การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับระบบการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมระหว่าง
การซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

นายวริษฐ์ อั้นทอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

TRANSMISSION COST ALLOCATION FOR MIXED POOL AND BILATERAL MARKETS

Mr. Warit Anthong

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับระบบการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมระหว่างการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา
โดย	นายวริษฐ์ อั้นทอง
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลยศ อุดมวงศ์เสรี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลยศ อุดมวงศ์เสรี)

.... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. สุรชัย ชัยทัศนีย์)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร. ณัฐภพ นิ่มปิติวัน)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิริษฐ์ อั้นทอง : การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับระบบการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมระหว่างการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา. TRANSMISSION COST ALLOCATION FOR MIXED POOL AND BILATERAL MARKETS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กุลยศ อุดมวงศ์เสรี, 86 หน้า.

ปัจจุบัน กิจการไฟฟ้าในหลายประเทศได้มีการเปลี่ยนโครงสร้างจากการซื้อขายไฟฟ้าที่มีการซื้อขายไฟฟ้าอย่างผูกขาดไปสู่การซื้อขายไฟฟ้าอย่างเสรี ส่งผลให้กิจการไฟฟ้าเกิดการแข่งขันกันมากขึ้น ซึ่งทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าได้รับประโยชน์โดยตรงในการเลือกซื้อไฟฟ้า โดยทั่วไปกิจการไฟฟ้าหลังการเปลี่ยนโครงสร้างจะก่อให้เกิดรูปแบบของการซื้อขายไฟฟ้า 3 รูปแบบหลัก คือ การซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา และการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมระหว่างการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา โดยในการซื้อขายไฟฟ้าระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายไฟฟ้านั้นจะต้องมีการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า ซึ่งจะก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายขึ้น เพราะฉะนั้นการจัดสรรค่าบริการในส่วนนี้ไปยังผู้ใช้งานระบบส่งไฟฟ้าทั้งหมดจึงต้องดำเนินการอย่างโปร่งใสและเป็นธรรม

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการคิดค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า ซึ่งวิธีการที่นำเสนอสามารถนำไปใช้จัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าให้การซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมได้ โดยวิธีการที่นำเสนอจะแยกพิจารณาการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าออกเป็น 2 ส่วนคือ การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าในส่วนที่ถูกใช้งานและ การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าของส่วนเผื่อของการใช้งาน ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการจัดสรรการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า เพื่อจัดสรรค่าบริการระบบส่งดังกล่าวโดยคำนึงถึงโครงสร้างของระบบส่งไฟฟ้า กำลังไฟฟ้าที่ฉีด ณ บัส และพิจารณาถึงการมีส่วนร่วมในการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าอย่างเท่าเทียมกันของผู้ใช้งานระบบส่งไฟฟ้าทั้งหมด ทั้งนี้ได้ทำการพิจารณาการจัดสรรการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าเนื่องจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียของผู้ใช้งานระบบส่งไฟฟ้าด้วยซึ่งจะทำให้ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งที่คำนวณได้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น วิธีการที่นำเสนอได้ถูกทดสอบกับระบบทดสอบ IEEE-RTS 79 ผลการทดสอบที่ได้เป็นที่น่าพอใจ

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต วิริษฐ์ อั้นทอง
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
ปีการศึกษา 2552

5170450721 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS : TRANSMISSION COST ALLOCATION / POOL MARKET/ BILATERAL MARKET

WARIT ANTHONG: TRANSMISSION COST ALLOCATION FOR MIXED POOL AND BILATERAL MARKETS. THESIS ADVISOR: ASST.PROF. KULYOS AUDOMVONGSEREE, Ph.D., 86 pp.

At present, electrical markets in many countries have been restructured from a monopoly to an open market. This restructuring leads to higher degree of competitions, which benefit to consumers. Generally, there are 3 types of market models, a pool-based model, a bilateral-based model and a hybrid model. When there is electricity transaction between suppliers and consumers, the transmission network must be utilized, which bring many costs to them. Therefore, the allocation of this transmission cost must be transparent and fare for all participants.

This thesis proposes a novel method for allocating transmission cost in mixed pool and bilateral markets. The proposed transmission cost allocation is divided into 2 parts which are transmission cost allocation for transmission utilized and transmission cost allocation for transmission reserved. The proposed method takes into account impact of system configuration, injected power at bus. Moreover, main philosophy applied to this proposed allocation method is that all transmission users must be fairly treated. Additionally, this proposed method considers transmission usage due to transmission loss of all participants. Thus, the allocated transmission cost will be more reasonable. The proposed method has been tested with the IEEE-RTS79 test system. Satisfactory results were obtained.

Department : Electrical Engineering
Field of Study : Electrical Engineering
Academic Year : 2009

Student's Signature ....
Advisor's Signature ....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ดร.กุลยศ อุดมวงศ์เสรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา รวมทั้งได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขเนื้อหาจนสำเร็จเรียบร้อย ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วย ศาสตราจารย์ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์ อาจารย์ดร.สุรชัย ชัยทัศนีย์ และอาจารย์ดร. ณัฐภพ นิ่มปิติวัน ที่ได้เสียเวลาตรวจสอบแก้ไขและให้คำแนะนำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจตลอดมา ตลอดจน พี่ น้อง และเพื่อนๆทุกคนที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จนี้

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย..		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..		จ
กิตติกรรมประกาศ..		ฉ
สารบัญ..		ช
สารบัญตาราง..		ฌ
สารบัญรูป..		ญ
บทที่ 1	บทนำ..	1
1.1	ความเป็นมาและความสำคัญ..	1
1.2	วัตถุประสงค์..	2
1.3	ขอบเขตของวิทยานิพนธ์..	2
1.4	ขั้นตอนการศึกษาและวิธีการดำเนินงาน..	3
1.5	ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์..	3
1.6	เนื้อหาของวิทยานิพนธ์..	3
บทที่ 2	หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย..	5
2.1	การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow Calculation)..	5
	2.1.1 แบบจำลององค์ประกอบพื้นฐานในระบบไฟฟ้ากำลัง..	5
	2.1.2 สมการแสดงคุณลักษณะของระบบไฟฟ้ากำลัง..	7
	2.1.3 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน..	8
2.2	แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า..	12
บทที่ 3	ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปโครงสร้างระบบไฟฟ้า..	15
3.1	โครงสร้างของระบบไฟฟ้าในปัจจุบัน หรือโครงสร้างแบบผูกขาด..	15
3.2	โครงสร้างของระบบไฟฟ้าหลังการแปรรูป..	16
3.3	รูปแบบการซื้อขายไฟฟ้าหลังการแปรรูป..	19
บทที่ 4	การคิดราคาค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่มีมาในอดีต..	23
4.1	วิธี Postage stamp..	23
4.2	วิธี Contract Path..	23
4.3	วิธี Distance based MW-Mile..	24
4.4	วิธี Power Flow based MW-Mile..	24

4.5 วิธี Power Flow based MVA-Mile........ 25
4.6 วิธีการหาค่าความไว........ 25
บทที่ 5 การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่นำเสนอ........ 29
5.1 เมตริกซ์การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา (Bilateral Transaction Matrix)........ 29
5.2 ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า........ 30
5.3 การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า........ 31
5.3.1 สมการกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลในสายส่ง........ 32
5.3.2 การจัดสรรปริมาณการใช้งานสายส่งไฟฟ้าสำหรับระบบที่มีการซื้อขายไฟฟ้าผสมระหว่างการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา........ 35
5.3.3 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่มีผลต่อการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า........ 41
5.3.4 การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า โดยแยกพิจารณาค่าบริการการใช้งานในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงและการใช้งานส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ........ 44
5.4 การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนที่เหลือจากการใช้งานของระบบส่งไฟฟ้า........ 46
5.5 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า........ 54
บทที่ 6 การทดสอบและวิเคราะห์ผล........ 55
6.1 ระบบทดสอบ........ 55
6.2 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าด้วยวิธีที่นำเสนอ........ 60
6.2.1 ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า........ 60
6.2.2 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งาน........ 64
6.2.3 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนที่เหลือจากการใช้งานของระบบส่งไฟฟ้า........ 67
6.2.4 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า........ 69
บทที่ 7 สรุปผลการวิจัย........ 75
รายการอ้างอิง........ 77
ภาคผนวก........ 79
ภาคผนวก ก........ 80
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์........ 86

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตาราง หน้า

ตารางที่ 6.1 กำลังการผลิตไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลาง........................... 57

ตารางที่ 6.2 ความต้องการไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลาง........................... 57

ตารางที่ 6.3 การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา.. 58

ตารางที่ 6.4 กำลังไฟฟ้าที่ฉีด ณ บัส เมื่อเกิดการซื้อขายไฟฟ้าในกรณีข้างต้น................. 58

ตารางที่ 6.5 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง......... 60

ตารางที่ 6.6 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา............ 60

ตารางที่ 6.7 สัดส่วนค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้ระบบส่งไฟฟ้ากับส่วนที่เหลือจากการใช้ระบบส่งไฟฟ้า.. 61

ตารางที่ 6.8 สัดส่วนค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า.. 63

ตารางที่ 6.9 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานให้กับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง.. 65

ตารางที่ 6.10 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากใช้งานให้กับการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา.. 66

ตารางที่ 6.11 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนเผื่อของการใช้งานให้กับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง.. 67

ตารางที่ 6.12 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนเผื่อของการใช้งานให้กับการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา 68

ตารางที่ 6.13 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง.. 69

ตารางที่ 6.14 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา..... 71

ตารางที่ 6.15 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง.. 73

ตารางที่ 6.16 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา..... 74

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลบัสของระบบ IEEE-RTS79.. 80

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.. 81

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลสายส่งไฟฟ้า.. 82

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลความน่าเชื่อถือของสายส่งไฟฟ้า.. 83

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

ภาพประกอบ หน้า

รูปที่ 2.1 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.. 5

รูปที่ 2.2 แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอัตราส่วนแบบ Off-nominal.......................... 6

รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลแบบ 6

รูปที่ 2.4 แบบจำลองของสายส่งไฟฟ้า... 7

รูปที่ 2.5 บัสในระบบไฟฟ้ากำลัง... 8

รูปที่ 2.6 ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า.. 12

รูปที่ 2.7 การทำงานของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าเมื่อประมาณช่วงเวลาที่อุปกรณ์อยู่ในแต่ละสถานะเป็นค่าเฉลี่ย.. 13

รูปที่ 2.8 แบบจำลอง 2 สถานะของการทำงาน.. 13

รูปที่ 3.1 โครงสร้างระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบัน.. 15

รูปที่ 3.2 โครงสร้างกิจการไฟฟ้าหลังการแปรรูป... 17

รูปที่ 3.3 รูปแบบของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า.......................... 19

รูปที่ 3.4 รูปแบบของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา.. 21

รูปที่ 3.5 การซื้อขายไฟฟ้าแบบผสม... 22

รูปที่ 5.1 การพิจารณาการคิดค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่นำเสนอ.............................. 30

รูปที่ 5.2 แบบจำลองสายส่ง *i-j*.. 32

รูปที่ 5.3 รูปแบบความสัมพันธ์ของการใช้งานสายส่งที่นำเสนอ................................ 41

รูปที่ 5.4 แผนภาพการคำนวณค่าบริการระบบส่งในส่วนของการใช้งาน....................... 46

รูปที่ 5.5 การพิจารณาการใช้งานส่วนเผื่อในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงของสายส่ง............. 48

รูปที่ 5.6 การพิจารณาการใช้งานส่วนเผื่อในส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของสายส่ง........ 50

รูปที่ 5.7 ขั้นตอนการจัดสรรค่าบริการของการใช้ระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนที่เหลือจากการใช้งานของระบบส่งไฟฟ้า... 53

รูปที่ 6.1 ระบบทดสอบ IEEE-RTS 79.. 56

รูปที่ 6.2 สัดส่วนค่าบริการระบบส่งระหว่างส่วนที่ใช้งานกับส่วนเผื่อของการใช้งานระบบส่ง. 62

รูปที่ 6.3 ค่าบริการระบบส่งในส่วนที่ถูกใช้งานที่ถูกจัดสรรให้กับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง... 66

รูปที่ 6.4 ค่าบริการระบบส่งในส่วนที่ถูกใช้งานที่ถูกจัดสรรไปให้กับการซื้อขายแบบคู่สัญญา 66

รูปที่ 6.5 ค่าบริการระบบส่งสำหรับส่วนเผื่อของการใช้งานที่ถูกจัดสรรให้กับการซื้อขายผ่านตลาดกลาง.. 68
รูปที่ 6.6 ค่าบริการระบบส่งสำหรับส่วนเผื่อของการใช้งานที่ถูกจัดสรรให้กับการซื้อขายแบบคู่สัญญา.. 69
รูปที่ 6.7 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง.... 71
รูปที่ 6.8 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา....... 72
รูปที่ 6.9 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง.... 73
รูปที่ 6.10 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา...... 74

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

กิจการไฟฟ้าเป็นสาธารณูปโภคหลักที่สำคัญของประเทศ ซึ่งแต่เดิมนั้นภาครัฐเป็นผู้ดำเนินการเพียงฝ่ายเดียว ทำให้ผู้ซื้อไฟฟ้าส่วนใหญ่ไม่สามารถเลือกซื้อไฟฟ้าจากผู้ผลิตรายอื่นได้ แต่ในปัจจุบันหลายประเทศได้ทำการปรับโครงสร้างและทำการแปรรูปกิจการไฟฟ้า ซึ่งทำให้กิจการไฟฟ้ามีการแข่งขันมากขึ้น การดำเนินงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งส่งผลดีต่อผู้ใช้ไฟฟ้าในการที่จะสามารถเลือกซื้อไฟฟ้าที่มีคุณภาพและมีบริการที่ดี ในราคาที่เหมาะสม [1-2]

ระบบไฟฟ้าหลังการแปรรูปจะก่อให้เกิดรูปแบบของการซื้อขายไฟฟ้า 3 รูปแบบหลัก คือ การซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง (Pool Model) การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา (Bilateral Contracts Model) และการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสม (Hybrid Model) ซึ่งประกอบด้วยการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา [1, 3-4] โดยทั่วไป การซื้อขายไฟฟ้าแต่ละรูปแบบนั้นผู้ซื้อและผู้ขายไฟฟ้าจะต้องมีการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าซึ่งจะก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายขึ้น โดยผู้ให้บริการระบบส่งจะเก็บค่าบริการนี้จากผู้ใช้บริการ ดังนั้น เพื่อให้เกิดความเป็นธรรมและโปร่งใสกับทุกฝ่ายการคิดค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เหมาะสมจึงเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่ง

ในอดีตที่ผ่านมา ได้มีการนำเสนอวิธีการคิดค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าไว้อย่างมากมาย [1, 4-16] ซึ่งสามารถแยกประเภทของคิดค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าได้เป็น 2 ส่วน คือ ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของการใช้งาน และค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนเผื่อของการใช้งาน ซึ่งรายละเอียดของการคิดค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าของทั้งสองส่วน สามารถอธิบายได้ดังนี้

การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของการใช้งานในปัจจุบันมีอยู่หลายวิธี เช่น วิธี Postage Stamp วิธี Contract Path วิธี Distance-based MW-Mile วิธี Power Flow-based MW-Mile และ วิธี Power Flow-based MVA-Mile [1, 4-12] แม้ว่าวิธีการดังเดิมที่ใช้ในการคิดค่าบริการระบบส่งจะมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลาย แต่วิธีการดังกล่าวนั้นไม่ได้สะท้อนถึงการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ในการซื้อขายไฟฟ้านั้นจะทำให้เกิดกำลังไฟฟ้าสูญเสียขึ้น ซึ่งกำลังไฟฟ้าสูญเสียในส่วนนี้ถือเป็นส่วนหนึ่งในการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าเช่นกัน ดังนั้นจึงควรมีการจัดสรรค่าบริการระบบส่งของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าเนื่องจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียนี้ให้กับผู้มีส่วนร่วมทุกฝ่ายในการซื้อขายไฟฟ้าอย่างยุติธรรมด้วย

การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนเผื่อของการใช้งาน [1, 13-16] การจัดสรรค่าบริการในส่วนนี้จะพิจารณาจากการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในภาวะไม่ปกติ ซึ่งวิธีการที่ได้นำเสนอในอดีตนั้นไม่สะท้อนถึงการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในภาวะปกติได้อย่างเหมาะสม เนื่องจาก

พิจารณาเฉพาะการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงเพียงอย่างเดียว [13] ในบางวิธี ค่าบริการระบบส่งในส่วนนี้จะถูกประมาณโดยการตัดสินใจของผู้คิดค่าบริการระบบส่งเอง [1] หรือในบางวิธีไม่ได้พิจารณาถึงความน่าจะเป็นของระบบที่จะอยู่ในภาวะไม่ปกติ [13] ซึ่งส่งผลต่อความเหมาะสมในการคิดค่าบริการระบบส่งในส่วนนี้ด้วย

งานวิจัยต่างๆที่กล่าวมาข้างต้นส่วนใหญ่จะนำเสนอวิธีการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง หรือการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเพียงอย่างเดียว ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอวิธีการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับระบบที่มีการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมระหว่างการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา โดยแยกจัดสรรค่าบริการระบบส่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า และการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนเผื่อของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า โดยการจัดสรรค่าบริการระบบส่งที่นำเสนอจะคำนึงถึงผลของลักษณะของโครงสร้างของระบบส่งไฟฟ้า และจะกำหนดให้ผู้ใช้บริการระบบส่งไฟฟ้าทุกรายมีความเท่าเทียมกันในการใช้งานระบบส่งซึ่งทำให้ผลการจัดสรรที่ได้จะแสดงถึงราคาค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่ผู้ใช้งานระบบส่งทั้งหมดที่จะต้องรับผิดชอบในการซื้อขายไฟฟ้านั้นๆ ได้อย่างเหมาะสม

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาวิธีการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับระบบการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมระหว่างการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา
2. เพื่อพัฒนาวิธีการคิดค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของระบบส่งที่ถูกใช้งานในภาวะปกติและส่วนของเผื่อของระบบส่งไฟฟ้าสำหรับการใช้งานในสภาวะไม่ปกติ
3. เพื่อพัฒนาโปรแกรมสำหรับการคำนวณค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับระบบการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมระหว่างการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. พิจารณาค่าใช้จ่ายของระบบส่งในส่วนของต้นทุนคงที่เท่านั้น (Embedded cost)
2. พิจารณาเฉพาะระบบไฟฟ้าที่อยู่ในสภาวะอยู่ตัว (Steady-state) แบบ 3 เฟสสมดุลเท่านั้น
3. ไม่พิจารณาฮาร์โมนิกในระบบ
4. ไม่อนุญาตให้มีการส่งกำลังไฟฟ้าที่เกินขีดจำกัดของสายส่ง

5. กำหนดให้รู้ค่าการจัดสรรการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดจากผู้ใช้งานระบบส่งไฟฟ้าทั้งหมด

1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิธีดำเนินงาน

1. ศึกษาโครงสร้างของระบบไฟฟ้ากำลังก่อนและหลังการแปรรูป
2. ศึกษาและพัฒนาวิธีการคิดค่าบริการระบบส่งที่มีมาในอดีต
3. กำหนดขอบเขตรวมถึงรายละเอียดของข้อมูลต่างๆที่ใช้อ้างอิงในงานวิจัย
4. พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อทำการคิดค่าบริการระบบส่ง
5. ทดสอบวิธีการคิดค่าบริการระบบส่งที่ได้นำเสนอ
6. วิเคราะห์และสรุปผลงานวิจัย
7. เรียบเรียงผลงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

1. วิธีการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับระบบการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมระหว่างการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาที่เป็นธรรมและโปร่งใส
2. โปรแกรมทดสอบการจัดสรรค่าบริการระบบส่งที่นำเสนอ

1.6 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ที่นำเสนอได้ถูกจัดเรียงลำดับตามความเหมาะสมเป็นดังต่อไปนี้

บทที่ 1 จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ ขอบเขต รวมทั้งขั้นตอนการดำเนินงาน และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้สำหรับการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย ทฤษฎีการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้า และหลักการพื้นฐานในการจำลองสถานะของการทำงานของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง

บทที่ 3 จะกล่าวถึงโครงสร้างของระบบไฟฟ้าของประเทศไทย และระบบไฟฟ้ากำลังหลังการแปรรูป รวมทั้งอธิบายรูปแบบของการซื้อขายไฟฟ้าหลังการแปรรูป

บทที่ 4 จะกล่าวถึงหลักการและวิธีการคิดค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่มีมาในอดีต

บทที่ 5 จะกล่าวถึงหลักการและวิธีคิดค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่ได้นำเสนอ ซึ่งประกอบด้วย เมตริกซ์การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนที่เหลือจากการใช้งานของระบบส่งไฟฟ้า และผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า

บทที่ 6 จะกล่าวถึงผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าด้วยวิธีที่นำเสนอ โดยจะแสดงผลการจัดสรรออกเป็น 2 ส่วนคือ ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งในส่วนที่ถูกใช้งาน และผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนที่เหลือจากการใช้งานของระบบส่งไฟฟ้า

บทที่ 7 จะกล่าวถึงบทสรุปที่ได้จากงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

ในบทนี้จะนำเสนอหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า โดยรายละเอียดที่นำเสนอจะประกอบด้วย การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าและแบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

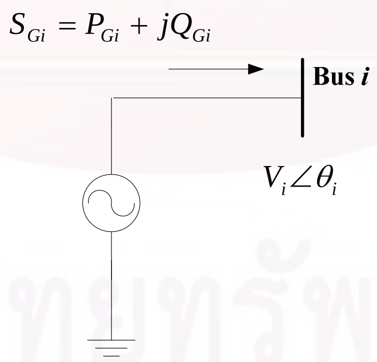
2.1 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า (Power Flow Calculation)

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีการวิเคราะห์การไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งเป็นพื้นฐานในการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วย แบบจำลององค์ประกอบพื้นฐานในระบบไฟฟ้ากำลัง สมการแสดงคุณลักษณะ และวิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน-ราฟสัน

2.1.1 แบบจำลององค์ประกอบพื้นฐานในระบบไฟฟ้ากำลัง

2.1.1.1 แบบจำลองเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

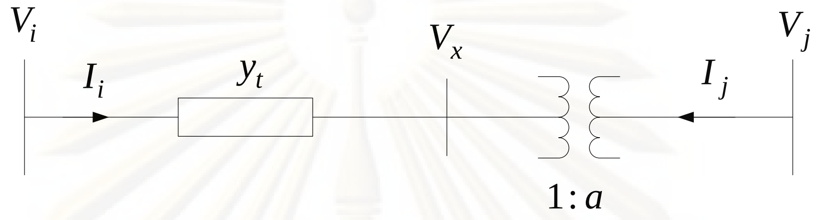
เราสามารถแทนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังผลิต $S_{Gi} = P_{Gi} + jQ_{Gi}$ ได้ด้วยแหล่งกำเนิดที่จ่ายกำลังไฟฟ้าขนาดคงที่ด้วยขนาดแรงดันคงที่ แบบจำลองของเครื่องกำเนิดดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แบบจำลองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

2.1.1.2 แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้า

เราสามารถแทนหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอัตราส่วนจำนวนรอบขดลวดแบบปกติ (Nominal turn-ratio) ด้วยแอดมิตแตนซ์แบบอนุกรม (Series admittance; y_t) และสามารถแทนหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอัตราส่วนจำนวนรอบขดลวดแบบไม่ปกติ (Off-nominal turn ratio) ได้โดยการพิจารณาเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าเชิงอุดมคติที่มีอัตราส่วนของแท็ปเป็น $1:a$ ต่ออนุกรมกับแอดมิตแตนซ์ $y_t = g + jb$ ดังแสดงในรูปที่ 2.2

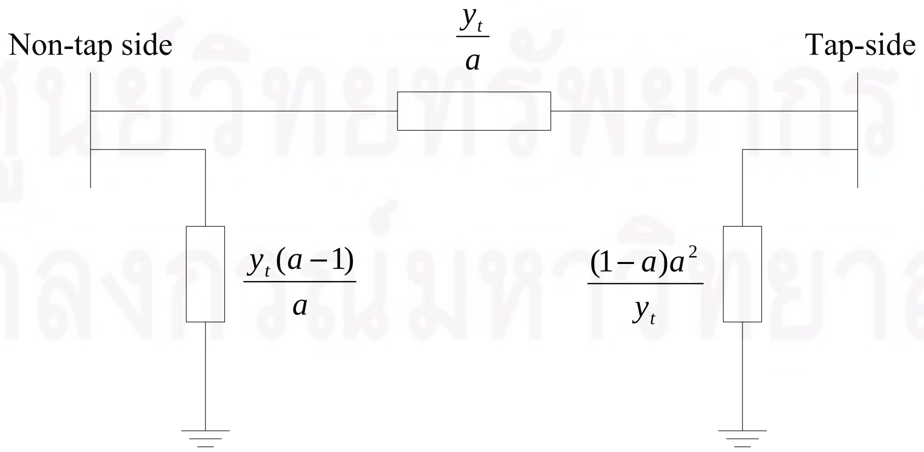


รูปที่ 2.2 แบบจำลองหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีอัตราส่วนแบบ Off-nominal

สมการบัสแอดมิตแตนซ์สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าดังกล่าวแสดงได้ดังสมการ(2.1)

$$\begin{bmatrix} I_i \\ I_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_t & -\dfrac{y_t}{a} \\ -\dfrac{y_t}{a^*} & \dfrac{y_t}{|a|^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_i \\ V_j \end{bmatrix} \tag{2.1}$$

ในกรณีที่ a เป็นจำนวนจริง วงจรสมมูลแบบ π ของหม้อแปลงแบบ Off-nominal แสดงได้ดังรูปที่ 2.3

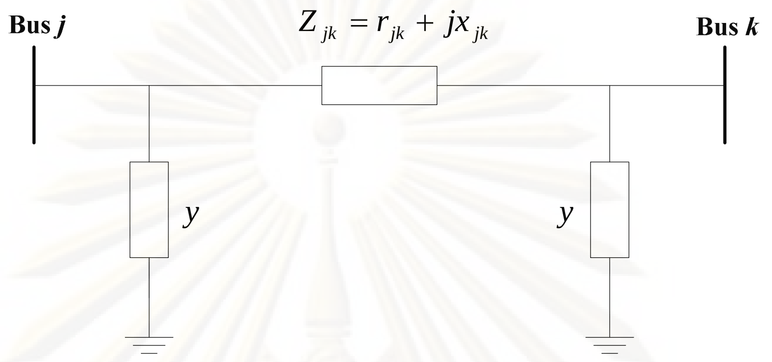


รูปที่ 2.3 วงจรสมมูลแบบ π

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.1.3 แบบจำลองของสายส่งไฟฟ้า

สายส่งไฟฟ้าสามารถแทนได้ด้วยแบบจำลองสมมูลแบบ π ที่มีค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) เท่ากับ $Z_{jk} = r_{jk} + jx_{jk}$ และค่าแอดมิตแตนซ์ขนาน (Shunt admittance) เท่ากับ $y = g + jb$ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แบบจำลองของสายส่งไฟฟ้า

2.1.2 สมการแสดงคุณลักษณะของระบบไฟฟ้ากำลัง

โดยทั่วไป ความสัมพันธ์ของแรงดันที่ตำแหน่งต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลังและกระแสที่ฉีดเข้าสู่ที่ตำแหน่งนั้น ๆ สามารถถูกอธิบายด้วยสมการปม (Node equation) ผ่านเมทริกซ์บัสแอตมิตแตนซ์ (Bus admittance matrix; Y_{bus})

การคำนวณหา Y_{bus} ทำได้โดยอาศัยค่าประจำตัวของอุปกรณ์ หรือส่วนประกอบต่างๆ ซึ่งในทางวงจรไฟฟ้านั้นเราจะพิจารณาเป็นกิ่ง (Branch) ของวงจร ทั้งนี้ค่าประจำตัวเหล่านี้จะประกอบด้วยค่าอิมพิแดนซ์ประจำตัว (Primitive impedance, z) หรือแอตมิตแทนซ์ประจำตัว (Primitive admittance, y) ของสายส่งหรือหม้อแปลงที่เชื่อมต่ออยู่ในระบบ

หลักการเบื้องต้นในการสร้าง Y_{bus} จากค่าประจำตัวของอุปกรณ์หรือส่วนประกอบแต่ละส่วน จะอาศัยสมมติฐานที่ว่า ส่วนประกอบต่างๆในระบบไฟฟ้ากำลังไม่มีความเหนี่ยวนำร่วม (Mutual inductance) ระหว่างกัน ซึ่งทำให้เราสามารถสร้าง Y_{bus} ได้โดยอาศัยวิธีการตรวจพิจารณา (Inspection) ซึ่งมีขั้นตอนในการพิจารณา 3 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่1 Y_{bus} เป็นเมตริกซ์สมมาตร

ขั้นที่2 Y_{ii} (Self-admittance) คือ ค่าในแนวทแยงมุมของเมตริกซ์ มีค่าเท่ากับผลรวมทั้งหมดของ Primitive admittance ของส่วนประกอบที่ต่ออยู่กับบัส *i* ทั้งหมด

$$Y_{ii} = \sum_{\substack{j=0 \\ j \neq i}}^{n} y_{ij} \tag{2.2}$$

$$y_{ij} = \frac{1}{z_{ij}} = \frac{1}{r_{ij} + jx_{ij}} \tag{2.3}$$

โดยที่

z_{ij} คือ ค่าอิมพิแดนซ์ระหว่างโนด *i* และ *j*

ขั้นที่3 Y_{ij} (Mutual inductance) คือ ค่าที่อยู่นอกแนวทแยงมุมของเมตริกซ์ มีค่าเท่ากับค่าติดลบของ Primitive admittance ของส่วนประกอบทั้งหมดที่ต่ออยู่ระหว่างบัส *i* และ *j* ถ้ามีส่วนประกอบทางไฟฟ้ามากกว่าหนึ่งส่วนประกอบที่ต่อขนานอยู่ระหว่าง 2 บัส ต้องจัดการให้เรียบร้อยก่อนจะนำมาใส่ใน Y_{bus}

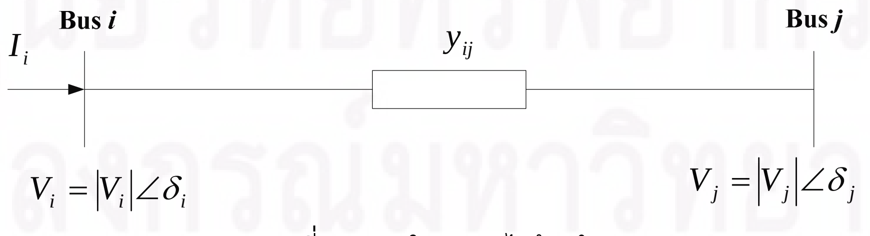
$$Y_{ij} = Y_{ji} = -y_{ij} \tag{2.4}$$

จากการพิจารณาด้วยวิธีการตรวจพิจารณา ของระบบ *n* บัส จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันประจำบัส (Bus injected current) และกระแสที่ฉีดเข้าบัสดัง (2.5)

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & \cdots & Y_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \tag{2.5}$$

2.1.3 การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีนิวตัน -ราฟสัน

พิจารณาตำแหน่งหนึ่งในระบบไฟฟ้ากำลัง



รูปที่ 2.5 บัสในระบบไฟฟ้ากำลัง

จากรูปที่ 2.5 เราสามารถเขียนกระแสที่ฉีดเข้าที่บัส *i* ในรูปของเมทริกซ์บัสแอดมิตแตนซ์ได้ดังนี้

$$I_i = \sum_{j=1}^{n} Y_{ij} V_j \tag{2.6}$$

ดังนั้นสมการของกำลังไฟฟ้าเชิงซ้อน (Power flow equation) สุทธิที่ไหลเข้าบัสที่ *i* คือ

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \tag{2.7}$$

$$P_i - jQ_i = \left(|V_i| \angle -\delta\right)\left(\sum_{j=1}^{n} |Y_{ij}||V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j\right) \tag{2.8}$$

เมื่อแยกพิจารณาส่วนจริงและส่วนจินตภาพของสมการการไหลของกำลังไฟฟ้าจะได้

$$P_{i,calc} = \sum_{j=1}^{n} |V_i||V_j||Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \tag{2.9}$$

$$Q_{i,calc} = \sum_{j=1}^{n} |V_i||V_j||Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \tag{2.10}$$

กำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่คำนวณได้ตามสมการ (2.9) และ (2.10) จะเท่ากับกำลังไฟฟ้ารวมที่ได้รับการจัดสรรใช้ที่แต่ละบัส นั่นคือ

$$P_{i,calc}(|V|, \delta) - P_{i,sch} = 0 \tag{2.11}$$

$$Q_{i,calc}(|V|, \delta) - Q_{i,sch} = 0 \tag{2.12}$$

จาก (2.11) และ (2.12) จะพบว่า ในการแก้สมการการไหลของกำลังไฟฟ้าสำหรับบัสใดๆ โดยทั่วไปเราจะสนใจตัวแปรอยู่ 4 ตัว คือ ขนาดของแรงดันที่บัส ($|V|$) มุมเฟสของแรงดันที่บัส (δ) กำลังไฟฟ้าจริง (P) และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ (Q) อย่างไรก็ตามที่แต่ละบัสเราจะมีสมการที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้ง 4 นี้อยู่เพียง 2 สมการเท่านั้น ดังนั้นเราจะต้องกำหนดค่าของตัวแปร 2 ตัว เพื่อที่จะคำนวณหาอีก 2 ตัวแปรที่เหลือได้จากตัวแปรทั้ง 4 ดังกล่าวข้างต้น เราสามารถจำแนกประเภทของบัสได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. Slack bus or Reference bus เป็นบัสที่ขนาดของแรงดัน และมุมของแรงดันที่บัสมีค่าคงที่
2. Load bus เป็นบัสกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่บัสมีค่าคงที่
3. Voltage-controlled bus เป็นบัสที่มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ออยู่ โดยกำลังไฟฟ้าจริงและขนาดของแรงดันที่บัสจะมีค่าคงที่

เราสามารถหาผลเฉลยของสมการการไหลของกำลังไฟฟ้านี้ด้วยวิธีของนิวตัน-ราฟสัน ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้มากที่สุด เนื่องจากมีคุณสมบัติการลู่เข้าหาคำตอบที่รวดเร็วและจำนวนรอบของการทำซ้ำไม่ขึ้นอยู่กับขนาดของระบบไฟฟ้ากำลัง โดยการจัดรูปแบบปัญหาดังสมการที่ (2.13)

$$\begin{bmatrix} \Delta P_1^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \hline \Delta Q_1^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{ccc|ccc} \frac{\partial P_{1,calc}}{\partial \delta_1}^{(k)} & \cdots & \frac{\partial P_{1,calc}}{\partial \delta_n}^{(k)} & \frac{\partial P_{1,calc}}{\partial |V_1|}^{(k)} & \cdots & \frac{\partial P_{1,calc}}{\partial |V_n|}^{(k)} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_{n,calc}}{\partial \delta_1}^{(k)} & \cdots & \frac{\partial P_{n,calc}}{\partial \delta_n}^{(k)} & \frac{\partial P_{n,calc}}{\partial |V_1|}^{(k)} & \cdots & \frac{\partial P_{n,calc}}{\partial |V_n|}^{(k)} \\ \hline \frac{\partial Q_{1,calc}}{\partial \delta_1}^{(k)} & \cdots & \frac{\partial Q_{1,calc}}{\partial \delta_n}^{(k)} & \frac{\partial Q_{1,calc}}{\partial |V_1|}^{(k)} & \cdots & \frac{\partial Q_{1,calc}}{\partial |V_n|}^{(k)} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_{n,calc}}{\partial \delta_1}^{(k)} & \cdots & \frac{\partial Q_{n,calc}}{\partial \delta_n}^{(k)} & \frac{\partial Q_{n,calc}}{\partial |V_1|}^{(k)} & \cdots & \frac{\partial Q_{n,calc}}{\partial |V_n|}^{(k)} \end{array}\right] \begin{bmatrix} \Delta \delta_1^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \hline \Delta V_1^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta V_n^{(k)} \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

จาก (2.13) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปย่อ ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

เราเรียก เมตริกซ์ $J = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix}$ ว่า เมตริกซ์จาโคเบียน (Jacobian Matrix) โดยสมาชิกในเมตริกซ์จาโคเบียนก็คือ อนุพันธ์ย่อยของ (2.11) และ (2.12) ซึ่งสามารถพิจารณาได้ดังนี้

สมาชิกในแนวทแยงมุมและนอกทแยงมุมของ J_1

$$\frac{\partial P_{i,calc}}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i||V_j||Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial P_{i,calc}}{\partial \delta_j} = -|V_i||V_j||Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \qquad ; \qquad j \neq i \quad (2.16)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมาชิกในแนวทแยงมุมและนอกทแยงมุมของ J_2

$$\frac{\partial P_{i,calc}}{\partial |V_i|} = 2|V_i||Y_{ij}|\cos\theta_{ii} + \sum_{j\neq i}|V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \tag{2.17}$$

$$\frac{\partial P_{i,calc}}{\partial |V_j|} = |V_i||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \qquad ; \qquad j \neq i \tag{2.18}$$

สมาชิกในแนวทแยงมุมและนอกทแยงมุมของ J_3

$$\frac{\partial Q_{i,calc}}{\partial \delta_i} = \sum_{j\neq i}|V_i||V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \tag{2.19}$$

$$\frac{\partial Q_{i,calc}}{\partial \delta_j} = -|V_i||V_j||Y_{ij}|\cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \qquad ; \qquad j \neq i \tag{2.20}$$

สมาชิกในแนวทแยงมุมและนอกทแยงมุมของ J_4

$$\frac{\partial Q_{i,calc}}{\partial |V_i|} = -2|V_i||Y_{ij}|\sin\theta_{ii} - \sum_{j\neq i}|V_j||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \tag{2.21}$$

$$\frac{\partial Q_{i,calc}}{\partial |V_j|} = -|V_i||Y_{ij}|\sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \qquad ; \qquad j \neq i \tag{2.22}$$

โดย $\Delta P_i^{(k)}$ และ $\Delta Q_i^{(k)}$ (Power mismatch) มีค่าดัง (2.23) และ (2.24) ตามลำดับ

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_{i,calc}^{(k)} \tag{2.23}$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_{i,calc}^{(k)} \tag{2.24}$$

และค่าขนาดและมุมของแรงดันที่บัสประมาณขึ้นใหม่โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน คือ

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta|V_i^{(k)}| \tag{2.25}$$

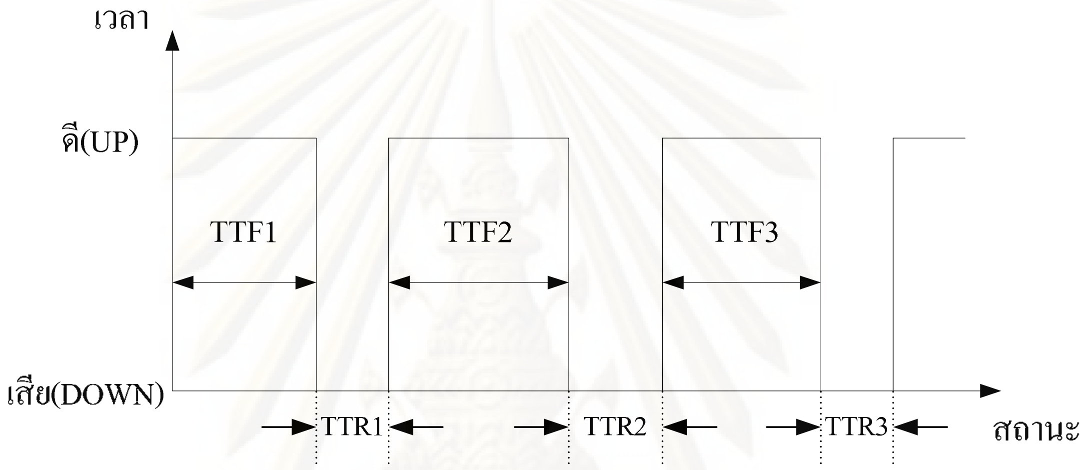
$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)} \tag{2.26}$$

กระบวนการจะดำเนินการต่อไปเรื่อยๆจนกระทั่งค่า $\Delta P_i^{(k)}$ และ $\Delta Q_i^{(k)}$ (Power mismatch) มีค่าน้อยกว่าค่าความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ $|\Delta P_i^{(k)}| \le \varepsilon_1$, $|\Delta Q_i^{(k)}| \le \varepsilon_2$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 แบบจำลองการทำงานของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า

ในการพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆในช่วงเวลาหนึ่ง จะพบว่าอุปกรณ์นั้นๆจะมีลักษณะการทำงานเป็นช่วงคาบเวลาที่ไม่สม่ำเสมอ (Non-periodic) ซึ่งประกอบไปด้วยสถานะการทำงานปกติ “สถานะดี” สลับกับสถานะขัดข้อง “สถานะเสีย” โดยสถานะที่ทำงานไม่ได้นั้นมักเกิดจากการที่อุปกรณ์ขัดข้องหรือเสียหายแต่หลังจากทำการซ่อมแซมเสร็จเรียบร้อยแล้วก็สามารถใช้งานได้ต่อไป หากพิจารณาอุปกรณ์ที่มีแบบจำลองการทำงานเป็นแบบ 2 สถานะ คือสถานะดีและสถานะเสียแล้ว โดยทั่วไปการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆเหล่านี้จะมีลักษณะเป็นคาบเวลา ดังแสดงในรูปที่ 2.6



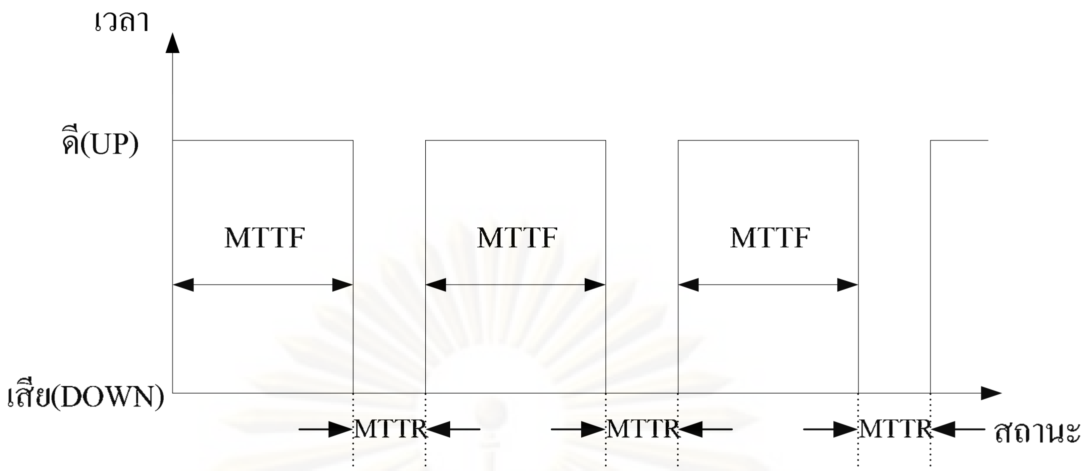
รูปที่ 2.6 ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า

โดยที่

TTF_i คือ เวลาที่อุปกรณ์จะเสีย หรือระยะเวลาที่อุปกรณ์สามารถทำงานได้ในครั้งที่ i

TTR_i คือ เวลาในการซ่อมแซมอุปกรณ์ หรือระยะเวลาที่อุปกรณ์เสียในครั้งที่ i

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นว่าช่วงเวลาที่ทำงานได้กับช่วงเวลาที่เสียในแต่ละช่วงอาจจะมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นในการพิจารณาแบบจำลองของอุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบเพื่อแทนการทำงานของอุปกรณ์ดังกล่าวในระยะยาวจะใช้ค่าประมาณเป็นระยะเวลาเฉลี่ยในสถานะดี และ ระยะเวลาเฉลี่ยในสถานะเสีย ดังรูปที่ 2.7



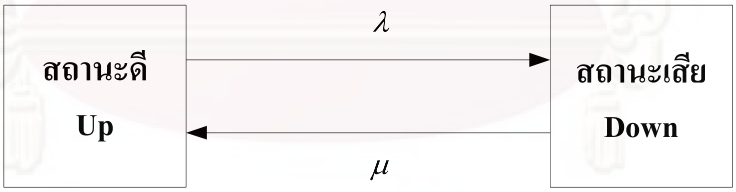
รูปที่ 2.7 การทำงานของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าเมื่อประมาณช่วงเวลาที่อุปกรณ์อยู่ในแต่ละสถานะเป็นค่าเฉลี่ย

โดยที่

MTTF คือ ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่อุปกรณ์สามารถทำงานได้ (ค่าเฉลี่ยของ TTF)

MTTR คือ ระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่อุปกรณ์เสีย (ค่าเฉลี่ยของ TTR)

จากแนวความคิดดังกล่าวทำให้เราสามารถพิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลังในช่วงเวลาที่สนใจได้เป็น 2 สถานการณ์ทำงานตามแบบจำลองมาร์คอฟฟ์ 2 สถานะ ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แบบจำลอง 2 สถานะของการทำงาน

แบบจำลองดังกล่าวประกอบด้วย 2 สถานะของการทำงาน ซึ่งถูกเชื่อมโยงกันด้วยอัตราการล้มเหลว (λ) และอัตราการซ่อมแซม (μ) กล่าวคือ ในการเปลี่ยนสถานะจากการทำงานในสถานะดีไปเป็นสถานะเสียจะเป็นไปตามอัตราการล้มเหลว และการเปลี่ยนสถานะจากสถานะเสียไปเป็นสถานะดีจะเป็นไปตามอัตราส่วนการซ่อมแซม โดยจากแบบจำลองดังกล่าวทำให้เราสามารถคำนวณความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์จะเสียหรือไม่อยู่ในสถานะของการทำงานได้ดังนี้

$$U = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} \tag{2.27}$$

โดยที่

U คือ ความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์จะเสีย หรือไม่อยู่ในสถานะของการทำงาน (Unavailable)

λ คือ อัตราการล้มเหลว ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{MTTF}$

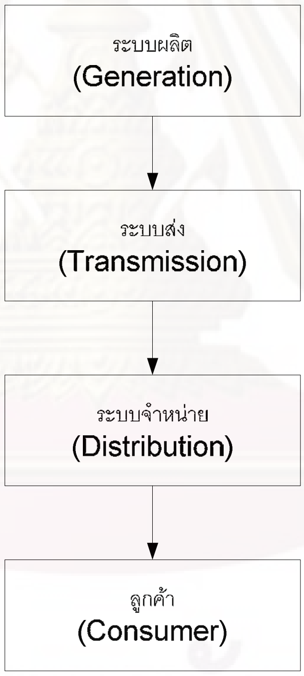
μ คือ อัตราการซ่อมแซม ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{MTTR}$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปโครงสร้างระบบไฟฟ้า

3.1 โครงสร้างของระบบไฟฟ้าในปัจจุบัน หรือโครงสร้างแบบผูกขาด

การจัดหาไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ เริ่มต้นตั้งแต่โรงไฟฟ้าซึ่งมักมีสถานที่ตั้งอยู่ห่างไกลจากชุมชน ทำการผลิตไฟฟ้า จากนั้นจึงทำการจัดส่งกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ผ่านระบบส่งไฟฟ้าแรงสูง จนกระทั่งเข้าใกล้ศูนย์กลางหรือบริเวณที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง จากนั้นจึงทำการแปลงแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำ ลงมา และจำหน่ายผ่านระบบจำหน่ายแรงต่ำ ให้แก่ผู้ใช้ต่อไป หากพิจารณากิจกรรมการจัดหาไฟฟ้าให้แก่ผู้บริโภคในลักษณะดังกล่าว เราจะสามารถแบ่งโครงสร้างของกิจการไฟฟ้าออกได้เป็น 3 ระบบหลักคือ ระบบผลิต (Generation) ระบบส่ง (Transmission) และระบบจำหน่าย (Distribution) ตามลำดับ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 โครงสร้างระบบไฟฟ้ากำลังในปัจจุบัน

โครงสร้างของระบบไฟฟ้าของประเทศในปัจจุบันจะมีหน่วยงานที่เกี่ยวข้องในการดูแล 3 ระบบหลักนี้เพียงไม่กี่หน่วยงานดังนี้ ระบบผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่และระบบส่งไฟฟ้าทั้งหมดของประเทศไทย อยู่ในความดูแลของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ส่วนระบบจำหน่ายไฟฟ้าอยู่ในความดูแลของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) เท่านั้น อย่างไรก็ตาม รัฐบาลได้เริ่มเปิดโอกาสให้เอกชน เข้ามามีส่วนร่วมในการให้บริการในส่วนของ

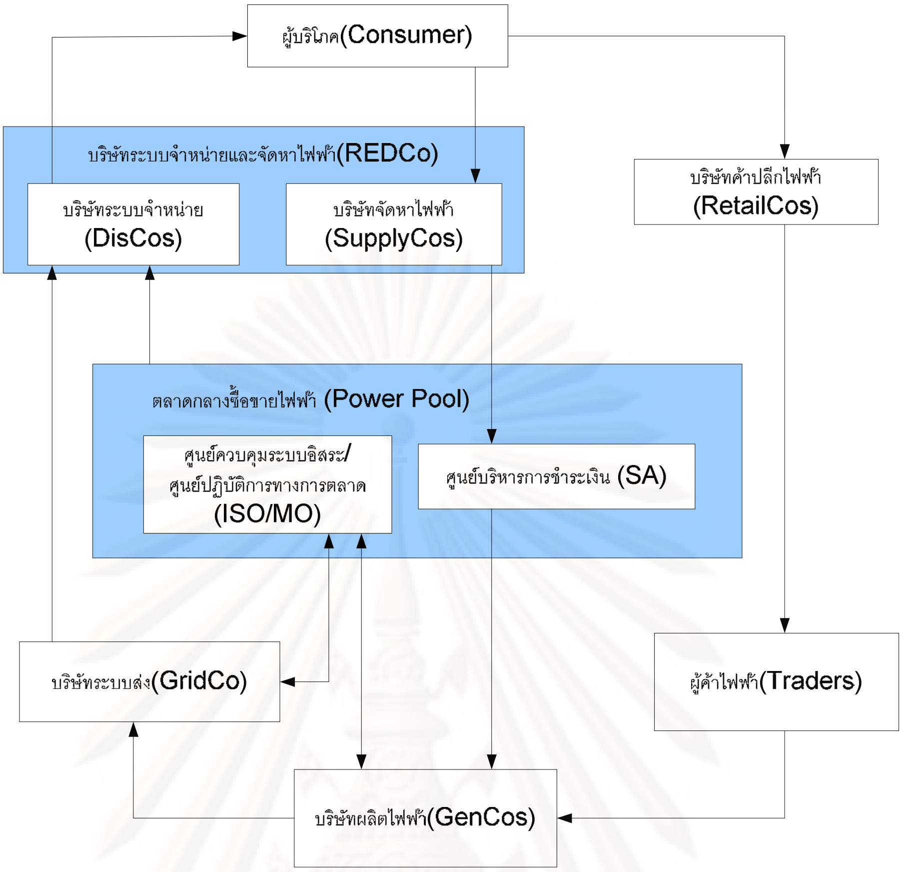
ระบบผลิตผ่านโครงการผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small Power Producer: SPP) และผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (Independent Power Producer: IPP) ซึ่งจะทำการผลิตไฟฟ้าขายให้แก่ กฟผ. เพื่อขายต่อให้แก่ กฟน. และ กฟภ. จากโครงสร้างดังกล่าวสามารถกล่าวได้ว่า กิจการไฟฟ้าเกือบทั้งหมดของประเทศไทยอยู่ภายใต้ความรับผิดชอบและการให้บริการจาก กฟผ. กฟน. และ กฟภ. เท่านั้น โดยไม่เปิดโอกาสให้มีการแข่งขันในการให้บริการในการจัดจำหน่ายไฟฟ้าแต่อย่างใด ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่าระบบการจัดหาและการให้บริการด้านการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยในปัจจุบันเป็นไปในลักษณะการดำเนินกิจการ แบบค่อนข้างที่จะผูกขาด

3.2 โครงสร้างของระบบไฟฟ้าหลังการแปรรูป

โครงสร้างของกิจการไฟฟ้าหลังการแปรรูปมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนแปลงการดำเนินของการซื้อขายไฟฟ้า ซึ่งจากเดิมอยู่ภายใต้การดำเนินการขององค์กรรัฐวิสาหกิจที่ประกอบด้วย กฟผ. กฟภ. และ กฟน. มาเป็นรูปแบบของการซื้อขายไฟฟ้าที่มีเอกชนเข้ามามีส่วนร่วมในการลงทุนในส่วนต่างๆของกิจการไฟฟ้า ทำให้กิจการไฟฟ้ามีการแข่งขันมากขึ้น การดำเนินงานมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งส่งผลดีต่อผู้ใช้ไฟฟ้าในการที่จะสามารถเลือกซื้อไฟฟ้า เพื่อให้คุณภาพและมีบริการที่ดีในราคาที่เหมาะสม

การแปรรูปกิจการไฟฟ้าจะมีการแยกธุรกิจที่ผูกขาดออกจากธุรกิจที่มีการแข่งขัน โดยในธุรกิจที่สามารถแข่งขันได้ เช่น ส่วนของการผลิตและการจัดหาไฟฟ้า ก็จะมีการสนับสนุนให้เกิดการแข่งขันอย่างเต็มที่ ส่วนธุรกิจที่ผูกขาดหรือส่วนที่ต้องการความเป็นกลางในการบริหารงานจะมีองค์กรกำกับดูแล โดยองค์กรนี้จะเข้าไปมีบทบาทในการควบคุมราคาและมาตรฐานคุณภาพบริการ รวมทั้งยังมีอำนาจที่จะดำเนินการลงโทษผู้ที่มิได้ปฏิบัติตามข้อกำหนดในกรณีที่มีการฝ่าฝืนหรือไม่ปฏิบัติตามข้อกำหนดในสัญญาหรือกฎหมาย

จากที่ได้กล่าวมาจะเห็นว่าแนวโน้มโครงสร้างของกิจการไฟฟ้าหลังการแปรรูปจะประกอบด้วยสมาชิกในตลาดทั้งฝ่ายผู้ซื้อหรือผู้ใช้ไฟฟ้า และผู้ขายหรือผู้ผลิตไฟฟ้า โดยมีหน่วยงานกลางซึ่งมีหน้าที่ในการกำหนดกฎเกณฑ์ของตลาด ประสานงานระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายไฟฟ้า ควบคุมการดำเนินงานของระบบไฟฟ้า รวมถึงการจัดการด้านการเงิน โดยแนวโน้มของความสัมพันธ์ของผู้ที่เกี่ยวข้องแต่ละฝ่ายภายใต้โครงสร้างระบบไฟฟ้าหลังการแปรรูป สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แนวโน้มรูปแบบหนึ่งของโครงสร้างกิจการไฟฟ้าหลังการแปรรูป

ตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า (Power Pool)

ตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้าประกอบด้วย ศูนย์ควบคุมระบบอิสระ (Independent System Operation: ISO) มีหน้าที่สั่งเดินเครื่องโรงไฟฟ้า โดยจะประสานงานกับศูนย์ปฏิบัติการทางการตลาด (Market Operator: MO) โดยจะทำการเลือกโรงไฟฟ้าที่เสนอราคาต่ำที่สุดให้เดินเครื่องก่อน ศูนย์ควบคุมระบบอิสระจะเป็นผู้ควบคุมการปฏิบัติการของบริษัทระบบส่งไฟฟ้า จะปฏิบัติงานร่วมกับศูนย์ปฏิบัติการทางการตลาด ส่วนศูนย์บริหารการชำระเงิน (Settlement Administrator: SA) ซึ่งทำหน้าที่ทำความตกลงทางด้านการชำระเงินค่าซื้อไฟฟ้า อาจจะรวมอยู่กับตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า หรืออาจจะแยกออกไปดำเนินการ โดยเป็นองค์กรเอกเทศได้

บริษัทผลิตไฟฟ้า (Generation Company: GenCo)

บริษัทผลิตไฟฟ้า คือ บริษัทที่เป็นเจ้าของและผลิตไฟฟ้า โดยบริษัทผลิตไฟฟ้าจะมีการแข่งขันเพื่อประมูลเสนอราคาพลังงานไฟฟ้าเข้าสู่ตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า บริษัทผลิตไฟฟ้าอาจอยู่ในรูปผู้ผลิตไฟฟ้าอิสระ (Independent Power Producer: IPP) ผู้ผลิตไฟฟ้ารายเล็ก (Small Power Producer: SPP)

บริษัทระบบส่งไฟฟ้า (GridCo)

บริษัทระบบส่งไฟฟ้า จะเป็นเจ้าของและทำหน้าที่ดูแลและบำรุงรักษาระบบสายส่งไฟฟ้าแรงสูง ภายใต้สัญญาที่ทำกับศูนย์ควบคุมระบบอิสระ บริษัทระบบส่งไฟฟ้าจะต้องไม่มีความเกี่ยวข้องใดๆ กับหน่วยงานอื่นๆ โดยเฉพาะหน่วยงานที่ไม่อยู่ภายใต้การกำกับดูแลโดยองค์กรกำกับดูแล และควรจะเป็นคนละองค์กรกับศูนย์ควบคุมระบบ (System Operator)

บริษัทระบบจำหน่ายและจัดหาไฟฟ้า(Regulated Electricity Delivery Company: REDCo)

บริษัทระบบจำหน่ายและจัดหาไฟฟ้านี้เกิดจากการรวมกันของบริษัทจัดหาไฟฟ้า (SupplyCos) และบริษัทระบบจำหน่ายไฟฟ้า (DisCos) ซึ่งอยู่ภายใต้การกำกับดูแลขององค์กรณ์ของรัฐ บริษัทระบบจำหน่ายและจัดหาไฟฟ้านี้มีหน้าที่จัดจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าแก่ผู้ใช้บริการไฟฟ้า ณ ราคาตลาดในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า (Spot Prices) บวกด้วยอัตราค่าบริการจัดจำหน่าย (ซึ่งควบคุมโดยอาค์กรกำกับดูแล)

บริษัทค้าปลีกไฟฟ้า (RetailCo)

บริษัทค้าปลีกผลิตไฟฟ้าเป็นบริษัทเอกชนและไม่อยู่ภายใต้การควบคุมของรัฐ จะทำการแข่งขันในการจัดหาพลังงานไฟฟ้าและผู้ให้บริการแก่ลูกค้า โดยสามารถแข่งขันกันเสนอบริการเสริมต่างๆ เช่น บริการประกันราคาไฟฟ้าให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้า (Hedging) และบริการทางด้านการอนุรักษ์พลังงาน เป็นต้น

ผู้ค้าไฟฟ้า (Trader)

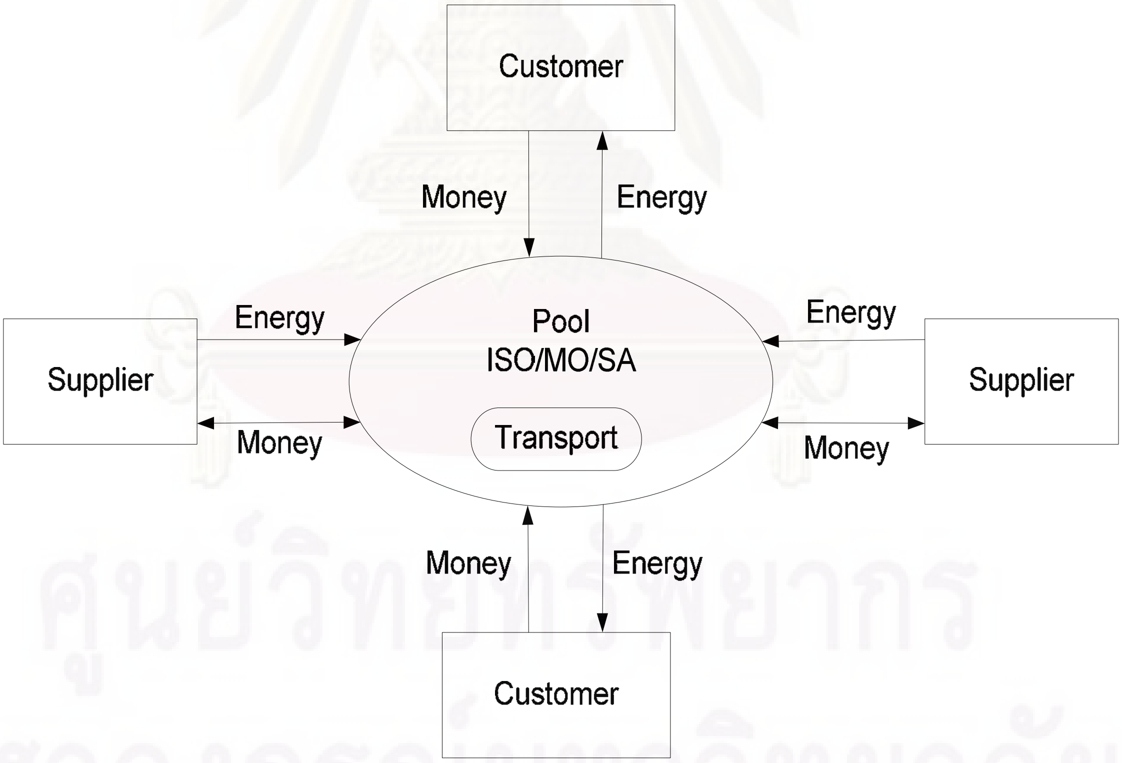
ผู้ค้าไฟฟ้า เป็นหน่วยงานที่ซื้อหรือขายพลังงานโดยไม่มีหน่วยผลิตไฟฟ้าเป็นของตนเอง แต่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่างผู้ผลิตไฟฟ้า และผู้ใช้ไฟฟ้า หรือผู้ค้าปลีกไฟฟ้า โดยดำเนินการในตลาดเสมือนว่า สัญญาซื้อขายนั้นเป็นโรงไฟฟ้าโรงหนึ่ง

3.3 รูปแบบการซื้อขายไฟฟ้าหลังการแปรรูป

ระบบไฟฟ้าหลังการแปรรูปจะมีรูปแบบในการซื้อขายไฟฟ้า 3 รูปแบบ [3] คือ

1. การซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า (Pool Model)

ตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้าเป็นเสมือนตัวกลางในการซื้อขายไฟฟ้าระหว่างผู้ซื้อ และผู้ขายไฟฟ้า โดยที่ผู้ซื้อและผู้ขายไฟฟ้าไม่มีความจำเป็นต้องติดต่อกันโดยตรงดังรูปที่ 3.3 ผู้ที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางจะได้รับค่าตอบแทนจากผู้ซื้อ และ/หรือ ผู้ขายตามปริมาณการซื้อขายที่ตกลงกันไว้หรือที่เกิดขึ้นจริงแล้วแต่กรณี ตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้าไม่ต่างจากตลาดกลางการขายส่งอื่นๆ นัก แต่ต่างกันที่ สินค้าที่นำมาซื้อขายคือไฟฟ้าในแต่ละช่วงของวัน ซึ่งการส่งมอบไฟฟ้าจะยุ่งยากกว่าสินค้าอื่น เนื่องจากไฟฟ้านั้นไม่สามารถ หรือไม่มีความคุ้มค่าในการกักเก็บ ดังนั้น ตลาดกลางขายส่งไฟฟ้าจำเป็นต้องมีหน่วยงานต่างๆ เป็นตัวกลางในการดำเนินงานทางการตลาด อย่างมีประสิทธิภาพ และควบคุมระบบให้มีความมั่นคง ได้แก่ ศูนย์ควบคุมระบบอิสระ (ISO) ศูนย์ปฏิบัติการทางการตลาด (MO) รวมทั้ง ศูนย์บริหารการชำระเงิน (SA)



รูปที่ 3.3 รูปแบบของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า

ศูนย์ควบคุมระบบอิสระจะเป็นศูนย์กลางการดำเนินงาน และการกำหนดราคาซื้อ-ขายไฟฟ้าในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า นอกจากนั้นศูนย์ควบคุมระบบอิสระ ควรจะดำเนินการอย่างอิสระ บริหารงานโดยคณะกรรมการบริหารของตน และไม่ควรจะมีความเกี่ยวข้องใดๆ กับหน่วยงานอื่นๆ ในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า โดยหน้าที่แล้วศูนย์ควบคุมระบบอิสระ ควรจะดำเนินงานด้านเทคนิคต่างๆ เช่น สั่งเดินเครื่องโรงไฟฟ้า สั่งการดำเนินการของระบบส่งไฟฟ้า โดยมีศูนย์ปฏิบัติการทางการตลาด (MO) ดำเนินการทางด้านการตลาด ไม่ว่าจะเป็นการกำหนดราคาค่าไฟฟ้า (Market Clearing Price) การวัดปริมาณการซื้อ-ขายไฟฟ้าในตลาดกลาง ส่วนการชำระเงินหรือการจัดการด้านการเงิน จะเป็นหน้าที่ของศูนย์บริหารการชำระเงิน ซึ่งอาจจะเป็นหน่วยงานเอกชนหรือผู้ร่วมค้าในตลาดเป็นผู้ดำเนินการก็ได้

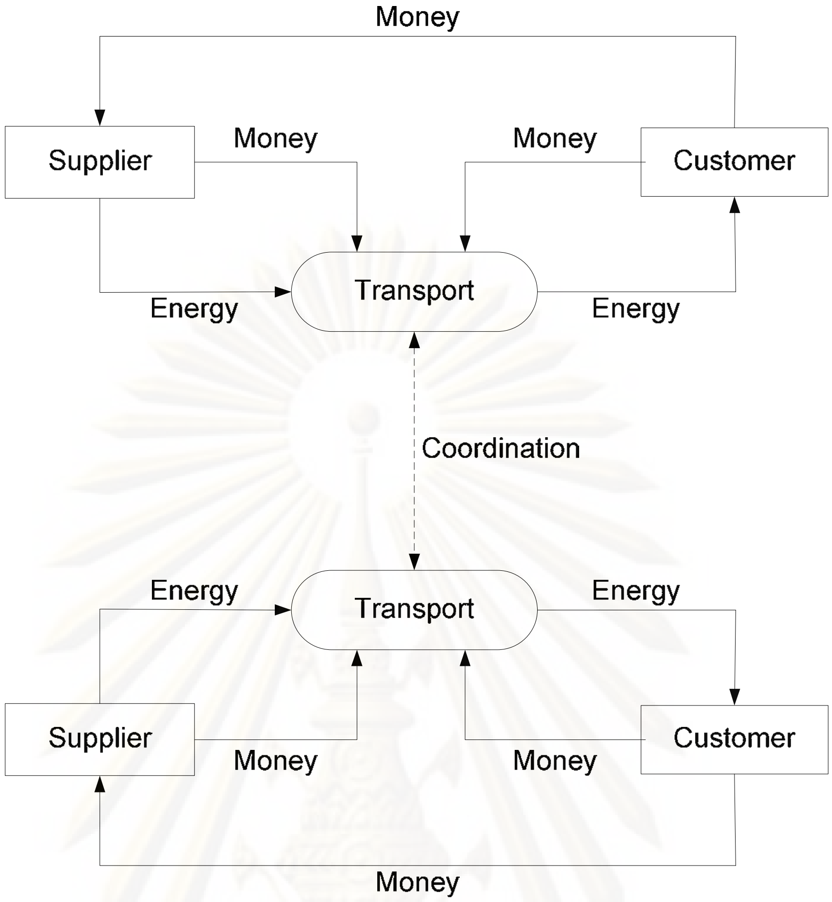
จากที่ได้กล่าวข้างต้นจะเห็นว่าตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้านั้นมีหน้าที่สำคัญ 2 ประการคือ

- เป็นศูนย์กลางการซื้อขายไฟฟ้าระหว่างผู้ผลิตกับผู้ค้าปลีก
- เป็นกลไกในการบริหารงานของระบบไฟฟ้า เช่น การสั่งเดินเครื่องโรงงานไฟฟ้าเพื่อให้มีการสั่งเดินเครื่องจากโรงงานไฟฟ้าที่เสนอราคาต่ำที่สุดก่อน

2. การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา (Bilateral Contract Model)

เป็นการซื้อขายกันโดยตรงระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายโดยไม่ผ่านตลาดกลาง ในการซื้อขายมีการกำหนดปริมาณไฟฟ้าและราคาไฟฟ้าที่จะมีการซื้อขายที่แน่นอน ทำให้ทั้งสองฝ่ายได้รับราคาที่มีเสถียรภาพ เพราะผู้ผลิตไฟฟ้าจะจัดหาไฟฟ้าให้แก้ผู้ซื้อตามที่ตกลงกันไว้โดยไม่ต้องผ่านการประมูลในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า แต่ในการซื้อขายแบบนี้ผู้ผลิตไฟฟ้าและผู้ซื้อไฟฟ้ายังคงต้องแจ้งข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตไฟฟ้าและการใช้ไฟฟ้าของตนให้ตลาดกลางทราบ เพื่อนำไปหักออกจากอุปทานและอุปสงค์ในตลาดกลาง การซื้อขายในรูปแบบนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4

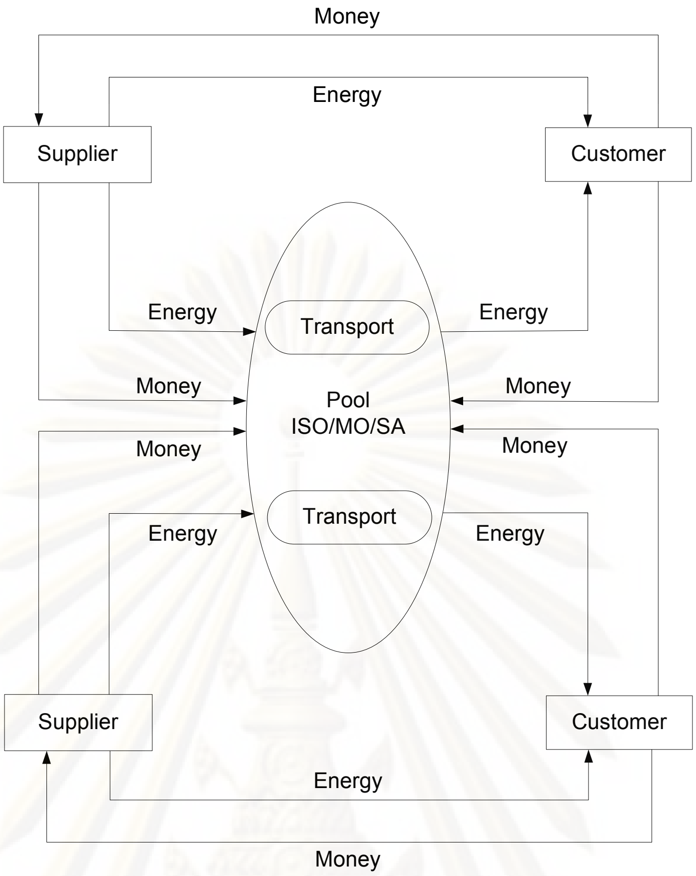
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.4 รูปแบบของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

3. การซื้อขายไฟฟ้าแบบผสม (Hybrid Model)

การซื้อขายไฟฟ้ารูปแบบนี้จะประกอบด้วยการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา โดยการซื้อขายไฟฟ้าทั้งสองแบบในการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมนี้ยังคงดำเนินการในรูปแบบที่ได้กล่าวมาข้างต้น ทำให้การซื้อขายแบบนี้ผู้ใช้ไฟฟ้าสามารถเลือกที่จะซื้อไฟฟ้าจากการซื้อขายรูปแบบใดก็ได้ตามความต้องการ การซื้อขายในรูปแบบนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การซื้อขายไฟฟ้าแบบผสม

บทที่ 4
การคิดราคาค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าในอดีต

ในอดีตได้มีการนำเสนอวิธีการคิดราคาค่าบริการระบบส่งไว้ด้วยกันหลายวิธี โดยวิธีที่มีความนิยมนำมาใช้งานได้แก่ วิธี Postage Stamp วิธี Contract Path วิธี Distance based MW-Mile วิธี Power Flow based MW-Mile วิธี Power Flow based MVA-Mile วิธีการหาค่าความไว [1, 4-12] ซึ่งสามารถสรุปหลักการที่สำคัญของแต่ละวิธีได้ดังนี้

4.1 วิธี Postage stamp

หลักการในการคำนวณราคาค่าบริการระบบส่งในวิธีนี้ คือ ราคาค่าใช้สายส่งจะมีค่ามากน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่มีการซื้อขาย วิธีการนี้จะตั้งอยู่บนสมมติฐานที่ว่า สายส่งทั้งหมดในระบบถูกใช้ในการซื้อขายไฟฟ้า โดยไม่มีการพิจารณาถึงการไหลของกำลังไฟฟ้าที่แท้จริง คือ ไม่สนใจว่าการซื้อขายไฟฟ้าจะมีผลต่อสายส่งแต่ละเส้นอย่างไร ดังนั้น ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่คำนวณได้ จึงไม่ได้สะท้อนถึงการใช้งานที่แท้จริงของผู้ใช้งานระบบส่งไฟฟ้า นอกจากนี้ราคาค่าบริการระบบส่งที่คำนวณได้จากวิธีการนี้จะไม่ขึ้นกับระยะทางของสายส่งไฟฟ้า ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้วิธีการนี้มีชื่อเรียกว่า Postage stamp

$$C_k = TC \times \frac{P_k}{\sum_{i=1}^{n} P_i} \tag{4.1}$$

โดยที่

C_k คือ ราคาค่าใช้สายส่งของแต่ละการซื้อขายไฟฟ้าที่ *k*

TC คือ ราคาของการใช้ระบบส่งทั้งหมด

P_k คือ กำลังไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าที่ *k*

4.2 วิธี Contract Path

การคำนวณราคาค่าบริการระบบส่งด้วยวิธีการนี้ จะมีหลักการเดียวกับวิธี Postage stamp คือ ราคาค่าบริการสายส่งจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่มีซื้อขาย แต่ในการคิดราคาในวิธีการนี้ การซื้อขายไฟฟ้าจากบัสหนึ่งไปสู่อีกบัสหนึ่ง จะมีการกำหนดเส้นทางการไหลของกำลังไฟฟ้าที่ซื้อขายนั้น โดยเรียกเส้นทางนี้ว่า Contract path ซึ่งถูกกำหนดโดยบริษัทระบบส่งไฟฟ้าและผู้ใช้บริการระบบส่งไฟฟ้า ในการกำหนดเส้นทางโดยวิธีการนี้ปราศจากการ

พิจารณาการไหลของกำลังไฟฟ้าภายในสายส่งเส้นต่างๆ ดังนั้น ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่คำนวณได้จึงไม่ได้สะท้อนถึงการใช้งานที่แท้จริงของผู้ใช้งานระบบส่งไฟฟ้า

4.3 **วิธี** Distance based MW-Mile

การคำนวณค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าในวิธีนี้มีความรัดกุมกว่าสองวิธีข้างต้น โดยจะคำนึงถึงทั้งปริมาณการซื้อขายไฟฟ้าและระยะการขจัด (Distance) ทางภูมิศาสตร์ระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายไฟฟ้า แต่จะไม่สนใจถึงการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าที่แท้จริงของผู้ใช้งานระบบส่งแต่ละราย ดังนั้นราคาค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่คำนวณได้จึงยังไม่สะท้อนถึงการใช้งานที่แท้จริง

$$C_k = TC \times \frac{P_k \times D_k}{\sum_{i=1}^{n} P_i \times D_i} \tag{4.2}$$

โดยที่

D_k คือ ระยะขจัดทางภูมิศาสตร์ระหว่างผู้ซื้อและผู้ขายที่ k

4.4 **วิธี** Power Flow based MW-Mile

การคำนวณค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าในวิธีนี้ จะพิจารณาถึงการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงในสายส่งแต่ละเส้นเมื่อเกิดการซื้อขายไฟฟ้าในระบบ พร้อมทั้งพิจารณาความยาวของสายส่งประกอบด้วย ผลการคำนวณที่ได้จะสะท้อนถึงการใช้งานที่แท้จริง และเป็นธรรมต่อผู้ใช้บริการระบบส่งมากกว่าวิธีอื่นที่กล่าวมา

$$C_k = TC \times \frac{P_k}{\sum_{i=1}^{line} P_i} \tag{4.3}$$

$$P_k = \sum_{l=1}^{line} w_l \times MW_{l.k} \times L_l \tag{4.4}$$

โดยที่

w_l คือ ค่าถ่วงน้ำหนักที่สะท้อนถึงราคาของสายส่งเส้นที่ l

$MW_{l,k}$ คือ ขนาดของการใช้งานในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงในสายส่งเส้นที่ l ที่มีผลมาจากการซื้อขายไฟฟ้าที่ k

L_l คือ ความยาวของสายส่งเส้นที่ l

จาก (4.3) – (4.4) จะสามารถเขียนเป็นสมการใหม่ได้ดังนี้

$$C_k = \sum \left[\frac{P_{l,k} \times C_l}{\sum_{i=1}^{n} P_{l,i}} \right] \tag{4.5}$$

โดยที่

$P_{l,k}$ คือ การใช้งานในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงในสายส่งเส้นที่ *l* ของการซื้อขายไฟฟ้าที่ *k*

4.5 วิธี Power Flow based MVA-Mile

เนื่องจากวิธี Power Flow based MW-Mile ไม่ได้สนใจผลของการใช้งานสายส่งไฟฟ้าในส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ดังนั้นจึงมีการนำเสนอวิธีคิดค่าบริการระบบส่งโดยพิจารณาการใช้งานสายส่งทั้งในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ซึ่งการคำนวณด้วยวิธีการนี้จะสะท้อนค่าการใช้งานระบบส่งได้ดีกว่าการคิดการใช้งานเฉพาะส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงเพียงอย่างเดียว ดังนั้นในวิทยานิพนธ์จึงใช้วิธีการนี้ในการคำนวณการใช้งานของระบบส่งไฟฟ้า

$$C_k = \sum \left[\frac{S_{l,k} \times C_l}{\sum_{i=1}^{n} S_{l,i}} \right] \tag{4.6}$$

โดยที่

$S_{l,k}$ คือ การใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟในสายส่งเส้นที่ *l* ของการซื้อขายไฟฟ้าที่ *k*

4.6 วิธีการหาค่าความไว

เนื่องจากการคำนวณค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าด้วยวิธี Power Flow based MW-Mile และวิธี Power Flow based MVA-Mile มีความซับซ้อนและค่อนข้างจะเป็นนามธรรมในการที่จะคำนวณการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากผู้ใช้งานระบบส่งไฟฟ้า ในอดีตได้มีวิธีการนำเสนอวิธีการประมาณค่าการใช้งานดังกล่าวโดยวิธีการหาค่าความไว [8, 12] แต่เนื่องจากวิธีการดังกล่าวยังคงมีจุดด้อยคือ ความสัมพันธ์ของปริมาณต่างๆในระบบไฟฟ้ามักเป็นแบบไม่เป็นเชิงเส้นทำให้การประมาณดังกล่าวมีความคลาดเคลื่อนสูง ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะนำวิธีการ

ประมาณค่าซึ่งปรับปรุงมาจากวิธีการเชิงเส้น โดยคำนึงถึงผลของ convexity หรือ ค่าอนุพันธ์อันดับสองของกำลังไฟฟ้าด้วย ซึ่งทำให้ผลการประมาณค่ามีความถูกต้องแม่นยำมายิ่งขึ้น โดยวิธีการประมาณค่าที่นำเสนอจะมีวิธีการดังนี้

กำหนดให้ $f(\delta, V)$ คือปริมาณของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่ง

$$\Delta f = \begin{bmatrix} f_\delta & f_V \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta V \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \Delta\delta & \Delta V \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{\delta\delta} & f_{\delta V} \\ f_{V\delta} & f_{VV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta V \end{bmatrix} \tag{4.7}$$

กำหนดให้ P_i และ Q_i คือกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ฉีด ณ บัส i

$$\Delta\delta^k = \begin{bmatrix} \delta_P^k & \delta_Q^k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \Delta P & \Delta Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{PP}^k & \delta_{PQ}^k \\ \delta_{QP}^k & \delta_{QQ}^k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \tag{4.8}$$

$$\Delta V^k = \begin{bmatrix} V_P^k & V_Q^k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \Delta P & \Delta Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{PP}^k & V_{PQ}^k \\ V_{QP}^k & V_{QQ}^k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \tag{4.9}$$

$$\begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_P & \delta_Q \\ V_P & V_Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P & \Delta Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{PP} & \delta_{PQ} \\ \delta_{QP} & \delta_{QQ} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} \Delta P & \Delta Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{PP} & V_{PQ} \\ V_{QP} & V_{QQ} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \end{bmatrix} \tag{4.10}$$

แทน (4.10) ลงใน (4.7) และไม่พิจารณาอนุพันธ์ที่สูงกว่าอันดับสอง

$$\begin{aligned} \Delta f &= \begin{bmatrix} f_\delta & f_V \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_P & \delta_Q \\ V_P & V_Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \\ &+ \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \Delta P & \Delta Q \end{bmatrix} \left(\sum_{k=1}^{n} f_{\delta_k} \begin{bmatrix} \delta_{PP}^k & \delta_{PQ}^k \\ \delta_{QP}^k & \delta_{QQ}^k \end{bmatrix} + \sum_{k=1}^{n} f_{V_k} \begin{bmatrix} V_{PP}^k & V_{PQ}^k \\ V_{QP}^k & V_{QQ}^k \end{bmatrix} \right) \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \\ &+ \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \Delta P & \Delta Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_P & \delta_Q \\ V_P & V_Q \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} f_{\delta\delta} & f_{\delta V} \\ f_{V\delta} & f_{VV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_P & \delta_Q \\ V_P & V_Q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \end{aligned} \tag{4.11}$$

จาก (4.11) เราสามารถสรุปความสัมพันธ์ของเทอมที่ต้องการพิจารณาได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} f_P \\ f_Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_P & \delta_Q \\ V_P & V_Q \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} f_\delta \\ f_V \end{bmatrix} \tag{4.12}$$

$$\begin{bmatrix} f_{PP} & f_{PQ} \\ f_{QP} & f_{QQ} \end{bmatrix} = \sum_{k=1}^{n} f_{\delta_k} \begin{bmatrix} \delta_{PP}^k & \delta_{PQ}^k \\ \delta_{QP}^k & \delta_{QQ}^k \end{bmatrix} + \sum_{k=1}^{n} f_{V_k} \begin{bmatrix} V_{PP}^k & V_{PQ}^k \\ V_{QP}^k & V_{QQ}^k \end{bmatrix}$$
$$+ \begin{bmatrix} \delta_P & \delta_Q \\ V_P & V_Q \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} f_{\delta\delta} & f_{\delta V} \\ f_{V\delta} & f_{VV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_P & \delta_Q \\ V_P & V_Q \end{bmatrix} \tag{4.13}$$

เนื่องจากการเขียน δ_i และ V_i ในเทอมของ P และ Q เป็นเรื่องที่ทำได้ยากและไม่เป็นที่นิยม แต่เราสามารถที่จะเขียน P_i และ Q_i ในเทอมของ δ และ V ซึ่งเป็นเรื่องที่ง่ายและเป็นที่นิยมมากกว่า ดังนั้นในวิธีการที่นำเสนอจะทำการประมาณค่าโดยละเลย $\begin{bmatrix} \delta_{PP}^k & \delta_{PQ}^k \\ \delta_{QP}^k & \delta_{QQ}^k \end{bmatrix}$ และ $\begin{bmatrix} V_{PP}^k & V_{PQ}^k \\ V_{QP}^k & V_{QQ}^k \end{bmatrix}$ ของ (4.13) พร้อมทั้งทำการประมาณค่า $\begin{bmatrix} \delta_P & \delta_Q \\ V_P & V_Q \end{bmatrix}$ ของ (4.12) ด้วย $\begin{bmatrix} P_\delta & P_V \\ Q_\delta & Q_V \end{bmatrix}^{-1}$ ทำให้เราสามารถเขียน (4.12) และ (4.13) ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} f_P \\ f_Q \end{bmatrix} = [J]^{-T} \begin{bmatrix} f_\delta \\ f_V \end{bmatrix} \tag{4.14}$$

$$\begin{bmatrix} f_{PP} & f_{PQ} \\ f_{QP} & f_{QQ} \end{bmatrix} = [J]^{-T} \begin{bmatrix} f_{\delta\delta} & f_{\delta V} \\ f_{V\delta} & f_{VV} \end{bmatrix} [J]^{-1} \tag{4.15}$$

โดยที่

$[J]$ คือ $\begin{bmatrix} P_\delta & P_V \\ Q_\delta & Q_V \end{bmatrix}$

ดังนั้น เราสามารถแสดงการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งที่อยู่ในรูปของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟได้ดังนี้

$$\Delta f = [f_\delta \quad f_V][J]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} + \frac{1}{2} [\Delta P \quad \Delta Q][J]^{-T} \begin{bmatrix} f_{\delta\delta} & f_{\delta V} \\ f_{V\delta} & f_{VV} \end{bmatrix} [J]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \tag{4.16}$$

$$\Delta f = [f_P \quad f_Q] \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} + \frac{1}{2} [\Delta P \quad \Delta Q] \begin{bmatrix} f_{PP} & f_{PQ} \\ f_{QP} & f_{QQ} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} \tag{4.17}$$

จาก (4.17) ในส่วนของอนุพันธ์อันดับสอง จะพบว่าจะมีพจน์ที่เป็นความสัมพันธ์เชื่อมกัน (cross term) ระหว่างกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าที่บัสสองบัสใดๆ โดยในการจัดสรรพจน์ดังกล่าวจะจัดสรรตามสัดส่วนของขนาดกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าที่บัส นอกจากนี้หากเราประมาณให้การ

เปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้า มีผลมากจากกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสนั้น เราจะสามารถเขียนสมการคำนวณการใช้งานสายส่งไฟฟ้าได้ดังนี้

$$\Delta f = \sum_{k} L_k + \sum_{k} H_k \tag{4.16}$$

$$L_k = f_{P_k} P_k \tag{4.17}$$

$$H_k = f_{P_k P_k} P_k^2 + f_{P_k P_r} P_k P_r \times \left[\frac{|P_k|}{|P_k| + |P_r|} \right] \tag{4.18}$$

โดยที่

L_k คือ การใช้งานสายส่งในส่วนของอนุพันธ์อันดับหนึ่งที่จัดสรรไปให้กำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าที่บัส *k*

H_k คือ การใช้งานสายส่งในส่วนของอนุพันธ์อันดับสองที่จัดสรรไปให้กำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าที่บัส *k*

เราสามารถประมาณการใช้งานสายส่งไฟฟ้าแต่ละเส้นที่เกิดจากผู้ใช้ไฟฟ้าที่ *k* ได้ดังนี้

$$\Delta f_k = L_k + H_k \tag{4.19}$$

โดยที่

Δf_k คือ การใช้งานสายส่งไฟฟ้าที่เกิดจากผู้ใช้ไฟฟ้าที่ *k*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่นำเสนอ

ในบทนี้จะอธิบายรายละเอียดของวิธีการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่นำเสนอ ซึ่งวิธีการที่นำเสนอจะประกอบด้วย เมตริกซ์การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนเผื่อของการใช้งานของระบบส่งไฟฟ้า และผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.1 เมตริกซ์การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา (Bilateral Transaction Matrix) [3]

ในระบบไฟฟ้าที่มีการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา เราสามารถเปลี่ยนข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาให้อยู่ในรูปของกำลังไฟฟ้าที่ฉีด ณ แต่ละบัส ซึ่งถ้าในระบบไฟฟ้าที่มี n บัส และ m การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาจะสามารถเปลี่ยนปริมาณการซื้อขายไฟฟ้าของแต่ละคู่สัญญาให้อยู่ในรูปของกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้า ณ แต่ละบัสได้ ดังนี้

นิยามเวกเตอร์ T เป็นเวกเตอร์การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา ซึ่งมีขนาดเท่ากับ $m\times 1$ โดยที่สมาชิกของแต่ละตัวภายในเวกเตอร์จะแสดงถึงการปริมาณซื้อขายไฟฟ้าของคู่สัญญานั้นๆ

นิยามเมตริกซ์ M เป็นเมตริกซ์การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา ซึ่งมีขนาดเท่ากับ $m\times n$ โดยที่สมาชิกแต่ละตัวภายในเมตริกซ์จะแสดงตำแหน่งบัสของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา การนิยามเมตริกซ์ M สามารถทำได้ดังนี้

m_{ij} = 1 เมื่อ การซื้อขายที่ i ถูกส่งมาจากบัส j

m_{ij} = -1 เมื่อ การซื้อขายที่ i ถูกส่งไปยังบัส j

m_{ij} = 0 เมื่อ การซื้อขายเกิดขึ้นที่บัสเดียวกันหรือในกรณีอื่นๆ

เมตริกซ์ M นี้ใช้ในการเปลี่ยนข้อมูลของการซื้อขายไฟฟ้าของเวกเตอร์ T ให้อยู่ในรูปของกำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีด ณ บัสต่างๆในระบบ เนื่องจากกำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีด ณ บัส j (P_j) สามารถคำนวณได้จากผลรวมของปริมาณการซื้อขายไฟฟ้าแต่ละการซื้อขายที่เกี่ยวข้องกับบัส j ดังนั้น กำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีดของบัสทุกบัสในระบบสามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเวกเตอร์ T และเมตริกซ์ M ได้ดังสมการที่ (5.1)

$$P_B = M^T T \tag{5.1}$$

โดยที่

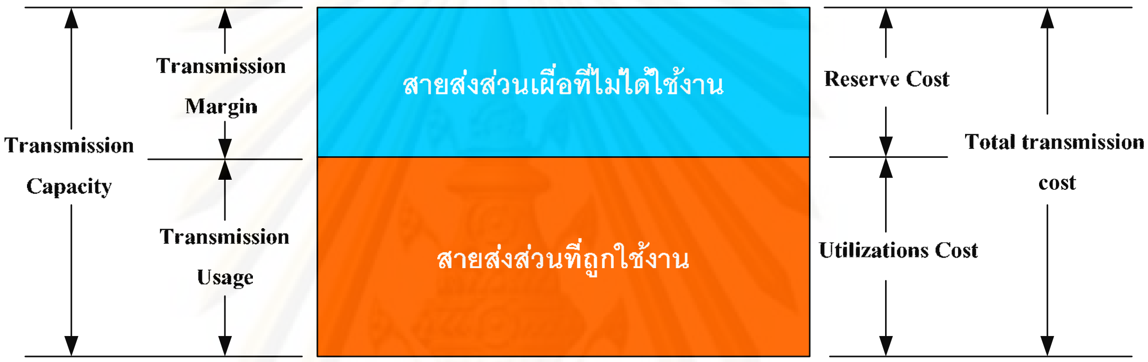
P_B คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีด ณ บัส ที่เกิดจากการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

M คือ เมตริกซ์การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

T คือ เวกเตอร์การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

5.2 ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า

ในการคิดค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่จะนำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะแยกพิจารณาค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าออกเป็น 2 ส่วนตามการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าดังรูปที่ 5.1 คือ



รูปที่ 5.1 การพิจารณาการคิดค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่นำเสนอ

1. ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า (Utilizations Cost) ในการคิดค่าบริการระบบส่งสำหรับส่วนนี้จะพิจารณาจากปริมาณการใช้งานสายส่งไฟฟ้าที่เกิดจากผู้ใช้งานระบบส่งไฟฟ้าทั้งหมด เมื่อเกิดการซื้อขายไฟฟ้าในภาวะปกติ (Normal Condition)
2. ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนเผื่อของการใช้งานของระบบส่งไฟฟ้า (Reserve Cost) ในการคิดค่าบริการระบบส่งสำหรับส่วนนี้จะพิจารณาจากโอกาสในการใช้งานส่วนเผื่อของระบบไฟฟ้าของผู้ใช้งานระบบส่งไฟฟ้าทั้งหมด เมื่อเกิดการซื้อขายไฟฟ้าในภาวะไม่ปกติ (Contingency Condition)

จากการแยกพิจารณาค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าออกเป็น 2 ส่วนข้างต้น ทำให้สามารถคำนวณหาค่าบริการระบบส่งสำหรับสายส่งไฟฟ้าเส้นที่ l ได้ดังนี้

$$C_l = C_{U,l} + C_{R,l} \tag{5.2}$$

โดยที่

C_l	คือ	ค่าบริการสายส่งไฟฟ้าเส้นที่ *l*
$C_{U,l}$	คือ	ค่าบริการสายส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานสายส่งของสายส่งเส้นที่ *l*
$C_{R,l}$	คือ	ค่าบริการสายส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานส่วนเผื่อของสายส่งเส้นที่ *l*

ในคำนวณค่าบริการสายส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานสายส่งของสายส่งเส้นที่ *l* สามารถหาได้จาก

$$C_{U,l} = C_l \times \frac{S_l}{S_l^{\lim it}} \tag{5.3}$$

โดยที่

S_l	คือ	ขนาดการใช้งานสายส่งไฟฟ้าเส้นที่ *l* ซึ่งเกิดจากการซื้อขายไฟฟ้าที่เราสนใจ
$S_l^{\lim it}$	คือ	ค่าพิกัดของสายส่งไฟฟ้าเส้นที่ *l*

และสามารถคำนวณค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนเผื่อของสายส่งไฟฟ้าเส้นที่ *l* ได้ดังนี้

$$C_{R,l} = C_l \times \left(\frac{S_l^{\lim it} - S_l}{S_l^{\lim it}} \right) = C_l - C_{U,l} \tag{5.4}$$

จาก (5.3) และ (5.4) จะเห็นว่าเราสามารถคำนวณค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของการใช้งานสายส่งไฟฟ้าในภาวะปกติ และการใช้งานส่วนเผื่อของสายส่งไฟฟ้าเมื่อสายส่งไฟฟ้าอยู่ในภาวะไม่ปกติ ซึ่งค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าทั้ง 2 ส่วนนี้จะถูกจัดสรรไปสู่ผู้ใช้งานระบบส่งไฟฟ้าทั้งหมด ซึ่งวิธีการคำนวณโดยละเอียด จะอธิบายในหัวข้อถัดไป

5.3 การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า

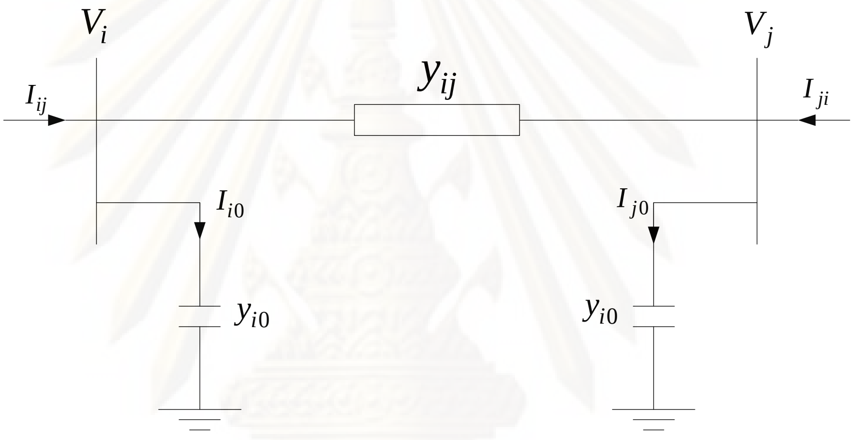
วิธีการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าในส่วนที่เกิดจากการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะประยุกต์ใช้วิธี Power flow based MVA-Mile โดยได้มีการนำเสนอวิธีการคำนวณปริมาณการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากผู้ใช้งานระบบส่งไฟฟ้า ซึ่งวิธีการที่ได้นำเสนอจะพิจารณาจากการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ วิธีการที่นำเสนอจะสามารถจัดสรรการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมฯ

โดยได้มีการพิจารณาการใช้งานระบบส่งระบบส่งที่เกิดจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียประกอบด้วย ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะจัดสรรการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในส่วนนี้ให้กับผู้ใช้งานระบบส่งไฟฟ้าแต่ละราย และสุดท้ายจะเป็นการนำเสนอวิธีการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของการใช้งานระบบส่ง เนื่องจากการซื้อขายไฟฟ้าทั้ง 2 รูปแบบ โดยวิธีที่ได้นำเสนอมีดังนี้

5.3.1 **สมการกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลในสายส่ง**

จากสมการของกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลในสายส่ง *i-j* สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (5.5)

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \tag{5.5}$$



รูปที่ 5.2 แบบจำลองสายส่ง *i-j*

พิจารณารูปที่ 5.2 กระแสที่ไหลในสายส่ง *i-j* สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของแรงที่บัส *i* และบัส *j* ได้ดังนี้

$$I_{ij} = y_{ij}(V_i - V_j) + y_{io}V_i \tag{5.6}$$

แทน (5.6) ลงใน (5.5) จะได้ (5.7) และ (5.8)

$$S_{ij} = V_i\left[y_{ij}^*\left(V_i^* - V_j^*\right) + y_{io}^* V_i^*\right] \tag{5.7}$$

$$S_{ij} = V_i y_{ij}^*\left(V_i^* - V_j^*\right) + y_{io}^* V_i V_j^* \tag{5.8}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยที่

S_{ij} คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลในสายส่ง *i-j*

V_i, V_j คือ แรงดันที่บัส *i* และ *j* ตามลำดับ

I_{ij} คือ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในส่ง *i-j*

y_{ij} คือ แอดมิตแตนซ์ของสายส่ง *i-j*

y_{io} คือ line charging ของบัส *i*

จากสมการปมแรงดันที่บัส เราสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของกระแสที่ฉีด ณ บัสได้ดังนี้

$$V_i = \sum_{k=1}^{n} Z_{i,k} I_k \tag{5.9}$$

โดยที่

$Z_{i,k}$ คือ อิมพีแดนซ์ของสายส่ง *i-k*

I_k คือ กระแสที่ฉีด ณ บัส *k*

เนื่องจากกระแสที่ฉีด ณ บัส *k* สามารถเขียนในรูปของกำลังไฟฟ้าที่ฉีด ณ บัส *k* ได้ดังนี้

$$I_k = \left(\frac{S_k}{V_k} \right)^* \tag{5.10}$$

แทน (5.10) ลงใน (5.9) จะได้แรงดันของบัส *i* ในรูปของกำลังไฟฟ้าที่ฉีด ณ บัส *k* ดังนี้

$$V_i = \sum_{k=1}^{n} Z_{i,k} \left(\frac{S_k}{V_k} \right)^* \tag{5.11}$$

$$V_i = \sum_{k=1}^{n} \left(\frac{Z_{i,k}}{V_k^*} \right) S_k^* = \sum_{k=1}^{n} a_k S_k^* \tag{5.12}$$

ในทำนองเดียวกัน เราสามารถเขียนแรงดันของบัส *j* ในรูปของกำลังไฟฟ้าที่ฉีด ณ บัส *k* ได้ดังนี้

$$V_j = \sum_{k=1}^{n} \left(\frac{Z_{j,k}}{V_k^*} \right) S_k^* = \sum_{k=1}^{n} b_k S_k^* \tag{5.13}$$

แทน (5.12) และ (5.13) ลงใน (5.8) จะได้ (5.14) และ (5.15)

$$S_{ij} = \left(y_{ij}^* \sum_{k=1}^{n} a_k S_k^* \right) \left(\sum_{k=1}^{n} a_k^* S_k - \sum_{k=1}^{n} b_k^* S_k \right) + y_{io}^* \left(\sum_{k=1}^{n} a_k S_k^* \right) \left(\sum_{k=1}^{n} a_k^* S_s \right) \tag{5.14}$$

$$S_{ij} = \left(\sum_{k=1}^{n} d_k S_k^* \right) \left(\sum_{k=1}^{n} c_k S_k \right) + \left(\sum_{k=1}^{n} e_k S_k^* \right) \left(\sum_{k=1}^{n} a_k^* S_k \right) \tag{5.15}$$

จาก (5.15) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$S_l = \left\lfloor \left(S_{bus}^* \right)^T D_l C_l^T S_{bus} \right\rfloor + \left\lfloor \left(S_{bus}^* \right)^T E_l A_l^T S_{bus} \right\rfloor \tag{5.16}$$

$$S_l = \left(S_{bus}^* \right)^T F_l S_{bus} \tag{5.17}$$

โดยที่

S_l คือ กำลังไฟฟ้าในสายส่งเส้นที่ l

S_{bus} คือ เวกเตอร์ของกำลังไฟฟ้าที่ฉีด ณ บัส

D_l คือ เวกเตอร์ของ $y_{ij}^* a_k$

C_l คือ เวกเตอร์ของ $a_k^* - b_k^*$

E_l คือ เวกเตอร์ของ $y_{i0}^* a_k$

A_l คือ เวกเตอร์ของ a_k

F_l คือ เมตริกซ์ของ $D_l C_l^T + E_l A_l^T$

เราสามารถจัดรูปแบบสมการของกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลเข้าบัสใดๆให้อยู่ในเทอมของกำลังไฟฟ้าที่ฉีดเข้าบัสนั้นๆ ได้ดังนี้

$$S_{bus} = P_{bus} + jQ_{bus} = \left(1 + j \frac{Q_{bus}}{P_{bus}} \right) P_{bus} = \beta P_{bus} \tag{5.18}$$

โดยที่

β คือ เมตริกซ์เส้นทแยงมุมหลัก โดยสมาชิกแต่ละตัวมีค่าเท่ากับ β_i

P_{bus} คือ คอลัมน์เวกเตอร์ของกำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีดเข้าบัส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แทน (5.18) ลงใน (5.17) จะได้ (5.19)

$$S_l = P_{bus}^T \left(\beta^* F_l \beta\right) P_{bus} \tag{5.19}$$

จัดรูป (5.19) ใหม่จะได้กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลในสายส่ง *l* ที่อยู่ในรูปของกำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีดเข้าบัส ดังนี้

$$S_l = P_{bus}^T \gamma_l P_{bus} \tag{5.20}$$

โดยที่

γ_l คือ เมตริกซ์ $\beta^* F_l \beta$

5.3.2 การจัดสรรปริมาณการใช้งานสายส่งไฟฟ้าสำหรับระบบที่มีการซื้อขายไฟฟ้าผสมระหว่างการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา (Transmission Usage Allocation for a Mixed Pool-Bilateral Market)

กำหนดให้กำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีดเข้าสู่บัส เมื่อเกิดการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสม เป็นดังนี้

$$P_{bus} = P_P + P_B \tag{5.21}$$

โดยที่

P_{bus} คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีดเข้าสู่บัส เมื่อเกิดการซื้อขายไฟฟ้า

P_p คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีดเข้าสู่บัสของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง

P_B คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีดเข้าสู่บัสของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

แทน P_{bus} จาก (5.21) ลงใน (5.20) จะได้ (5.22) และ (5.23)

$$S_l = \left(P_P + P_B\right)^T \gamma_l \left(P_P + P_B\right) \tag{5.22}$$

$$S_l = P_P^T \gamma_l P_P + P_P^T \gamma_l P_B + P_B^T \gamma_l P_P + P_B^T \gamma_l P_B \tag{5.23}$$

เนื่องจาก $P_B^T \gamma_l P_P = P_P^T \gamma_l^T P_B$ ดังนั้นจาก (5.23) จะได้ (5.24)

$$S_l = P_P^T \gamma_l P_P + P_B^T \gamma_l P_B + P_P^T \left(\gamma_l + \gamma_l^T\right) P_B \tag{5.24}$$

แทนค่า P_B จาก (5.1) ลงใน (5.24) จะได้ (5.25) และ (5.26)

$$S_l = P_P^T \gamma_l P_P + T^T \left(M\gamma_l M^T\right)T + P_P^T\left(\left(\gamma_l + \gamma_l^T\right)M^T\right)T \tag{5.25}$$

$$S_l = P_P^T \lambda_{l(P,P)} P_P + T^T \lambda_{l(B,B)} T + P_P^T \lambda_{l(P,B)} T \tag{5.26}$$

จะเห็นว่ากำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลในสายส่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนดังนี้

1. $P_P^T \lambda_{l(P,P)} P_P$ เป็นกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลในสายส่งเส้นที่ *l* ที่มีผลมาจากการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเพียงอย่างเดียว
2. $T^T \lambda_{l(B,B)} T$ เป็นกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลในสายส่งเส้นที่ *l* ที่มีผลมาจากการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเพียงอย่างเดียว
3. $P_P^T \lambda_{l(P,B)} T$ เป็นกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลในสายส่งเส้นที่ *l* ที่มีผลมาจากการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

ในวิทยานิพนธ์นี้ เราจะเรียกเมตริกซ์จาก (5.26) ดังนี้

$\lambda_{l(P,P)}$ เมตริกซ์การจัดสรรการไหลของกำลังไฟฟ้าปรากฏในสายส่งที่มีผลมาจากการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางของสายส่งเส้นที่ *l*

$\lambda_{l(B,B)}$ เมตริกซ์การจัดสรรการไหลของกำลังไฟฟ้าปรากฏในสายส่งที่มีผลมาจากการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาของสายส่งเส้นที่ *l*

$\lambda_{l(P,B)}$ เมตริกซ์การจัดสรรการไหลของกำลังไฟฟ้าปรากฏในสายส่งที่มีผลมาจากการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและแบบคู่สัญญาของสายส่งเส้นที่ *l*

จาก (5.26) เราสามารถแยกพิจารณาการคำนวณสำหรับแต่ละพจน์ได้ดังนี้

$$P_P^T \lambda_{l(P,P)} P_P = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} \lambda_{l(P,P),ij} P_i P_j = \sum_{i=1}^{n} \lambda_{l(P,P),ii} P_i^2 + \sum_{i=1}^{n}\sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{n} \lambda_{l(P,P).ij} P_i P_j \tag{5.27}$$

$$T^T \lambda_{l(B,B)} T = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{m} \lambda_{l(B,B),ij} T_i T_j = \sum_{i=1}^{m} \lambda_{l(B,B),ii} T_i^2 + \sum_{i=1}^{m}\sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{m} \lambda_{l(B,B),ij} T_i T_j \tag{5.28}$$

$$P_P^T \lambda_{l(P,B)} T = \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} \lambda_{l(P,B),ij} P_i T_j \tag{5.30}$$

โดยที่

n คือ จำนวนบัสทั้งหมดในระบบส่งไฟฟ้า

m คือ จำนวนคู่สัญญาของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

จาก (5.27)-(5.30) สามารถจัดรูปแบบของการไหลของกำลังไฟฟ้าออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

1. การไหลของกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากกำลังไฟฟ้าของแต่ละบัสของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางเอง หรือเกิดจากการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาของแต่ละสัญญาเอง ซึ่งคือ $\sum_{i=1}^{n}\lambda_{l(P,P),ii}P_i^2$ และ $\sum_{i=1}^{m}\lambda_{l,(B,B)}T_i^2$ ตามลำดับ
2. การไหลของกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากความเกี่ยวข้องกันของบัสที่แตกต่างกันภายในการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง หรือระหว่างคู่สัญญาซื้อขายไฟฟ้าที่แตกต่างกันของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา ซึ่งคือ $\sum_{i=1}^{n}\sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{n}\lambda_{l(P,P),ij}P_iP_j$ และ $\sum_{i=1}^{m}\sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{m}\lambda_{l(B,B),ij}T_iT_j$ ตามลำดับ
3. การไหลของกำลังไฟฟ้าที่เกิดจากความเกี่ยวข้องกันระหว่างการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง กับการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา ซึ่งคือ $\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\lambda_{l(P,B),ij}P_iT_j$

พิจารณาการใช้งานสายส่งแต่ละเส้น ซึ่งก็คือกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลในสายส่งเส้นนั้น ดังนั้นเราสามารถจัดสรรสัดส่วนการใช้งานสายส่งไปสู่บัสของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง หรือคู่สัญญาซื้อขายไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา และกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าได้ดังนี้

การจัดสรรการใช้งานสายส่งไปให้กับบัสของการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลาง สามารถกำหนดได้จาก

$$S_{l,Pk} = \lambda_{l(P,P),kk}P_k^2 + \sum_{\substack{i=1\\ i\neq k}}^{n}(\lambda_{l(P,P),ik}+\lambda_{l(P,P),ki})P_iP_k \times \frac{|P_k|}{|P_k|+|P_i|} + \sum_{j=1}^{m}\lambda_{l(P,B),kj}P_kT_j \times \frac{|P_k|}{|P_k|+|T_j|} \tag{5.31}$$

$$S_{l,Pk} = \lambda_{l(P,P),kk}P_k^2 + \sum_{\substack{i=1\\ i\neq k}}^{n}\eta_{l(P,P),ik}P_iP_k \times \frac{|P_k|}{|P_k|+|P_i|} + \sum_{j=1}^{m}\lambda_{l(P,B),kj}P_kT_j \times \frac{|P_k|}{|P_k|+|T_j|} \tag{5.32}$$

โดยที่

$S_{l,Pk}$ คือ สัดส่วนในการจัดสรรการใช้งานสายส่งเส้นที่ *l* ให้กับบัสที่ *k* ของการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลาง

P_k คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีดเข้าสู่บัส *k* ของการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลาง

T_j คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่มีการซื้อขายของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา *j*

พิจารณาสมการที่ (5.32) จะเห็นว่าการใช้งานสายส่งเส้นที่ *l* ที่ถูกจัดสรรไปสู่บัส *k* ของการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลางประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1. $\lambda_{l(P,P),kk}P_k^2$ เป็นการใช้งานสายส่งเส้นที่ *l* ที่เกิดจากบัส *k* ของการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลางเพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถจัดสรรการใช้งานสายส่งไปสู่บัส *k* โดยไม่ต้องมีการแบ่ง
2. $\sum_{i=1}^{n}\eta_{l(P,P),ik}P_iP_k$ เป็นการใช้งานสายส่งเส้นที่ *l* ที่เกิดจากการมีอยู่ของบัส *k* และบัส *i* ใดๆ ของการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลาง ในการจัดสรรการใช้งานสายส่งไปให้กับบัส *k* ต้องใช้ค่า $|P_k|$ ซึ่งเป็นเสมือนตัวถ่วงน้ำหนักของบัส *k* และ $|P_i|$ ซึ่งเป็นเสมือนตัวถ่วงน้ำหนักที่บัส *i* ดังนั้นการจัดสรรในส่วนนี้ไปสู่บัส *k* จึงต้องทำการคูณ $\sum_{i=1}^{n}\eta_{l(P,P),ik}P_iP_k$ ด้วย $\frac{|P_k|}{|P_k|+|P_i|}$
3. $\sum_{j=1}^{m}\lambda_{l(P,B),kj}P_kT_j$ เป็นการใช้งานสายส่งเส้นที่ *l* ที่เกิดจากการมีอยู่ของบัส *k* ของการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้า *j* ของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา ในการจัดสรรการใช้งานสายส่งให้กับบัส *k* ต้องใช้ค่า $|P_k|$ ซึ่งเป็นเสมือนตัวถ่วงน้ำหนักของบัส *k* และ $|T_j|$ ซึ่งเป็นเสมือนตัวถ่วงน้ำหนักของคู่สัญญาซื้อขายไฟฟ้าที่ *j* ดังนั้นการจัดสรรในส่วนนี้ไปสู่บัส *k* จึงต้องทำการคูณ $\sum_{j=1}^{m}\lambda_{l(P,B),kj}P_kT_j$ ด้วย $\frac{|P_k|}{|P_k|+|T_j|}$

สำหรับการจัดสรรการใช้งานสายส่งไปให้กับการซื้อขายไฟฟ้าแต่ละคู่สัญญา สามารถกำหนดได้ดังนี้

$$S_{l,Bk} = \lambda_{l(B,B),kk}T_k^2 + \sum_{\substack{i=1\\i\neq k}}^{n}(\lambda_{l(B,B),ik}+\lambda_{l(B,B),ki})T_iT_k \times \frac{|T_k|}{|T_k|+|T_i|} + \sum_{j=1}^{m}\lambda_{l(P,B),jk}P_jT_k \times \frac{|T_k|}{|T_k|+|P_j|} \tag{5.33}$$

$$S_{l,Bk} = \lambda_{l(B,B),kk}T_k^2 + \sum_{\substack{i=1\\i\neq k}}^{n}\eta_{l(B,B),ik}T_iT_k \times \frac{|T_k|}{|T_k|+|T_i|} + \sum_{j=1}^{m}\lambda_{l(P,B),jk}P_jT_k \times \frac{|T_k|}{|T_k|+|P_j|} \tag{5.34}$$

โดยที่

$S_{l,Bk}$ คือ สัดส่วนในการจัดสรรการใช้งานสายส่งเส้นที่ *l* ให้กับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าสัญญาที่ *k* ของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

พิจารณาสมการที่ (5.34) จะเห็นว่าการใช้งานสายส่งเส้นที่ *l* ที่ถูกจัดสรรไปสู่สัญญาซื้อขายไฟฟ้าสัญญาที่ *k* ของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1. $\lambda_{l(B,B),kk}T_k^2$ เป็นการใช้งานสายส่งเส้นที่ *l* ที่เกิดจากสัญญาซื้อขายไฟฟ้าสัญญาที่ *k* ของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถจัดสรรการใช้งานสายส่งไปสู่การสัญญาซื้อขายไฟฟ้าที่ *k* โดยไม่ต้องมีการแบ่ง

2. $\sum_{i=1}^{m}\eta_{l(B,B),ik}T_iT_k$ เป็นการใช้งานสายส่งเส้นที่ *l* ที่เกิดจากการมีอยู่ของการซื้อขายไฟฟ้าที่ *k* และการซื้อขายไฟฟ้าที่ *j* ใดๆ ของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา ในการจัดสรรการใช้งานสายส่งไปให้กับการสัญญาซื้อขายไฟฟ้าที่ *k* ต้องใช้ค่า $|T_k|$ ซึ่งเป็นเสมือนตัวถ่วงน้ำหนักของการซื้อขายไฟฟ้าที่ *k* และ $|T_i|$ ซึ่งเป็นเสมือนตัวถ่วงน้ำหนักของการซื้อขายไฟฟ้าที่ *i* ดังนั้นการจัดสรรการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในส่วนนี้ไปสู่สัญญาซื้อขายไฟฟ้าที่ *k* จึงต้องทำการคูณ $\sum_{i=1}^{m}\eta_{l(B,B),ik}T_iT_k$ ด้วย $\frac{|T_k|}{|T_k|+|T_i|}$

3. $\sum_{j=1}^{n}\lambda_{l(P,B),jk}P_jT_k$ เป็นการใช้งานสายส่งเส้นที่ *l* ที่เกิดจากการมีอยู่ของการซื้อขายไฟฟ้าที่ *k* ของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา และบัสที่ *j* ของการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลางในการจัดสรรการใช้งานสายส่งให้กับการซื้อขายไฟฟ้าที่ *k* ต้องใช้ค่า $|T_k|$ ซึ่งเป็นเสมือนตัวถ่วงน้ำหนักของการซื้อขายไฟฟ้าที่ *k* และ $|P_j|$ ซึ่งเป็นเสมือนตัวถ่วงน้ำหนักของบัสที่ *j* ดังนั้นการจัดสรรการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในส่วนนี้ไปสู่สัญญาซื้อขายไฟฟ้าที่ *k* จึงต้องทำการคูณ $\sum_{j=1}^{n}\lambda_{l(P,B),jk}P_jT_k$ ด้วย $\frac{|T_k|}{|T_k|+|P_i|}$

ในวิธีการที่ได้นำเสนอข้างต้น เราสามารถคำนวณการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าเนื่องจากการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา แต่ในการใช้งานระบบส่งไฟฟ้านอกจากจะพิจารณาเฉพาะผลของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากซื้อขายไฟฟ้าทั้งสองรูปแบบแล้ว เราจะต้องคำนึงถึงผลของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าเนื่องจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบด้วย โดยเราสามารถคำนวณการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าเนื่องจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้ดังนี้

$$S_{l,loss} = S_l - (S_{l,P} + S_{l,B}) \qquad (5.35)$$

โดยที่

$S_{l,loss}$ คือ การใช้งานสายส่งไฟฟ้าเส้นที่ *l* ที่เกิดจากกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

$S_{l,P}$ คือ การใช้งานสายส่งไฟฟ้าเส้นที่ *l* ที่เกิดจากการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง

$S_{l,B}$ คือ การใช้งานสายส่งไฟฟ้าเส้นที่ *l* ที่เกิดจากการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

ในขั้นต้น วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกำหนดให้บัสอ้างอิงอิงเป็นผู้รับผิดชอบการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในส่วนนี้ ดังนั้นจึงต้องมีการจัดสรรการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในส่วนนี้ให้กับผู้มีส่วนร่วมในการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าทั้งหมด ซึ่งในการจัดสรรจะพิจารณาจากผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบส่งไฟฟ้าเมื่อเกิดการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา[3] ดังนั้นเราสามารถจัดสรรผลการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าเนื่องจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียไปให้กับผู้มีส่วนร่วมในการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าได้ดังนี้

$$S_{l,loss,Pk} = S_{l,loss} \times \frac{L_{Pk}}{total\ \ loss} \tag{5.36}$$

$$S_{l,loss,Bk} = S_{l,loss} \times \frac{L_{Bk}}{total\ \ loss} \tag{5.37}$$

โดยที่

$S_{l,loss,Pk}$ คือ ผลการจัดสรรการใช้งานสายส่งไฟฟ้าเส้นที่ l ที่เกิดจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียให้กับบัสที่ k ของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง

$S_{l,loss,Bk}$ คือ ผลการจัดสรรการใช้งานสายส่งไฟฟ้าเส้นที่ l ที่เกิดจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียให้กับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าที่ k ของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

L_{Pk} คือ ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียให้กับบัสที่ k ของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง

L_{Bk} คือ ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียให้กับสัญญาซื้อขายไฟฟ้าที่ k ของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

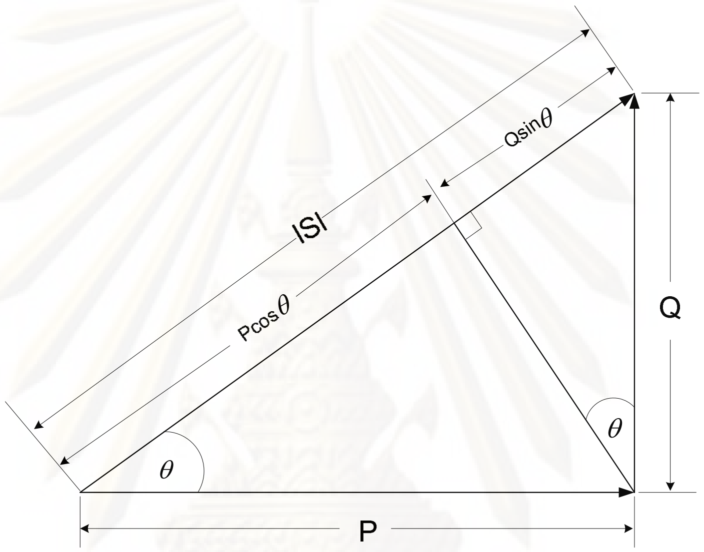
เราสามารถจัดสรรผลการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าให้กับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา โดยพิจารณาผลของกำลังไฟฟ้าสูญเสียได้ดังนี้

$$S_{l,Pk}^{(k+1)} = S_{l,Pk}^{(k)} + S_{l,loss,Pk} \tag{5.38}$$

$$S_{l,Bk}^{(k+1)} = S_{l,Bk}^{(k)} + S_{l,loss,Bk} \tag{5.39}$$

5.3.3 ความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่มีผลต่อการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า

เนื่องจากการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าประกอบด้วย 2 ส่วน คือ การใช้งานที่เกิดจากกำลังไฟฟ้าจริงและการใช้งานที่เกิดจากกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ดังนั้นเราจึงสามารถหาความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการไหลของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟในสายส่งแต่ละเส้นได้ดังรูปที่ 5.3 คือ การใช้งานสายส่งไฟฟ้าที่เกิดจากกำลังไฟฟ้าจริงของสายส่ง และการใช้งานสายส่งไฟฟ้าที่เกิดจากกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ซึ่งสามารถแสดงได้ดัง (5.40)



รูปที่ 5.3 รูปแบบความสัมพันธ์ของการใช้งานสายส่งที่นำเสนอ

$$P_l \cos\theta_l + Q_l \sin\theta_l = |S_l| \tag{5.40}$$

โดยที่

P_l คือ กำลังไฟฟ้าจริงของสายส่งไฟฟ้าเส้นที่ *l*

Q_l คือ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของสายส่งไฟฟ้าเส้นที่ *l*

S_l คือ การใช้งานสายส่งไฟฟ้าของสายส่งไฟฟ้าเส้นที่ *l*

θ_l คือ มุมของการใช้งานสายส่งไฟฟ้าเส้นที่ *l*

จาก (5.40) จะได้ความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าของสายส่งไฟฟ้าเส้นที่ *l* ในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ คือ $P_l \cos\theta_l$ และ $Q_l \sin\theta_l$ ตามลำดับ

จาก (5.38) เราสามารถแยกการใช้งานสายส่งไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลางออกเป็น ส่วนของกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟได้ดังนี้

$$P_{l,Pk} = \mathrm{Re}\{S_{l,Pk}\} \quad (5.41)$$

$$Q_{l,Pk} = \mathrm{Im}\{S_{l,Pk}\} \quad (5.42)$$

โดยที่

$P_{l,Pk}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลในสายส่งเส้นที่ l ของบัสที่ k ของการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลาง

$Q_{l,Pk}$ คือ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ไหลในสายส่งเส้นที่ l ของบัสที่ k ของการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลาง

จาก (5.39) เราสามารถแยกการใช้งานสายส่งไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาออกเป็น ส่วนของกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟได้ดังนี้

$$P_{l,Bk} = \mathrm{Re}\{S_{l,Bk}\} \quad (5.43)$$

$$Q_{l,Bk} = \mathrm{Im}\{S_{l,Bk}\} \quad (5.44)$$

โดยที่

$P_{l,Bk}$ คือ กำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลในสายส่งเส้นที่ l ของการซื้อขายที่ k ของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

$Q_{l,Bk}$ คือ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ไหลในสายส่งเส้นที่ l ของการซื้อขายที่ k ของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

ดังนั้นกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ไหลในสายส่งไฟฟ้าเส้นที่ l สามารถเขียนในรูปของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาได้ดังนี้

$$P_l = \left(P_{l,P1} + P_{l,P2} + \ldots + P_{l,Pn}\right) + \left(P_{l,B1} + P_{l,B2} + \ldots + P_{l,Bm}\right) \quad (5.45)$$

$$Q_l = \left(Q_{l,P1} + Q_{l,P2} + \ldots + Q_{l,Pn}\right) + \left(Q_{l,B1} + Q_{l,B2} + \ldots + Q_{l,Bm}\right) \quad (5.46)$$

เราสามารถหาความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากกำลังไฟฟ้าจริงของสายส่งเส้นที่ l ที่เกิดจากบัสหรือสัญญาซื้อขายไฟฟ้าได้ดังนี้

$$P_l \cos\theta_l = P_{l,1}\cos\theta_l + P_{l,2}\cos\theta_l + \ldots + P_{l,k}\cos\theta_l \quad (5.47)$$

$$SP_l = SP_{l,1} + SP_{l,2} + \ldots + SP_{l,k} \tag{5.48}$$

โดยที่

SP_l คือ ความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากกำลังไฟฟ้าจริงของสายส่งเส้นที่ l

$SP_{l,k}$ คือ ความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากกำลังไฟฟ้าจริงของสายส่งเส้นที่ l ของบัสหรือสัญญาซื้อขายไฟฟ้าที่ k

เช่นเดียวกัน เราสามารถหาความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในส่วนกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของสายส่งเส้นที่ l ที่เกิดจากบัสหรือสัญญาซื้อขายไฟฟ้าได้ดังนี้

$$Q_l \cos\theta_l = Q_{l,1} \cos\theta_l + Q_{l,2} \cos\theta_l + \ldots + Q_{l,k} \cos\theta_l \tag{5.49}$$

$$SQ_l = SQ_{l,1} + SQ_{l,2} + \ldots + SQ_{l,k} \tag{5.50}$$

โดยที่

SQ_l คือ ความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของสายส่งเส้นที่ l

$SQ_{l,k}$ คือ ความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของสายส่งเส้นที่ l ของบัสหรือสัญญาซื้อขายไฟฟ้าที่ k

จากความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่สามารถคำนวณได้ข้างต้น จะเห็นว่ามีรูปแบบของความสัมพันธ์ทั้งหมด 3 รูปแบบ ดังนี้

1. ความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบส่งที่เป็นบวก หมายความว่า การซื้อขายไฟฟ้าของบัสหรือสัญญาซื้อขายไฟฟ้านั้น มีส่วนทำให้การใช้งานระบบส่งไฟฟ้ามีการใช้งานที่เพิ่มขึ้น
2. ความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบส่งที่เป็นลบ หมายความว่า การซื้อขายไฟฟ้าของบัสหรือสัญญาซื้อขายไฟฟ้านั้น ช่วยลดหรือแบ่งเบาภาระการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า
3. ความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบส่งที่เท่ากับศูนย์ หมายความว่า ไม่มีการซื้อขายไฟฟ้าที่บัส นั้น หรือเป็นสัญญาซื้อขายไฟฟ้าที่ระหว่างบัสเดียวกัน ซึ่งจะถือว่าไม่มีการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า

5.3.4 การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า โดยแยกพิจารณาค่าบริการการใช้งานในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงและการใช้งานส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

ในการคิดค่าบริการระบบส่งที่เกิดจากการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะแยกพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน คือ ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริง และค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟเช่นเดียวกับการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า ซึ่งจาก (5.40) เราสามารถคำนวณค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานสายส่งเส้นที่ l ในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ได้ดังนี้

$$\frac{P_l}{|S_l|}\cos\theta_l + \frac{Q_l}{|S_l|}\sin\theta_l = 1 \tag{5.51}$$

$$C_{U,l}\left[\frac{P_l}{|S_l|}\cos\theta_l + \frac{Q_l}{|S_l|}\sin\theta_l\right] = C_{U,l} \tag{5.52}$$

โดยที่

$C_{U,l}$ คือ ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานระบบส่งของสายส่งเส้นที่ l

จาก (5.54) เราสามารถคำนวณค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของการใช้งานสายส่งไฟฟ้าของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ คือ $\left(\frac{P_l}{|S_l|}\cos\theta_l\right)C_{U,l}$ และ $\left(\frac{Q_l}{|S_l|}\sin\theta_l\right)C_{U,l}$ ตามลำดับ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะอาศัยหลักการที่ว่า การใช้งานระบบส่งไฟฟ้าของการทั้งซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญามีส่วนร่วมในการใช้งานระบบส่งเท่ากัน โดยบัสหรือการซื้อขายใดที่ส่งผลทำให้เกิดการใช้งานสายส่งเพิ่มมากขึ้นควรที่จะต้องเป็นฝ่ายรับผิดชอบด้วยการชำระค่าบริการของสายส่งเส้นนั้น ส่วนบัสหรือการซื้อขายใดที่ช่วยลดภาระการใช้งานสายส่ง บัสหรือการซื้อขายนั้นก็ควรที่จะได้รับค่าตอบแทนโดยการลดค่าบริการระบบส่งของการซื้อขายนั้นหรืออาจไม่คิดค่าบริการการใช้งานระบบส่งในการซื้อขาย ดังนั้นจากความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่หาไว้แล้วข้างต้นทำให้เราสามารถจัดสรรค่าบริการระบบส่งที่เกิดจากการใช้งานสายส่งไฟฟ้าแต่ละเส้นได้ดังนี้

$$C_{U,l,k} = C_{U,l}\left[\left(\frac{P_{l,k}}{\sum_{i=1}^{m+n} P_{l,i}} \times \frac{P_l}{|S_l|}\cos\theta_l\right) + \left(\frac{Q_{l,k}}{\sum_{i=1}^{m+n} Q_{l,i}} \times \frac{Q_l}{|S_l|}\sin\theta_l\right)\right] \tag{5.53}$$

$$C_{U,l,k} = C_{U,l}\left[\frac{P_{l,k}}{|S_l|}\cos\theta_l + \frac{Q_{l,k}}{|S_l|}\sin\theta_l\right] \tag{5.54}$$

โดยที่

$C_{U,l,k}$ คือ ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานระบบส่งของสายส่งเส้นที่ l ที่เกิดจากบัสหรือการซื้อขายไฟฟ้าที่ k

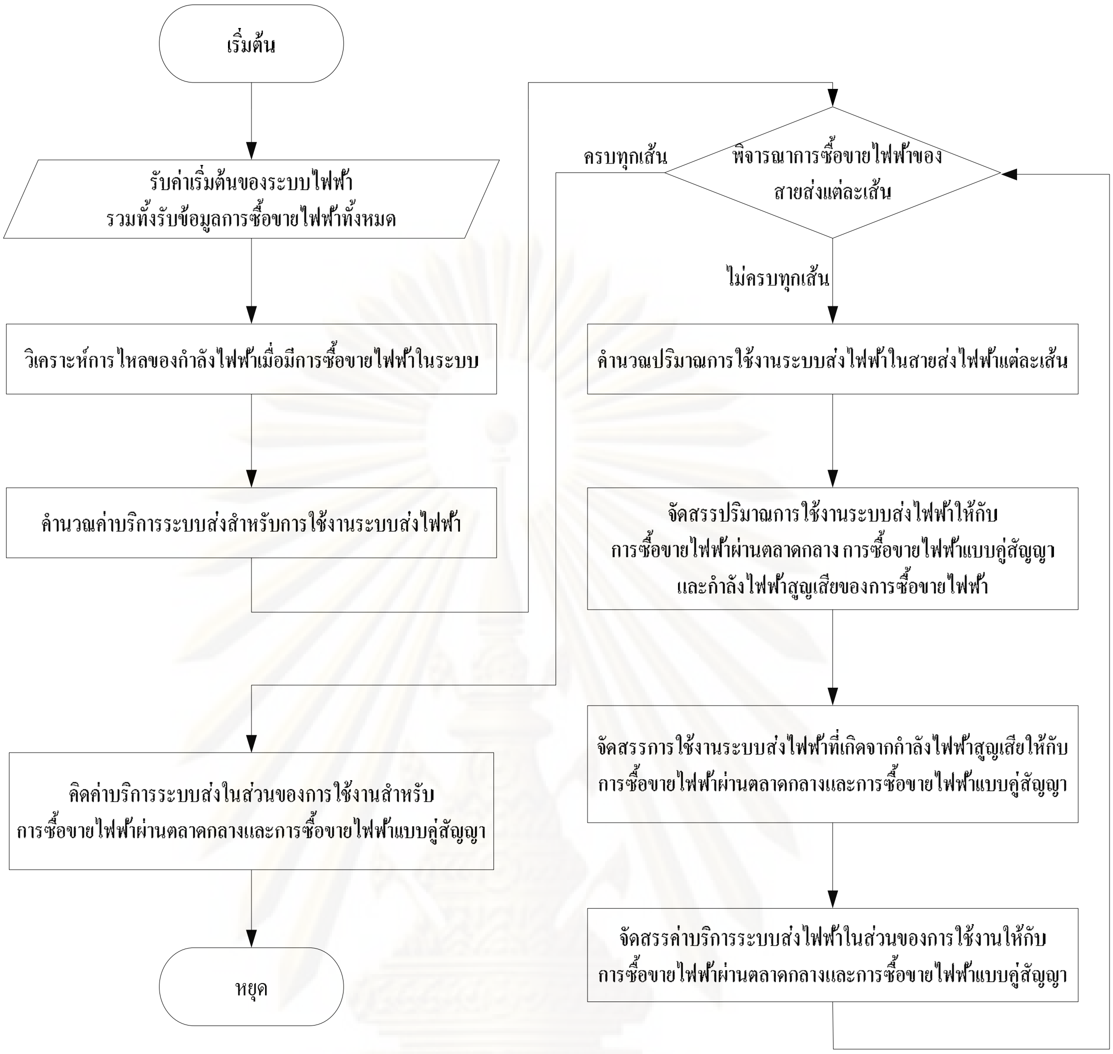
และสามารถจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าไปยังผู้ใช้บริการระบบส่งแต่ละราย ได้ดังนี้

$$C_{U,k} = \sum_{l=1}^{line} C_{U,l,k} \tag{5.55}$$

โดยที่

$C_{U,k}$ คือ ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานระบบส่งของบัสหรือการซื้อขายไฟฟ้าที่ k

จากวิธีจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าที่นำเสนอ จะสามารถอธิบายเป็นแผนภาพแสดงขั้นตอนการคำนวณได้ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 แผนภาพการคำนวณค่าบริการระบบส่งในส่วนของการใช้งาน

5.4 การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนที่เผื่อของการใช้งานของระบบส่งไฟฟ้า

การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนที่เหลือจากการใช้งานของระบบส่งไฟฟ้าที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะพิจารณาจากค่าความคาดหวังที่ผู้ใช้บริการระบบส่งจะใช้งานส่วนเผื่อของระบบส่งไฟฟ้า (Expected Transmission Margin Use: ETMU) โดยจะสนใจการเพิ่มขึ้นของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาจากการเพิ่มขึ้นของค่าความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า เมื่อระบบส่งไฟฟ้าอยู่ในภาวะไม่ปกติ คือ มีสายส่งเส้นใดเส้นหนึ่งหลุดออกจากระบบส่งไฟฟ้า และในการคำนวณค่าความคาดหวังที่ผู้ใช้บริการระบบส่งจะใช้งานส่วนเผื่อของระบบส่งไฟฟ้านี้ยังคงแยกพิจารณาถึงการใช้งานส่วนเผื่อของระบบส่งไฟฟ้าออกเป็น 2

ส่วนเหมือนกับการคำนวณการใช้งานระบบไฟฟ้าที่เกิดจากผู้ใช้งานระบบส่งไฟฟ้าทั้งหมดในภาวะปกติข้างต้น คือ

1. ค่าความคาดหวังที่ผู้ใช้บริการระบบส่งจะใช้งานส่วนเผื่อของระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริง(ETMUP)
2. ค่าความคาดหวังที่ผู้ใช้บริการระบบส่งจะใช้งานส่วนเผื่อของระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ(ETMUQ)

นอกจากนี้ ในการคำนวณยังคำนึงถึงความน่าจะเป็นที่สายส่งแต่ละเส้นจะหลุดออกจากระบบส่งไฟฟ้าประกอบด้วย ทำให้การคำนวณด้วยวิธีนี้มีความสมเหตุสมผลมากยิ่งขึ้น

จากวิธีการคำนวณที่ได้นำเสนอ เราสามารถแสดงสมการการคำนวณค่าความคาดหวังของการใช้งานส่วนเผื่อของระบบส่งไฟฟ้าของผู้ใช้งานระบบส่งไฟฟ้าแต่ละราย ทั้งในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริง และกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟได้ดังนี้

เมื่อ $\left|S_l^x\right| > \left|S_l\right|$

$$ETMUP_{l,k} = \sum_{\substack{x=1 \\ x \neq l}}^{line} \left(SP_{l,k}^x - SP_{l,k}\right) \times U_x \qquad \forall x, SP_l^x > SP_l \tag{5.56}$$

$$ETMUQ_{l,k} = \sum_{\substack{x=1 \\ x \neq l}}^{line} \left(SQ_{l,k}^x - SQ_{l,k}\right) \times U_x \qquad \forall x, SQ_l^x > SQ_l \tag{5.57}$$

โดยที่

S_l^x คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลในสายส่งเส้นที่ l เมื่อสายส่งเส้นที่ x หลุดออกจากระบบ

S_l คือ กำลังไฟฟ้าปรากฏที่ไหลในสายส่งเส้นที่ l ในภาวะปกติ

$ETMUP_{l,k}$ คือ ค่าความคาดหวังในการใช้งานส่วนเผื่อในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงของสายส่งเส้นที่ l ของบัสหรือการซื้อขายไฟฟ้าที่ k

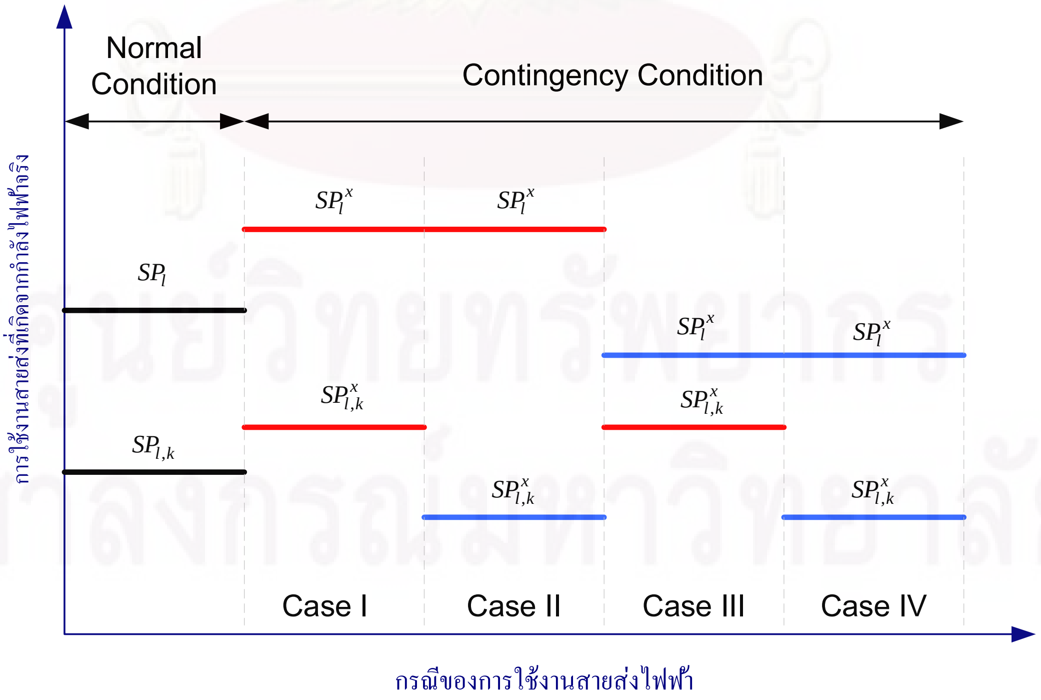
$ETMUQ_{l,k}$ คือ ค่าความคาดหวังในการใช้งานส่วนเผื่อในส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของสายส่งเส้นที่ l ของบัสหรือการซื้อขายไฟฟ้าที่ k

$SP_{l,k}^x$ คือ การใช้งานสายส่งเส้นที่ l ที่เกิดจากกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลในสายส่งเส้นนั้นของบัสหรือการซื้อขายที่ k เมื่อสายส่งเส้นที่ x หลุดออกจากระบบ

$SP_{l,k}$ คือ ค่าความสัมพันธ์ของการใช้งานสายส่งเส้นที่ l ที่เกิดจากกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลในสายส่งเส้นนั้น ของบัสหรือการซื้อขายที่ k ในภาวะปกติ

SP_l^x	คือ	ค่าความสัมพันธ์ของการใช้งานสายส่งเส้นที่ l ที่เกิดจากกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลในสายส่งเส้นนั้น เมื่อสายส่งเส้นที่ x หลุดออกจากระบบ
SP_l	คือ	ค่าความสัมพันธ์ของการใช้งานสายส่งเส้นที่ l ที่เกิดจากกำลังไฟฟ้าจริงที่ไหลในสายส่งเส้นนั้น ในภาวะปกติ
$SQ_{l,k}^x$	คือ	ค่าความสัมพันธ์ของการใช้งานสายส่งเส้นที่ l ที่เกิดจากกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ไหลในสายส่งเส้นนั้น ที่มีผลมาจากบัสหรือการซื้อขายที่ k เมื่อสายส่งเส้นที่ x หลุดออกจากระบบ
$SQ_{l,k}$	คือ	ค่าความสัมพันธ์ของการใช้งานสายส่งเส้นที่ l ที่เกิดจากกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ไหลในสายส่งเส้นนั้น ที่มีผลมาจากบัสหรือการซื้อขายที่ k ในภาวะปกติ
SQ_l^x	คือ	ค่าความสัมพันธ์ของการใช้งานสายส่งเส้นที่ l ที่เกิดจากกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ไหลในสายส่งเส้นนั้น เมื่อสายส่งเส้นที่ x หลุดออกจากระบบ
SQ_l	คือ	ค่าความสัมพันธ์ของการใช้งานสายส่งเส้นที่ l ที่เกิดจากกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่ไหลในสายส่งเส้นนั้น ในภาวะปกติ
U_x	คือ	ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สายส่งเส้นที่ x จะหลุดออกจากระบบ

จาก (5.59) สามารถแยกพิจารณากรณีของการคำนวณค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าในส่วนที่เกิดจากการใช้งานส่วนเผื่อในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงออกเป็น 4 กรณี ดังรูปที่ 5.5 โดยแต่ละกรณีมีรายละเอียดการพิจารณาดังนี้



รูปที่ 5.5 การพิจารณาการใช้งานส่วนเผื่อในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงของสายส่ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

<u>กรณีที่ 1</u> $SP_l^x > SP_l$ และ $SP_{l,k}^x > SP_{l,k}$

ค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงของสายส่งเส้นที่ l เมื่อมีสายส่งเส้นที่ x หลุดออกจากระบบ (SP_l^x) มีค่ามากกว่าค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งเส้นนี้ในภาวะปกติ (SP_l) และค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งเส้นนี้ของบัสหรือการซื้อขายไฟฟ้าที่ k เมื่อมีสายส่ง x หลุดออกจากระบบ ($SP_{l,k}^x$) มีค่ามากกว่าในภาวะปกติ ($SP_{l,k}$) การพิจารณาในส่วนนี้จะถือว่าการใช้สายส่งที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ต้องใช้บริการส่วนเผื่อของสายส่งที่สำรองไว้ ดังนั้นในกรณีนี้ถูกนำมาคิดในการคำนวณค่าความคาดหวังของการใช้ส่วนเผื่อของระบบส่ง

<u>กรณีที่ 2</u> $SP_l^x > SP_l$ และ $SP_{l,k}^x \le SP_{l,k}$

ค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงของสายส่งเส้นที่ l เมื่อมีสายส่งเส้นที่ x หลุดออกจากระบบ (SP_l^x) มีค่ามากกว่าค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งเส้นนี้ในภาวะปกติ (SP_l) แต่เนื่องจากค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งเส้นนี้ของบัสหรือการซื้อขายไฟฟ้าที่ k เมื่อมีสายส่ง x หลุดออกจากระบบ ($SP_{l,k}^x$) มีค่าน้อยกว่าในภาวะปกติ ($SP_{l,k}$) การพิจารณาในส่วนนี้จะถือว่าเป็นการลดภาระการใช้งานสายส่งไฟฟ้า ดังนั้นในกรณีนี้จะถูกนำมาคิดในการคำนวณค่าความคาดหวังของการใช้งานส่วนเผื่อของระบบส่งเช่นกัน

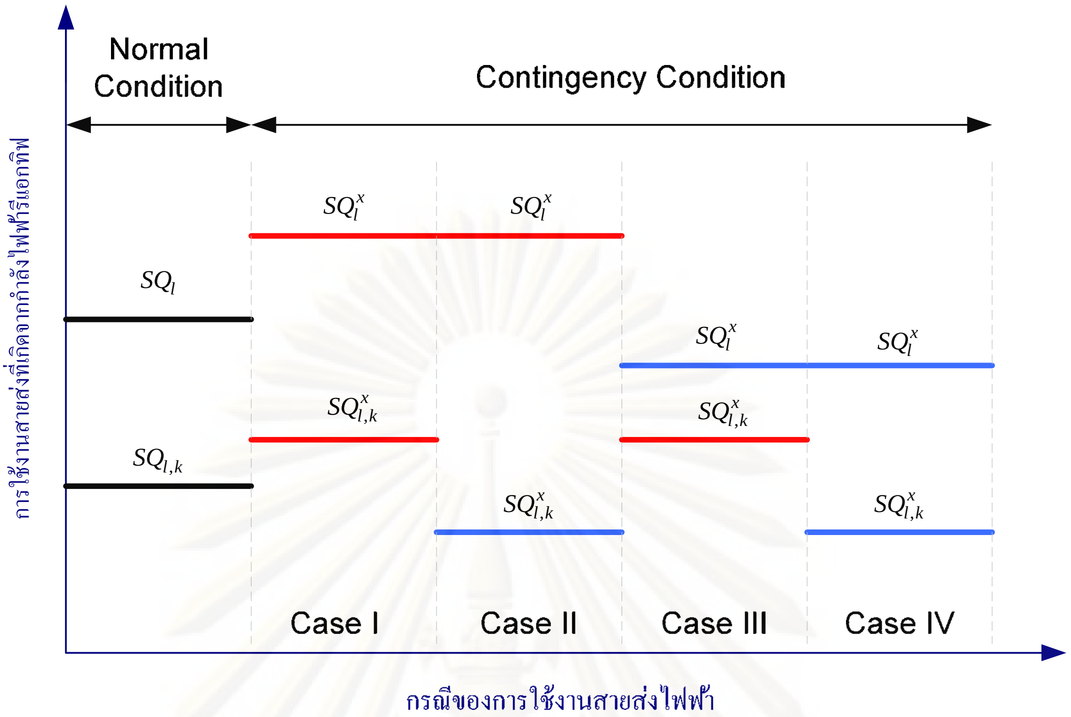
<u>กรณีที่ 3</u> $SP_l^x \le SP_l$ และ $SP_{l,k}^x > SP_{l,k}$

ค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงของสายส่งเส้นที่ l เมื่อมีสายส่งเส้นที่ x หลุดออกจากระบบ (SP_l^x) มีค่าน้อยกว่าค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งเส้นนี้ในภาวะปกติ (SP_l) แต่ค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายเส้นนี้ของบัสหรือการซื้อขายไฟฟ้าที่ k เมื่อมีสายส่ง x หลุดออกจากระบบ ($SP_{l,k}^x$) มีค่ามากกว่าในภาวะปกติ ($SP_{l,k}$) การพิจารณาในส่วนนี้จะถือว่าการใช้สายส่งที่เพิ่มขึ้นไม่จำเป็นที่จะต้องใช้บริการของส่วนเผื่อของสายส่งที่สำรองไว้ ดังนั้นในกรณีนี้จึงไม่ถูกนำมาคิดในการคำนวณค่าความคาดหวังของการใช้ส่วนเผื่อของระบบส่ง

<u>กรณีที่ 4</u> $SP_l^x \le SP_l$ และ $SP_{l,k}^x \le SP_{l,k}$

ค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงของสายส่งเส้นที่ l เมื่อมีสายส่งเส้นที่ x หลุดออกจากระบบ (SP_l^x) มีค่าน้อยกว่าค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งเส้นนี้ในภาวะปกติ (SP_l) และค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายเส้นนี้ของบัสหรือการซื้อขายไฟฟ้าที่ k เมื่อมีสายส่ง x หลุดออกจากระบบ ($SP_{l,k}^x$) มีค่าน้อยกว่าในภาวะปกติ ($SP_{l,k}$) การพิจารณาในส่วนนี้จะถือว่าการใช้สายส่งที่เพิ่มขึ้นไม่จำเป็นที่จะต้องใช้บริการของส่วนเผื่อของสายส่งที่สำรองไว้ ดังนั้นในกรณีนี้จึงไม่ถูกนำมาคิดในการคำนวณค่าความคาดหวังของการใช้ส่วนเผื่อของระบบส่ง

และจาก (5.60) สามารถแยกพิจารณากรณีของการคำนวณค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าในส่วนที่เกิดจากการใช้งานส่วนเผื่อในส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟออกเป็น 4 กรณี ดังรูปที่ 5.6 โดยแต่ละกรณีมีรายละเอียดการพิจารณาดังนี้



รูปที่ 5.6 การพิจารณาการใช้งานส่วนเผื่อในส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของสายส่ง

<u>กรณีที่ 1</u> $SQ_l^x > SQ_l$ และ $SQ_{l,k}^x > SQ_{l,k}$

ค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งในส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของสายส่งเส้นที่ l เมื่อมีสายส่งเส้นที่ x หลุดออกจากระบบ (SQ_l^x) มีค่ามากกว่าค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งเส้นนี้ในภาวะปกติ (SQ_l) และค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งเส้นนี้ของบัสหรือการซื้อขายไฟฟ้าที่ k เมื่อมีสายส่ง x หลุดออกจากระบบ ($SQ_{l,k}^x$) มีค่ามากกว่าในภาวะปกติ ($SQ_{l,k}$) การพิจารณาในส่วนนี้จะถือว่าการใช้สายส่งที่เพิ่มขึ้นมีผลให้ต้องใช้บริการส่วนเผื่อของสายส่งที่สำรองไว้ ดังนั้นในกรณีนี้ถูกนำมาคิดในการคำนวณค่าความคาดหวังของการใช้ส่วนเผื่อของระบบส่ง

<u>กรณีที่ 2</u> $SQ_l^x > SQ_l$ และ $SQ_{l,k}^x \le SQ_{l,k}$

ค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งในส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของสายส่งเส้นที่ l เมื่อมีสายส่งเส้นที่ x หลุดออกจากระบบ (SQ_l^x) มีค่ามากกว่าค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งเส้นนี้ในภาวะปกติ (SQ_l) แต่เนื่องจากค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งเส้นนี้ของบัสหรือการซื้อขายไฟฟ้าที่ k เมื่อมีสายส่ง x หลุดออกจากระบบ ($SQ_{l,k}^x$) มีค่าน้อยกว่าในภาวะปกติ ($SQ_{l,k}$)การพิจารณาในส่วนนี้จะถือว่าเป็นการลดภาระการใช้งานสายส่งไฟฟ้า ดังนั้นในกรณีนี้จะถูกนำมาคิดในการคำนวณค่าความคาดหวังของการใช้งานส่วนเผื่อของระบบส่งเช่นกัน

<u>กรณีที่ 3</u> $SQ_l^x \leq SQ_l$ และ $SQ_{l,k}^x > SQ_{l,k}$

ค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งในส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของสายส่งเส้นที่ *l* เมื่อมีสายส่งเส้นที่ *x* หลุดออกจากระบบ (SQ_l^x) มีค่าน้อยกว่าค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งเส้นนี้ในภาวะปกติ (SQ_l) แต่ค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งเส้นนี้ของบัสหรือการซื้อขายไฟฟ้าที่ *k* เมื่อมีสายส่ง *x* หลุดออกจากระบบ ($SQ_{l,k}^x$) มีค่ามากกว่าในภาวะปกติ ($SQ_{l,k}$) การพิจารณาในส่วนนี้จะถือว่าการใช้สายส่งที่เพิ่มขึ้นไม่จำเป็นจะต้องใช้บริการของส่วนเผื่อของสายส่งที่สำรองไว้ ดังนั้นในกรณีนี้จึงไม่ถูกนำมาคิดในการคำนวณค่าความคาดหวังของการใช้ส่วนเผื่อของระบบส่ง

<u>กรณีที่ 4</u> $SQ_l^x \leq SQ_l$ และ $SQ_{l,k}^x \leq SQ_{l,k}$

ค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งในส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟของสายส่งเส้นที่ *l* เมื่อมีสายส่งเส้นที่ *x* หลุดออกจากระบบ (SQ_l^x) มีค่าน้อยกว่าค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งเส้นนี้ในภาวะปกติ (SQ_l) และค่าความสัมพันธ์ของการใช้สายส่งเส้นนี้ของบัสหรือการซื้อขายไฟฟ้าที่ *k* เมื่อมีสายส่ง *x* หลุดออกจากระบบ ($SQ_{l,k}^x$) มีค่าน้อยกว่าในภาวะปกติ ($SQ_{l,k}$) การพิจารณาในส่วนนี้จะถือว่าการใช้สายส่งที่เพิ่มขึ้นไม่จำเป็นจะต้องใช้บริการของส่วนเผื่อของสายส่งที่สำรองไว้ ดังนั้นในกรณีนี้จึงไม่ถูกนำมาคิดในการคำนวณค่าความคาดหวังของการใช้ส่วนเผื่อของระบบส่ง

จากกรณีศึกษาทั้ง 4 กรณีของการคิดค่าบริการในการใช้งานส่วนเผื่อของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟจะพบว่า การคำนวณค่าความคาดหวังของการใช้ส่วนเผื่อของระบบส่งจะพิจารณาก็ต่อเมื่อ การใช้งานระบบส่งอยู่ในกรณีที่ 1 และ 2 เท่านั้น เพราะว่าในกรณีนี้จะมีการเพิ่มหรือลดภาระของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าเมื่อระบบอยู่ในภาวะไม่ปกติ ส่วนในกรณีที่ 3 และ 4 จะไม่นำมาพิจารณาในการคำนวณค่าความคาดหวังของการใช้ส่วนเผื่อของระบบส่ง เพราะว่าค่าความสัมพันธ์ของการใช้งานสายส่งในกรณีนี้ในภาวะไม่ปกติไม่เพิ่มปริมาณของการใช้สายส่ง ดังนั้นการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนที่เหลือจากการใช้งานของระบบส่งไฟฟ้าสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$C_{R,l,k} = C_{R,l} \times \left(\frac{ETMUP_{l,k} + ETMUQ_{l,k}}{\sum_{i=1}^{m+n} \left(ETMUP_{l,i} + ETMUQ_{l,i} \right)} \right) \tag{5.58}$$

โดยที่

$C_{R,l,k}$ คือ ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าส่วนที่เหลือจากการถูกใช้งานในสายส่งไฟฟ้าเส้นที่ *l* ของบัสหรือการซื้อขายไฟฟ้าที่ *k*

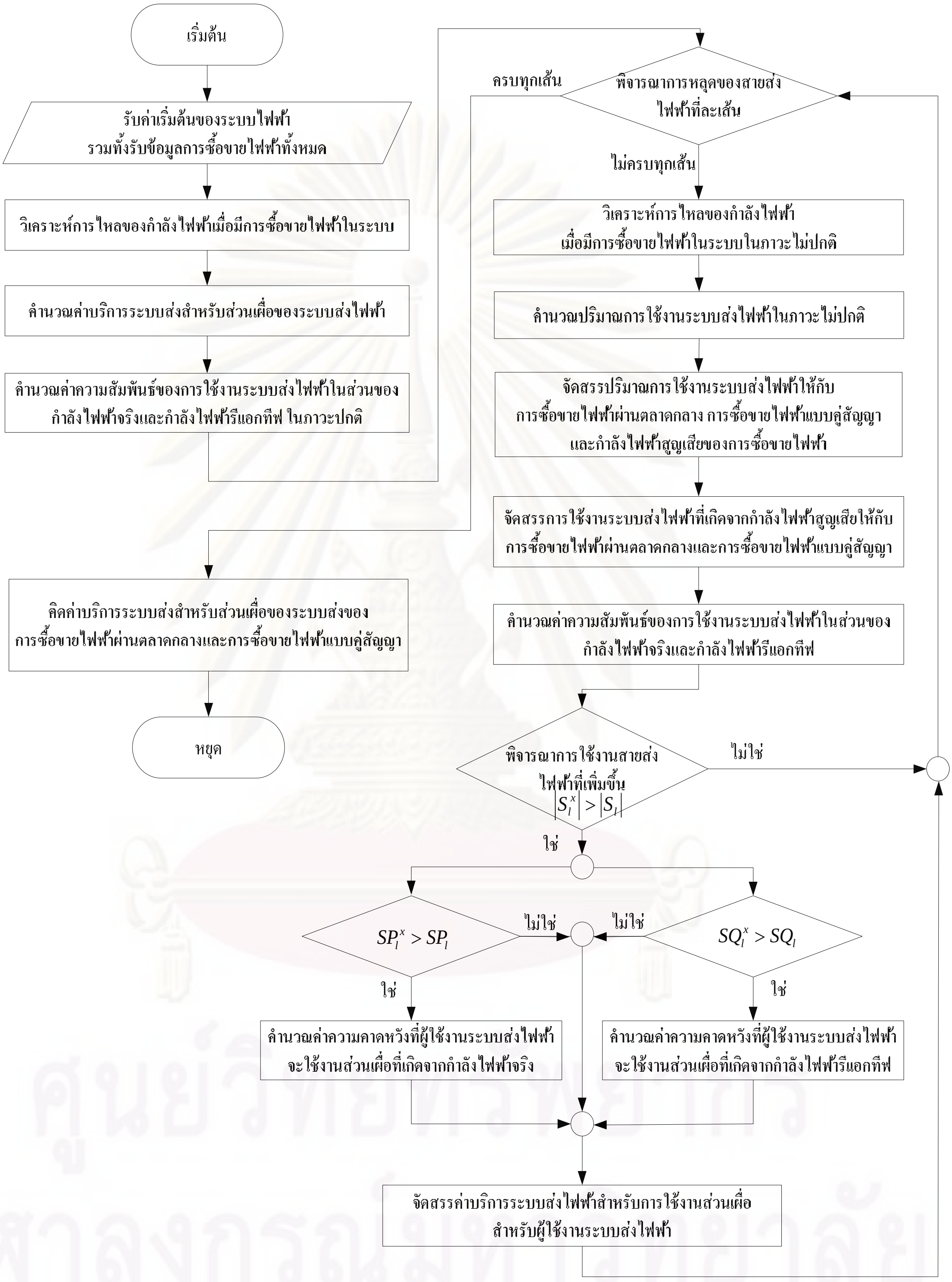
และเราสามารถจัดสรรค่าบริการระบบส่งในส่วนนี้ไปยังผู้ใช้บริการแต่ละรายในระบบ ได้ดังนี้

$$C_{R,k} = \sum_{l=1}^{line} C_{R,l,k} \qquad (5.59)$$

โดยที่

$C_{R,k}$ คือ ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนเผื่อจากการใช้งานของบัสหรือการซื้อขายไฟฟ้าที่ k

ขั้นตอนการจัดสรรค่าบริการของการใช้ระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนที่เหลือจากการใช้งานของระบบส่งไฟฟ้าที่นำเสนอ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ขั้นตอนการจัดสรรค่าบริการของการใช้ระบบส่งไฟฟ้า
สำหรับส่วนที่เหลือจากการใช้งานของระบบส่งไฟฟ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.5 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า

จากการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า และค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนที่เหลือจากการใช้งานของระบบส่งไฟฟ้า ที่ได้นำเสนอไปข้างต้น ทำให้เราสามารถคำนวณผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่บัสหรือสัญญาซื้อขายไฟฟ้าแต่ละรายจะต้องจ่ายให้กับผู้ให้บริการระบบส่งได้ดังนี้

$$C_k = C_{U,k} + C_{R,k} \tag{5.60}$$

โดยที่

C_k คือ ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งของบัสหรือการซื้อขายไฟฟ้าที่ k

จากผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่คำนวณได้ จะเห็นว่ามีรูปแบบของการจัดสรรทั้งหมด 3 รูปแบบ คือ

1. ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าเป็นบวก การซื้อขายไฟฟ้าของบัสหรือคู่สัญญาซื้อขายไฟฟ้านั้นจะต้องมีการชำระค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าตามปริมาณผลการจัดสรรที่ได้รับ
2. ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าเป็นลบ การซื้อขายไฟฟ้าของบัสหรือคู่สัญญาซื้อขายไฟฟ้านั้นจะถูกบังคับให้มีค่าเป็นศูนย์ หรือไม่คิดค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า
3. ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าเป็นศูนย์ การซื้อขายไฟฟ้าของบัสหรือคู่สัญญาซื้อขายไฟฟ้านั้นไม่มีการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า เนื่องจากไม่มีการซื้อขายไฟฟ้าที่บัสฯนั้น หรือเป็นคู่สัญญาซื้อขายไฟฟ้าที่บัสเดียวกัน

ในส่วนของผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เป็นบวกนั้น ถ้าค่าบริการระบบส่งที่คำนวณได้มีค่ามากกว่าค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่ต้องการ จะมีการคำนวณค่าบริการระบบส่งที่มากกว่าค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่ต้องการนี้ เพื่อทำการสะสมเข้ากองทุนก่อสร้างระบบส่งไฟฟ้า (Transmission Construction Fund: TCF) สำหรับใช้เป็นต้นทุนสำหรับการก่อสร้างระบบส่งไฟฟ้าหรือใช้ในการวิจัยเพื่อทำการก่อสร้างระบบส่งไฟฟ้าในอนาคต ดังนั้น เราสามารถคำนวณเงินสะสมเข้ากองทุนก่อสร้างระบบส่งไฟฟ้าได้ดังนี้

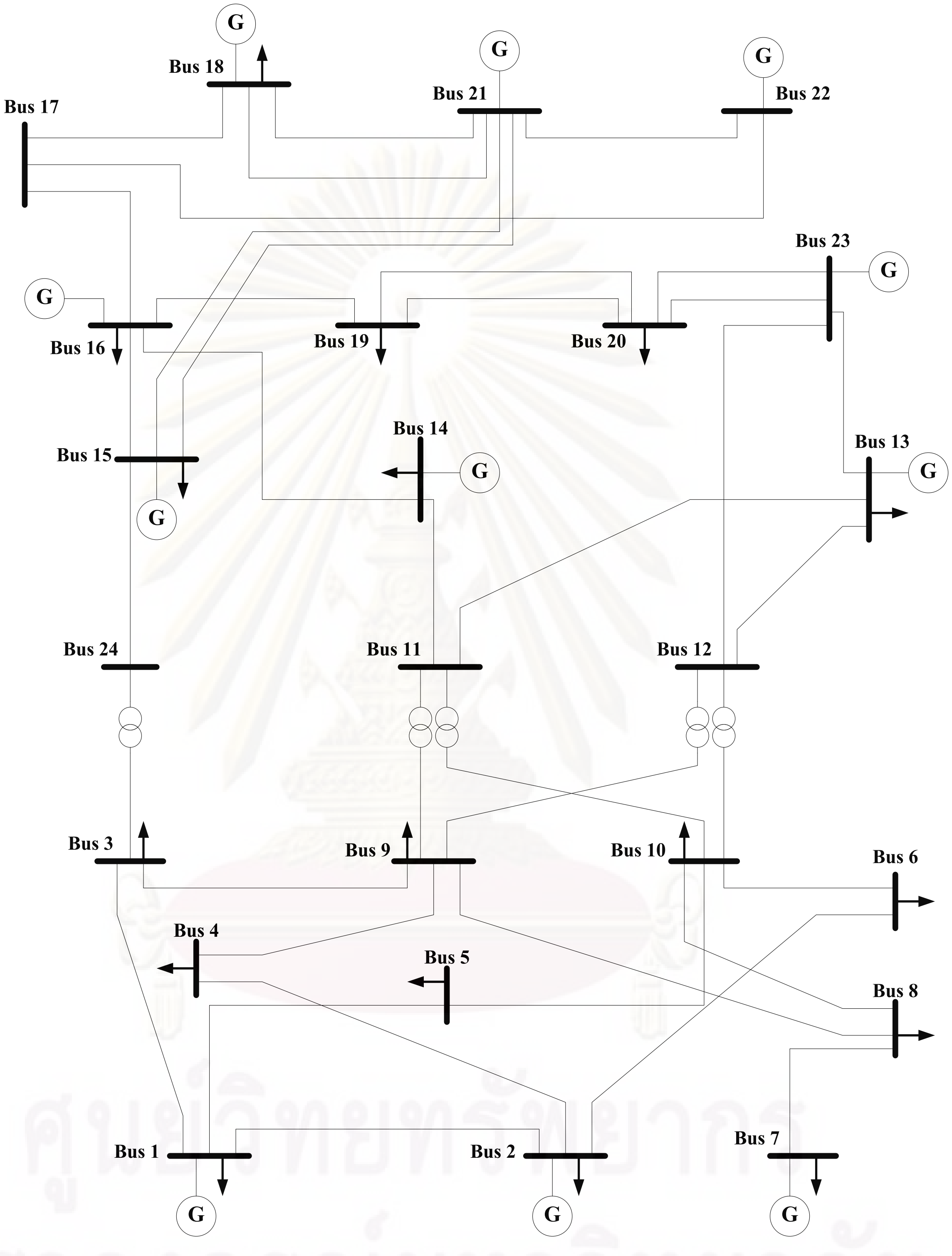
$$TCF = \sum_{i=1}^{m+n} C_i - \sum_{l=1}^{line} C_l \tag{5.61}$$

บทที่ 6
การทดสอบและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะเป็นการทดสอบและวิเคราะห์ผลของการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า โดยทำการทดสอบกับระบบทดสอบ IEEE RTS-79 ผลการทดสอบจะสามารถแสดงการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสม ซึ่งประกอบด้วยการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา โดยมีการแยกแสดงผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งออกเป็นเป็น 2 ส่วน คือ ค่าบริการระบบส่งในส่วนของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในภาวะปกติ และค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนเผื่อของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า สำหรับใช้งานในภาวะไม่ปกติ ในการทดสอบวิธีการที่ได้นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อช่วยในการคำนวณค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่นำเสนอ

6.1 ระบบทดสอบ

ในการทดสอบเราจะใช้ระบบทดสอบ IEEE RTS-79 ดังรูปที่ 6.1 โดยกำหนดให้มีความต้องการในการซื้อขายไฟฟ้า ณ ช่วงเวลาที่สนใจ เป็นดังนี้คือ กำลังการผลิตไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลางเป็นดังตารางที่ 6.1 ความต้องการไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลางเป็นดังตารางที่ 6.2 และการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาเป็นดังตารางที่ 6.3 ดังนี้



รูปที่6.1 ระบบทดสอบ IEEE-RTS 79

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.1 กำลังการผลิตไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลาง

บัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	กำลังไฟฟ้าขาออกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (MW)
1	162
2	162
7	166.8
13	268.7
14	0
15	175.5
16	155
18	400
21	400
22	300
23	660

ตารางที่ 6.2 ความต้องการไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลาง

บัส	ความต้องการ กำลังไฟฟ้าจริง(MW)	ความต้องการ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ(MVAr)
1	108	22
2	97	20
3	180	37
4	74	15
5	71	14
6	136	28
7	125	25
8	171	35
9	175	36
10	195	40
13	265	54
14	194	39
15	317	64
16	100	20

ตารางที่ 6.2 ความต้องการไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าในตลาดกลาง (ต่อ)

บัส	ความต้องการ กำลังไฟฟ้าจริง(MW)	ความต้องการ กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ(MVAr)
18	333	68
19	181	37
20	128	26

ตารางที่ 6.3 การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

สัญญาซื้อขายไฟฟ้าที่	บัสที่ขายไฟฟ้า	บัสที่ซื้อไฟฟ้า	ปริมาณการซื้อขายไฟฟ้า (MW)
1	1	5	80
2	14	16	100
3	21	8	80
4	22	20	100
5	2	2	50

เมื่อทำการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้า ในกรณีที่มีการซื้อขายไฟฟ้าข้างต้น โดยในการทดสอบจะกำหนดให้บัส 13 เป็นบัสอ้างอิง เราจะสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ฉีด ณ บัสต่างๆได้ ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 กำลังไฟฟ้าที่ฉีด ณ บัส เมื่อเกิดการซื้อขายไฟฟ้าในกรณีข้างต้น

บัส	กำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีด ณ บัส(MW)			
	การซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง(P_p)	การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา(P_b)	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย(P_{loss})	กำลังไฟฟ้ารวมของแต่ละบัส(P_{bus})
1	54	80	0	134
2	65	0	0	65
3	-180	0	0	-180
4	-74	0	0	-74
5	-71	-80	0	-151
6	-136	0	0	-136
7	41.8	0	0	41.8

ตารางที่ 6.4 กำลังไฟฟ้าที่ฉีด ณ บัส เมื่อเกิดการซื้อขายไฟฟ้าในกรณีข้างต้น (ต่อ)

บัส	กำลังไฟฟ้าจริงที่ฉีด ณ บัส(MW)			
	การซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง(P_p)	การซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา(P_b)	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย(P_{loss})	กำลังไฟฟ้ารวม ณ แต่ละบัส(P_{bus})
8	-171	-80	0	-251
9	-175	0	0	-175
10	-195	0	0	-195
11	0	0	0	0
12	0	0	0	0
13	3.7	0	74.36	78.06
14	-194	100	0	-94
15	-141.5	0	0	-141.5
16	55	-100	0	-45
17	0	0	0	0
18	67	0	0	67
19	-181	0	0	-181
20	-128	-100	0	-228
21	400	80	0	480
22	300	100	0	400
23	660	0	0	660
24	0	0	0	0

จากผลการคำนวณกำลังไฟฟ้าที่ฉีด ณ บัสดังตารางที่ 6.4 จะสามารถคำนวณกำลังไฟฟ้าสูญเสียเมื่อมีการซื้อขายไฟฟ้าในกรณีดังกล่าวได้เท่ากับ 74.36 MW ในการทดสอบจะกำหนดให้บัสอ้างอิงเป็นผู้ฉีดกำลังไฟฟ้าสำหรับส่วนนี้ และจากการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียให้กับผู้ใช้งานระบบส่งไฟฟ้า [3] ของการซื้อขายไฟฟ้ากรณีดังกล่าว จะสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 6.5 และ 6.6

ตารางที่ 6.5 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง

บัส	P_{loss}(MW)	บัส	P_{loss}(MW)
1	0.6122	13	0.0069
2	0.7429	14	0.2031
3	0.4155	15	-2.0047
4	0.7809	16	0.2776
5	0.9768	17	0.0000
6	2.3123	18	1.3608
7	1.2366	19	-0.6066
8	9.8854	20	0.1931
9	2.7172	21	18.3485
10	2.8120	22	17.0321
11	0.0000	23	8.0227
12	0.0000	24	0.0000

ตารางที่ 6.6 ผลการจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

สัญญาซื้อขายไฟฟ้า	P_{loss}(MW)
1	2.2076
2	-0.8464
3	4.4115
4	3.2616
5	0.0000

6.2 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าด้วยวิธีที่นำเสนอ

6.2.1 ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า

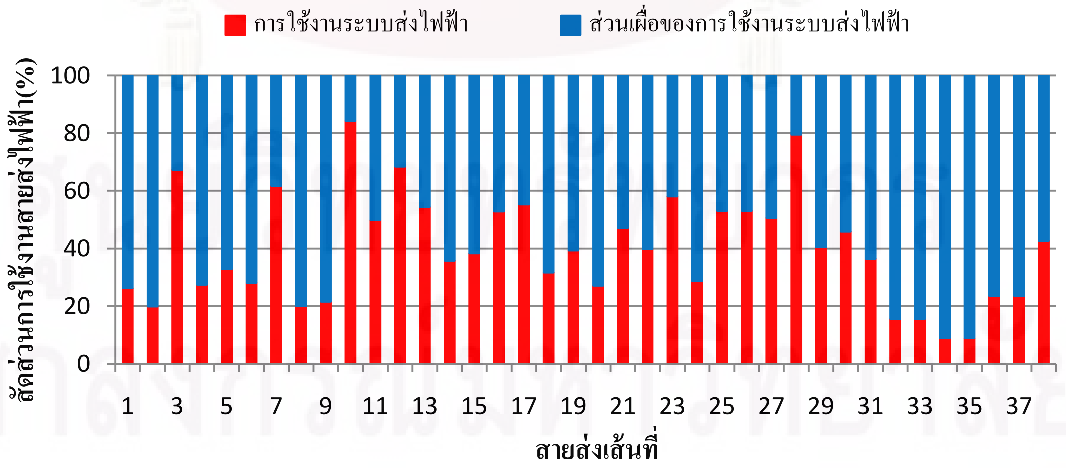
จากการทดสอบระบบทดสอบด้วยวิธีการที่นำเสนอ เราสามารถสัดส่วนของค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า และค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วน เผื่อของการใช้งานของระบบส่งไฟฟ้า ได้ตารางที่ 6.7 หรือสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.2 ดังนี้

ตารางที่ 6.7 สัดส่วนค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้ระบบส่งไฟฟ้ากับส่วน เผื่อของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า

สายส่งเส้นที่	ความจุของสายส่งไฟฟ้า (MVA)	การใช้งานสายส่งไฟฟ้า (MVA)	สัดส่วนการใช้งานสายส่งไฟฟ้า(%)	
			การใช้งานระบบส่งไฟฟ้า	ส่วนเผื่อของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า
1	175	45.7234	26.1277	73.8723
2	175	34.7787	19.8735	80.1265
3	175	117.7609	67.2920	32.7080
4	175	48.0351	27.4486	72.5514
5	175	57.4643	32.8368	67.1632
6	175	49.1944	28.1111	71.8889
7	400	246.6651	61.6663	38.3337
8	175	34.8378	19.9073	80.0927
9	175	37.7253	21.5573	78.4427
10	400	147.4534	84.2591	15.7409
11	175	87.2195	49.8397	50.1603
12	175	119.6322	68.3613	31.6387
13	175	95.2434	54.4248	45.5752
14	400	142.7636	35.6909	64.3091
15	400	153.1378	38.2844	61.7156
16	400	211.5056	52.8764	47.1236
17	400	221.0103	55.2526	44.7474
18	500	158.1510	31.6302	68.3698
19	500	196.6241	39.3248	60.6752
20	500	135.4757	27.0951	72.9049
21	500	235.5164	47.1033	52.8967
22	500	198.9109	39.7822	60.2178
23	500	290.2571	58.0514	41.9486
24	500	143.0311	28.6062	71.3938

ตารางที่ 6.7 สัดส่วนค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้ระบบส่งไฟฟ้ากับส่วนเผื่อของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า (ต่อ)

สายส่งเส้นที่	ความจุของสายส่งไฟฟ้า (MVA)	การใช้งานสายส่งไฟฟ้า (MVA)	สัดส่วนการใช้งานสายส่งไฟฟ้า(%)	
			การใช้งานระบบส่งไฟฟ้า	ส่วนเผื่อของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า
25	500	265.2554	53.0511	46.9489
26	500	265.2554	53.0511	46.9489
27	500	252.8791	50.5758	49.4242
28	500	397.4304	79.4861	20.5139
29	500	202.1171	40.4234	59.5766
30	500	229.3390	45.8678	54.1322
31	500	182.1823	36.4365	63.5635
32	500	77.6819	15.5364	84.4636
33	500	77.6819	15.5364	84.4636
34	500	44.5030	8.9006	91.0994
35	500	44.5030	8.9006	91.0994
36	500	117.4326	23.4865	76.5135
37	500	117.4326	23.4865	76.5135
38	500	213.2814	42.6563	57.3437



รูปที่ 6.2 สัดส่วนค่าบริการระบบส่งระหว่างส่วนที่ใช้งานกับส่วนเผื่อของการใช้งานระบบส่ง

ในการทดสอบนี้จะกำหนดให้ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าของสายส่งไฟฟ้าแต่ละเส้นมีค่าเท่ากับ 1,000,000 บาท/ปี ซึ่งสามารถคำนวณค่าบริการสายส่งไฟฟ้าแต่ละเส้นที่ผู้ให้บริการระบบส่งต้องเก็บจากผู้ใช้งานระบบส่งไฟฟ้าได้เท่ากับ 114.16 บาท/ชม ดังนั้นเราสามารถคำนวณค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าและสำหรับส่วนเผื่อของระบบไฟฟ้าได้ดังตารางที่ 6.8

ตารางที่6.8 สัดส่วนค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า

สายส่งเส้นที่	สัดส่วนการใช้งานสายส่งไฟฟ้า (%)		ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า (บาท/ชม)	
	ส่วนใช้งาน	ส่วนเผื่อของการใช้งาน	ส่วนใช้งาน	ส่วนเผื่อของการใช้งาน
1	26.1277	73.8723	29.8261	84.3291
2	19.8735	80.1265	22.6867	91.4686
3	67.2920	32.7080	76.8173	37.3380
4	27.4486	72.5514	31.3341	82.8212
5	32.8368	67.1632	37.4849	76.6704
6	28.1111	71.8889	32.0903	82.0649
7	61.6663	38.3337	70.3953	43.7600
8	19.9073	80.0927	22.7253	91.4300
9	21.5573	78.4427	24.6088	89.5464
10	84.2591	15.7409	96.1862	17.9691
11	49.8397	50.1603	56.8947	57.2606
12	68.3613	31.6387	78.0380	36.1173
13	54.4248	45.5752	62.1288	52.0265
14	35.6909	64.3091	40.7430	73.4122
15	38.2844	61.7156	43.7037	70.4515
16	52.8764	47.1236	60.3612	53.7941
17	55.2526	44.7474	63.0737	51.0815
18	31.6302	68.3698	36.1075	78.0477
19	39.3248	60.6752	44.8914	69.2639
20	27.0951	72.9049	30.9305	83.2247

ตารางที่ 6.8 สัดส่วนค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า (ต่อ)

สายส่งเส้นที่	สัดส่วนการใช้งานสายส่งไฟฟ้า (%)		ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า (บาท/ชม)	
	ส่วนใช้งาน	ส่วนเผื่อของการใช้งาน	ส่วนใช้งาน	ส่วนเผื่อของการใช้งาน
21	47.1033	52.8967	53.7709	60.3844
22	39.7822	60.2178	45.4135	68.7418
23	58.0514	41.9486	66.2687	47.8865
24	28.6062	71.3938	32.6555	81.4998
25	53.0511	46.9489	60.5606	53.5947
26	53.0511	46.9489	60.5606	53.5947
27	50.5758	49.4242	57.7350	56.4203
28	79.4861	20.5139	90.7375	23.4177
29	40.4234	59.5766	46.1455	68.0098
30	45.8678	54.1322	52.3605	61.7947
31	36.4365	63.5635	41.5941	72.5611
32	15.5364	84.4636	17.7356	96.4197
33	15.5364	84.4636	17.7356	96.4197
34	8.9006	91.0994	10.1605	103.9948
35	8.9006	91.0994	10.1605	103.9948
36	23.4865	76.5135	26.8111	87.3442
37	23.4865	76.5135	26.8111	87.3442
38	42.6563	57.3437	48.6944	65.4609

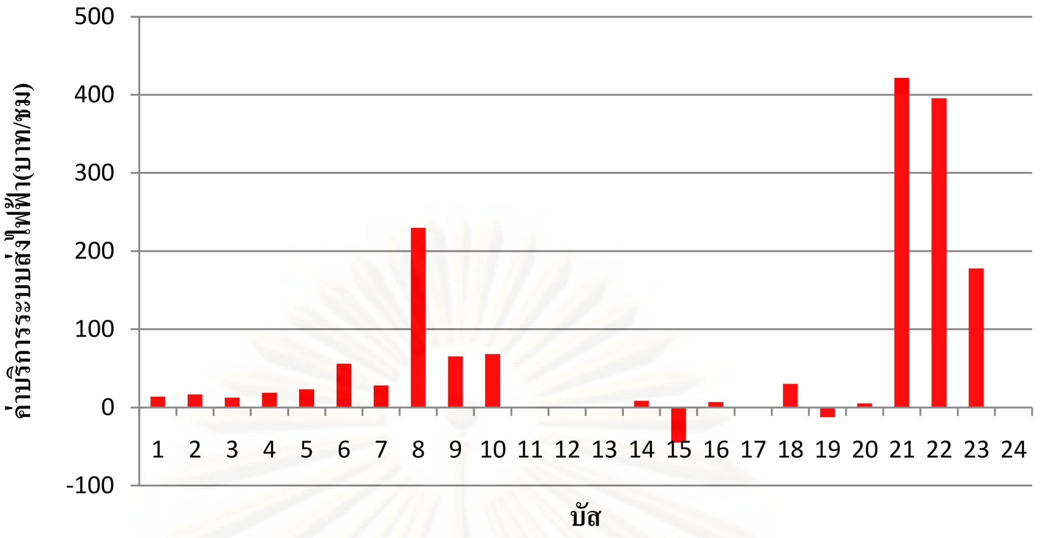
6.2.2 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งาน

ในการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ เราสามารถแสดงผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานในโดยแยกแสดงในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ สำหรับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาได้ดังนี้ตารางที่ 6.9-6.10 หรือแสดงได้ดังรูปที่ 6.3-6.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.9 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากการใช้งานให้กับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง

บัส	ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า(บาท/ชม)		
	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ	รวม
1	11.8026	1.8691	13.6717
2	14.2599	2.3543	16.6142
3	8.7172	3.8095	12.5267
4	15.5100	3.2162	18.7262
5	19.2732	3.9862	23.2594
6	45.9489	9.8438	55.7927
7	23.7363	4.2170	27.9533
8	193.8132	36.1028	229.9160
9	53.9580	11.5778	65.5357
10	56.1664	12.0868	68.2532
11	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.0000	0.0000	0.0000
13	0.1312	0.0212	0.1524
14	4.9945	3.4464	8.4408
15	-39.5237	-5.7319	-45.2556
16	5.9413	0.8825	6.8237
17	0.0000	0.0000	0.0000
18	26.0399	4.2023	30.2423
19	-12.0704	-0.4184	-12.4888
20	3.6008	1.4291	5.0299
21	361.9084	59.6976	421.6060
22	337.9635	57.3519	395.3154
23	156.6249	21.0341	177.6590
24	0.0000	0.0000	0.0000

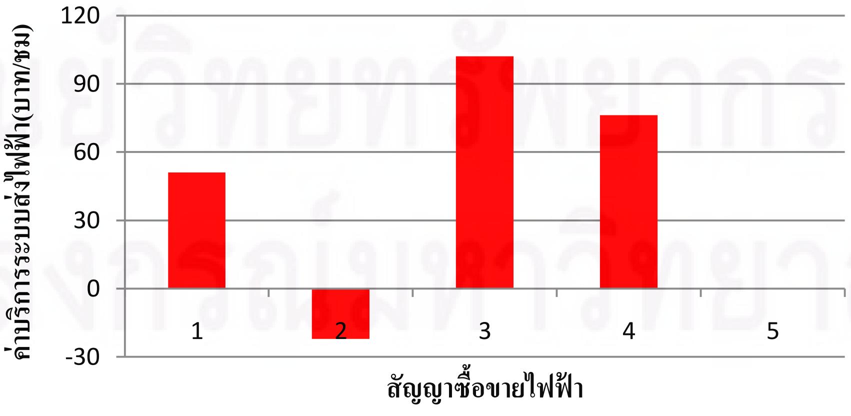
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.3 ค่าบริการระบบส่งในส่วนที่ถูกใช้งานที่ถูกจัดสรรให้กับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง

ตารางที่ 6.10 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากใช้งานให้กับการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

สัญญาซื้อขายไฟฟ้า	ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า(บาท/ชม)		
	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ	รวม
1	43.0748	7.8933	50.9681
2	-18.3249	-3.7364	-22.0613
3	86.6533	15.4738	102.1272
4	64.6476	11.4828	76.1304
5	0.0000	0.0000	0.0000



รูปที่ 6.4 ค่าบริการระบบส่งในส่วนที่ถูกใช้งานที่ถูกจัดสรรไปให้กับการซื้อขายแบบคู่สัญญา

6.2.3 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วน เผื่อของการใช้งานของระบบส่งไฟฟ้า

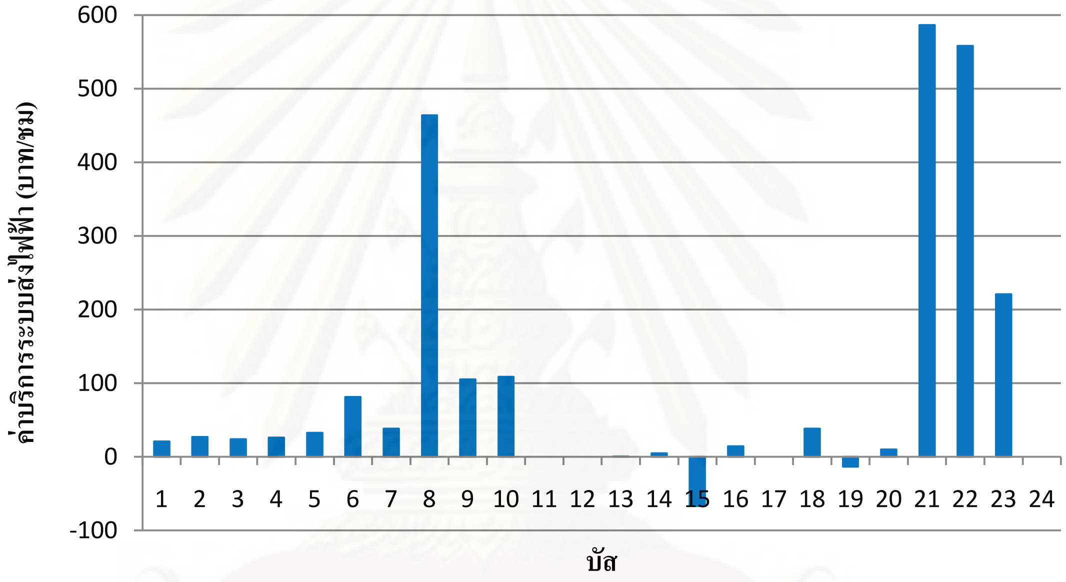
ในการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ เราสามารถแสดงผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วนเผื่อของการใช้งานของระบบส่งไฟฟ้า โดยแยกแสดงในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริงและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ สำหรับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาได้ดังนี้ตารางที่ 6.11-6.12 หรือแสดงได้ดังรูปที่ 6.5-6.6 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.11 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วน เผื่อของการใช้งานให้กับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง

บัส	ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า(บาท/ชม)		
	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ	รวม
1	13.7232	7.0349	20.7580
2	16.9706	10.0471	27.0177
3	14.8220	9.2333	24.0553
4	18.0577	7.9258	25.9835
5	22.2882	10.1404	32.4286
6	56.9664	24.0624	81.0288
7	27.4194	10.7082	38.1276
8	341.2459	122.5002	463.7462
9	73.0426	32.0381	105.0806
10	76.2463	32.4642	108.7105
11	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.0000	0.0000	0.0000
13	0.1484	0.0602	0.2086
14	-7.1958	12.0595	4.8638
15	-52.1544	-14.7630	-66.9173
16	11.5861	2.6511	14.2372
17	0.0000	0.0000	0.0000
18	28.2485	10.0130	38.2615
19	-13.9636	0.5949	-13.3687
20	4.4062	5.7408	10.1471

ตารางที่ 6.11 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วน เผื่อของการใช้งานให้กับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง(ต่อ)

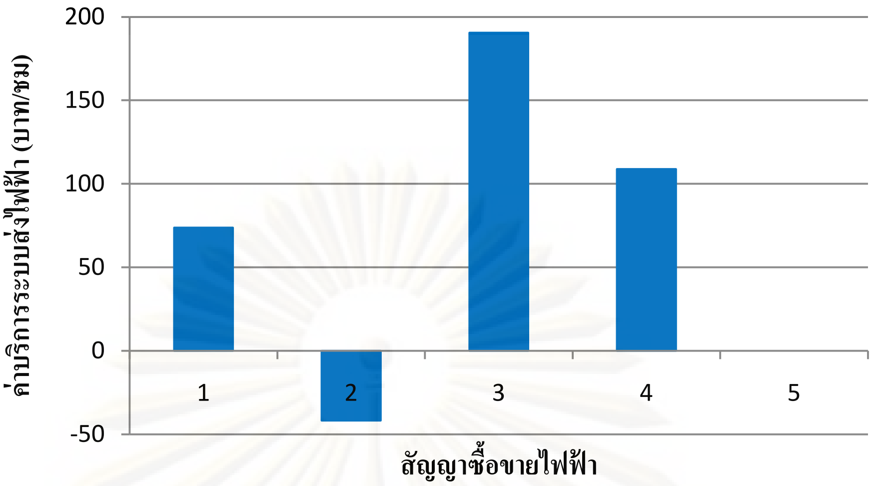
บัส	ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า(บาท/ชม)		
	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ	รวม
21	414.9092	171.2735	586.1826
22	390.2533	167.9320	558.1853
23	150.0511	70.8640	220.9150
24	0.0000	0.0000	0.0000



รูปที่ 6.5 ค่าบริการระบบส่งสำหรับส่วนเผื่อของการใช้งานที่ถูกจัดสรรให้กับการซื้อขายผ่านตลาดกลาง

ตารางที่ 6.12 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับส่วน เผื่อของการใช้งานให้กับการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

สัญญาซื้อขายไฟฟ้า	ค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า(บาท/ชม)		
	กำลังไฟฟ้าจริง	กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ	รวม
1	49.5328	24.2244	73.7572
2	-29.4490	-12.3797	-41.8287
3	140.5356	49.9587	190.4943
4	75.1183	33.7681	108.8864
5	0.0000	0.0000	0.0000



รูปที่ 6.6 ค่าบริการระบบส่งสำหรับส่วนเผื่อของการใช้งานที่ถูกจัดสรรให้กับการซื้อขายแบบคู่สัญญา

6.2.4 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า

จากวิธีการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่ได้นำเสนอ สามารถจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาได้ดังตารางที่ 6.13-6.14 หรือแสดงได้ดังรูปที่ 6.7-6.8 ตามลำดับ

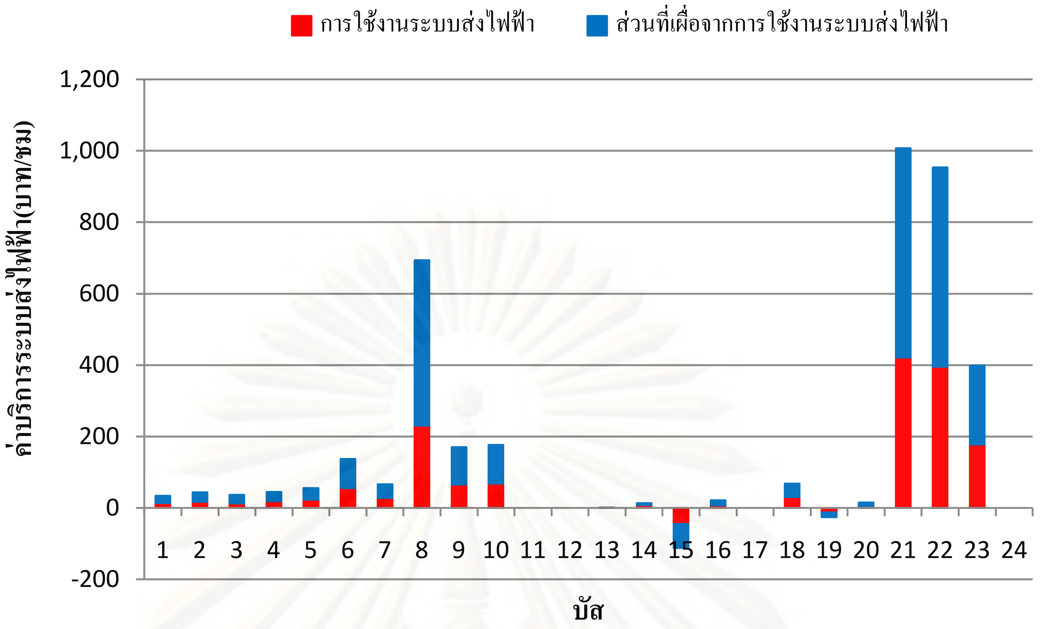
ตารางที่ 6.13 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง

บัส	ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า (บาท/ชม)		
	สายส่งที่ถูกใช้งาน	สายส่งส่วนเผื่อของการใช้งาน	ค่าบริการระบบส่งที่คำนวณได้
1	13.6717	20.7580	34.4297
2	16.6142	27.0177	43.6319
3	12.5267	24.0553	36.5820
4	18.7262	25.9835	44.7097
5	23.2594	32.4286	55.6880
6	55.7927	81.0288	136.8215
7	27.9533	38.1276	66.0809
8	229.9160	463.7462	693.6621

ตารางที่ 6.13 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง (ต่อ)

บัส	ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า (บาท/ชม)		
	สายส่งที่ถูกใช้งาน	สายส่งส่วนเผื่อของการใช้งาน	ค่าบริการระบบส่งที่คำนวณได้
9	65.5357	105.0806	170.6164
10	68.2532	108.7105	176.9637
11	0.0000	0.0000	0.0000
12	0.0000	0.0000	0.0000
13	0.1524	0.2086	0.3610
14	8.4408	4.8638	13.3046
15	-45.2556	-66.9173	-112.1729
16	6.8237	14.2372	21.0609
17	0.0000	0.0000	0.0000
18	30.2423	38.2615	68.5037
19	-12.4888	-13.3687	-25.8574
20	5.0299	10.1471	15.1770
21	421.6060	586.1826	1007.7886
22	395.3154	558.1853	953.5006
23	177.6590	220.9150	398.5740
24	0.0000	0.0000	0.0000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

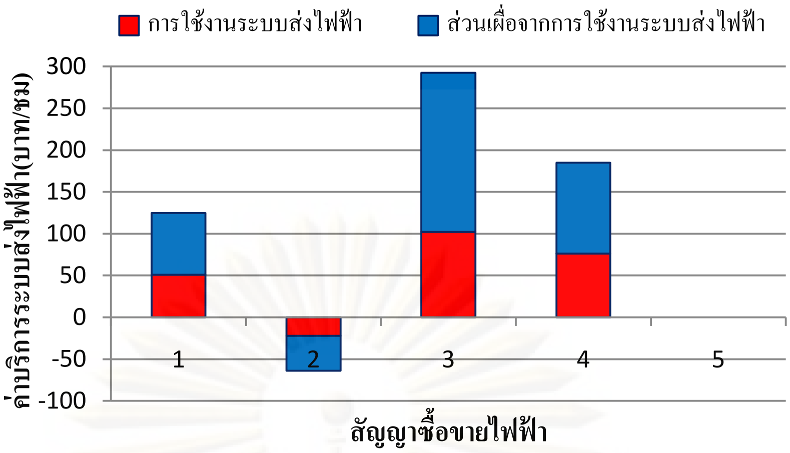


รูปที่ 6.7 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง

ตารางที่ 6.14 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

สัญญาซื้อขายไฟฟ้า	ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า (บาท/ชม)		
	สายส่งที่ถูกใช้งาน	สายส่งส่วนเผื่อของการใช้งาน	ค่าบริการระบบส่งที่คำนวณได้
1	50.9681	73.7572	124.7253
2	-22.0613	-41.8287	-63.8901
3	102.1272	190.4943	292.6215
4	76.1304	108.8864	185.0168
5	0.0000	0.0000	0.0000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.8 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าสำหรับการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

จากตารางที่ 6.13-6.14 จะเห็นว่าผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าเมื่อเกิดการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

กลุ่มที่1 ได้รับการจัดสรรเป็นบวก ซึ่งได้แก่ บัสที่ 1-10, 13-14, 16, 18, 20-23 และสัญญาการซื้อขายไฟฟ้าที่ 1, 3-5

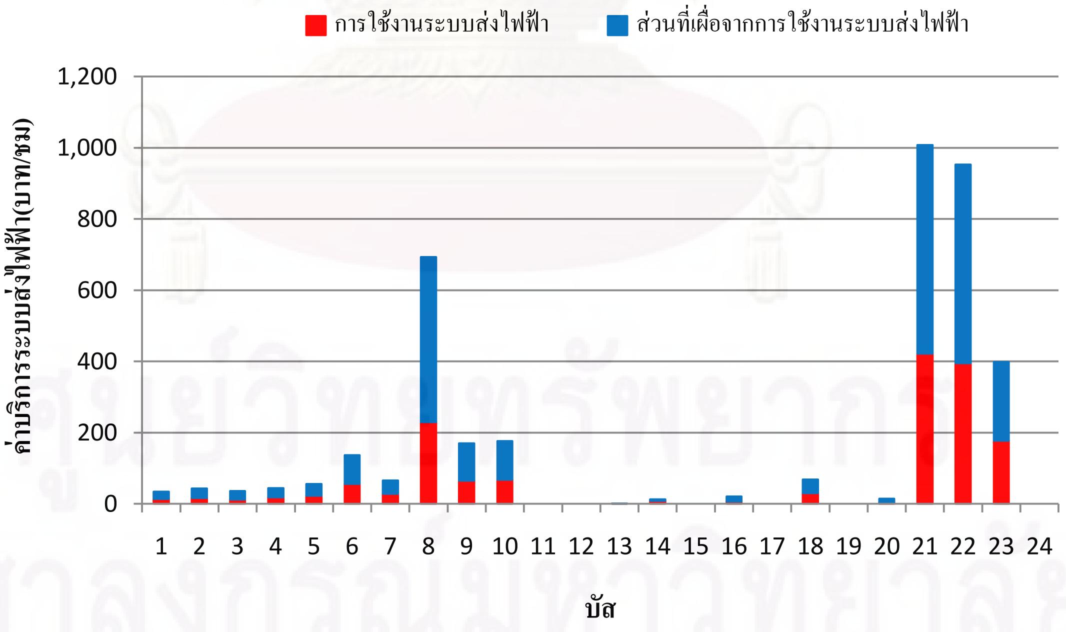
กลุ่มที่2 ได้รับการจัดสรรเป็นลบ ซึ่งได้แก่ บัสที่ 15, 19 และสัญญาการซื้อขายไฟฟ้าที่ 2

กลุ่มที่3 ได้รับการจัดสรรเป็นศูนย์ ซึ่งได้แก่ บัสที่ 11, 12, 17, 24 และสัญญาการซื้อขายไฟฟ้าที่ 5

เนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอให้ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่ได้รับการจัดสรรเป็นลบได้รับการจัดสรรค่าบริการระบบส่งเป็นศูนย์ หรือไม่ต้องชำระค่าบริการระบบส่งไฟฟ้า ส่วนบัสหรือการซื้อขายไฟฟ้าที่ได้รับค่าบริการเป็นบวกหรือเป็นศูนย์ให้ทำการชำระค่าบริการระบบส่งตามผลการจัดสรรที่คำนวณได้ ดั งนั้นผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าให้กับผู้ใช้งานระบบส่งเมื่อเกิดการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญาได้ดังตารางที่ 6.15-6.16 หรือแสดงได้ดังรูปที่ 6.9-6.10 ตามลำดับ

ตารางที่ 6.15 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง

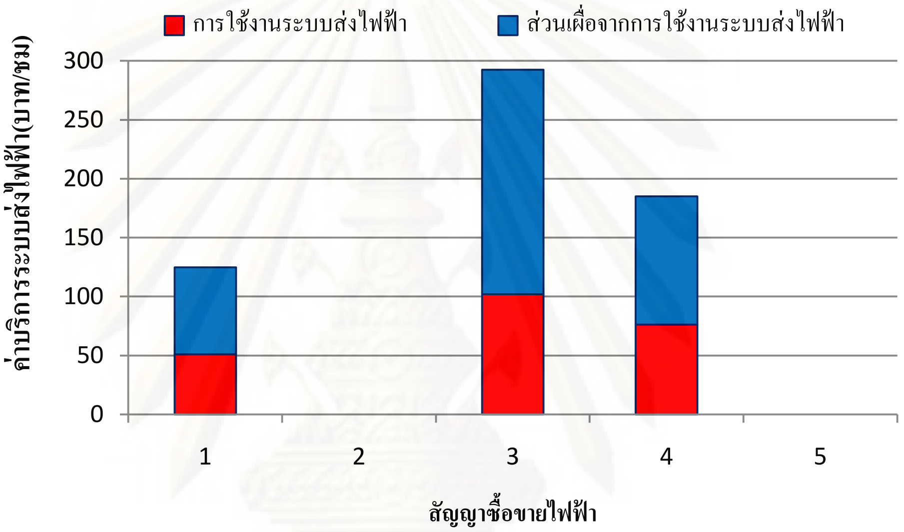
บัส	ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่ง (บาท/ชม)	บัส	ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่ง (บาท/ชม)
1	34.4297	13	0.3610
2	43.6319	14	13.3046
3	36.5820	15	0.0000
4	44.7097	16	21.0609
5	55.6880	17	0.0000
6	136.8215	18	68.5037
7	66.0809	19	0.0000
8	693.6621	20	15.1770
9	170.6164	21	1,007.7886
10	176.9637	22	953.5006
11	0.0000	23	398.5740
12	0.0000	24	0.0000



รูปที่ 6.9 ค่าบริการระบบส่งในส่วนที่ถูกใช้งานที่ถูกจัดสรรให้กับการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลาง

ตารางที่ 6.16 ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าของการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา

สัญญาซื้อขายไฟฟ้า	ผลการจัดสรรค่าบริการระบบส่ง(บาท/ชม)
1	124.7253
2	0.0000
3	292.6215
4	185.0168
5	0.0000



รูปที่ 6.10 ค่าบริการระบบส่งในส่วนที่ถูกใช้งานที่ถูกจัดสรรไปให้กับการซื้อขายแบบคู่สัญญา

จากทดสอบวิธีการคิดค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าด้วยวิธีที่นำเสนอ ผู้ให้บริการระบบส่งไฟฟ้าจะได้รับค่าบริการจากผู้ใช้งานระบบส่งไฟฟ้าทั้งหมดเท่ากับ 4,539.82 บาท โดยจะมีการแยกเงินที่ได้นี้เพื่อเก็บเข้ากองทุนก่อสร้างระบบส่งไฟฟ้า 201.92 บาท

บทที่ 7
สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอ วิธีจัดสรรคิดค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังหลังการแปรรูป โดยพิจารณาการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสม คือ มีการซื้อขายไฟฟ้าแบบการซื้อขายผ่านตลาดกลาง และการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา วิธีการที่นำเสนอจะแยกการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าออกเป็น 2 ส่วนคือ การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าในส่วนที่ถูกใช้งาน และการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าของส่วนเผื่อสำหรับการใช้งาน โดยในการจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าทั้งสองส่วนนี้ จะพิจารณาจากการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าของผู้ใช้งาน ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการจัดสรรการใช้งานระบบส่งดังกล่าวให้กับผู้ใช้งานระบบส่งไฟฟ้า โดยวิธีการที่นำเสนอจะคำนึงถึงลักษณะของโครงสร้างระบบส่งไฟฟ้า ปริมาณการซื้อขายไฟฟ้า รวมทั้งพิจารณาถึงการมีส่วนร่วมที่เท่าเทียมกันของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า นอกจากนี้ยังได้มีการคำนึงถึงผลของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าที่เกิดจากกำลังไฟฟ้าสูญเสียที่เกิดขึ้นเมื่อมีการซื้อขายไฟฟ้าด้วย โดยการใช้งานระบบส่งในส่วนนี้จะถูกจัดสรรไปสู่ผู้ใช้งานระบบส่งไฟฟ้าซึ่งจะจัดสรรตามสัดส่วนการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของกำลังไฟฟ้าสูญเสียของการซื้อขายไฟฟ้าทั้งสองรูปแบบ

การจัดสรรค่าบริการระบบส่งในส่วนที่ถูกใช้งานจะพิจารณาการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในภาวะปกติ โดยประยุกต์ใช้วิธี Power Flow based MVA-Mile ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการคำนวณการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าโดยพิจารณาจากกำลังไฟฟ้าปรากฏที่ฉีด ณ แต่ละบัสเมื่อเกิดการซื้อขายไฟฟ้า และในการจัดสรรค่าบริการระบบส่งสำหรับส่วนนี้จะแยกพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน คือ จัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริง และจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ซึ่งผลการจัดสรรที่คำนวณได้จะสะท้อนถึงการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าของผู้ใช้งานระบบส่งไฟฟ้าแต่ละรายได้อย่างเหมาะสม

การจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าในส่วนเผื่อของการใช้งาน เป็นการพิจารณาโอกาสของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในภาวะไม่ปกติ คือ ภาวะที่มีสายส่งเส้นใดเส้นหนึ่งหลุดออกจากระบบส่งไฟฟ้า ซึ่งในการคำนวณจะพิจารณาจากค่าความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้า ซึ่งในที่นี้จะแยกออกเป็น 2 ส่วนเช่นกันคือ ค่าความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของกำลังไฟฟ้าจริง และค่าความสัมพันธ์ของการใช้งานระบบส่งไฟฟ้าในส่วนของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ นอกจากนี้ในการจัดสรรค่าบริการระบบส่งในส่วนนี้จะคำนึงถึงโอกาสที่สายส่งไฟฟ้าแต่ละเส้นจะหลุดออกจากระบบด้วย ซึ่งทำให้ผลการจัดสรรที่คำนวณได้มีความสมเหตุสมผลมากยิ่งขึ้น

นอกจากวิธีจัดสรรค่าบริการระบบส่งไฟฟ้าที่ได้นำเสนอ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้กำหนดให้มีการสะสมเงินเข้ากองทุนก่อสร้างระบบส่งไฟฟ้า เพื่อใช้ในดำเนินการสำหรับการก่อสร้างระบบส่งไฟฟ้าในอนาคต ซึ่งอาจจะทำให้การดำเนินการในการก่อสร้างระบบส่งไฟฟ้าสามารถดำเนินการได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] Loi Lei Lai. Power System Restructuring and Deregulation. John Wiley & Sons, 2001.

[2] คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, สำนักงาน. การปรับโครงสร้างกิจการไฟฟ้าและการจัดตั้งตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า, พฤศจิกายน, 2543.

[3] กานต์ วงษ์ปาน. การจัดสรรกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบส่งสำหรับระบบการซื้อขายไฟฟ้าแบบผสมระหว่างการซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางและการซื้อขายไฟฟ้าแบบคู่สัญญา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

[4] Sood, Y.R. Padhy and N.P. Gupta. A New Method for Allocating Embedded Cost of Transmission under Deregulated Environment of Power system. Power Engineering Society General Meeting, 2006.

[5] D. Shirmohammadi, X. Vieira Fibo and B. Gorenstin. Some Fundamental Technical Concept about Cost based Transmission Princing. IEEE transaction on Power System, Vol.11, No2 (May 1996): 1002-1008.

[6] Y.Park, J. Park, J. Lim and J. Won. An Analytical Approach for Transaction Costs Allocation in Transmission System, Power Systems. IEEE Transactions on, Vol.13, Issue 4 (Nov.1998): 1407 – 1412.

[7] Jiuping Pan Teklu and Y. Rahmaz. Review of Usage-Based Transmission Cost Allocation Methods under Open Access, (Nov. 2000): 1218 – 1224.

[8] สุรชัย ชัยทัศนีย์. การคิดราคาในตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2544.

[9] S. Chaitusaney and B. Eua-Arporn. AC Power Flow Sensitivities for Transmission Cost Allocation. IEEE Transmission and Distribution Conference and Exhibition, Vol.2 (Oct. 2002): 858-863.

[10] Lo, K.L. Hassan and M.Y. Jovanovic. Assessment of MW-mile Method for Pricing Transmission Services: a negative flow-sharing approach. Generation, Transmission & Distribution, IET, Vol.1 (Nov. 2007): 904 – 911.

[11] Shirmohammadi, D. Gribik, P.R. Law, E. Malinowski and J.H.. Evaluation of Transmission Network Capacity Use for Wheeling Transaction, (Nov.1989): 1405 – 1413.

[12] วริษฐ์ อั้นทอง และ กุลยศ อุดมวงศ์เสรี. การจัดสรรค่าบริการการใช้งานระบบส่งสำหรับระบบการซื้อขายไฟฟ้านอกตลาด, Transmission Cost Allocation for the Bilateral Contract Market. การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32 (EECON 32), 2552.

[13] H. Monsef and M. Jaefari. Transmission Cost Allocation Based on Use of Reliability Margin under Contingency Conditions. Generation, Transmission & Distribution, IET, Vol.3 (June 2009).

[14] D. Hur, C. Yoo, I. Kim and B.H. Park. Transmission Embedded Cost Allocation Methodology with Consideration of System Reliability, Generation, Transmission and Distribution. IEE Proceedings, Vol.151 (Jul. 2004): 427 –432.

[15] Hyungchul Kim and C. Singh. Consideration of The Reliability Benefits in Pricing Transmission Services. Power Engineering Society Winter Meeting 2001. IEEE, Vol. 3 (28 Jan.-1 Feb. 2001): 1232 – 1237.

[16] E.L.Silva, S. Mesa and M. Morozowski. Transmission Access Pricing to Wheeling Transaction: A Reliability Based Approach. IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 13, No.4 (Nov.1998):1481-1487.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
ระบบทดสอบ IEEE RTS-79

ในภาคผนวก ก ประกอบด้วยข้อมูลพื้นฐานของระบบทดสอบ IEEE RTS-79 โดยในระบบทดสอบนี้จะประกอบด้วยบัส 24 บัส เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 11 เครื่อง และสายส่ง 38 เส้น โดยค่าฐานของการคำนวณเป็น 100 MVA รายละเอียดของข้อมูลของบัส ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ข้อมูลสายส่ง และข้อมูลความน่าเชื่อถือของสายส่งไฟฟ้าได้แสดงดังตารางที่ ก.1 ก.2 ก.3 และ ก.4 ตามลำดับ

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลบัสของระบบ IEEE-RTS79

บัส	ประเภท	ความต้องกำลังไฟฟ้า		อุปกรณ์ตัวต่อแบบขนาน		แรงดันสูงสุด	แรงดันต่ำสุด
		P(MW)	Q(MVAr)	G_s (Mw)	B_s (MVAr)	(p.u.)	(p.u.)
1	บัสควบคุมแรงดัน	108	22	0	0	1.05	0.95
2	บัสควบคุมแรงดัน	97	20	0	0	1.05	0.95
3	โหลดบัส	180	37	0	0	1.05	0.95
4	โหลดบัส	74	15	0	0	1.05	0.95
5	โหลดบัส	71	14	0	0	1.05	0.95
6	โหลดบัส	136	28	0	-100	1.05	0.95
7	บัสควบคุมแรงดัน	125	25	0	0	1.05	0.95
8	โหลดบัส	171	35	0	0	1.05	0.95
9	โหลดบัส	175	36	0	0	1.05	0.95
10	โหลดบัส	195	40	0	0	1.05	0.95
11	โหลดบัส	0	0	0	0	1.05	0.95
12	โหลดบัส	0	0	0	0	1.05	0.95
13	บัสอ้างอิง	265	54	0	0	1.05	0.95
14	บัสควบคุมแรงดัน	194	39	0	0	1.05	0.95
15	บัสควบคุมแรงดัน	317	64	0	0	1.05	0.95
16	บัสควบคุมแรงดัน	100	20	0	0	1.05	0.95
17	โหลดบัส	0	0	0	0	1.05	0.95

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลบัสของระบบ (ต่อ)

บัส	ประเภท	ความต้องกำลังไฟฟ้า		อุปกรณ์ตัวต่อแบบขนาน		แรงดันสูงสุด	แรงดันต่ำสุด
		P(MW)	Q(MVAr)	G_s (Mw)	B_s (MVAr)	(p.u.)	(p.u.)
18	บัสควบคุมแรงดัน	333	68	0	0	1.05	0.95
19	โหลดบัส	181	37	0	0	1.05	0.95
20	โหลดบัส	128	26	0	0	1.05	0.95
21	บัสควบคุมแรงดัน	0	0	0	0	1.05	0.95
22	บัสควบคุมแรงดัน	0	0	0	0	1.05	0.95
23	บัสควบคุมแรงดัน	0	0	0	0	1.05	0.95
24	โหลดบัส	0	0	0	0	1.05	0.95

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

บัส	กำลังการผลิต		แรงดันที่บัสของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า(p.u.)	พิกัดกำลังสูงสุด(MW)	พิกัดกำลังต่ำสุด(MW)
	P(MW)	Q(MVAr)			
1	170	0	1.035	400	5
2	170	0	1.035	200	5
7	165	0	1.025	300	20
13	255	0	1.02	400	50
14	0	13.7	0.98	200	50
15	175	0	1.014	215	3
16	155	0	1.017	155	40
18	400	0	1.05	400	80
21	400	0	1.05	400	80
22	300	0	1.05	300	10
23	660	0	1.05	660	40

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลสายส่งไฟฟ้า

บัส ต้นทาง	บัส ปลายทาง	ค่าพารามิเตอร์สายส่ง(p.u.)			พิกัดสายส่ง (MVA)	อัตราส่วนหม้อแปลง	
		R	X	B		ขนาด	มุม
1	2	0.0026	0.0139	0.4611	175	0	0
1	3	0.0546	0.2112	0.0572	175	0	0
1	5	0.0218	0.0845	0.0229	175	0	0
2	4	0.0328	0.1267	0.0343	175	0	0
2	6	0.0497	0.192	0.052	175	0	0
3	9	0.0308	0.119	0.0322	175	0	0
3	24	0.0023	0.0839	0	400	1.015	0
4	9	0.0268	0.1037	0.0281	175	0	0
5	10	0.0139	0.0605	0.0239	175	0	0
6	10	0.0139	0.0605	2.459	400	0	0
7	8	0.0159	0.0614	0.0166	175	0	0
8	9	0.0427	0.1651	0.0447	175	0	0
8	10	0.0427	0.1651	0.0447	175	0	0
9	11	0.0023	0.0839	0	400	1.03	0
9	12	0.0023	0.0839	0	400	1.03	0
10	11	0.0023	0.0839	0	400	1.015	0
10	12	0.0023	0.0839	0	400	1.015	0
11	13	0.0061	0.0476	0.0999	500	0	0
11	14	0.0054	0.0418	0.0879	500	0	0
12	13	0.0061	0.0476	0.0999	500	0	0
12	23	0.0124	0.0966	0.0203	500	0	0
13	23	0.0111	0.0865	0.1818	500	0	0
14	16	0.0050	0.0589	0.0818	500	0	0
15	16	0.0020	0.0173	0.0364	500	0	0
15	21	0.0063	0.049	0.103	500	0	0
15	21	0.0063	0.049	0.103	500	0	0
15	24	0.0067	0.0519	0.1091	500	0	0

ตารางที่ ก.3 ข้อมูลสายส่งไฟฟ้า (ต่อ)

บัส ต้นทาง	บัส ปลายทาง	ค่าพารามิเตอร์สายส่ง(p.u.)			พิกัดสายส่ง (MVA)	อัตราส่วนหม้อแปลง	
		R	X	B		ขนาด	มุม
16	17	0.0033	0.0259	0.0545	500	0	0
16	19	0.0030	0.0231	0.049	500	0	0
17	18	0.0018	0.0144	0.0303	500	0	0
17	22	0.0135	0.1053	0.2212	500	0	0
18	21	0.0033	0.0259	0.0545	500	0	0
18	21	0.0033	0.0259	0.0545	500	0	0
19	20	0.0051	0.0396	0.0833	500	0	0
19	20	0.0051	0.0396	0.0833	500	0	0
20	23	0.0028	0.0216	0.0455	500	0	0
20	23	0.0028	0.0216	0.0455	500	0	0
21	22	0.0087	0.0678	0.1424	500	0	0

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลความน่าเชื่อถือของสายส่งไฟฟ้า

บัส ต้นทาง	บัส ปลายทาง	อัตราส่วนการล้มเหลว (ครั้งต่อวัน)	อัตราส่วนการซ่อมแซม (ครั้งต่อวัน)	ความน่าจะเป็นที่สายส่งจะหลุดออกจากระบบ
1	2	0.24	547.5	0.0004
1	3	0.51	876	0.0006
1	5	0.33	876	0.0004
2	4	0.39	876	0.0004
2	6	0.48	876	0.0005
3	9	0.38	876	0.0004
3	24	0.02	11.406	0.0018
4	9	0.36	876	0.0004
5	10	0.34	876	0.0004
6	10	0.33	250.286	0.0013
7	8	0.3	876	0.0003

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลความน่าเชื่อถือของสายส่งไฟฟ้า (ต่อ)

บัส ต้นทาง	บัส ปลายทาง	อัตราส่วนการ ล้มเหลว (ครั้งต่อวัน)	อัตราส่วนการ ซ่อมแซม (ครั้งต่อวัน)	ความน่าจะเป็นที่ สายส่งจะหลุด ออกจากระบบ
8	9	0.44	876	0.0005
8	10	0.44	876	0.0005
9	11	0.02	11.406	0.0018
9	12	0.02	11.406	0.0018
10	11	0.02	11.406	0.0018
10	12	0.02	11.406	0.0018
11	13	0.4	796.364	0.0005
11	14	0.39	796.364	0.0005
12	13	0.4	796.364	0.0005
12	23	0.52	796.364	0.0007
13	23	0.49	796.364	0.0006
14	16	0.38	796.364	0.0005
15	16	0.33	796.364	0.0004
15	21	0.41	796.364	0.0005
15	21	0.41	796.364	0.0005
15	24	0.41	796.364	0.0005
16	17	0.35	796.364	0.0004
16	19	0.34	796.364	0.0004
17	18	0.32	796.364	0.0004
17	22	0.54	796.364	0.0007
18	21	0.35	796.364	0.0004
18	21	0.35	796.364	0.0004
19	20	0.38	796.364	0.0005
19	20	0.38	796.364	0.0005
20	23	0.34	796.364	0.0004
20	23	0.34	796.364	0.0004

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลความน่าเชื่อถือของสายส่งไฟฟ้า (ต่อ)

บัส ต้นทาง	บัส ปลายทาง	อัตราส่วนการล้มเหลว (ครั้งต่อวัน)	อัตราส่วนการซ่อมแซม (ครั้งต่อวัน)	ความน่าจะเป็นที่สายส่งจะหลุดออกจากระบบ
21	22	0.45	796.364	0.0006

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย วริษฐ์ อั้นทอง เกิดวันที่ 2 ตุลาคม พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดตรัง สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2550 และได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี พ.ศ. 2551

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย