ไปยัง巴士		กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก i ไปยัง j			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
	i	j	P_{ij}	Q_{ij}	$ S_{ij} $	P_{ij}	Q_{ij}
			(MW)	(MVar)	(MVA)	(MW)	(MVar)
1	1	2	86.78	-14.52	87.99	1.341	4.02
2	1	3	19.57	-5.48	20.32	0.165	0.67
3	2	4	28.10	6.51	28.84	0.444	1.35
4	3	4	169.58	40.26	174.29	3.639	10.45
5	2	5	64.68	11.57	65.71	1.887	7.93
6	2	6	60.49	13.57	61.99	2.069	6.28
7	4	6	137.82	29.57	140.96	2.294	7.98
8	5	7	62.79	50.71	80.71	3.044	7.68
9	6	7	105.65	64.76	123.92	4.211	12.93
10	6	8	29.69	-27.66	40.58	0.202	0.71
11	6	9	25.77	-3.52	26.01	0	1.44
12	6	10	14.47	2.91	14.76	0	1.24
13	9	11	0	-25.13	25.13	0	1.32
14	9	10	25.77	20.17	32.72	0	1.18
15	4	12	48.18	6.20	48.58	0	5.86
16	12	13	0	-27.10	27.10	0	1.01
17	12	14	8.45	3.22	9.04	0.099	0.21
18	12	15	19.57	10.28	22.11	0.319	0.63
19	12	16	8.96	6.44	11.03	0.113	0.24
20	14	15	2.15	1.41	2.57	0.015	0.01
21	16	17	5.35	4.41	6.93	0.041	0.09
22	15	18	7.09	3.26	7.80	0.068	0.14
23	18	19	3.82	2.22	4.42	0.013	0.03
24	19	20	-5.70	-1.20	5.82	0.012	0.02
25	10	20	7.97	2.08	8.24	0.067	0.15

ตารางที่ 17 (ต่อ)

สายส่ง เส้นที่	จากบัสที่ ไปยังบัส		กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก i ไปยัง j			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
	i	j	P_{ij}	Q_{ij}	$ S_{ij} $	P_{ij}	Q_{ij}
			(MW)	(MVar)	(MVA)	(MW)	(MVar)
26	10	17	3.70	1.50	3.99	0.005	0.01
27	10	21	15.40	10.30	18.53	0.125	0.27
28	10	22	7.37	4.78	8.78	0.059	0.12
29	21	22	-2.22	-1.17	2.51	0.001	0
30	15	23	6.10	5.29	8.07	0.068	0.14
31	22	24	5.08	3.49	6.16	0.047	0.07
32	23	24	2.83	3.56	4.55	0.029	0.06
33	24	25	-0.87	0.24	0.90	0.002	0
34	25	26	3.55	2.38	4.27	0.051	0.08
35	25	27	-4.42	-2.14	4.91	0.029	0.06
36	28	27	17.77	7.09	19.13	0	1.49
37	27	29	6.21	1.70	6.44	0.099	0.19
38	27	30	7.11	1.70	7.31	0.186	0.35
39	29	30	3.71	0.62	3.76	0.038	0.07
40	8	28	-0.51	4.14	4.17	0.017	0.05
41	6	28	18.36	-5.23	19.09	0.059	0.21
					รวม	20.858	76.74

5. ผลการคำนวณปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุด ที่สามารถส่งผ่านระบบคนกลาง

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นภายหลังจากการทำการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางเทียบกับกรณีไม่มีการส่งกำลังไฟฟ้า ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปที่เกิดขึ้นเนื่องจากผู้ขายกำลังไฟฟ้าส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง ส่งผลต่อแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสของระบบคนกลาง ซึ่งระบบคนกลางจะต้องควบคุมแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัส และปริมาณกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นให้ไม่เกินขอบเขตที่จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบที่ทำให้ระบบคนกลางยังคงสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าและจ่ายกำลังไฟฟ้าอย่างปกติในสถานะเหมาะสมที่สุด (Optimal) ให้กับโหลดของระบบเหมือนก่อนระบบจะมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

ตารางที่ 18 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าในแต่ละบัสระหว่างกรณีไม่มีการส่งกำลังไฟฟ้า กับกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้า

บัสที่	แรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง(p.u.)					
	V_{opf}	$V_{wheeling}$				
		7 to 3	7 to 15	8 to 15	7 to 24	8 to 24
1	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050
2	1.047	1.043	1.047	1.047	1.047	1.047
3	1.026	1.050	1.027	1.031	1.029	1.033
4	1.020	1.016	1.021	1.027	1.024	1.029
5	1.037	0.996	1.042	1.037	1.042	1.037
6	1.018	0.989	1.023	1.031	1.025	1.032
7	1.017	0.909	1.050	1.025	1.050	1.025
8	1.022	0.997	1.022	1.050	1.022	1.050
9	1.013	0.998	1.012	1.017	1.015	1.017
10	0.993	0.976	0.988	0.993	0.992	0.994

ตารางที่ 18 (ต่อ)

บัสที่	แรงดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง(p.u.)					
	V_{opf}	$V_{wheeling}$				
		7 to 3	7 to 15	8 to 15	7 to 24	8 to 24
11	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050	1.050
12	1.012	1.007	1.002	1.005	1.012	1.014
13	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045	1.045
14	0.996	0.989	0.977	0.980	0.995	0.996
15	0.990	0.981	0.962	0.965	0.988	0.988
16	0.997	0.986	0.989	0.993	0.996	0.998
17	0.988	0.973	0.983	0.988	0.988	0.989
18	0.978	0.966	0.958	0.962	0.977	0.977
19	0.974	0.961	0.959	0.964	0.973	0.974
20	0.978	0.964	0.966	0.970	0.977	0.978
21	0.979	0.962	0.974	0.979	0.977	0.977
22	0.980	0.963	0.974	0.980	0.977	0.977
23	0.077	0.964	0.956	0.960	0.971	0.968
24	0.967	0.950	0.957	0.963	0.956	0.950
25	0.974	0.951	0.970	0.978	0.969	0.970
26	0.955	0.932	0.951	0.960	0.950	0.951
27	0.987	0.961	0.986	0.997	0.986	0.991
28	1.015	0.987	1.018	1.031	1.019	1.030
29	0.966	0.940	0.966	0.976	0.965	0.971
30	0.954	0.928	0.954	0.964	0.953	0.959

เมื่อพิจารณาบัสที่มีผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้าที่บัสผู้ซื้อจะมีระดับแรงดันต่ำลงอย่างมาก แต่จะยังอยู่ในขอบเขตที่ระบบคนกลางยังคงสามารถจ่ายโหลดให้กับระบบได้ในสถานะเหมาะสมที่สุด

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกำลังไฟฟ้าในแต่ละสายส่งระหว่างกรณีไม่มี
การส่งกำลังไฟฟ้า กับกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้า

สายส่ง ที่	จากบัส i	ไปยังบัส j	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง(MW)					
			P_{opf}	$P_{wheeling}$				
				7 to 3	7 to 15	8 to 15	7 to 24	8 to 24
1	1	2	56.75	86.78	55.26	55.90	56.25	56.26
2	1	3	49.60	19.57	51.09	50.45	50.10	50.09
3	2	4	43.35	28.10	45.64	44.35	43.94	43.68
4	3	4	46.19	169.58	47.62	47.01	46.67	46.67
5	2	5	28.54	64.68	24.10	27.72	27.10	28.02
6	2	6	52.09	60.49	52.78	51.08	52.46	51.80
7	4	6	39.30	137.82	32.43	30.62	38.33	36.62
8	5	7	28.19	62.79	23.84	27.39	26.78	27.68
9	6	7	-5.02	105.65	-22.16	-4.23	-10.41	-4.52
10	6	8	29.89	29.69	30.27	11.56	30.10	19.98
11	6	9	28.95	25.77	34.52	34.64	31.03	32.69
12	6	10	16.35	14.47	19.49	19.59	17.53	18.49
13	9	11	0	0	0	0	0	0
14	9	10	28.95	25.77	34.52	34.64	31.03	32.69
15	4	12	41.39	48.18	51.86	51.84	43.39	44.85
16	12	13	0	0	0	0	0	0
17	12	14	7.64	8.45	10.60	10.62	8.02	8.29
18	12	15	16.62	19.57	26.74	26.88	17.94	18.93
19	12	16	5.92	8.96	3.32	3.14	6.23	6.43
20	14	15	1.36	2.15	4.23	4.26	1.73	1.99
21	16	17	2.37	5.35	-0.22	-0.39	2.67	2.87
22	15	18	5.41	7.09	1.45	1.27	5.36	5.30
23	18	19	2.17	3.82	-1.76	-1.93	2.13	2.06

ตารางที่ 19 (ต่อ)

สายส่ง ที่	จากบัส i	ไปยังบัส j	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง(MW)					
			P_{opf}	$P_{wheeling}$				
				7 to 3	7 to 15	8 to 15	7 to 24	8 to 24
24	19	20	-7.33	-5.70	-11.26	-11.43	-7.38	-7.44
25	10	20	9.65	7.97	-13.71	13.89	9.70	9.76
26	10	17	6.66	3.70	9.26	9.43	6.36	6.16
27	10	21	15.66	15.40	16.90	16.82	17.78	19.44
28	10	22	7.53	7.37	8.35	8.29	8.93	10.02
29	21	22	-1.97	-2.22	-0.75	-0.83	0.12	1.75
30	15	23	4.13	6.10	-0.07	-0.37	5.83	7.11
31	22	24	5.51	5.08	7.53	7.40	8.97	11.66
32	23	24	0.89	2.83	-3.28	-3.58	2.56	3.82
33	24	25	-2.36	-0.87	-4.57	-4.99	-3.84	-5.25
34	25	26	3.55	3.55	3.55	3.55	3.55	3.55
35	25	27	-5.92	-4.42	-8.16	-8.59	-7.42	-8.87
36	28	27	19.28	17.77	21.56	21.99	20.81	22.30
37	27	29	6.20	6.21	6.20	6.20	6.20	6.20
38	27	30	7.10	7.11	7.11	7.10	7.11	7.10
39	29	30	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71	3.71
40	8	28	-0.25	-0.51	0.16	3.52	0	2.26
41	6	28	19.6	18.36	21.48	18.59	20.89	20.16

จากตารางเปรียบเทียบการไหลของกำลังไฟฟ้า สายส่งที่เชื่อมต่ออยู่กับบัสที่มีผู้ขาย กำลังไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้ามากเช่นในสายส่งที่ 10 เชื่อมต่อระหว่างบัสที่ 6 กับ บัสที่ 8 ขณะก่อนมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ามีปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายอยู่ 29.89 MW แต่เมื่อมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายบัสที่ 8 ไปยังผู้ซื้อบัสที่ 15 ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง ลดลงเหลือ 11.56 MW เนื่องจากขณะที่ก่อนมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า ระบบมีการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้

โหลดที่บัส 8 แต่เมื่อมีผู้ขายกำลังไฟฟ้าเชื่อมต่อเข้ามา กำลังไฟฟ้าที่ส่งจากผู้ขายกำลังไฟฟ้าจะจ่ายให้กับโหลดที่บัส 8 กำลังการไหลเข้าบัสที่ 8 จึงลดลง

เมื่อพิจารณาสายส่งที่ 4 เชื่อมต่อระหว่างบัสที่ 3 กับบัสที่ 4 ก่อนจะมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ามีปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายอยู่ 46.19 MW แต่เมื่อมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายบัสที่ 7 ไปยังผู้ซื้อบัสที่ 3 ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งเพิ่มขึ้นเป็น 169.58 MW เนื่องจากที่บัส 3 มีโหลดของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าเพิ่มเข้ามาในระบบ จึงทำให้สายส่งมีปริมาณกำลังไฟฟ้าไหลผ่านเพิ่มมากขึ้น

ตารางที่ 20 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกำลังไฟฟ้าสูญเสียในแต่ละสายส่งระหว่างกรณีไม่มีการส่งกำลังไฟฟ้า กับกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้า

สายส่ง ที่	จากบัส i	ไปยังบัส j	P_{opf}	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (MW)				
				$P_{wheeling}$				
				7 to 3	7 to 15	8 to 15	7 to 24	8 to 24
1	1	2	0.587	1.341	0.557	0.570	0.578	0.578
2	1	3	1.014	0.165	1.074	1.044	1.030	1.029
3	2	4	0.983	0.444	1.086	1.023	1.004	0.993
4	3	4	0.268	3.639	0.284	0.276	0.272	0.272
5	2	5	0.351	1.887	0.252	0.331	0.320	0.338
6	2	6	1.441	2.069	1.477	1.398	1.460	1.441
7	4	6	0.181	2.294	0.143	0.154	0.184	0.190
8	5	7	0.363	3.044	0.357	0.321	0.433	0.328
9	6	7	0.009	4.211	0.301	0.030	0.231	0.033
10	6	8	0.137	0.202	0.109	0.282	0.104	0.317
11	6	9	0	0	0	0	0	0
12	6	10	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 20 (ต่อ)

สายส่ง ที่	จากบัส i	ไปยังบัส j	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (MW)					
			$Ploss_{opf}$	$Ploss_{wheeling}$				
				7 to 3	7 to 15	8 to 15	7 to 24	8 to 24
13	9	11	0	0	0	0	0	0
14	9	10	0	0	0	0	0	0
15	4	12	0	0	0	0	0	0
16	12	13	0	0	0	0	0	0
17	12	14	0.081	0.099	0.165	0.165	0.089	0.095
18	12	15	0.231	0.319	0.675	0.672	0.271	0.300
19	12	16	0.058	0.113	0.034	0.029	0.061	0.062
20	14	15	0.008	0.015	0.060	0.059	0.011	0.014
21	16	17	0.014	0.041	0.008	0.006	0.015	0.015
22	15	18	0.040	0.068	0.003	0.002	0.039	0.037
23	18	19	0.005	0.013	0.002	0.003	0.005	0.004
24	19	20	0.020	0.012	0.051	0.053	0.021	0.021
25	10	20	0.095	0.067	0.201	0.206	0.097	0.099
26	10	17	0.017	0.005	0.031	0.032	0.015	0.015
27	10	21	0.123	0.125	0.145	0.142	0.160	0.190
28	10	22	0.058	0.059	0.072	0.070	0.082	0.103
29	21	22	0.001	0.001	0	0	0	0.001
30	15	23	0.039	0.068	0.009	0.006	0.068	0.093
31	22	24	0.050	0.047	0.095	0.089	0.134	0.225
32	23	24	0.013	0.029	0.018	0.019	0.031	0.050
33	24	25	0.012	0.002	0.045	0.056	0.035	0.073
34	25	26	0.049	0.051	0.049	0.048	0.049	0.049
35	25	27	0.050	0.029	0.091	0.103	0.082	0.123
36	28	27	0	0	0	0	0	0
37	27	29	0.093	0.099	0.093	0.091	0.093	0.092

ตารางที่ 20 (ต่อ)

สายส่ง ที่	จากบัส <i>i</i>	ไปยังบัส <i>j</i>	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (MW)					
			$P_{loss_{opf}}$	$P_{loss_{wheeling}}$				
				7 to 3	7 to 15	8 to 15	7 to 24	8 to 24
38	27	30	0.175	0.186	0.176	0.172	0.176	0.174
39	29	30	0.036	0.038	0.036	0.036	0.036	0.036
40	8	28	0.008	0.017	0.002	0.055	0.001	0.055
41	6	28	0.063	0.059	0.076	0.057	0.072	0.066

เมื่อพิจารณาถึงกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (Loss) ในสายส่งกำลังไฟฟ้า เมื่อมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าทำให้มีกำลังไฟฟ้าไหลในปริมาณที่มากขึ้น จึงทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งมีปริมาณมากขึ้นตามไปด้วย เช่นในสายส่งที่ 4 เชื่อมต่อระหว่างบัสที่ 3 กับบัสที่ 4 ขณะที่ยังไม่มี การส่งผ่านกำลังไฟฟ้ามีปริมาณกำลังไฟฟ้าสูญเสีย 0.268 MW แต่หลังจากมีการส่งกำลังไฟฟ้าจากบัสที่ 7 ไปยังบัสที่ 3 กำลังไฟฟ้าสูญเสียมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็น 3.639 MW ซึ่งการหาความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดในการทดลองนี้สามารถสรุปผลการคำนวณปริมาณการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า ดังตารางที่ 21

ตารางที่ 21 ปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถส่งผ่านระบบคนกลางจากผู้ขายกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อ
ซื้อกำลังไฟฟ้า

ผู้ซื้อที่บัส	ผู้ขายบัสที่		
	5	7	8
3	23.1647	119.0216	156.7039
7	48.2122	-	126.4859
8	25.7682	57.6602	-
14	19.2197	19.8592	21.1209
15	14.4101	21.7744	22.2361
16	19.1493	27.7523	29.6654
17	15.2965	24.8935	28.2784
18	11.5684	12.5985	14.2241
19	10.0865	11.1648	12.9080
20	12.2526	13.5277	15.6318
21	9.6304	16.4244	19.6398
22	6.7279	15.1568	23.9831
23	6.9892	11.5108	13.9126
24	4.1526	7.0905	12.5902
25	1.8032	3.1004	5.7879
26	0.7342	1.3942	2.4715
29	0.9770	2.0191	4.2029
30	0.6857	1.4683	2.9534

หมายเหตุ หน่วยเป็น (MW)

สรุปผลงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางเพื่อหาปริมาณกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถส่งผ่านระบบคนกลาง โดยใช้ระบบของ *IEEE 30bus* เป็นระบบคนกลาง โดยเริ่มจากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม (Optimal Power Flow) ก่อนทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบคนกลางทำให้เกิดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากผู้ผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดผู้ใช้กำลังไฟฟ้าโดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าที่น้อยที่สุดและสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้ ซึ่งหมายถึงสายส่งมีขนาดความจุมากพอที่จะทำการส่งกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้และระดับของแรงดันไฟฟ้าอยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ โดยผลที่ได้จากการทดสอบทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลางเป็นจำนวนเงิน 723.37 \$/hr โดยที่ระบบคนกลางมีกำลังการผลิตทั้งหมด 195.87 MW 116 MVar และเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด 6.672 MW 32.31 MVar

เมื่อทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเข้ามาในระบบคนกลางจากผู้ขายกำลังไฟฟ้า ไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า และทำการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow) พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านเข้ามาในระบบคนกลาง ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ โดยขนาดของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดัน และมุมเฟสในแต่ละบัส ซึ่งการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าทำให้ได้ขนาดของแรงดัน และมุมเฟสในแต่ละบัสที่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดต่างๆ โดยกำลังไฟฟ้าที่ผ่านเข้ามาจะถูกจัดสรรไปตามสายส่งเส้นต่างๆที่เชื่อมต่ออยู่เพื่อผ่านไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า

จากการจัดสรรกำลังไฟฟ้าจะพบว่า กำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านเข้ามาในระบบคนกลางไม่ได้เป็นปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ส่งให้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าโดยตรง แต่จะคำนวณเป็นพลังงานใหม่ที่เพิ่มเข้ามาในระบบ แล้วระบบคนกลางจะจัดสรรการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดในระบบ โดยนับรวมโหลด

ของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าเป็นความต้องการที่เพิ่มขึ้นมาในระบบ ซึ่งถ้าผู้ขายกำลังไฟฟ้าอยู่ห่างจากผู้ซื้อ กำลังไฟฟ้ามก ทำให้กำลังไฟฟ้าจากผู้ขายกำลังไฟฟ้าถูกใช้เพื่อจ่ายให้กับโหลดใกล้เคียงก่อน แล้ว กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในระบบเดิมจะส่งกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแทน

จากงานวิจัยพบว่าเมื่อทำการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง ทำให้แรงดันไฟฟ้าที่บัสปลายทาง และบัสใกล้เคียงมีขนาดลดลงเมื่อเทียบกับกรณีไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า ยกตัวอย่างเช่นกรณีที่ 2.1 ทำการทดลองส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายกำลังไฟฟ้าบัสที่ 7 ไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 15 ซึ่งขณะที่ไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าบัสที่ 15 มีแรงดันไฟฟ้า $0.99 \angle -12.552$ แต่เมื่อมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแรงดันที่บัส 15 ลดลงเหลือเพียง $0.962 \angle -8.604$ โดยเมื่อกำลังไฟฟ้าทำการส่งผ่านระบบคนกลางมีปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้สายส่งแต่ละเส้นมีปริมาณการไหลของกำลังไฟฟ้าสูงขึ้น จึงเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

จากการทดลองพบว่าเมื่อตำแหน่งของบัสผู้ขายกำลังไฟฟ้าที่ตั้งอยู่ใกล้บัสผลิตกำลังไฟฟ้าอ้างอิงของระบบคนกลาง ผู้ขายกำลังไฟฟ้าจะไม่สามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าได้ ยกตัวอย่างในกรณีที่ 4.2 ทำการทดลองส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายกำลังไฟฟ้าบัสที่ 3 ไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าบัสที่ 7 ซึ่งเมื่อทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาดของแรงดันบัสที่ 7 ลดต่ำลงเกินกว่าพิกัดต่ำสุดที่ระบบสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้และในสายส่งที่ 4 ที่เชื่อมต่อระหว่างบัสที่ 3 กับบัสที่ 4 มีกำลังไฟฟ้าไหลในสายส่งเกินกว่าพิกัดสูงสุดที่สายส่งรับได้ เนื่องมาจากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้ามีการบังคับการไหลเพื่อปรับระดับแรงดันของบัสผลิตกำลังไฟฟ้าอ้างอิงเดิมของระบบคนกลางทำให้แรงดันไฟฟ้าที่บัสกำเนิดไฟฟ้าอ้างอิงเดิมของระบบคนกลางและกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งมีขนาดสูงเกินพิกัดที่รับได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

Hadi Saadat. 1999. **Power system analysis**. WCB/McGraw-Hill electrical engineering series.

H. H. Happ. 1994. Cost of Wheeling Method. **IEEE Transactions on Power Systems**, Vol. 9, No. 1, February 1994.

กิจจา ทนงจิตต์. 2551. การประเมินความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าโดยคำนึงถึงการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดของระบบคนกลาง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Pornthep Panyakaew and Parnjit Damrongkulkamjorn. 2008. Optimal Loss Allocation of Multiple Wheeling Transactions in a Deregulated Power System. **ICECE 2008**, 20-22 December 2008, Dhaka, Bangladesh.

Rana Mukerji, Wendell Neugebauer, Richard P. Ludorf and Armand Catelli. 1992. Evaluation of Wheeling and Non-Utility Generation (NUG) Options Using Optimal Power Flows. **IEEE Transactions on Power System**, Vol. 7, No. 1, 201-207.

Ray D.Zimmerman, Carlos E and Murillo-Sanchez. 1997-2007. **MATPOWER**. Power System Engineering Research Center (PSERC) School of Electrical Engineering, Cornell University, Ithaca, NY1

Rui Li, Ryuichi Yokoyama and Luonan Chen. 2006. A Pricing Method for Transmission Loss Based on Sensitivity Analysis. **IEEE Transactions on Power systems**, Vol. 21, No. 3

T. Nakashima, T. Niimura, K. Okada, R. Yokoyama and N. Okada. 1998. Multiple-Impact Assessment of Wheeling and Independent Power Producers (IPP) In a De-Regulated Power System. **IEEE Transactions on Power Systems**.

Tomokazu Ogawa, Shuichi Kadota and Shinichi Iwamoto. 2007. Transmission line loss Allocation Using Power Flow Tracing with Distribution Factors. **Presently with Keisei Electric Railway Company.**







ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลของบัสในระบบจำลอง IEEE 30bus

Bus No.	Bus Type	Load		Shunt	Shunt	Voltage		Rating	
		P (pu)	Q (pu)	conductance (Gs)	susceptance (Bs)	(pu)	(degree)	Vmax (pu)	Vmin (pu)
1	Ref	0	0	0	0	1.050	0	1.05	0.95
2	Gen	21.7	12.7	0	0	1.047	-1.824	1.05	0.95
3	Load	2.4	1.2	0	0	1.026	-4.085	1.05	0.95
4	Load	7.6	1.6	0	0	1.020	-5.767	1.05	0.95
5	Gen	0	0	0	0.19	1.037	-4.838	1.05	0.95
6	Load	0	0	0	0	1.018	-6.706	1.05	0.95
7	Load	22.8	10.9	0	0	1.017	-6.429	1.05	0.95
8	Gen	30.0	30.0	0	0	1.022	-7.510	1.05	0.95
9	Load	0	0	0	0	1.013	-10.052	1.05	0.95
10	Load	5.8	2.0	0	0	0.993	-11.866	1.05	0.95
11	Gen	0	0	0	0	1.050	-10.052	1.05	0.95
12	Load	11.2	7.5	0	0	1.012	-11.654	1.05	0.95
13	Gen	0	0	0	0	1.045	-11.654	1.05	0.95
14	Load	6.2	1.6	0	0	0.996	-12.554	1.05	0.95
15	Load	8.2	2.5	0	0	0.990	-12.552	1.05	0.95
16	Load	3.5	1.8	0	0	0.997	-12.041	1.05	0.95
17	Load	9.0	5.8	0	0	0.988	-12.147	1.05	0.95
18	Load	3.2	0.9	0	0	0.978	-13.077	1.05	0.95
19	Load	9.5	3.4	0	0	0.974	-13.178	1.05	0.95
20	Load	2.2	0.7	0	0	0.978	-12.912	1.05	0.95
21	Load	17.5	11.2	0	0	0.979	-12.347	1.05	0.95
22	Load	0	0	0	0	0.980	-12.328	1.05	0.95
23	Load	3.2	1.6	0	0	0.977	-12.275	1.05	0.95
24	Load	8.7	6.7	0	0.04	0.967	-12.690	1.05	0.95
25	Load	0	0	0	0	0.974	-12.275	1.05	0.95

ตารางผนวกที่ 1 (ต่อ)

Bus No.	Bus Type	Load		Shunt	Shunt	Voltage		Rating	
		<i>P</i> (pu)	<i>Q</i> (pu)	conductance (Gs)	susceptance (Bs)	(pu)	(degree)	<i>V</i> _{max} (pu)	<i>V</i> _{min} (pu)
26	Load	3.5	2.3	0	0	0.955	-12.734	1.05	0.95
27	Load	0	0	0	0	0.987	-11.726	1.05	0.95
28	Load	0	0	0	0	1.015	-7.355	1.05	0.95
29	Load	2.4	0.9	0	0	0.966	-13.051	1.05	0.95
30	Load	10.6	1.9	0	0	0.954	-14.005	1.05	0.95

ตารางผนวกที่ 2 ข้อมูลของสายส่งในระบบจำลอง IEEE 30bus

Line No.	From bus	To bus	Resistance	Reactance	Line Charging	Ratnig
			(R)	(X)	(B)	(MVA)
			(pu)	(pu)	(pu)	
1	1	2	0.0192	0.0575	0.0264	120
2	1	3	0.0452	0.1852	0.0204	90
3	2	4	0.0570	0.1737	0.0184	90
4	3	4	0.0132	0.0379	0.0042	120
5	2	5	0.0472	0.1983	0.0209	90
6	2	6	0.0581	0.1763	0.0187	90
7	4	6	0.0119	0.0414	0.0045	120
8	5	7	0.0460	0.1160	0.0100	90
9	6	7	0.0267	0.0820	0.0100	120
10	6	8	0.0120	0.0420	0	120
11	6	9	0	0.2080	0	65
12	6	10	0	0.5560	0	32
13	9	11	0	0.2080	0	65
14	9	10	0	0.1100	0	65
15	4	12	0	0.2560	0	65
16	12	13	0	0.1400	0	32
17	12	14	0.1231	0.2559	0	32
18	12	15	0.0662	0.1304	0	32
19	12	16	0.0945	0.1987	0	16
20	14	15	0.2210	0.1997	0	16
21	16	17	0.0824	0.1923	0	16
22	15	18	0.1073	0.2185	0	16
23	18	19	0.0639	0.1292	0	32
24	19	20	0.0340	0.0680	0	32
25	10	20	0.0936	0.2090	0	32

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

<i>Line No.</i>	<i>From bus</i>	<i>To bus</i>	<i>Resistance (R) (pu)</i>	<i>Reactance (X) (pu)</i>	<i>Line Charging (B) (pu)</i>	<i>Ratnig (MVA)</i>
26	10	17	0.0324	0.0845	0	32
27	10	21	0.0348	0.0749	0	32
28	10	22	0.0727	0.1499	0	32
29	21	22	0.0116	0.0236	0	16
30	15	23	0.1000	0.2020	0	16
31	22	24	0.1150	0.1790	0	16
32	23	24	0.1320	0.2700	0	16
33	24	25	0.1885	0.3292	0	16
34	25	26	0.2544	0.3800	0	16
35	25	27	0.1093	0.2087	0	32
36	28	27	0	0.3960	0	16
37	27	29	0.2198	0.4153	0	16
38	27	30	0.3202	0.6027	0	16
39	29	30	0.2399	0.4533	0	16
40	8	28	0.0636	0.2000	0.0214	32
41	6	28	0.0169	0.0599	0.0650	32

ตารางผนวกที่ 3 ข้อมูลของเครื่องผลิตกำลังไฟฟ้าในระบบทดลอง IEEE 30bus

Bus No.	Rating				Cost function		
	P_{max} (MW)	P_{min} (MW)	Q_{max} (MVar)	Q_{min} (MVar)	C_2	C_1	C_0
1	200	0	150.0	-20.0	0.0175	1.75	0
2	200	0	60.0	-20.0	0.0200	2.00	0
5	0	0	44.7	-15.0	0	0	0
8	0	0	62.5	-15.0	0	0	0
11	0	0	40.0	-10.0	0	0	0
13	0	0	48.7	-15.0	0	0	0

เมื่อค่า C_0, C_1 และ C_2 คือค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าใช้จ่ายการผลิต ดังสมการ

$$\text{\$} = C_0 + C_1 P + C_2 P^2$$



ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบคนกลาง ในกรณีที่ไม่มีกำลังไฟฟ้า

Converged in 4.70 seconds

Objective Function Value = 723.37 \$/hr

System Summary

How many?	How much?	P (MW)	Q (MVar)
Buses	30	Total Gen Capacity	400.0 -95.0 to 405.9
Generators	6	On-line Capacity	400.0 -95.0 to 405.9
Committed Gens	6	Generation (actual)	195.9 116.0
Loads	20	Load	189.2 107.2
Fixed	20	Fixed	189.2 107.2
Dispatchable	0	Dispatchable	-0.0 of -0.0 -0.0
Shunts	2	Shunt (inj)	-0.0 0.2
Branches	41	Losses (I ² * Z)	6.67 32.31
Transformers	0	Branch Charging (inj)	- 23.3
Inter-ties	7	Total Inter-tie Flow	123.1 41.8
Areas	3		

	Minimum	Maximum
Voltage Magnitude	0.954 p.u. @ bus 30	1.050 p.u. @ bus 1
Voltage Angle	-14.00 deg @ bus 30	0.00 deg @ bus 1
P Losses (I ² *R)	-	1.44 MW @ line 2-6
Q Losses (I ² *X)	-	4.37 MVar @ line 2-6
Lambda P	5.47 \$/MWh @ bus 1	6.22 \$/MWh @ bus 30
Lambda Q	-0.00 \$/MWh @ bus 5	0.20 \$/MWh @ bus 26

Bus Data

Bus #	Voltage Mag (pu)	Voltage Ang (deg)	Generation P (MW)	Generation Q (MVar)	Load P (MW)	Load Q (MVar)	Lambda (\$/MVA-hr) P	Lambda (\$/MVA-hr) Q
1	1.050	0.000	106.35	-11.22	-	-	5.474	0.000
2	1.047	-1.824	89.52	26.09	21.70	12.70	5.579	-0.000
3	1.026	-4.805	-	-	2.40	1.20	5.752	0.028
4	1.020	-5.767	-	-	7.60	1.60	5.829	0.027
5	1.037	-4.838	0.00	8.08	-	-	5.725	-0.000
6	1.018	-6.706	-	-	-	-	5.888	0.023
7	1.017	-6.429	-	-	22.80	10.90	5.871	0.035
8	1.022	-7.510	-0.00	49.96	30.00	30.00	5.928	0.000
9	1.013	-10.052	-	-	-	-	5.891	0.028
10	0.993	-11.866	-	-	5.80	2.00	5.894	0.046
11	1.050	-10.052	-0.00	18.52	-	-	5.891	0.000
12	1.012	-11.654	-	-	11.20	7.50	5.841	0.000
13	1.045	-11.654	-0.00	24.57	-	-	5.841	0.000
14	0.996	-12.554	-	-	6.20	1.60	5.945	0.035
15	0.990	-12.552	-	-	8.20	2.50	5.972	0.063
16	0.997	-12.041	-	-	3.50	1.80	5.902	0.044
17	0.988	-12.147	-	-	9.00	5.80	5.922	0.063
18	0.978	-13.077	-	-	3.20	0.90	6.038	0.090
19	0.974	-13.178	-	-	9.50	3.40	6.051	0.099
20	0.978	-12.912	-	-	2.20	0.70	6.016	0.088
21	0.979	-12.347	-	-	17.50	11.20	5.964	0.092
22	0.980	-12.328	-	-	-	-	5.962	0.090
23	0.977	-12.775	-	-	3.20	1.60	6.028	0.109
24	0.967	-12.690	-	-	8.70	6.70	6.047	0.144
25	0.974	-12.275	-	-	-	-	5.996	0.115
26	0.955	-12.734	-	-	3.50	2.30	6.118	0.196
27	0.987	-11.726	-	-	-	-	5.917	0.062
28	1.015	-7.355	-	-	-	-	5.925	0.028
29	0.966	-13.051	-	-	2.40	0.90	6.096	0.112
30	0.954	-14.005	-	-	10.60	1.90	6.219	0.133
Total:			195.87	116.00	189.20	107.20		

Branch Data								
Branch #	From Bus	To Bus	From Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	To Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	Loss ($I^2 * Z$)	
			P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1	2	56.75	-13.68	-56.16	12.54	0.587	1.76
2	1	3	49.60	2.46	-48.59	-0.51	1.014	4.15
3	2	4	43.35	2.22	-42.37	-1.19	0.983	2.99
4	3	4	46.19	-0.69	-45.92	1.02	0.268	0.77
5	2	5	28.54	-2.22	-28.19	1.42	0.351	1.48
6	2	6	52.09	0.85	-50.65	1.53	1.441	4.37
7	4	6	39.30	-6.70	-39.12	6.86	0.181	0.63
8	5	7	28.19	6.86	-27.83	-7.00	0.363	0.92
9	6	7	-5.02	2.89	5.03	-3.90	0.009	0.03
10	6	8	29.89	-16.98	-29.75	17.46	0.137	0.48
11	6	9	28.95	3.37	-28.95	-1.67	0.000	1.70
12	6	10	16.35	5.48	-16.35	-3.88	0.000	1.59
13	9	11	-0.00	-17.87	0.00	18.52	0.000	0.65
14	9	10	28.95	19.54	-28.95	-18.23	0.000	1.31
15	4	12	41.39	5.27	-41.39	-0.99	0.000	4.28
16	12	13	-0.00	-23.79	0.00	24.57	0.000	0.77
17	12	14	7.64	3.02	-7.56	-2.85	0.081	0.17
18	12	15	16.62	9.02	-16.39	-8.56	0.231	0.45
19	12	16	5.92	5.24	-5.87	-5.12	0.058	0.12
20	14	15	1.36	1.25	-1.36	-1.25	0.008	0.01
21	16	17	2.37	3.32	-2.35	-3.29	0.014	0.03
22	15	18	5.41	2.74	-5.37	-2.66	0.040	0.08
23	18	19	2.17	1.76	-2.17	-1.75	0.005	0.01
24	19	20	-7.33	-1.65	7.35	1.69	0.020	0.04
25	10	20	9.65	2.61	-9.55	-2.39	0.095	0.21
26	10	17	6.66	2.55	-6.65	-2.51	0.017	0.04
27	10	21	15.66	10.22	-15.53	-9.96	0.123	0.27
28	10	22	7.53	4.73	-7.47	-4.61	0.058	0.12
29	21	22	-1.97	-1.24	1.97	1.25	0.001	0.00
30	15	23	4.13	4.57	-4.09	-4.49	0.039	0.08
31	22	24	5.51	3.37	-5.46	-3.29	0.050	0.08
32	23	24	0.89	2.89	-0.88	-2.87	0.013	0.03
33	24	25	-2.36	-0.51	2.37	0.53	0.012	0.02
34	25	26	3.55	2.37	-3.50	-2.30	0.049	0.07
35	25	27	-5.92	-2.90	5.97	3.00	0.050	0.10
36	28	27	19.28	8.05	-19.28	-6.37	0.000	1.68
37	27	29	6.20	1.69	-6.11	-1.51	0.093	0.18
38	27	30	7.10	1.69	-6.93	-1.36	0.175	0.33
39	29	30	3.71	0.61	-3.67	-0.54	0.036	0.07
40	8	28	-0.25	2.49	0.26	-4.69	0.008	0.03
41	6	28	19.60	-3.14	-19.54	-3.36	0.063	0.22
Total:							6.672	32.31

Voltage Constraints					
Bus #	Vmin mu	Vmin	V	Vmax	Vmax mu
1	-	0.950	1.050	1.050	65.533
11	-	0.950	1.050	1.050	13.680

Generation Constraints						
Gen #	Bus #	Pmin mu	Pmin	Pg	Pmax	Pmax mu
3	5	0.000	0.00	0.00	0.00	5.725
4	8	0.000	0.00	-0.00	0.00	5.928
5	11	0.000	0.00	-0.00	0.00	5.891
6	13	0.000	0.00	-0.00	0.00	5.841

ผลการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขาย巴士ที่ 7 และผู้ซื้อ巴士ที่ 15

System Summary

How many?		How much?	P (MW)	Q (MVar)
Buses	30	Total Gen Capacity	1195.9	96.0 to 1116.0
Generators	7	On-line Capacity	1195.9	96.0 to 1116.0
Committed Gens	7	Generation (actual)	217.7	136.8
Loads	20	Load	209.9	120.0
Fixed	20	Fixed	209.9	120.0
Dispatchable	0	Dispatchable	-0.0 of -0.0	-0.0
Shunts	2	Shunt (inj)	-0.0	0.2
Branches	41	Losses ($I^2 * Z$)	7.84	40.48
Transformers	0	Branch Charging (inj)	-	23.4
Inter-ties	7	Total Inter-tie Flow	153.6	51.8
Areas	3			

	Minimum	Maximum
Voltage Magnitude	0.951 p.u. @ bus 26	1.050 p.u. @ bus 1
Voltage Angle	-8.73 deg @ bus 18	6.21 deg @ bus 1
P Losses ($I^2 * R$)	-	1.48 MW @ line 2-6
Q Losses ($I^2 * X$)	-	6.90 MVar @ line 4-12

Bus Data

Bus #	Voltage		Generation		Load	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	6.211	106.35	-11.61	-	-
2	1.047	4.436	89.52	23.26	21.70	12.70
3	1.027	1.243	-	-	2.40	1.20
4	1.021	0.246	-	-	7.60	1.60
5	1.037	1.938	0.00	-21.41	-	-
6	1.023	-0.586	-	-	-	-
7	1.050	0.000	21.84	58.52	22.80	10.90
8	1.022	-1.320	0.00	36.92	30.00	30.00
9	1.012	-4.561	-	-	-	-
10	0.988	-6.736	-	-	5.80	2.00
11	1.050	-4.561	0.00	19.07	-	-
12	1.002	-7.210	-	-	11.20	7.50
13	1.045	-7.210	0.00	32.08	-	-
14	0.977	-8.455	-	-	6.20	1.60
15	0.962	-8.592	-	-	28.86	15.31
16	0.989	-7.319	-	-	3.50	1.80
17	0.983	-7.144	-	-	9.00	5.80
18	0.958	-8.731	-	-	3.20	0.90
19	0.959	-8.592	-	-	9.50	3.40
20	0.966	-8.191	-	-	2.20	0.70
21	0.974	-7.260	-	-	17.50	11.20
22	0.974	-7.253	-	-	-	-
23	0.956	-8.407	-	-	3.20	1.60
24	0.957	-7.752	-	-	8.70	6.70
25	0.970	-6.939	-	-	-	-
26	0.951	-7.402	-	-	3.50	2.30
27	0.986	-6.144	-	-	-	-
28	1.018	-1.267	-	-	-	-
29	0.966	-7.470	-	-	2.40	0.90
30	0.954	-8.424	-	-	10.60	1.90
Total:			217.71	136.83	209.86	120.01

Branch Data								
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	To Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	Loss ($I^2 * Z$)	
							P (MW)	Q (MVar)
1	1	2	55.21	-13.50	-54.66	12.26	0.556	1.67
2	1	3	51.14	1.89	-50.06	0.32	1.076	4.41
3	2	4	45.71	1.29	-44.62	0.07	1.089	3.32
4	3	4	47.66	-1.52	-47.38	1.90	0.285	0.82
5	2	5	23.88	-1.03	-23.64	-0.21	0.246	1.03
6	2	6	52.88	-1.95	-51.40	4.45	1.482	4.50
7	4	6	32.54	-14.52	-32.39	14.56	0.144	0.50
8	5	7	23.64	-21.00	-23.22	20.96	0.418	1.05
9	6	7	-21.96	-26.81	22.26	26.66	0.299	0.92
10	6	8	30.27	-5.65	-30.16	6.04	0.109	0.38
11	6	9	34.52	6.57	-34.52	-4.11	0.000	2.45
12	6	10	19.49	7.42	-19.49	-5.11	0.000	2.31
13	9	11	-0.00	-18.38	0.00	19.07	0.000	0.69
14	9	10	34.52	22.49	-34.52	-20.67	0.000	1.82
15	4	12	51.86	10.96	-51.86	-4.06	0.000	6.90
16	12	13	-0.00	-30.76	0.00	32.08	0.000	1.32
17	12	14	10.60	4.76	-10.43	-4.41	0.165	0.34
18	12	15	26.74	17.57	-26.07	-16.24	0.675	1.33
19	12	16	3.32	4.99	-3.29	-4.92	0.034	0.07
20	14	15	4.23	2.81	-4.17	-2.76	0.060	0.05
21	16	17	-0.21	3.12	0.22	-3.10	0.008	0.02
22	15	18	1.45	0.86	-1.45	-0.85	0.003	0.01
23	18	19	-1.75	-0.05	1.76	0.05	0.002	0.00
24	19	20	-11.26	-3.45	11.31	3.55	0.051	0.10
25	10	20	13.71	4.70	-13.51	-4.25	0.201	0.45
26	10	17	9.25	2.78	-9.22	-2.70	0.031	0.08
27	10	21	16.90	11.05	-16.75	-10.73	0.145	0.31
28	10	22	8.35	5.26	-8.27	-5.11	0.072	0.15
29	21	22	-0.75	-0.47	0.75	0.47	0.000	0.00
30	15	23	-0.07	2.83	0.08	-2.82	0.009	0.02
31	22	24	7.53	4.64	-7.43	-4.50	0.095	0.15
32	23	24	-3.28	1.22	3.30	-1.18	0.018	0.04
33	24	25	-4.56	-0.99	4.61	1.07	0.045	0.08
34	25	26	3.55	2.37	-3.50	-2.30	0.049	0.07
35	25	27	-8.16	-3.44	8.25	3.61	0.091	0.17
36	28	27	21.56	9.08	-21.56	-6.99	0.000	2.09
37	27	29	6.20	1.69	-6.11	-1.51	0.093	0.18
38	27	30	7.11	1.69	-6.93	-1.36	0.176	0.33
39	29	30	3.71	0.61	-3.67	-0.54	0.036	0.07
40	8	28	0.16	0.88	-0.15	-3.10	0.002	0.01
41	6	28	21.48	-0.52	-21.40	-5.98	0.076	0.27
Total:							7.843	40.48

ผลการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขาย巴士ที่ 7 และผู้ซื้อ巴士ที่ 24

System Summary

How many?		How much?	P (MW)	Q (MVar)
Buses	30	Total Gen Capacity	1195.9	96.0 to 1116.0
Generators	7	On-line Capacity	1195.9	96.0 to 1116.0
Committed Gens	7	Generation (actual)	203.0	122.8
Loads	20	Load	195.7	111.2
Fixed	20	Fixed	195.7	111.2
Dispatchable	0	Dispatchable	-0.0 of -0.0	-0.0
Shunts	2	Shunt (inj)	-0.0	0.2
Branches	41	Losses ($I^2 \cdot Z$)	7.33	35.30
Transformers	0	Branch Charging (inj)	-	23.5
Inter-ties	7	Total Inter-tie Flow	131.3	48.5
Areas	3			

	Minimum	Maximum
Voltage Magnitude	0.950 p.u. @ bus 26	1.050 p.u. @ bus 1
Voltage Angle	-7.68 deg @ bus 30	6.78 deg @ bus 1
P Losses ($I^2 \cdot R$)	-	1.47 MW @ line 2-6
Q Losses ($I^2 \cdot X$)	-	4.72 MVar @ line 4-12

Bus Data

Bus #	Voltage Mag (pu)	Voltage Ang (deg)	Generation P (MW)	Generation Q (MVar)	Load P (MW)	Load Q (MVar)
1	1.050	6.775	106.35	-13.11	-	-
2	1.047	4.967	89.52	20.96	21.70	12.70
3	1.029	1.887	-	-	2.40	1.20
4	1.024	0.908	-	-	7.60	1.60
5	1.037	2.142	0.00	-21.61	-	-
6	1.025	-0.041	-	-	-	-
7	1.050	0.000	7.16	61.66	22.80	10.90
8	1.022	-0.746	0.00	32.75	30.00	30.00
9	1.015	-3.601	-	-	-	-
10	0.992	-5.544	-	-	5.80	2.00
11	1.050	-3.601	0.00	17.89	-	-
12	1.012	-5.244	-	-	11.20	7.50
13	1.045	-5.244	0.00	24.29	-	-
14	0.995	-6.189	-	-	6.20	1.60
15	0.988	-6.211	-	-	8.20	2.50
16	0.996	-5.667	-	-	3.50	1.80
17	0.988	-5.809	-	-	9.00	5.80
18	0.977	-6.745	-	-	3.20	0.90
19	0.973	-6.850	-	-	9.50	3.40
20	0.977	-6.586	-	-	2.20	0.70
21	0.977	-6.091	-	-	17.50	11.20
22	0.977	-6.092	-	-	-	-
23	0.971	-6.576	-	-	3.20	1.60
24	0.956	-6.683	-	-	15.20	10.73
25	0.969	-6.072	-	-	-	-
26	0.950	-6.535	-	-	3.50	2.30
27	0.986	-5.398	-	-	-	-
28	1.019	-0.694	-	-	-	-
29	0.965	-6.725	-	-	2.40	0.90
30	0.953	-7.681	-	-	10.60	1.90
Total:			203.03	122.83	195.70	111.23

Branch Data									
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	56.20	-13.79	-55.63	12.62	0.577	1.73	
2	1	3	50.15	0.68	-49.11	1.34	1.032	4.23	
3	2	4	44.01	-0.02	-43.00	1.12	1.008	3.07	
4	3	4	46.71	-2.54	-46.44	2.88	0.273	0.78	
5	2	5	26.87	-1.60	-26.56	0.63	0.311	1.31	
6	2	6	52.56	-2.73	-51.09	5.17	1.466	4.45	
7	4	6	38.45	-12.54	-38.26	12.71	0.185	0.64	
8	5	7	26.56	-22.04	-26.06	22.21	0.500	1.26	
9	6	7	-10.19	-28.92	10.42	28.55	0.231	0.71	
10	6	8	30.10	-2.01	-30.00	2.38	0.104	0.36	
11	6	9	31.03	5.92	-31.03	-3.95	0.000	1.98	
12	6	10	17.53	6.83	-17.53	-4.96	0.000	1.88	
13	9	11	-0.00	-17.29	0.00	17.89	0.000	0.60	
14	9	10	31.03	21.23	-31.03	-19.72	0.000	1.51	
15	4	12	43.40	6.94	-43.40	-2.22	0.000	4.72	
16	12	13	-0.00	-23.53	0.00	24.29	0.000	0.76	
17	12	14	8.02	3.18	-7.93	-2.99	0.089	0.19	
18	12	15	17.95	9.85	-17.67	-9.32	0.271	0.53	
19	12	16	6.24	5.22	-6.18	-5.10	0.061	0.13	
20	14	15	1.73	1.39	-1.72	-1.38	0.011	0.01	
21	16	17	2.68	3.30	-2.66	-3.26	0.015	0.03	
22	15	18	5.37	2.54	-5.33	-2.46	0.039	0.08	
23	18	19	2.13	1.56	-2.12	-1.55	0.005	0.01	
24	19	20	-7.38	-1.85	7.40	1.89	0.021	0.04	
25	10	20	9.70	2.81	-9.60	-2.59	0.097	0.22	
26	10	17	6.36	2.58	-6.34	-2.54	0.015	0.04	
27	10	21	17.78	11.65	-17.62	-11.31	0.160	0.34	
28	10	22	8.93	5.65	-8.85	-5.48	0.082	0.17	
29	21	22	0.12	0.11	-0.12	-0.11	0.000	0.00	
30	15	23	5.83	5.66	-5.76	-5.52	0.068	0.14	
31	22	24	8.97	5.58	-8.83	-5.37	0.134	0.21	
32	23	24	2.56	3.92	-2.53	-3.86	0.031	0.06	
33	24	25	-3.84	-1.46	3.87	1.52	0.035	0.06	
34	25	26	3.55	2.37	-3.50	-2.30	0.049	0.07	
35	25	27	-7.42	-3.89	7.50	4.05	0.082	0.16	
36	28	27	20.81	9.41	-20.81	-7.43	0.000	1.99	
37	27	29	6.20	1.69	-6.11	-1.51	0.093	0.18	
38	27	30	7.11	1.69	-6.93	-1.36	0.176	0.33	
39	29	30	3.71	0.61	-3.67	-0.54	0.036	0.07	
40	8	28	-0.00	0.37	0.01	-2.60	0.001	0.00	
41	6	28	20.89	0.28	-20.81	-6.82	0.072	0.26	
Total:							7.329	35.30	

ผลการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขาย巴士ที่ 8 และผู้ซื้อ巴士ที่ 15

System Summary

How many?		How much?	P (MW)	Q (MVar)
Buses	30	Total Gen Capacity	1195.9	96.0 to 1116.0
Generators	7	On-line Capacity	1195.9	96.0 to 1116.0
Committed Gens	7	Generation (actual)	218.1	136.2
Loads	20	Load	210.5	120.4
Fixed	20	Fixed	210.5	120.4
Dispatchable	0	Dispatchable	-0.0 of -0.0	-0.0
Shunts	2	Shunt (inj)	-0.0	0.2
Branches	41	Losses ($I^2 * Z$)	7.60	39.72
Transformers	0	Branch Charging (inj)	-	23.6
Inter-ties	7	Total Inter-tie Flow	154.9	54.3
Areas	3			

	Minimum	Maximum
Voltage Magnitude	0.960 p.u. @ bus 26	1.050 p.u. @ bus 8
Voltage Angle	-7.53 deg @ bus 18	7.31 deg @ bus 1
P Losses ($I^2 * R$)	-	1.40 MW @ line 2-6
Q Losses ($I^2 * X$)	-	6.89 MVar @ line 4-12

Bus Data

Bus #	Voltage		Generation		Load	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	7.312	106.35	-14.30	-	-
2	1.047	5.514	89.52	15.40	21.70	12.70
3	1.031	2.374	-	-	2.40	1.20
4	1.027	1.384	-	-	7.60	1.60
5	1.037	2.597	0.00	0.78	-	-
6	1.031	0.566	-	-	-	-
7	1.025	0.900	-	-	22.80	10.90
8	1.050	0.000	22.24	87.52	30.00	30.00
9	1.017	-3.374	-	-	-	-
10	0.993	-5.536	-	-	5.80	2.00
11	1.050	-3.374	0.00	16.77	-	-
12	1.005	-6.008	-	-	11.20	7.50
13	1.045	-6.008	0.00	30.07	-	-
14	0.980	-7.254	-	-	6.20	1.60
15	0.965	-7.400	-	-	29.51	15.70
16	0.993	-6.117	-	-	3.50	1.80
17	0.988	-5.941	-	-	9.00	5.80
18	0.962	-7.530	-	-	3.20	0.90
19	0.964	-7.387	-	-	9.50	3.40
20	0.970	-6.987	-	-	2.20	0.70
21	0.979	-6.054	-	-	17.50	11.20
22	0.980	-6.046	-	-	-	-
23	0.960	-7.205	-	-	3.20	1.60
24	0.963	-6.540	-	-	8.70	6.70
25	0.978	-5.725	-	-	-	-
26	0.960	-6.179	-	-	3.50	2.30
27	0.997	-4.932	-	-	-	-
28	1.031	-0.067	-	-	-	-
29	0.976	-6.230	-	-	2.40	0.90
30	0.964	-7.163	-	-	10.60	1.90
Total:			218.11	136.24	210.51	120.40

Branch Data								
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	To Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	Loss ($I^2 * Z$)	
							P (MW)	Q (MVar)
1	1	2	55.90	-13.70	-55.33	12.51	0.570	1.71
2	1	3	50.45	-0.60	-49.41	2.66	1.044	4.28
3	2	4	44.35	-1.69	-43.33	2.83	1.023	3.12
4	3	4	47.01	-3.86	-46.73	4.21	0.276	0.79
5	2	5	27.72	-1.75	-27.39	0.87	0.331	1.39
6	2	6	51.08	-6.37	-49.68	8.59	1.398	4.24
7	4	6	30.62	-20.79	-30.47	20.84	0.154	0.53
8	5	7	27.39	0.11	-27.06	-0.36	0.321	0.81
9	6	7	-4.23	9.57	4.26	-10.54	0.030	0.09
10	6	8	11.56	-48.63	-11.28	49.61	0.282	0.99
11	6	9	34.64	8.49	-34.64	-6.00	0.000	2.49
12	6	10	19.59	8.11	-19.59	-5.76	0.000	2.35
13	9	11	-0.00	-16.24	0.00	16.77	0.000	0.53
14	9	10	34.64	22.24	-34.64	-20.44	0.000	1.80
15	4	12	51.84	12.14	-51.84	-5.26	0.000	6.89
16	12	13	-0.00	-28.91	0.00	30.07	0.000	1.16
17	12	14	10.62	4.70	-10.46	-4.36	0.165	0.34
18	12	15	26.88	17.37	-26.20	-16.05	0.672	1.32
19	12	16	3.14	4.60	-3.11	-4.54	0.029	0.06
20	14	15	4.26	2.76	-4.20	-2.70	0.059	0.05
21	16	17	-0.39	2.74	0.40	-2.73	0.006	0.01
22	15	18	1.27	0.63	-1.27	-0.62	0.002	0.00
23	18	19	-1.93	-0.28	1.93	0.28	0.003	0.01
24	19	20	-11.43	-3.68	11.49	3.79	0.053	0.11
25	10	20	13.89	4.95	-13.69	-4.49	0.206	0.46
26	10	17	9.43	3.16	-9.40	-3.07	0.032	0.08
27	10	21	16.82	10.92	-16.67	-10.61	0.142	0.31
28	10	22	8.29	5.18	-8.22	-5.03	0.070	0.15
29	21	22	-0.83	-0.59	0.83	0.59	0.000	0.00
30	15	23	-0.37	2.41	0.38	-2.40	0.006	0.01
31	22	24	7.40	4.44	-7.31	-4.30	0.089	0.14
32	23	24	-3.58	0.80	3.60	-0.76	0.019	0.04
33	24	25	-4.99	-1.60	5.04	1.70	0.056	0.10
34	25	26	3.55	2.37	-3.50	-2.30	0.048	0.07
35	25	27	-8.59	-4.07	8.70	4.27	0.103	0.20
36	28	27	21.99	9.79	-21.99	-7.63	0.000	2.16
37	27	29	6.20	1.68	-6.11	-1.51	0.091	0.17
38	27	30	7.10	1.68	-6.93	-1.36	0.172	0.32
39	29	30	3.71	0.61	-3.67	-0.54	0.036	0.07
40	8	28	3.52	7.91	-3.46	-10.05	0.055	0.17
41	6	28	18.59	-6.97	-18.53	0.27	0.057	0.20
Total:							7.600	39.72

ผลการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขาย巴士ที่ 8 และผู้ซื้อ巴士ที่ 24

System Summary			
----------------	--	--	--

How many?		How much?	P (MW)	Q (MVar)
Buses	30	Total Gen Capacity	1195.9	96.0 to 1116.0
Generators	7	On-line Capacity	1195.9	96.0 to 1116.0
Committed Gens	7	Generation (actual)	208.5	127.4
Loads	20	Load	200.9	114.5
Fixed	20	Fixed	200.9	114.5
Dispatchable	0	Dispatchable	-0.0 of -0.0	-0.0
Shunts	2	Shunt (inj)	-0.0	0.2
Branches	41	Losses ($I^2 * Z$)	7.51	36.87
Transformers	0	Branch Charging (inj)	-	23.7
Inter-ties	7	Total Inter-tie Flow	138.0	54.7
Areas	3			

	Minimum	Maximum
Voltage Magnitude	0.950 p.u. @ bus 24	1.050 p.u. @ bus 1
Voltage Angle	-7.13 deg @ bus 30	7.60 deg @ bus 1
P Losses ($I^2 * R$)	-	1.44 MW @ line 2-6
Q Losses ($I^2 * X$)	-	5.04 MVar @ line 4-12

Bus Data						
----------	--	--	--	--	--	--

Bus #	Voltage		Generation		Load	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	7.596	106.35	-15.33	-	-
2	1.047	5.787	89.52	13.80	21.70	12.70
3	1.033	2.680	-	-	2.40	1.20
4	1.029	1.694	-	-	7.60	1.60
5	1.037	2.837	0.00	0.39	-	-
6	1.032	0.756	-	-	-	-
7	1.025	1.110	-	-	22.80	10.90
8	1.050	0.000	12.59	88.63	30.00	30.00
9	1.017	-2.957	-	-	-	-
10	0.994	-4.996	-	-	5.80	2.00
11	1.050	-2.957	0.00	16.58	-	-
12	1.014	-4.627	-	-	11.20	7.50
13	1.045	-4.627	0.00	23.37	-	-
14	0.996	-5.604	-	-	6.20	1.60
15	0.988	-5.648	-	-	8.20	2.50
16	0.998	-5.078	-	-	3.50	1.80
17	0.989	-5.248	-	-	9.00	5.80
18	0.977	-6.186	-	-	3.20	0.90
19	0.974	-6.294	-	-	9.50	3.40
20	0.978	-6.032	-	-	2.20	0.70
21	0.977	-5.595	-	-	17.50	11.20
22	0.977	-5.612	-	-	-	-
23	0.968	-6.128	-	-	3.20	1.60
24	0.950	-6.395	-	-	20.45	13.98
25	0.970	-5.639	-	-	-	-
26	0.952	-6.102	-	-	3.50	2.30
27	0.991	-4.876	-	-	-	-
28	1.030	0.082	-	-	-	-
29	0.971	-6.188	-	-	2.40	0.90
30	0.959	-7.132	-	-	10.60	1.90
Total:			208.46	127.45	200.95	114.48

Branch Data									
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	To Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	Loss ($I^2 * Z$)		
							P (MW)	Q (MVar)	
1	1	2	56.26	-13.81	-55.68	12.64	0.578	1.73	
2	1	3	50.09	-1.52	-49.07	3.52	1.029	4.22	
3	2	4	43.68	-2.77	-42.68	3.82	0.993	3.03	
4	3	4	46.67	-4.72	-46.39	5.05	0.272	0.78	
5	2	5	28.02	-1.81	-27.68	0.96	0.338	1.42	
6	2	6	51.80	-6.96	-50.36	9.31	1.441	4.37	
7	4	6	36.62	-19.01	-36.43	19.19	0.190	0.66	
8	5	7	27.68	-0.36	-27.35	0.13	0.328	0.83	
9	6	7	-4.52	10.07	4.55	-11.03	0.033	0.10	
10	6	8	19.98	-49.17	-19.67	50.28	0.317	1.11	
11	6	9	32.69	8.53	-32.69	-6.31	0.000	2.23	
12	6	10	18.49	8.10	-18.49	-5.97	0.000	2.13	
13	9	11	0.00	-16.06	-0.00	16.58	0.000	0.52	
14	9	10	32.69	22.37	-32.69	-20.70	0.000	1.67	
15	4	12	44.85	8.54	-44.85	-3.50	0.000	5.04	
16	12	13	0.00	-22.67	-0.00	23.37	0.000	0.70	
17	12	14	8.29	3.25	-8.19	-3.06	0.095	0.20	
18	12	15	18.93	10.32	-18.63	-9.73	0.300	0.59	
19	12	16	6.43	5.09	-6.37	-4.96	0.062	0.13	
20	14	15	1.99	1.46	-1.98	-1.45	0.014	0.01	
21	16	17	2.87	3.16	-2.86	-3.12	0.015	0.04	
22	15	18	5.30	2.33	-5.26	-2.26	0.037	0.08	
23	18	19	2.06	1.36	-2.06	-1.35	0.004	0.01	
24	19	20	-7.44	-2.05	7.46	2.09	0.021	0.04	
25	10	20	9.76	3.01	-9.66	-2.79	0.099	0.22	
26	10	17	6.16	2.72	-6.14	-2.68	0.015	0.04	
27	10	21	19.44	12.66	-19.25	-12.25	0.190	0.41	
28	10	22	10.02	6.29	-9.91	-6.07	0.103	0.21	
29	21	22	1.75	1.05	-1.75	-1.05	0.001	0.00	
30	15	23	7.11	6.35	-7.02	-6.16	0.093	0.19	
31	22	24	11.66	7.12	-11.43	-6.77	0.225	0.35	
32	23	24	3.82	4.56	-3.77	-4.46	0.050	0.10	
33	24	25	-5.25	-2.72	5.32	2.85	0.073	0.13	
34	25	26	3.55	2.37	-3.50	-2.30	0.049	0.07	
35	25	27	-8.87	-5.22	8.99	5.45	0.123	0.23	
36	28	27	22.30	11.14	-22.30	-8.82	0.000	2.32	
37	27	29	6.20	1.69	-6.11	-1.51	0.092	0.17	
38	27	30	7.10	1.68	-6.93	-1.36	0.174	0.33	
39	29	30	3.71	0.61	-3.67	-0.54	0.036	0.07	
40	8	28	2.26	8.35	-2.20	-10.49	0.055	0.17	
41	6	28	20.16	-6.03	-20.09	-0.65	0.066	0.23	
Total:							7.510	36.87	

ผลการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขาย巴士ที่ 7 และผู้ซื้อ巴士ที่ 3

System Summary	
----------------	--

How many?		How much?	P (MW)	Q (MVar)
Buses	30	Total Gen Capacity	1195.9	-115.0 to 1405.9
Generators	7	On-line Capacity	1195.9	-115.0 to 1405.9
Committed Gens	7	Generation (actual)	314.9	201.8
Loads	20	Load	304.3	178.5
Fixed	20	Fixed	304.3	178.5
Dispatchable	0	Dispatchable	-0.0 of -0.0	-0.0
Shunts	2	Shunt (inj)	-0.0	0.2
Branches	41	Losses ($I^2 * Z$)	10.61	46.61
Transformers	0	Branch Charging (inj)	-	23.0
Inter-ties	7	Total Inter-tie Flow	126.1	43.3
Areas	3			

	Minimum	Maximum
Voltage Magnitude	0.950 p.u. @ bus 30	1.050 p.u. @ bus 7
Voltage Angle	-11.59 deg @ bus 30	1.28 deg @ bus 1
P Losses ($I^2 * R$)	-	2.55 MW @ line 1-3
Q Losses ($I^2 * X$)	-	10.46 MVar @ line 1-3

Bus Data	
----------	--

Bus #	Voltage		Generation		Load	
	Mag (pu)	Ang (deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	1.285	106.35	24.71	-	-
2	1.047	0.187	89.52	40.65	21.70	12.70
3	0.967	-5.373	-	-	117.48	72.52
4	0.993	-4.664	-	-	7.60	1.60
5	1.040	0.246	0.00	-15.00	-	-
6	1.014	-4.003	-	-	-	-
7	1.050	0.000	119.02	37.38	22.80	10.90
8	1.022	-4.886	0.00	62.50	30.00	30.00
9	1.010	-7.675	-	-	-	-
10	0.988	-9.665	-	-	5.80	2.00
11	1.050	-7.675	0.00	20.24	-	-
12	1.003	-10.051	-	-	11.20	7.50
13	1.045	-10.051	0.00	31.36	-	-
14	0.987	-10.886	-	-	6.20	1.60
15	0.982	-10.811	-	-	8.20	2.50
16	0.989	-10.196	-	-	3.50	1.80
17	0.983	-10.057	-	-	9.00	5.80
18	0.971	-11.186	-	-	3.20	0.90
19	0.968	-11.193	-	-	9.50	3.40
20	0.973	-10.873	-	-	2.20	0.70
21	0.975	-10.164	-	-	17.50	11.20
22	0.975	-10.148	-	-	-	-
23	0.970	-10.873	-	-	3.20	1.60
24	0.962	-10.562	-	-	8.70	6.70
25	0.969	-9.957	-	-	-	-
26	0.951	-10.420	-	-	3.50	2.30
27	0.983	-9.290	-	-	-	-
28	1.011	-4.694	-	-	-	-
29	0.962	-10.626	-	-	2.40	0.90
30	0.950	-11.587	-	-	10.60	1.90
Total:			314.89	201.84	304.28	178.52

Branch Data									
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	To Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	Loss ($I^2 * Z$)		
							P (MW)	Q (MVar)	
1	1	2	34.70	-7.21	-34.48	4.95	0.215		0.65
2	1	3	71.65	31.92	-69.10	-23.54	2.553		10.46
3	2	4	55.95	15.21	-54.18	-11.75	1.764		5.38
4	3	4	-48.38	-48.98	49.04	50.49	0.666		1.91
5	2	5	0.33	2.64	-0.33	-4.89	0.006		0.03
6	2	6	46.02	5.15	-44.88	-3.66	1.143		3.47
7	4	6	-38.99	-38.25	39.35	39.05	0.358		1.25
8	5	7	0.33	-9.91	-0.29	8.91	0.037		0.09
9	6	7	-94.18	-11.46	96.51	17.57	2.335		7.17
10	6	8	30.16	-27.58	-29.96	28.27	0.195		0.68
11	6	9	31.52	2.90	-31.52	-0.87	0.000		2.03
12	6	10	17.78	5.52	-17.78	-3.64	0.000		1.88
13	9	11	0.00	-19.47	-0.00	20.24	0.000		0.77
14	9	10	31.52	20.34	-31.52	-18.83	0.000		1.52
15	4	12	36.53	-2.08	-36.53	5.56	0.000		3.47
16	12	13	-0.00	-30.10	0.00	31.36	0.000		1.26
17	12	14	7.11	3.08	-7.04	-2.93	0.074		0.15
18	12	15	14.54	8.88	-14.35	-8.51	0.191		0.38
19	12	16	3.68	5.08	-3.64	-5.00	0.037		0.08
20	14	15	0.84	1.33	-0.84	-1.32	0.006		0.01
21	16	17	0.14	3.20	-0.13	-3.18	0.009		0.02
22	15	18	4.18	2.71	-4.16	-2.65	0.028		0.06
23	18	19	0.96	1.75	-0.95	-1.75	0.003		0.01
24	19	20	-8.55	-1.65	8.57	1.71	0.027		0.05
25	10	20	10.90	2.68	-10.77	-2.41	0.121		0.27
26	10	17	8.89	2.70	-8.87	-2.62	0.029		0.07
27	10	21	15.97	10.31	-15.85	-10.03	0.129		0.28
28	10	22	7.74	4.79	-7.68	-4.66	0.062		0.13
29	21	22	-1.65	-1.17	1.65	1.17	0.001		0.00
30	15	23	2.80	4.62	-2.77	-4.56	0.030		0.06
31	22	24	6.02	3.49	-5.97	-3.40	0.059		0.09
32	23	24	-0.43	2.96	0.44	-2.93	0.013		0.03
33	24	25	-3.18	-0.33	3.20	0.37	0.021		0.04
34	25	26	3.55	2.37	-3.50	-2.30	0.049		0.07
35	25	27	-6.75	-2.74	6.81	2.86	0.062		0.12
36	28	27	20.12	8.06	-20.12	-6.24	0.000		1.82
37	27	29	6.20	1.69	-6.11	-1.51	0.094		0.18
38	27	30	7.11	1.69	-6.93	-1.36	0.177		0.33
39	29	30	3.71	0.61	-3.67	-0.54	0.037		0.07
40	8	28	-0.04	4.23	0.05	-6.39	0.017		0.05
41	6	28	20.24	-4.76	-20.17	-1.67	0.068		0.24
Total:							10.612		46.61

ผลการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขาย巴士ที่ 3 และผู้ซื้อ巴士ที่ 7

System Summary	
----------------	--

How many?		How much?	P (MW)	Q (MVar)
Buses	30	Total Gen Capacity	1195.9	-115.0 to 1405.9
Generators	7	On-line Capacity	1195.9	-115.0 to 1405.9
Committed Gens	7	Generation (actual)	348.4	247.1
Loads	20	Load	327.6	193.0
Fixed	20	Fixed	327.6	193.0
Dispatchable	0	Dispatchable	-0.0 of -0.0	-0.0
Shunts	2	Shunt (inj)	-0.0	0.2
Branches	41	Losses ($I^2 * Z$)	20.86	76.74
Transformers	0	Branch Charging (inj)	-	22.4
Inter-ties	7	Total Inter-tie Flow	120.6	38.5
Areas	3			

	Minimum	Maximum
Voltage Magnitude	0.909 p.u. @ bus 7	1.050 p.u. @ bus 1
Voltage Angle	-13.55 deg @ bus 30	1.99 deg @ bus 1
P Losses ($I^2 * R$)	-	4.21 MW @ line 6-7
Q Losses ($I^2 * X$)	-	12.93 MVar @ line 6-7

Bus Data	
----------	--

Bus #	Voltage		Generation		Load	
	Mag (pu)	Ang (deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.050	1.986	106.35	-20.00	-	-
2	1.043	-0.758	89.52	60.00	21.70	12.70
3	1.050	0.000	152.58	45.36	2.40	1.20
4	1.016	-3.168	-	-	7.60	1.60
5	0.996	-7.519	0.00	44.70	-	-
6	0.989	-6.222	-	-	-	-
7	0.909	-10.640	-	-	161.19	96.67
8	0.997	-7.140	0.00	62.50	30.00	30.00
9	0.998	-9.337	-	-	-	-
10	0.976	-11.006	-	-	5.80	2.00
11	1.050	-9.337	0.00	26.45	-	-
12	1.007	-10.092	-	-	11.20	7.50
13	1.045	-10.092	0.00	28.11	-	-
14	0.989	-11.107	-	-	6.20	1.60
15	0.981	-11.176	-	-	8.20	2.50
16	0.986	-10.767	-	-	3.50	1.80
17	0.973	-11.165	-	-	9.00	5.80
18	0.966	-11.900	-	-	3.20	0.90
19	0.961	-12.117	-	-	9.50	3.40
20	0.964	-11.903	-	-	2.20	0.70
21	0.962	-11.491	-	-	17.50	11.20
22	0.963	-11.467	-	-	-	-
23	0.964	-11.601	-	-	3.20	1.60
24	0.950	-11.785	-	-	8.70	6.70
25	0.951	-11.575	-	-	-	-
26	0.932	-12.056	-	-	3.50	2.30
27	0.961	-11.143	-	-	-	-
28	0.987	-6.888	-	-	-	-
29	0.940	-12.541	-	-	2.40	0.90
30	0.928	-13.549	-	-	10.60	1.90
Total:			348.45	247.13	327.59	192.97

Branch Data									
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	To Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	Loss ($I^2 * Z$)		
							P (MW)	Q (MVar)	
1	1	2	86.78	-14.52	-85.44	15.65	1.341		4.02
2	1	3	19.57	-5.48	-19.40	3.90	0.165		0.67
3	2	4	28.10	6.51	-27.65	-7.11	0.444		1.35
4	3	4	169.58	40.26	-165.94	-30.26	3.639		10.45
5	2	5	64.68	11.57	-62.79	-5.82	1.887		7.93
6	2	6	60.49	13.57	-58.42	-9.22	2.069		6.28
7	4	6	137.82	29.57	-135.52	-22.04	2.294		7.98
8	5	7	62.79	50.71	-59.75	-43.94	3.044		7.68
9	6	7	105.65	64.76	-101.44	-52.72	4.211		12.93
10	6	8	29.69	-27.66	-29.49	28.36	0.202		0.71
11	6	9	25.77	-3.52	-25.77	4.96	0.000		1.44
12	6	10	14.47	2.91	-14.47	-1.67	0.000		1.24
13	9	11	0.00	-25.13	-0.00	26.45	0.000		1.32
14	9	10	25.77	20.17	-25.77	-18.99	0.000		1.18
15	4	12	48.18	6.20	-48.18	-0.34	0.000		5.86
16	12	13	-0.00	-27.10	0.00	28.11	0.000		1.01
17	12	14	8.45	3.22	-8.35	-3.01	0.099		0.21
18	12	15	19.57	10.28	-19.25	-9.65	0.319		0.63
19	12	16	8.96	6.44	-8.85	-6.21	0.113		0.24
20	14	15	2.15	1.41	-2.13	-1.40	0.015		0.01
21	16	17	5.35	4.41	-5.31	-4.31	0.041		0.09
22	15	18	7.09	3.26	-7.02	-3.12	0.068		0.14
23	18	19	3.82	2.22	-3.80	-2.20	0.013		0.03
24	19	20	-5.70	-1.20	5.71	1.23	0.012		0.02
25	10	20	7.97	2.08	-7.91	-1.93	0.067		0.15
26	10	17	3.70	1.50	-3.69	-1.49	0.005		0.01
27	10	21	15.40	10.30	-15.28	-10.03	0.125		0.27
28	10	22	7.37	4.78	-7.31	-4.66	0.059		0.12
29	21	22	-2.22	-1.17	2.23	1.18	0.001		0.00
30	15	23	6.10	5.29	-6.03	-5.16	0.068		0.14
31	22	24	5.08	3.49	-5.03	-3.41	0.047		0.07
32	23	24	2.83	3.56	-2.80	-3.50	0.029		0.06
33	24	25	-0.87	0.24	0.87	-0.24	0.002		0.00
34	25	26	3.55	2.38	-3.50	-2.30	0.051		0.08
35	25	27	-4.42	-2.14	4.45	2.19	0.029		0.06
36	28	27	17.77	7.09	-17.77	-5.60	0.000		1.49
37	27	29	6.21	1.70	-6.11	-1.52	0.099		0.19
38	27	30	7.11	1.70	-6.93	-1.36	0.186		0.35
39	29	30	3.71	0.62	-3.67	-0.54	0.038		0.07
40	8	28	-0.51	4.14	0.53	-6.19	0.017		0.05
41	6	28	18.36	-5.23	-18.30	-0.90	0.059		0.21
Total:							20.858		76.74

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายณัฐพล อนันตศิริสมบัติ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	27 กรกฎาคม 2526
สถานที่เกิด	ชลบุรี
ประวัติการศึกษา	วศ.บ.วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-