



## ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การประเมินความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าโดยคำนึงถึงการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดของระบบคนกลาง

Evaluation of Wheeling Capacity considering Optimal Power Flow of the Intermediate Utility

นามผู้วิจัย นายกิจจา ทนงจิตต์

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต ดำรงกุลกำจร, Ph. D. )

หัวหน้าภาควิชา

( รองศาสตราจารย์มงคล รักษาพัชรวงษ์, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่..... เดือน..... พ.ศ.....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การประเมินความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าโดยคำนึงถึงการไหลของกำลังไฟฟ้า  
ที่เหมาะสมที่สุดของระบบคนกลาง

Evaluation of Wheeling Capacity considering Optimal Power Flow  
of the Intermediate Utility

โดย

นายกิจจา ทนงจิตต์

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2551

กิจจา ทนงจิตต์ 2551: การประเมินความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าโดย  
คำนึงถึงการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดของระบบคนกลาง ปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชา  
วิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ปานจิต  
ดำรงกุลกำจร, Ph. D. 109 หน้า

งานวิจัยนี้นำเสนอการศึกษาการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง โดย  
พิจารณาจากความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้ของระบบคนกลาง แล้วนำผลที่ได้มา  
วิเคราะห์ถึงการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปโดยระบบไฟฟ้าคนกลางยังคงมี  
ค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าเท่าเดิม กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปได้แก่ ความแตกต่าง  
ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ไหลในระบบคนกลางขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเทียบกับ  
กำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดที่ไหลในระบบก่อนมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า ขณะที่มีการส่งผ่าน  
กำลังไฟฟ้ากำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบจะถูกระงับให้มีค่าเท่ากับค่าดีที่สุด  
ก่อนมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า เพื่อให้ค่าใช้จ่ายของระบบคนกลางมีค่าต่ำสุดและไม่  
เปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนแปลงของการไหลของกำลังไฟฟ้าเป็นสิ่งที่บ่งชี้ถึงผลกระทบที่การ  
ส่งผ่านกำลังไฟฟ้ามีต่อระบบคนกลาง และเป็นสิ่งที่ใช้ในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการส่งผ่าน  
กำลังไฟฟ้าสำหรับคู่ค้าที่ต้องชดเชยให้กับระบบคนกลาง โดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลง  
ของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นเพื่อนำมาคิดเป็นค่าใช้จ่ายตามความเหมาะสม

Kitja Tanongjit 2008: Evaluation of Wheeling Capacity considering Optimal Power Flow of the Intermediate Utility. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Parnjit Damrongkulkamjorn, Ph.D. 109 pages.

This research presents the study of wheeling electric power through an intermediate system by considering the capacity of wheeling power and then analyzing the change of flow occurring to the intermediate system. The change of flow is the different of power flow during the wheeling transaction compared to the optimal power flow of the intermediate system prior to the wheeling. During the wheeling transaction, all generators are fixed to optimal dispatch in order for the intermediate system to maintain its optimal cost. The change of flow in the intermediate system shows how the wheeling affects the system and can be used to determine the appropriate wheeling charge. When all line flows are obtained, the wheeling cost can be determined by using the line-by-line method.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

— / — / —

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปานจิต คำรงกุลกำจร ประธานกรรมการที่ปรึกษา ที่ได้สละเวลาช่วยเหลือในการวางแผนงานวิจัย ตลอดจนการให้คำปรึกษาแนะนำข้อคิดเห็นต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยและตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์และสำเร็จ ลุล่วงด้วยดี

สุดท้ายผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณพ่อแม่และแม่ที่คอยสนับสนุนและส่งเสริมให้ผู้วิจัยในทุกๆด้าน และขอขอบคุณพี่สาว น้า อา ที่คอยตักเตือนและช่วยเหลือให้ผู้วิจัยสามารถศึกษา วิจัย ค้นคว้า และเรียนรู้จนกระทั่งสำเร็จได้เป็นวิทยานิพนธ์ที่สมบูรณ์ฉบับนี้

กัจจา ทนงจิตต์

กันยายน 2551

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	7
อุปกรณ์	7
วิธีการ	7
ผลและวิจารณ์	19
สรุปผลงานวิจัย	84
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	89
ภาคผนวก	90
ภาคผนวก ก รายละเอียดของระบบจำลอง <i>IEEE 14 BUS</i>	91
ภาคผนวก ข รายละเอียดผลลัพธ์ของกรณีศึกษา	95

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลการคำนวณที่ได้จากวิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบคนกลางในกรณีที่ไม่มี การส่งผ่านกำลังไฟฟ้า	19
2	ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบคนกลาง ในกรณีที่ไม่มี การส่งผ่านกำลังไฟฟ้า	20
3	การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มี การส่งผ่านกำลังไฟฟ้า	23
4	ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ $PF = 0.85$	27
5	การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ $PF = 0.85$	29
6	ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ $PF = 0.85$	33
7	การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ $PF = 0.85$	34
8	การเปลี่ยนแปลงขนาดกำลังไฟฟ้าในสายส่งของระบบคนกลางระหว่างกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ $PF = 0.85$ กับกรณีส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ $PF = 0.85$	36
9	ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ $PF = 0.85$	39
10	ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ $PF = 0.95$	41

### สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
11	การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.95	43
12	ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของ กำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.95	47
13	การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.95	48
14	ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของ กำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ PF = 0.95	51
15	การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ PF = 0.95	52
16	ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของ กำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 70 MW และ PF = 0.95	55
17	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 5 MW และ PF = 0.85	57
18	ค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 5 MW และ PF = 0.85	59
19	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 10 MW และ PF = 0.85	60
20	ค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 10 MW และ PF = 0.85	62
21	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 20 MW และ PF = 0.85	63
22	ค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 20 MW และ PF = 0.85	65
23	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 30 MW และ PF = 0.85	66

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
24	ค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 30 MW และ PF = 0.85	68
25	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.85	69
26	ค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.85	71
27	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.85	72
28	ค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.85	74
29	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.95	75
30	ค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.95	77
31	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.95	78
32	ค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.95	80
33	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ PF = 0.95	81
34	ค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ PF = 0.95	83
35	กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ	85
36	สรุปค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า	86
<b>ตารางผนวกที่</b>		
ก1	ข้อมูลของบัสในระบบจำลอง <i>IEEE 14 BUS</i>	92
ก2	ข้อมูลของสายส่งในระบบจำลอง <i>IEEE 14 BUS</i>	93
ก3	ข้อมูลของเครื่องผลิตไฟฟ้าในระบบ <i>IEEE 14 BUS</i>	94

## สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การส่งผ่านกำลังไฟฟ้า	9
2	ระบบไฟฟ้าคนกลาง	15
3	ระบบสำหรับส่งผ่านกำลังไฟฟ้า	17
4	ผลการคำนวณที่ได้จากวิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบคนกลาง ในขณะที่ไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า	22
5	ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ในระบบคนกลางที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ $PF = 0.85$	26
6	ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ในระบบคนกลางที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ $PF = 0.85$	32
7	ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ในระบบคนกลางที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ $PF = 0.85$	38
8	ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ในระบบคนกลางที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ $PF = 0.95$	40
9	ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ในระบบคนกลางที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ $PF = 0.95$	46
10	ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ในระบบคนกลางที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ $PF = 0.95$	50
11	ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ในระบบคนกลางที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 70 MW และ $PF = 0.95$	54
12	ผลของค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าที่ $PF = 0.85$	87

# การประเมินความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าโดยคำนึงถึงการไหลของกำลังไฟฟ้า ที่เหมาะสมที่สุดของระบบคนกลาง

## Evaluation of Wheeling Capacity considering Optimal Power Flow of the Intermediate Utility

### คำนำ

การดำเนินงานด้านการผลิตกำลังไฟฟ้าจำเป็นต้องมีแผนการผลิตกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอกับความต้องการของผู้บริโภคอยู่ตลอดเวลา ซึ่งในปัจจุบันความต้องการไฟฟ้ามีมากขึ้นในทุกๆปี จึงจำเป็นต้องมีแผนการในการเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้เพียงพอในระบบ ซึ่งทางเลือกในการเพิ่มกำลังการผลิตไฟฟ้านั้นสามารถทำได้โดยการก่อสร้างโรงจักรไฟฟ้าขึ้นใหม่หรือทำการซื้อขายแลกเปลี่ยนกำลังไฟฟ้ากับระบบไฟฟ้าข้างเคียงที่เชื่อมโยงกัน จากสองวิธีข้างต้นพบว่าการซื้อขายแลกเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากการลดต้นทุนในการผลิต และเพิ่มผลกำไรให้กับระบบไฟฟ้า นอกจากนี้ระบบยังมีเสถียรภาพและความเชื่อถือได้ของระบบสูงขึ้น

สำหรับในงานวิจัยจะศึกษาการคิดค่าใช้จ่ายของระบบคนกลางที่ได้จากการซื้อขายแลกเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าระหว่างผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า (Buyer) กับผู้ขายกำลังไฟฟ้า (seller) นอกจากนี้จะทำการวิเคราะห์ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปของระบบคนกลางภายหลังจากทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า (wheeling)

การศึกษการไหลของกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางจะนำโปรแกรม MATPOWER มาใช้ในการคำนวณหาผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้น โดยเริ่มต้นจากการศึกษการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม (optimal power flow) ของระบบคนกลาง เพื่อศึกษาความสามารถของระบบในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า จากนั้นจะทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแล้ววิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน พร้อมทั้งนำผลการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ได้มาคิดเป็นค่าใช้จ่ายเพื่อชดเชยความเสียหายของระบบไฟฟ้าคนกลาง โดยคำนึงจากความเหมาะสมที่สุด

## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาผลกระทบที่มีต่อระบบไฟฟ้าคนกลางที่ทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายกำลังไฟฟ้าที่อยู่นอกระบบไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่อยู่นอกระบบ
2. เพื่อศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าคนกลางที่ทำหน้าที่ส่งผ่านกำลังไฟฟ้า และผลการเปลี่ยนแปลงหลังทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า
3. เพื่อคำนวณหาค่าใช้จ่ายของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม สำหรับผู้ทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ากับระบบคนกลาง
4. เพื่อปรับปรุงแก้ไขระบบให้สามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าปริมาณที่มากขึ้นได้
5. เพื่อเสนอสิ่งที่เป็นประโยชน์แก่กิจการไฟฟ้า ในการใช้ทรัพยากรอย่างมีคุณค่า และมีพลังงานไฟฟ้าใช้อย่างพอเพียงในราคาที่เป็นธรรมแก่ผู้ใช้ไฟฟ้า

## ขอบเขตงานวิจัย

ในงานวิจัยจะศึกษาการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง ซึ่งกำหนดให้ใช้ระบบของ *IEEE 14 BUS* เป็นระบบของคนกลาง แล้วคำนวณการการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม (optimal power flow : OPF) ด้วยโปรแกรม MATPOWER จากนั้นทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า โดยมีผู้ค้าในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าหนึ่งคู่ค้า ทำการส่งกำลังไฟฟ้าเข้าระบบคนกลางในบัสที่ 4 และส่งกำลังไฟฟ้าออกจากระบบในบัสที่ 12 สำหรับกำลังไฟฟ้าที่ใช้วิเคราะห์หาการไหลของกำลังไฟฟ้าจะพิจารณาในระบบกรณีที่ทำกรส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้ ซึ่งมีแรงดันในแต่ละบัสของระบบคนกลางไม่เกิน  $\pm 6\%$  และปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งไม่เกินขีดจำกัด จากนั้นวิเคราะห์ผลที่ได้พร้อมกับคำนวณค่าใช้จ่าย ซึ่งไม่ได้พิจารณาถึงอัตราค่าใช้จ่ายรายปีของระบบคนกลางเพื่อกำหนดเป็นค่าใช้จ่ายในการส่งกำลังไฟฟ้า แต่จะสมมุติค่าส่งกำลังไฟฟ้าขึ้นมาเพื่อใช้เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ในแต่ละกรณี แล้วสรุปผลต่อไป

## การตรวจเอกสาร

Pacific gas and electric company (1989) งานเขียนชิ้นนี้ได้อธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีและการประยุกต์ใช้เครื่องมือในการประเมินค่าใช้จ่ายสำหรับบริษัทที่ให้บริการพลังงานไฟฟ้ารวมทั้งค่าใช้จ่ายในการส่งพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไปยังผู้บริโภคอีกด้วย ในการคิดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นนี้จะพิจารณาจาก ขนาดของกำลังไฟฟ้า, ระยะทางของสายส่ง และชนิดของวัสดุที่ใช้ผลิตสายส่ง ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะช่วยให้การคิดราคาต้นทุนเป็นไปอย่างยุติธรรม โดยแสดงตัวอย่างเป็นการแสดงให้เห็นว่าการคิดโดยวิธีการ "MW-mile methodology" สามารถสะท้อนให้เห็นถึงต้นทุนที่เกิดขึ้นจริงได้ดีกว่าการประเมินโดยใช้วิธีการ "postage stamp rate procedure" ดังนั้นงานเขียนนี้จึงเป็นการชี้ให้เห็นถึงศักยภาพของ วิธีการ "MW-mile methodology" ในทางเศรษฐศาสตร์ อีกทั้งยังอธิบายถึงเครื่องมือในการวิเคราะห์ต่างๆที่ใช้ในวิธีนี้ แล้ววิธี MW-MILE จะถูกนำมาใช้ใน บริษัท Pacific Gas and Electric Company และบริษัทอื่นๆเพื่อเป็นการศึกษาว่า วิธีการ "MW-mile methodology" จะเป็นหนึ่งในทางเลือกของเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินต้นทุนที่เกิดขึ้นในการให้บริการด้านการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ผลิตไปยังผู้บริโภค

Rana Mukerji *et al.* (1992) กล่าวถึงความสำคัญของความมั่นคงในระบบไฟฟ้า (security), แรงดัน (voltage profile), กำลังสูญเสีย (loss), การชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Var reserve) ตามข้อตกลงของ Federal Energy Regulatory Commission (FERC) ที่จำเป็นในการกำหนดราคาค่าจัดส่งกำลังไฟฟ้าของ non-utility generation (NUG) เพื่อเลือกใช้บริษัทผู้ผลิตไฟฟ้าสำหรับการส่งกำลังไฟฟ้าตามความเหมาะสม จึงใช้โปรแกรมวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม (optimal power flow) มาช่วยในการคำนวณหาค่าใช้จ่าย โดยมีข้อกำหนดให้ loss น้อยที่สุด ที่ยังคงส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้เมื่อเกิดเหตุการณ์ไม่ปกติ (contingencies)

Y.Z. Li and A.K. David (1993) ได้พิจารณาความสำคัญของระบบ wheeling ที่เกิดการซื้อขายในหลายๆส่วน การส่งกำลังไฟฟ้าข้ามหลายๆพื้นที่ กำลังไฟฟ้าที่ส่งจากผู้ขายไปยังผู้ซื้อจะถูกควบคุมด้วยระบบการจัดการจากส่วนกลางในพื้นที่นั้น ซึ่งการซื้อขายในระบบ wheeling จะมีความซับซ้อนมาก ในแต่ละพื้นที่จะมีอัตราการส่งกำลังไฟฟ้าข้ามระบบในราคาที่แตกต่างกัน จึงเกิดคำถามว่าจำนวนพลังงานเท่าไรที่ควรส่งผ่านระบบและอะไรที่จะเป็นตัวกำหนดค่าใช้จ่ายในระบบ wheeling ที่จะแสดงผลงานในงานวิจัยฉบับนี้ สูตรที่ใช้ขณะที่โปรแกรมไม่เป็นเชิงเส้นกับข้อบังคับแบบเชิงเส้นและแก้ปัญหาโดยวิธี gradient projection

H. H. Happ (1994) แสดงรายละเอียดและสรุปขั้นตอนการคำนวณและข้อมูลที่จำเป็นของวิธีการคำนวณค่าใช้จ่ายทั้งหมด 4 วิธี รวมถึงวิธีการคำนวณต้นทุนในระยะยาวที่จะเกิดขึ้นทั้งหมด 2 วิธี และวิธี short run marginal cost method ในงานวิจัยนี้ยังนำเสนอวิธีการจัดสรรต้นทุนในการขนส่งกำลังไฟฟ้าเมื่ออยู่ในระบบไฟฟ้าของบริษัทตามที่กำหนดไว้ในวิธีการคำนวณต้นทุนระยะยาวตามเกณฑ์ จุดประสงค์หลักของงานวิจัยนี้คือเพื่อนำเสนอวิธีการพิจารณาต้นทุนการขนส่งกำลังไฟฟ้า(ผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง) และคิดค้นวิธีคิดค่าใช้จ่ายขึ้นใหม่เพื่อใช้คำนวณต้นทุนในระยะยาว และเพื่อนำเสนอวิธีการที่จะจัดสรรต้นทุนในการขนส่งกำลังไฟฟ้าในกรณีที่มีการซื้อขายหลายคู่ค้า

A.A. El-Keib and X.Ma (1996) กล่าวถึงความเหมาะสมของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่มีสำคัญในด้านเศรษฐศาสตร์และความมั่นคงของระบบไฟฟ้าในการส่งกำลังไฟฟ้าข้ามระบบ ในงานวิจัยเสนอสูตรที่ใช้ระบุราคาของตัวประกอบกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟซึ่งค่าตัวแปรพื้นฐานก็ยังคงมีอยู่ในงานวิจัย ในการสร้างราคากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจะสามารถทำให้เข้าใจมากขึ้นแนวทางที่จะได้ประสิทธิภาพสำหรับใช้กับเวลาขณะนั้นและราคาการส่งกำลังไฟฟ้าจริงและราคากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟโดยจะใช้การคำนวณแบบ decouple optimal power flow แนวทางในงานวิจัยเพื่อให้ได้วิธีที่ง่ายในการกำหนดราคาของ NUGs และการซื้อขายกำลังไฟฟ้าแบบwheeling ในงานวิจัยใช้ทดสอบกับระบบ IEEE 30 และ 118 บัส

Maxwell Muchayi and M.E. El-Hawary (1997) ได้กำหนดโครงสร้างอัตราไฟฟ้าในเวลาจริงในปัจจุบันมีการพิจารณาเป็นจำนวนมาก ในงานวิจัยนี้แผนการสำหรับค่าการขายไฟฟ้าคือหลักในการคำนวณและการกำหนดราคา ซึ่งไม่เหมือนกับวิธีอื่นๆที่ใช้เฉพาะราคาค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิด โดยวิธีนี้จะคำนึงถึงการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบโครงข่ายทำให้เกิดฐานราคาในช่วงเวลาที่ใช้ ราคาของการส่งกำลังไฟฟ้าได้มาจากการกำหนดค่า  $k$  ที่ใช้เป็นอัตราของราคาเทียบกับปริมาณของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในแต่ละสายส่งในระบบโครงข่าย ราคาค่าใช้จ่ายในแต่ละเวลาจะต้องคำนึงถึงความรวดเร็วของราคาที่เกิดขึ้นและฟังก์ชันที่ใช้แสดงความต้องการกำลังไฟฟ้าซึ่งจะมีผลต่อการตัดสินใจของลูกค้า ความต้องการที่จะซื้อกำลังไฟฟ้า และการส่งกำลังไฟฟ้าในระบบของผู้ขายจะถูกนำมาคิดตามหลักเศรษฐศาสตร์ที่ดี โดยการกำหนดราคาจัดส่งกำลังไฟฟ้าและผลประโยชน์ของลูกค้าเข้าด้วยกัน ในข้อกำหนดโรงผลิตไฟฟ้าจะไม่มีการผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในพื้นที่ของตัวเองเพียงอย่างเดียว โดยโรงผลิตไฟฟ้าทั้งหมดและสายส่งจะถูกจัดสรรการผลิตโดยส่วนกลาง ในแบบจำลองใช้กับระบบไฟฟ้าของ IEEE 5,14,30 และ 57 บัส และใช้โปรแกรม

Optimal Power Flow ที่ใช้ MINOS package นำมาวิเคราะห์ผล ในข้อสรุปจะได้วิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับการคิดราคาค่าไฟฟ้า

หัตถ์คุณ (2540) ได้นำเสนอเกี่ยวกับการวิเคราะห์เพื่อหาค่าใช้จ่ายและอัตราค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมในการขนส่งกำลังไฟฟ้าโดยผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง ในวิธีการคิดค่าใช้จ่ายนี้จะนำเสนอด้วยวิธี Short run marginal transmission cost ซึ่งเป็นการคิดค่าใช้จ่ายแบบรวมผลกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากกำลังสูญเสียในระบบคนกลาง และเงื่อนไขพิกัดของสายส่งที่กำหนดไว้ในรูปของค่าใช้จ่ายต่อหน่วยกำลังไฟฟ้า การคำนวณในลักษณะนี้ทำให้ทราบถึงผลกระทบที่เปลี่ยนแปลงไป ระดับโหลดสูงสุด และค่าใช้จ่ายของการผลิตที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากการยอมให้เกิดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง วิธีนำเสนอใช้กับระบบทดสอบขนาด 6 บัส โดยได้แสดงผลการคำนวณเปรียบเทียบทั้งในกรณีพิจารณาและไม่พิจารณาเงื่อนไขจำกัดของพิกัดสายส่ง

Maxwell Muchayi and El-Hawary, M.E. (1998) กล่าวถึงการใช้ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการคำนวณเพื่อแก้ปัญหาความต้องการไฟฟ้าจริงในขณะนั้น ซึ่งจะมีผลต่อความต้องการซื้อไฟฟ้าของลูกค้า ในการนำเสนอนี้จะศึกษาข้อมูลที่ละเอียดมากเพื่อให้ได้ราคาที่ใช้จริงในตลาดซื้อขายไฟฟ้า บริเวณที่ใช้สำหรับคำนวณราคาค่าไฟฟ้าที่ใช้จริงใช้ขณะนั้น (real-time) กำหนดให้เป็นอัตราการซื้อขายแบบ wheeling (wheeling คือ การส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายไปยังผู้ซื้อ โดยผ่านระบบโครงข่ายของผู้อื่น) ในการหาราคากำลังไฟฟ้าในระบบ wheeling จำเป็นต้องรู้วิธีคำนวณและการกำหนดราคา ซึ่งไม่เหมือนกับวิธีอื่นๆที่ใช้เฉพาะราคาค่าเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิด โดยวิธีนี้จะคำนึงถึงการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบโครงข่ายทำให้เกิดฐานราคาในช่วงเวลาที่ใช้ ราคาของการส่งกำลังไฟฟ้าได้มาจากการกำหนดค่า  $k$  ที่ใช้เป็นอัตราของราคาเทียบกับปริมาณของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในแต่ละสายส่งในระบบโครงข่าย ในการกำหนดไม่สามารถแยกพื้นที่บางส่วนในระบบออกได้ และสมมติให้โรงผลิตไฟฟ้าและระบบสายส่งแยกจากกัน ในแบบจำลองใช้กับระบบไฟฟ้าของ IEEE 14 และ 30 และใช้โปรแกรม Optimal Power Flow ที่ใช้ MINOS package นำมาวิเคราะห์ผล ในข้อสรุปจะได้วิธีที่มีประสิทธิภาพสำหรับการคิดอัตราค่าใช้จ่ายในระบบ wheeling

Wei-Jen Lee *et al.* (2001) นำเสนอวิธีคิดค่าใช้จ่ายในการส่งกำลังไฟฟ้าแบบการค้ำส่งและการค้ำปลีก ซึ่งเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภคสำหรับเลือกซื้อพลังงานจากหลายๆแหล่ง แต่สิ่งหนึ่งที่ต้องทำความเข้าใจคือผลตอบแทนที่ได้รับของการลงทุนและความเสี่ยงต่างๆที่อาจเกิดขึ้น ใน

งานวิจัยจึงเสนอการคิดค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง (wheeling) โดยให้ค่านิยามว่าการส่งกำลังไฟฟ้าข้ามผ่านระบบ เนื่องมาจากเส้นทางการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ส่งกำลังไฟฟ้ากับผู้รับกำลังไฟฟ้าไม่มีจุดเชื่อมต่อกันโดยตรง แต่สามารถทำการส่งกำลังไฟฟ้าไปยังผู้รับไฟฟ้าได้โดยผ่านระบบของผู้อื่น ในการคิดค่าใช้จ่ายจะนำเสนอวิธีการคำนวณด้วยกัน 4 วิธี

1. วิธี Rolled-in-Embedded หรือ Postage stamp
2. วิธี Contract Path
3. วิธี Boundary Flow
4. วิธี Line-by-Line

เนื่องจากการคิดค่าใช้จ่ายไม่มีวิธีการคำนวณที่แน่นอนจึงทำการเปรียบเทียบผลการคำนวณที่ใช้กันในหลายบริษัท โดยแสดงตัวอย่างการคำนวณด้วยวิธี The vector absolute megawatt mile method ซึ่งถูกนำมาใช้ใน The Electric Reliability Council of Texas

G.R. Yousefi and H.Seifi (2004) บทความนี้กล่าวถึงหลักพื้นฐานในการคิดราคาต้นทุนของการส่งกำลังไฟฟ้าข้ามระบบ wheeling ที่เพิ่มการคำนวณในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟารีแอกทีฟ จากผลที่ได้จะนำมาสร้างแบบจำลองผลกระทบที่เกิดขึ้นกับลูกค้า เป้าหมายของงานจะหาวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ทดสอบกับระบบ 9 บัส

ธนัชชัย กุลวรรณิษพงษ์ และ บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ บทความนี้ได้นำเสนอ วิธีการแก้ปัญหา ออปติไมเซชันที่มีการพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากกว่าหนึ่งฟังก์ชัน มาใช้แก้ปัญหาออปติมัลเพาเวอร์โพลว์ ที่มีการพิจารณา ต้นทุนการผลิตโดยรวมของระบบ ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม และความมั่นคงในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ของระบบเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ วิธีการดังกล่าวนี้ได้ทดสอบกับระบบทดสอบ จากนั้นได้นำผลที่ได้เปรียบเทียบกับวิธีการแก้ปัญหา ออปติมัลเพาเวอร์โพลว์แบบดั้งเดิม ที่ใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพียงหนึ่งฟังก์ชัน

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. ระบบปฏิบัติการ Window XP
3. โปรแกรม Microsoft Office
4. โปรแกรมช่วยวิเคราะห์ข้อมูลทางวิศวกรรม MATLAB 7.0

### วิธีการ

การคิดค่าใช้จ่ายในการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง ด้วยวิธีการคิดแบบ Line by Line มีวิธีการคำนวณโดยคิดจากการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้น เพื่อนำการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่ได้มาคิดเป็นค่าชดเชยที่ต้องเสียให้กับระบบคนกลาง ดังนั้นการคิดค่าใช้จ่ายจำเป็นต้องศึกษากระบวนการของระบบคนกลางก่อน โดยใช้การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม (optimal power flow) มาคำนวณค่าใช้จ่ายของระบบ ซึ่งจะได้ค่าใช้จ่ายที่ประหยัดที่สุดในระบบคนกลาง จากนั้นทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า (wheeling) โดยเลือกเส้นทางในการส่งผ่านในระบบก่อนที่จะวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (power flow) ด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ตามรายละเอียดต่อไปนี้

#### 1. **คำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม (optimal power flow : OPF) ของระบบไฟฟ้าคนกลางเพื่อนำมาใช้เป็นกรณีศึกษาขั้นต้น**

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม จะทำให้ทราบถึงปริมาณและทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในแต่ละสายส่ง รวมถึงแรงดันและมุมเฟสของแต่ละบัสที่อยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ พร้อมทั้งคำนึงถึงความต้องการพลังงานไฟฟ้าในแต่ละบัสที่ได้รับพลังงานที่

เพียงพอ และมีค่าใช้จ่ายสำหรับการผลิตกำลังไฟฟ้าในระบบมีน้อยที่สุด จึงต้องใช้โปรแกรม OPF เข้ามาช่วยค้นหาคำตอบ โดยโปรแกรมจะถูกสร้างขึ้นจากสมการคณิตศาสตร์ในรูปของฟังก์ชัน ที่ประกอบด้วยฟังก์ชันเป้าหมาย (objective function) ภายใต้เงื่อนไขของสมการ (constraints) คือการทำงานที่เหมาะสมไม่เกินขีดจำกัด (limit) ของอุปกรณ์ต่างๆ ที่เขียนในรูปสมการคณิตศาสตร์แบบเงื่อนไขบังคับสมการ (equality constraints) และแบบเงื่อนไขบังคับอสมการ (inequality constraints) เข้ามาค้นหาคำตอบ ดังนี้

ฟังก์ชันเป้าหมาย (objective function)

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

เงื่อนไขบังคับสมการ (equality constraints)

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

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

เงื่อนไขบังคับอสมการ (inequality constraints)

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

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

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

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

เมื่อ  $P_i$  คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลเข้าบัส  $i$

$P_{Gi}$  คือ กำลังการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส  $i$

$P_{Di}$  คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้าจริงที่บัส  $i$

$Q_i$  คือ กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่ไหลเข้าบัส  $i$

$Q_{Gi}$  คือ กำลังการผลิตกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่บัส  $i$

$Q_{Di}$  คือ ความต้องการกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่บัส  $i$

$V_i$  คือ ขนาดของแรงดันที่บัส  $i$

- $V_{i_{\min}}, V_{i_{\max}}$  คือ ขีดจำกัดของแรงดันต่ำสุดและสูงสุดในบัส  $i$   
 $P_{i_{\min}}, P_{i_{\max}}$  คือ ขีดจำกัดของการผลิตกำลังไฟฟ้าจริงต่ำสุดและสูงสุดในบัส  $i$   
 $Q_{i_{\min}}, Q_{i_{\max}}$  คือ ขีดจำกัดของการผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟต่ำสุดและสูงสุดในบัส  $i$   
 $|I_l(V, \delta)|$  คือ ขนาดของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งเส้นที่  $l$   
 $I_{l_{\max}}$  คือ ขีดจำกัดสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งเส้นที่  $l$

จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า แล้วนำผลเก็บไว้เป็นข้อมูลเริ่มต้นสำหรับกรณีศึกษาต่อไป

## 2. การส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

การส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง (wheeling) หมายถึงการส่งกำลังไฟฟ้าจากระบบของผู้ส่งกำลังไฟฟ้าไปยังระบบของผู้รับกำลังไฟฟ้า โดยที่ระบบทั้งสองไม่ได้ทำการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านกันโดยตรง แต่จะทำการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบของคนกลาง โดยที่ระบบของคนกลางทำหน้าที่เสมือนเป็นสายส่งกำลังไฟฟ้าให้กับระบบทั้งสอง ซึ่งจะไม่เกิดการผลิตกำลังไฟฟ้าในระบบเพิ่มขึ้นหรือลดลง ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

สำหรับในงานวิจัยนี้จะทำการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง โดยมีการเพิ่มบัสเข้ามาในระบบจำนวน 2 บัส โดยกำหนดให้เป็นบัสขายกำลังไฟฟ้า (seller bus) และบัสซื้อกำลังไฟฟ้า (buyer bus) ซึ่งในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจะต้องให้รายละเอียดของข้อมูลต่อไปนี้

1. ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในการ wheeling มีหน่วยเป็น MW
2. บัสเชื่อมต่อระหว่างบัสขายกำลังไฟฟ้า (seller bus) กับระบบไฟฟ้าคนกลาง
3. บัสเชื่อมต่อระหว่างบัสซื้อกำลังไฟฟ้า (buyer bus) กับระบบไฟฟ้าคนกลาง

#### 4. ค่าตัวประกอบกำลัง (power factor) ของบัสชื่อกำลังไฟฟ้า

จากผลการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม(OPF) และ ข้อมูลการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง จะนำข้อมูลทั้งสองส่วนมาเป็นข้อมูลเริ่มต้นของระบบใหม่ ซึ่งยังคงมีความต้องการกำลังไฟฟ้าและการผลิตกำลังไฟฟ้าในแต่ละบัสของระบบคนกลางคงเดิม รวมถึงขีดความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าในแต่ละสายส่งยังคงมีข้อกำหนดเหมือนเดิมเช่นกัน แต่ระบบจะมีการเพิ่มบัส 2 บัส เพื่อรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า โดยกำหนดให้บัสขายกำลังไฟฟ้าเสมือนเป็นบัสผลิตกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งบัสที่มีกำลังการผลิตเท่ากับข้อตกลงที่ทำการซื้อขายกับผู้ซื้อ และบัสชื่อกำลังไฟฟ้าเสมือนเป็นบัสรับกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งบัสที่มีความต้องการกำลังไฟฟ้าเท่ากับข้อตกลงที่ทำการซื้อขาย ในส่วนของตัวประกอบกำลัง (power factor) จะเป็นตัวกำหนดขนาดของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (reactive power) ของผู้ชื่อกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ

### 3. วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าเมื่อเกิดการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบ

การไหลของกำลังไฟฟ้าอันเนื่องมาจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในระบบคนกลาง ก่อให้เกิดปริมาณของกำลังไฟฟ้าในระบบมีค่าสูงขึ้น สิ่งก็ตามจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าคือกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (loss) สำหรับในงานวิจัยได้กำหนดให้กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นจะต้องถูกรับผิดชอบโดยผู้ทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า เพื่อให้ค่าใช้จ่ายของระบบของคนกลางไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง และเนื่องจากผู้ชื่อกำลังไฟฟ้ามีความต้องการกำลังไฟฟ้าคงที่ จึงไม่สามารถชดเชยกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นได้ งานวิจัยจึงให้ระบบผู้ขายกำลังไฟฟ้ามีหน้าที่ชดเชยกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (loss) ที่เกิดขึ้นโดยกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้านี้ถือเป็นปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ผู้ซื้อและผู้ขายตกลงทำการซื้อขายกัน โดยเป็นปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ต้องชดเชยค่าใช้จ่ายให้กับระบบคนกลาง การวิเคราะห์หาผลการไหลของกำลังไฟฟ้า (power flow) จึงกำหนดให้บัสขายกำลังไฟฟ้าเป็นบัสอ้างอิง (slack bus) และบัสชื่อกำลังไฟฟ้าเป็น โหลดบัสที่เพิ่มเข้ามาในระบบคนกลาง ซึ่งได้คำนวณตามวิธีของนิวตัน-ราฟสัน จากนั้นนำผลที่ได้มาพิจารณาตามส่วนต่างๆ ดังนี้

3.1 ปริมาณกำลังไฟฟ้า จะพิจารณากำลังไฟฟ้าในแต่ละสายส่งว่ามีปริมาณกำลังไฟฟ้ามากเกินไปขีดจำกัดของสายส่งหรือไม่ ถ้าสายส่งไม่สามารถรับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นได้จะไม่ยอมให้ระบบรับทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า แต่ถ้าสายส่งรับกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงได้จะนำไปพิจารณาข้อจำกัดอื่นหรือหาวิธีแก้ไขก่อนที่จะเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปกับกำลังไฟฟ้าในกรณีเริ่มต้นเพื่อนำไปพิจารณาค่าใช้จ่ายต่อไป

3.2 ทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้า จะแสดงลักษณะการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เกิดขึ้นทั้งหมดในระบบจากแหล่งผลิตไฟฟ้าไปสู่ผู้รับพลังงานไฟฟ้า แล้วนำมาวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงการไหลของกำลังไฟฟ้าว่าเกิดขึ้นได้อย่างไรและส่งผลกระทบต่อระบบ

3.3 แรงดันในแต่ละบัส ในการส่งกำลังไฟฟ้าที่กำหนดการผลิตกำลังไฟฟ้าและระบุความต้องการไฟฟ้าในแต่ละบัสให้คงที่ ทางเลือกสำหรับการส่งกำลังไฟฟ้าจึงขึ้นอยู่กับ การปรับแรงดันและมุมเฟสเพื่อให้กำลังไฟฟ้าสามารถไหลผ่านในแต่ละสายส่งได้ จึงแสดงได้ว่าถ้าบัสต้นทางมีแรงดันสูงและบัสปลายทางมีแรงดันต่ำจะทำให้ความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าได้เป็นจำนวนมาก แต่การที่ปรับแรงดันที่มีค่าสูงเกินไปอาจทำให้หม้อแปลงหรือเซอร์กิตเบรกเกอร์เสียหายได้ หรือถ้าต่ำมาก ก็อาจจะทำให้โหลดประเภทมอเตอร์มีกระแสไหลสูงมากจนเกิดความเสียหายได้ จึงต้องเลือกระดับแรงดันให้เหมาะสม โดยพิจารณาระดับแรงดันไว้ไม่เกิน  $\pm 6\%$

3.4 เพิ่มตัวประกอบกำลัง (power factor) ในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้คำนึงถึงกำลังไฟฟารีแอกทีฟ (reactive power) ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าที่ก่อให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียมากขึ้น โดยแสดงอยู่ในรูปของตัวประกอบกำลัง (power factor) ที่รวมอยู่ในข้อมูลการซื้อกำลังไฟฟ้าของผู้ซื้อที่ต้องการ เพื่อให้สามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในระบบคนกลางมีปริมาณมากขึ้น จะทำปรับตัวประกอบกำลังให้มีค่าสูงขึ้นเพื่อให้กำลังไฟฟารีแอกทีฟ (reactive power) ลดลง

จากการพิจารณาหัวข้อต่างๆที่ผ่านมา เมื่อคำนวณหาผลการไฟฟ้าของกำลังไฟฟ้าในระบบคนกลางเรียบร้อยแล้ว จะทำการพิจารณาค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าต่อไปโดยนำผลของกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละสายส่งมาใช้เป็นข้อมูลในการคิดค่าใช้จ่าย

#### 4. วิธีคิดค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าด้วยวิธี Line-by-Line

วิธีคิดค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งกำลังไฟฟ้าด้วยวิธี line-by-line เป็นวิธีการคิดค่าใช้จ่ายในการส่งกำลังไฟฟ้าที่แยกพิจารณาการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าออกเป็นส่วนๆ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าในแต่ละส่วนมีขนาดที่ไม่เท่ากัน สำหรับสิ่งที่จะต้องคำนึงถึงในการคิดค่าใช้จ่ายในการส่งกำลังไฟฟ้าคือ ต้นทุนในการก่อสร้างระบบส่งกำลังไฟฟ้าและต้นทุนค่าใช้จ่ายสำหรับการดูแลรักษาระบบให้สามารถใช้งาน จะกำหนดไว้เป็นอัตราค่าใช้จ่ายคงที่รายปี (annual fixed charge rate : *AFCR*) โดยต้นทุนเหล่านี้จะต้องได้รับค่าตอบแทนภายหลังจากที่มีการส่งกำลังไฟฟ้า

อัตราค่าใช้จ่ายรายปี (annual fixed charge rate : *AFCR*) เป็นต้นทุนที่ได้จากบริษัทผู้ผลิตไฟฟ้าที่ประกอบด้วย หนี้สินในระยะยาว เงินปันผลของหุ้น เงินทุนในการก่อสร้างคิดเป็นต่อปี ค่าการจัดการระบบ ค่าภาษี ค่าประกันภัย ค่าบำรุงรักษา ค่าบริหารและค่าใช้จ่ายทั่วไป

ค่าใช้จ่ายที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งก็คือค่าใช้จ่ายสุทธิของระบบส่งกำลังไฟฟ้าคนกลาง (net plant cost : *NP*) ซึ่งต้องคำนวณไว้ในแต่ละรอบปี โดยหาได้จากผลต่างของต้นทุนการก่อสร้างระบบกับค่าเสื่อมราคาของระบบ ดังแสดงได้ดังนี้

$$NP = BC - DR \quad (8)$$

เมื่อ *BC* = ต้นทุนการก่อสร้างระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่เป็นค่าใช้จ่ายในแต่ละปีของช่วงอายุการใช้งานของระบบ

*DR* = ราคาค่าเสื่อมราคาของระบบส่งกำลังไฟฟ้าในแต่ละปี

เนื่องจากการคิดค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจำเป็นต้องมีข้อมูลของต้นทุนการก่อสร้างระบบของบริษัทที่มีความละเอียดสูงและถูกต้องเพื่อให้การคิดค่าใช้จ่ายเป็นไปอย่างเหมาะสมในงานวิจัยจึงทำการเลือกข้อมูลค่าใช้จ่ายเบื้องต้นขึ้นมาเพื่อแทนอัตราค่าใช้จ่ายรายปี (*AFCR*) และค่าใช้จ่ายสุทธิ (*NP*) จากข้อมูลที่เลือกขึ้นมาจะคำนึงถึงความน่าจะเป็นของระบบตามระยะทางและความต้านทานภายใน โดยข้อมูลที่กำหนดขึ้นจะนำมาใช้คำนวณการหาค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในทุกกรณี เพื่อศึกษาคุณแนวโน้มของค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยนไป

หลังจากกำหนดข้อมูลทั้งหมดแล้วจะทำการหาค่าใช้จ่ายเนื่องจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า โดยคำนวณค่าใช้จ่ายเทียบกับกำลังไฟฟ้าตามระยะทางที่ไหลผ่าน ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{\$}{MWmile} = APCR * \frac{\sum NP_i}{\sum MWmile_i} \quad (9)$$

เมื่อ *MWmile* คือ ผลคูณของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งก่อนทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ากับความยาวในแต่ละไมล์ของสายส่งเส้นนั้น

*i* คือ สายส่งกำลังไฟฟ้า

ขั้นสุดท้ายจะทำการคิดค่าใช้จ่ายรายปีสำหรับการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบไฟฟ้าคนกลาง โดยแยกพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้น จากผลของการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (power flow) ทำให้ทราบว่าปริมาณของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นที่บัสต้นทางและปลายทางมีปริมาณกำลังไฟฟ้าไม่เท่ากัน ในงานวิจัยจึงเลือกกำลังไฟฟ้าในบัสที่มีปริมาณมากกว่ามาคิดเป็นปริมาณการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งเส้นนั้น แล้วทำการคิดค่าใช้จ่ายด้วยวิธีดังกล่าว ซึ่งพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงไปของปริมาณกำลังไฟฟ้าภายหลังจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า โดยมีวิธีคิดค่าใช้จ่ายดังนี้ ดังนี้

$$\frac{\$}{\text{Year}} = \frac{\$}{\text{MWmile}} * \sum_i \Delta \text{MWmile}_i \quad (10)$$

เมื่อ  $\Delta \text{MWmile}$  คือ ผลคูณของการเปลี่ยนแปลงปริมาณการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง โดยเปรียบเทียบระหว่างก่อนและหลังทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ากับความยาวในแต่ละไมล์ของสายส่งเส้นนั้น  
 $i$  คือ สายส่งกำลังไฟฟ้า

จากวิธีดังกล่าวสามารถแยกวิธีคิดผลต่างของกำลังไฟฟ้าต่อไมล์  $\Delta \text{MWmile}$  ได้ 3 วิธีดังนี้

1. วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด (Absolute  $\Delta \text{MWmile}$  method) คือ การคิดค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าข้ามระบบโดยพิจารณาจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นว่าปริมาณกำลังไฟฟ้าในสายส่งเปลี่ยนแปลงไปเท่าไรจากกรณีที่ไม่มี การส่งผ่านกำลังไฟฟ้า แล้วนำผลการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่ได้มาคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ผู้ซื้อและผู้ขายกำลังไฟฟ้าข้ามระบบต้องชดใช้ให้กับระบบของคนกลาง ซึ่งมีวิธีคิดดังนี้

$$\Delta \text{MWmile}_i = |PW_i - PI_i| \quad (11)$$

เมื่อ  $PW$  คือ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลเนื่องจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า  
 $PI$  คือ ปริมาณกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลางก่อนทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า  
 $i$  คือ สายส่งกำลังไฟฟ้า

2. วิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น (Positive only  $\Delta \text{MWmile}$  method) คือการคิดราคาค่าส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในแต่ละสายส่ง โดยพิจารณาเฉพาะสายส่งที่มีการเปลี่ยนแปลงของ

ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเท่านั้น แล้วนำมาคิดเป็นค่าใช้จ่ายที่ผู้ซื้อและผู้ขายกำลังไฟฟ้าต้อง  
 ชาติใช้ให้กับระบบคนกลาง ซึ่งมีวิธีคิดดังนี้

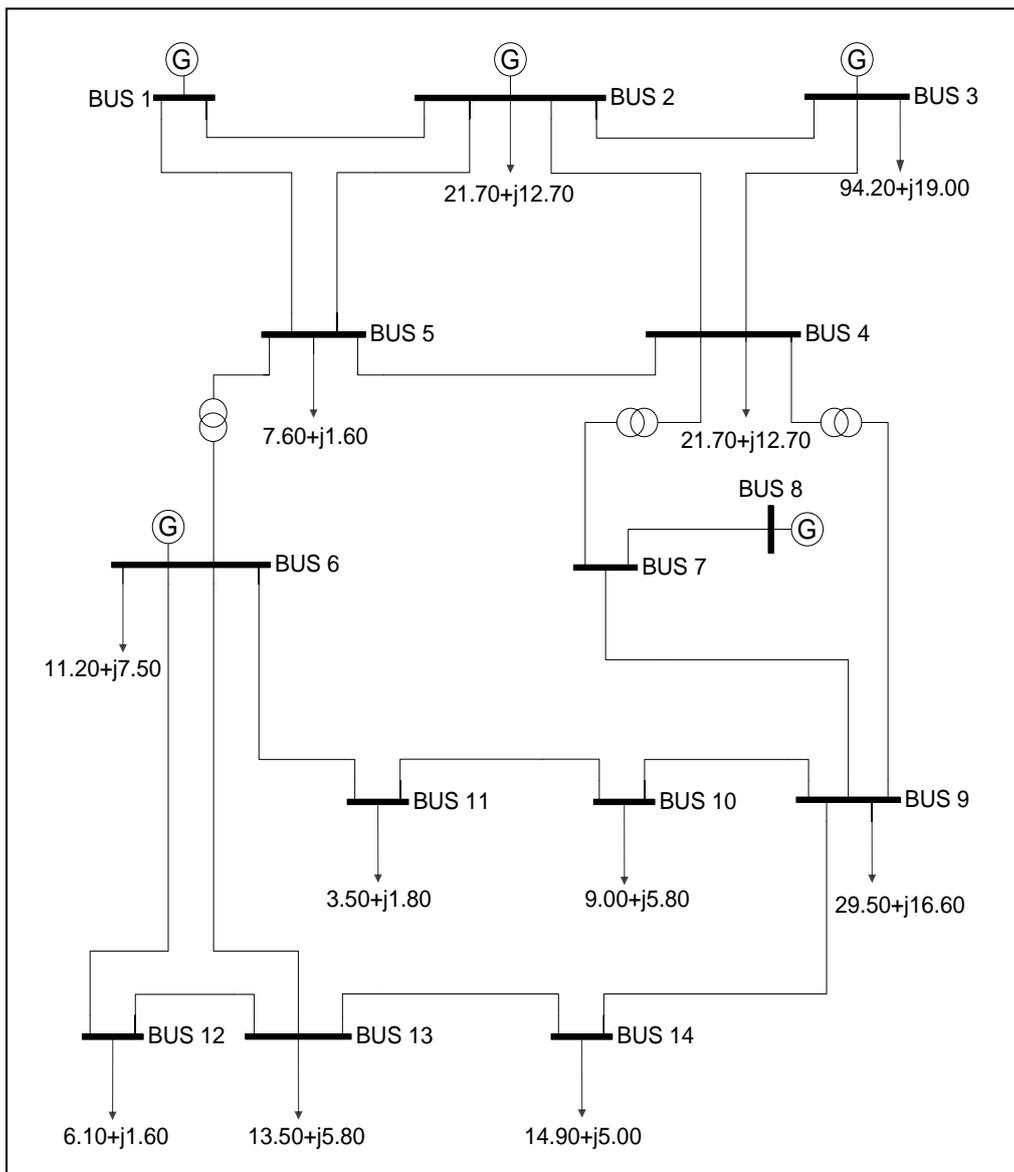
$$\Delta MWmile_i = PW_i - PI_i \text{ เมื่อ } PW \geq PI \quad (12)$$

3. วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริง (Positive/negative flow change method) คือวิธีการคิด  
 ค่าใช้จ่ายตามปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง โดยการพิจารณากำลังไฟฟ้าในแต่ละเส้นถ้าการ  
 ไหลของกำลังมีค่าเพิ่มขึ้นจะเกิดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มสูงขึ้น แต่ถ้าการไหลของกำลังไฟฟ้ามีปริมาณลดลง  
 ระบบส่วนกลางจะมีค่าใช้จ่ายชดเชยกลับให้ผู้ซื้อขายตามไปด้วย ทำให้ค่าใช้จ่ายสำหรับผู้ซื้อและ  
 ผู้ขายกำลังไฟฟ้าขึ้นอยู่กับปริมาณของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้น ซึ่งมีวิธีคิดดังนี้

$$\Delta MWmile_i = PW_i - PI_i \quad (13)$$

## กรณีศึกษา

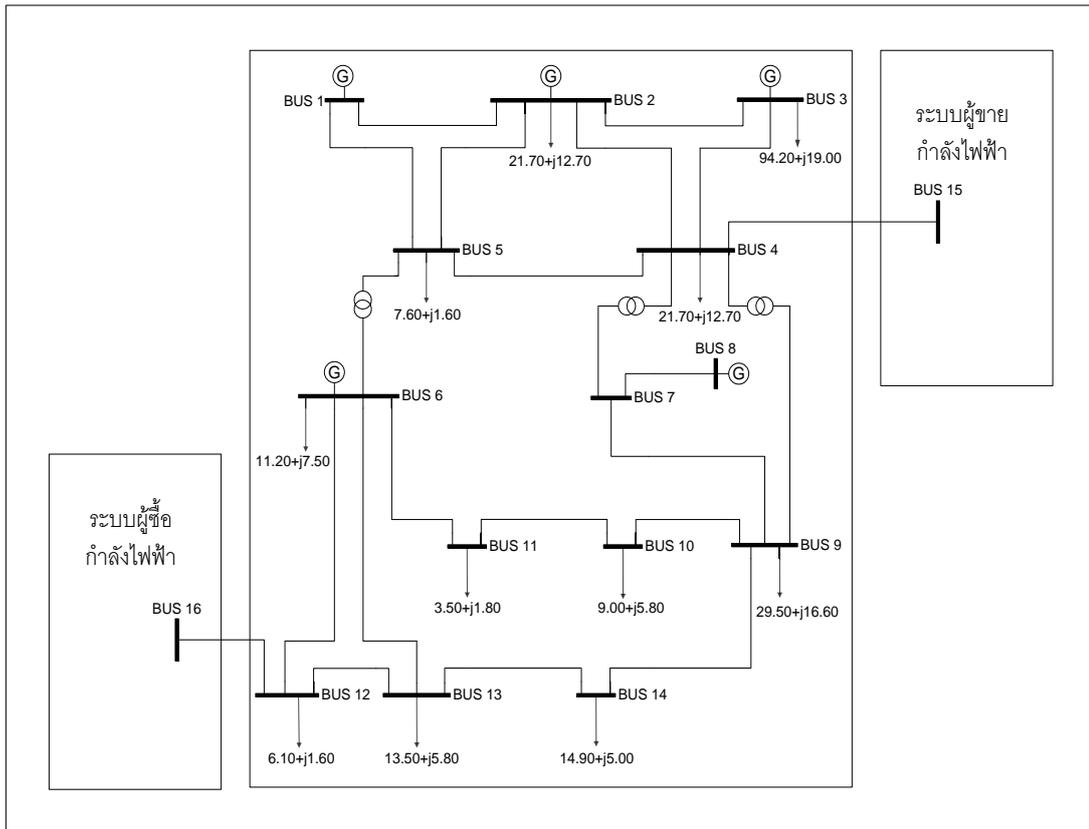
สำหรับงานวิจัยนี้จะศึกษาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุดของการส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง โดยกำหนดให้ระบบ *IEEE 14 BUS* เป็นระบบไฟฟ้าคนกลาง ประกอบด้วยบัสทั้งหมด 14 บัส และสายส่ง 20 เส้น ดังแสดงรายละเอียดของข้อมูลตามตารางภาคผนวก ก พร้อมทั้งข้อมูลของเครื่องผลิตไฟฟ้าในระบบคนกลาง โดยมีค่ากำลังไฟฟ้าฐาน 100 MVA ซึ่งแสดงระบบไฟฟ้าของคนกลางดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ระบบไฟฟ้าคนกลาง

การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าจะเริ่มต้นจากระบบของคนกลางที่ยังไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเข้ามาในระบบ โดยการใช้โปรแกรม MATPOWER วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม (OPF) มาช่วยในการคำนวณ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจะได้ค่าใช้จ่ายสำหรับการดำเนินการในการส่งกำลังไฟฟ้าไปยังผู้รับบริการของระบบคนกลางที่มีค่าน้อยที่สุด โดยมีการคำนึงถึงขีดความสามารถในการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละเครื่อง และความต้องการกำลังไฟฟ้าที่ไหลคดอย่างเพียงพอ พร้อมทั้งแรงดันในแต่ละบัสที่ต้องอยู่ในพิกัดที่ใช้งานได้ หลังจากได้ผลการคำนวณเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะนำข้อมูลกำลังไฟฟ้าในแต่ละสายส่ง แรงดันในแต่ละบัส และกำลังสูญเสีย (loss) ที่เกิดขึ้นเก็บไว้เพื่อใช้เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า พร้อมทั้งนำไปใช้คิดค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าข้ามระบบ

ในขณะที่ทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าข้ามระบบ จะทำให้เกิดบริเวณเชื่อมต่อระบบ 2 จุด คือ จุดเชื่อมต่อระหว่างผู้ขายกำลังไฟฟ้ากับระบบคนกลาง และจุดเชื่อมต่อระหว่างคนกลางกับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า ในงานวิจัยจะกำหนดให้จุดส่งกำลังไฟฟ้าของผู้ขายกำลังไฟฟ้าเรียกเป็นบัสผู้ขายกำลังไฟฟ้า (seller bus) และนับเป็นบัสที่ 15 โดยเชื่อมต่อกับระบบคนกลางที่บัส 4 สำหรับจุดรับกำลังไฟฟ้าของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้ากำหนดให้เป็น (buyer bus) และนับเป็นบัสที่ 16 โดยเชื่อมต่อกับระบบคนกลางที่บัส 12 ซึ่งสายส่งที่ทำการเชื่อมต่อระหว่างบัสผู้ซื้อและผู้ขายกับระบบคนกลางนั้น สมมุติให้ขนาดของสายส่งมีขนาดใหญ่่มากเพื่อทำให้เกิดกำลังสูญเสีย (loss) น้อยในระหว่างส่งกำลังเข้าระบบคนกลางและช่วยให้ส่งกำลังไฟฟ้าได้ปริมาณมาก ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ระบบสำหรับส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

ในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสำหรับงานวิจัยนี้จะศึกษาผลกระทบอันเนื่องจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าโดยคำนึงถึงระบบคนกลางที่ได้รับผลกระทบน้อยที่สุด กล่าวคือ การส่งผ่านกำลังไฟฟ้านี้จะไม่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าที่เคยจ่ายให้กับโหลดในระบบเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งทำให้การผลิตกำลังไฟฟ้าในระบบยังคงเดิม จึงทำให้การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าจะต้องมีการกำหนดการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องผลิตกำลังไฟฟ้าในแต่ละบัสคงเดิม ส่งผลให้แรงดันในบัสผลิตกำลังไฟฟ้ายังคงมีค่าเท่าเดิมด้วยเช่นกัน

ดังนั้นหลังจากต่อบัสใหม่เข้ามาในระบบ จะวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า (power flow) โดยกำหนดให้บัสที่ 15 เป็นบัสอ้างอิง (slack bus) ซึ่งทำหน้าที่เสมือนเป็นบัสที่มีการผลิตกำลังไฟฟ้าและมีหน้าที่ชดเชยกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (loss) ของระบบที่เกิดขึ้นเมื่อมีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า และบัสที่ 16 จะถูกกำหนดให้เป็นบัสโหลด (PQ bus) ที่มีความต้องการไฟฟ้าตามข้อตกลงที่ทำการซื้อขายระหว่างกัน

ปริมาณของกำลังไฟฟ้าที่ใช้สำหรับวิเคราะห์การส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ เริ่มต้นจะเลือกความต้องการในการซื้อกำลังไฟฟ้าที่ขนาด 40 MW ที่ตัวประกอบกำลัง PF 0.85 และปรับปริมาณกำลังไฟฟ้าขึ้นครั้งละ 10 MW เพื่อใช้วิเคราะห์ผลของแต่ละกรณี จนกระทั่งระบบของคนกลางไม่สามารถทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้อันเนื่องจากปัญหาของแรงดันในแต่ละบัส หรือเกินขีดความสามารถในการส่งกำลังไฟฟ้าของสายส่ง จากนั้นจะเพิ่มตัวประกอบกำลัง (PF) เป็น 0.95 เพื่อใช้วิเคราะห์ผลและเปรียบเทียบกับกรณีตัวประกอบกำลัง (PF) 0.85

ผลการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ภายหลังจากทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า ทำให้ทราบปริมาณและทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบคนกลาง โดยกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้จะแสดงถึงปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลออกจากบัสในแต่ละบัส ซึ่งการไหลของกำลังไฟฟ้าระหว่างบัสต้นทางและบัสปลายทางมีค่าไม่เท่ากัน ในการพิจารณาจึงทำการเลือกกำลังไฟฟ้าในบัสที่มีปริมาณมากกว่ามาคิดเป็นปริมาณการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งเส้นนั้น เพื่อนำมาใช้เป็นวิธีคิดค่าใช้จ่ายตามวิธี Line by Line

ในขั้นตอนสุดท้ายจะนำผลของกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปจากกรณีไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ากับกรณีทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ามาคิดเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับชดเชยความเสียหายที่ผู้ซื้อและผู้ขายกำลังไฟฟ้าต้องชดเชยให้กับระบบคนกลาง โดยที่ระบบคนกลางต้องมีค่าใช้จ่ายรายปีสำหรับการส่งกำลังไฟฟ้าปริมาณ 1 MW ในระยะทาง 1 ไมล์ เพื่อเรียกเก็บคืนจากคู่ค้า ในงานวิจัยจะกำหนดค่าขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายสำหรับวิเคราะห์ในแต่ละกรณี โดยเลือกค่าใช้จ่ายเนื่องจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า 60 \$/MWmile ในการพิจารณา จากนั้นทำการคิดค่าใช้จ่ายตามสมการที่ (10) ซึ่งได้แยกวิธีคิดผลต่างของกำลังไฟฟ้าต่อไมล์ไว้ในสมการที่ (11), (12) และ (13) แล้ววิเคราะห์ผลในแต่ละกรณี เพื่อสรุปผลต่อไป

## ผลและวิจารณ์

### 1. วิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบคนกลาง ในขณะที่ไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

ผลการวิเคราะห์พบว่าค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมมีค่าใช้จ่าย 8092.26 \$/hr โดยสรุปผลรวมของกำลังไฟฟ้าในระบบดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ผลการคำนวณที่ได้จากวิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบคนกลางในขณะที่ไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

	กำลังไฟฟ้าจริง (MW)	กำลังไฟฟารีแอกทีฟ (MVA <sub>r</sub> )
กำลังการผลิต	267.2	63.4
ชัตเซพแดนซ์บัสที่ 9	-	20.7
ชัตเซพแดนซ์ในสายส่ง	-	24.4
โหลด	259	73.5
กำลังสูญเสีย (loss)	8.16	35.03

เมื่อพิจารณากำลังไฟฟารีแอกทีฟพบว่ากำลังการผลิตมีผลไม่เท่ากับผลรวมของโหลดที่ต้องการกับกำลังสูญเสียที่หายไปในระบบ ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากระบบของคนกลางมีการติดตั้งชัตเซพแดนซ์เข้ามาในระบบที่บัส 9 ขนาด 19 MVA<sub>r</sub> ที่แรงดัน 1 pu ดังนั้นในระบบจะมีการชดเชยรีแอกทีฟจากบัส 9 ขนาด  $19 \times (1.044/1)^2 = 20.7$  MVA<sub>r</sub> นอกจากนั้นในสายส่งยังมีการติดตั้งชัตเซพแดนซ์เข้ามาด้วย ทำให้มีการชดเชยรีแอกทีฟเพิ่มขึ้นอีก 24.4 MVA<sub>r</sub>

ค่า  $\lambda_p$  จะมีค่าต่ำที่สุดที่บัส 1 เท่ากับ 35.57 \$/MWhr ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากบัสที่ 1 เป็นบัสผลิตกำลังไฟฟ้าหลักของระบบที่มีค่ากำลังการผลิตถูกที่สุดจึงทำให้ค่าใช้จ่ายในการส่งกำลังไฟฟ้าจากบัสนี้มีค่าน้อย แต่เนื่องจากการส่งกำลังไฟฟ้ามีขีดจำกัดทางด้านการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าทำให้การผลิตกำลังไฟฟ้าใช้งานได้ไม่เต็มสมรรถนะ สำหรับค่าสูงสุดของ  $\lambda_p$  จะอยู่ที่บัส

14 มีค่าเท่ากับ 41.26 \$/MWhr เนื่องจากเป็นโหลดบัสที่อยู่ไกลจากบัสผลิตกำลังไฟฟ้ามากทำให้ค่าใช้จ่ายในการส่งกำลังไฟฟ้ามีค่ามากตามไปด้วย

โปรแกรมการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมยังสามารถควบคุมแรงดันกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละตัว พร้อมทั้งควบคุมปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านในสายส่งแต่ละเส้นไม่ให้เกิดขีดจำกัดที่อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อระบบได้ ในกรณีตัวอย่างผลของแรงดันในการคำนวณจะให้ค่าแรงดันสูงเกินที่บัส 1, 6 และ 8 รวมทั้งระดับของเครื่องผลิตกำลังไฟฟ้าตัวที่ 4 บัสที่ 6 ที่ให้ค่าออกมาต่ำกว่า 0 MW และปริมาณของกำลังไฟฟ้าที่ไหลมากกว่าขีดจำกัดสูงสุดของสายส่งในสายส่งเส้นที่ 1 เชื่อมต่อระหว่างบัส 1 และบัส 2 ซึ่งทั้งหมดนี้โปรแกรมวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมจะปรับขนาดของข้อมูลใหม่เพื่อให้ได้ผลที่สามารถทำงานตามขอบเขตที่กำหนดไว้ได้

ในตารางที่ 2 แสดงข้อมูลของแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม โดยชี้ให้เห็นว่าแรงดันสูงสุดจะอยู่ที่บัส 1, 6 และ 8 เนื่องจากบัสดังกล่าวเป็นบัสผลิตกำลังไฟฟ้าจึงทำให้มีขนาดของแรงดันอยู่ในระดับที่สูงเพื่อจะได้ส่งกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดปลายทางได้ปริมาณมากๆ ทั้งนี้เนื่องจากโปรแกรมการคำนวณได้มีขีดจำกัดของแรงดันไว้ไม่เกิน 6% ทำให้แรงดันสูงสุดที่บัสดังกล่าวมีค่าได้สูงสุด 1.06 pu

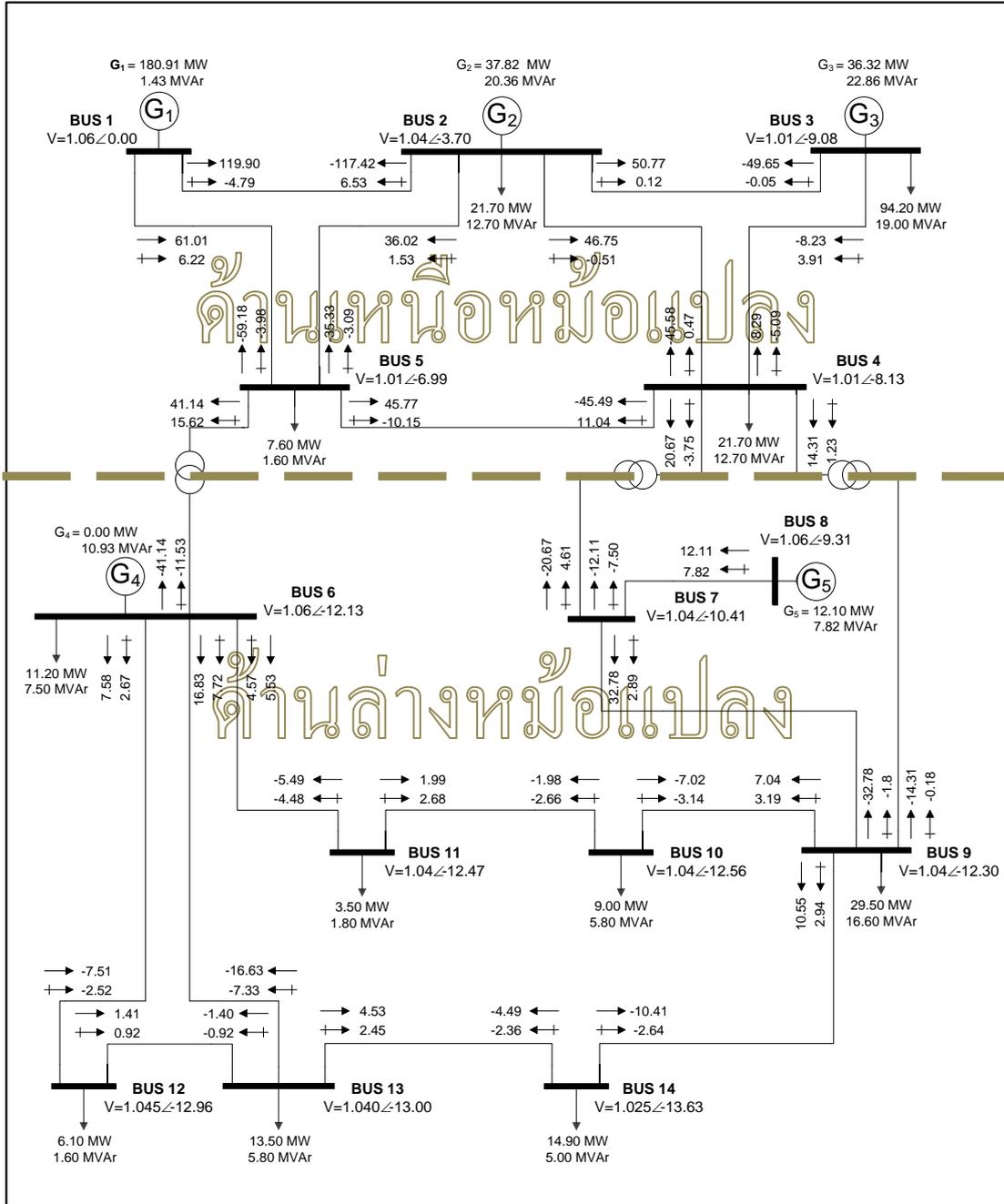
**ตารางที่ 2** ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบคนกลาง ในขณะที่ไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	(degree)	$P$ (MW)	$Q$ (MVA <sub>r</sub> )	$P$ (MW)	$Q$ (MVA <sub>r</sub> )
1	1.06	0.000	180.91	1.43	-	-
2	1.0413	-3.704	37.82	20.37	21.70	12.70
3	1.0181	-9.081	36.32	22.86	94.20	19.00
4	1.016	-8.131	-	-	47.80	-3.90
5	1.0176	-6.988	-	-	7.60	1.60
6	1.06	-12.128	0.00	10.94	11.20	7.50
7	1.0472	-10.409	-	-	-	-

ตารางที่ 2 (ต่อ)

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	(degree)	$P$ (MW)	$Q$ (MVar)	$P$ (MW)	$Q$ (MVar)
8	1.06	-9.308	12.11	7.82	-	-
9	1.0447	-12.298	-	-	29.50	16.60
10	1.04	-12.558	-	-	9.00	5.80
11	1.0465	-12.472	-	-	3.50	1.80
12	1.0449	-12.961	-	-	6.10	1.60
13	1.0401	-13.002	-	-	13.50	5.80
14	1.0246	-13.625	-	-	14.90	5.00
		total	267.16	63.42	259.00	73.50

จากกรณีศึกษาจะแบ่งการไหลของกำลังไฟฟ้าไว้ 2 เขต คือ เขตด้านเหนือหม้อแปลงไฟฟ้า และเขตด้านล่างหม้อแปลงไฟฟ้า ดังแสดงในภาพที่ 4 พบว่าการไหลของกำลังไฟฟ้าจะไหลจากทางเหนือของหม้อแปลงไฟฟ้า ลงมาทางด้านล่างของหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งในการไหลของกำลังไฟฟ้าในลักษณะนี้บอกได้ว่าด้านเหนือของหม้อแปลงส่วนใหญ่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและทางด้านล่างของหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นส่วนของผู้รับกำลังไฟฟ้า ทำให้เกิดการไหลของกำลังไฟฟ้าจากบัสผลิตกำลังไฟฟ้าไปยังโหลด



ภาพที่ 4 ผลการคำนวณที่ได้จากวิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบคนกลาง ในขณะที่ไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

สำหรับตารางที่ 3 แสดงการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบที่แสดงในรูปของกำลังไฟฟ้าจริง กำลังไฟฟ้รีแอกทีฟ และกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน รวมทั้งกำลังไฟฟ้าสูญเสียในสายส่งแต่ละเส้นดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3 การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีที่ไม่มีกระแสผ่านกำลังไฟฟ้า

สายส่งเส้น ที่	จากบัสที่ $i$	ไปยังบัส $j$	กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $i$ ไปยัง $j$			กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $j$ ไปยัง $i$			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
			$P_{ij}$ (MW)	$Q_{ij}$ (MVAr)	$ S_{ij} $ (MVA)	$P_{ij}$ (MW)	$Q_{ij}$ (MVAr)	$ S_{ij} $ (MVA)	$P_{ij}$ (MW)	$Q_{ij}$ (MVAr)
1	1	2	119.90	-4.79	120.00	-117.42	6.53	117.60	2.480	7.57
2	1	5	61.01	6.22	61.33	-59.18	-3.98	59.31	1.829	7.55
3	2	3	50.77	0.12	50.77	-49.65	-0.05	49.65	1.120	4.72
4	2	4	46.75	-0.51	46.76	-45.58	0.47	45.58	1.173	3.56
5	2	5	36.02	1.53	36.05	-35.33	-3.09	35.47	0.688	2.10
6	3	4	-8.23	3.91	9.11	8.29	-5.09	9.73	0.057	0.15
7	4	5	-45.49	11.04	46.81	45.77	-10.15	46.88	0.283	0.89
8	4	7	20.67	-3.75	21.01	-20.67	4.61	21.18	0.000	0.86
9	4	9	14.31	1.23	14.36	-14.31	-0.18	14.31	0.000	1.04
10	5	6	41.14	15.62	44.01	-41.14	-11.53	42.73	0.000	4.09
11	6	11	5.53	4.57	7.18	-5.49	-4.48	7.08	0.044	0.09
12	6	12	7.58	2.67	8.04	-7.51	-2.52	7.92	0.071	0.15
13	6	13	16.83	7.72	18.52	-16.63	-7.33	18.17	0.202	0.40
14	7	8	-12.11	-7.50	14.24	12.11	7.82	14.41	0.000	0.33

ตารางที่ 3 (ต่อ)

สายส่งเส้น ที่	จากบัสที่ $i$	ไปยังบัส $j$	กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $i$ ไปยัง $j$			กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $j$ ไปยัง $i$			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
			$P_{ij}$ (MW)	$Q_{ij}$ (MVA <sub>r</sub> )	$ S_{ij} $ (MVA)	$P_{ij}$ (MW)	$Q_{ij}$ (MVA <sub>r</sub> )	$ S_{ij} $ (MVA)	$P_{ij}$ (MW)	$Q_{ij}$ (MVA <sub>r</sub> )
15	7	9	32.78	2.89	32.91	-32.78	-1.81	32.83	0.000	1.09
16	9	10	7.04	3.19	7.72	-7.02	-3.14	7.69	0.017	0.05
17	9	14	10.55	2.94	10.95	-10.41	-2.64	10.74	0.140	0.30
18	10	11	-1.98	-2.66	3.32	1.99	2.68	3.34	0.008	0.02
19	12	13	1.41	0.92	1.69	-1.40	-0.92	1.68	0.006	0.01
20	13	14	4.53	2.45	5.15	-4.49	-2.36	5.07	0.042	0.09
								รวม	8.159	35.031

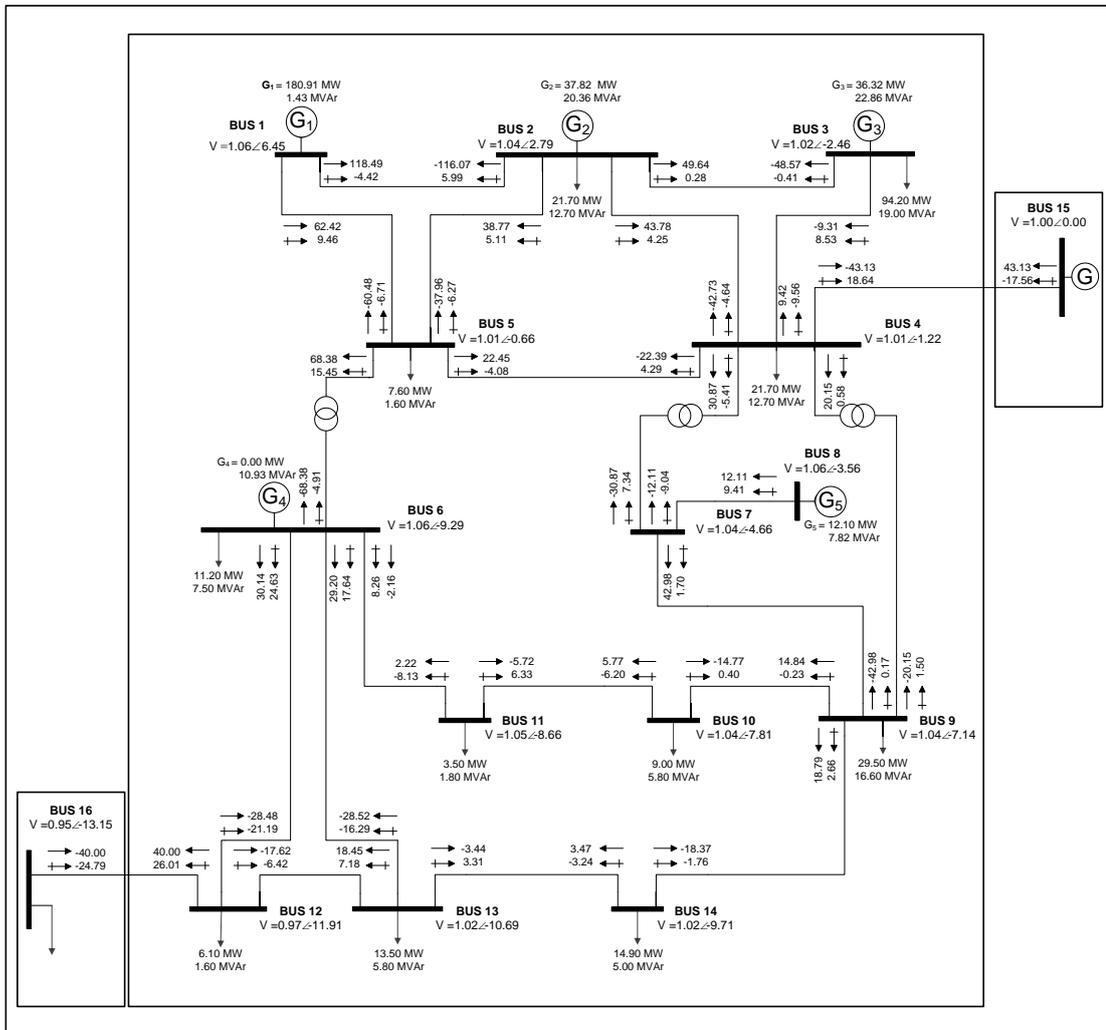
เมื่อพิจารณาการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งเส้นที่ 3 และเส้นที่ 6 ซึ่งเป็นสายส่งที่ระหว่างบัสที่ 2 กับบัสที่ 3 และบัสที่ 3 กับบัสที่ 4 พบว่าการไหลของกำลังไฟฟ้าเข้าไปยังบัสที่ 3 ซึ่งเป็นบัสผลิตกำลังไฟฟ้า ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการคำนวณค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าที่ต้องการให้มีต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าที่ค่าน้อยที่สุด จึงทำให้เครื่องผลิตกำลังไฟฟ้าที่ 3 ในบัสที่ 3 ซึ่งมีต้นทุนในการผลิตกำลังไฟฟ้าที่สูง จ่ายกำลังไฟฟ้าเข้าในระบบได้น้อย ส่งผลให้กำลังไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อความต้องการของโหลดในบัสเดียวกัน จึงเกิดการไหลของกำลังไฟฟ้าเข้ามาจากบัสรอบข้างเพื่อช่วยให้โหลดได้รับกำลังไฟฟ้าอย่างเพียงพอ โดยโปรแกรมวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมจะปรับแรงดันเพื่อให้เกิดการไหลของกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดต่างๆได้

ในส่วนของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (loss) จะเกิดขึ้นสูงสุดในสายส่งเส้นที่ 1 ซึ่งเชื่อมระหว่างบัส 1 กับบัส 2 เป็นผลเนื่องจากสายส่งเส้นดังกล่าวเป็นสายส่งที่เชื่อมต่อกับเครื่องผลิตกำลังไฟฟ้าที่มีต้นทุนการผลิตน้อยที่สุด และสามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้มากที่สุด จึงก่อให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียมากตามไปด้วย โดยกำลังไฟฟ้าสูญเสียคำนวณได้จากสมการ  $I^2R$

2. วิเคราะห์การไหลของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในระบบคนกลาง

การส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคนกลางจะทำการส่งกำลังไฟฟ้าจากผู้ขายกำลังไฟฟ้าในบัสที่ 15 และส่งกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่บัส 16 โดยทำการแยกกรณีการศึกษาออกตามปริมาณของกำลังไฟฟ้าที่ทำการส่งผ่านดังนี้

2.1 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.85 ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ในระบบคนกลางที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.85

หลังจากทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเข้ามาในระบบคนกลาง ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าแสดงให้เห็นว่าในสายส่งของระบบคนกลางส่วนใหญ่มีการไหลของกำลังไฟฟ้ามากขึ้น และในบางส่วนมีการไหลกลับทิศทางจากกรณีไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า ทั้งนี้เป็นผลเนื่องจากการคำนวณหาการไหลของกำลังไฟฟ้า (power flow) ด้วยวิธีนิวตันราฟสัน ที่ทำการปรับค่าของแรงดันและมุมในบัสโหลด และปรับค่ากำลังไฟฟ้รีแอกทีฟกับมุมของแรงดันในบัสผลิตกำลังไฟฟ้า เพื่อให้เกิดการไหลของกำลังไฟฟ้าในสถานะที่มีการจำกัดการผลิตกำลังไฟฟ้าและต้องการส่งกำลังไฟฟ้าไปยังโหลดให้เพียงพอ จึงทำให้ระบบของคนกลางเปลี่ยนไป ดังแสดงในตารางที่ 4

**ตารางที่ 4** ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.85

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	(degree)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.06	6.45	180.91	5.04	-	-
2	1.04	2.79	37.82	28.33	21.70	12.70
3	1.02	-2.46	36.32	27.11	94.20	19.00
4	1.01	-1.22	-	-	47.80	-3.90
5	1.01	-0.66	-	-	7.60	1.60
6	1.06	-9.29	0.00	53.12	11.20	7.50
7	1.04	-4.66	-	-	-	-
8	1.06	-3.56	12.11	9.41	-	-
9	1.04	-7.14	-	-	29.50	16.60
10	1.04	-7.81	-	-	9.00	5.80
11	1.05	-8.66	-	-	3.50	1.80
12	0.97	-11.91	-	-	6.10	1.60
13	1.02	-10.69	-	-	13.50	5.80
14	1.02	-9.71	-	-	14.90	5.00
		รวม	267.16	123.02	259.00	73.50
15	1.00	0.00	43.13	-17.56	-	-
16	0.95	-13.15	-	-	40	24.79

จากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้านี้ทำให้ระบบคนกลางมีการผลิตกำลังไฟฟ้า 267.16 MW, 123.02 MVA<sub>r</sub> แสดงว่าการส่งผ่านด้วยวิธีการนี้สามารถทำให้ค่าใช้จ่ายของระบบคนกลางคงที่ได้ เนื่องจากกำลังการผลิตไฟฟ้าจริงคงที่ แต่ระบบคนกลางต้องส่งกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟมากขึ้น และผู้ขายกำลังไฟฟ้าต้องส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามาในระบบ 43.133 MW, -17.56 MVA<sub>r</sub> เพื่อให้ผู้ซื้อ กำลังไฟฟ้าได้รับกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW, 24.79 MVA<sub>r</sub> การที่ผู้ขายกำลังไฟฟ้าต้องจ่าย กำลังไฟฟ้ามากกว่าที่ผู้ซื้อได้รับเนื่องมาจากผู้ค้าต้องชดเชยกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (loss) ที่เกิดขึ้น เนื่องจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในระบบคนกลาง จากการที่มีปริมาณของกำลังไฟฟ้าในระบบของ คนกลางมากขึ้น ทำให้ปริมาณของกำลังไฟฟ้าในสายส่งมีมากขึ้น ก่อให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (loss) มากขึ้นตาม การคำนวณที่กำหนดให้บัสผู้ขายกำลังไฟฟ้าเป็นบัสอ้างอิง (slack bus) เนื่อง มาจากการต้องการให้เป็นบัสที่มีการปรับกำลังการผลิตเพื่อชดเชยกำลังไฟฟ้าที่ไม่เพียงพอ ซึ่ง หมายถึงกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (loss) ที่เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาระดับแรงดันของแต่ละบัส เห็นได้ชัดว่าแรงดันในบัสที่ 12 จะต้องปรับ ขนาดของแรงดันลงเพื่อส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในกรณีนี้ ในส่วนของบัสข้างเคียงบัสที่ 12 จะถูกปรับ ขนาดลงด้วยเช่นกัน แต่สำหรับในบัสที่ 6 ซึ่งเป็นบัสผลิตกำลังไฟฟ้าจะถูกตั้งไว้ให้คงที่

สำหรับการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นที่เปลี่ยนแปลงไป แสดงผลการ คำนวณได้ดังในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.85

สายส่งเส้น ที่	จากบัสที่ $i$	ไปยังบัส $j$	กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $i$ ไปยัง $j$			กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $j$ ไปยัง $i$			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
			$P_{ij}$ (MW)	$Q_{ij}$ (MVAr)	$ S_{ij} $ (MVA)	$P_{ji}$ (MW)	$Q_{ji}$ (MVAr)	$ S_{ji} $ (MVA)	$P_{loss}$ (MW)	$Q_{loss}$ (MVAr)
1	1	2	118.49	-4.42	118.57	-116.07	5.99	116.22	2.422	7.39
2	1	5	62.42	9.46	63.14	-60.48	-6.71	60.85	1.946	8.03
3	2	3	49.64	0.28	49.64	-48.57	-0.41	48.57	1.071	4.51
4	2	4	43.78	4.25	43.98	-42.73	-4.64	42.98	1.047	3.18
5	2	5	38.77	5.11	39.11	-37.96	-6.27	38.47	0.815	2.49
6	3	4	-9.31	8.53	12.63	9.42	-9.56	13.42	0.111	0.28
7	4	5	-22.39	4.29	22.79	22.45	-4.08	22.82	0.068	0.21
8	4	7	30.87	-5.41	31.34	-30.87	7.34	31.73	0.000	1.93
9	4	9	20.15	0.58	20.16	-20.15	1.50	20.21	0.000	2.09
10	5	6	68.38	15.45	70.11	-68.38	-4.91	68.56	0.000	10.54
11	6	11	-2.16	8.26	8.53	2.22	-8.13	8.43	0.062	0.13
12	6	12	30.14	24.63	38.92	-28.48	-21.19	35.49	1.657	3.45
13	6	13	29.20	17.64	34.11	-28.52	-16.29	32.84	0.685	1.35
14	7	8	-12.11	-9.04	15.11	12.11	9.41	15.33	0.000	0.37

ตารางที่ 5 (ต่อ)

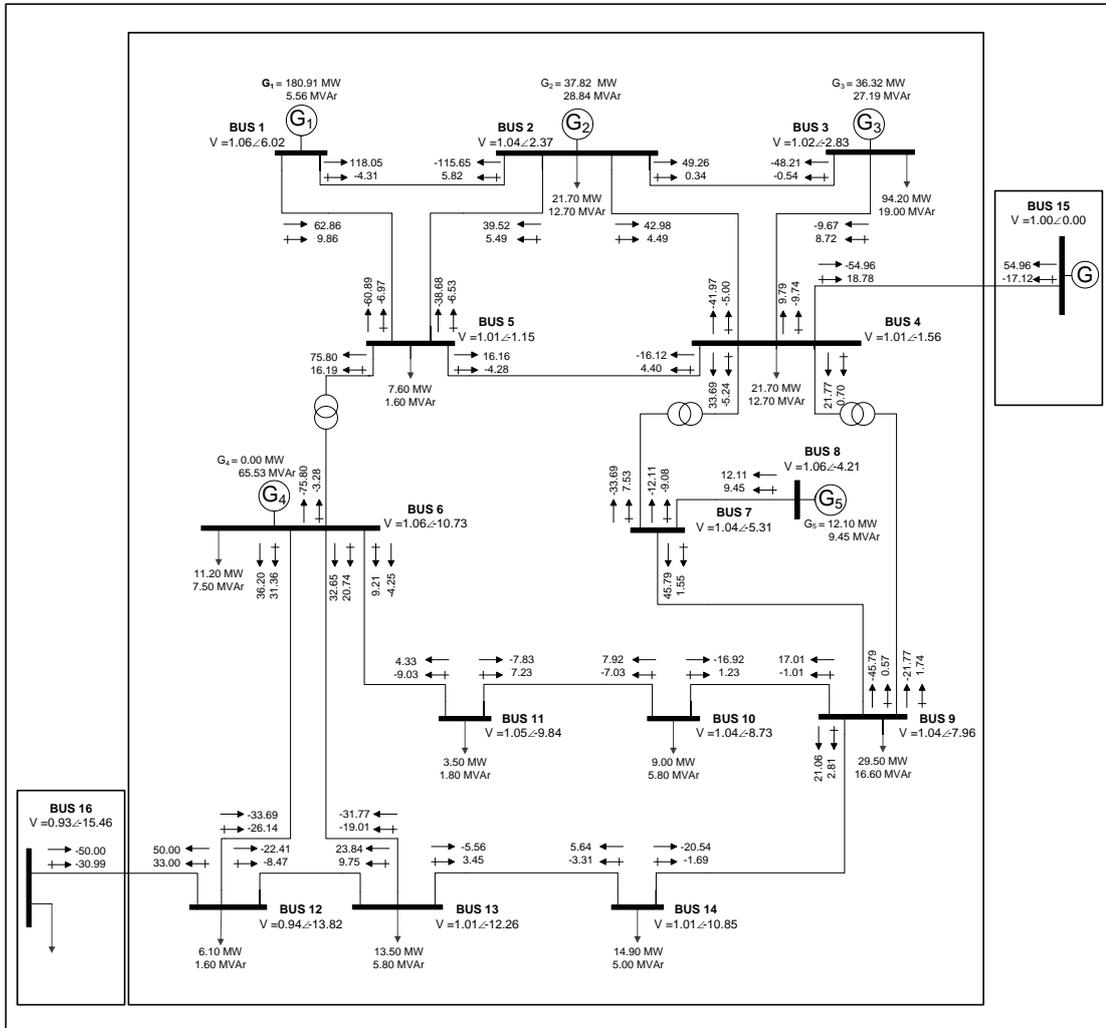
สายส่งเส้น ที่	จากบัสที่ $i$	ไปยังบัส $j$	กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $i$ ไปยัง $j$			กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $j$ ไปยัง $i$			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
			$P_{ij}$ (MW)	$Q_{ij}$ (MVAr)	$ S_{ij} $ (MVA)	$P_{ji}$ (MW)	$Q_{ji}$ (MVAr)	$ S_{ji} $ (MVA)	$P_{loss}$ (MW)	$Q_{loss}$ (MVAr)
15	7	9	42.98	1.70	43.01	-42.98	0.17	42.98	0.000	1.87
16	9	10	14.84	-0.23	14.84	-14.77	0.40	14.78	0.064	0.17
17	9	14	18.79	2.66	18.98	-18.37	-1.76	18.46	0.420	0.89
18	10	11	5.77	-6.20	8.47	-5.72	6.33	8.53	0.054	0.13
19	12	13	-17.62	-6.42	18.76	18.45	7.18	19.80	0.832	0.75
20	13	14	-3.44	3.31	4.77	3.47	-3.24	4.75	0.037	0.08
								รวม	11.292	49.84
21	15	4	43.133	-17.559	46.57	-43.133	18.644	46.99	0	1.08
22	12	16	40	26.008	47.71	-40	-24.79	47.06	0	1.22

สำหรับการไหลของกำลังไฟฟ้าเมื่อผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าได้รับกำลังไฟฟ้าตามข้อตกลง ถ้าพิจารณาในด้านเหนือหม้อแปลง ในสายส่งที่เชื่อมต่อระหว่างบัสที่ 4 จะพบว่ากำลังไฟฟ้าที่เคยไหลเข้าบัสที่ 4 จากกรณีไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า มีการส่งกำลังไฟฟ้าลดลงจากเดิม และในสายที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าออกจากบัสที่ 4 จะส่งกำลังไฟฟ้าออกมากขึ้น การไหลในลักษณะนี้สามารถอธิบายได้ว่า เมื่อส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเข้ามาในระบบกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มเข้ามาจะไม่ไหลออกในสายส่งเส้นใดเส้นหนึ่ง แต่จะปรับกำลังไฟฟ้าให้มีการไหลตามขนาดของแรงดันและมุมในแต่ละบัสของคนกลาง เพื่อให้ส่งกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าได้

ในส่วนของการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งเส้นที่ 6 ซึ่งเชื่อมระหว่างบัสที่ 3 และบัสที่ 4 นอกจากมีการส่งกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นแล้ว หากพิจารณากำลังไฟฟ้าที่ไหลเข้าบัสผลิตกำลังไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตน้อยกว่าโหลดที่บัสต้องการแล้ว สามารถบอกได้ว่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้านี้มีการส่งกำลังไฟฟ้ามาให้โหลดที่บัส 3 ซึ่งการไหลในลักษณะนี้แสดงให้เห็นว่ากำลังไฟฟ้าที่ส่งเข้ามาในระบบคนกลางทั้งหมดจากผู้ขายกำลังไฟฟ้า ไม่ได้เป็นกำลังไฟฟ้าที่ผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าได้รับโดยตรงจากผู้ขาย แต่เป็นการปรับการไหลของระบบคนกลางเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลดใหม่อีกครั้ง

จากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าหากพิจารณากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (loss) เฉพาะในระบบของคนกลาง จะทำให้เกิดกำลังสูญเสีย (loss) 11.292 MW ซึ่งปริมาณมากกว่าในกรณีไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า จึงอธิบายได้ว่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลในระบบคนกลางที่มากขึ้น ส่งผลให้ปริมาณของกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (loss) ในระบบเพิ่มขึ้นด้วย แต่เมื่อพิจารณาในสายส่งแต่ละเส้น จะพบได้ว่าในบางเส้นจะมีกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (loss) ลดน้อยลง เป็นเพราะการเปลี่ยนแปลงการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากสายส่งที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าลดลง ดังนั้นถ้าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าช่วยให้การไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นของระบบคนกลางลดน้อยลง จะทำให้กำลังสูญเสียในระบบคนกลางลดลงไปด้วย แต่สำหรับกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบของคนกลางที่เพิ่ม ได้มีข้อตกลงให้ผู้ขายกำลังไฟฟ้าต้องชดเชยกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียนี้ ทำให้ผู้ขายกำลังไฟฟ้าต้องส่งกำลังไฟฟ้ามากขึ้นตามไปด้วย

2.2 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.85 ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ในระบบคกลางที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.85

ลักษณะการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.85 ยังคงมีทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นเหมือนกรณีที่ 2.1 แต่ทำให้แรงดันเปลี่ยนไปดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.85

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	(degree)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1	1.06	6.02	180.91	5.56	-
2	2	1.04	2.37	37.82	28.84	21.70
3	3	1.02	-2.83	36.32	27.19	94.20
4	4	1.01	-1.56	-	-	47.80
5	5	1.01	-1.15	-	-	7.60
6	6	1.06	-10.73	0.00	65.53	11.20
7	7	1.04	-5.31	-	-	-
8	8	1.06	-4.21	12.11	9.45	-
9	9	1.04	-7.96	-	-	29.50
10	10	1.04	-8.73	-	-	9.00
11	11	1.05	-9.84	-	-	3.50
12	12	0.94	-13.82	-	-	6.10
13	13	1.01	-12.26	-	-	13.50
14	14	1.01	-10.85	-	-	14.90
		รวม	267.16	136.56	259.00	73.50
15	1.00	0.00	54.96	-17.12	-	-
16	0.93	-15.46	-	-	50.00	30.99

ในกรณีนี้ระบบคนกลางต้องจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 136.56 MVar และหากไม่คำนึงถึงแรงดันในบัสที่ 16 ที่มีแรงดันอยู่ที่  $0.93 \angle -15.46$  โดยถือว่าเป็นระบบภายนอกซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อระบบคนกลาง เมื่อพิจารณาระดับแรงดัน ผลที่ได้ยังคงคล้ายกับกรณีที่ 2.1 และระดับแรงดันในบัสที่ 12 จะอยู่ในระดับที่ต่ำมาก แต่ระบบคนกลางก็ยังคงส่งผ่านกำลังไฟฟ้าและจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดในระบบได้ เมื่อคำนวณหาผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในแต่ละสายส่ง จะได้ผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.85

สายส่งเส้น ที่	จากบัสที่ <i>i</i>	ไปยังบัส <i>j</i>	กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก <i>i</i> ไปยัง <i>j</i>			กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก <i>j</i> ไปยัง <i>i</i>			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
			$P_{ij}$ (MW)	$Q_{ij}$ (MVAr)	$ S_{ij} $ (MVA)	$P_{ji}$ (MW)	$Q_{ji}$ (MVAr)	$ S_{ji} $ (MVA)	$P_{loss}$ (MW)	$Q_{loss}$ (MVAr)
1	1	2	118.05	-4.31	118.13	-115.65	5.82	115.80	2.404	7.34
2	1	5	62.86	9.86	63.63	-60.89	-6.97	61.28	1.977	8.16
3	2	3	49.26	0.34	49.26	-48.21	-0.54	48.21	1.055	4.44
4	2	4	42.98	4.49	43.22	-41.97	-5.00	42.27	1.012	3.07
5	2	5	39.52	5.49	39.90	-38.68	-6.53	39.22	0.849	2.59
6	3	4	-9.67	8.72	13.03	9.79	-9.74	13.81	0.117	0.30
7	4	5	-16.12	4.40	16.71	16.16	-4.28	16.72	0.037	0.12
8	4	7	33.69	-5.24	34.09	-33.69	7.53	34.52	0.000	2.28
9	4	9	21.77	0.70	21.79	-21.77	1.74	21.84	0.000	2.43
10	5	6	75.80	16.19	77.51	-75.80	-3.28	75.87	0.000	12.91
11	6	11	-4.25	9.21	10.15	4.33	-9.03	10.02	0.087	0.18
12	6	12	36.20	31.36	47.89	-33.69	-26.14	42.64	2.509	5.22
13	6	13	32.65	20.74	38.68	-31.77	-19.01	37.02	0.881	1.73
14	7	8	-12.11	-9.08	15.13	12.11	9.45	15.36	0.000	0.37

ตารางที่ 7 (ต่อ)

สายส่งเส้น ที่	จากบัสที่ $i$	ไปยังบัส $j$	กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $i$ ไปยัง $j$			กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $j$ ไปยัง $i$			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
			$P_{ij}$ (MW)	$Q_{ij}$ (MVAr)	$ S_{ij} $ (MVA)	$P_{ji}$ (MW)	$Q_{ji}$ (MVAr)	$ S_{ji} $ (MVA)	$P_{loss}$ (MW)	$Q_{loss}$ (MVAr)
15	7	9	45.79	1.55	45.82	-45.79	0.57	45.80	0.000	2.12
16	9	10	17.01	-1.01	17.03	-16.92	1.23	16.96	0.085	0.22
17	9	14	21.06	2.81	21.25	-20.54	-1.69	20.60	0.527	1.12
18	10	11	7.92	-7.03	10.59	-7.83	7.23	10.66	0.085	0.20
19	12	13	-22.41	-8.47	23.96	23.84	9.75	25.75	1.424	1.29
20	13	14	-5.56	3.45	6.55	5.64	-3.31	6.53	0.071	0.14
								รวม	13.11	56.26
21	15	4	54.96	-17.12	57.57	-54.96	18.78	58.08	0	1.66
22	12	16	50	33.00	59.91	-50	-30.98	58.82	0	2.02

ลักษณะการไหลของกำลังไฟฟ้ายังคงมีการไหลคล้ายกับในกรณีที่ 2.1 โดยที่ผู้ขายกำลังไฟฟ้าต้องส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 54.96 MW, -17.12 MVA<sub>r</sub> แต่ถ้าเปรียบเทียบการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปจากกรณีที่ 2.1 จะพบว่าปริมาณของกำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านเข้ามาในระบบก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกำลังไฟฟ้ามากในสายส่งระหว่างบัสที่ 15 กับบัสที่ 16 โดยเริ่มต้นจากสายส่งเส้นที่ 7 ไปยังสายส่งเส้นที่ 10 และสายส่งเส้นที่ โดยให้ผลการเปลี่ยนแปลงดังตารางที่ 8

**ตารางที่ 8** การเปลี่ยนแปลงขนาดกำลังไฟฟ้าในสายส่งของระบบคนกลางระหว่างกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.85 กับกรณีส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.85

เส้น ที่	จาก บัส i	ไป บัส j	กรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้า				ผลการเปลี่ยนแปลง	
			ขนาด 40 MW PF = 0.85		ขนาด 50 MW PF = 0.85		$\Delta P$	$\Delta P_{loss}$
			$P$ (MW)	$P_{loss}$ (MW)	$P$ (MW)	$P_{loss}$ (MW)		
1	1	2	118.49	2.422	118.05	2.404	-0.44	-0.02
2	1	5	62.42	1.946	62.86	1.977	0.44	0.03
3	2	3	49.64	1.071	49.26	1.055	-0.38	-0.02
4	2	4	43.78	1.047	42.98	1.012	-0.79	-0.04
5	2	5	38.77	0.815	39.52	0.849	0.75	0.03
6	3	4	9.42*	0.111	9.79*	0.117	0.37	0.01
7	4	5	22.45*	0.068	16.16*	0.037	-6.30	-0.03
8	4	7	30.87	0.000	33.69	0.000	2.82	0.00
9	4	9	20.15	0.000	21.77	0.000	1.62	0.00
10	5	6	68.38	0.000	75.80	0.000	7.42	0.00
11	6	11	2.22*	0.062	4.33*	0.087	2.12	0.03
12	6	12	30.14	1.657	36.20	2.509	6.06	0.85
13	6	13	29.20	0.685	32.65	0.881	3.45	0.20
14	7	8	12.11*	0.000	12.11*	0.000	0.00	0.00

ตารางที่ 8 (ต่อ)

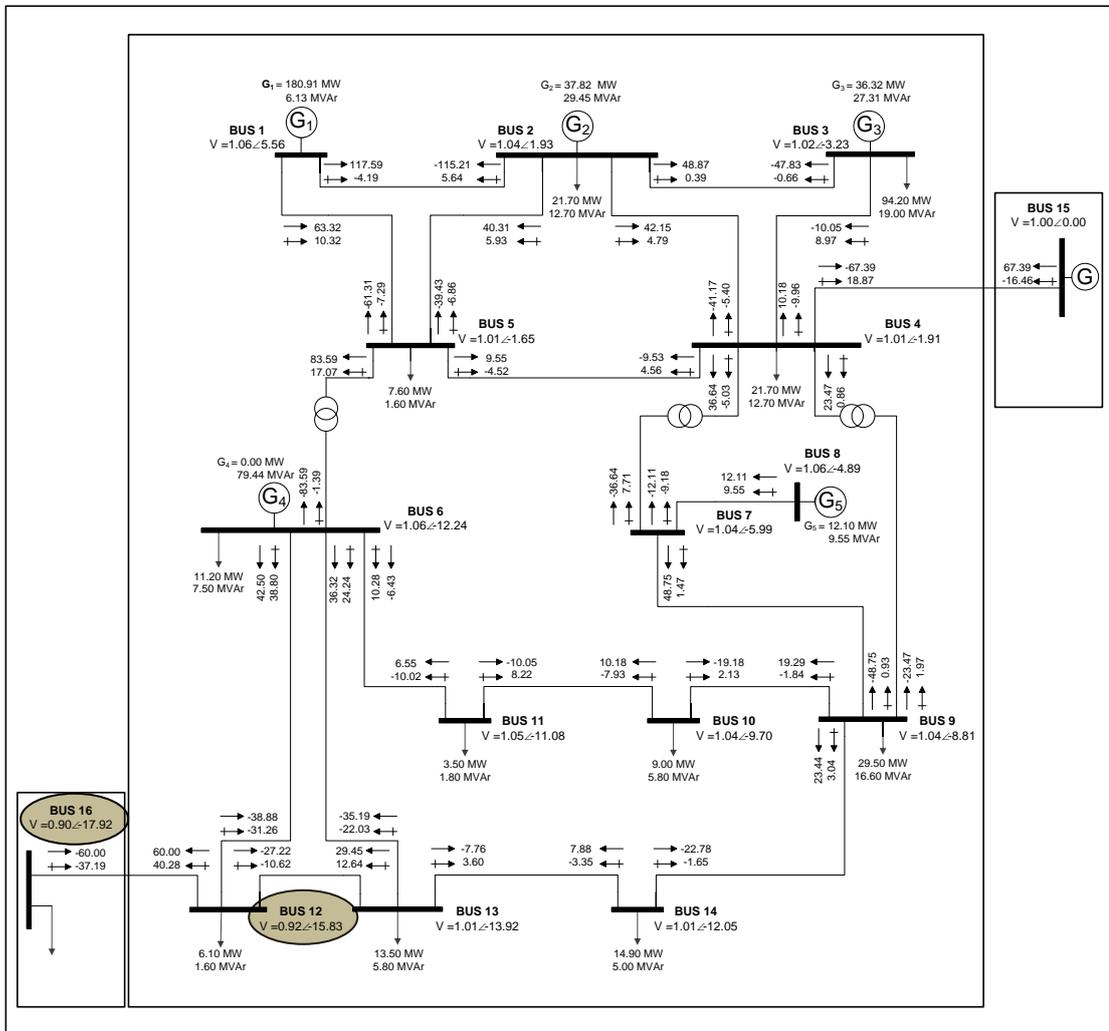
เส้น ที่	จาก บัส i	ไป บัส j	กรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้า				ผลการเปลี่ยนแปลง	
			ขนาด 40 MW PF = 0.85		ขนาด 50 MW PF = 0.85		$\Delta P$	$\Delta P_{loss}$
			$P$ (MW)	$P_{loss}$ (MW)	$P$ (MW)	$P_{loss}$ (MW)		
15	7	9	42.98	0.000	45.79	0.000	2.82	0.00
16	9	10	14.84	0.064	17.01	0.085	2.17	0.02
17	9	14	18.79	0.420	21.06	0.527	2.27	0.11
18	10	11	5.77	0.054	7.92	0.085	2.15	0.03
19	12	13	18.45*	0.832	23.84*	1.424	5.38	0.59
20	13	14	3.47*	0.037	5.64*	0.071	2.16	0.03

หมายเหตุ \* มีการไหลของกำลังไฟฟ้าย้อนกลับทิศทาง  $P_{ji}$

แนวการไหลในลักษณะนี้อธิบายได้ว่า กำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านเข้ามาส่วนใหญ่มักมีการเลือกส่งกำลังไฟฟ้าผ่านเส้นทางที่มีบัสเชื่อมต่อน้อยที่สุดเพื่อส่งกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าที่ต้องการ แต่ไม่สามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้ทั้งหมดตามปริมาณการซื้อขายระหว่างกัน เนื่องจากโปรแกรมวิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าจะต้องจัดสรรแรงดันและมุมในแต่ละบัสให้สามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังโหนดของระบบคนกลางด้วย

กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นยังคงสอดคล้องกับขนาดของกำลังไฟฟ้าในสายส่งนั้น คือเมื่อกำลังไฟฟ้าไหลมากขึ้น กำลังไฟฟ้าสูญเสียก็จะมากขึ้นตาม และถ้ากำลังไฟฟ้าไหลน้อยลง กำลังไฟฟ้าสูญเสียก็จะน้อยลงตามไปด้วย แต่ในสายส่งเส้นที่ 8, 9, 10, 14 และ 15 มีขนาดของความต้านทานในสายส่งน้อยมาก กำลังไฟฟ้าสูญเสียจึงไม่เห็นได้อย่างชัดเจน

2.3 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ PF = 0.85 ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ในระบบคกกลางที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ PF = 0.85

จากการพิจารณาแรงดันในกรณีที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าเมื่อส่งผ่านกำลังไฟฟ้ามากขึ้นทำให้แรงดันที่บัสที่ 12 ปรับตัวลดลง จนทำให้กรณีนี้แรงดันในบัสที่ 12 มีการปรับลดลงจนมีขนาดต่ำกว่าระดับใช้งานของระบบคกกลาง ซึ่งแสดงได้ในตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ PF = 0.85

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	(degree)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.06	5.56	180.91	6.13	-	-
2	1.04	1.93	37.82	29.45	21.70	12.70
3	1.02	-3.23	36.32	27.31	94.20	19.00
4	1.01	-1.91	-	-	47.80	-3.90
5	1.01	-1.65	-	-	7.60	1.60
6	1.06	-12.24	0.00	79.44	11.20	7.50
7	1.04	-5.99	-	-	-	-
8	1.06	-4.89	12.11	9.55	-	-
9	1.04	-8.81	-	-	29.50	16.60
10	1.04	-9.70	-	-	9.00	5.80
11	1.05	-11.08	-	-	3.50	1.80
12	0.92	-15.83	-	-	6.10	1.60
13	1.01	-13.92	-	-	13.50	5.80
14	1.01	-12.05	-	-	14.90	5.00
		รวม	267.16	151.88	259.00	73.50
15	1.00	0.00	67.39	-16.46	-	-
16	0.90	-17.92	-	-	60.00	37.19

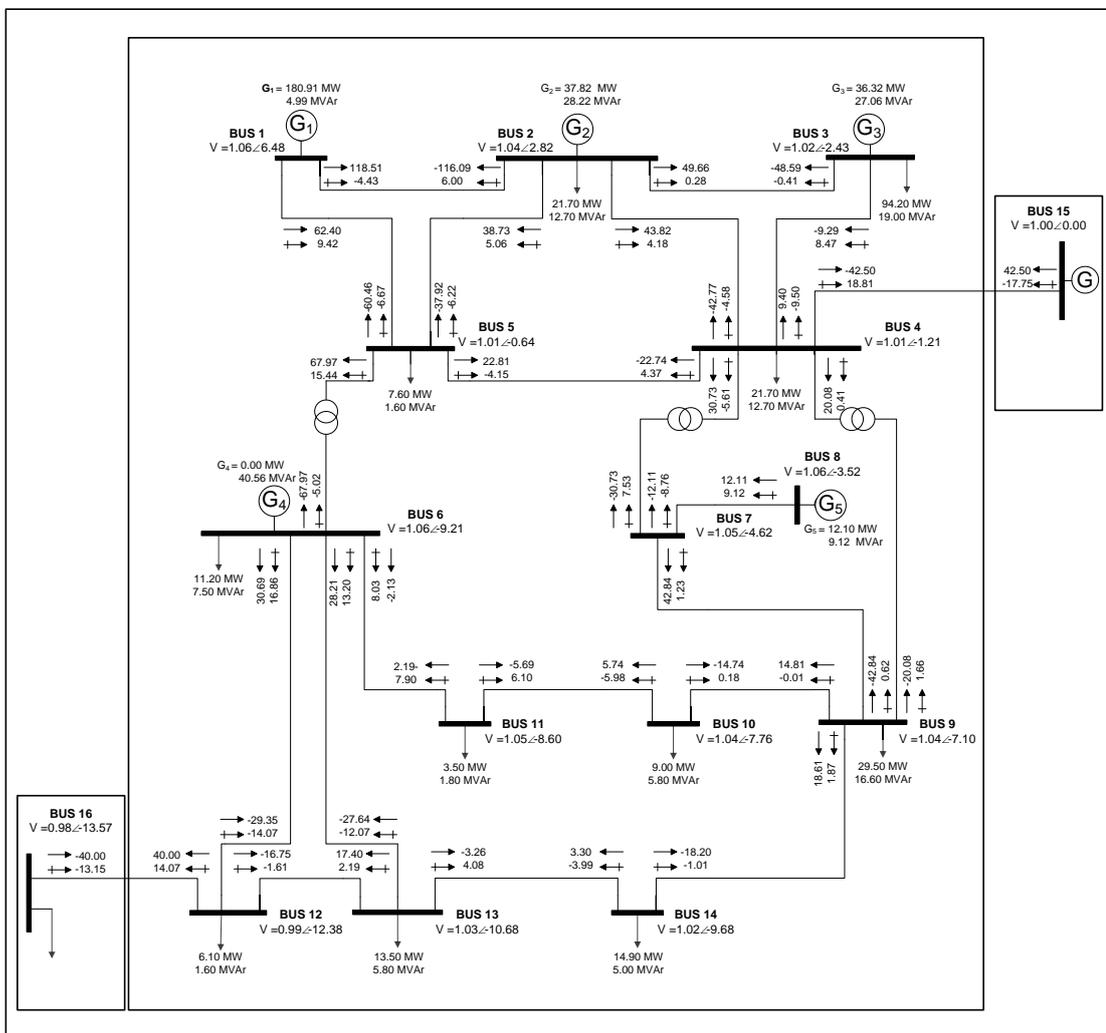
เนื่องจากกรณีนี้ระบบคนกลางไม่สามารถใช้งานได้ ในงานวิจัยจึงถือว่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ PF = 0.85 ไม่ยินยอมให้ทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

### 3. วิเคราะห์การไหลของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในระบบคณกลางเมื่อทำการปรับตัวประกอบกำลัง

หลังจากทำการส่งกำลังไฟฟ้าในปริมาณต่างๆแล้ว จะทำการปรับความต้องการกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าให้ลดลง โดยปรับขนาดของตัวประกอบกำลังเพื่อศึกษาผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ดังนี้

#### 3.1 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW

และ PF = 0.95 ดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 8 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ในระบบคณกลางที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.95

ผลที่ได้การไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นยังคงมีปริมาณการไหลมากขึ้นกว่าในกรณีไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า และมีทิศทางการไหลในลักษณะเดียวกันกับกรณีที่ 2 โดยให้ผลการคำนวณแรงดันและกำลังการผลิตดังตารางที่ 10

**ตารางที่ 10** ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.95

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	(degree)	P (MW)	Q (MVAr)	P (MW)	Q (MVAr)
1	1.06	6.48	180.91	4.99	-	-
2	1.04	2.82	37.82	28.22	21.70	12.70
3	1.02	-2.43	36.32	27.06	94.20	19.00
4	1.01	-1.21	-	-	47.80	-3.90
5	1.01	-0.64	-	-	7.60	1.60
6	1.06	-9.21	0.00	40.56	11.20	7.50
7	1.05	-4.62	-	-	-	-
8	1.06	-3.52	12.11	9.12	-	-
9	1.04	-7.10	-	-	29.50	16.60
10	1.04	-7.76	-	-	9.00	5.80
11	1.05	-8.60	-	-	3.50	1.80
12	0.99	-12.38	-	-	6.10	1.60
13	1.03	-10.68	-	-	13.50	5.80
14	1.02	-9.68	-	-	14.90	5.00
		รวม	267.16	109.96	259.00	73.50
15	1.00	0.00	42.50	-17.75	-	-
16	0.98	-13.57	-	-	40.00	13.15

จากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้านี้ทำให้ระบบคนกลางมีการผลิตกำลังไฟฟ้า 267.16 MW, 109.96 MVAr แสดงว่าการส่งผ่านด้วยวิธีการนี้สามารถทำให้การผลิตกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของระบบคนกลางมีค่าลดลง ส่งผลให้การส่งกำลังไฟฟ้าของคนกลางมีประสิทธิภาพสูงขึ้นกว่าในกรณีที่ 2.1

เมื่อพิจารณาระดับแรงดันของแต่ละบัส พบว่าแรงดันในบัสที่ 12 ยังมีการปรับขนาดให้ น้อยกว่ากรณีที่ 1 เพื่อให้เกิดการไหลของกำลังไฟฟ้าในปริมาณที่มากที่สุด แต่สามารถปรับแรงดันได้ สูงกว่าในกรณีที่ 2.1 ซึ่งสามารถบอกได้ว่าความต้องการกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟของผู้ซื้อที่ต้องการ มากจะทำให้ความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้านี้ลดลง

สำหรับการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นของระบบคนกลาง เมื่อพิจารณาการ เปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับกรณีที่ 1 จะได้ว่า การไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งยังคงมีลักษณะการ ไหลคล้ายกับกรณีที่ 2.1 คือปริมาณของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นมีปริมาณมากขึ้นและมีทิศทางเดียวกัน ทั้งนี้เนื่องมาจากการคำนวณด้วยวิธีวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า แต่เมื่อ พิจารณาเทียบกับกรณีที่ 2.1 จะพบว่ากำลังไฟฟ้าที่ส่งจากผู้ขายกำลังไฟฟ้ามีขนาด 42.50 MW, -17.75 MVar ซึ่งลดลงจากกรณีที่ 2.1 ขนาด 0.57 MW, 0.19 MVAR แสดงว่าการปรับกำลังไฟฟ้า รีแอกทีฟของระบบคนกลางในกรณีที่ผ่านมาไม่ได้เป็นการปรับเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟให้กับผู้ ซื้อกำลังไฟฟ้าโดยตรง แต่เป็นการปรับขนาดเพื่อให้เกิดการไหลของกำลังไฟฟ้าในรูปแบบของ กำลังไฟฟ้าเชิงซ้อนอย่างเหมาะสม

ในส่วนของการส่งกำลังไฟฟ้าในปริมาณที่ลดลงของผู้ขายกำลังไฟฟ้า เป็นผลจากความ ต้องการกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟที่น้อยลง ทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบน้อยลง ผู้ขาย กำลังไฟฟ้าจึงสามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้น้อยลงด้วย ดังแสดงผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่ง แต่ละเส้นได้ดังตารางที่ 11

ตารางที่ 11 การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.95

สายส่งเส้น ที่	จากบัสที่ $i$	ไปยังบัส $j$	กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $i$ ไปยัง $j$			กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $j$ ไปยัง $i$			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
			$P_{ij}$ (MW)	$Q_{ij}$ (MVAr)	$ S_{ij} $ (MVA)	$P_{ji}$ (MW)	$Q_{ji}$ (MVAr)	$ S_{ji} $ (MVA)	$P_{loss}$ (MW)	$Q_{loss}$ (MVAr)
1	1	2	118.51	-4.43	118.59	-116.09	6.00	116.24	2.423	7.40
2	1	5	62.40	9.42	63.11	-60.46	-6.67	60.82	1.944	8.02
3	2	3	49.66	0.28	49.66	-48.59	-0.41	48.59	1.072	4.52
4	2	4	43.82	4.18	44.02	-42.77	-4.58	43.02	1.049	3.18
5	2	5	38.73	5.06	39.06	-37.92	-6.22	38.43	0.813	2.48
6	3	4	-9.29	8.47	12.57	9.40	-9.50	13.37	0.110	0.28
7	4	5	-22.74	4.37	23.15	22.81	-4.15	23.18	0.070	0.22
8	4	7	30.73	-5.61	31.24	-30.73	7.53	31.64	0.000	1.92
9	4	9	20.08	0.41	20.08	-20.08	1.66	20.15	0.000	2.07
10	5	6	67.97	15.44	69.70	-67.97	-5.02	68.15	0.000	10.42
11	6	11	-2.13	8.03	8.30	2.19	-7.90	8.20	0.058	0.12
12	6	12	30.69	16.86	35.01	-29.35	-14.07	32.54	1.341	2.79
13	6	13	28.21	13.20	31.15	-27.64	-12.07	30.16	0.571	1.12
14	7	8	-12.11	-8.76	14.94	12.11	9.12	15.16	0.000	0.36

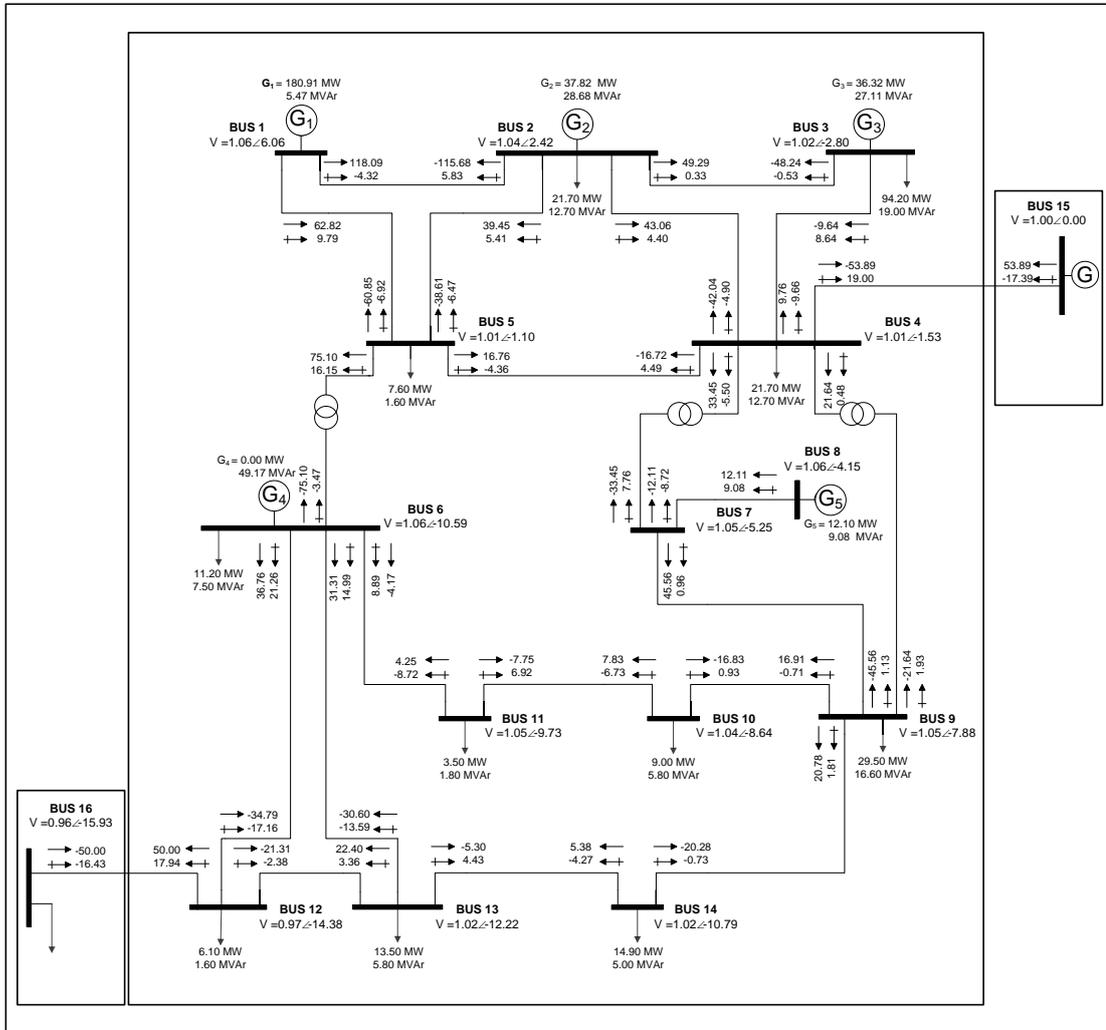
ตารางที่ 11 (ต่อ)

สายส่งเส้น ที่	จากบัสที่ $i$	ไปยังบัส $j$	กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $i$ ไปยัง $j$			กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $j$ ไปยัง $i$			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
			$P_{ij}$ (MW)	$Q_{ij}$ (MVAr)	$ S_{ij} $ (MVA)	$P_{ji}$ (MW)	$Q_{ji}$ (MVAr)	$ S_{ji} $ (MVA)	$P_{loss}$ (MW)	$Q_{loss}$ (MVAr)
15	7	9	42.84	1.23	42.86	-42.84	0.62	42.84	0.000	1.85
16	9	10	14.81	-0.01	14.81	-14.74	0.18	14.74	0.064	0.17
17	9	14	18.61	1.87	18.70	-18.20	-1.01	18.23	0.407	0.87
18	10	11	5.74	-5.98	8.29	-5.69	6.10	8.35	0.052	0.12
19	12	13	-16.75	-1.61	16.83	17.40	2.19	17.53	0.645	0.58
20	13	14	-3.26	4.08	5.22	3.30	-3.99	5.18	0.044	0.09
								รวม	10.663	48.59
21	15	4	42.50	-17.75	46.06	-42.50	18.81	46.48	0.000	1.06
22	12	16	40.00	14.07	42.40	-40.00	-13.15	42.11	0.000	0.93

การไหลของกำลังไฟฟ้าแสดงให้เห็นว่า ปริมาณของกำลังไฟฟ้าที่ส่งเข้ามาในระบบคนกลางจากผู้ขายกำลังไฟฟ้ามีปริมาณลดลง เมื่อเทียบกับกรณีที่ 2.1 โดยสังเกตได้จากกำลังไฟฟ้าที่ไหลออกจากบัส 4 มีการดันกำลังไฟฟ้าได้ลดลง เช่นในสายส่งเส้นที่ 6 ส่งกำลังไฟฟ้าจากบัสที่ 4 ไปยังบัสที่ 3 ลดลง จากปริมาณ 9.42 MW, -9.56 MVA<sub>r</sub> เป็น 9.40 MW, -9.50 MVA<sub>r</sub> และสายส่งเส้นที่ 7 มีการส่งกำลังไฟฟ้าจากบัสที่ 5 มายังบัสที่ 4 เพิ่มขึ้นจากปริมาณ 22.45 MW, -4.08 MVA<sub>r</sub> เป็น 22.81 MW, -4.15 MVA<sub>r</sub> ซึ่งสามารถบอกได้ว่าเมื่อทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในปริมาณของกำลังไฟฟ้ที่น้อยกว่าจะทำให้ผู้ขายกำลังไฟฟ้าสามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้น้อยลง

เมื่อพิจารณากำลังไฟฟ้าสูญเสีย (loss) ของระบบคนกลางที่เกิดขึ้น จะเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสีย (loss) ขนาด 10.663 MW ซึ่งมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียของระบบคนกลางลดลงกว่ากรณีที่ 2.1 แต่ในสายส่งแต่ละเส้นจะมีกำลังไฟฟ้าสูญเสียขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงปริมาณการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้น

3.2 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.95 ดังแสดงในภาพที่ 9



ภาพที่ 9 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ในระบบคณกลางที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.95

ลักษณะการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.95 ยังคงมีทิศทางการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นคล้ายกับในกรณีทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าที่ผ่านมา ดังคำนวณผลของแรงดันและกำลังการผลิตได้ตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.95

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	(degree)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.06	6.06	180.91	5.47	-	-
2	1.04	2.42	37.82	28.68	21.70	12.70
3	1.02	-2.80	36.32	27.11	94.20	19.00
4	1.01	-1.53	-	-	47.80	-3.90
5	1.01	-1.10	-	-	7.60	1.60
6	1.06	-10.59	0.00	49.17	11.20	7.50
7	1.05	-5.25	-	-	-	-
8	1.06	-4.15	12.11	9.08	-	-
9	1.05	-7.88	-	-	29.50	16.60
10	1.04	-8.64	-	-	9.00	5.80
11	1.05	-9.73	-	-	3.50	1.80
12	0.97	-14.38	-	-	6.10	1.60
13	1.02	-12.22	-	-	13.50	5.80
14	1.02	-10.79	-	-	14.90	5.00
		รวม	267.16	119.52	259.00	73.50
15	1.00	0.00	53.89	-17.39	-	-
16	0.96	-15.93	-	-	50.00	16.43

เมื่อแก้ตัวประกอบกำลังจะพบว่าในกรณีดังกล่าวทำให้บัสที่ 16 สามารถมีระดับแรงดันที่อยู่ในสภาวะใช้งานได้ตามขีดจำกัด และส่งผลให้เกิดการไหลของกำลังไฟฟ้าตามตารางที่ 13 ซึ่งพบว่า การไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นมีกำลังไฟฟ้าน้อยลงกว่าในกรณีที่ 2.2 ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของระดับกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้น

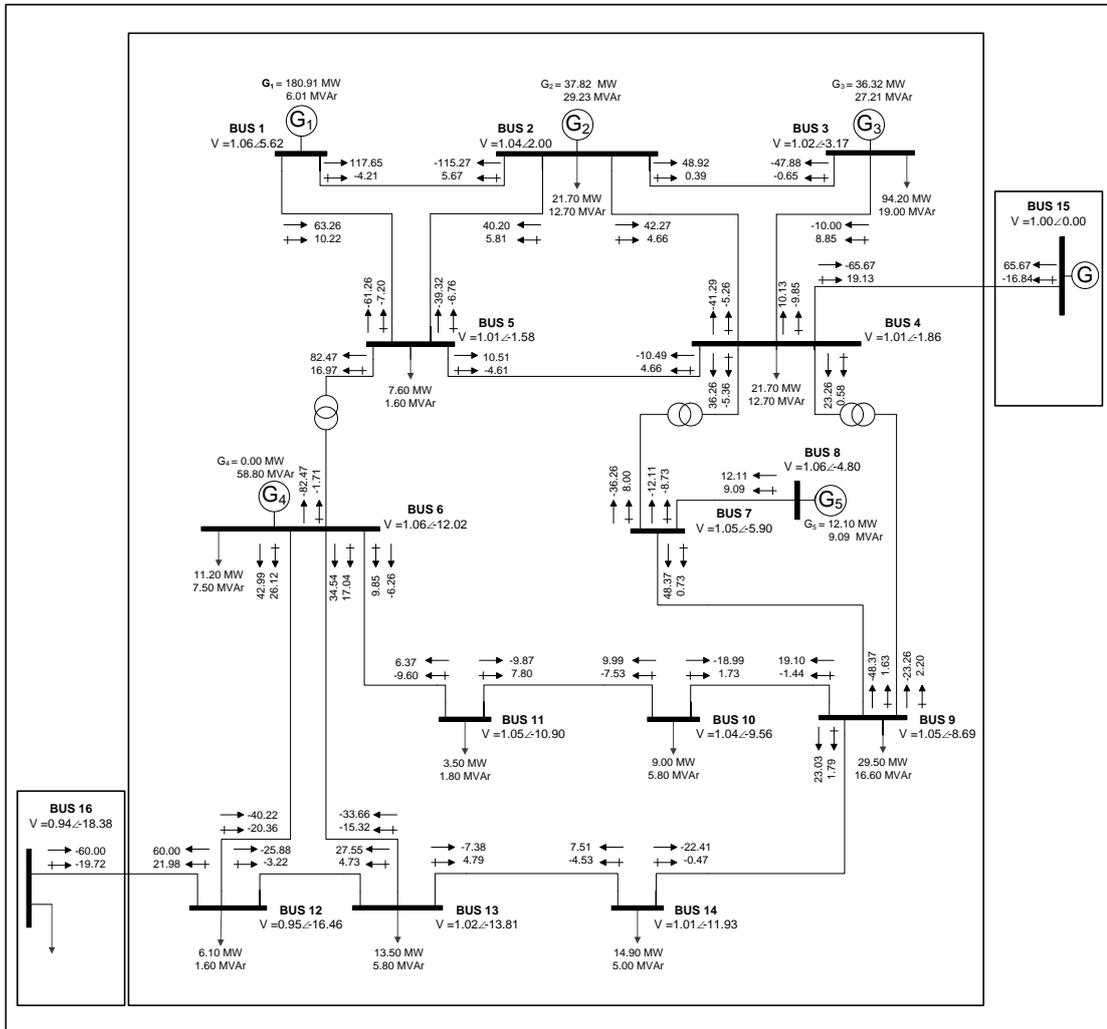
ตารางที่ 13 การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.95

สายส่งเส้น ที่	จากบัสที่ $i$	ไปยังบัส $j$	กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $i$ ไปยัง $j$			กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $j$ ไปยัง $i$			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
			$P_{ij}$ (MW)	$Q_{ij}$ (MVAr)	$ S_{ij} $ (MVA)	$P_{ji}$ (MW)	$Q_{ji}$ (MVAr)	$ S_{ji} $ (MVA)	$P_{loss}$ (MW)	$Q_{loss}$ (MVAr)
1	1	2	118.09	-4.32	118.17	-115.68	5.83	115.83	2.406	7.34
2	1	5	62.82	9.79	63.58	-60.85	-6.92	61.24	1.974	8.15
3	2	3	49.29	0.33	49.30	-48.24	-0.53	48.24	1.056	4.45
4	2	4	43.06	4.40	43.28	-42.04	-4.90	42.33	1.015	3.08
5	2	5	39.45	5.41	39.82	-38.61	-6.47	39.15	0.845	2.58
6	3	4	-9.64	8.64	12.95	9.76	-9.66	13.73	0.116	0.30
7	4	5	-16.72	4.49	17.31	16.76	-4.36	17.32	0.039	0.12
8	4	7	33.45	-5.50	33.90	-33.45	7.76	34.34	0.000	2.26
9	4	9	21.64	0.48	21.65	-21.64	1.93	21.73	0.000	2.40
10	5	6	75.10	16.15	76.81	-75.10	-3.47	75.18	0.000	12.68
11	6	11	-4.17	8.89	9.82	4.25	-8.72	9.70	0.082	0.17
12	6	12	36.76	21.26	42.47	-34.79	-17.16	38.79	1.973	4.11
13	6	13	31.31	14.99	34.71	-30.60	-13.59	33.48	0.709	1.40
14	7	8	-12.11	-8.72	14.92	12.11	9.08	15.13	0.000	0.36

ตารางที่ 13 (ต่อ)

สายส่งเส้น ที่	จากบัสที่ $i$	ไปยังบัส $j$	กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $i$ ไปยัง $j$			กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $j$ ไปยัง $i$			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
			$P_{ij}$ (MW)	$Q_{ij}$ (MVAr)	$ S_{ij} $ (MVA)	$P_{ji}$ (MW)	$Q_{ji}$ (MVAr)	$ S_{ji} $ (MVA)	$P_{loss}$ (MW)	$Q_{loss}$ (MVAr)
15	7	9	45.56	0.96	45.57	-45.56	1.13	45.57	0.000	2.09
16	9	10	16.91	-0.71	16.93	-16.83	0.93	16.86	0.083	0.22
17	9	14	20.78	1.81	20.86	-20.28	-0.73	20.29	0.506	1.08
18	10	11	7.83	-6.73	10.33	-7.75	6.92	10.39	0.081	0.19
19	12	13	-21.31	-2.38	21.45	22.40	3.36	22.65	1.084	0.98
20	13	14	-5.30	4.43	6.91	5.38	-4.27	6.87	0.078	0.16
รวม									12.047	54.11
21	15	4	53.89	-17.39	56.63	-53.89	19.00	57.14	0.000	1.60
22	12	16	50.00	17.94	53.12	-50.00	-16.43	52.63	0.000	1.51

3.3 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ  $PF = 0.95$  ดังแสดงในภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ในระบบคณกลางที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ  $PF = 0.95$

จากกรณีที่ 2.1 เมื่อนำมาแก้ตัวประกอบกำลังทำให้สามารถส่งกำลังไฟฟ้าผ่านระบบคณกลางได้ โดยที่ระบบคณกลางยังคงจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดในระบบโดยไม่คิดเงื่อนไขทางด้านแรงดันและขนาดของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง ซึ่งคำนวณได้ผลดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ PF = 0.95

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	(degree)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.06	5.62	180.91	6.01	-	-
2	1.04	2.00	37.82	29.23	21.70	12.70
3	1.02	-3.17	36.32	27.21	94.20	19.00
4	1.01	-1.86	-	-	47.80	-3.90
5	1.01	-1.58	-	-	7.60	1.60
6	1.06	-12.02	0.00	58.80	11.20	7.50
7	1.05	-5.90	-	-	-	-
8	1.06	-4.80	12.11	9.09	-	-
9	1.05	-8.69	-	-	29.50	16.60
10	1.04	-9.56	-	-	9.00	5.80
11	1.05	-10.90	-	-	3.50	1.80
12	0.95	-16.46	-	-	6.10	1.60
13	1.02	-13.81	-	-	13.50	5.80
14	1.01	-11.93	-	-	14.90	5.00
		รวม	267.16	130.33	259.00	73.50
15	1.00	0.00	65.67	-16.84	-	-
16	0.94	-18.38	-	-	60.00	19.72

จากในตารางจะพบว่า ในบัสที่ 12 และบัสที่ 16 มีระดับแรงดันสูงกว่าในกรณีที่ 2.3 และอยู่ในขีดจำกัดที่ระบบคนกลางสามารถใช้งานได้ จึงสามารถบอกได้ว่าเมื่อลดกำลังไฟฟ้รีแอกทีฟของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าจะทำให้ส่งกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น ดังแสดงผลการไหลของกำลังไฟฟ้าได้ในตารางที่ 15

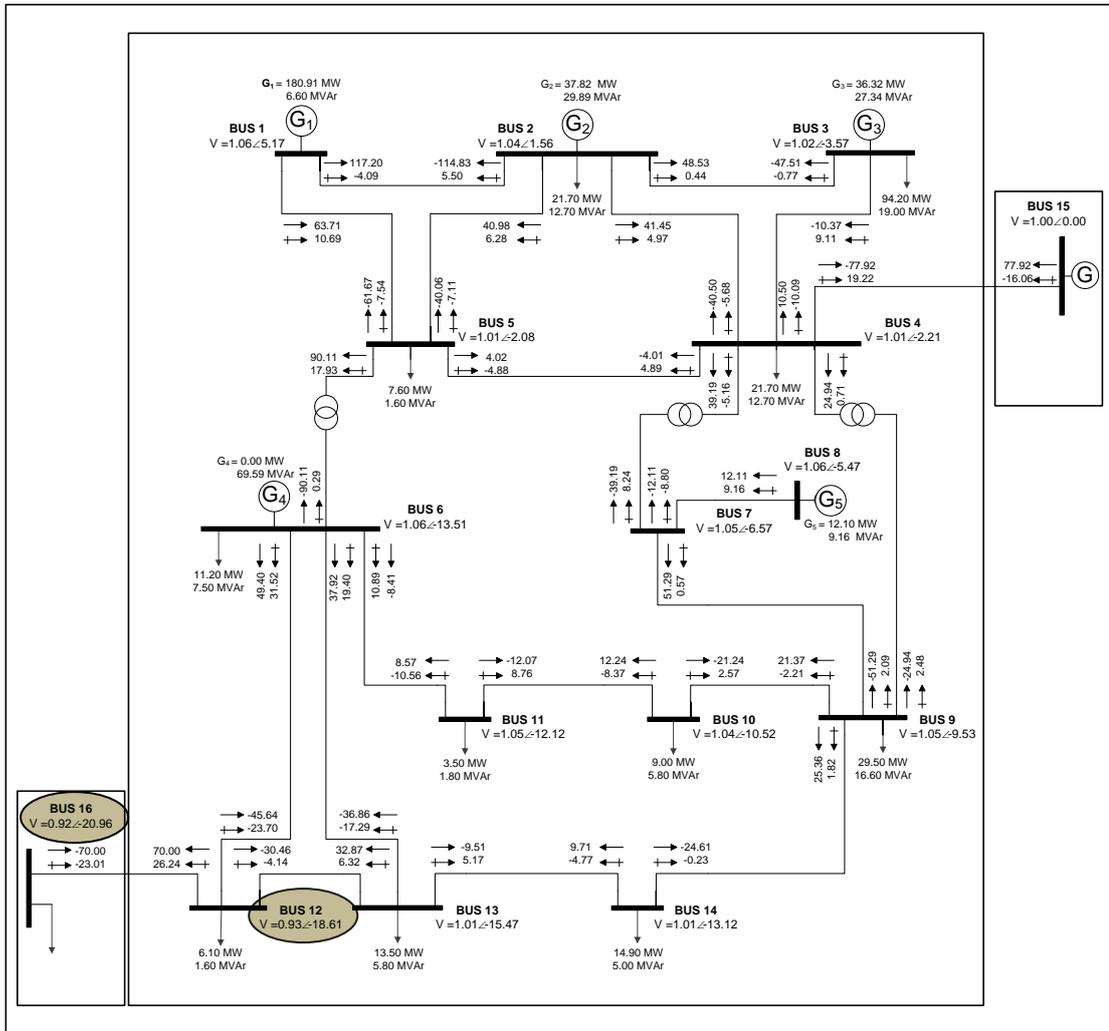
ตารางที่ 15 การไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ PF = 0.95

สายส่งเส้น ที่	จากบัสที่ $i$	ไปยังบัส $j$	กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $i$ ไปยัง $j$			กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $j$ ไปยัง $i$			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
			$P_{ij}$ (MW)	$Q_{ij}$ (MVAr)	$ S_{ij} $ (MVA)	$P_{ji}$ (MW)	$Q_{ji}$ (MVAr)	$ S_{ji} $ (MVA)	$P_{loss}$ (MW)	$Q_{loss}$ (MVAr)
1	1	2	117.65	-4.21	117.73	-115.27	5.67	115.41	2.388	7.29
2	1	5	63.26	10.22	64.08	-61.26	-7.20	61.68	2.005	8.28
3	2	3	48.92	0.39	48.92	-47.88	-0.65	47.88	1.040	4.38
4	2	4	42.27	4.66	42.52	-41.29	-5.26	41.62	0.980	2.97
5	2	5	40.20	5.81	40.62	-39.32	-6.76	39.90	0.880	2.69
6	3	4	-10.00	8.85	13.36	10.13	-9.85	14.13	0.123	0.31
7	4	5	-10.49	4.66	11.48	10.51	-4.61	11.47	0.017	0.05
8	4	7	36.26	-5.36	36.66	-36.26	8.00	37.14	0.000	2.64
9	4	9	23.26	0.58	23.27	-23.26	2.20	23.36	0.000	2.78
10	5	6	82.47	16.97	84.19	-82.47	-1.71	82.48	0.000	15.26
11	6	11	-6.26	9.85	11.67	6.37	-9.60	11.53	0.115	0.24
12	6	12	42.99	26.12	50.30	-40.22	-20.36	45.08	2.768	5.76
13	6	13	34.54	17.04	38.51	-33.66	-15.32	36.98	0.873	1.72
14	7	8	-12.11	-8.73	14.92	12.11	9.09	15.14	0.000	0.36

ตารางที่ 15 (ต่อ)

สายส่งเส้น ที่	จากบัสที่ $i$	ไปยังบัส $j$	กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $i$ ไปยัง $j$			กำลังไฟฟ้าที่ไหลจาก $j$ ไปยัง $i$			กำลังไฟฟ้าสูญเสีย	
			$P_{ij}$ (MW)	$Q_{ij}$ (MVA <sub>r</sub> )	$ S_{ij} $ (MVA)	$P_{ji}$ (MW)	$Q_{ji}$ (MVA <sub>r</sub> )	$ S_{ji} $ (MVA)	$P_{loss}$ (MW)	$Q_{loss}$ (MVA <sub>r</sub> )
15	7	9	48.37	0.73	48.37	-48.37	1.63	48.40	0.000	2.36
16	9	10	19.10	-1.44	19.15	-18.99	1.73	19.07	0.107	0.28
17	9	14	23.03	1.79	23.10	-22.41	-0.47	22.42	0.620	1.32
18	10	11	9.99	-7.53	12.51	-9.87	7.80	12.59	0.118	0.28
19	12	13	-25.88	-3.22	26.08	27.55	4.73	27.95	1.665	1.51
20	13	14	-7.38	4.79	8.80	7.51	-4.53	8.77	0.128	0.26
								รวม	13.829	60.74
21	15	4	65.67	-16.84	67.79	-65.67	19.13	68.40	0.000	2.30
22	12	16	60.00	21.98	63.90	-60.00	-19.72	63.16	0.000	2.26

3.4 ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าในกรณีทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 70 MW และ PF = 0.95 ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ผลการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ในระบบคณกลางที่มีการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 70 MW และ PF = 0.95

จากการพิจารณาแรงดันในกรณีที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าเมื่อส่งผ่านกำลังไฟฟ้ามากขึ้นทำให้แรงดันที่บัสที่ 12 ปรับตัวลดลง จนทำให้กรณีนี้แรงดันในบัสที่ 12 มีการปรับลดลงจนมีขนาดต่ำกว่าระดับใช้งานของระบบคณกลาง ซึ่งแสดงได้ในตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ผลการคำนวณแรงดันในแต่ละบัสที่ได้จากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าของระบบคนกลาง ในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 70 MW และ PF = 0.95

บัสที่	แรงดัน		กำลังการผลิตไฟฟ้า		โหลด	
	$ V $ (pu)	(degree)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.06	5.17	180.91	6.60	-	-
2	1.04	1.56	37.82	29.89	21.70	12.70
3	1.02	-3.57	36.32	27.34	94.20	19.00
4	1.01	-2.21	-	-	47.80	-3.90
5	1.01	-2.08	-	-	7.60	1.60
6	1.06	-13.51	0.00	69.59	11.20	7.50
7	1.05	-6.57	-	-	-	-
8	1.06	-5.47	12.11	9.16	-	-
9	1.05	-9.53	-	-	29.50	16.60
10	1.04	-10.52	-	-	9.00	5.80
11	1.05	-12.12	-	-	3.50	1.80
12	0.93	-18.61	-	-	6.10	1.60
13	1.01	-15.47	-	-	13.50	5.80
14	1.01	-13.12	-	-	14.90	5.00
		รวม	267.16	142.58	259.00	73.50
15	1.00	0.00	77.92	-16.06	-	-
16	0.90	-17.92	-	-	70.00	23.01

เนื่องจากกรณีนี้ระบบคนกลางไม่สามารถใช้งานได้ในงานวิจัยจึงถือว่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 70 MW และ PF = 0.95 ไม่ยินยอมให้ทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

#### 4. ผลการคำนวณค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นภายหลังจากทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเทียบกับกรณีไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการดูแลรักษาระบบ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นระบบไฟฟ้าคนกลางจึงต้องมีการเรียกเก็บค่าเสียหายขึ้น ซึ่งระบบคนกลางจะต้องตั้งราคาให้เหมาะสมสำหรับเป็นทางเลือกในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า ดังนั้นระบบคนกลางจะต้องมีข้อมูลของค่าใช้จ่ายหลายกรณีเพื่อตั้งเป็นราคาในการเรียกเก็บค่าผ่านทางจากลูกค้า

ในงานวิจัยจึงนำผลการไหลของกำลังไฟฟ้าขนาด 5 MW, 10 MW, 20 MW, 30 MW, 40 MW และ 50 MW ที่  $PF = 0.85$  มาใช้เป็นกรณีศึกษาเพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลในระบบ แล้วนำมาเป็นแนวทางในการคิดค่าใช้จ่ายสำหรับเรียกเก็บจากลูกค้าที่ทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

สำหรับการคิดค่าใช้จ่ายด้วยวิธี Line-by-Line เป็นวิธีคำนวณที่แยกพิจารณาผลเปลี่ยนแปลงของปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้น แล้วนำมาคิดเป็นค่าใช้จ่าย ซึ่งโดยวิธีดังกล่าวสามารถแยกวิธีคิดออกเป็น 3 วิธี โดยสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายได้ตามสมการที่ (11), (12) และ (13) ซึ่งจะแสดงผลต่อไป

หลังจากคำนวณผลการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบคนกลางและวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ในกรณีทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 5 MW และ  $PF = 0.85$  ทำให้เกิดการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบของคนกลางเปลี่ยนไป และปริมาณของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย ซึ่งสามารถแสดงวิธีคิดผลการเปลี่ยนแปลงได้ในตารางที่ 17

ตารางที่ 17 กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 5 MW และ PF = 0.85

สาย ส่ง	จาก บัส <i>i</i>	ไปยัง บัส <i>j</i>	ความ ยาว (ไมล์)	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง		วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลง ทั้งหมด		วิธีคิดเฉพาะการ เปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น		วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลง จริง	
				$P_{after}$ (MW)	$P_{before}$ (MW)	$ \Delta P $	$\Delta MWmile$	$\Delta P+$	$\Delta MWmile$	$\Delta P$	$\Delta MWmile$
1	1	2	20	119.93	119.90	0.03	0.60	0.03	0.60	0.03	0.60
2	1	5	20	60.98	61.01	0.03	0.54	-	0.00	-0.03	-0.54
3	2	3	20	50.87	50.77	0.10	2.06	0.10	2.06	0.10	2.06
4	2	4	20	46.33	46.75	0.42	8.50	-	0.00	-0.42	-8.50
5	2	5	20	36.37	36.02	0.35	6.94	0.35	6.94	0.35	6.94
6	3	4	20	8.22*	8.29*	0.06	1.26	-	0.00	-0.06	-1.26
7	4	5	10	42.70*	45.77*	3.07	30.68	-	0.00	-3.07	-30.68
8	4	7	10	21.83	20.67	1.15	11.53	1.15	11.53	1.15	11.53
9	4	9	10	14.95	14.31	0.64	6.40	0.64	6.40	0.64	6.40
10	5	6	10	44.48	41.14	3.34	33.42	3.34	33.42	3.34	33.42
11	6	11	5	4.67	5.49	0.82	4.12	-	0.00	-0.82	-4.12
12	6	12	5	10.31	7.58	2.73	13.63	2.73	13.63	2.73	13.63
13	6	13	5	18.31	16.83	1.48	7.42	1.48	7.42	1.48	7.42

ตารางที่ 17 (ต่อ)

สาย ส่ง	จาก บัส <i>i</i>	ไปยัง บัส <i>j</i>	ความ ยาว (ไมล์)	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง		วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลง ทั้งหมด		วิธีคิดเฉพาะการ เปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น		วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลง จริง	
				$P_{after}$ (MW)	$P_{before}$ (MW)	$ \Delta P $	$\Delta MWmile$	$\Delta P+$	$\Delta MWmile$	$\Delta P$	$\Delta MWmile$
14	7	8	10	12.11*	12.11*	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00
15	7	9	5	33.93	32.78	1.15	5.76	1.15	5.76	1.15	5.76
16	9	10	5	7.91	7.04	0.87	4.36	0.87	4.36	0.87	4.36
17	9	14	5	11.47	10.55	0.92	4.60	0.92	4.60	0.92	4.60
18	10	11	5	1.12*	1.98*	0.86	4.30	-	0.00	-0.86	-4.30
19	12	13	5	0.94*	1.40	0.46	2.31	-	0.00	-0.46	-2.31
20	13	14	5	3.63	4.49	0.86	4.32	-	0.00	-0.86	-4.32
รวม						19.36	152.74	12.77	96.72	6.18	40.70

หมายเหตุ \* มีการไหลของกำลังไฟฟ้าย้อนกลับทิศทาง  $P_{ji}$

เมื่อได้ผลต่างของกำลังไฟฟ้าต่อไมล์ของแต่ละวิธีแล้วนำมาคิดค่าใช้จ่ายสำหรับชดเชยค่าเสียหายให้กับระบบคนกลาง โดยคิดเป็นค่าใช้จ่ายรายปีซึ่งมีการกำหนดให้ระบบคนกลางมีค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาระบบ 60 \$/MWmile จึงสามารถคำนวณผลของค่าใช้จ่ายดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 5 MW และ PF = 0.85

	$\$/\Delta MWmile \cdot Year$	$\sum \Delta MWmile$	ค่าใช้จ่าย ทั้งหมด
วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด	60	152.74	9,164.40
วิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น	60	96.72	5,803.20
วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริง	60	40.70	2,442.00

จากวิธีคิดค่าใช้จ่ายตามวิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า 9,164.40 \$/Year โดยมีกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนไปจากกรณีไม่มีการส่งผ่าน 152.74 MWmile ซึ่งมีค่าชดเชยค่าเสียหายให้สูงสุด ส่วนวิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น มีกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป 96.72 MWmile มีค่าใช้จ่ายทั้งหมด 5,803.20 \$/Year และวิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริงมีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้า 40.70 MWmile และค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า 2,442 \$/Year

เมื่อทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ระบบไฟฟ้าคนกลางจะเกิดการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามตารางที่ 19

ตารางที่ 19 กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 10 MW และ PF = 0.85

สาย ส่ง	จาก บัส <i>i</i>	ไปยัง บัส <i>j</i>	ความ ยาว (ไมล์)	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง		วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลง ทั้งหมด		วิธีคิดเฉพาะการ เปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น		วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลง จริง	
				$P_{after}$ (MW)	$P_{before}$ (MW)	$ \Delta P $	$\Delta MWmile$	$\Delta P+$	$\Delta MWmile$	$\Delta P$	$\Delta MWmile$
1	1	2	20	119.73	119.90	0.17	3.40	-	0.00	-0.17	-3.40
2	1	5	20	61.18	61.01	0.17	3.42	0.17	3.42	0.17	3.42
3	2	3	20	50.71	50.77	0.07	1.32	-	0.00	-0.07	-1.32
4	2	4	20	45.98	46.75	0.77	15.44	-	0.00	-0.77	-15.44
5	2	5	20	36.69	36.02	0.67	13.48	0.67	13.48	0.67	13.48
6	3	4	20	8.39*	8.29*	0.10	2.02	0.10	2.02	0.10	2.02
7	4	5	10	39.95*	45.77*	5.82	58.24	-	0.00	-5.82	-58.24
8	4	7	10	23.06	20.67	2.38	23.82	2.38	23.82	2.38	23.82
9	4	9	10	15.66	14.31	1.35	13.47	1.35	13.47	1.35	13.47
10	5	6	10	47.74	41.14	6.60	65.97	6.60	65.97	6.60	65.97
11	6	11	5	3.73	5.49	1.76	8.80	-	0.00	-1.76	-8.80
12	6	12	5	13.03	7.58	5.45	27.27	5.45	27.27	5.45	27.27
13	6	13	5	19.78	16.83	2.95	14.74	2.95	14.74	2.95	14.74

ตารางที่ 19 (ต่อ)

สาย ส่ง	จาก บัส <i>i</i>	ไปยัง บัส <i>j</i>	ความ ยาว (ไมล์)	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง		วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลง ทั้งหมด		วิธีคิดเฉพาะการ เปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น		วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลง จริง	
				$P_{after}$ (MW)	$P_{before}$ (MW)	$ \Delta P $	$\Delta MWmile$	$\Delta P+$	$\Delta MWmile$	$\Delta P$	$\Delta MWmile$
14	7	8	10	12.11*	12.11*	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00
15	7	9	5	35.16	32.78	2.38	11.91	2.38	11.91	2.38	11.91
16	9	10	5	8.85	7.04	1.81	9.06	1.81	9.06	1.81	9.06
17	9	14	5	12.47	10.55	1.92	9.59	1.92	9.59	1.92	9.59
18	10	11	5	0.19*	1.98*	1.79	8.97	-	0.00	-1.79	-8.97
19	12	13	5	3.34*	1.40	1.94	9.69	1.94	9.69	1.94	9.69
20	13	14	5	2.65	4.49	1.84	9.22	-	0.00	-1.84	-9.22
				รวม		39.95	309.81	27.72	204.43	15.49	99.04

หมายเหตุ \* มีการไหลของกำลังไฟฟ้าย้อนกลับทิศทาง  $P_{ji}$

ผลจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณกำลังไฟฟ้าในระบบมากขึ้นตามไปด้วย จึงสามารถนำมาคิดเป็นค่าใช้จ่ายรายปีได้ตามตารางที่ 20 โดยค่าบำรุงรักษาระบบของคนกลางยังคงมีค่า 60 \$/MWmile

ตารางที่ 20 ค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 10 MW และ PF = 0.85

	$\$/\Delta MWmile \cdot Year$	$\sum \Delta MWmile$	ค่าใช้จ่ายทั้งหมด
วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด	60	309.81	18,588.60
วิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น	60	204.43	12,265.80
วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริง	60	99.04	5,942.40

ค่าใช้จ่ายรายปีที่คำนวณจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดมีค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า 18,588.60 \$/Year โดยมีกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนไปจากกรณีไม่มีการส่งผ่าน 309.81 MWmile ส่วนวิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น มีกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป 204.43 MWmile มีค่าใช้จ่ายทั้งหมด 12,265.80 \$/Year และวิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริงมีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้า 99.04 MWmile และค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า 5,942.40 \$/Year

เมื่อเพิ่มปริมาณการส่งกำลังไฟฟ้าเป็น 20 MW จะคำนวณหากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในสายส่งแต่ละเส้นได้ตามตารางที่ 21

ตารางที่ 21 กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 20 MW และ PF = 0.85

สาย ส่ง	จาก บัส <i>i</i>	ไปยัง บัส <i>j</i>	ความ ยาว (ไมล์)	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง		วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลง ทั้งหมด		วิธีคิดเฉพาะการ เปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น		วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลง จริง	
				$P_{after}$ (MW)	$P_{before}$ (MW)	$ \Delta P $	$\Delta MWmile$	$\Delta P+$	$\Delta MWmile$	$\Delta P$	$\Delta MWmile$
1	1	2	20	119.33	119.90	0.57	11.40	-	0.00	-0.57	-11.40
2	1	5	20	61.58	61.01	0.57	11.48	0.57	11.48	0.57	11.48
3	2	3	20	50.36	50.77	0.41	8.22	-	0.00	-0.41	-8.22
4	2	4	20	45.27	46.75	1.48	29.64	-	0.00	-1.48	-29.64
5	2	5	20	37.36	36.02	1.34	26.86	1.34	26.86	1.34	26.86
6	3	4	20	8.72*	8.29*	0.44	8.71	0.44	8.71	0.44	8.71
7	4	5	10	34.31*	45.77*	11.46	114.60	-	0.00	-11.46	-114.60
8	4	7	10	25.57	20.67	4.90	48.98	4.90	48.98	4.90	48.98
9	4	9	10	17.10	14.31	2.80	27.96	2.80	27.96	2.80	27.96
10	5	6	10	54.39	41.14	13.25	132.50	13.25	132.50	13.25	132.50
11	6	11	5	1.82	5.49	3.67	18.34	-	0.00	-3.67	-18.34
12	6	12	5	18.58	7.58	11.00	55.02	11.00	55.02	11.00	55.02
13	6	13	5	22.79	16.83	5.96	29.79	5.96	29.79	5.96	29.79

ตารางที่ 21 (ต่อ)

สาย ส่ง	จาก บัส <i>i</i>	ไปยัง บัส <i>j</i>	ความ ยาว (ไมล์)	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง		วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลง ทั้งหมด		วิธีคิดเฉพาะการ เปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น		วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลง จริง	
				$P_{after}$ (MW)	$P_{before}$ (MW)	$ \Delta P $	$\Delta MWmile$	$\Delta P+$	$\Delta MWmile$	$\Delta P$	$\Delta MWmile$
14	7	8	10	12.11*	12.11*	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00
15	7	9	5	37.68	32.78	4.90	24.49	4.90	24.49	4.90	24.49
16	9	10	5	10.77	7.04	3.74	18.68	3.74	18.68	3.74	18.68
17	9	14	5	14.51	10.55	3.96	19.79	3.96	19.79	3.96	19.79
18	10	11	5	1.74	1.98*	0.24	1.22	-	0.00	-0.24	-1.22
19	12	13	5	8.23*	1.40	6.83	34.14	6.83	34.14	6.83	34.14
20	13	14	5	0.66	4.49	3.83	19.14	-	0.00	-3.83	-19.14
				รวม		81.34	640.96	59.68	438.40	38.01	235.83

หมายเหตุ \* มีการไหลของกำลังไฟฟ้าย้อนกลับทิศทาง  $P_{ji}$

จากผลที่เพิ่มกำลังการส่งผ่านมากขึ้น ทำให้เกิดปริมาณของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งมากขึ้น จึงเกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณที่ส่งผ่านมากขึ้น จึงคำนวณเป็นค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านได้ตามตารางที่ 22

ตารางที่ 22 ค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 20 MW และ PF = 0.85

	$\$/\Delta MWmile \cdot Year$	$\Sigma \Delta MWmile$	ค่าใช้จ่าย ทั้งหมด
วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด	60	640.96	38,457.6
วิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น	60	438.40	26,304.00
วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริง	60	235.83	14,149.80

ผลจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าที่มากขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายในกรณีส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 20 MW และ PF = 0.85 มีค่าใช้จ่ายตามวิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด 38,457.6  $\$/Year$  ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าไป 640.96 MWmile ส่วนวิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น มีกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป 438.40 MWmile ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายทั้งหมด 26,304.00  $\$/Year$  และวิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริงมีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้า 235.83 MWmile และค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า 14,149.80  $\$/Year$

ตารางที่ 23 จะทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 30 MW ซึ่งให้ผลของกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในสายส่งแต่ละเส้น และสรุปค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดไว้ในตารางที่ 24 โดยยังคงค่าดูแลรักษาระบบของคณกลางอยู่ที่ 60  $\$/MWmile$

ตารางที่ 23 กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 30 MW และ PF = 0.85

สาย ส่ง	จาก บัส <i>i</i>	ไปยัง บัส <i>j</i>	ความ ยาว (ไมล์)	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง		วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลง ทั้งหมด		วิธีคิดเฉพาะการ เปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น		วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลง จริง	
				$P_{after}$ (MW)	$P_{before}$ (MW)	$ \Delta P $	$\Delta MWmile$	$\Delta P+$	$\Delta MWmile$	$\Delta P$	$\Delta MWmile$
1	1	2	20	118.92	119.90	0.98	19.60	-	0.00	-0.98	-19.60
2	1	5	20	62.00	61.01	0.99	19.74	0.99	19.74	0.99	19.74
3	2	3	20	50.01	50.77	0.77	15.30	-	0.00	-0.77	-15.30
4	2	4	20	44.54	46.75	2.22	44.32	-	0.00	-2.22	-44.32
5	2	5	20	38.06	36.02	2.04	40.70	2.04	40.70	2.04	40.70
6	3	4	20	9.07*	8.29*	0.78	15.59	0.78	15.59	0.78	15.59
7	4	5	10	28.49*	45.77*	17.28	172.81	-	0.00	-17.28	-172.81
8	4	7	10	28.17	20.67	7.50	74.99	7.50	74.99	7.50	74.99
9	4	9	10	18.60	14.31	4.29	42.93	4.29	42.93	4.29	42.93
10	5	6	10	61.26	41.14	20.12	201.19	20.12	201.19	20.12	201.19
11	6	11	5	0.18*	5.49	5.31	26.53	-	0.00	-5.31	-26.53
12	6	12	5	24.28	7.58	16.70	83.48	16.70	83.48	16.70	83.48
13	6	13	5	25.92	16.83	9.09	45.46	9.09	45.46	9.09	45.46

ตารางที่ 23 (ต่อ)

สาย ส่ง	จาก บัส <i>i</i>	ไปยัง บัส <i>j</i>	ความ ยาว (ไมล์)	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง		วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลง ทั้งหมด		วิธีคิดเฉพาะการ เปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น		วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลง จริง	
				$P_{after}$ (MW)	$P_{before}$ (MW)	$ \Delta P $	$\Delta MWmile$	$\Delta P+$	$\Delta MWmile$	$\Delta P$	$\Delta MWmile$
14	7	8	10	12.11*	12.11*	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00
15	7	9	5	40.28	32.78	7.50	37.50	7.50	37.50	7.50	37.50
16	9	10	5	12.76	7.04	5.73	28.64	5.73	28.64	5.73	28.64
17	9	14	5	16.61	10.55	6.06	30.32	6.06	30.32	6.06	30.32
18	10	11	5	3.72	1.98*	1.74	8.68	1.74	8.68	1.74	8.68
19	12	13	5	13.26*	1.40	11.86	59.29	11.86	59.29	11.86	59.29
20	13	14	5	1.38*	4.49	3.10	15.52	-	0.00	-3.10	-15.52
รวม						124.04	982.58	94.38	688.50	64.73	394.42

หมายเหตุ \* มีการไหลของกำลังไฟฟ้าย้อนกลับทิศทาง  $P_{ji}$

ตารางที่ 24 ค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 30 MW และ PF = 0.85

	$\$/\Delta MWmile.Year$	$\sum \Delta MWmile$	ค่าใช้จ่าย ทั้งหมด
วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด	60	982.58	58,954.80
วิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น	60	688.50	41,310.00
วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริง	60	394.42	23,665.20

ค่าใช้จ่ายทั้งหมดจากการเพิ่มปริมาณการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ามากขึ้นยังคงให้ผลของค่าใช้จ่ายคล้ายกับกรณีก่อนหน้านี้ที่แสดงให้เห็นว่าวิธีคิดค่าใช้จ่ายจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดมีค่าใช้จ่ายที่สูงที่สุด โดยการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 30 MW และ PF = 0.85 มีค่าใช้จ่าย 58,954.80  $\$/Year$  โดยมีกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนไปจากกรณีไม่มีการส่งผ่าน 982.58 MWmile ส่วนวิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นมีค่าใช้จ่ายในระดับปานกลาง ซึ่งคำนวณได้ 41,310.00  $\$/Year$  และวิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริงมีค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า 23,665.20  $\$/Year$

ผลของค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.85 แสดงผลไว้ในตารางที่ 25 และตารางที่ 26

ตารางที่ 25 กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.85

สาย ส่ง	จาก บัส <i>i</i>	ไปยัง บัส <i>j</i>	ความ ยาว (ไมล์)	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง		วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลง ทั้งหมด		วิธีคิดเฉพาะการ เปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น		วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลง จริง	
				$P_{after}$ (MW)	$P_{before}$ (MW)	$ \Delta P $	$\Delta MWmile$	$\Delta P+$	$\Delta MWmile$	$\Delta P$	$\Delta MWmile$
1	1	2	20	118.49	119.90	1.41	28.20	-	0.00	-1.41	-28.20
2	1	5	20	62.42	61.01	1.41	28.26	1.41	28.26	1.41	28.26
3	2	3	20	49.64	50.77	1.13	22.60	-	0.00	-1.13	-22.60
4	2	4	20	43.78	46.75	2.98	59.56	-	0.00	-2.98	-59.56
5	2	5	20	38.77	36.02	2.75	55.06	2.75	55.06	2.75	55.06
6	3	4	20	9.42*	8.29*	1.13	22.70	1.13	22.70	1.13	22.70
7	4	5	10	22.45*	45.77*	23.32	233.18	-	0.00	-23.32	-233.18
8	4	7	10	30.87	20.67	10.20	101.98	10.20	101.98	10.20	101.98
9	4	9	10	20.15	14.31	5.85	58.46	5.85	58.46	5.85	58.46
10	5	6	10	68.38	41.14	27.24	272.39	27.24	272.39	27.24	272.39
11	6	11	5	2.22*	5.49	3.27	16.36	-	0.00	-3.27	-16.36
12	6	12	5	30.14	7.58	22.56	112.79	22.56	112.79	22.56	112.79
13	6	13	5	29.20	16.83	12.37	61.86	12.37	61.86	12.37	61.86

ตารางที่ 25 (ต่อ)

สาย ส่ง	จาก บัส <i>i</i>	ไปยัง บัส <i>j</i>	ความ ยาว (ไมล์)	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง		วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลง ทั้งหมด		วิธีคิดเฉพาะการ เปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น		วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลง จริง	
				$P_{after}$ (MW)	$P_{before}$ (MW)	$ \Delta P $	$\Delta MWmile$	$\Delta P+$	$\Delta MWmile$	$\Delta P$	$\Delta MWmile$
14	7	8	10	12.11*	12.11*	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00
15	7	9	5	42.98	32.78	10.20	50.99	10.20	50.99	10.20	50.99
16	9	10	5	14.84	7.04	7.80	39.00	7.80	39.00	7.80	39.00
17	9	14	5	18.79	10.55	8.24	41.22	8.24	41.22	8.24	41.22
18	10	11	5	5.77	1.98*	3.79	18.96	3.79	18.96	3.79	18.96
19	12	13	5	18.45*	1.40	17.05	85.25	17.05	85.25	17.05	85.25
20	13	14	5	3.47*	4.49	1.02	5.08	-	0.00	-1.02	-5.08
				รวม		163.72	1,313.87	130.59	948.90	97.47	583.93

หมายเหตุ \* มีการไหลของกำลังไฟฟ้าย้อนกลับทิศทาง  $P_{ji}$

ตารางที่ 26 ค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.85

	$\$/\Delta MWmile.Year$	$\sum \Delta MWmile$	ค่าใช้จ่าย ทั้งหมด
วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด	60	1,313.87	78,832.20
วิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น	60	948.90	56,934.00
วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริง	60	583.93	35,035.80

ค่าใช้จ่ายที่คำนวณได้ยังคงมีค่าใช้จ่ายที่สูงสุดในวิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดซึ่งสามารถคำนวณหากำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปได้ 163.72 MW และมีค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 78,832.20  $\$/Year$  ส่วนวิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นคำนวณกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงได้ 130.59 เกิดเป็นค่าใช้จ่าย 56,934.00  $\$/Year$  และวิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริงมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด โดยคำนวณได้ 35,035.80  $\$/Year$

ตารางที่ 27 แสดงผลการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มปริมาณการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าเป็น 50 MW โดยแสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นและคำนวณค่าใช้จ่ายรายปีทั้งหมดในตารางที่ 28

ตารางที่ 27 กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.85

สาย ส่ง	จาก บัส <i>i</i>	ไปยัง บัส <i>j</i>	ความ ยาว (ไมล์)	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง		วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลง ทั้งหมด		วิธีคิดเฉพาะการ เปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น		วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลง จริง	
				$P_{after}$ (MW)	$P_{before}$ (MW)	$ \Delta P $	$\Delta MWmile$	$\Delta P+$	$\Delta MWmile$	$\Delta P$	$\Delta MWmile$
1	1	2	20	118.05	119.90	1.85	37.00	-	0.00	-1.85	-37.00
2	1	5	20	62.86	61.01	1.85	37.08	1.85	37.08	1.85	37.08
3	2	3	20	49.26	50.77	1.51	30.18	-	0.00	-1.51	-30.18
4	2	4	20	42.98	46.75	3.77	75.44	-	0.00	-3.77	-75.44
5	2	5	20	39.52	36.02	3.50	70.08	3.50	70.08	3.50	70.08
6	3	4	20	9.79*	8.29*	1.50	30.09	1.50	30.09	1.50	30.09
7	4	5	10	16.16*	45.77*	29.61	296.13	-	0.00	-29.61	-296.13
8	4	7	10	33.69	20.67	13.01	130.14	13.01	130.14	13.01	130.14
9	4	9	10	21.77	14.31	7.47	74.66	7.47	74.66	7.47	74.66
10	5	6	10	75.80	41.14	34.66	346.60	34.66	346.60	34.66	346.60
11	6	11	5	4.33	5.49	1.15	5.77	-	0.00	-1.15	-5.77
12	6	12	5	36.20	7.58	28.62	143.09	28.62	143.09	28.62	143.09
13	6	13	5	32.65	16.83	15.82	79.12	15.82	79.12	15.82	79.12

ตารางที่ 27 (ต่อ)

สาย ส่ง	จาก บัส <i>i</i>	ไปยัง บัส <i>j</i>	ความ ยาว (ไมล์)	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง		วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลง ทั้งหมด		วิธีคิดเฉพาะการ เปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น		วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลง จริง	
				$P_{after}$ (MW)	$P_{before}$ (MW)	$ \Delta P $	$\Delta MWmile$	$\Delta P+$	$\Delta MWmile$	$\Delta P$	$\Delta MWmile$
14	7	8	10	12.11*	12.11*	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00
15	7	9	5	45.79	32.78	13.01	65.07	13.01	65.07	13.01	65.07
16	9	10	5	17.01	7.04	9.97	49.84	9.97	49.84	9.97	49.84
17	9	14	5	21.06	10.55	10.51	52.56	10.51	52.56	10.51	52.56
18	10	11	5	7.92	1.98*	5.94	29.69	5.94	29.69	5.94	29.69
19	12	13	5	23.84*	1.40	22.43	112.16	22.43	112.16	22.43	112.16
20	13	14	5	5.64*	4.49	1.15	5.73	1.15	5.73	1.15	5.73
รวม						207.35	1,670.42	169.45	1,225.90	131.56	781.38

หมายเหตุ \* มีการไหลของกำลังไฟฟ้าย้อนกลับทิศทาง  $P_{ji}$

ตารางที่ 28 ค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.85

	$\$/\Delta MWmile.Year$	$\sum \Delta MWmile$	ค่าใช้จ่าย ทั้งหมด
วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด	60	1,670.42	100,225.47
วิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น	60	1,225.90	73,554.12
วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริง	60	781.38	46,882.77

จากผลที่ได้ในตารางที่ 28 มีค่าใช้จ่ายทั้งหมดโดยคิดจากผลต่างของกำลังไฟฟ้าต่อไมล์แบบวิธีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดยังคงมีค่าใช้จ่ายในราคาที่สูงที่สุดโดยมีค่าใช้จ่าย 100,225.47 \$/Year และวิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นมีค่าใช้จ่าย 73,554.12 \$/Year ส่วนวิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริงยังคงมีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดซึ่งมีค่าใช้จ่าย 46,882.77 \$/Year

เมื่อทำการปรับตัวประกอบกำลังให้สูงขึ้นจะเกิดการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปโดยสามารถแสดงกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปได้ในตารางที่ 29

ตารางที่ 29 กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.95

สาย ส่ง	จาก บัส <i>i</i>	ไปยัง บัส <i>j</i>	ความ ยาว (ไมล์)	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง		วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลง ทั้งหมด		วิธีคิดเฉพาะการ เปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น		วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลง จริง	
				$P_{after}$ (MW)	$P_{before}$ (MW)	$ \Delta P $	$\Delta MWmile$	$\Delta P+$	$\Delta MWmile$	$\Delta P$	$\Delta MWmile$
1	1	2	20	118.51	119.90	1.39	27.80	-	0.00	-1.39	-27.80
2	1	5	20	62.40	61.01	1.39	27.82	1.39	27.82	1.39	27.82
3	2	3	20	49.66	50.77	1.11	22.24	-	0.00	-1.11	-22.24
4	2	4	20	43.82	46.75	2.93	58.64	-	0.00	-2.93	-58.64
5	2	5	20	38.73	36.02	2.71	54.22	2.71	54.22	2.71	54.22
6	3	4	20	9.40*	8.29*	1.12	22.34	1.12	22.34	1.12	22.34
7	4	5	10	22.81*	45.77*	22.96	229.64	-	0.00	-22.96	-229.64
8	4	7	10	30.73	20.67	10.06	100.60	10.06	100.60	10.06	100.60
9	4	9	10	20.08	14.31	5.77	57.69	5.77	57.69	5.77	57.69
10	5	6	10	67.97	41.14	26.83	268.25	26.83	268.25	26.83	268.25
11	6	11	5	2.19*	5.49	3.30	16.50	-	0.00	-3.30	-16.50
12	6	12	5	30.69	7.58	23.11	115.54	23.11	115.54	23.11	115.54
13	6	13	5	28.21	16.83	11.38	56.91	11.38	56.91	11.38	56.91

ตารางที่ 29 (ต่อ)

สาย ส่ง	จาก บัส <i>i</i>	ไปยัง บัส <i>j</i>	ความ ยาว (ไมล์)	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง		วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลง ทั้งหมด		วิธีคิดเฉพาะการ เปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น		วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลง จริง	
				$P_{after}$ (MW)	$P_{before}$ (MW)	$ \Delta P $	$\Delta MWmile$	$\Delta P+$	$\Delta MWmile$	$\Delta P$	$\Delta MWmile$
14	7	8	10	12.11*	12.11*	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00
15	7	9	5	42.84	32.78	10.06	50.30	10.06	50.30	10.06	50.30
16	9	10	5	14.81	7.04	7.77	38.85	7.77	38.85	7.77	38.85
17	9	14	5	18.61	10.55	8.06	40.29	8.06	40.29	8.06	40.29
18	10	11	5	5.74	1.98*	3.76	18.81	3.76	18.81	3.76	18.81
19	12	13	5	17.40*	1.40	15.99	79.97	15.99	79.97	15.99	79.97
20	13	14	5	3.30*	4.49	1.19	5.94	-	0.00	-1.19	-5.94
				รวม		160.89	1,292.33	128.01	931.58	95.12	570.83

หมายเหตุ \* มีการไหลของกำลังไฟฟ้าย้อนกลับทิศทาง  $P_{ji}$

เมื่อได้ผลต่างของกำลังไฟฟ้าต่อไมล์ของแต่ละวิธีแล้วนำมาคิดค่าใช้จ่ายด้วยวิธี Line by Line โดยกำหนดให้ค่าใช้จ่ายรายปีสำหรับการส่งกำลังไฟฟ้า 60 \$/MWmile แล้วคำนวณตามสมการที่ (10) ได้ผลดังในตารางที่ 30

ตารางที่ 30 ค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.95

	$\$/\Delta MWmile \cdot Year$	$\sum \Delta MWmile$	ค่าใช้จ่าย ทั้งหมด
วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด	60	1,292.33	77,539.80
วิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น	60	931.58	55,894.80
วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริง	60	570.83	34,249.80

จากผลดังกล่าวพบว่าวิธีการคิดค่าใช้จ่ายจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดยังคงมีค่าใช้จ่ายที่สูงที่สุดโดยมีค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 77,539.80 \$/Year และวิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นมีค่าใช้จ่ายทั้งหมด 55,894.80 \$/Year ส่วนวิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริงยังคงให้ค่าใช้จ่ายที่ถูกที่สุดโดยมีค่าใช้จ่ายทั้งสิ้น 34,249.80 \$/Year

ตารางที่ 31 แสดงกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในสายส่งแต่ละเส้นเพื่อนำมาคิดค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าที่แสดงในตารางที่ 32

ตารางที่ 31 กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.95

สายส่ง	จากบัส <i>i</i>	ไปยังบัส <i>j</i>	ความยาว (ไมล์)	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง		วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด		วิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น		วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริง	
				$P_{after}$ (MW)	$P_{before}$ (MW)	$ \Delta P $	$\Delta MWmile$	$\Delta P+$	$\Delta MWmile$	$\Delta P$	$\Delta MWmile$
1	1	2	20	118.09	119.90	1.81	36.20	-	0.00	-1.81	-36.20
2	1	5	20	62.82	61.01	1.82	36.30	1.82	36.30	1.82	36.30
3	2	3	20	49.29	50.77	1.48	29.54	-	0.00	-1.48	-29.54
4	2	4	20	43.06	46.75	3.70	73.90	-	0.00	-3.70	-73.90
5	2	5	20	39.45	36.02	3.43	68.64	3.43	68.64	3.43	68.64
6	3	4	20	9.76*	8.29*	1.47	29.45	1.47	29.45	1.47	29.45
7	4	5	10	16.76*	45.77*	29.01	290.12	-	0.00	-29.01	-290.12
8	4	7	10	33.45	20.67	12.78	127.78	12.78	127.78	12.78	127.78
9	4	9	10	21.64	14.31	7.33	73.33	7.33	73.33	7.33	73.33
10	5	6	10	75.10	41.14	33.96	339.56	33.96	339.56	33.96	339.56
11	6	11	5	4.25*	5.49	1.24	6.20	-	0.00	-1.24	-6.20
12	6	12	5	36.76	7.58	29.18	145.90	29.18	145.90	29.18	145.90
13	6	13	5	31.31	16.83	14.48	72.38	14.48	72.38	14.48	72.38

ตารางที่ 31 (ต่อ)

สาย ส่ง	จาก บัส <i>i</i>	ไปยัง บัส <i>j</i>	ความ ยาว (ไมล์)	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง		วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลง ทั้งหมด		วิธีคิดเฉพาะการ เปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น		วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลง จริง	
				$P_{after}$ (MW)	$P_{before}$ (MW)	$ \Delta P $	$\Delta MWmile$	$\Delta P+$	$\Delta MWmile$	$\Delta P$	$\Delta MWmile$
14	7	8	10	12.11*	12.11*	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00
15	7	9	5	45.56	32.78	12.78	63.89	12.78	63.89	12.78	63.89
16	9	10	5	16.91	7.04	9.88	49.38	9.88	49.38	9.88	49.38
17	9	14	5	20.78	10.55	10.23	51.17	10.23	51.17	10.23	51.17
18	10	11	5	7.83	1.98*	5.85	29.24	5.85	29.24	5.85	29.24
19	12	13	5	22.40*	1.40	20.99	104.97	20.99	104.97	20.99	104.97
20	13	14	5	118.09	119.90	1.81	4.44	-	4.44	-1.81	4.44
				รวม		202.30	1,632.40	165.06	1,196.44	127.83	760.47

หมายเหตุ \* มีการไหลของกำลังไฟฟ้าย้อนกลับทิศทาง  $P_{ji}$

ตารางที่ 32 ค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.95

	$\$/\Delta MWmile.Year$	$\sum \Delta MWmile$	ค่าใช้จ่าย ทั้งหมด
วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด	60	1,632.40	97,944.00
วิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น	60	1,196.44	71,786.40
วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริง	60	760.47	45,628.20

ค่าใช้จ่ายรายปีที่คำนวณจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดมีค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า 97,944.00  $\$/Year$  โดยมีกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนไปจากกรณีไม่มีการส่งผ่าน 202.30 MWmile ส่วนวิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น มีกำลังไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป 165.06 MWmile มีค่าใช้จ่ายทั้งหมด 71,786.40  $\$/Year$  และวิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริงมีการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้า 127.83 MWmile และค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า 45,628.20  $\$/Year$

ตารางที่ 23 แสดงกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ PF = 0.95 โดยแสดงกำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในสายส่งแต่ละเส้น

ตารางที่ 33 กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ PF = 0.95

สายส่ง	จากบัส <i>i</i>	ไปยังบัส <i>j</i>	ความยาว (ไมล์)	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง		วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด		วิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น		วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริง	
				$P_{after}$ (MW)	$P_{before}$ (MW)	$ \Delta P $	$\Delta MWmile$	$\Delta P+$	$\Delta MWmile$	$\Delta P$	$\Delta MWmile$
1	1	2	20	117.65	119.90	2.25	45.00	-	0.00	-2.25	-45.00
2	1	5	20	63.26	61.01	2.25	45.02	2.25	45.02	2.25	45.02
3	2	3	20	48.92	50.77	1.85	37.04	-	0.00	-1.85	-37.04
4	2	4	20	42.27	46.75	4.49	89.70	-	0.00	-4.49	-89.70
5	2	5	20	40.20	36.02	4.18	83.56	4.18	83.56	4.18	83.56
6	3	4	20	10.13*	8.29*	1.84	36.77	1.84	36.77	1.84	36.77
7	4	5	10	10.51*	45.77*	35.26	352.63	-	0.00	-35.26	-352.63
8	4	7	10	36.26	20.67	15.59	155.91	15.59	155.91	15.59	155.91
9	4	9	10	23.26	14.31	8.95	89.52	8.95	89.52	8.95	89.52
10	5	6	10	82.47	41.14	41.32	413.23	41.32	413.23	41.32	413.23
11	6	11	5	6.37*	5.49	0.88	4.42	0.88	4.42	0.88	4.42
12	6	12	5	42.99	7.58	35.41	177.04	35.41	177.04	35.41	177.04
13	6	13	5	34.54	16.83	17.71	88.53	17.71	88.53	17.71	88.53

ตารางที่ 33 (ต่อ)

สาย ส่ง	จาก บัส <i>i</i>	ไปยัง บัส <i>j</i>	ความ ยาว (ไมล์)	กำลังไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลง		วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลง ทั้งหมด		วิธีคิดเฉพาะการ เปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น		วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลง จริง	
				$P_{after}$ (MW)	$P_{before}$ (MW)	$ \Delta P $	$\Delta MWmile$	$\Delta P+$	$\Delta MWmile$	$\Delta P$	$\Delta MWmile$
14	7	8	10	12.11*	12.11*	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00
15	7	9	5	48.37	32.78	15.59	77.95	15.59	77.95	15.59	77.95
16	9	10	5	19.10	7.04	12.06	60.31	12.06	60.31	12.06	60.31
17	9	14	5	23.03	10.55	12.48	62.40	12.48	62.40	12.48	62.40
18	10	11	5	9.99	1.98*	8.01	40.05	8.01	40.05	8.01	40.05
19	12	13	5	27.55*	1.40	26.14	130.71	26.14	130.71	26.14	130.71
20	13	14	5	7.51*	4.49	3.02	15.11	3.02	15.11	3.02	15.11
รวม						249.29	2,004.90	205.44	1,480.53	161.59	956.16

หมายเหตุ \* มีการไหลของกำลังไฟฟ้าย้อนกลับทิศทาง  $P_{ji}$

เมื่อนำมาคิดค่าใช้จ่ายตามผลต่างของกำลังไฟฟ้าต่อไมล์ของแต่ละวิธีโดยกำหนดให้ค่าใช้จ่ายรายปีสำหรับการส่งกำลังไฟฟ้า 60 \$/MWmile แล้วนำมาคำนวณตามสมการที่ (10) จะได้ผลการคำนวณที่ได้ยังคงมีลักษณะคล้ายกันทุกกรณีที่ผ่านมาที่มีราคาสูงในวิธีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดและลดลงตามวิธีต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 25

ตารางที่ 34 ค่าใช้จ่ายสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ PF = 0.95

	$\$/\Delta MWmile \cdot Year$	$\sum \Delta MWmile$	ค่าใช้จ่าย ทั้งหมด
วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด	60	2,004.90	120,294.00
วิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น	60	1,480.53	88,831.80
วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริง	60	956.16	57,369.60

วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดสำหรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ PF = 0.95 ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายทั้งหมด 120,294.00 \$/Year และวิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้นมีค่าใช้จ่าย 88,831.80 \$/Year ส่วนวิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริงมีค่าใช้จ่าย 57,369.60 \$/Year

## สรุปผลงานวิจัย

ในงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษาความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าและคำนวณค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า โดยใช้ระบบของ *IEEE 14 BUS* เป็นระบบคนกลาง โดยเริ่มจากการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม (optimal power flow) ก่อนทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

การวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสม (optimal power flow) ของระบบคนกลางทำให้เกิดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจากผู้ผลิตไปยังโหลดผู้ใช้ไฟฟ้าโดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการผลิตกำลังไฟฟ้าน้อยที่สุดและการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจะต้องดำเนินการได้ ซึ่งหมายถึงขนาดของสายส่งมีความสามารถมากพอในการส่งขนาดกำลังไฟฟ้าที่คำนวณได้ และระดับแรงดันอยู่ในพิสัยที่ตั้งไว้ โดยผลที่ได้จากการทดสอบทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าทั้งหมดในระบบ 8,092 \$/hr โดยมีกำลังการผลิตทั้งหมดในระบบ 267.16 MW 63.42 MVar และเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมด 8.16 MW 35.03 MVar

เมื่อทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าและวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน โดยส่งกำลังไฟฟ้าเข้ามาในระบบที่บัส 4 และดึงกำลังไฟฟ้าออกที่บัส 12 พบว่ากำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านเข้ามาก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ โดยขนาดของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งแต่ละเส้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของแรงดันและมุมเฟสในแต่ละบัส ซึ่งการคำนวณด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสันทำให้ได้ขนาดของแรงดันและมุมเฟสในแต่ละบัสที่สามารถส่งกำลังไฟฟ้าไปตามโหลดต่างๆ โดยกำลังไฟฟ้าที่ผ่านเข้ามาจะถูกจัดสรรไปตามสายส่งเส้นต่างๆที่เชื่อมต่ออยู่เพื่อผ่านไปยังผู้ซื้อ

จากการจัดการการส่งกำลังไฟฟ้าขึ้นใหม่ จะพบว่ากำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านเข้ามาในระบบคนกลางไม่ได้เป็นปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ส่งให้กับผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าโดยตรง แต่จะจัดให้เป็นกำลังไฟฟ้าปริมาณใหม่ที่เพิ่มเข้ามาในระบบ แล้วระบบคนกลางจะจัดการการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดในระบบ โดยมีบัสผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าเป็นโหลดที่มีความต้องการไฟฟ้าเพิ่มขึ้นมา ซึ่งถ้าผู้ขายกำลังไฟฟ้าอยู่ห่างจากผู้ซื้อกำลังไฟฟ้ามก ทำให้กำลังไฟฟ้าจากผู้ขายถูกนำไปใช้ในบัสข้างเคียงก่อน แล้วกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ในระบบคนกลางเดิมจะส่งกำลังไฟฟ้าไปยังบัสผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าแทน

ในงานวิจัยพบว่าเมื่อทำการส่งผ่านปริมาณกำลังไฟฟ้ามากขึ้นทำให้ซับซ้อนหลายทางในการรับกำลังไฟฟ้ามีระดับแรงดันลดลง ซึ่งยกตัวอย่างในกรณีทำการส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW PF = 0.85 แรงดันในบัสที่ 12 มีขนาดต่ำกว่าพิกัดของระบบ จึงทำให้ระบบคนกลางไม่สามารถทำการส่งผ่านในกรณีนี้ได้ แต่เมื่อปรับตัวประกอบกำลังให้มีขนาดสูงขึ้นสามารถช่วยให้เกิดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW ได้

เมื่อทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ามากขึ้น จะทำให้การไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นมีปริมาณสูงขึ้นจึงเกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบมากขึ้นตามไปด้วยดังแสดงในตารางที่ 35 แต่เมื่อได้รับการแก้ตัวประกอบกำลังทำให้กำลังไฟฟ้าในระบบลดลงไปด้วย

ตารางที่ 35 กำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบ

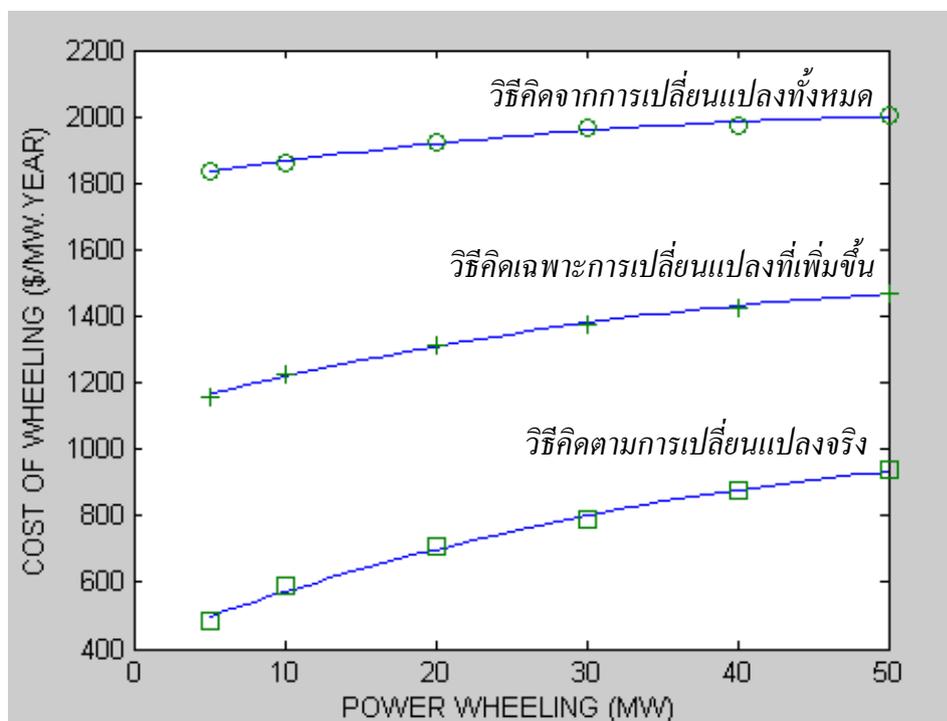
	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย ( $I^2R$ )	
	P (MW)	Q (MVA <sub>r</sub> )
ส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.85	11.292	52.14
ส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.85	13.119	59.93
ส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.95	10.663	50.57
ส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.95	12.047	57.22
ส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ PF = 0.95	13.829	65.30

ในการคิดค่าส่งผ่านกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีการคิดแบบ Line-By-Line ทำให้ระบบไฟฟ้าคนกลางมีรายได้เพิ่มขึ้น โดยสามารถสรุปผลค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้ในตารางที่ 36

ตารางที่ 36 สรุปค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

	วิธีคิดจากการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด		วิธีคิดเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น		วิธีคิดตามการเปลี่ยนแปลงจริง	
	\$/Year	\$/MW·Year	\$/Year	\$/MW·Year	\$/Year	\$/MW·Year
ส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 5 MW และ PF = 0.85	9,164.40	1,832.88	5,803.20	1,160.64	2,442.00	488.40
ส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 10 MW และ PF = 0.85	18,588.60	1,858.86	12,265.80	1,226.58	5,942.40	594.24
ส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 20 MW และ PF = 0.85	38,457.60	1,922.88	26,304.00	1,315.20	14,149.80	707.49
ส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 30 MW และ PF = 0.85	58,954.80	1,965.16	41,310.00	1,377.00	23,665.20	788.84
ส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.85	78,832.20	1,970.81	56,934.00	1,423.35	35,035.80	875.90
ส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.85	100,225.47	2,004.51	73,554.12	1,471.08	46,882.77	937.66
ส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.95	77,539.80	1,938.49	55,894.80	1,397.37	34,249.80	856.24
ส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.95	97,944.00	1,958.88	71,786.40	1,435.73	45,628.20	912.56
ส่งกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ PF = 0.95	120,294.00	2,004.90	88,831.80	1,480.53	57,369.60	956.16

นำผลที่ได้จากการคิดค่าส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในกรณีต้องการ  $PF = 0.85$  มาสร้าง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าต่อ 1 MW กับปริมาณในการส่งผ่าน กำลังไฟฟ้า ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ผลของค่าใช้จ่ายในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าที่  $PF = 0.85$

จากผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นสามารถสรุปผลและประมาณค่าด้วยสมการ โพลี โนเมียล หรือพหุนามกำลัง  $n$  ใดๆ ตามวิธีคิดค่าใช้จ่ายแต่ละวิธีเพื่อหาอัตราค่าใช้จ่ายในการส่งผ่าน กำลังไฟฟ้าที่จะเรียกเก็บค่าใช้จ่ายจากลูกค้าได้ดังนี้

วิธีการคิดค่าส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแบบการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด (Absolute  $\Delta MW_{mile}$  method) มีผลตอบแทนในการยินยอมให้ส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแก่ระบบคนกลางสูงที่สุด แต่ไม่ค่อย เป็นธรรมนักสำหรับผู้ซื้อและผู้ขายกำลังไฟฟ้า เนื่องจากวิธีดังกล่าวมีการคิดค่าใช้จ่ายจากอัตราการ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้น โดยไม่คำนึงถึงผลประโยชน์ที่ได้จาก การเปลี่ยนแปลงการไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งเส้นที่มีปริมาณกำลังไฟฟ้าลดลง แต่วิธีคิดคือ เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงและคิดเป็นผลกำไรของระบบที่จะต้องได้รับค่าชดเชย ซึ่ง ตามจริงแล้วการลดกำลังไฟฟ้าที่ไหลผ่านนี้ก็กลับเป็นการช่วยยืดอายุของอุปกรณ์ไฟฟ้าให้ใช้ได้นาน มากขึ้น เพราะก่อให้เกิดการเสื่อมของอุปกรณ์ไฟฟ้าช้าลง โดยสามารถคำนวณค่าใช้จ่ายได้ดังนี้

$$\$ = -0.062487P^2 + 7.0406P + 1803 \quad (14)$$

เมื่อ  $P$  คือ ปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ทำการส่งผ่าน

วิธีการคิดค่าใช้จ่ายแบบการเปลี่ยนแปลงที่เพิ่มขึ้น (Positive only  $\Delta MW_{mile}$  method) เป็นวิธีที่เป็นธรรมชาติระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย เนื่องจากเป็นวิธีคิดที่นำปริมาณการไหลของกำลังไฟฟ้าในส่วนของกำลังไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นเท่านั้นมาคิดเป็นค่าใช้จ่าย ที่จะเรียกเก็บจากผู้ซื้อและผู้ขายกำลังไฟฟ้า โดยมีค่าใช้จ่ายดังนี้

$$\$ = -0.092864P^2 + 11.736P + 1111.2 \quad (15)$$

วิธีการคิดค่าส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแบบการเปลี่ยนแปลงตามจริง (Positive/Negative flow change method) จะให้ค่าตอบแทนสำหรับระบบคนกลางน้อยที่สุด เนื่องจากวิธีดังกล่าวมีการเสียค่าใช้จ่ายคืนให้กับระบบของผู้ซื้อและผู้ขายเมื่อกำลังไฟฟ้าในสายส่งมีการเปลี่ยนกำลังไฟฟ้าลดลง ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายของระบบจะต้องเสียเปล่า คิดค่าใช้จ่ายได้ดังนี้

$$\$ = -0.1223P^2 + 16.378P + 419.76 \quad (16)$$

เมื่อทำการปรับตัวประกอบกำลัง (PF) ของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้าให้มีขนาดมากขึ้น ทำให้ขนาดความต้องการกำลังไฟฟ้านี้แอกทีฟมีค่าน้อยลง ผลจากการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าทำให้ทราบว่า การลดขนาดของกำลังไฟฟ้านี้แอกทีฟลงช่วยให้สามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าได้มากขึ้น นอกจากนี้การไหลของกำลังไฟฟ้าในสายส่งแต่ละเส้นมีปริมาณลดลงกว่าในกรณีทำการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในปริมาณเท่ากันแต่ตัวประกอบกำลัง (PF) น้อยกว่า จึงทำให้กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (loss) ลดลงตามไปด้วย

จากความต้องการกำลังไฟฟ้านี้แอกทีฟของผู้ซื้อกำลังไฟฟ้า ส่งผลให้เกิดการไหลของกำลังไฟฟ้าที่มากเกินไป และก่อให้เกิดกำลังสูญเสียมากขึ้นตามไปด้วย จึงควรติดตั้งตัวประกอบกำลังชนิดนำหน้ามาช่วยจ่ายกำลังไฟฟ้านี้แอกทีฟให้กับโหลด เพื่อลดกำลังสูญเสียที่ไม่จำเป็นในระบบออกไป

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

- ปานจิต ดำรงกุลกำจร. 2543. เอกสารประกอบการสอนวิชา **Computer Method in Power System Analysis**. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- Wei-Jen Lee, C. H. Lin and Larry D, Swift. 2001. Wheeling Charge Under a Deregulated Environment. **IEEE Transactions on Industry Applications**, Vol. 37, No. 1: 178-183.
- H. H. Happ. 1991. Cost of Wheeling Methodogeis. **IEEE Transactions on Power Systems**, Vol. 9, No. 1: 147-156.
- 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 systems**, Vol. 7, No. 1: 201-207.
- A. A. El-Keib and X. Ma. 1997. Calculating Short-Run Marginal Costs of Active and Reactive Power Production. **IEEE Transaction on Power systems**, Vol. 12, No. 2: 559-565.
- Maxwall Muchayi and El-Hawary, M. E. 1998. Wheeling Rates Evaluation Using Optimal Power Flows. **IEEE Canadian Conference**.
- Maxwall Muchayi and El-Hawary, M. E. 1997. A Method for Optimal Pricing of Electric Supply Including Transmission System Considerations. **IEEE Canadian Conference**.
- Y. Z. Li and A. K. David. 1994. Optimal Multi-Area Wheeling. **IEEE Transactions on Power Systems**. Vol. 9, No. 1: 288-294.
- Allen J. Wood and Bruce F. Wollenberg. 1996. **Power Generation Operation and Control**. John Wiley & Sons. Inc., New York..

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

รายละเอียดของระบบจำลอง *IEEE 14 BUS*

ตารางผนวกที่ 1 ข้อมูลของบัสในระบบจำลอง IEEE 14 BUS

Bus No.	Bus type	Load		Shunt	Shunt	Voltage		Rating	
		P (pu)	Q (pu)	conductance (Gs)	susceptance (Bs)	(pu)	(degree)	$V_{max}$ (pu)	$V_{min}$ (pu)
1	Reference	0	0	0	0	1.06	0	1.06	0.94
2	Gen	21.7	12.7	0	0	1.045	-4.98	1.06	0.94
3	Gen	94.2	19	0	0	1.01	-12.72	1.06	0.94
4	Load	47.8	-3.9	0	0	1.019	-10.33	1.06	0.94
5	Load	7.6	1.6	0	0	1.02	-8.78	1.06	0.94
6	Gen	11.2	7.5	0	0	1.07	-14.22	1.06	0.94
7	Load	0	0	0	0	1.062	-13.37	1.06	0.94
8	Gen	0	0	0	0	1.09	-13.36	1.06	0.94
9	Load	29.5	16.6	0	19	1.056	-14.94	1.06	0.94
10	Load	9	5.8	0	0	1.051	-15.1	1.06	0.94
11	Load	3.5	1.8	0	0	1.057	-14.79	1.06	0.94
12	Load	6.1	1.6	0	0	1.055	-15.07	1.06	0.94
13	Load	13.5	5.8	0	0	1.05	-15.16	1.06	0.94
14	Load	14.9	5	0	0	1.036	-16.04	1.06	0.94

ตารางผนวกที่ 2 ข้อมูลของสายส่งในระบบจำลอง IEEE 14 BUS

<i>Line No.</i>	<i>From bus</i>	<i>To bus</i>	<i>Length (mile)</i>	<i>Resistance (R) (pu)</i>	<i>Reactance (X) (pu)</i>	<i>line charging (B) (pu)</i>	<i>Rating (MVA)</i>
1	1	2	20	0.01938	0.05917	0.0528	120
2	1	5	20	0.05403	0.22304	0.0492	120
3	2	3	20	0.04699	0.19797	0.0438	90
4	2	4	20	0.05811	0.17632	0.034	90
5	2	5	20	0.05695	0.17388	0.0346	90
6	3	4	20	0.06701	0.17103	0.0128	90
7	4	5	10	0.01335	0.04211	0	90
8	4	7	10	0	0.20912	0	90
9	4	9	10	0	0.55618	0	90
10	5	6	10	0	0.25202	0	90
11	6	11	5	0.09498	0.1989	0	90
12	6	12	5	0.12291	0.25581	0	90
13	6	13	5	0.06615	0.13027	0	90
14	7	8	10	0	0.17615	0	90
15	7	9	5	0	0.11001	0	90
16	9	10	5	0.03181	0.0845	0	90
17	9	14	5	0.12711	0.27038	0	90
18	10	11	5	0.08205	0.19207	0	90
19	12	13	5	0.22092	0.19988	0	90
20	13	14	5	0.17093	0.34802	0	90

ตารางผนวกที่ 3 ข้อมูลของเครื่องผลิตไฟฟ้าในระบบ IEEE 14 BUS

Bus No.	Rating				Cost function		
	$P_{max}$ (MW)	$P_{min}$ (MW)	$Q_{max}$ (MVar)	$Q_{min}$ (MVar)	$C_2$	$C_1$	$C_0$
1	332.4	0	10	0	0.0430293	20	0
2	140	0	50	-40	0.25	20	0
3	100	0	40	0	0.01	40	0
6	100	0	24	-6	0.01	40	0
8	100	0	24	-6	0.01	40	0

เมื่อค่า  $C_0$ ,  $C_1$  และ  $C_2$  คือค่าสัมประสิทธิ์ของฟังก์ชันค่าใช้จ่ายในการผลิต ดังสมการ

$$\$ = C_0 + C_1P + C_2P^2$$

**ภาคผนวก ข**  
**รายละเอียดผลลัพธ์ของกรณีศึกษา**

ผลการไหลของกำลังไฟฟ้าอย่างเหมาะสมของระบบคนกลางในกรณีไม่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า

Objective Function Value = 8092.26 \$/hr

System Summary			
How many?		How much?	
Buses	14	Total Gen Capacity	772.4
Generators	5	On-line Capacity	772.4
Committed Gens	5	Generation (actual)	267.2
Loads	11	Load	259.0
Fixed	11	Fixed	259.0
Dispatchable	0	Dispatchable	0.0 of 0.0
Shunts	1	Shunt (inj)	0.0
Branches	20	Losses (I <sup>2</sup> * Z)	8.16
Transformers	3	Branch Charging (inj)	-
Inter-ties	0	Total Inter-tie Flow	0.0
Areas	1		

	Minimum	Maximum
Voltage Magnitude	1.016 p.u. @ bus 4	1.060 p.u. @ bus 1
Voltage Angle	-13.62 deg @ bus 14	-0.00 deg @ bus 1
P Losses (I <sup>2</sup> *R)	-	2.48 MW @ line 1-2
Q Losses (I <sup>2</sup> *X)	-	7.57 MVar @ line 1-2
Lambda P	35.57 \$/Mwh @ bus 1	41.26 \$/Mwh @ bus 14
Lambda Q	-0.00 \$/Mwh @ bus 2	0.57 \$/Mwh @ bus 14

Bus Data								
Bus #	Voltage		Generation		Load		Lambda(\$/MVA-hr)	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)	P	Q
1	1.060	-0.000	180.91	1.43	-	-	35.569	-
2	1.041	-3.704	37.82	20.37	21.70	12.70	38.910	-
3	1.018	-9.081	36.32	22.86	94.20	19.00	40.726	-
4	1.016	-8.131	-	-	47.80	-3.90	40.292	0.150
5	1.018	-6.988	-	-	7.60	1.60	39.674	0.260
6	1.060	-12.128	-0.00	10.94	11.20	7.50	39.804	-
7	1.047	-10.409	-	-	-	-	40.245	0.127
8	1.060	-9.308	12.11	7.82	-	-	40.242	-
9	1.045	-12.298	-	-	29.50	16.60	40.225	0.198
10	1.040	-12.558	-	-	9.00	5.80	40.377	0.310
11	1.046	-12.472	-	-	3.50	1.80	40.219	0.228
12	1.045	-12.961	-	-	6.10	1.60	40.452	0.213
13	1.040	-13.002	-	-	13.50	5.80	40.644	0.353
14	1.025	-13.625	-	-	14.90	5.00	41.260	0.572
Total:			267.16	63.42	259.00	73.50		

Branch Data								
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus		To Bus		Loss (I <sup>2</sup> * Z)	
			P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1	2	119.90	-4.79	-117.42	6.53	2.480	7.57
2	1	5	61.01	6.22	-59.18	-3.98	1.829	7.55
3	2	3	50.77	0.12	-49.65	-0.05	1.120	4.72
4	2	4	46.75	-0.51	-45.58	0.47	1.172	3.56
5	2	5	36.02	1.53	-35.33	-3.09	0.688	2.10
6	3	4	-8.23	3.91	8.29	-5.09	0.057	0.15
7	4	5	-45.49	11.04	45.77	-10.15	0.283	0.89
8	4	7	20.67	-3.75	-20.67	4.61	0.000	0.86
9	4	9	14.31	1.23	-14.31	-0.18	0.000	1.04
10	5	6	41.14	15.62	-41.14	-11.53	0.000	4.09
11	6	11	5.53	4.57	-5.49	-4.48	0.044	0.09
12	6	12	7.58	2.67	-7.51	-2.52	0.071	0.15
13	6	13	16.83	7.72	-16.63	-7.33	0.202	0.40
14	7	8	-12.11	-7.50	12.11	7.82	0.000	0.33
15	7	9	32.78	2.89	-32.78	-1.80	0.000	1.09
16	9	10	7.04	3.19	-7.02	-3.14	0.017	0.05
17	9	14	10.55	2.94	-10.41	-2.64	0.140	0.30
18	10	11	-1.98	-2.66	1.99	2.68	0.008	0.02
19	12	13	1.41	0.92	-1.40	-0.92	0.006	0.01
20	13	14	4.53	2.45	-4.49	-2.36	0.042	0.09
Total:							8.159	35.03

Voltage Constraints					
Bus #	Vmin mu	Vmin	V	Vmax	Vmax mu
1	-	0.940	1.060	1.060	461.429
6	-	0.940	1.060	1.060	89.200
8	-	0.940	1.060	1.060	75.728

Generation Constraints						
Gen #	Bus #	Active Power Limits				
		Pmin mu	Pmin	Pg	Pmax	Pmax mu
4	6	0.196	0.00	-0.00	100.00	-

Branch Flow Constraints							
Brnch #	From Bus	"From" End		Limit  Smax	"To" End		To Bus
		Sf  mu	Sf		St	St  mu	
1	1	2.174	120.00	120.00	117.61	-	2

ผลการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 5 MW และ PF = 0.85

System Summary			
How many?	How much?	P (MW)	Q (MVar)
Buses	16	Total Gen Capacity	872.4
Generators	6	On-line Capacity	872.4
Committed Gens	6	Generation (actual)	272.3
Loads	12	Load	264.0
Fixed	12	Fixed	264.0
Dispatchable	0	Dispatchable	0.0 of 0.0
Shunts	1	Shunt (inj)	0.0
Branches	22	Losses (I <sup>2</sup> * Z)	8.33
Transformers	3	Branch Charging (inj)	-
Inter-ties	0	Total Inter-tie Flow	0.0
Areas	1		
		Minimum	Maximum
Voltage Magnitude	1.000 p.u. @ bus 15	1.060 p.u. @ bus 6	
Voltage Angle	-6.04 deg @ bus 14	7.84 deg @ bus 1	
P Losses (I <sup>2</sup> *R)	-	2.48 MW @ line 1-2	
Q Losses (I <sup>2</sup> *X)	-	7.63 MVar @ line 1-5	

Bus Data						
Bus #	Voltage		Generation		Load	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.060	7.841	180.91	3.62	-	-
2	1.041	4.137	37.82	27.26	21.70	12.70
3	1.018	-1.252	36.32	27.12	94.20	19.00
4	1.009	-0.147	-	-	47.80	-3.90
5	1.013	0.888	-	-	7.60	1.60
6	1.060	-4.697	-0.00	18.20	11.20	7.50
7	1.044	-2.576	-	-	-	-
8	1.060	-1.472	12.11	9.69	-	-
9	1.042	-4.542	-	-	29.50	16.60
10	1.038	-4.859	-	-	9.00	5.80
11	1.045	-4.904	-	-	3.50	1.80
12	1.036	-5.743	-	-	6.10	1.60
13	1.038	-5.627	-	-	13.50	5.80
14	1.022	-6.040	-	-	14.90	5.00
15	1.000	0.000	5.17	-17.69	-	-
16	1.034	-5.876	-	-	5.00	3.10
Total:			272.33	68.20	264.00	76.60

Branch Data								
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus		To Bus		Loss (I <sup>2</sup> * Z)	
			P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1	2	119.93	-4.79	-117.45	6.54	2.481	7.58
2	1	5	60.98	8.42	-59.13	-6.07	1.848	7.63
3	2	3	50.87	0.11	-49.75	-0.02	1.124	4.74
4	2	4	46.33	3.70	-45.16	-3.73	1.167	3.54
5	2	5	36.37	4.21	-35.65	-5.68	0.714	2.18
6	3	4	-8.13	8.13	8.22	-9.21	0.093	0.24
7	4	5	-42.46	4.30	42.70	-3.54	0.239	0.75
8	4	7	21.83	-5.73	-21.83	6.73	0.000	1.00
9	4	9	14.95	0.41	-14.95	0.73	0.000	1.15
10	5	6	44.48	13.70	-44.48	-9.08	0.000	4.62
11	6	11	4.67	5.56	-4.62	-5.46	0.045	0.09
12	6	12	10.31	5.15	-10.16	-4.84	0.145	0.30
13	6	13	18.31	9.07	-18.07	-8.59	0.246	0.48
14	7	8	-12.11	-9.31	12.11	9.69	0.000	0.38
15	7	9	33.93	2.59	-33.93	-1.42	0.000	1.17
16	9	10	7.91	2.21	-7.89	-2.16	0.020	0.05
17	9	14	11.47	2.50	-11.31	-2.16	0.161	0.34
18	10	11	-1.11	-3.64	1.12	3.66	0.011	0.03
19	12	13	-0.94	0.13	0.94	-0.13	0.002	0.00
20	13	14	3.63	2.91	-3.59	-2.84	0.034	0.07
21	15	4	5.17	-17.69	-5.17	17.86	0.000	0.17
22	12	16	5.00	3.11	-5.00	-3.10	0.000	0.02
Total:							8.331	36.53

ผลการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 10 MW และ PF = 0.85

System Summary										
How many?		How much?		P (MW)		Q (MVar)				
Buses	16	Total Gen Capacity		872.4		-52.0 to 158.0				
Generators	6	On-line Capacity		872.4		-52.0 to 158.0				
Committed Gens	6	Generation (actual)		277.5		72.6				
Loads	12	Load		269.0		79.7				
Fixed	12	Fixed		269.0		79.7				
Dispatchable	0	Dispatchable		0.0 of 0.0		0.0				
Shunts	1	Shunt (inj)		0.0		20.6				
Branches	22	Losses (I <sup>2</sup> *Z)		8.49		37.85				
Transformers	3	Branch Charging (inj)		-		24.3				
Inter-ties	0	Total Inter-tie Flow		0.0		0.0				
Areas	1									
		Minimum		Maximum						
Voltage Magnitude		1.000 p.u. @ bus 15		1.060 p.u. @ bus 1						
Voltage Angle		-6.85 deg @ bus 16		7.65 deg @ bus 1						
P Losses (I <sup>2</sup> *R)		-		2.47 MW @ line 1-2						
Q Losses (I <sup>2</sup> *X)		-		7.68 MVar @ line 1-5						
Bus Data										
Bus #	Voltage		Generation		Load					
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)				
1	1.060	7.653	180.91	3.79	-	-				
2	1.041	3.955	37.82	27.36	21.70	12.70				
3	1.018	-1.415	36.32	27.10	94.20	19.00				
4	1.009	-0.293	-	-	47.80	-3.90				
5	1.013	0.677	-	-	7.60	1.60				
6	1.060	-5.320	-0.00	22.53	11.20	7.50				
7	1.044	-2.859	-	-	-	-				
8	1.060	-1.755	12.11	9.62	-	-				
9	1.042	-4.895	-	-	29.50	16.60				
10	1.038	-5.259	-	-	9.00	5.80				
11	1.046	-5.414	-	-	3.50	1.80				
12	1.027	-6.582	-	-	6.10	1.60				
13	1.035	-6.315	-	-	13.50	5.80				
14	1.021	-6.540	-	-	14.90	5.00				
15	1.000	0.000	10.33	-17.79	-	-				
16	1.024	-6.854	-	-	10.00	6.20				
Total:			277.49	72.61	269.00	79.70				
Branch Data										
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	To Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	Loss (I <sup>2</sup> *Z)			
							P (MW)	Q (MVar)		
1	1	2	119.73	-4.74	-117.26	6.47	2.473	7.55		
2	1	5	61.18	8.54	-59.32	-6.14	1.861	7.68		
3	2	3	50.70	0.13	-49.59	-0.07	1.117	4.71		
4	2	4	45.98	3.75	-44.83	-3.84	1.150	3.49		
5	2	5	36.69	4.31	-35.97	-5.74	0.727	2.22		
6	3	4	-8.29	8.17	8.39	-9.24	0.095	0.24		
7	4	5	-39.74	4.27	39.95	-3.60	0.209	0.66		
8	4	7	23.06	-5.70	-23.06	6.81	0.000	1.11		
9	4	9	15.66	0.42	-15.66	0.84	0.000	1.26		
10	5	6	47.74	13.88	-47.74	-8.61	0.000	5.28		
11	6	11	3.73	5.89	-3.69	-5.81	0.041	0.09		
12	6	12	13.03	7.62	-12.78	-7.10	0.249	0.52		
13	6	13	19.78	10.12	-19.49	-9.55	0.291	0.57		
14	7	8	-12.11	-9.24	12.11	9.62	0.000	0.37		
15	7	9	35.16	2.43	-35.16	-1.18	0.000	1.25		
16	9	10	8.85	1.89	-8.82	-1.82	0.024	0.06		
17	9	14	12.47	2.49	-12.28	-2.09	0.189	0.40		
18	10	11	-0.18	-3.98	0.19	4.01	0.012	0.03		
19	12	13	-3.32	-0.76	3.34	0.78	0.024	0.02		
20	13	14	2.65	2.96	-2.62	-2.91	0.025	0.05		
21	15	4	10.33	-17.79	-10.33	18.00	0.000	0.21		
22	12	16	10.00	6.26	-10.00	-6.20	0.000	0.07		
Total:							8.489	37.85		

ผลการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 20 MW และ PF = 0.85

System Summary									
How many?		How much?		P (MW)		Q (MVAR)			
Buses	16	Total Gen Capacity		872.4		-52.0 to 158.0			
Generators	6	On-line Capacity		872.4		-52.0 to 158.0			
Committed Gens	6	Generation (actual)		288.0		82.3			
Loads	12	Load		279.0		85.9			
Fixed	12	Fixed		279.0		85.9			
Dispatchable	0	Dispatchable		0.0 of 0.0		0.0			
Shunts	1	Shunt (inj)		0.0		20.7			
Branches	22	Losses (I <sup>2</sup> *Z)		9.04		41.32			
Transformers	3	Branch Charging (inj)		-		24.3			
Inter-ties	0	Total Inter-tie Flow		0.0		0.0			
Areas	1								
		Minimum				Maximum			
Voltage Magnitude		1.000 p.u. @ bus 15		1.060 p.u. @ bus 1					
Voltage Angle		-8.87 deg @ bus 16		7.27 deg @ bus 1					
P Losses (I <sup>2</sup> *R)		-		2.46 MW @ line 1-2					
Q Losses (I <sup>2</sup> *X)		-		7.79 MVAR @ line 1-5					
Bus Data									
Bus #	Voltage		Generation		Load				
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)			
1	1.060	7.267	180.91	4.17	-	-			
2	1.041	3.582	37.82	27.60	21.70	12.70			
3	1.018	-1.749	36.32	27.07	94.20	19.00			
4	1.009	-0.593	-	-	47.80	-3.90			
5	1.012	0.246	-	-	7.60	1.60			
6	1.060	-6.595	-0.00	31.78	11.20	7.50			
7	1.044	-3.438	-	-	-	-			
8	1.060	-2.334	12.11	9.50	-	-			
9	1.043	-5.619	-	-	29.50	16.60			
10	1.039	-6.080	-	-	9.00	5.80			
11	1.046	-6.458	-	-	3.50	1.80			
12	1.008	-8.298	-	-	6.10	1.60			
13	1.031	-7.723	-	-	13.50	5.80			
14	1.019	-7.562	-	-	14.90	5.00			
15	1.000	0.000	20.89	-17.87	-	-			
16	1.002	-8.865	-	-	20.00	12.39			
Total:			288.04	82.26	279.00	85.89			
Branch Data									
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus Injection		To Bus Injection		Loss (I <sup>2</sup> *Z)		
			P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)	
1	1	2	119.33	-4.64	-116.87	6.31	2.457	7.50	
2	1	5	61.58	8.81	-59.69	-6.30	1.888	7.79	
3	2	3	50.36	0.18	-49.26	-0.18	1.102	4.64	
4	2	4	45.27	3.88	-44.15	-4.07	1.116	3.39	
5	2	5	37.36	4.53	-36.61	-5.87	0.755	2.30	
6	3	4	-8.62	8.25	8.72	-9.32	0.099	0.25	
7	4	5	-34.16	4.23	34.31	-3.74	0.155	0.49	
8	4	7	25.57	-5.64	-25.57	6.99	0.000	1.35	
9	4	9	17.10	0.44	-17.10	1.06	0.000	1.50	
10	5	6	54.39	14.31	-54.39	-7.55	0.000	6.76	
11	6	11	1.82	6.61	-1.78	-6.52	0.040	0.08	
12	6	12	18.58	12.85	-18.02	-11.69	0.558	1.16	
13	6	13	22.79	12.37	-22.39	-11.60	0.396	0.78	
14	7	8	-12.11	-9.13	12.11	9.50	0.000	0.37	
15	7	9	37.68	2.14	-37.68	-0.71	0.000	1.44	
16	9	10	10.77	1.21	-10.74	-1.12	0.034	0.09	
17	9	14	14.51	2.50	-14.26	-1.96	0.253	0.54	
18	10	11	1.74	-4.68	-1.72	4.72	0.019	0.04	
19	12	13	-8.08	-2.58	8.23	2.73	0.156	0.14	
20	13	14	0.66	3.07	-0.64	-3.04	0.016	0.03	
21	15	4	20.89	-17.87	-20.89	18.25	0.000	0.38	
22	12	16	20.00	12.67	-20.00	-12.39	0.000	0.28	
Total:							9.045	41.32	

ผลการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 30 MW และ PF = 0.85

System Summary									
How many?		How much?		P (MW)		Q (MVAR)			
Buses	16	Total Gen Capacity		872.4		-52.0 to 158.0			
Generators	6	On-line Capacity		872.4		-52.0 to 158.0			
Committed Gens	6	Generation (actual)		299.0		93.1			
Loads	12	Load		289.0		92.1			
Fixed	12	Fixed		289.0		92.1			
Dispatchable	0	Dispatchable		0.0 of 0.0		0.0			
Shunts	1	Shunt (inj)		0.0		20.7			
Branches	22	Losses (I <sup>2</sup> * Z)		9.96		46.02			
Transformers	3	Branch Charging (inj)		-		24.3			
Inter-ties	0	Total Inter-tie Flow		0.0		0.0			
Areas	1								
		Minimum				Maximum			
Voltage Magnitude		0.978 p.u. @ bus 16				1.060 p.u. @ bus 1			
Voltage Angle		-10.96 deg @ bus 16				6.87 deg @ bus 1			
P Losses (I <sup>2</sup> *R)		-				2.44 MW @ line 1-2			
Q Losses (I <sup>2</sup> *X)		-				8.51 MVAR @ line 5-6			
Bus Data									
Bus #	Voltage		Generation		Load				
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)			
1	1.060	6.867	180.91	4.58	-	-			
2	1.041	3.196	37.82	27.93	21.70	12.70			
3	1.018	-2.096	36.32	27.08	94.20	19.00			
4	1.009	-0.903	-	-	47.80	-3.90			
5	1.011	-0.200	-	-	7.60	1.60			
6	1.060	-7.916	-0.00	41.93	11.20	7.50			
7	1.045	-4.037	-	-	-	-			
8	1.060	-2.933	12.11	9.43	-	-			
9	1.043	-6.367	-	-	29.50	16.60			
10	1.039	-6.928	-	-	9.00	5.80			
11	1.046	-7.539	-	-	3.50	1.80			
12	0.988	-10.070	-	-	6.10	1.60			
13	1.026	-9.177	-	-	13.50	5.80			
14	1.017	-8.617	-	-	14.90	5.00			
15	1.000	0.000	31.80	-17.80	-	-			
16	0.978	-10.959	-	-	30.00	18.59			
Total:			298.96	93.14	289.00	92.09			
Branch Data									
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus P (MW)	Injection Q (MVAR)	To Bus P (MW)	Injection Q (MVAR)	Loss (I <sup>2</sup> * Z)		
							P (MW)	Q (MVAR)	
1	1	2	118.92	-4.53	-116.48	6.15	2.440	7.45	
2	1	5	62.00	9.11	-60.08	-6.48	1.916	7.91	
3	2	3	50.01	0.23	-48.92	-0.30	1.087	4.58	
4	2	4	44.54	4.04	-43.46	-4.34	1.082	3.28	
5	2	5	38.05	4.80	-37.27	-6.05	0.784	2.39	
6	3	4	-8.96	8.37	9.07	-9.42	0.105	0.27	
7	4	5	-28.38	4.24	28.49	-3.90	0.108	0.34	
8	4	7	28.17	-5.54	-28.17	7.16	0.000	1.62	
9	4	9	18.60	0.50	-18.60	1.28	0.000	1.78	
10	5	6	61.26	14.83	-61.26	-6.32	0.000	8.51	
11	6	11	-0.14	7.39	0.18	-7.30	0.046	0.10	
12	6	12	24.28	18.50	-23.26	-16.37	1.019	2.12	
13	6	13	25.92	14.87	-25.40	-13.83	0.526	1.04	
14	7	8	-12.11	-9.06	12.11	9.43	0.000	0.37	
15	7	9	40.28	1.90	-40.28	-0.26	0.000	1.64	
16	9	10	12.76	0.51	-12.72	-0.38	0.048	0.13	
17	9	14	16.61	2.56	-16.28	-1.85	0.330	0.70	
18	10	11	3.72	-5.42	-3.68	5.50	0.033	0.08	
19	12	13	-12.84	-4.47	13.26	4.85	0.419	0.38	
20	13	14	-1.36	3.19	1.38	-3.15	0.020	0.04	
21	15	4	31.80	-17.80	-31.80	18.46	0.000	0.66	
22	12	16	30.00	19.24	-30.00	-18.59	0.000	0.65	
Total:							9.960	46.02	

ผลการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.85

System Summary									
How many?		How much?		P (MW)		Q (MVAR)			
Buses	16	Total Gen Capacity		872.4		-52.0 to 158.0			
Generators	6	On-line Capacity		872.4		-52.0 to 158.0			
Committed Gens	6	Generation (actual)		310.3		105.5			
Loads	12	Load		299.0		98.3			
Fixed	12	Fixed		299.0		98.3			
Dispatchable	0	Dispatchable		0.0 of 0.0		0.0			
Shunts	1	Shunt (inj)		0.0		20.7			
Branches	22	Losses (I <sup>2</sup> * Z)		11.29		52.14			
Transformers	3	Branch Charging (inj)		-		24.3			
Inter-ties	0	Total Inter-tie Flow		0.0		0.0			
Areas	1								
		Minimum				Maximum			
Voltage Magnitude		0.953 p.u. @ bus 16		1.060 p.u. @ bus 1					
Voltage Angle		-13.15 deg @ bus 16		6.45 deg @ bus 1					
P Losses (I <sup>2</sup> *R)		-		2.42 MW @ line 1-2					
Q Losses (I <sup>2</sup> *X)		-		10.54 MVAR @ line 5-6					
Bus Data									
Bus #	Voltage		Generation		Load				
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)			
1	1.060	6.451	180.91	5.04	-	-			
2	1.041	2.795	37.82	28.33	21.70	12.70			
3	1.018	-2.457	36.32	27.11	94.20	19.00			
4	1.009	-1.225	-	-	47.80	-3.90			
5	1.010	-0.663	-	-	7.60	1.60			
6	1.060	-9.289	-0.00	53.12	11.20	7.50			
7	1.045	-4.659	-	-	-	-			
8	1.060	-3.556	12.11	9.41	-	-			
9	1.044	-7.145	-	-	29.50	16.60			
10	1.039	-7.810	-	-	9.00	5.80			
11	1.047	-8.662	-	-	3.50	1.80			
12	0.967	-11.908	-	-	6.10	1.60			
13	1.020	-10.686	-	-	13.50	5.80			
14	1.015	-9.711	-	-	14.90	5.00			
15	1.000	0.000	43.13	-17.56	-	-			
16	0.953	-13.151	-	-	40.00	24.79			
Total:			310.29	105.46	299.00	98.29			
Branch Data									
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus P (MW)	Injection Q (MVAR)	To Bus P (MW)	Injection Q (MVAR)	Loss (I <sup>2</sup> * Z)		
							P (MW)	Q (MVAR)	
1	1	2	118.49	-4.42	-116.07	5.99	2.422	7.39	
2	1	5	62.42	9.46	-60.48	-6.71	1.946	8.03	
3	2	3	49.64	0.28	-48.57	-0.41	1.071	4.51	
4	2	4	43.78	4.25	-42.73	-4.64	1.047	3.18	
5	2	5	38.77	5.11	-37.96	-6.27	0.815	2.49	
6	3	4	-9.31	8.53	9.42	-9.56	0.111	0.28	
7	4	5	-22.38	4.29	22.45	-4.08	0.068	0.21	
8	4	7	30.87	-5.41	-30.87	7.34	0.000	1.93	
9	4	9	20.15	0.58	-20.15	1.50	0.000	2.09	
10	5	6	68.38	15.45	-68.38	-4.91	0.000	10.54	
11	6	11	-2.16	8.26	2.22	-8.13	0.062	0.13	
12	6	12	30.14	24.63	-28.48	-21.18	1.657	3.45	
13	6	13	29.20	17.64	-28.52	-16.29	0.685	1.35	
14	7	8	-12.11	-9.04	12.11	9.41	0.000	0.37	
15	7	9	42.98	1.70	-42.98	0.17	0.000	1.87	
16	9	10	14.84	-0.23	-14.77	0.40	0.064	0.17	
17	9	14	18.79	2.66	-18.37	-1.76	0.420	0.89	
18	10	11	5.77	-6.20	-5.72	6.33	0.054	0.13	
19	12	13	-17.62	-6.42	18.45	7.18	0.832	0.75	
20	13	14	-3.44	3.31	3.47	-3.24	0.037	0.08	
21	15	4	43.13	-17.56	-43.13	18.64	0.000	1.08	
22	12	16	40.00	26.01	-40.00	-24.79	0.000	1.22	
Total:							11.292	52.14	

ผลการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.85

System Summary										
How many?		How much?		P (MW)		Q (MVar)				
Buses	16	Total Gen Capacity		872.4		-52.0 to 158.0				
Generators	6	On-line Capacity		872.4		-52.0 to 158.0				
Committed Gens	6	Generation (actual)		322.1		119.4				
Loads	12	Load		309.0		104.5				
Fixed	12	Fixed		309.0		104.5				
Dispatchable	0	Dispatchable		0.0 of 0.0		0.0				
Shunts	1	Shunt (inj)		0.0		20.7				
Branches	22	Losses (I <sup>2</sup> * Z)		13.12		59.93				
Transformers	3	Branch Charging (inj)		-		24.3				
Inter-ties	0	Total Inter-tie Flow		0.0		0.0				
Areas	1									
		Minimum				Maximum				
Voltage Magnitude		0.927 p.u. @ bus 16		1.060 p.u. @ bus 1						
Voltage Angle		-15.46 deg @ bus 16		6.02 deg @ bus 1						
P Losses (I <sup>2</sup> *R)		-		2.51 MW @ line 6-12						
Q Losses (I <sup>2</sup> *X)		-		12.91 MVar @ line 5-6						
Bus Data										
Bus #	Voltage		Generation		Load					
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)				
1	1.060	6.017	180.91	5.56	-	-				
2	1.041	2.375	37.82	28.84	21.70	12.70				
3	1.018	-2.835	36.32	27.19	94.20	19.00				
4	1.009	-1.561	-	-	47.80	-3.90				
5	1.009	-1.146	-	-	7.60	1.60				
6	1.060	-10.726	-0.00	65.53	11.20	7.50				
7	1.044	-5.309	-	-	-	-				
8	1.060	-4.206	12.11	9.45	-	-				
9	1.044	-7.957	-	-	29.50	16.60				
10	1.040	-8.733	-	-	9.00	5.80				
11	1.047	-9.837	-	-	3.50	1.80				
12	0.944	-13.823	-	-	6.10	1.60				
13	1.014	-12.261	-	-	13.50	5.80				
14	1.012	-10.852	-	-	14.90	5.00				
15	1.000	0.000	54.96	-17.12	-	-				
16	0.927	-15.461	-	-	50.00	30.99				
Total:			322.12	119.44	309.00	104.49				
Branch Data										
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	To Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	Loss (I <sup>2</sup> * Z)			
							P (MW)	Q (MVar)		
1	1	2	118.05	-4.31	-115.65	5.82	2.404	7.34		
2	1	5	62.86	9.86	-60.89	-6.97	1.977	8.16		
3	2	3	49.26	0.34	-48.21	-0.54	1.055	4.44		
4	2	4	42.98	4.49	-41.97	-5.00	1.012	3.07		
5	2	5	39.52	5.49	-38.67	-6.53	0.849	2.59		
6	3	4	-9.67	8.72	9.79	-9.74	0.117	0.30		
7	4	5	-16.12	4.40	16.16	-4.28	0.037	0.12		
8	4	7	33.69	-5.24	-33.69	7.53	0.000	2.28		
9	4	9	21.77	0.70	-21.77	1.74	0.000	2.43		
10	5	6	75.80	16.19	-75.80	-3.28	0.000	12.91		
11	6	11	-4.25	9.21	4.33	-9.03	0.087	0.18		
12	6	12	36.20	31.36	-33.69	-26.14	2.509	5.22		
13	6	13	32.65	20.74	-31.77	-19.00	0.881	1.73		
14	7	8	-12.11	-9.08	12.11	9.45	0.000	0.37		
15	7	9	45.79	1.55	-45.79	0.57	0.000	2.12		
16	9	10	17.00	-1.01	-16.92	1.23	0.085	0.22		
17	9	14	21.06	2.81	-20.54	-1.69	0.527	1.12		
18	10	11	7.92	-7.03	-7.83	7.23	0.085	0.20		
19	12	13	-22.41	-8.47	23.84	9.75	1.424	1.29		
20	13	14	-5.56	3.45	5.64	-3.31	0.071	0.14		
21	15	4	54.96	-17.12	-54.96	18.78	0.000	1.66		
22	12	16	50.00	33.00	-50.00	-30.99	0.000	2.01		
Total:							13.119	59.93		

ผลการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ PF = 0.85

System Summary									
How many?		How much?		P (MW)		Q (MVAR)			
Buses	16	Total Gen Capacity		872.4		-52.0 to 158.0			
Generators	6	On-line Capacity		872.4		-52.0 to 158.0			
Committed Gens	6	Generation (actual)		334.5		135.4			
Loads	12	Load		319.0		110.7			
Fixed	12	Fixed		319.0		110.7			
Dispatchable	0	Dispatchable		0.0 of 0.0		0.0			
Shunts	1	Shunt (inj)		0.0		20.7			
Branches	22	Losses (I <sup>2</sup> *Z)		15.55		69.71			
Transformers	3	Branch Charging (inj)		-		24.3			
Inter-ties	0	Total Inter-tie Flow		0.0		0.0			
Areas	1								
		Minimum				Maximum			
Voltage Magnitude		0.898 p.u. @ bus 16				1.060 p.u. @ bus 1			
Voltage Angle		-17.92 deg @ bus 16				5.56 deg @ bus 1			
P Losses (I <sup>2</sup> *R)		-				3.62 MW @ line 6-12			
Q Losses (I <sup>2</sup> *X)		-				15.68 MVAR @ line 5-6			
Bus Data									
Bus #	Voltage		Generation		Load				
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)			
1	1.060	5.559	180.91	6.13	-	-			
2	1.041	1.932	37.82	29.45	21.70	12.70			
3	1.018	-3.233	36.32	27.30	94.20	19.00			
4	1.009	-1.914	-	-	47.80	-3.90			
5	1.008	-1.654	-	-	7.60	1.60			
6	1.060	-12.240	-0.00	79.44	11.20	7.50			
7	1.044	-5.993	-	-	-	-			
8	1.060	-4.890	12.11	9.55	-	-			
9	1.044	-8.813	-	-	29.50	16.60			
10	1.040	-9.704	-	-	9.00	5.80			
11	1.047	-11.076	-	-	3.50	1.80			
12	0.919	-15.833	-	-	6.10	1.60			
13	1.008	-13.918	-	-	13.50	5.80			
14	1.009	-12.050	-	-	14.90	5.00			
15	1.000	0.000	67.39	-16.46	-	-			
16	0.898	-17.918	-	-	60.00	37.18			
Total:			334.55	135.42	319.00	110.68			
Branch Data									
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus P (MW)	Injection Q (MVAR)	To Bus P (MW)	Injection Q (MVAR)	Loss (I <sup>2</sup> *Z)		
							P (MW)	Q (MVAR)	
1	1	2	117.59	-4.19	-115.21	5.64	2.385	7.28	
2	1	5	63.32	10.32	-61.31	-7.29	2.010	8.30	
3	2	3	48.87	0.39	-47.83	-0.66	1.038	4.37	
4	2	4	42.15	4.79	-41.17	-5.40	0.976	2.96	
5	2	5	40.31	5.93	-39.43	-6.86	0.886	2.70	
6	3	4	-10.05	8.97	10.18	-9.96	0.125	0.32	
7	4	5	-9.53	4.56	9.55	-4.52	0.015	0.05	
8	4	7	36.64	-5.03	-36.64	7.71	0.000	2.69	
9	4	9	23.47	0.86	-23.47	1.97	0.000	2.83	
10	5	6	83.59	17.07	-83.59	-1.39	0.000	15.68	
11	6	11	-6.43	10.28	6.55	-10.02	0.124	0.26	
12	6	12	42.50	38.80	-38.88	-31.26	3.623	7.54	
13	6	13	36.32	24.24	-35.19	-22.03	1.122	2.21	
14	7	8	-12.11	-9.18	12.11	9.55	0.000	0.37	
15	7	9	48.75	1.47	-48.75	0.93	0.000	2.40	
16	9	10	19.29	-1.84	-19.18	2.13	0.110	0.29	
17	9	14	23.43	3.04	-22.78	-1.65	0.651	1.39	
18	10	11	10.18	-7.93	-10.05	8.22	0.126	0.30	
19	12	13	-27.22	-10.61	29.45	12.64	2.233	2.02	
20	13	14	-7.76	3.60	7.88	-3.35	0.123	0.25	
21	15	4	67.39	-16.46	-67.39	18.87	0.000	2.41	
22	12	16	60.00	40.28	-60.00	-37.18	0.000	3.09	
Total:							15.549	69.71	

ผลการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 40 MW และ PF = 0.95

System Summary									
How many?		How much?		P (MW)		Q (MVar)			
Buses	16	Total Gen Capacity		872.4		-52.0 to 158.0			
Generators	6	On-line Capacity		872.4		-52.0 to 158.0			
Committed Gens	6	Generation (actual)		309.7		92.2			
Loads	12	Load		299.0		86.6			
Fixed	12	Fixed		299.0		86.6			
Dispatchable	0	Dispatchable		0.0 of 0.0		0.0			
Shunts	1	Shunt (inj)		0.0		20.7			
Branches	22	Losses (I <sup>2</sup> *Z)		10.66		50.57			
Transformers	3	Branch Charging (inj)		-		24.3			
Inter-ties	0	Total Inter-tie Flow		0.0		0.0			
Areas	1								
		Minimum				Maximum			
Voltage Magnitude	0.978 p.u. @ bus 16			1.060 p.u. @ bus 8					
Voltage Angle	-13.57 deg @ bus 16			6.48 deg @ bus 1					
P Losses (I <sup>2</sup> *R)	-			2.42 MW @ line 1-2					
Q Losses (I <sup>2</sup> *X)	-			10.42 MVar @ line 5-6					
Bus Data									
Bus #	Voltage		Generation		Load				
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)			
1	1.060	6.476	180.91	4.99	-	-			
2	1.041	2.819	37.82	28.22	21.70	12.70			
3	1.018	-2.435	36.32	27.06	94.20	19.00			
4	1.009	-1.207	-	-	47.80	-3.90			
5	1.010	-0.636	-	-	7.60	1.60			
6	1.060	-9.209	-0.00	40.56	11.20	7.50			
7	1.045	-4.624	-	-	-	-			
8	1.060	-3.521	12.11	9.12	-	-			
9	1.045	-7.098	-	-	29.50	16.60			
10	1.040	-7.758	-	-	9.00	5.80			
11	1.047	-8.596	-	-	3.50	1.80			
12	0.985	-12.381	-	-	6.10	1.60			
13	1.027	-10.684	-	-	13.50	5.80			
14	1.018	-9.680	-	-	14.90	5.00			
15	1.000	0.000	42.50	-17.75	-	-			
16	0.978	-13.569	-	-	40.00	13.15			
Total:			309.66	92.20	299.00	86.65			
Branch Data									
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	To Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	Loss (I <sup>2</sup> *Z)		
							P (MW)	Q (MVar)	
1	1	2	118.51	-4.43	-116.09	6.00	2.423	7.40	
2	1	5	62.40	9.42	-60.46	-6.67	1.944	8.02	
3	2	3	49.66	0.28	-48.59	-0.41	1.072	4.52	
4	2	4	43.82	4.18	-42.77	-4.58	1.049	3.18	
5	2	5	38.73	5.06	-37.92	-6.22	0.813	2.48	
6	3	4	-9.29	8.47	9.40	-9.50	0.110	0.28	
7	4	5	-22.74	4.37	22.81	-4.15	0.070	0.22	
8	4	7	30.73	-5.61	-30.73	7.53	0.000	1.92	
9	4	9	20.08	0.41	-20.08	1.66	0.000	2.07	
10	5	6	67.97	15.44	-67.97	-5.02	0.000	10.42	
11	6	11	-2.13	8.03	2.19	-7.90	0.058	0.12	
12	6	12	30.69	16.86	-29.35	-14.07	1.341	2.79	
13	6	13	28.21	13.20	-27.64	-12.07	0.571	1.12	
14	7	8	-12.11	-8.76	12.11	9.12	0.000	0.36	
15	7	9	42.84	1.23	-42.84	0.62	0.000	1.85	
16	9	10	14.81	-0.01	-14.74	0.18	0.064	0.17	
17	9	14	18.61	1.87	-18.20	-1.01	0.407	0.87	
18	10	11	5.74	-5.98	-5.69	6.10	0.052	0.12	
19	12	13	-16.75	-1.61	17.40	2.19	0.645	0.58	
20	13	14	-3.26	4.08	3.30	-3.99	0.044	0.09	
21	15	4	42.50	-17.75	-42.50	18.81	0.000	1.06	
22	12	16	40.00	14.07	-40.00	-13.15	0.000	0.93	
Total:							10.663	50.57	

ผลการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 50 MW และ PF = 0.95

System Summary									
How many?		How much?		P (MW)		Q (MVar)			
Buses	16	Total Gen Capacity		872.4		-52.0 to 158.0			
Generators	6	On-line Capacity		872.4		-52.0 to 158.0			
Committed Gens	6	Generation (actual)		321.0		102.1			
Loads	12	Load		309.0		89.9			
Fixed	12	Fixed		309.0		89.9			
Dispatchable	0	Dispatchable		0.0 of 0.0		0.0			
Shunts	1	Shunt (inj)		0.0		20.8			
Branches	22	Losses (I <sup>2</sup> *Z)		12.05		57.22			
Transformers	3	Branch Charging (inj)		-		24.3			
Inter-ties	0	Total Inter-tie Flow		0.0		0.0			
Areas	1								
		Minimum				Maximum			
Voltage Magnitude		0.959 p.u. @ bus 16		1.060 p.u. @ bus 1					
Voltage Angle		-15.93 deg @ bus 16		6.06 deg @ bus 1					
P Losses (I <sup>2</sup> *R)		-		2.41 MW @ line 1-2					
Q Losses (I <sup>2</sup> *X)		-		12.68 MVar @ line 5-6					
Bus Data									
Bus #	Voltage		Generation		Load				
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)			
1	1.060	6.058	180.91	5.47	-	-			
2	1.041	2.415	37.82	28.68	21.70	12.70			
3	1.018	-2.798	36.32	27.11	94.20	19.00			
4	1.009	-1.530	-	-	47.80	-3.90			
5	1.009	-1.100	-	-	7.60	1.60			
6	1.060	-10.589	-0.00	49.17	11.20	7.50			
7	1.045	-5.250	-	-	-	-			
8	1.060	-4.147	12.11	9.08	-	-			
9	1.045	-7.879	-	-	29.50	16.60			
10	1.041	-8.644	-	-	9.00	5.80			
11	1.047	-9.725	-	-	3.50	1.80			
12	0.968	-14.383	-	-	6.10	1.60			
13	1.022	-12.221	-	-	13.50	5.80			
14	1.017	-10.787	-	-	14.90	5.00			
15	1.000	0.000	53.89	-17.39	-	-			
16	0.959	-15.925	-	-	50.00	16.43			
Total:			321.05	102.13	309.00	89.93			
Branch Data									
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	To Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	Loss (I <sup>2</sup> *Z)		
							P (MW)	Q (MVar)	
1	1	2	118.09	-4.32	-115.68	5.83	2.406	7.34	
2	1	5	62.82	9.79	-60.85	-6.92	1.974	8.15	
3	2	3	49.29	0.33	-48.24	-0.53	1.056	4.45	
4	2	4	43.06	4.40	-42.04	-4.90	1.015	3.08	
5	2	5	39.45	5.41	-38.61	-6.47	0.845	2.58	
6	3	4	-9.64	8.64	9.76	-9.66	0.116	0.30	
7	4	5	-16.72	4.49	16.76	-4.36	0.039	0.12	
8	4	7	33.45	-5.50	-33.45	7.76	0.000	2.26	
9	4	9	21.64	0.48	-21.64	1.93	0.000	2.40	
10	5	6	75.10	16.15	-75.10	-3.47	0.000	12.68	
11	6	11	-4.17	8.89	4.25	-8.72	0.082	0.17	
12	6	12	36.76	21.26	-34.79	-17.16	1.973	4.11	
13	6	13	31.31	14.99	-30.60	-13.59	0.709	1.40	
14	7	8	-12.11	-8.72	12.11	9.08	0.000	0.36	
15	7	9	45.56	0.96	-45.56	1.13	0.000	2.09	
16	9	10	16.91	-0.71	-16.83	0.93	0.083	0.22	
17	9	14	20.78	1.81	-20.28	-0.73	0.506	1.08	
18	10	11	7.83	-6.73	-7.75	6.92	0.081	0.19	
19	12	13	-21.31	-2.38	22.40	3.36	1.084	0.98	
20	13	14	-5.30	4.43	5.38	-4.27	0.078	0.16	
21	15	4	53.89	-17.39	-53.89	19.00	0.000	1.60	
22	12	16	50.00	17.94	-50.00	-16.43	0.000	1.51	
Total:							12.047	57.22	

ผลการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 60 MW และ PF = 0.95

System Summary										
How many?		How much?		P (MW)		Q (MVar)				
Buses	16	Total Gen Capacity		872.4		-52.0 to 158.0				
Generators	6	On-line Capacity		872.4		-52.0 to 158.0				
Committed Gens	6	Generation (actual)		332.8		113.5				
Loads	12	Load		319.0		93.2				
Fixed	12	Fixed		319.0		93.2				
Dispatchable	0	Dispatchable		0.0 of 0.0		0.0				
Shunts	1	Shunt (inj)		0.0		20.8				
Branches	22	Losses (I <sup>2</sup> *Z)		13.83		65.30				
Transformers	3	Branch Charging (inj)		-		24.3				
Inter-ties	0	Total Inter-tie Flow		0.0		0.0				
Areas	1									
		Minimum				Maximum				
Voltage Magnitude		0.939 p.u. @ bus 16		1.060 p.u. @ bus 1						
Voltage Angle		-18.38 deg @ bus 16		5.62 deg @ bus 1						
P Losses (I <sup>2</sup> *R)		-		2.77 MW @ line 6-12						
Q Losses (I <sup>2</sup> *X)		-		15.26 MVar @ line 5-6						
Bus Data										
Bus #	Voltage		Generation		Load					
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)				
1	1.060	5.625	180.91	6.01	-	-				
2	1.041	1.996	37.82	29.23	21.70	12.70				
3	1.018	-3.175	36.32	27.20	94.20	19.00				
4	1.009	-1.865	-	-	47.80	-3.90				
5	1.008	-1.581	-	-	7.60	1.60				
6	1.060	-12.021	-0.00	58.80	11.20	7.50				
7	1.045	-5.898	-	-	-	-				
8	1.060	-4.795	12.11	9.09	-	-				
9	1.046	-8.689	-	-	29.50	16.60				
10	1.041	-9.563	-	-	9.00	5.80				
11	1.047	-10.896	-	-	3.50	1.80				
12	0.950	-16.456	-	-	6.10	1.60				
13	1.018	-13.812	-	-	13.50	5.80				
14	1.015	-11.932	-	-	14.90	5.00				
15	1.000	0.000	65.67	-16.84	-	-				
16	0.939	-18.384	-	-	60.00	19.72				
Total:			332.83	113.49	319.00	93.22				
Branch Data										
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	To Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	Loss (I <sup>2</sup> *Z)			
							P (MW)	Q (MVar)		
1	1	2	117.65	-4.21	-115.27	5.67	2.388	7.29		
2	1	5	63.26	10.22	-61.25	-7.20	2.005	8.28		
3	2	3	48.92	0.39	-47.88	-0.65	1.040	4.38		
4	2	4	42.27	4.66	-41.29	-5.26	0.980	2.97		
5	2	5	40.20	5.81	-39.32	-6.76	0.880	2.69		
6	3	4	-10.00	8.85	10.13	-9.85	0.123	0.31		
7	4	5	-10.49	4.66	10.51	-4.61	0.017	0.05		
8	4	7	36.26	-5.36	-36.26	8.00	0.000	2.64		
9	4	9	23.26	0.58	-23.26	2.20	0.000	2.78		
10	5	6	82.47	16.97	-82.47	-1.71	0.000	15.26		
11	6	11	-6.26	9.85	6.37	-9.60	0.115	0.24		
12	6	12	42.99	26.12	-40.22	-20.36	2.768	5.76		
13	6	13	34.54	17.04	-33.66	-15.32	0.873	1.72		
14	7	8	-12.11	-8.73	12.11	9.09	0.000	0.36		
15	7	9	48.37	0.73	-48.37	1.62	0.000	2.36		
16	9	10	19.10	-1.44	-18.99	1.73	0.107	0.28		
17	9	14	23.03	1.79	-22.41	-0.47	0.620	1.32		
18	10	11	9.99	-7.53	-9.87	7.80	0.118	0.28		
19	12	13	-25.88	-3.22	27.55	4.73	1.665	1.51		
20	13	14	-7.38	4.79	7.51	-4.53	0.128	0.26		
21	15	4	65.67	-16.84	-65.67	19.13	0.000	2.30		
22	12	16	60.00	21.98	-60.00	-19.72	0.000	2.26		
Total:							13.829	65.30		

ผลการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในขณะที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าขนาด 70 MW และ PF = 0.95

System Summary										
How many?		How much?		P (MW)		Q (MVAR)				
Buses	16	Total Gen Capacity		872.4		-52.0 to 158.0				
Generators	6	On-line Capacity		872.4		-52.0 to 158.0				
Committed Gens	6	Generation (actual)		345.1		126.5				
Loads	12	Load		329.0		96.5				
Fixed	12	Fixed		329.0		96.5				
Dispatchable	0	Dispatchable		0.0 of 0.0		0.0				
Shunts	1	Shunt (inj)		0.0		20.8				
Branches	22	Losses (I <sup>2</sup> * Z)		16.07		75.05				
Transformers	3	Branch Charging (inj)		-		24.3				
Inter-ties	0	Total Inter-tie Flow		0.0		0.0				
Areas	1									
		Minimum				Maximum				
Voltage Magnitude		0.917 p.u. @ bus 16		1.060 p.u. @ bus 8						
Voltage Angle		-20.96 deg @ bus 16		5.17 deg @ bus 1						
P Losses (I <sup>2</sup> *R)		-		3.76 MW @ line 6-12						
Q Losses (I <sup>2</sup> *X)		-		18.21 MVAR @ line 5-6						
Bus Data										
Bus #	Voltage		Generation		Load					
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)				
1	1.060	5.173	180.91	6.60	-	-				
2	1.041	1.560	37.82	29.89	21.70	12.70				
3	1.018	-3.568	36.32	27.34	94.20	19.00				
4	1.009	-2.213	-	-	47.80	-3.90				
5	1.007	-2.081	-	-	7.60	1.60				
6	1.060	-13.514	-0.00	69.59	11.20	7.50				
7	1.045	-6.574	-	-	-	-				
8	1.060	-5.470	12.11	9.16	-	-				
9	1.046	-9.533	-	-	29.50	16.60				
10	1.041	-10.521	-	-	9.00	5.80				
11	1.047	-12.117	-	-	3.50	1.80				
12	0.930	-18.613	-	-	6.10	1.60				
13	1.013	-15.466	-	-	13.50	5.80				
14	1.012	-13.122	-	-	14.90	5.00				
15	1.000	0.000	77.92	-16.06	-	-				
16	0.917	-20.964	-	-	70.00	23.01				
Total:			345.07	126.53	329.00	96.51				
Branch Data										
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus		Injection		To Bus		Loss (I <sup>2</sup> * Z)	
			P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)	P (MW)	Q (MVAR)
1	1	2	117.20	-4.09	-114.83	5.50	2.370	7.23		
2	1	5	63.71	10.69	-61.67	-7.54	2.039	8.42		
3	2	3	48.53	0.44	-47.51	-0.77	1.024	4.32		
4	2	4	41.45	4.97	-40.50	-5.68	0.946	2.87		
5	2	5	40.97	6.28	-40.06	-7.11	0.917	2.80		
6	3	4	-10.37	9.11	10.50	-10.09	0.131	0.34		
7	4	5	-4.01	4.89	4.02	-4.88	0.005	0.02		
8	4	7	39.19	-5.16	-39.19	8.24	0.000	3.07		
9	4	9	24.94	0.71	-24.94	2.48	0.000	3.19		
10	5	6	90.11	17.93	-90.11	0.29	0.000	18.21		
11	6	11	-8.41	10.89	8.57	-10.56	0.160	0.34		
12	6	12	49.40	31.52	-45.64	-23.70	3.756	7.82		
13	6	13	37.92	19.40	-36.85	-17.29	1.068	2.10		
14	7	8	-12.11	-8.80	12.11	9.16	0.000	0.36		
15	7	9	51.29	0.57	-51.29	2.09	0.000	2.65		
16	9	10	21.37	-2.21	-21.24	2.57	0.134	0.36		
17	9	14	25.36	1.82	-24.61	-0.23	0.751	1.60		
18	10	11	12.24	-8.37	-12.07	8.76	0.166	0.39		
19	12	13	-30.46	-4.14	32.87	6.32	2.411	2.18		
20	13	14	-9.51	5.17	9.71	-4.77	0.195	0.40		
21	15	4	77.92	-16.06	-77.92	19.22	0.000	3.16		
22	12	16	70.00	26.24	-70.00	-23.01	0.000	3.23		
Total:							16.074	75.05		

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายกิจจา ทนงจิตต์
วัน เดือน ปี ที่เกิด	11 มิถุนายน 2525
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. วิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยรังสิต
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-