



รายงานการวิจัย

การประเมินความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และ
ระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อการปรับปรุง

ความเสถียรภาพระบบ

The Capability Assessment of Inter-Tied Lines and Large
Scale Power System for System Stability Improvement

ชัยสิทธิ์ วันน้อย
และ คณะผู้ร่วมวิจัย

สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์
คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
ประจำปี 2563

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประเมินความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และระบบ
ไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อการปรับปรุง
ความเสถียรภาพระบบ

The Capability Assessment of Inter-Tied Lines and Large
Scale Power System for System Stability Improvement

ชัยสิทธิ์ วันน้อย
และ คณะผู้ร่วมวิจัย

สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์
คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์
โครงการวิจัยด้วยงบประมาณส่วนตัว ประจำปี 2563

ชื่องานวิจัย	การประเมินความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อการปรับปรุงความเสถียรภาพระบบ
ผู้วิจัย	ชัยสิทธิ์ วันน้อย
สาขาวิชา	สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์, เทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์, ปีเสร็จวิจัย 2564

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิจัยการประเมินความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อการปรับปรุงความเสถียรภาพระบบซึ่งประกอบด้วย 2 เทคนิคเทคนิคแรกคือเทคนิคที่เหมาะสมในการประเมินความสามารถส่งผ่านพลังงานของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ของระบบไฟฟ้ากำลังและเทคนิคที่สองคือเทคนิคที่เหมาะสมในการศึกษาความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตข้ามพื้นที่ของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ โดยผลการศึกษาพบว่าเทคนิคที่หนึ่งสามารถบอกความสามารถพร้อมมูลของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ของแต่ละสายส่งและยังสามารถทราบถึงขีดความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่แต่ละสายส่งภายใต้ภาวะเหตุการณ์ฉุกเฉินระบบสูญเสียอุปกรณ์จำนวนหนึ่งอุปกรณ์ (Contingency $n-1$) ซึ่งประกอบด้วยเหตุการณ์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังการผลิตสูงสุดในพื้นที่และสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่แต่ละเส้นถูกปลด สำหรับเทคนิคที่สองผลการศึกษาของพบว่าสามารถบอกความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังในแต่ละพื้นที่ควบคุมย่อยและสามารถระบุพื้นที่ที่วิกฤตภายใต้การพิจารณาด้านแรงดันต่ำและพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของการไหลกำลังไฟฟ้าซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญเพื่อใช้ในการวางแผนปรับปรุงความเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง นอกจากนี้ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการกำหนดและจัดลำดับสายส่งรองเพื่อรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าและการส่งการที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง โดยผลการศึกษาพบว่าเทคนิคนี้สามารถบ่งบอกสายส่งที่สำคัญในการรองรับกำลังไฟฟ้าถ่ายโอนหากสายส่งหลักถูกปลดออกซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับวิศวกรในการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อป้องกันระบบไม่ให้เกิดปัญหาความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าไหลภายใต้การส่งกำลังการผลิตที่เหมาะสม ดังนั้นเทคนิคทั้งหมดที่ได้แนะนำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังได้

คำสำคัญ : การประเมินความสามารถ สายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ ระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ ความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง

Research title The Capability Assessment of Inter Tied Lines and Large-Scale Power System for System Stability Improvement

Researcher Name Chaisit Wannoi

Department Computer Technology Department,
Faculty of Agricultural and Industrial Technology
Phetchabun Rajabhat University, **Year** 2021

ABSTRACT

This research presents the capability assessment of inter-tied lines and large-scale power system for system stability improvement which consist two techniques are a proper technique for Inter-Tied line assessment of power system and a proper technique for assessment of power system loading and zonal to zonal power transfer capability. The study results found that the first technique can determine the available transfer capability of inter-tied line of each transmission line and also can determine the capability of inter-tied line under a single contingency condition (Contingency n-1) which consists of the highest capacity in the area and inter-tied lines were disconnected. For, study results of the second technique can determine power system loading and zonal to zonal power transfer capability of each sub system and can determine critical areas under consideration of low voltage and power flow congestion. This is important information for use in planning to improve the power system stability. In addition, this research presents the secondary transmission lines defining and ranking technique to support power transfer and proper dispatch for power system control. The study results found that this technique could identify the important transmission lines to support the power transfer if the primary transmission line was outage, which is important information for engineers to control the power system to protect the system from Power flows congestion problems under optimal generation dispatch. Then, all techniques can apply to improve the power system stability.

Keywords: Capability Assessment, Inter Tied Lines, Large Scale Power System, Power System Stability

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดีด้วยคำแนะนำและการให้คำปรึกษาจาก ผศ.ดร.ชาย ชมภูอินไหว, ผศ.ดร.เชาว์ ชมพูอินไหว และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้าซึ่งเป็นอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ ในมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ซึ่งให้คำแนะนำต่าง ๆ และความร่วมมือช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายฝ่าย ที่สละเวลาให้คำแนะนำ คำปรึกษา รวมถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ที่ให้การสนับสนุนในการทำวิจัย และคณาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่ให้คำแนะนำแก่ข้าพเจ้าเป็นอย่างดี รวมถึงข้อเสนอแนะต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้มา ณ ที่นี้

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าและคณะผู้ร่วมวิจัยขอขอบคุณขอกราบขอบพระคุณ บิดา (คุณพ่อหนูเทียม วันน้อย) มารดา (คุณแม่สมบูรณ์ วันน้อย) และครอบครัว ที่ให้คำปรึกษาและให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่องและทำให้ข้าพเจ้าทำงานวิจัยสำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากการงานวิจัยฉบับนี้ข้าพเจ้าขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ชัยสิทธิ์ วันน้อย

29 มกราคม 2564

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	1
1.3 สมมุติฐานการวิจัย	2
1.4 ระเบียบวิธีวิจัย	4
1.5 ขอบเขตงานวิจัย	5
1.6 นิยามคำศัพท์เฉพาะ	5
1.7 ประโยชน์ของงานวิจัย	6
บทที่ 2 วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง	7
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องงานวิจัย	8
2.3 หนังสือและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	18
3.1 การศึกษาระบบไฟฟ้ากำลัง	19
3.2 การสร้างระบบไฟฟ้ากำลังฐาน	20
3.3 การสร้างขบวนการเพื่อนำเสนอเทคนิคที่เหมาะสมในการทดสอบและประเมิน	
ความสามารถส่งผ่านพลังงานของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่	20
3.4 การสร้างขบวนการเพื่อนำเสนอเทคนิคที่เหมาะสมในการศึกษาความสามารถ	
การรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่	23
3.5 การวิเคราะห์ผลการศึกษา	28
บทที่ 4 ผลการศึกษาวิจัย	29
4.1 ผลการศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการทดสอบและประเมินความสามารถส่งผ่าน	
พลังงานของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ของระบบไฟฟ้ากำลัง	29
4.2 ผลการศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการศึกษาความสามารถการรองรับการ	
เปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่	38
4.3 ผลการศึกษาแนวทางการกำหนดและจัดลำดับความสำคัญของสายส่งรองเพื่อ	
รองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ากรณีสายส่งหลักถูกปลดออก	46

(จ)

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	52
5.1 สรุปผลการวิจัย	52
5.2 อภิปรายผล	54
5.3 ข้อเสนอแนะ	54
บรรณานุกรม	56
ประวัตินักวิจัย	58
ภาคผนวก	62

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ของระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย	13
3.1 กำลังผลิตและปริมาณโหลดระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย ปี 2016-2017	19
3.2 กำลังผลิตและปริมาณโหลดปรับปรุงประเทศไทย ปี 2019	27
4.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่สุดในแต่ละพื้นที่	30
4.2 ความสามารถในการถ่ายโอนระหว่างพื้นที่ในระบบสถานะปกติ	31
4.3 ความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ในระบบสถานะปกติ	32
4.4 ความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ในระบบสูญเสียเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตสูงสุดในแต่ละพื้นที่	33
4.5 อัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าภายใต้ระบบสูญเสียเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตสูงสุดในแต่ละพื้นที่โดยเทียบกับระบบสถานะปกติ	34
4.6 การประเมินกำลังผลิตของระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย	40
4.7 พื้นที่หรือข้อจำกัดด้านแรงดันของระบบสูงสุดในแต่ละพื้นที่ภายใต้การพิจารณาค่าจำกัดด้านแรงดัน (0.90-1.10 p.u.)	43
4.8 พื้นที่หรือข้อจำกัดด้านความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของระบบสูงสุดภายใต้การพิจารณาค่าจำกัดด้านภาระโหลด (105%)	43
4.9 การกำหนดสายส่งรองในกลุ่มสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ด้วยค่าแฟคเตอร์การกระจายกำลังไฟฟ้า (d_k)	48

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 กรอบแนวความคิดของโครงการ	2
2.1 การส่งผ่านพลังงานระหว่างบัส i และบัส j	9
2.2 วงจรสมมูลลำดับบวกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	9
2.3 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า P และ มุมโรเตอร์ δ	11
2.4 ขีดจำกัดต่างๆที่มีผลต่อความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด	12
2.5 ภาพโดยรวมระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย	14
2.6 กราฟ P-V ของระบบสองบัสแต่ละเพอร์เวอร์แพคเตอร์	16
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย	18
3.2 ภาพโดยรวมระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย (ระบบฐาน)	19
3.3 การสร้างระบบไฟฟ้ากำลังฐาน	20
3.4 แผนภาพขั้นตอนการศึกษาการประเมินความมั่นคงการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่	21
3.5 การเชื่อมต่อของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่สองพื้นที่และการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่	21
3.6 ขบวนการเพื่อนำเสนอเทคนิคที่เหมาะสมในการศึกษาความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่	24
3.7 ขั้นตอนและขบวนการวิจัย	27
4.1 ลำดับสายส่งที่มีความสำคัญในการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้ากรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตสูงสุดในพื้นที่ 2 ถูกปลดออก	35
4.2 รูปแบบเปอร์เซ็นต์การรับโหลดของสายส่งในกรณีระบบสูญเสียสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่จำนวน 1 สายส่ง	36
4.3 ระดับเปอร์เซ็นต์การรับโหลดของสายส่งในกรณีระบบสูญเสียสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่จำนวน 1 สายส่ง	36
4.4 รูปแบบอัตราการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การรับโหลดของสายส่งในกรณีระบบสูญเสียสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่จำนวน 1 สายส่ง	37
4.5 ลำดับสายส่งที่มีความสำคัญในการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้ากรณีสายส่งลำดับที่ 5 (1810-6891) ถูกปลดออก	37
4.6 ความรุนแรงภายใต้สายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ที่ถูกปลดโดยพิจารณาการละเมิดค่าควบคุม	38
4.7 ขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบเมื่อพิจารณาเฉพาะค่าจำกัดด้านแรงดัน	40
4.8 ขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบเมื่อพิจารณาเฉพาะค่าจำกัดด้านภาระโหลด	41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 ขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบเมื่อพิจารณาค่าจำกัดด้านแรงดันและภาระโหลด	41
4.10 ลำดับบัสวิกฤตด้านแรงดันในพื้นที่ 2 กรณีลดโหลด (ต่ำสุด)	43
4.11 ลำดับบัสวิกฤตด้านแรงดันในพื้นที่ 2 กรณีเพิ่มโหลด (ต่ำสุด)	44
4.12 ลำดับบัสวิกฤตด้านแรงดันในพื้นที่ 2 กรณีลดกำลังผลิต (ต่ำสุด)	44
4.13 ลำดับบัสวิกฤตด้านภาระโหลดในพื้นที่ 1 กรณีลดโหลด (ต่ำสุด)	44
4.14 ลำดับบัสวิกฤตด้านภาระโหลดในพื้นที่ 2 กรณีเพิ่มโหลด (ต่ำสุด)	45
4.15 ลำดับบัสวิกฤตด้านภาระโหลดพื้นที่ 6 กรณีลดกำลังผลิต(ต่ำสุด)	45
4.16 กำลังไฟฟ้าส่งผ่านของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ (MVA) ภายใต้ระบบในสภาวะปกติ	47
4.17 ความสามารถส่งผ่านพลังงานพร้อมมูลของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ภายใต้ระบบในสภาวะปกติ	47
4.18 การกำหนดและจัดลำดับกลุ่มสายส่งรองของสายส่งในกรณีสายส่งหมายเลข 1804-6801 ถูกปลดออก	49
4.19 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าส่งผ่าน (MVA) ของกลุ่มสายส่งรองในกรณีสายส่ง 1804-6801 ถูกปลดออก	49
4.20 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าส่งผ่าน (MVA) ของกลุ่มสายส่งรองในกลุ่มสายส่งส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่	50
4.21 การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าของกลุ่มสายส่งรอง ก่อนและหลังในกรณีสายส่ง 1804-6801 ถูกปลดออก	50

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ภายใต้ 1) ยุทธศาสตร์ชาติ แผนยุทธศาสตร์ด้านความมั่นคง ยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ 2) แผนยุทธศาสตร์การพัฒนาวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี วิจัยและนวัตกรรม และ 3) ยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ แผนยุทธศาสตร์การวิจัยและนวัตกรรมเพื่อสร้างความมั่นคงทางเศรษฐกิจ ประกอบกับเมื่อทำการศึกษา แผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ. 2561 - 2580 (PDP2018) พบว่าในแต่ละปีนั้นมีกำลังผลิตและระบบสายส่งที่จะเข้ามาในระบบไฟฟ้ากำลังเพิ่มขึ้น ค่อนข้างมากตามแผนการศึกษาการพยากรณ์ปริมาณความต้องการของโหลด สำหรับค่าพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าของระบบไฟฟ้าไทยปริมาณความต้องการโหลดจากปี 2561-2580 มีอัตราการเพิ่มขึ้นในแต่ละปี 1,393 MW และจากแผนกำลังผลิตไฟฟ้า ณ ธันวาคม 2560 46,090 เมกะวัตต์ กำลังผลิตไฟฟ้าใหม่ ในช่วงปี 2561 - 2580 56,431 MW กำลังผลิตไฟฟ้าที่ปลดออกจากระบบ ในช่วงปี 2561 - 2580 25,310 MW โดย รวมกำลังผลิตไฟฟ้าทั้งสิ้น ณ สิ้นปี 2580 จะมีกำลังผลิตรวม 77,211 เมกะวัตต์ โดยเฉพาะกำลังผลิตด้านพลังงานหมุนเวียนซึ่งจะมีกำลังการผลิตโรงไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน 20,766 MW ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการศึกษาและประเมินความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อรองรับการขยายตามแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย โดยเฉพาะสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ (Tied-Lines) ซึ่งมีความสำคัญในการส่งผ่านพลังงานในระบบหากสายส่งเหล่านี้ได้รับภาระโหลดเกินอาจได้รับความเสียหายและอาจเป็นสาเหตุทำให้ระบบเกิดความไม่เสถียรภาพหรือเกิดไฟฟ้าดับบริเวณกว้าง (Blackout) ขึ้นได้

ดังนั้นโครงการวิจัยนี้ จึงได้ทำการศึกษาเทคนิคในการประเมินความสามารถส่งผ่านพลังงานของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อวางแผนปรับปรุง ยกกระตือรือร้นความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังและสร้างความมั่นคงด้านเศรษฐกิจ ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาคือเทคนิคการคำนวณกำลังไฟฟ้าไหลแบบทำซ้ำ (Repeated Power Flow Calculation) โดยดัชนีที่ใช้พิจารณาคือความสามารถส่งผ่านพร้อมมูล (Available Transfer Capability : ATC) ของสายส่ง และความเสถียรภาพแรงดัน ภายใต้การทดสอบ การเพิ่มขึ้นของโหลดและการลดกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่หรือระบบ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปวางแผนและปรับปรุงยกกระตือรือร้นความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อสร้างความมั่นคงด้านพลังงานและเศรษฐกิจของประเทศไทยได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ในโครงการวิจัยนี้ได้แบ่งวัตถุประสงค์หลักออกเป็นดังนี้

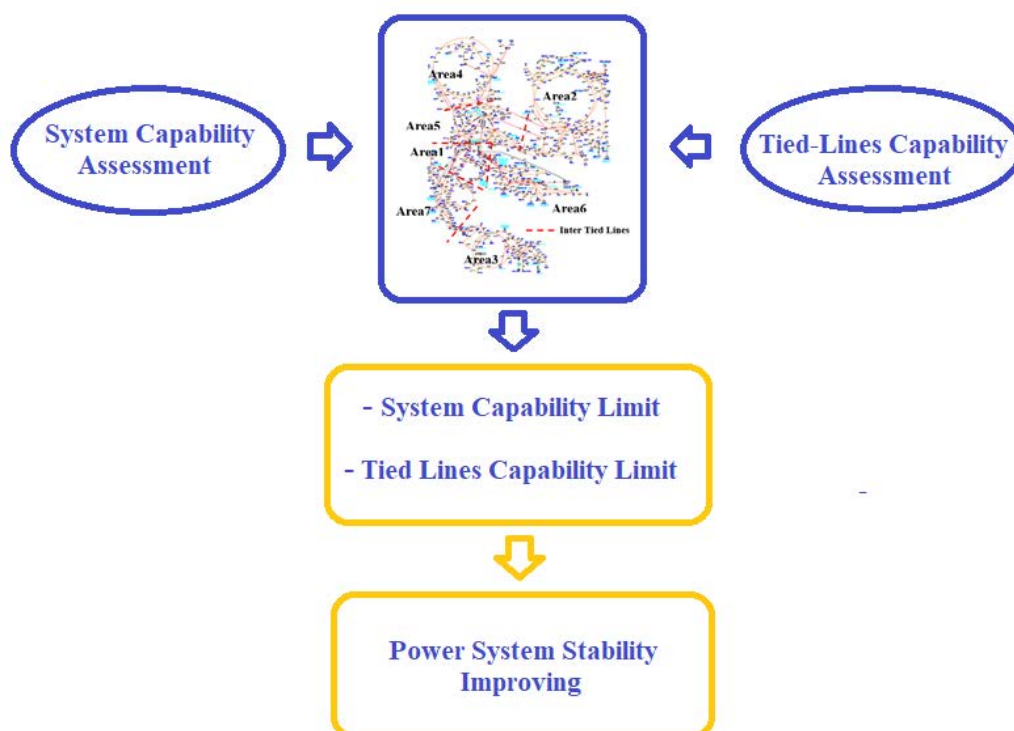
1.2.1 เพื่อศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการทดสอบและประเมินความสามารถส่งผ่านพลังงานของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ของระบบไฟฟ้ากำลัง

1.2.2 เพื่อศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการศึกษาความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่

1.2.3 เพื่อรวบรวมองค์ความรู้และเผยแพร่ผลการวิจัยเพื่อนำเทคนิคไปใช้เพื่อปรับปรุงระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยในการสร้างความมั่นคงด้านพลังงานและเศรษฐกิจ

1.3 สมมุติฐานและทฤษฎีในการวิจัย

สมมุติฐานและกรอบแนวความคิดของโครงการหรือขอบเขตงานวิจัยจะทำการศึกษาและนำเสนอเทคนิคใหม่ในการประเมินความสามารถส่งผ่านพลังงานของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อวางแผนปรับปรุง ยกกระตือรือร้นความเสถียรภาพระบบและความมั่นคงด้านเศรษฐกิจ ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาคือเทคนิคการคำนวณกำลังไฟฟ้าไหลแบบทำซ้ำ (Repeated Power Flow Calculation) โดยดัชนีที่ใช้พิจารณาคือความสามารถส่งผ่านพร้อมมูล (Available Transfer Capability : ATC) ของสายส่งและความเสถียรภาพแรงดัน ภายใต้การทดสอบ การเพิ่มขึ้นของโหลดและการลดกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ ซึ่งแนวความคิดของโครงการสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 กรอบแนวความคิดของโครงการ

และในโครงการวิจัยการประเมินความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อปรับปรุงความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้ดัชนีค่าการวิเคราะห์ความสามารถที่มีอยู่ในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของสายส่ง (Available Transfer Capability; ATC) เป็นตัวบ่งความสามารถของสายส่งและการทดสอบความสามารถของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่จะใช้เทคนิคการคำนวณกำลังไฟฟ้าไหลแบบทำซ้ำในการประเมิน โดยค่าความสามารถที่มีอยู่ในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า การประเมินความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า (Transmission Transfer Capability Evaluation) เป็นการคำนวณค่าขีดจำกัดในการส่งกำลังไฟฟ้าจากบัสหนึ่งไปยังอีกบัสหนึ่งหรืออีกจากพื้นที่หนึ่งไปอีกพื้นที่หนึ่ง โดยผ่านสายส่งที่เชื่อมต่อระหว่างระหว่างกลุ่มบัสเหล่านั้นๆ ค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าที่พิจารณาจะอยู่ในเทอมของกำลังไฟฟ้าจริงซึ่งขึ้นกับองค์ประกอบสำคัญหลายประการ เช่น หลักการจัดสรรระบบผลิต โครงสร้างระบบสายส่ง นโยบายการกำกับดูแลระบบไฟฟ้าและหลักการควบคุมการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าระหว่างระบบ แนวคิดการประเมินความสามารถการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าถูกนำเสนอในปี พ.ศ. 2538 โดยคณะกรรมการความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังอเมริกาเหนือ (NERC) ซึ่งให้ความหมายของการส่งกำลังไฟฟ้าพร้อมมูล (Available Transfer Capability: ATC) ว่าเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถที่เหลืออยู่ในการส่งผ่านพลังงาน จากกลุ่มตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง ซึ่งค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าพร้อมมูลนี้ คำนวณได้จากผลต่างระหว่างความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Total Transfer Capability: TTC) กับผลรวมของกำลังไฟฟ้า ณ สถานะการทำงานปัจจุบันของระบบ (Existing Transmission Commitment: ETC) กำลังส่งในระบบสายส่งที่สำรองเพื่อความมั่นคงและความเชื่อถือได้ในระบบหรือเพื่อเหตุผลทางด้านความปลอดภัย (Transmission Reliability Margin: TRM) และกำลังส่งที่สำรองเพื่อผลทางด้านความน่าเชื่อถือได้ของกำลังการผลิต (Capacity Benefit Margin: CBM) โดยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (1)

$$ATC = TTC - ETC - TRM - CBM \quad (1)$$

โดยที่

ATC คือ ความสามารถที่เหลืออยู่ในการส่งผ่านพลังงาน

TTC คือ ความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด

ETC คือ กำลังไฟฟ้า ณ สถานะการทำงานปัจจุบันของระบบ

TRM คือ กำลังส่งในระบบสายส่งที่สำรองเพื่อความมั่นคงและความเชื่อถือได้ในระบบ

CBM คือ กำลังส่งที่สำรองเพื่อผลทางด้านความน่าเชื่อถือได้ของกำลังการผลิต

ซึ่งการศึกษาวิจัยการประเมินความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อการปรับปรุงความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้อจำกัดการส่งผ่านพลังงานภายใต้ข้อจำกัดด้านความร้อนของอุปกรณ์ในระบบกำลังไฟฟ้าซึ่งจะแสดงในรูปของ MVA limit ของสายส่งโดยข้อจำกัดในรูปของอัตรา MVA สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2)

$$Limit_{MVA} = \frac{Limit_{AMP} \sqrt{3} |VN|}{10^6} \quad (2)$$

โดยกำหนดให้

$Limit_{AMP}$ หมายถึง ค่าจำกัดในหน่วย Amperes;

$Limit_{MVA}$ หมายถึง ค่าจำกัดในหน่วย MVA;

VN หมายถึง ค่าแรงดันไฟฟ้า (Nominal Voltage)

และในการศึกษานี้จะไม่พิจารณาค่าส่วนเผื่อของ TRM และ CRM และใช้ข้อกำหนด NERC ATC terminology ได้กำหนดค่าของ committed Uses ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการ (3)

$$Committed_Uses = TRM + (ETC + CBM) \quad (3)$$

ดังนั้นสามารถแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ของ ATC ได้ดังสมการที่ (4)

$$\%ATC = \%TTC - \%Committed_Uses \quad (4)$$

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษาวิจัยการประเมินความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อการปรับปรุงความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังนั้นได้กำหนดแนวทางหรือวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้

1.4.1 ศึกษาข้อมูลระบบกำลังไฟฟ้าเพื่อสร้างระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้ข้อมูลระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยเป็นระบบฐานโดยโปรแกรมจำลอง Power world

1.4.2 สร้างระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้ข้อมูลระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทย

1.4.3 ทำการศึกษาข้อมูลและประเมินขีดความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ในระบบสภาวะปกติ

1.4.4 สร้างขบวนการเพื่อนำเสนอเทคนิคที่เหมาะสมในการทดสอบและประเมินความสามารถส่งผ่านพลังงานของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ของระบบไฟฟ้ากำลัง

1.4.5 สร้างขบวนการเพื่อนำเสนอเทคนิคที่เหมาะสมในการศึกษาความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่

1.4.6 วิเคราะห์ผลการศึกษาและรวบรวมองค์ความรู้และเผยแพร่

1.5 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ขอบเขตของโครงการวิจัยจะนำเสนอเทคนิคใหม่ในการประเมินความสามารถส่งผ่านพลังงานของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่โดยเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาคือเทคนิคการคำนวณกำลังไฟฟ้าไหลแบบทำซ้ำ (Repeated Power Flow Calculation) ซึ่งดัชนีที่ใช้พิจารณาคือความสามารถส่งผ่านพร้อมมูล (Available Transfer Capability : ATC) ของสายส่งและความเสถียรภาพแรงดัน ภายใต้การทดสอบ การเพิ่มขึ้นของโหลดและการลดกำลังการผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ ซึ่งระบบไฟฟ้ากำลังฐานในการศึกษานั้นใช้ข้อมูลระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทย ช่วงที่ระบบมีปริมาณความต้องการโหลดสูงสุดซึ่งในโครงการนี้ได้นำเสนอ 2 เทคนิคคือเทคนิคที่เหมาะสมในการทดสอบและประเมินความสามารถส่งผ่านพร้อมมูล (ATC) ของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ของระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยและเทคนิคที่เหมาะสมในการศึกษาความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่โดยพิจารณาความสามารถในการรองรับปริมาณโหลดที่เพิ่มขึ้นและปริมาณการลดกำลังกำลังผลิตในระบบได้เท่าไร โดยจะรวบรวมองค์ความรู้และเผยแพร่การประเมินความสามารถส่งผ่านพลังงานของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และความสามารถของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อยกระดับความมั่นคงด้านพลังงานและเศรษฐกิจ

1.6 นิยามคำศัพท์เฉพาะ

นิยามคำศัพท์เฉพาะการศึกษาวิจัยการประเมินความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อการปรับปรุงความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังนั้นมีดังนี้

1.6.1 ระบบไฟฟ้ากำลัง (Power System)

ระบบไฟฟ้ากำลัง (Electrical Power Systems) หมายถึง โครงข่ายที่รวบรวมระบบและ อุปกรณ์ต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อทำการเปลี่ยนรูปพลังงานที่ไม่ใช่ไฟฟ้าไปเป็นพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบที่ต้องการ และส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าด้วยระดับแรงดันไฟฟ้าสูงๆ ไปยังแหล่งหรือระบบใช้งานในรูปโครงข่ายปิดขนาดใหญ่ ซึ่งจะแปลงพลังงานไฟฟ้าเหล่านี้ไปใช้งานในรูปของพลังงานที่ไม่ใช่ไฟฟ้า

1.6.2 ความหนาแน่นการไหลกำลังไฟฟ้า (Congestion)

คือสถานะความคับคั่งของการไหลกำลังไฟฟ้าหรือความหนาแน่นการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความเสียหายต่ออุปกรณ์หากอุปกรณ์นั้นมีการไหลกำลังไฟฟ้าผ่านที่สูงกว่าค่าขีดจำกัดด้านความร้อน

1.6.3 ระบบการผลิตไฟฟ้า (Generating System)

คือกระบวนการผลิตไฟฟ้าเพื่อให้ เพียงพอต่อการใช้งานต้องอาศัยโรงไฟฟ้า ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่สุดในระบบไฟฟ้ากำลัง และระบบส่งไฟฟ้ามีส่วนประกอบอื่นๆ เช่นหม้อแปลงไฟฟ้า ลานไถไฟฟ้า สถานีไฟฟ้าแรงสูง สายส่ง ไฟฟ้าแรงสูง เป็นต้น

1.6.4 สายส่งกำลังไฟฟ้า (Transmission Line)

คือระบบที่เชื่อมโยงระหว่างระบบผลิตกับระบบจำหน่ายเข้าด้วยกันหรือมีหน้าที่ขนส่งพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตไปยังศูนย์กลางการจำหน่าย

1.6.5 หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

คืออุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นที่ใช้เชื่อมโยงระหว่างระบบไฟฟ้า ที่มีแรงดันไฟฟ้าต่างกัน โดยจะทำหน้าที่เพิ่มหรือลดแรงดันไฟฟ้าให้เหมาะกับการส่ง การจ่าย และการใช้พลังงานไฟฟ้า

1.6.6 ค่าจำกัดด้านความร้อน (Thermal Limit)

คือขีดจำกัดด้านอุณหภูมิของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานเพื่อป้องกันความเสียหายที่เกิดขึ้นเนื่องจากการได้รับอุณหภูมิสูงเกินพิกัดที่ทนได้

1.6.7 ค่าจำกัดด้านแรงดัน (Voltage Limit)

คือขีดจำกัดด้านแรงดันไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วยขีดจำกัดด้านแรงดันไฟฟ้าต่ำและขีดจำกัดด้านแรงดันไฟฟ้าสูงเพื่อป้องกันความเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังและความเสียหายต่อโหลดทางไฟฟ้า

1.6.8 ค่าจำกัดด้านความเสถียรภาพ (Stability Limit)

คือขีดจำกัดด้านเสถียรภาพมุมโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อป้องกันความเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง

1.6.9 Contingency n-1

คือการวิเคราะห์เหตุการณ์ฉุกเฉินภายใต้ระบบสูญเสียอุปกรณ์จำนวนหนึ่งอุปกรณ์

1.6.10 กำลังไฟฟ้า (Electrical Power)

คือคุณลักษณะกระแสแรงดัน และความถี่ของแหล่งจ่ายไฟฟ้าในสภาวะปกติไม่ทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้ามีการทำงานผิดพลาดหรือเกิดการเสียหาย

1.6.11 แรงดันไฟฟ้า (Voltage)

คือแรงที่กระทำต่ออิเล็กตรอนเพื่อทำให้อิเล็กตรอนไหลในสายไฟ

1.6.12 กระแสไฟฟ้า (Current)

คือการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน โดยอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ เมื่อเกิดสภาพขาดอิเล็กตรอนจึงจ่ายประจุไฟฟ้าลบบอกไปแทนที่ ทำให้เกิดการไหลของอิเล็กตรอนในสายไฟจนกว่าประจุไฟฟ้าบวกจะถูกทำให้เป็นกลางหมด การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนหรือการไหลของอิเล็กตรอนในสายไฟ

1.7 ประโยชน์ของงานวิจัย

1.7.1 ได้เทคนิคที่เหมาะสมในการทดสอบและประเมินความสามารถส่งผ่านพร้อมมูล (ATC) ของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ของระบบไฟฟ้ากำลัง

1.7.2 ได้เทคนิคที่เหมาะสมในการศึกษาความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ของระบบไฟฟ้ากำลัง

1.7.3 ได้ข้อมูลการประเมินความสามารถส่งผ่านพลังงานของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และขีดจำกัดของระบบไฟฟ้าประเทศไทยเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงความมั่นคงระบบไฟฟ้ากำลัง

1.7.4 ได้องค์ความรู้และเผยแพร่เพื่อนำเทคนิคไปใช้เพื่อปรับปรุงระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อสร้างความมั่นคงด้านพลังงานและเศรษฐกิจ

บทที่ 2

วรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นในการศึกษาการศึกษาวิจัย การประเมินความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อการปรับปรุงความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจที่ง่ายขึ้นจึงได้แบ่งส่วนการศึกษาในบทนี้ออกเป็นสองส่วนใหญ่คือการทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย ส่วนที่สองทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย และส่วนสุดท้ายคือหนังสือและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาวิจัยนี้

2.1 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

โครงการวิจัยเพื่อนำเสนอเทคนิคใหม่สำหรับการประเมินความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อใช้ในการวางแผนปรับปรุงความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ไม่ใช่เฉพาะระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยเท่านั้น ระบบไฟฟ้ากำลังอื่นก็ต้องสามารถนำเทคนิคนี้ไปทดสอบและประเมินความสามารถของระบบได้เช่นกัน โดยเฉพาะประเทศไทย แต่ในโครงการวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยเป็นระบบฐานในการศึกษาเนื่องจากหาข้อมูลในการศึกษาได้ง่ายกว่าระบบอื่นซึ่งมีการปรับปรุงข้อมูลอยู่ตลอดเวลาของกรมพลังงาน ซึ่งการศึกษาการประเมินความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่นั้น องค์กร North American Electric Reliability Council (NERC) ได้ กำหนดค่าความสามารถการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าจากของสายส่งได้ดังสมการที่ 1

ในการวิจัยด้านระบบไฟฟ้ากำลังได้มีการนำเสนอการศึกษาและวิเคราะห์ทางด้านความมั่นคงระบบโดย Chai Chompoo-inwai, C. Yingvivatanapong, P.Faungfoo and W.J. Lee, ได้ทำการนำเสนอรูปแบบการบริหารจัดการความแออัดในช่วงการเปลี่ยนถ่ายกำลังไฟฟ้าของประเทศไทยซึ่งเป็นวิธีการป้องกันผลกระทบไม่ให้เกิดความแออัดของกำลังไฟฟ้าขึ้นในระบบ และสำหรับการประเมินขีดความสามารถของสายส่ง โดย A. A. Sadiq, M. N. Nwohu, ได้ทำงานทดสอบ การประเมินความสามารถในการถ่ายโอนระหว่างพื้นที่ที่มีอยู่ของเครือข่ายไนจีเรียที่ระบบแรงดัน 330KV ซึ่งใช้หลักการการลดกำลังผลิตลงเท่านั้น และ Taisuke Masuta, Akihiko Yokohama ได้นำเสนอการเพิ่มขีดความสามารถการส่งผ่านพลังงานของสายส่งโดยใช้ UPFC device ซึ่งในโครงการวิจัยนี้ได้นำเสนอการเทคนิคใหม่ในการประเมินความสามารถในการถ่ายโอนระหว่างพื้นที่ที่มีอยู่ของระบบกำลังโดยพิจารณาผลการเปลี่ยนแปลงทั้งโหลดและกำลังการผลิตในระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เนื่องจากการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะปกตินั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงของโหลดและกำลังการผลิตตลอดเวลาโดยในการวิจัยได้ใช้โปรแกรมจำลอง Powerworld ในการวิเคราะห์

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องงานวิจัย

ในโครงการวิจัยการประเมินความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อปรับปรุงความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังได้ใช้ดัชนีค่า การวิเคราะห์ความสามารถที่มีอยู่ในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของสายส่ง (Available Transfer Capability; ATC) เป็นตัวบ่งความสามารถของสายส่งและการทดสอบความสามารถของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่จะใช้เทคนิคการคำนวณกำลังไฟฟ้าไหลแบบทำซ้ำในการประเมิน โดยสามารถแสดงเนื้อหาที่ใช้ในโครงการวิจัยได้ดังนี้

2.2.1 ความสามารถที่มีอยู่ในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า (Available Transfer Capability)

การประเมินความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า (Transmission Transfer Capability Evaluation) เป็นการคำนวณค่าขีดจำกัดในการส่งกำลังไฟฟ้าจากบัสหนึ่งไปยังอีกบัสหนึ่ง หรืออีกจากพื้นที่หนึ่งไปอีกพื้นที่หนึ่ง โดยผ่านสายส่งที่เชื่อมต่อระหว่างระหว่างกลุ่มบัสเหล่านั้นๆ ค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าที่พิจารณาจะอยู่ในเทอมของกำลังไฟฟ้าจริงซึ่งขึ้นกับองค์ประกอบสำคัญหลายประการ เช่น หลักการจัดสรรระบบผลิต โครงสร้างระบบสายส่ง นโยบายการกำกับดูแลระบบไฟฟ้าและหลักการควบคุมการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าระหว่างระบบ แนวคิดการประเมินความสามารถการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าถูกนำเสนอในปี พ.ศ. 2538 โดยคณะกรรมการความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังอเมริกาเหนือ (NERC) ซึ่งให้ความหมายของการส่งกำลังไฟฟ้าพร้อมมูล (Available Transfer Capability: ATC) ว่าเป็นค่าที่บ่งบอกถึง ความสามารถที่เหลืออยู่ในการส่งผ่านพลังงาน จากกลุ่มตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง ซึ่งค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าพร้อมมูลนี้คำนวณได้จากผลต่างระหว่างความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Total Transfer Capability: TTC) กับผลรวมของกำลังไฟฟ้า ณ สภาวะการทำงานปัจจุบันของระบบ (Existing Transmission Commitment: ETC) กำลังส่งในระบบสายส่งที่สำรองเพื่อความมั่นคงและความเชื่อถือได้ในระบบหรือเพื่อเหตุผลทางด้านความปลอดภัย (Transmission Reliability Margin: TRM) และกำลังส่งที่สำรองเพื่อผลทางด้านความน่าเชื่อถือได้ของกำลังการผลิต (Capacity Benefit Margin: CBM)

$$ATC = TTC - ETC - TRM - CBM \quad (1)$$

โดยที่ ATC คือ ความสามารถที่เหลืออยู่ในการส่งผ่านพลังงาน

TTC คือ ความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด

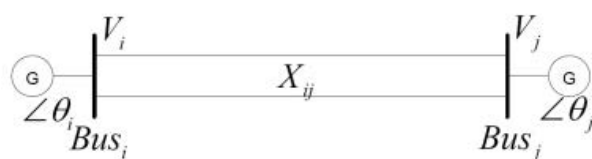
ETC คือ กำลังไฟฟ้า ณ สภาวะการทำงานปัจจุบันของระบบ

TRM คือ กำลังส่งในระบบสายส่งที่สำรองเพื่อความมั่นคงและความเชื่อถือได้ในระบบ

CBM คือ กำลังส่งที่สำรองเพื่อผลทางด้านความน่าเชื่อถือได้ของกำลังการผลิต

2.2.2 ความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด (TTC)

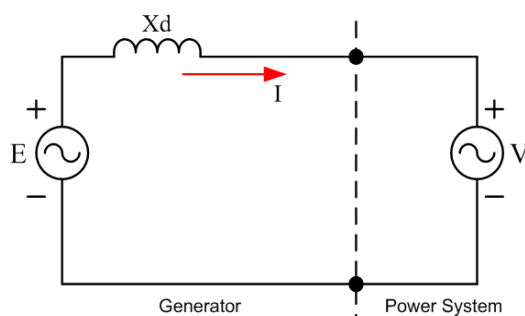
ความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด หรือ TTC ถูกนิยามให้หมายถึง กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถส่งจากตำแหน่งหนึ่งในระบบผ่านสายส่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งโดยไม่ทำให้ระบบอยู่ในสถานะที่เสี่ยงต่อการเกิดปัญหาเกี่ยวกับความมั่นคงอย่างไรก็ดี สถานะการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเนื่องจากความต้องการกำลังไฟฟ้ามีค่าไม่คงที่ นอกจากนี้โครงสร้างของระบบและอุปกรณ์ต่างๆ ที่อาจเกิดการชำรุดเสียหายได้ ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ค่าความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดนี้ จะมีค่าไม่คงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับเวลาและสถานะต่างๆ ของระบบกำลังไฟฟ้า โดยทั่วไปในการประเมินความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดระหว่างพื้นที่เราจะทำการจำลองสถานะการทำงานของระบบด้วยระบบคอมพิวเตอร์โดยจะต้องจำลองสถานะการเปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะเป็นความต้องการโหลด การจัดสรรกำลังผลิต สถานะของโครงสร้างและอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบที่อาจเกิดการชำรุด จากนั้นทำการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าเพื่อกำหนดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถส่งผ่านระหว่างพื้นที่ได้ โดยไม่ละเมิดขีดจำกัดของระบบขีดจำกัดและค่าต่างๆ ในระบบสามารถอธิบายด้วยสมการส่งผ่านกำลังได้ดังนี้ และกำลังไฟฟ้าที่ส่งผ่านในสายส่งเส้นใดเส้นหนึ่งนั้นสามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การส่งผ่านพลังงานระหว่างบัส i และบัส j

2.2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า (P) และมุมโรเตอร์ (δ)

ถ้าพิจารณาให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่อกับระบบไฟฟ้า 3 เฟส สมดุลในสถานะคงตัวเราสามารถเขียนวงจรสมมูลลำดับบวกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 วงจรสมมูลลำดับบวกของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากรูปที่ 2.2 เมื่อประยุกต์ใช้กฎแรงดันของเคิร์ชฮอฟฟ์สามารถเขียนเป็นสมการที่มีหน่วยเป็นเปอร์ยูนิตได้คือ

$$E = jX_d I + V \quad (2)$$

หรือ

$$I = \frac{E - V}{jX_d} \quad (3)$$

สำหรับกำลังเชิงซ้อน

$$S = VI^* = V \left[\frac{E - V}{jX_d} \right]^* \quad (4)$$

เมื่อ

V คือ $V \angle 0^\circ$ คือแรงดันที่ขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

E คือ $E \angle \delta$ คือแรงดันเหนี่ยวนำภายในเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

δ คือ มุมกำลัง

ดังนั้นจากสมการ (2), (3) และ(4) จะได้

$$\begin{aligned} S &= V \left[\frac{E}{X_d} \angle \delta - 90^\circ + j \frac{V}{X_d} \right]^* \\ S &= V \frac{E}{X_d} \angle 90^\circ - \delta - j \frac{V^2}{X_d} \\ S &= \left[\frac{VE}{X_d} \cos \angle 90^\circ - \delta + j \frac{VE}{X_d} \sin \angle 90^\circ - \delta \right] - j \frac{V^2}{X_d} \\ S &= \frac{VE}{X_d} \sin \delta + j \left[\frac{VE}{X_d} \cos \delta - \frac{V^2}{X_d} \right] \end{aligned} \quad (5)$$

ดังนั้นจากสมการที่ (5) กำลังไฟฟ้าจริง (Active Power) คือ

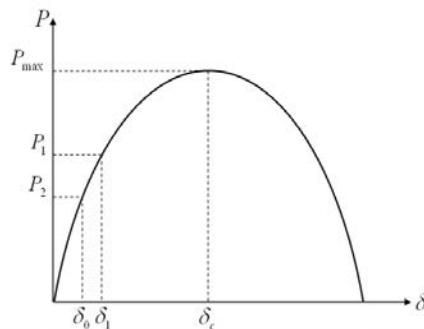
$$P = R_e [S] = \frac{VE}{X_d} \sin \delta \quad (6)$$

และกำลังรีแอคทีฟ (Reactive Power) คือ

$$Q = I_m [S] = \frac{VE}{X_d} \cos \delta - \frac{V^2}{X_d} \quad (7)$$

สำหรับกำลังจริง (P) คือ P_e ที่ได้จากการเปลี่ยนรูปกำลังกล P_m เป็นกำลังไฟฟ้าซึ่งจะอธิบายปฏิกิริยาของระบบควบคุมระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับเครื่องต้นกำลังและเครื่องกระตุ้น โดยเริ่มพิจารณากำลังจริงที่ได้รับด้วยการปรับวาล์วควบคุมแก๊สหรือควบคุมไอน้ำ ถ้ามีการปรับวาล์วมากขึ้น เครื่องต้นกำลังก็จะผลิตแรงบิด T_m มากขึ้นดังนั้นกำลังกล P_m ก็จะมากขึ้นด้วย และส่งผลให้กำลังไฟฟ้า P_e และ P เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นกัน ถ้ากำหนดให้แรงดัน E, V และรีแอคแตนซ์ X_d มีค่าคงที่ ดังนั้นตัวแปรเพียงตัวเดียวที่มีค่าเพิ่มมากขึ้นก็คือ มุมกำลัง (δ) เมื่อพิจารณารูปที่ 2.3 การเพิ่มขึ้นของกำลังไฟฟ้า P_2 เป็น P_1 จะสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของมุมกำลังจาก δ_0 เป็น δ_1 อย่างไรก็ตามกำลังไฟฟ้ามีขีดจำกัดอยู่ที่กำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power) ค่าหนึ่ง ซึ่งขีดจำกัดความเสถียรภาพแบบอยู่ตัวใช้อ้างอิง ดังสมการที่ (8) เมื่อ $\delta_c = 90^\circ$ เรียกว่า มุมวิกฤต

$$P_{\max} = \frac{EV}{X_d} \sin \delta_c = \frac{EV}{X_d} \quad (8)$$

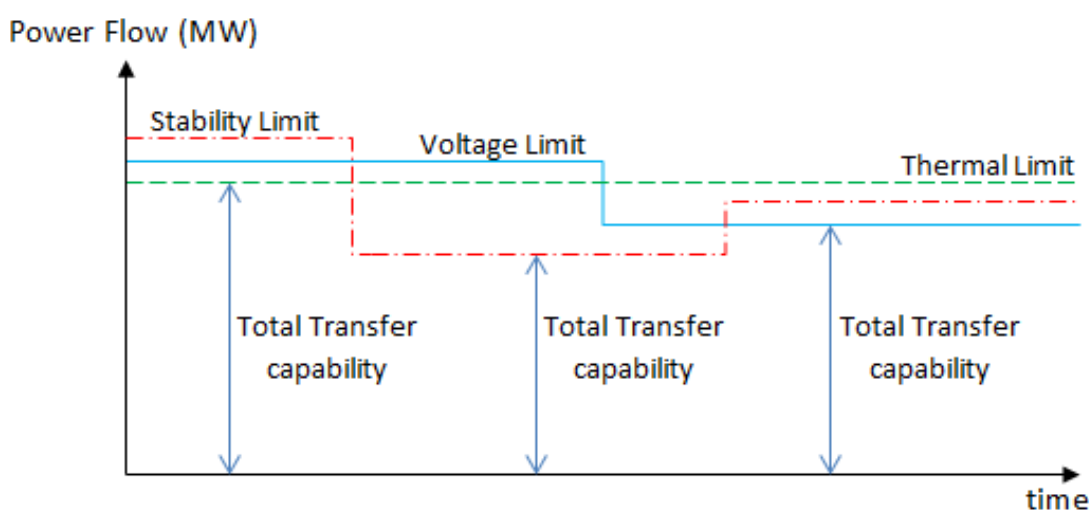


รูปที่ 2.3 เส้นโค้งความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้า P และ มุมโรเตอร์ δ

จากรูปที่ 2.3 ถ้ามีการเพิ่มกำลังกล P_m ต่อไปโดยมุม δ มีค่าเกิน 90° จะทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าไม่สามารถที่ซิงโครไนซ์กับระบบได้ ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั่วไปจะทำงานโดยมีมุมกำลังขนาดเล็ก ประมาณ 20° จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นได้ว่าการตั้งค่าค่าควบคุมแก๊สและไอน้ำจะมีความสัมพันธ์กับการไหลของกำลังไฟฟ้า P และมุม δ เมื่อพิจารณาระบบควบคุมส่วนที่สองกล่าวคือ ตั้งค่าของเครื่องควบคุมค่าแรงดันให้สูงขึ้นจะส่งผลให้แรงดันเหนี่ยวนำภายใน E มีค่าเพิ่มขึ้นจากสมการกำลังรีแอกตีฟ สมมุติให้แรงดัน V รีแอกแตนซ์ X_d และมุม δ มีค่าคงที่ ดังนั้นเมื่อแรงดัน E มีค่าเพิ่มขึ้นกำลังรีแอกตีฟ Q ก็จะเพิ่มขึ้นตาม ด้วยเหตุนี้การตั้งค่าเครื่องควบคุมแรงดันจะมีความสัมพันธ์กับแรงดันเหนี่ยวนำ E และกำลังรีแอกตีฟ Q ที่ไหลออกจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า [5, 6]

ดังนั้นจากสมการส่งผ่านกำลังสูงสุดที่ 8 ดังนั้นขีดจำกัดที่ต้องพิจารณาสามารถสรุปได้ดังนี้ และสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.4

1. เงื่อนไขขีดจำกัดของแรงดัน (Voltage limit) โดยทุกตำแหน่งในระบบต้องได้รับแรงดันในระบบอยู่ในช่วง 0.9-1.10 เปอรียูนิต
2. เงื่อนไขขีดจำกัดทางอุณหภูมิของสายส่ง (Thermal limit) โดยสายส่งแต่ละเส้นต้องไม่รับกำลังเกินกว่าขีดจำกัดที่จะทำให้สายส่งมีอุณหภูมิเกินที่กำหนด ขีดจำกัดนี้จะถูกระบุในรูปของกำลังที่ไหลในสายส่งในหน่วย MVA หรือกระแสที่ไหลในสายส่งในหน่วย kA
3. ขีดจำกัดเสถียรภาพ (System Stability) โดยระบบกำลังไฟฟ้าจะต้องมีความสามารถในการต้านทานการรบกวน (Disturbance) ได้



รูปที่ 2.4 ขีดจำกัดต่างๆที่มีผลต่อค่าความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด

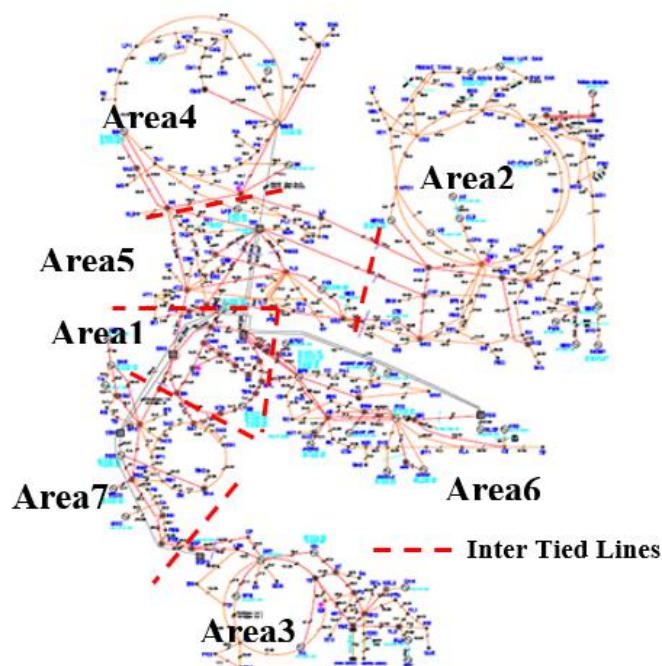
จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าค่าความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดจะมีค่าไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับขีดจำกัดของสายส่ง ขีดจำกัดทางด้านแรงดันไฟฟ้า และขีดจำกัดความเสถียรภาพระบบไฟฟ้า

2.2.4 วิธีการประเมินความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดระหว่างพื้นที่

โดยทั่วไปการเชื่อมต่อระบบกำลังไฟฟ้าเข้าด้วยกันจะเป็นการช่วยเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลังของระบบ โดยในกรณีที่กำลังการผลิตของระบบหนึ่งไม่เพียงพอ อีกระบบหนึ่งก็จะสามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้ามาช่วยเหลือได้ ซึ่งเป็นกำลังไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ของระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทยโดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 7 พื้นที่ด้วยกันโดยข้อมูลระบบสามารถแสดงดังตารางที่ 2.1 และภาพรวมของระบบสามารถแสดงในรูปที่ 2.5 โดยเป็นผลการศึกษาหลังจากการสร้างระบบกำลังไฟฟ้าโดยอาศัยข้อมูลระบบไฟฟ้ากำลังช่วงความต้องการโหลดสูงสุด (Peak loads)

ตารางที่ 2.1 ค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ของระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย

Area	Generations	Loads	Losses
1	2379.00	9821.98	84.00
2	2073.22	2924.00	178.54
3	1661.92	2001.66	56.48
4	3329.57	2727.37	113.93
5	3870.11	2862.14	70.70
6	9748.80	3677.23	46.70
7	4381.13	2836.20	44.16
Total	27443.75	26848.58	595.17



รูปที่ 2.5 ภาพโดยรวมระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย

ในปัจจุบันมีการนำเสนอวิธีการประเมินความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าซึ่งสามารถแบ่งวิธีการในการคำนวณออกเป็น 3 ประเภทหลักๆได้แก่

1. วิธีการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าแบบซ้ำ (Repeated power flow calculation) วิธีนี้จะทำการเพิ่มระดับโหลด และตรวจสอบเงื่อนไขการละเมิดขีดจำกัดของระบบไฟฟ้าด้วยวิธีการคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้า โดยการเพิ่มโหลดจะกระทำจนกระทั่งเกิดการละเมิดขีดจำกัดของระบบเกิดขึ้น ข้อดีของวิธีนี้คือง่ายต่อการวิเคราะห์แต่มีข้อเสียคือใช้เวลาในการวิเคราะห์นาน

2. วิธีการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบเหมาะสม (Optimization power flow) วิธีนี้จะทำการกำหนดฟังก์ชันของเป้าหมายเป็นการหาค่าสูงสุดของกำลังไฟฟ้าที่ส่งจากตำแหน่งหนึ่งไปยังตำแหน่งที่พิจารณาและจะจัดรูปแบบของขีดจำกัดของระบบให้อยู่ในรูปแบบอสมการเงื่อนไข ซึ่ง 3 วิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาขีดสุดสุดจะเป็นวิธี Gradient-search เช่นวิธีเชิงเลขของนิวตัน หรือ Heuristic-search เช่น Genetic algorithm อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อด้อยคือมีความซับซ้อนของปัญหาสูง และใช้เวลาในการคำนวณมาก

3. วิธีที่ใช้การประมาณค่าคำตอบ (Linear estimation) วิธีนี้จะใช้ประมาณในเชิงเส้นเพื่อหาคำตอบให้ใกล้เคียงมากที่สุดแต่คำตอบที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนแตกต่างจากคำตอบที่คำนวณจากวิธีการที่ 1 และวิธีการที่ 2 โดยข้อดีของวิธีนี้คือสามารถคำนวณคำตอบได้ด้วยความรวดเร็ว แต่มีข้อเสียคือคำตอบอาจมีความคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงได้

2.2.5 วิธีการวิเคราะห์ความเสถียรภาพแรงดัน

ในการศึกษาและวิเคราะห์ความเสถียรภาพแรงดันจะมีอยู่หลายวิธีการด้วยกัน ซึ่งวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเสถียรภาพแรงดันสามารถจำแนกออกได้เป็น 4 วิธีการก็คือ

1. วิธีการวิเคราะห์ด้วยกราฟ V-P
 2. วิธีการวิเคราะห์ด้วยกราฟ V-Q และกำลังไฟฟ้าสำรอง
 3. วิธีการวิเคราะห์โดยอ้างอิง Jacobian Matrix ที่จุดแรงดันพังทลาย (Voltage collapse)
 4. วิธีการวิเคราะห์การไหลกำลังไฟฟ้าแบบต่อเนื่อง (Continuous Power Flow)
- ซึ่งในการวิเคราะห์ความเสถียรภาพแรงดันในการศึกษาวิจัยนี้จะใช้วิธีการวิเคราะห์ด้วยกราฟ V-P

2.2.6 การวิเคราะห์ด้วยกราฟ V-P

วิธีนี้เป็นหนึ่งในวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายของการวิเคราะห์เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้านี้จะช่วยให้เพิ่มค่าความพร้อมที่มีอยู่ของกำลังไฟฟ้าแอกทีฟก่อนที่จะถึงจุดจุดแรงดันล่มสลาย ซึ่งสามารถอธิบายการศึกษาของวิธีนี้ด้วยระบบสองบัสดังแสดงในรูปที่ 1 และดังแสดงในสมการที่ 9

$$v = \sqrt{\frac{1}{2} - q \pm \sqrt{\frac{1}{4} - p^2 - q}} \quad (9)$$

หาค่า v^2 จะได้

$$(1 - 4q - 4p) \geq 0$$

สมมติว่าโหลดเพาเวอร์แฟคเตอร์คงที่จะได้ว่า $Q / p = k$ (คงที่), และสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 10

$$p \leq \frac{1}{2} ((1 + k^2)^{\frac{1}{2}} - k) \quad (10)$$

สำหรับค่า P ในสมการ 10 สามารถหา V_1 และ V_2 ได้จากสมการที่ 11 และ 12

$$v_1 = \left(\frac{1}{2} - pk + \left(\frac{1}{4} - pk - p^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

และ

$$v_2 = \left(\frac{1}{2} - pk - \left(\frac{1}{4} - pk - p^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (12)$$

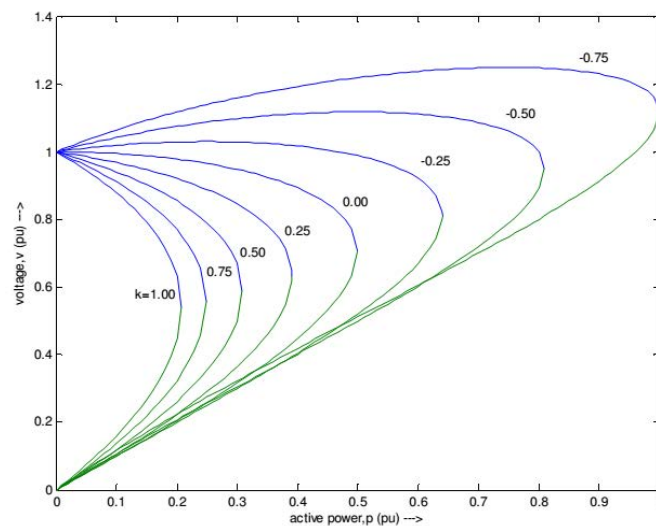
และสำหรับค่าจริงของ V1 และ V2 สามารถแสดงได้โดยการ Square root
ดังนั้น

$$\left(\frac{1}{2} - pk - \left(\frac{1}{4} - pk - p^2 \right)^{\frac{1}{2}} \right) \geq 0$$

หรือ

$$p^2 (k^2 + 1) \geq 0 \quad (13)$$

ดังนั้นจากสมการที่ 13 ค่าความแตกต่างของเพาเวอร์แฟคเตอร์, ค่าความต่างกันของ 'K',
ค่าโหลดแอคทีฟเพาเวอร์สามารถแสดงได้ในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กราฟ P-V ของระบบสองบัสแต่ละเพาเวอร์แฟคเตอร์

2.3 หนังสือและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยนั้นได้ทำการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการศึกษาเพื่อพัฒนางานวิจัยโดยประกอบไปด้วย

2.3.1 North American reliability council (NERC). 1995. Transmission transfer capability task force, Transmission Transfer Capability. Princeton, New Jersey.

2.3.2 North American reliability council (NERC). 1995. Transmission transfer capability task force, Transmission Transfer Capability Definition and Determination. Princeton, New Jersey.

2.3.3 โตศักดิ์ ทัศนานุตริยะ, การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง, 2543.

2.3.4 พิชัย อารีย์, การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2552.

2.3.5 รศ.ดร. อิศระชัย งามหรุ, พลศาสตร์และเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2554.

2.3.6 Kundur, Prabha. “Power system stability and control” EPRI Editors, Neal J. Balu and Mark G.Luuby.

2.3.7 Energy Policy and planning office ministry of energy, “Thailand Power development plan PDP2018”.

2.3.8 Chai Chompoo-inwai, C. Yingvivatanapong, P.Faungfoo and W.J. Lee, “Transmission Congestion Management during Transition Period of Electricity Deregulation in Thailand”, IEEE Transaction on Industrial Application, vol. 43, issue 6, Nov –Dec 2007, page(s): 1483 – 1490.

2.3.9 A. A. Sadiq, M. N. Nwohu, “Evaluation of Inter – Area Available Transfer Capability of Nigeria 330KV Network”, International Journal of Engineering and Technology Volume 3 No. 2, February, 2013.

2.3.10 Taisuke Masuta, Akihiko Yokohama, “ATC Enhancement considering transient stability base on optimal power flow control by UPFC, 2006 International conference on power system technology.

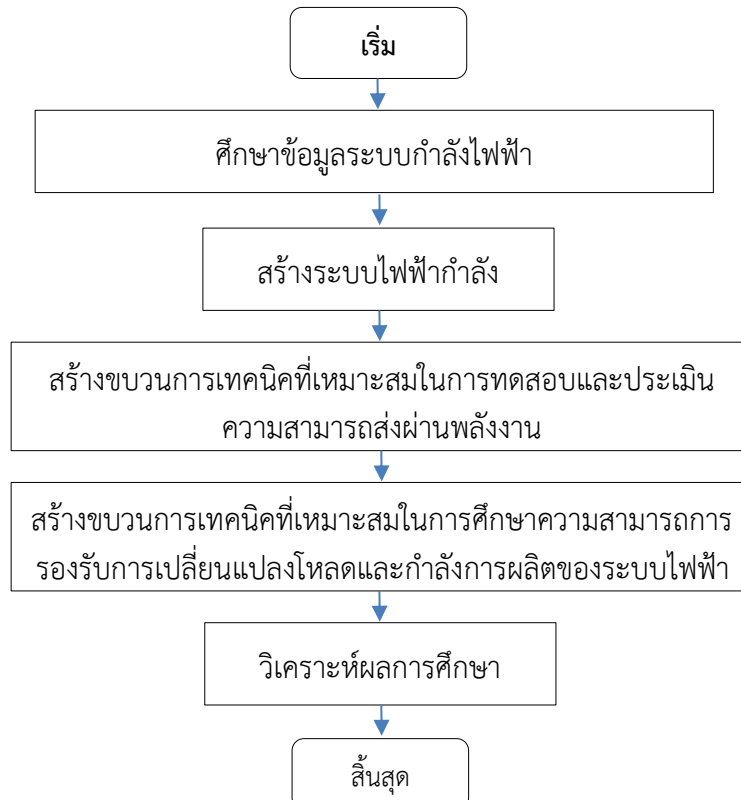
2.3.11 Power World simulator 8.0 OPF manual.

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาวิจัยการประเมินความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อการปรับปรุงความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังได้กำหนดแนวทางหรือวิธีการดำเนินการวิจัยดังนี้และได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งในแต่ละขั้นตอนในการศึกษานั้นสามารถอธิบายได้ดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลระบบกำลังไฟฟ้าเพื่อสร้างระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้ข้อมูลระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยเป็นระบบฐานโดยโปรแกรมจำลอง Powerworld
2. สร้างระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้ข้อมูลระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทย
3. สร้างขบวนการเพื่อนำเสนอเทคนิคที่เหมาะสมในการทดสอบและประเมินความสามารถส่งผ่านพลังงาน ของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ของระบบไฟฟ้ากำลัง
4. สร้างขบวนการเพื่อนำเสนอเทคนิคที่เหมาะสมในการศึกษาความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่
5. วิเคราะห์ผลการศึกษาและรวบรวมองค์ความรู้และเผยแพร่



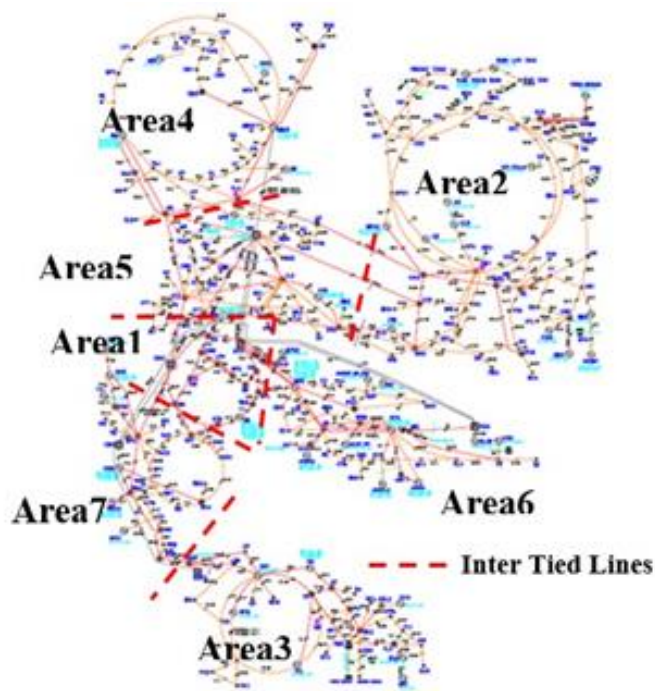
รูปที่ 3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 การศึกษาระบบไฟฟ้ากำลัง

ในการวิจัยนี้ได้ใช้ข้อมูลระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยเป็นพื้นฐานในการศึกษาเพื่อใช้เป็นระบบไฟฟ้ากำลังตัวอย่างในการศึกษาวิจัยซึ่งระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยที่ใช้ในการศึกษาได้แบ่งพื้นที่ควบคุมออกเป็น 7 พื้นที่ความคุมย่อยโดยข้อมูลระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยปี 2016-2017 ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยนั้นมีข้อมูลกำลังผลิตและปริมาณโหลดดังแสดงในตารางที่ 3.1 และระบบไฟฟ้ากำลังโดยรวมนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.2

ตารางที่ 3.1 กำลังผลิตและปริมาณโหลดระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย ปี 2016-2017

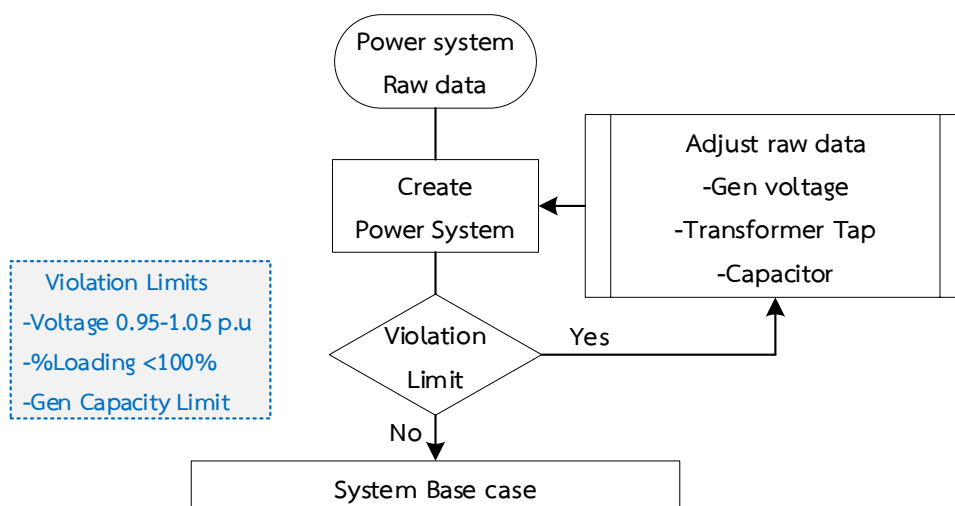
Area	Generation (MW)	Loads (MW)	Losses (MW)
1	2379.00	9821.98	84.00
2	2073.22	2924.00	178.54
3	1661.92	2001.66	56.48
4	3329.57	2727.37	113.93
5	3870.11	2862.14	70.70
6	9748.80	3677.23	46.70
7	4381.13	2836.20	44.16
Total	27443.75	26848.58	595.17



รูปที่ 3.2 ภาพโดยรวมระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย (ระบบฐาน)

3.2 การสร้างระบบไฟฟ้ากำลังฐาน

ในการศึกษาเริ่มจากการสร้างระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อใช้เป็นระบบฐาน โดยค่าควบคุมของระบบไฟฟ้ากำลัง ในการศึกษาได้กำหนดค่าควบคุมแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 0.95- 1.05 p.u. และค่าภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงาน <100 เปอร์เซ็นต์ และค่ากำลังผลิตไฟฟ้าของแต่ละเครื่องไม่เกินค่ากำลังการผลิตตามสัญญาซื้อขายของแต่ละโรงไฟฟ้า รวมถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงต้องจ่ายกำลังให้เป็นไปตามสัญญาซื้อขายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นเช่นเดียวกัน หากระบบมีการละเมิดค่าควบคุมก็จะทำการปรับค่าของอุปกรณ์ในระบบเช่น แรงดันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า และค่าคาปาซิเตอร์ จนกระทั่งระบบไม่มีการละเมิดค่าควบคุม ก็จะได้ระบบฐานในการศึกษาซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3

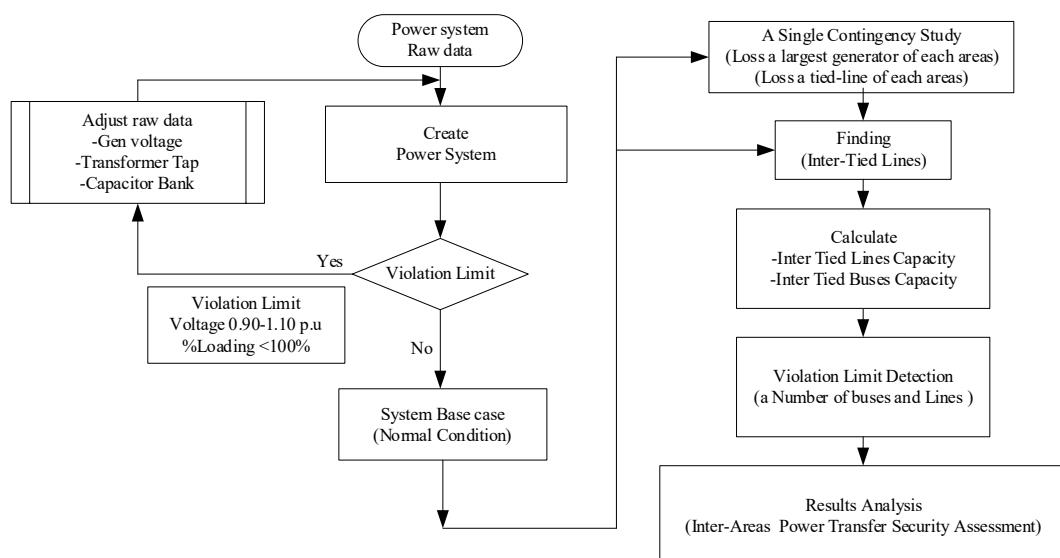


รูปที่ 3.3 การสร้างระบบไฟฟ้ากำลังฐาน

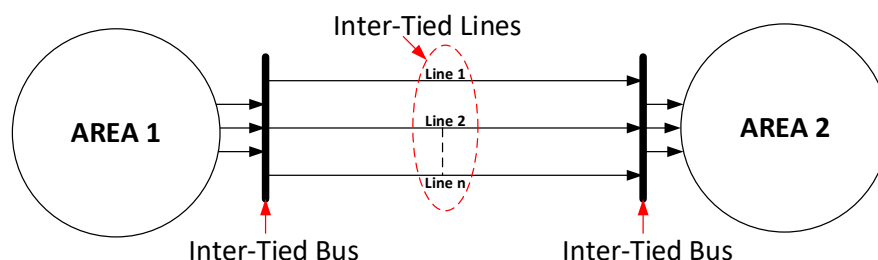
3.3 สร้างขบวนการเพื่อนำเสนอเทคนิคที่เหมาะสมในการทดสอบและประเมินความสามารถส่งผ่านพลังงานของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่

ขั้นตอนในการวิจัยการประเมินความมั่นคงการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าหรือการทดสอบและประเมินความสามารถส่งผ่านพลังงานของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อการปรับปรุงความเสถียรภาพของระบบ ซึ่งได้ใช้ข้อมูลระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยเป็นระบบฐานในการศึกษาโดยขั้นตอนนั้นสามารถแสดงเป็นแผนภาพในการศึกษาได้ดังรูปที่ 3.4 ซึ่งจากรูป ได้แสดงขั้นตอนการศึกษาการประเมินความมั่นคงการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่โดยได้เริ่มศึกษาการสร้างระบบไฟฟ้ากำลังที่ใช้ในการศึกษาเพื่อนำเสนอเทคนิคในการประเมินความมั่นคงของระบบโดยในการศึกษานี้ได้ใช้ระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยเป็นระบบฐานซึ่งในขบวนการสร้างระบบไฟฟ้ากำลังนั้นจะมีการตรวจสอบการละเมิดค่าควบคุมของระบบซึ่งติดตั้งค่าควบคุมด้านแรงดันไฟฟ้าได้กำหนดไว้ที่ 0.90-1.10 p.u. และค่าควบคุมเปอร์เซ็นต์ภาระโหลดของอุปกรณ์ถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าได้กำหนดไม่เกิน 100 เปอร์เซ็นต์หากพบว่าระบบยังมีบัสหรืออุปกรณ์ในระบบละเมิดก็จะทำการปรับค่าอุปกรณ์ควบคุมซึ่งประกอบด้วยแรงดันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า

และค่าคาปาซิเตอร์ในระบบจนกระทั่งค่าแรงดันไฟฟ้าและเปอร์เซ็นต์ภาระโหลดของอุปกรณ์ถ่ายโอนกำลังไฟฟ้านั้นไม่ละเมิดค่าควบคุม ซึ่งจะได้ระบบฐานในการศึกษาซึ่งถือได้ว่าเป็นระบบในสภาวะปกติ โดยในการประเมินและเปรียบผลกับระบบภายใต้ระบบสูญเสียอุปกรณ์จำนวน 1 อุปกรณ์ ซึ่งประกอบไปด้วย 2 กรณี กรณีแรกคือการสูญเสียเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่ที่สุดในแต่ละพื้นที่ และกรณีที่สองคือการสูญเสียสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่จากนั้นจะทำการศึกษาและค้นหา巴士และสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่เพื่อทำการคำนวณขีดความสามารถการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าของแต่ละ巴士เชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ และขีดความสามารถสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ภายใต้การพิจารณาขีดจำกัดความร้อนของสายส่ง และศึกษาปริมาณหรือจำนวน巴士และสายส่งที่ละเมิดค่าควบคุมเพื่อจัดลำดับความรุนแรงของสายส่งที่ส่งผลกระทบต่อระบบ และในขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการวิเคราะห์ผลการวิจัยและสรุปผลซึ่งขั้นตอน ในการคำนวณความสามารถของสายส่งและความสามารถของ巴士เชื่อมต่อระหว่างพื้นที่นั้นสามารถอธิบายได้ดังแสดงในรูปที่ 3.5 ซึ่งได้แสดงการเชื่อมต่อของสายส่งเชื่อมต่อระหว่าง 2 พื้นที่



รูปที่ 3.4 แผนภาพขั้นตอนการศึกษาการประเมินความมั่นคงการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่



รูปที่ 3.5 การเชื่อมต่อของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่สองพื้นที่และการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่

จากรูปที่ 3.5 แสดงการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าจากพื้นที่ 1 ไปยังพื้นที่ 2 โดยการเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ด้วยสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ ซึ่งขีดความสามารถในการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ในการศึกษานี้จะพิจารณาค่าจำกัดความร้อนของสายส่งโดย ค่าขีดจำกัดจะแสดงในหน่วย MVA ดังแสดงไว้ในสมการที่ (1)

$$Limit_{MVA} = \frac{Limit_{AMP} \sqrt{3VN}}{10^6} \quad (1)$$

โดยกำหนดให้

$Limit_{AMP}$ คือ Ampere Limit (A),

$Limit_{MVA}$ คือ MVA Limit (MVA),

VN คือ Nominal Voltage (V)

3.3.1 การคำนวณความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่

จากรูปที่ 3.5 การคำนวณความสามารถโดยรวมของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ซึ่งในบทความนี้ได้พิจารณาค่าขีดจำกัดความร้อนของสายส่งในหน่วยของกำลังไฟฟ้าปรากฏ (MVA) แต่การไหลกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังส่วนใหญ่จะแสดงในหน่วยของกำลังไฟฟ้าจริง (MW) และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (MVAR) ซึ่งจะต้องคำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าในหน่วยของกำลังไฟฟ้าปรากฏ (MVA) และจากข้อกำหนดจากองค์กรความร่วมมือเพื่อความน่าเชื่อถือได้ในระบบไฟฟ้าแห่งอเมริกาเหนือ (North American Electric Reliability Council; NERC) ได้กำหนดค่าความสามารถการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของสายส่งโดยรวมในระบบได้ดังสมการที่ (2)

$$TTC = ATC + TRM + (ETC + CBM) \quad (2)$$

โดยกำหนดให้

TTC คือ Total Transfer Capability,

ATC คือ Available Transfer Capability,

TRM คือ Transfer Reliability Margin,

ETC คือ Existing Transfer Capability,

CBM คือ Capability Benefit Margin

ในการศึกษานี้ไม่ได้พิจารณาในเทอมของส่วนเผื่อ TRM และ CRM ดังนั้นจากข้อกำหนดของ NERC ATC terminology ได้กำหนดค่าข้อตกลงในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ (committed Uses) ดังนั้นค่าข้อตกลงในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ (committed Uses) จะมีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าที่ไหลจริงซึ่ง สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (3)

$$Committed_Uses = TRM + (ETC + CBM) = real_Powerflow \quad (3)$$

ดังนั้นความสามารถของสายส่งพร้อมมูลแสดงได้ดังสมการที่ (4)

$$ATC_{Line} = TTC_{Line} - real_Powerflow_{Line} \quad (4)$$

3.3.2 การคำนวณความสามารถของบัสเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่

จากรูปที่ 3.5 การคำนวณความสามารถโดยรวมของบัสเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ซึ่งเป็นบัสรวมสายส่ง (Multi-lines Bus) ดังนั้นจากสมการในการคำนวณความสามารถพร้อมมูลของสายส่ง สมการที่ 4 ดังนั้นความสามารถโดยรวมของบัสเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่สามารถคำนวณได้จากผลของความสามารถโดยรวมของสายส่งทุกเส้นที่เชื่อมกับบัสเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ดังแสดงในสมการที่ (5) และ (6) ดังนั้นกำลังไฟฟ้าข้ามพื้นที่คือขีดความสามารถของแต่ละบัสในแต่ละพื้นที่รวมกันดังแสดงได้ดังสมการที่ (7)

$$ATC_{Bus} = \sum_{Line_1}^{Line_n} TTC_{Line} - real_Powerflow_{Line} \quad (5)$$

$$ATC_{Bus} = \sum_{Line_1}^{Line_n} \left[\left(\frac{Limit_{AMP} \sqrt{3VN}}{10^6} \right)_{Line} - \left(\sqrt{(MW)^2 + (MVAR)^2} \right)_{Line} \right] \quad (6)$$

$$ATC_{Area} = ATC_{Bus1} + ATC_{Bus2} + \dots + ATC_{BusN} \quad (7)$$

โดยกำหนดให้

TTC_{Line} คือ total transfer capability of transmission line,

$real_Powerflow_{Line}$ คือ real power flow on transmission line,

ATC_{Area} คือ available transfer capability of area,

ATC_{Bus} คือ available transfer capability of bus,

ATC_{Line} คือ available transfer capability of transmission line

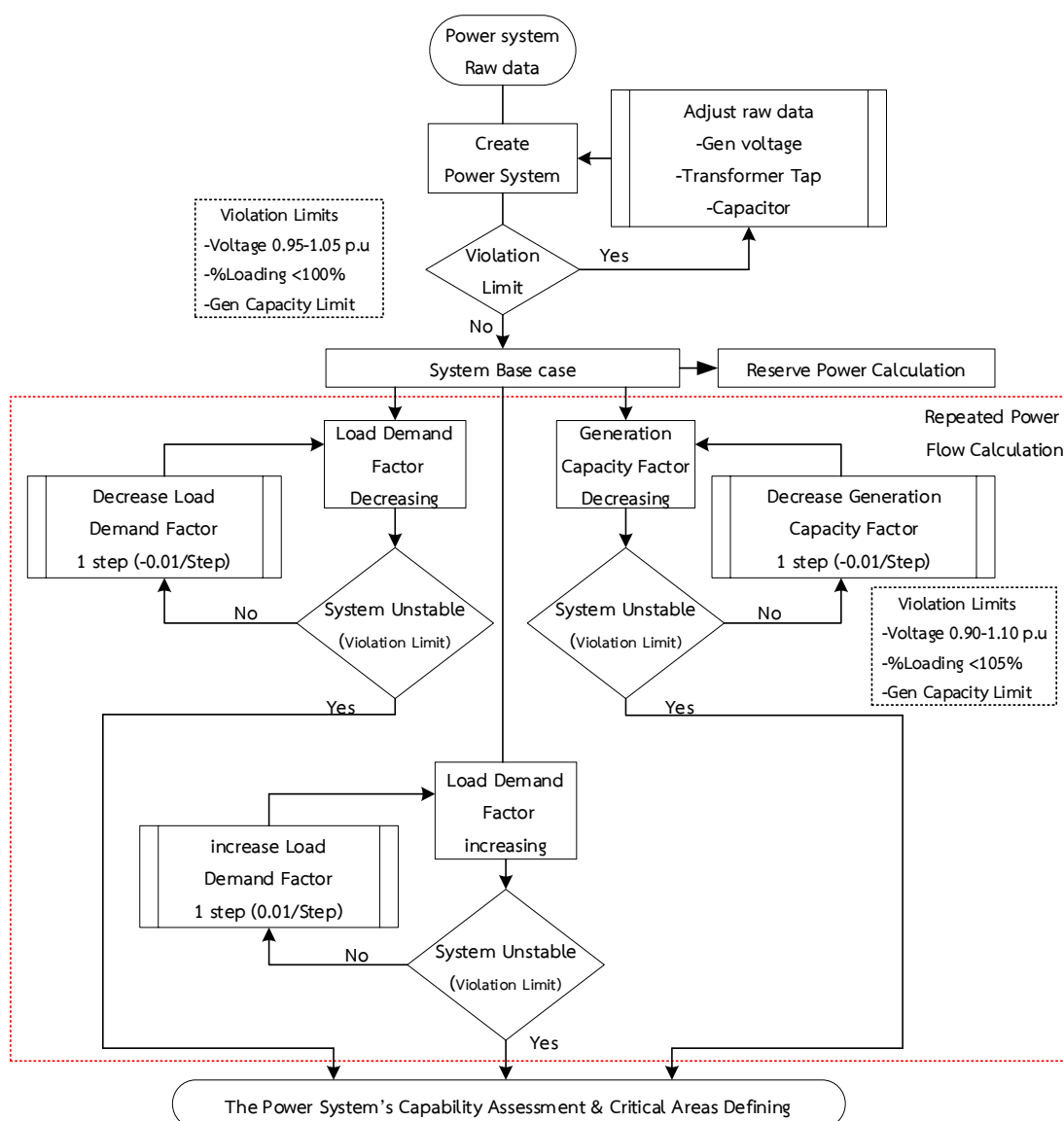
3.4 สร้างขบวนการเพื่อนำเสนอเทคนิคที่เหมาะสมในการศึกษาความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่

ในการสร้างขบวนการเพื่อนำเสนอเทคนิคที่เหมาะสมในการศึกษาความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ นั้นได้ใช้เทคนิคขบวนการการ

คำนวณการไหลกำลังไฟฟ้าแบบทำซ้ำ (Repeated power flow calculation technique) ซึ่งได้กำหนดรูปแบบในขั้นตอนการนี้ด้วยกัน 3 รูปแบบคือ

1. การลดปริมาณโหลดในพื้นที่
2. การเพิ่มปริมาณโหลดในพื้นที่
3. การลดกำลังผลิตในพื้นที่

ซึ่งในการประเมินในแต่ละขั้นตอนนั้นจะทำการเพิ่มหรือลดกำลังผลิตหรือปริมาณโหลดนั้นจะทำการเพิ่มลดทีละ 1 เปอร์เซ็นต์ ของกำลังผลิตและปริมาณโหลดในแต่ละพื้นที่ โดยขั้นตอนการศึกษานั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 ขบวนการเพื่อนำเสนอเทคนิคที่เหมาะสมในการศึกษาความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่

จากรูปที่ 3.6 แสดงขั้นตอนการประเมินความสามารถการเปลี่ยนแปลงโหลดระบบไฟฟ้ากำลัง และกำลังการผลิตไฟฟ้าข้ามพื้นที่ควบคุมโดยในการศึกษาเริ่มจากการสร้างระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อใช้เป็นระบบฐาน โดยค่าควบคุมของระบบไฟฟ้ากำลัง ในการศึกษานี้ได้กำหนดค่าควบคุมแรงดันไฟฟ้า อยู่ที่ 0.95- 1.05 p.u. และค่าภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงาน <100 เปอร์เซนต์ และค่ากำลังผลิตไฟฟ้าของแต่ละเครื่องไม่เกินค่ากำลังการผลิตตามสัญญาการซื้อขายของแต่ละโรงไฟฟ้า รวมถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงต้องจ่ายกำลังให้เป็นไปตามสัญญาซื้อขายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น เช่นเดียวกัน หากระบบมีการละเมิดค่าควบคุมก็จะทำการปรับค่าของอุปกรณ์ในระบบเช่น แรงดันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แท็ปของหม้อแปลงไฟฟ้า และค่าคาปาซิเตอร์ จนกระทั่งระบบไม่มีการละเมิดค่าควบคุม ก็จะได้ระบบฐานในการศึกษา ซึ่งการกำหนดบัสอ้างอิงต้องไม่อยู่ในพื้นที่ที่ต้องการประเมิน และเป็นเครื่องที่ กำลังผลิตสูงสุด ซึ่งในการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยเป็นระบบฐานในการศึกษาโดยข้อมูลดังกล่าวจะนำไปคำนวณเพื่อศึกษาขีดความสามารถสูงสุดในการจ่ายกำลังไฟฟ้าและกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองในระบบ สำหรับการประเมินขีดความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงของโหลดและกำลังการผลิตในระบบสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่สามารถใช้เทคนิคการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบทำซ้ำโดยได้กำหนดไว้ 3 กรณี กรณีแรกคือการลดลงของโหลดในพื้นที่, กรณีที่สองคือการเพิ่มขึ้นของโหลดในพื้นที่ และกรณีที่สามคือการลดลงของกำลังการผลิตในพื้นที่ ซึ่งในการทดสอบจะปรับเปอร์เซนต์หรือแฟคเตอร์ (Factor) ในการเพิ่มหรือลดปริมาณโหลดหรือกำลังการผลิตในแต่ละระบบย่อยที่ต้องการศึกษาครั้งละ 1 เปอร์เซนต์ (0.01 Factor) ด้วยอัตราคงที่ โดยจะทำการรันระบบไฟฟ้ากำลังทั้งระบบต่อการปรับลดหรือเพิ่มค่าเปอร์เซนต์ 1 ครั้ง ดังที่ได้กล่าวไว้เบื้องต้น สำหรับการปรับการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณโหลดหรือกำลังการผลิตในระบบจะทำการปรับจนกระทั่งระบบเกิดการละเมิดค่าควบคุมที่ตั้งไว้ โดยที่ไม่มีการปรับแต่งค่าใดๆในระบบ ซึ่งในขั้นตอนนี้ในการศึกษาได้กำหนดค่าความเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าระบบอยู่ที่ 0.90- 1.10 p.u. ค่ากำหนดภาระของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานอยู่ที่ 105 เปอร์เซนต์ จากนั้นจึงนำผลการศึกษาทำการวิเคราะห์ความสามารถของระบบไฟฟ้ากำลัง

ภายใต้ผลการวิเคราะห์ความสามารถของระบบไฟฟ้ากำลังหากมีการเตรียมพร้อมหรือมีการจัดการ การวางแผนเพื่อปรับปรุงความเสถียรภาพของระบบก็จะเป็นดีซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากำหนดและจัดลำดับสายส่งรองเพื่อรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าและการส่งการที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งการกำหนดและจัดลำดับสายส่งรองเพื่อรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าและการส่งการที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังด้วยการวิเคราะห์ความไวกำลังไฟฟ้าไหล การวิเคราะห์ความไวกำลังไฟฟ้าในบทความนี้จะพิจารณาค่าแฟคเตอร์การกระจายกำลังไฟฟ้าหลังสายส่งถูกปลดออกเพื่อจัดลำดับสายส่งรอง สำหรับการส่งการที่เหมาะสมของระบบจะพิจารณาจากความสามารถส่งผ่านพลังงานพร้อมมูลของสายส่งรองโดยพิจารณาค่าจำกัดด้านความร้อนของสายส่ง ในการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นศึกษาการกำหนดและจัดลำดับสายส่งรองสำหรับสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และได้ใช้ระบบไฟฟ้ากำลังปรับปรุงประเทศไทยเป็นระบบฐาน ซึ่งระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยได้แบ่งออกเป็น 7 พื้นที่ควบคุมย่อย โดยมีสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ 27 สายส่ง ผลการศึกษาพบว่าหากสายส่งเหล่านี้หากถูกปลดออกจะส่งผลให้เกิดปัญหาความหนาแน่นพลังงานขึ้นในระบบจากการที่กลุ่มสายส่งรองได้รับภาระโหลดเพิ่มขึ้น และผลการศึกษาสามารถกำหนดและ

ชี้ให้เห็นถึงเส้นทางการกระจายกำลังไฟฟ้าผ่านสายส่งรองเส้นต่างๆ ซึ่งข้อมูลการกระจายกำลังไฟฟ้าเหล่านี้สามารถนำมาจัดลำดับสายส่งรองเพื่อใช้ในการวางแผนสำหรับการสั่งการที่เหมาะสมในการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง

การส่งผ่านพลังงานในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาตามสภาวะความต้องการและปริมาณการเปลี่ยนแปลงของโหลด ซึ่งการส่งผ่านพลังงานจะถูกส่งผ่านสายส่งเป็นหลักซึ่งหากสายส่งที่มีความสำคัญในการส่งผ่านพลังงานถูกปลดออกและสายส่งรองจะทำหน้าที่รองรับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ถูกปลดออก หากสายส่งรองเหล่านี้ได้รับการโหลดเกินซึ่งจะส่งผลให้เกิดปัญหาความหนาแน่นการส่งผ่านพลังงานขึ้นในระบบ โดย (C. Chompoo-inwai et al., 2007; 1483-1490) ได้ทำการนำเสนอรูปแบบการบริหารจัดการความแออัดในช่วงการเปลี่ยนถ่ายกำลังไฟฟ้าของประเทศไทยซึ่งเป็นวิธีการป้องกันผลกระทบไม่ให้เกิดความแออัดของกำลังไฟฟ้าขึ้นในระบบ และปัญหาความหนาแน่นการส่งผ่านพลังงานอาจเป็นสาเหตุทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังขาดความเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าและเกิดความล้มเหลวได้ โดย (F.A. Althowibi et al., 2013; 3138-3152) ได้กล่าวถึงความเสถียรภาพแรงดันและได้นำเสนอ การจัดสรรและการคาดการณ์การยุบตัวของแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจะเป็นสาเหตุให้ระบบไฟฟ้ากำลังขาดความเสถียรภาพ การประเมินความสามารถพร้อมมูล (ATC) ของสายส่งหลักเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอกับการนำไปวางแผนการป้องกันซึ่งในการควบคุมการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของสายส่งรองในระบบไฟฟ้ากำลังต้องเผื่อค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของสายส่งหลักภายใต้ระบบสูญเสียสายส่งจำนวนหนึ่งสายส่ง (Contingency n-1) ซึ่ง (T. Mandloi et al., 2014) ได้กล่าวถึงการศึกษาความมั่นคงของระบบไฟฟ้าและการวิเคราะห์ภาวะเหตุการณ์ฉุกเฉิน และ (A. A. Abdulrazzaq et al., 2015) ได้กล่าวถึงการจัดอันดับเหตุการณ์ฉุกเฉินของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้ดัชนีประสิทธิภาพ และ (C. Wannoni et al., 2015) ได้นำเสนอการกำหนดสถานที่ที่เหมาะสมในการจัดวางอุปกรณ์ FACTS และการกำหนดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าการตอบสนองหลักเพื่อเพิ่มความมั่นคงให้กับมัลติไลน์ภายใต้การวิเคราะห์เหตุการณ์ฉุกเฉิน

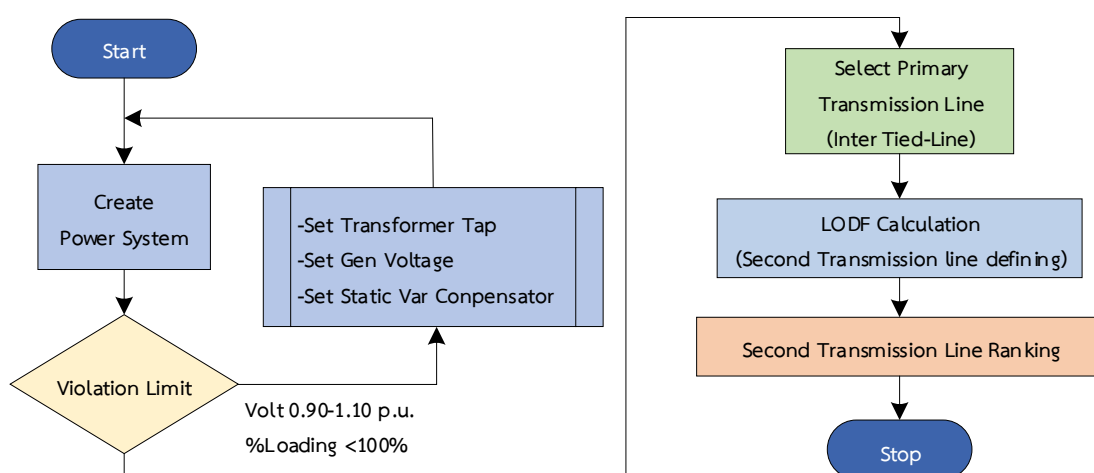
ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้นำเสนอวิธีการกำหนดและจัดลำดับความสำคัญสายส่งรองเพื่อรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ากรณีสายส่งหลักถูกปลดออกเพื่อเพิ่มความมั่นคงให้กับระบบไฟฟ้ากำลังภายใต้การศึกษาการวิเคราะห์ความไวกำลังไฟฟ้าไหล โดย (C. Wannoni et al., 2019; 179-189) ได้กล่าวถึงวิธีการประเมินความสามารถพร้อมมูลของสายส่งแบบใหม่โดยพิจารณาขีดจำกัด การส่งจ่ายกำลังการผลิตพลังงานทดแทนโดยการวิเคราะห์ความไวของกำลังไฟฟ้าไหล สำหรับในการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นศึกษาแพ็คเกจการกระจายกำลังไฟฟ้าหลังสายส่งถูกปลดออก (LODF) การศึกษาได้ใช้โปรแกรม POWERWORLD ในการจำลองและวิเคราะห์ผล และได้ปรับปรุงข้อมูลระบบไฟฟ้ากำลังปรับปรุงประเทศไทย ปี 2019 (Energy policy and planning office ministry of energy- Thailand power development plan-2018) ในการศึกษาซึ่งเป็นช่วงที่มีปริมาณความต้องการสูงสุด โดยมีปริมาณกำลังการผลิตอยู่ที่ 30,281 MW ปริมาณโหลดอยู่ที่ 29,657 MW และการสูญเสียในระบบอยู่ที่ 624 MW ระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยในการศึกษานี้ได้แบ่งระบบไฟฟ้ากำลังออกเป็น 7 ระบบย่อยด้วยกัน ซึ่งในแต่ละระบบนั้นเมื่อทำการศึกษาพบว่าจะมีปริมาณโหลดและกำลังผลิตไม่เท่ากันต้องอาศัยการส่งผ่านพลังงานจากระบบอื่นเพื่อให้กำลังไฟฟ้าสมดุล โดยการส่งผ่านพลังงานจากระบบอื่นจะถูกส่งผ่านสายส่งที่ระดับแรงดันต่าง ๆ ซึ่งประกอบด้วย 27 สายส่งที่ระดับ

แรงดัน 115 kV, 230 kV และ 500 kV โดยสายส่งเหล่านี้คือสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ (Inter Tied-Lines) ซึ่งถือได้ว่าเป็นกลุ่มสายส่งที่มีความสำคัญในการส่งผ่านพลังงานในระบบไฟฟ้ากำลัง โดย (A. Sadiq et al., 2013) ได้กล่าวถึงสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่โดยได้นำเสนอการประเมินความสามารถพร้อมมูลของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ของระบบไฟฟ้ากำลังในจีเรียที่ระดับแรงดัน 330kV และสำหรับปริมาณกำลังการผลิตและปริมาณโหลดของระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยในแต่ละพื้นที่ที่สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 กำลังผลิตและปริมาณโหลดปรับปรุงประเทศไทย ปี 2019

พื้นที่ หรือ ระบุย่อย	กำลังการผลิต (MW)	ปริมาณโหลด (MW)	กำลังไฟฟ้าสูญเสีย (MW)
พื้นที่ 1 (Area1)	2,379.00	10,849.57	96.98
พื้นที่ 2 (Area2)	2,858.22	3,229.91	134.08
พื้นที่ 3 (Area3)	2,088.00	2,668.37	70.15
พื้นที่ 4 (Area4)	3,517.59	3,010.51	133.81
พื้นที่ 5 (Area5)	3,972.10	3,161.58	84.74
พื้นที่ 6 (Area6)	10,133.05	4,061.95	54.76
พื้นที่ 7 (Area7)	5,333.7	4,061.95	54.76
รวม	30,281.66	29,657.53	624.13

ในการศึกษาแนวทางการกำหนดและจัดลำดับความสำคัญของสายส่งรองเพื่อรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ากรณีสายส่งหลักถูกปลดออกซึ่งขบวนการศึกษาวิจัยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนและขบวนการวิจัย

การศึกษาของบทความนี้ได้เริ่มจากการสร้างระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม POWERWORLD ในการวิเคราะห์ และได้ใช้ระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยเป็นระบบฐานในการศึกษา โดยการสร้างระบบไฟฟ้ากำลังนั้นได้กำหนดค่าควบคุมด้านแรงดันไว้ที่ 0.90-1.10 p.u. และภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานจะควบคุมไม่เกิน 100% จากนั้นทำการรันระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้เทคนิคนิวตันราฟสันและทำการตรวจสอบการละเมิดค่าอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง หากมีการละเมิดก็จะทำการปรับค่าแท๊ปของหม้อแปลง ค่าแรงดันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และค่ากำลังรีแอคทีฟช่วย โดยการปรับค่าที่เหมาะสมจะต้องพิจารณากราฟความสามารถ (Capacity Curve) และค่าลิมิตของแต่ละอุปกรณ์ โดยจะทำการปรับค่าทีละ 1 Step และทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงในระบบจนกระทั่งระบบไฟฟ้ากำลังไม่มีการละเมิดข้อจำกัดการควบคุมก็จะได้ระบบไฟฟ้ากำลังฐานในการศึกษา จากนั้นจะทำการเลือกสายส่งหลักที่ต้องการศึกษาซึ่งในการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นการกำหนดและจัดลำดับสายส่งรองสำหรับสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ซึ่งจะมีทั้งหมด 27 สายส่ง และจากนั้นทำการคำนวณค่าแพคเตอร์การกระจายกำลังไฟฟ้าหลังสายส่งหลักถูกปลดออก (LODF) ของแต่ละสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่โดยใช้โปรแกรม POWERWORLD เพื่อศึกษาเส้นทางการกระจายกำลังไฟฟ้าในสายส่งหลักหลังจากถูกปลดออก และในขั้นตอนสุดท้ายจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจัดลำดับความสำคัญของสายส่งรองโดยจัดเรียงตามค่าแพคเตอร์การกระจายกำลังไฟฟ้าหลังสายส่งถูกปลดออก (LODF) โดยสายส่งที่มีค่าแพคเตอร์สูงก็จะมีมีความสำคัญในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงหรือเป็นสายส่งรองที่มีความสำคัญในการรองรับกำลังไฟฟ้าหากสายส่งหลักถูกปลดออก

3.5 การวิเคราะห์ผลการศึกษา

เป็นขั้นตอนการวิเคราะห์ผลการศึกษาและรวบรวมข้อมูลเพื่อจัดรวบรวมองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาและขบวนการศึกษาหรือความรู้ใหม่ที่พบในขบวนการศึกษาวิจัยเพื่อจัดทำการเผยแพร่องค์ความรู้ในรูปแบบตีพิมพ์บทความหรือวารสารวิจัย

บทที่ 4

ผลการศึกษาวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิจัยการประเมินความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อการปรับปรุงความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง โดยสามารถแบ่งหัวข้อผลการศึกษาในงานวิจัยออกเป็นดังนี้

1. ผลการศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการทดสอบและประเมินความสามารถส่งผ่านพลังงานของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ของระบบไฟฟ้ากำลัง
2. ผลการศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการศึกษาความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่
3. ผลการศึกษาแนวทางการกำหนดและจัดลำดับความสำคัญของสายส่งรองเพื่อรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ากรณีสายส่งหลักถูกปลดออก

4.1 ผลการศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการทดสอบและประเมินความสามารถส่งผ่านพลังงานของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ของระบบไฟฟ้ากำลัง

หากพิจารณาการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลังพบว่าปัญหาในเรื่องความหนาแน่นของการไหลกำลังไฟฟ้าในระบบนั้นเป็นหนึ่งในปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อความเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งหากปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าในระบบก็อาจส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้ากำลังได้ โดยเฉพาะอุปกรณ์การถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ ดังนั้นเมื่อทำการพิจารณาระบบกำลังไฟฟ้าขนาดใหญ่จะแบ่งพื้นที่ในการควบคุมกำลังไฟฟ้าออกเป็นพื้นที่ควบคุมย่อย ๆ เพื่อให้ง่ายต่อการวางแผน ซึ่งพื้นที่ควบคุมย่อยต่างๆ นั้นจะเชื่อมต่อและถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าต่อกัน เนื่องจากบางพื้นที่ควบคุมย่อยนั้นสามารถสร้างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้เป็นอย่างมาก เนื่องจากอยู่ใกล้แหล่งเชื้อเพลิงแต่บางพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมจึงทำให้มีกำลังผลิตที่แตกต่างกัน โดยอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อระหว่างพื้นที่จะใช้สายส่งที่เชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ควบคุมย่อยต่าง ๆ เหล่านี้เรียกว่าสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ (Inter-Tied Lines) ซึ่งถือได้ว่าเป็นสายส่งที่มีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการส่งผ่านพลังงานระหว่างพื้นที่หากสายส่งเหล่านี้ได้รับความเสียหายหรือถูกปลดออกอาจทำให้การส่งผ่านพลังงานไปยังระบบย่อยอื่น ๆ นั้นไม่เพียงพอซึ่งจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง ระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยก็เช่นเดียวกัน

ดังนั้นในบทความนี้ได้นำเสนอเทคนิคในการประเมินความมั่นคงการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่สำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อปรับปรุงความเสถียรภาพของระบบ โดยได้ใช้ระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยเป็นระบบฐานในการศึกษาโดยมีกำลังผลิตอยู่ที่ 27,443.75 MW ซึ่งเมื่อทำการพิจารณาระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยจะพบว่าระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยนั้นได้แบ่งพื้นที่ควบคุมย่อยออกเป็น 7 พื้นที่ควบคุม ซึ่งแต่ละพื้นที่ควบคุมย่อยนั้นจะมีกำลังการผลิตและปริมาณโหลดที่ไม่เท่ากันจึงจำเป็นต้อง

เชื่อมต่อพลังงานเพื่อถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเพื่อรักษาความสมดุลระหว่างกำลังการผลิตและปริมาณโหลดโดยผ่านสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ โดยในการประเมินความมั่นคงการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่นั้น จะประเมินจากความสามารถส่งผ่านพลังงานของสายส่งโดยจะทำการวิเคราะห์ค่าความสามารถส่งผ่านพลังงานโดยรวมภายใต้การพิจารณาค่าขีดจำกัดด้านความร้อนของสายส่ง ซึ่งจะเปรียบเทียบค่าความสามารถโดยรวมของบัสและสายส่งที่เชื่อมต่อระหว่างพื้นที่แต่ละพื้นที่ภายใต้ระบบในสภาวะปกติ และภายใต้การวิเคราะห์ระบบสูญเสียจำนวน 1 อุปกรณ์ (Contingency n-1) ซึ่งการวิเคราะห์ระบบสูญเสียจำนวน 1 อุปกรณ์ซึ่งประกอบด้วยการสูญเสียเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่สุดในแต่ละพื้นที่ และการสูญเสียสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่

โดยผลการศึกษาได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบความสามารถการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าของแต่ละพื้นที่โดยคำนวณความสามารถพร้อมมูลของแต่ละบัสและแต่ละสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ พร้อมได้ลำดับความรุนแรงของสายส่งที่ส่งผลกระทบต่อระบบทั้งระบบในสภาวะปกติ และระบบภายใต้การสูญเสียอุปกรณ์จำนวน 1 อุปกรณ์ซึ่งได้กำหนดไว้สองกรณีคือกรณีแรกระบบสูญเสียเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตสูงสุดในแต่ละพื้นที่ ซึ่งชื่อและกำลังผลิตของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแต่ละเครื่องของแต่ละพื้นที่นั้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าพื้นที่ที่ 6 มีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีขนาดใหญ่สุดเมื่อเทียบกับพื้นที่อื่น และกรณีที่สองคือระบบสูญเสียสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ โดยผลการศึกษาวิจัยสามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาดใหญ่สุดในแต่ละพื้นที่

Area	No.	Name	Gen MW	Gen Mvar	Max MW	Max Mvar
1	1013	SB-T3	310	155	310	155
2	2011	LTK-H1	250	125	250	125
3	3011	KN-C11	112	11	112	56
4	4048	MM3-T8	295	140	300	150
5	5043	GULF-C10	265	19	265	133
6	6003	BPK-T3	600	151	600	300
7	7061	TECO-C10	240	39	240	137

4.1.1 ผลการประเมินความสามารถพร้อมมูลการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ในระบบสภาวะปกติ

ผลการประเมินความสามารถพร้อมมูลสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งพบว่าระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยฐานมีสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ทั้งหมด 27 สายส่งที่ระดับแรงดัน 115 kV, 230 kV และ 500kV โดยพบว่า ความสามารถพร้อมมูลการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ 2 และ 5 มีความสามารถ

พร้อมมูลต่ำสุดโดยความสามารถพร้อมมูลอยู่ที่ 746.7 MVA และความสามารถพร้อมมูลการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ 4 และ 5 มีความสามารถพร้อมมูลสูงสุดอยู่ที่ 9573.2 MVA

ตารางที่ 4.2 ความสามารถในการถ่ายโอนระหว่างพื้นที่ในระบบสภาวะปกติ

Inter-Tied Line Records								Inter-Tied Lines' ATC Assessment (MVA)		
N o.	Area	From Number	From Name	To Number	To Name	Circuit	Area	TTC	Real Power Flow	ATC
1	Area 1	1808	SNO	5802	AT2	1	Area 5	7659	578.7	7080.3
2		1809	RS	5808	WN-SPL	1				
3		1908	SNO	5906	WN	2				
4		1809	RS	6808	KLM	1	Area 6	4673.7	3061.5	1612.2
5		1810	NCO	6891	BPK-B	1				
6		1804	BPL	6891	BPK-B	2				
7		1804	BPL	6801	BPK-A	1	Area 7	6053.9	758.1	5295.8
8		1806	STB	7816	SA1	1				
9		1807	BN	7816	SA1	1				
10		1908	SNO	7902	CBG	1				
11	Area 2	2802	CYP	4804	TTK	1	Area 4	1430.7	361.4	1069.3
12		2803	KK3	4807	LS	2				
13		2701	PCH	5708	SR2	1	Area 5	1069.5	322.8	746.7
14		2702	SKI	5708	SR2	1				
15		2807	LTK	5803	SR2	1				
16	Area 3	3807	LSN	7829	BSP1	2	Area 7	2861.2	393.2	2468
17		3809	CP	7829	BSP1	2				
18	Area 4	4441	TTK	5906	WN	2	Area 5	10173.1	599.9	9573.2
19		4751	TK2	5720	SI	1				
20		4803	NS	5802	AT2	2				
21		4804	TTK	5807	TW	1				
22		4804	TTK	5805	TL3	1				
23		4804	TTK	5801	AT1	2				
24		4441	TTK	6661	NCO	1	Area 6	3114.2	103.7	3010.5
25	Area 5	5906	WN	6911	PDG	1	Area 6	9342.6	1125.6	8217
26		5906	WN	6661	NCO	2				
27		5906	WN	7902	CBG	1	Area 7	4146.5	242.5	3904

4.1.2 ผลการประเมินความสามารถพร้อมมูลของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ในระบบสภาวะปกติ

ผลการประเมินความสามารถพร้อมมูลของแต่ละสายส่งที่เชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ในระบบสภาวะปกติ ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ในระบบสภาวะปกติ

Inter-Tied Line Records								Inter-Tied Lines' ATC Assessment (MVA)		
No .	Area	From Number	From Name	To Number	To Name	Circuit	Area	TTC	Real power flow	ATC
1	1	1808	SNO	5802	AT2	1	5	476.9	48.5	428.4
2		1809	RS	5808	WN-SPL	1		953.7	315	638.7
3		1908	SNO	5906	WN	2		6228.4	215.2	6013.2
4		1809	RS	6808	KLM	1	6	953.7	462.7	491
5		1810	NCO	6891	BPK-B	1		858.9	421.2	437.7
6		1804	BPL	6891	BPK-B	2		1907.4	1352.8	554.6
7		1804	BPL	6801	BPK-A	1		953.7	824.8	128.9
8		1806	STB	7816	SA1	1	7	953.7	172.6	781.1
9		1807	BN	7816	SA1	1		953.7	200.5	753.2
10		1908	SNO	7902	CBG	1		4146.5	385	3761.5
11	2	2802	CYP	4804	TTK	1	4	476.9	179	297.9
12		2803	KK3	4807	LS	2		953.8	182.4	771.4
13		2701	PCH	5708	SR2	1	5	117.5	98.1	19.4
14		2702	SKI	5708	SR2	1		117.5	77.3	40.2
15		2807	LTK	5803	SR2	1		834.5	147.4	687.1
16	3	3807	LSN	7829	BSP1	2	7	953.8	168.8	785
17		3809	CP	7829	BSP1	2		1907.4	224.4	1683
18	4	4441	TTK	5906	WN	2	5	6228.4	232.4	5996
19		4751	TK2	5720	SI	1		129.7	6.6	123.1
20		4803	NS	5802	AT2	2		953.8	101.8	852
21		4804	TTK	5807	TW	1		953.7	131.3	822.4
22		4804	TTK	5805	TL3	1		953.7	94.8	858.9
23		4804	TTK	5801	AT1	2		953.8	33	920.8
24		4441	TTK	6661	NCO	1	6	3114.2	103.7	3010.5
25	5	5906	WN	6911	PDG	1	6	3114.2	744.4	2369.8
26		5906	WN	6661	NCO	2		6228.4	381.2	5847.2
27		5906	WN	7902	CBG	1	7	4146.5	242.5	3904

โดยผลการศึกษาพบว่าสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ หมายเลข 2701-5708 (PCH-SR2) ซึ่งเป็นสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ 2 และพื้นที่ 5 นั้นมีความสามารถพร้อมมูลในการรองรับการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ต่ำที่สุดโดยความสามารถพร้อมมูลคงเหลือของสายส่งเส้นนี้อยู่ที่ 19.4 MVA และจากผลการศึกษาพบว่าสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่หมายเลข 1908-5906 (SNO-WN) ซึ่งเป็นสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ 1 และพื้นที่ 5 นั้นมีความสามารถพร้อมมูลคงเหลือในการรองรับการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่สูงที่สุด โดยความสามารถพร้อมมูลคงเหลือของสายส่งนี้อยู่ที่ 6013.2 MVA

4.1.3 ผลการประเมินความสามารถพร้อมมูลของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ในกรณีระบบสูญเสียเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตสูงสุดในแต่ละพื้นที่

ผลการประเมินความสามารถพร้อมมูลของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ในกรณีระบบสูญเสียเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตสูงสุดในแต่ละพื้นที่นั้นสามารถแสดงได้ดังในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ในระบบสูญเสียเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตสูงสุดในแต่ละพื้นที่

No.	Inter-Tied Lines		Base	Inter-Tied Lines' ATC incase Loss a Largest Generator in each Area						
				Area1	Area2	Area3	Area4	Area5	Area6	Area7
1	1808	5802	428.4	437.3	417.9	429	424.7	417.3	431.4	429.7
2	1809	5808	638.7	623.9	638.9	637.8	639.6	638.9	625.2	633.9
3	1908	5906	3006.6	2975.5	2999.8	2981.9	3004.6	2999.1	2970.8	2964
4	1809	6808	491	490.3	487.1	488.4	486.9	487.1	502.9	483.7
5	1810	6891	437.7	436.3	433	435.8	432.1	433	523.7	434.1
6	1804	6891	277.3	242.3	268.6	272.6	269	268.4	371.7	265.7
7	1804	6801	128.9	108.6	125.2	128	125.1	125.1	115.5	128.6
8	1806	7816	781.1	806.5	779.8	778.9	779.9	779.8	790.8	773.1
9	1807	7816	753.2	745.7	755.3	751.8	754.7	755.2	751.4	745.1
10	1908	7902	3761.5	3761.5	3758.8	3784.3	3758.6	3759.1	3763.8	3794.5
11	2802	4804	297.9	297.9	277.3	297.9	297.8	291.6	297.9	297.9
12	2803	4807	385.7	385.5	372.5	385.6	389.7	382.1	385.5	385.6
13	2701	5708	19.4	19.5	13.5	19.4	18.6	21.1	19.5	19.5
14	2702	5708	40.2	40.3	35	40.2	39.5	41.8	40.3	40.2
15	2807	5803	687.1	687.3	602.9	687.1	683.8	696	687.2	687.2
16	3807	7829	392.5	392.6	392.6	369	392.6	392.6	392.6	392.5
17	3809	7829	841.5	841.5	841.5	808.5	841.5	841.5	841.5	841.5
18	4441	5906	2998	2997.3	2962.3	2999.6	2917.7	2969.3	2996.2	3000.2

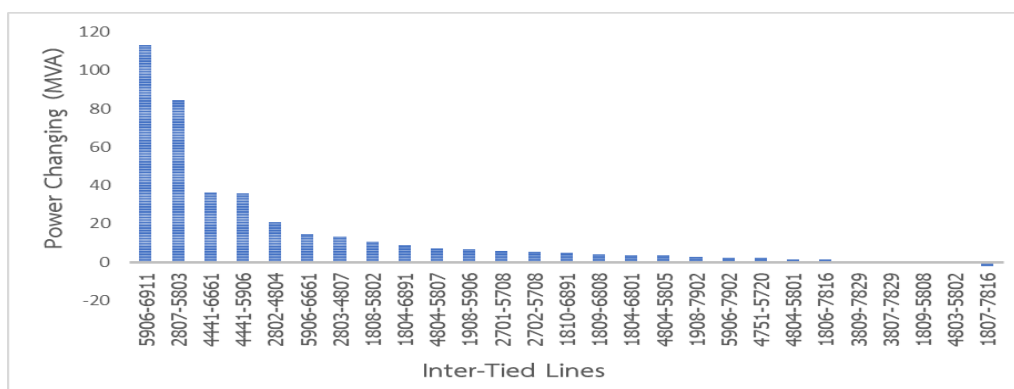
19	4751	5720	123.1	122.8	120.9	123.1	125	119.3	122.9	123
20	4803	5802	426	422.7	427.1	425.7	432.8	423.1	423.8	425.1
21	4804	5807	822.4	821.8	815.5	822.4	828.6	807.7	822.5	822.3
22	4804	5805	858.9	859	855.3	859.1	863.8	848.1	859.8	859.1
23	4804	5801	460.4	460.6	458.9	460.5	464.6	455.8	460.8	460.5
24	4441	6661	3010.5	2999.3	2974.3	3005.6	2941	2977.4	3002.1	3001.3
25	5906	6911	2369.8	2249	2256.7	2319.1	2243.9	2256.2	2168.8	2269.1
26	5906	6661	2923.6	2906.8	2909	2918	2910	2908.5	2902	2910
27	5906	7902	3904	3908	3901.6	3921.5	3899.1	3902.4	3907.8	3928.7

และอัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าเมื่อเทียบกับสภาวะปกติสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.5 โดยผลการศึกษาทำให้ทราบถึงขีดความสามารถคงเหลือของแต่ละสายส่งและทำให้ทราบกลุ่มสายส่งที่มีความสำคัญในการรองรับหากเกิดการสูญเสียเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งหากวิเคราะห์ระบบในสภาวะปกติพบว่าสายส่งที่มีขีดความสามารถพร้อมมูลในการรองรับการถ่ายโอนข้ามพื้นที่ต่ำสุดคือ สายส่งหมายเลข 2701-5708 (PCH-SR2) ซึ่งมีความสามารถพร้อมมูลในสภาวะปกติอยู่ที่ 19.4 MVA และหากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตสูงสุดในพื้นที่ 2 ถูกปลดออกทำให้ค่าความสามารถพร้อมมูลของสายส่งลดลงมาอยู่ที่ 13.5 MVA และกลุ่มสายส่งที่มีความสำคัญในการรองรับการถ่ายโอนข้ามพื้นที่สามารถลำดับความสำคัญจากอัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าบนสายส่งดังแสดงในรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.5 อัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าภายใต้ระบบสูญเสียเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตสูงสุดในแต่ละพื้นที่โดยเทียบกับระบบสภาวะปกติ

Inter-Tied Lines			Base	Inter-Tied Lines' Power Changing incase Loss a Largest Generator in each Area						
No .	From Number	To Number		Area 1	Area 2	Area 3	Area 4	Area 5	Area 6	Area 7
1	1808	5802	0	35	8.7	4.7	8.3	8.9	-94.4	11.6
2	1809	5808	0	20.3	3.7	0.9	3.8	3.8	13.4	0.3
3	1908	5906	0	-25.4	1.3	2.2	1.2	1.3	-9.7	8
4	1809	6808	0	7.5	-2.1	1.4	-1.5	-2	1.8	8.1
5	1810	6891	0	-8.9	10.5	-0.6	3.7	11.1	-3	-1.3
6	1804	6891	0	14.8	-0.2	0.9	-0.9	-0.2	13.5	4.8
7	1804	6801	0	0.7	3.9	2.6	4.1	3.9	-11.9	7.3
8	1806	7816	0	1.4	4.7	1.9	5.6	4.7	-86	3.6
9	1807	7816	0	31.1	6.8	24.7	2	7.5	35.8	42.6
10	1908	7902	0	0	2.7	-22.8	2.9	2.4	-2.3	-33

11	2802	4804	0	-0.1	5.9	0	0.8	-1.7	-0.1	-0.1
12	2803	4807	0	-0.1	5.2	0	0.7	-1.6	-0.1	0
13	2701	5708	0	0	20.6	0	0.1	6.3	0	0
14	2702	5708	0	0.2	13.2	0.1	-4	3.6	0.2	0.1
15	2807	5803	0	-0.2	84.2	0	3.3	-8.9	-0.1	-0.1
16	3807	7829	0	-0.1	-0.1	23.5	-0.1	-0.1	-0.1	0
17	3809	7829	0	0	0	33	0	0	0	0
18	4441	6661	0	11.2	36.2	4.9	69.5	33.1	8.4	9.2
19	4751	5720	0	0.7	35.7	-1.6	80.3	28.7	1.8	-2.2
20	4803	5802	0	0.3	2.2	0	-1.9	3.8	0.2	0.1
21	4804	5807	0	3.3	-1.1	0.3	-6.8	2.9	2.2	0.9
22	4804	5805	0	0.6	6.9	0	-6.2	14.7	-0.1	0.1
23	4804	5801	0	-0.1	3.6	-0.2	-4.9	10.8	-0.9	-0.2
24	4441	5906	0	-0.2	1.5	-0.1	-4.2	4.6	-0.4	-0.1
25	5906	6911	0	120.8	113.1	50.7	125.9	113.6	201	100.7
26	5906	6661	0	16.8	14.6	5.6	13.6	15.1	21.6	13.6
27	5906	7902	0	-4	2.4	-17.5	4.9	1.6	-3.8	-24.7

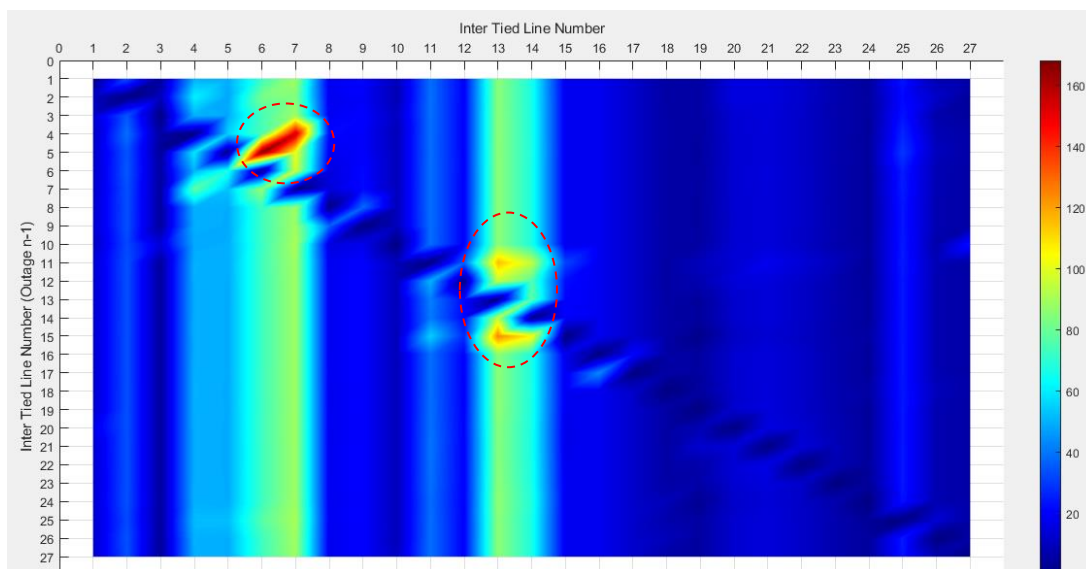


รูปที่ 4.1 ลำดับสายส่งที่มีความสำคัญในการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้ากรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตสูงสุดในพื้นที่ 2 ถูกปลดออก

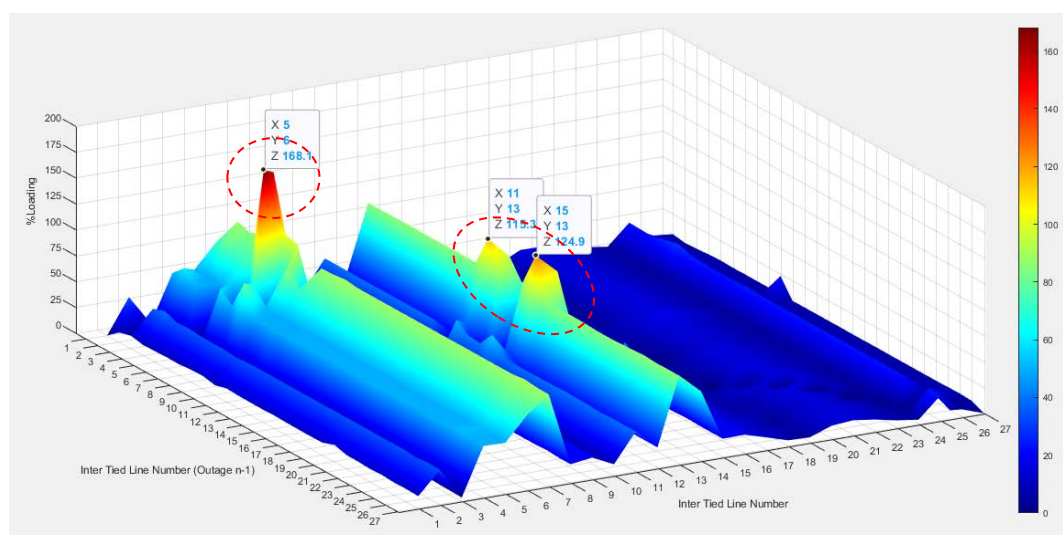
จากรูปที่ 4.1 ได้แสดงผลการจัดลำดับสายส่งที่มีความสำคัญในการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าในกรณีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีกำลังผลิตสูงสุดในพื้นที่ 2 ถูกปลดออก ซึ่งเป็นการจัดลำดับเฉพาะสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ โดยพบว่ากลุ่มสายส่งที่มีความสำคัญในการรองรับการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าข้ามพื้นที่ 5 ลำดับแรกคือสายส่งหมายเลข 5906-6911, 2807-5803, 4441-5906 และ 2802-4804

4.1.4 ผลการประเมินความสามารถพร้อมมูลของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ในกรณีระบบสูญเสียสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ในแต่ละพื้นที่จำนวน 1 สายส่ง

ผลการประเมินนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ซึ่งได้แสดงความสามารถพร้อมมูลของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่โดยพิจารณาเปอร์เซ็นต์การรับโหลดของสายส่งในกรณีระบบสูญเสียสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่จำนวน 1 สายส่ง

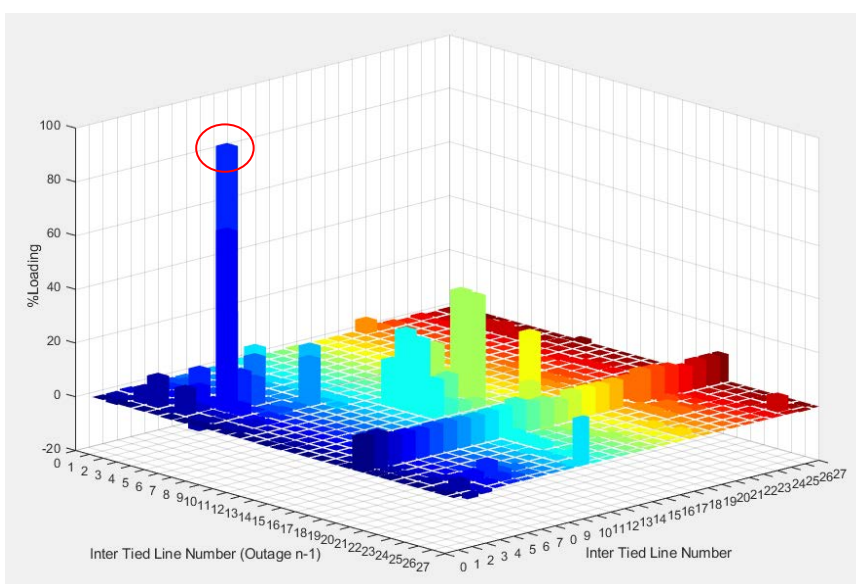


รูปที่ 4.2 รูปแบบเปอร์เซ็นต์การรับโหลดของสายส่งในกรณีระบบสูญเสียสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่จำนวน 1 สายส่ง

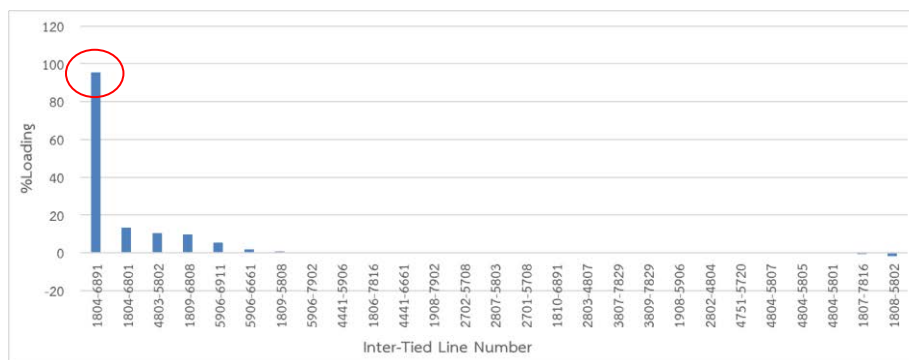


รูปที่ 4.3 ระดับเปอร์เซ็นต์การรับโหลดของสายส่งในกรณีระบบสูญเสียสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่จำนวน 1 สายส่ง

จากรูปที่ 4.2-4.3 และลำดับสายส่งตามตารางที่ 4.5 พบว่าหากสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ลำดับที่ 4 และ 5 หากเกิดถูกปลดออกจะส่งผลทำให้สายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ลำดับที่ 7 และ 6 ได้รับความเสียหายตามลำดับ และนอกจากนี้ยังพบว่าไม่ว่าสายส่งลำดับที่ 11 หรือ 15 ถูกปลดออกก็จะส่งผลทำให้สายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ลำดับที่ 13 ได้รับความเสียหายเช่นเดียวกัน ซึ่งจากการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าภายใต้ระบบสูญเสียสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่จำนวน 1 สายส่งนั้นสามารถกลุ่มสายส่งที่มีความสำคัญในการรองรับการถ่ายโอนข้ามพื้นที่ที่สามารถลำดับความสำคัญจากอัตราการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าบนสายส่งหรือภาระโหลดของสายส่งเมื่อเทียบกับภาระโหลดในสภาวะปกติได้ดังรูปที่ 8 ซึ่งจากรูปที่ 4.4 พบว่าเมื่อกรณีสายส่งลำดับที่ 5 ถูกปลดออกทำให้สายส่งลำดับที่ 6 ได้รับความเสียหายสูงสุดซึ่งหมายความว่าสายส่งที่มีความสำคัญในการรองรับการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าแทนซึ่งกรณีนี้สามารถลำดับความสำคัญของสายส่งได้ดังแสดงในรูปที่ 4.5



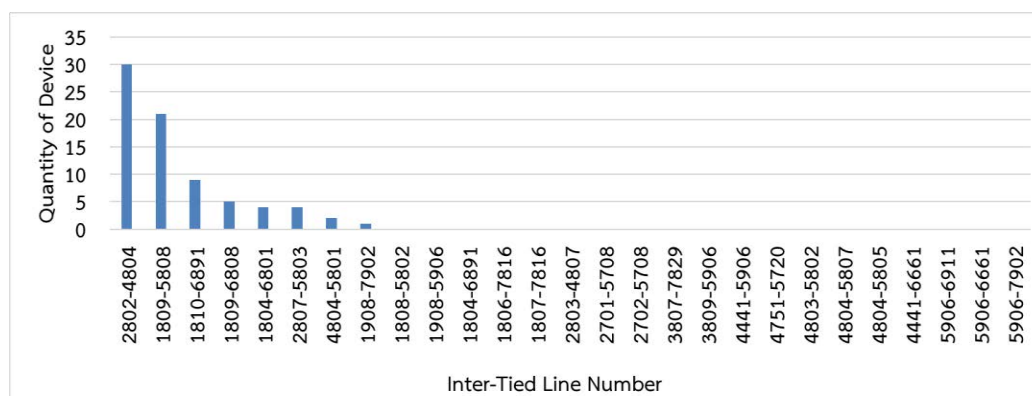
รูปที่ 4.4 รูปแบบอัตราการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การรับโหลดของสายส่งในกรณีระบบสูญเสียสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่จำนวน 1 สายส่ง



รูปที่ 4.5 ลำดับสายส่งที่มีความสำคัญในการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้ากรณีสายส่งลำดับที่ 5 (1810-6891) ถูกปลดออก

4.1.5 ผลการลำดับความรุนแรงของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ต่อระบบหากถูกปลดออก

ผลการศึกษาความรุนแรงของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ได้แสดงดังรูปที่ 4.6 ซึ่งในได้แสดงความรุนแรงต่อระบบโดยพิจารณาการละเมิดค่าควบคุมทั้งค่าควบคุมแรงดันและเปอร์เซ็นต์โหลดของสายส่ง โดยพบว่าสายส่งหมายเลข 2802-4804 หากถูกปลดออกจะส่งผลกระทบต่อระบบรุนแรงสูงสุดโดยจำนวนอุปกรณ์การละเมิดอยู่ที่ 30 อุปกรณ์



รูปที่ 4.6 ความรุนแรงภายใต้สายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ที่ถูกปลด
โดยพิจารณาการละเมิดค่าควบคุม

4.2 ผลการศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการศึกษาความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่

ในการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังสิ่งสำคัญที่สุดคือข้อมูลของค่าขีดจำกัดของระบบเพื่อป้องกันการควบคุมไม่ให้ระบบเกิดการละเมิดข้อจำกัดของค่าควบคุม โดยค่าจำกัดในการควบคุมของระบบไฟฟ้ากำลังทั่วไปจะประกอบไปด้วยค่าจำกัดด้านแรงดันและค่าจำกัดด้านภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานซึ่งหากมีอุปกรณ์หรือมีบัสเกิดละเมิดข้อจำกัดการควบคุมก็อาจทำให้อุปกรณ์นั้นเสียหายและถ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในการส่งผ่านพลังงานอาจเป็นสาเหตุทำให้ระบบเกิดความล้มเหลวได้ ด้วยเหตุนี้การศึกษาขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงของโหลดหรือกำลังผลิตในระบบจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการควบคุมเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อระบบ และเป็นสาเหตุนำระบบไปสู่ความล้มเหลวได้ ซึ่งประกอบด้วยการศึกษาการป้องกันความมั่นคงของระบบไฟฟ้ากำลัง การเสนอการจัดการเพื่อไม่ให้เกิดความหนาแน่นของการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ และข้อเสนอแนะการปฏิบัติการควบคุมระบบช่วงโหลดสูงสุดซึ่งจะต้องมีแผนการป้องกันและยกระดับความมั่นคงระบบและได้นำเสนอการปรับแรงดันโดยใช้ตัวชดเชยกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟในระบบ ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาและนำเสนอเทคนิคในการประเมินขีดความสามารถของระบบในการรองรับโหลดโดยใช้หลักการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบทำซ้ำ ซึ่งมีการนำมาใช้ในกระบวนการประเมินขีดความสามารถพร้อมมูลของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่แต่เป็นเพียงการพิจารณาผลการเพิ่มขึ้นของโหลดในระบบและได้นำมาใช้ในการ

พิจารณาพื้นที่ที่เหมาะสมในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโดยใช้การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบทำซ้ำ

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยขั้นตอนนี้เป็นการนำเสนอเทคนิคที่เหมาะสมในการประเมินความสามารถการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตไฟฟ้าข้ามพื้นที่ควบคุมด้วยเทคนิคการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบทำซ้ำภายใต้การพิจารณาการละเมิดข้อจำกัดค่าควบคุมของระบบ โดยวัตถุประสงค์ในการนำเสนอเทคนิคนี้เพื่อศึกษาประเมินขีดความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิต รวมถึงการกำหนดพื้นที่วิกฤตของระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อใช้ในการปรับปรุงความเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งการประเมินความสามารถระบบในการศึกษานี้ได้กำหนดการศึกษาไว้ 3 กรณีซึ่งประกอบด้วย กรณีแรกคือขีดความสามารถในการรองรับการเพิ่มขึ้นของโหลดในระบบขณะที่กำลังการผลิตคงที่ กรณีที่สองคือขีดความสามารถในการรองรับการลดลงของโหลดขณะที่กำลังการผลิตคงที่ และกรณีสุดท้ายคือขีดความสามารถในการรองรับการลดลงของกำลังผลิตในระบบขณะที่โหลดคงที่ ในการศึกษาได้ใช้ระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยเป็นระบบฐานในการศึกษาเพื่อนำเสนอเทคนิคและขอบเขตการศึกษาการประเมินความสามารถของระบบไฟฟ้าขนาดใหญ่ โดยระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยมีกำลังผลิตอยู่ที่ 27,443.75 MW โหลดในระบบอยู่ที่ 26,848.58 MW และความสูญเสียในระบบอยู่ที่ 595.17 MW สำหรับค่าจำกัดการละเมิดของระบบฐานนี้จะควบคุมแรงดันที่ 0.95-1.05 p.u. และภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานไม่เกิน 100 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แบ่งระบบออกเป็น 7 ระบบย่อย โดยผลการศึกษาสามารถทำให้ทราบถึงขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังการผลิตไฟฟ้าข้ามพื้นที่ควบคุมในแต่ละระบบย่อยโดยพบว่าระบบกำลังไฟฟ้าภาคตะวันออกเฉียงเหนือหรือพื้นที่ที่ 2 สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตไฟฟ้าข้ามพื้นที่ควบคุมได้น้อยกว่าระบบอื่น นอกจากนี้ผลการศึกษายังสามารถระบุพื้นที่ที่วิกฤตด้านแรงดันและพื้นที่ที่เกิดความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าไหลสูงสุดซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญเพื่อใช้ในการปรับปรุงความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง

ดังนั้นผลการศึกษาได้ทำการศึกษาเพื่อประเมินกำลังไฟฟ้าสำรองและพิจารณาขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบย่อย นอกจากนี้ผลการศึกษาแต่ละกรณีจะทำการวิเคราะห์พื้นที่วิกฤต ซึ่งพื้นที่วิกฤตหมายถึงพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบและละเมิดค่าควบคุมของระบบด้านแรงดันและภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงาน

4.2.1 ผลการศึกษากำลังการผลิตและกำลังไฟฟ้าสำรองของระบบ

ผลการศึกษาสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.6 โดยผลการศึกษาจะพิจารณาเฉพาะกำลังไฟฟ้าคงเหลือของโรงไฟฟ้าในระบบภายใต้การพิจารณากำลังการผลิตตามสัญญาซื้อขายของแต่ละโรงไฟฟ้าซึ่งพบว่าขีดความสามารถกำลังการผลิตโดยรวมของระบบอยู่ที่ 33,596 MVA กำลังไฟฟ้าส่งจ่ายอยู่ที่ 28,728 MVA และกำลังไฟฟ้าสำรองอยู่ที่ 4,868 MVA โดยในผลการศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นถึงกำลังผลิตและปริมาณกำลังไฟฟ้าสำรองของแต่ละพื้นที่โดยพบว่า กำลังการผลิตไฟฟ้าในระบบพื้นที่ 6 มีกำลังผลิตสูงสุดอยู่ที่ 12,412 MVA และมีกำลังไฟฟ้าสำรองสูงสุดอยู่ที่ 2,219 MVA และระบบไฟฟ้ากำลังพื้นที่ 3 มี

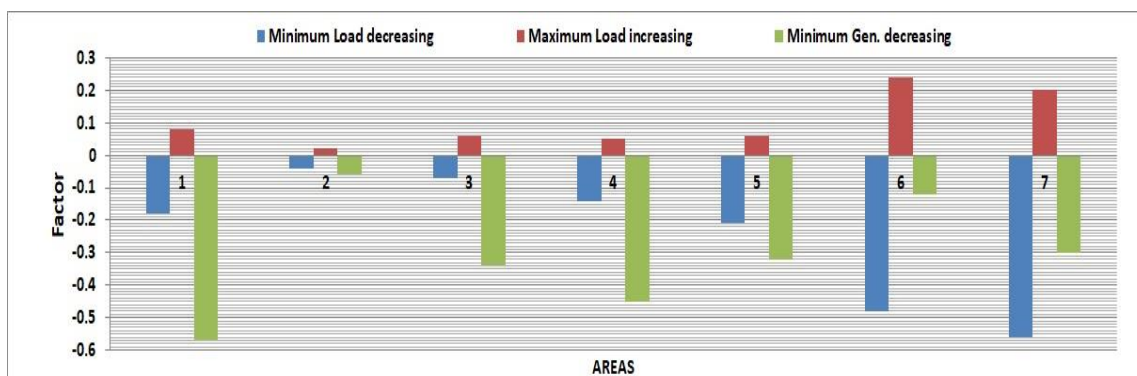
กำลังผลิตต่ำสุดอยู่ที่ 2,042 MVA และในส่วนของกำลังไฟฟ้าสำรองที่ต่ำสุดอยู่ที่พื้นที่ 1 โดยมีกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 12 MVA

ตารางที่ 4.6 การประเมินกำลังผลิตของระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย

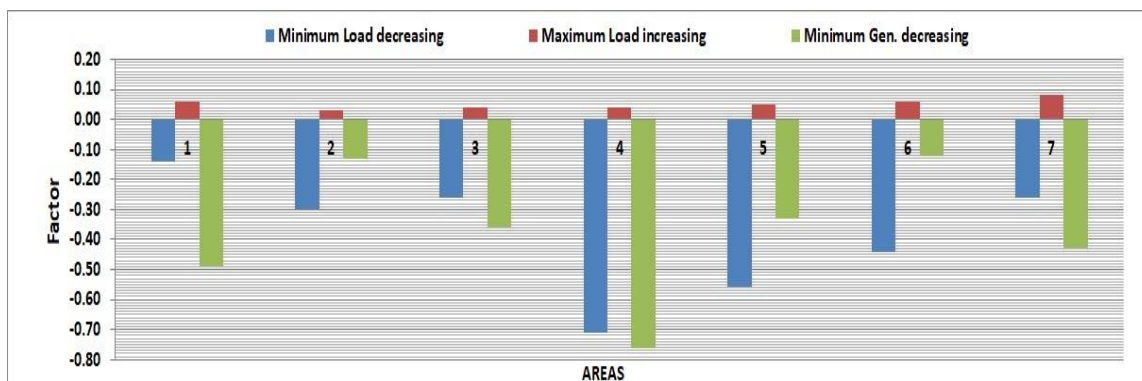
Power System 's Generation Assessment (MVA)								
Generation Power	Area1	Area2	Area3	Area4	Area5	Area6	Area7	Total
Generation Capacity	2,659	2,330	2,042	4,092	4,406	12,412	5,655	33,596
Generation Supply	2,647	2,176	1,689	3,514	3,990	10,193	4,519	28,728
Reserve Power	12	154	353	578	416	2,219	1,136	4,868

4.2.2 ผลการศึกษาขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบย่อย

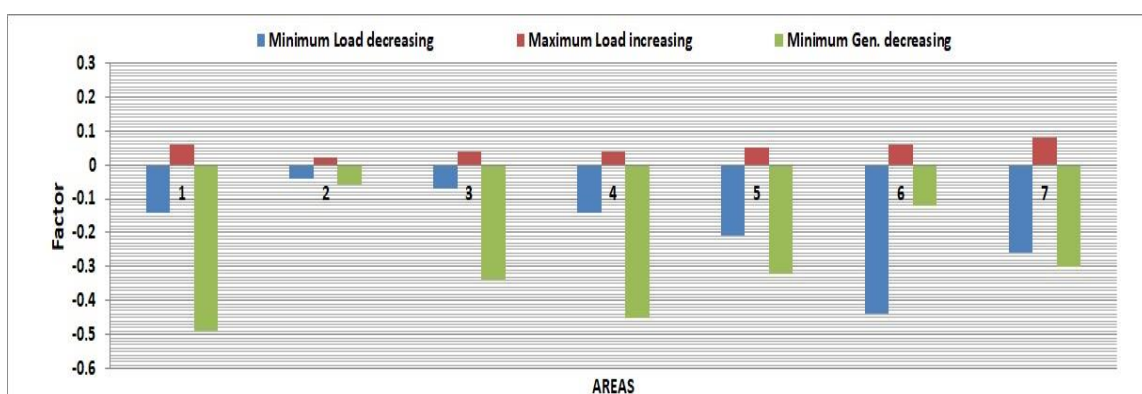
ผลการศึกษาขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบย่อยได้กำหนดค่าความเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าระบบอยู่ที่ 0.90- 1.10 เพอร์ยูนิต ค่าภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานอยู่ที่ 105 เปอร์เซ็นต์ และค่าขีดจำกัดกำลังการผลิตไฟฟ้าของแต่ละเครื่องไม่เกินค่ากำลังการผลิตตามสัญญาการซื้อขายของแต่ละโรงไฟฟ้าซึ่งผลการศึกษาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.7-4.9



รูปที่ 4.7 ขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบเมื่อพิจารณาเฉพาะค่าจำกัดด้านแรงดัน



รูปที่ 4.8 ชัดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบ
เมื่อพิจารณาเฉพาะค่าจำกัดด้านภาระโหลด



รูปที่ 4.9 ชัดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบ
เมื่อพิจารณาค่าจำกัดด้านแรงดันและภาระโหลด

จากผลการศึกษารูปที่ 4.7 แสดงชัดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบเมื่อพิจารณาเฉพาะค่าจำกัดด้านแรงดันซึ่งได้ตั้งค่าไว้ที่ 0.90-1.10 p.u. โดยผลการศึกษาพบว่าระบบไฟฟ้ากำลังพื้นที่ 2 มีความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตในระบบได้ต่ำกว่าพื้นที่อื่น ๆ โดยสามารถรองรับการลดลงของโหลดได้เพียง 4 เปอร์เซ็นต์ สามารถรองรับการเพิ่มขึ้นของโหลดได้เพียง 2 เปอร์เซ็นต์ และสามารถรองรับการลดลงของกำลังผลิตในระบบได้เพียง 6 เปอร์เซ็นต์ สำหรับพื้นที่ที่มีความสามารถในการรองรับการลดลงของโหลดได้สูงสุดคือพื้นที่ 7 โดยสามารถรองรับได้ 56 เปอร์เซ็นต์ สำหรับพื้นที่ที่มีความสามารถในการรองรับการเพิ่มขึ้นของโหลดได้สูงสุดคือพื้นที่ 6 โดยสามารถรองรับได้ 24 เปอร์เซ็นต์และพื้นที่ที่สามารถรองรับการลดลงของกำลังผลิตสูงสุดคือพื้นที่ 1 โดยสามารถรองรับได้เพียง 57 เปอร์เซ็นต์

และผลการศึกษาในรูปที่ 4.8 ชี้ความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตเมื่อพิจารณาค่าจำกัดด้านภาระโหลดของอุปกรณ์ (105%) พบว่าพื้นที่ที่มีความสามารถในการรองรับการลดลงของโหลดได้ต่ำสุดคือพื้นที่ 1 โดยสามารถรองรับได้ 14 เปอร์เซ็นต์สำหรับพื้นที่ที่มีความสามารถในการรองรับการเพิ่มขึ้นของโหลดได้ต่ำสุดคือพื้นที่ 2 โดยสามารถรองรับได้ 3 เปอร์เซ็นต์และสำหรับพื้นที่ที่มีความสามารถในการรองรับการลดลงของกำลังผลิตได้ต่ำสุดคือพื้นที่ 6 โดยสามารถรองรับได้เพียง 12 เปอร์เซ็นต์สำหรับพื้นที่ที่มีความสามารถในการรองรับการลดลงของโหลดได้สูงสุดคือพื้นที่ 4 โดยสามารถรองรับการลดลงได้ 71 เปอร์เซ็นต์สำหรับพื้นที่ที่มีความสามารถในการรองรับการเพิ่มขึ้นของโหลดได้สูงสุดคือพื้นที่ 7 โดยสามารถรองรับได้ 8 เปอร์เซ็นต์และสำหรับพื้นที่ที่มีความสามารถรองรับการลดลงของกำลังผลิตได้สูงสุดคือพื้นที่ 4 โดยสามารถรองรับได้เพียง 76 เปอร์เซ็นต์

สำหรับผลการศึกษาในรูปที่ 4.9 แสดงขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบเมื่อพิจารณาค่าจำกัดด้านแรงดันซึ่งได้ตั้งค่าไว้ที่ 0.90-1.10 p.u. และภาระโหลดโดยได้ตั้งค่าไว้ที่ 105% โดยพบว่าพื้นที่ 2 หรือระบบไฟฟ้ากำลังภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงต่ำกว่าพื้นที่อื่นโดยสามารถรองรับการลดลงของโหลดได้เพียง 4 เปอร์เซ็นต์สามารถรองรับการเพิ่มขึ้นของโหลดได้เพียง 2 เปอร์เซ็นต์และสามารถรองรับการลดลงของกำลังผลิตได้เพียง 6 เปอร์เซ็นต์

4.2.3 ผลการศึกษาพื้นที่วิกฤตภายใต้การเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบย่อย

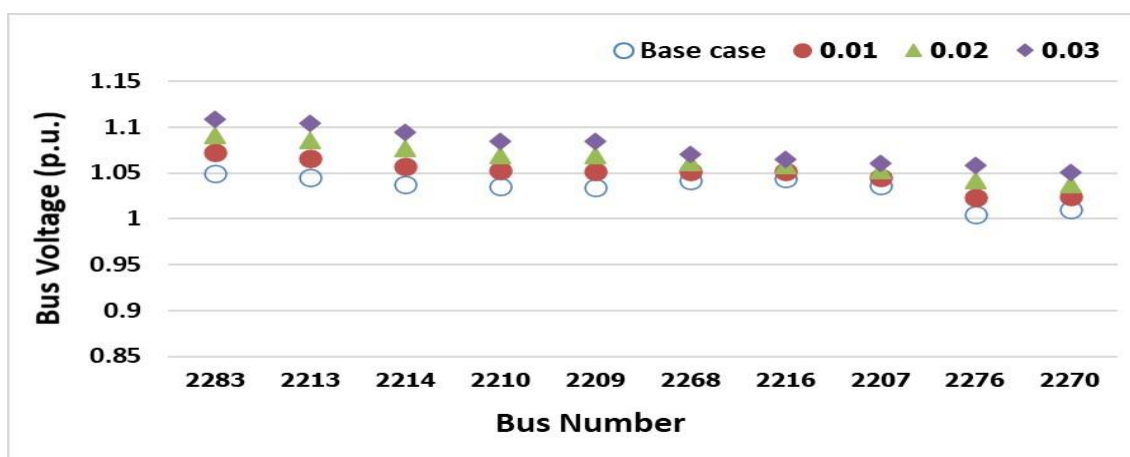
ผลการศึกษาพื้นที่วิกฤตภายใต้การเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบย่อยนั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.7 และตารางที่ 4.8 ซึ่งได้แสดงหมายเลขบัสจากฐานข้อมูลระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยในแต่ละกรณีศึกษาของแต่ละระบบย่อย โดยผลการศึกษาในตารางที่ 4.7 แสดงบัสวิกฤตของแต่ละพื้นที่ควบคุมย่อยเมื่อพิจารณาค่าจำกัดด้านแรงดัน (0.90-1.10 p.u.) และผลการศึกษาในตารางที่ 4.8 แสดงบัสวิกฤตที่อุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานเชื่อมต่ออยู่ที่ได้รับภาระโหลดสูงของแต่ละพื้นที่ควบคุมย่อยเมื่อพิจารณาค่าจำกัดด้านภาระโหลด (105%) ซึ่งเป็นพื้นที่จำเป็นในการวางแผนปรับปรุงการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังผลิต โดยตัวอย่างรูปแบบการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตในพื้นที่ที่มีความสามารถในการรองรับต่ำสุด ภายใต้การพิจารณาค่าจำกัดด้านแรงดันนั้นโดยสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.10-4.12 และภายใต้ค่าจำกัดภาระโหลดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.12-4.14

ตารางที่ 4.7 พื้นที่หรือข้อจำกัดด้านแรงดันของระบบสูงสุดในแต่ละพื้นที่ภายใต้การพิจารณาค่าจำกัดด้านแรงดัน (0.90-1.10 p.u.)

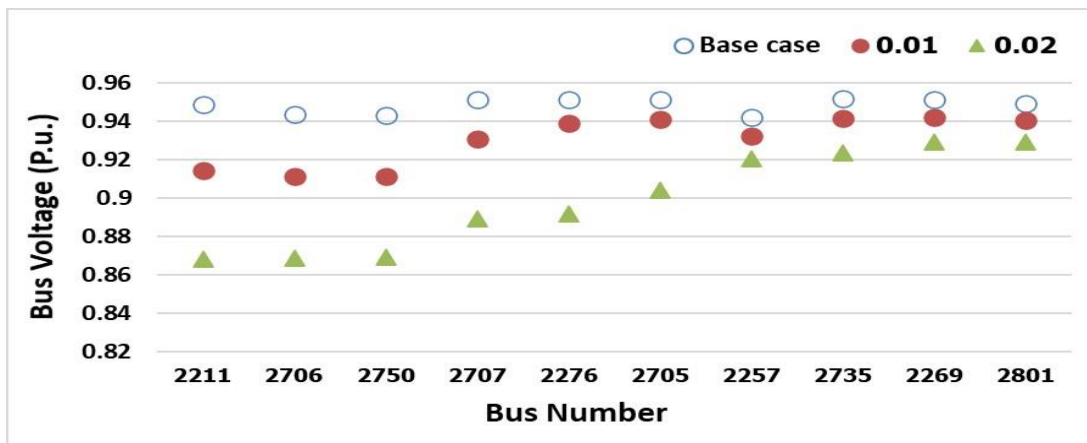
Critical Voltage Buses							
Case Study	Area1	Area2	Area3	Area4	Area5	Area6	Area7
Minimum Load Decreasing	2706	2283	3061	9423	9549	9644	9726
Maximum Load increasing	105	2211	9334	9422	9500	606	9733
Minimum Gen. Decreasing	9486	2706	9316	2706	9486	9486	9486

ตารางที่ 4.8 พื้นที่หรือข้อจำกัดด้านความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของระบบสูงสุดภายใต้การพิจารณาค่าจำกัดด้านภาระโหลด (105%)

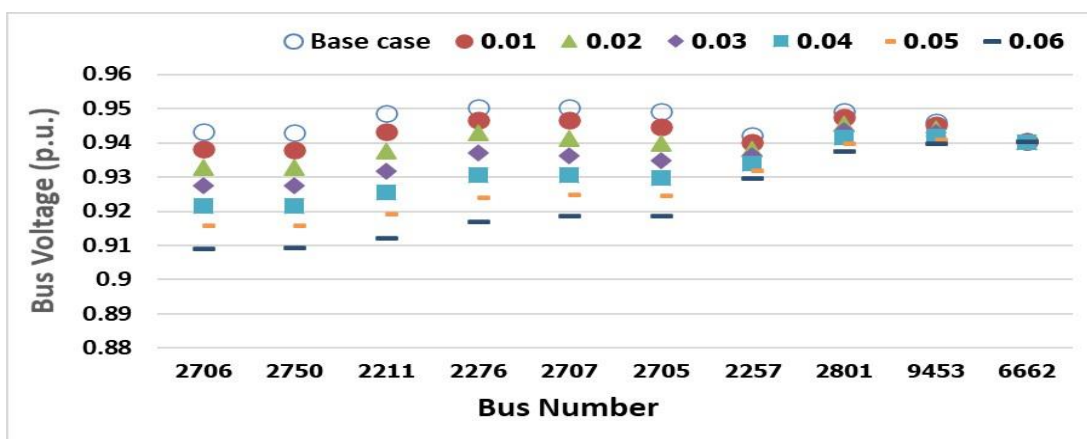
Critical Buses							
Case Study	Area1	Area2	Area3	Area4	Area5	Area6	Area7
Min. Load Decreasing	4701, 4702	5805, 5810	4053, 8881	4721, 9423	4701, 4702	4701, 4702	4701, 4702
Max. Load increasing	1807, 136	2269, 2735	3061, 3703	9453, 4708	5802, 506	6802, 606	9744, 7725
Min. Gen. Decreasing	6661, 6664	4701, 4702	9333, 3710	5030, 5808	5802, 506	6661, 6664	5030, 5808



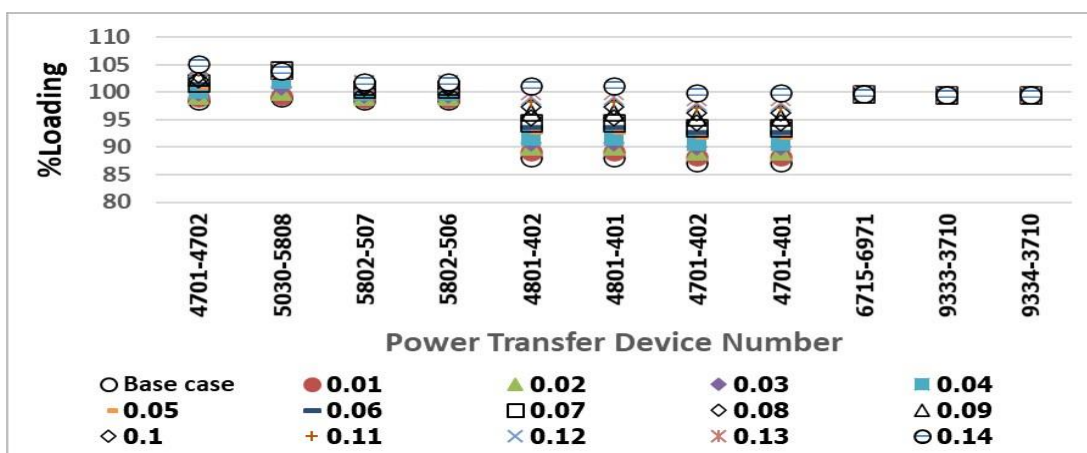
รูปที่ 4.10 ลำดับข้อจำกัดด้านแรงดันในพื้นที่ 2 กรณีลดโหลด (ต่ำสุด)



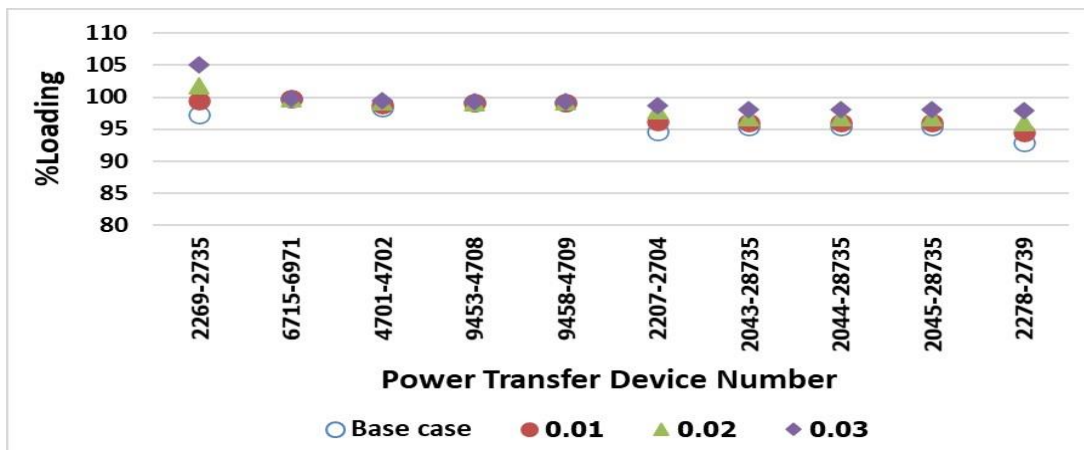
รูปที่ 4.11 ลำดับบัสวิกฤตด้านแรงดันในพื้นที่ 2 กรณีเพิ่มโหลด (ต่ำสุด)



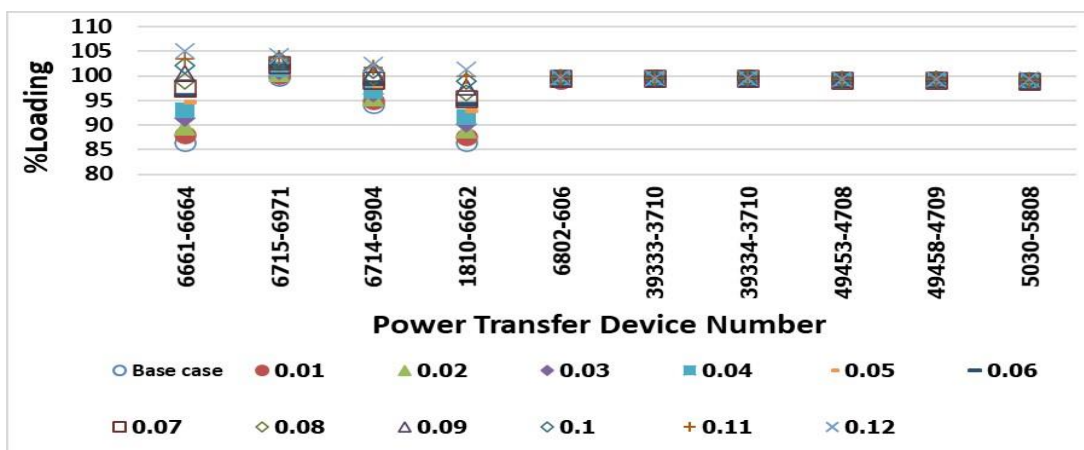
รูปที่ 4.12 ลำดับบัสวิกฤตด้านแรงดันในพื้นที่ 2 กรณีลดกำลังผลิต (ต่ำสุด)



รูปที่ 4.13 ลำดับบัสวิกฤตด้านภาระโหลดในพื้นที่ 1 กรณีลดโหลด (ต่ำสุด)



รูปที่ 4.14 ลำดับบัสวิกฤตด้านภาระโหลดในพื้นที่2 กรณีเพิ่มโหลด (ต่ำสุด)



รูปที่ 4.15 ลำดับบัสวิกฤตด้านภาระโหลดพื้นที่6 กรณีลดกำลังผลิต(ต่ำสุด)

จากรูปที่ 4.10 ได้แสดงลำดับบัสวิกฤตด้านแรงดัน 10 ลำดับแรกในพื้นที่ 2 กรณีศึกษาความสามารถในการรองรับการลดโหลดในระบบได้ต่ำกว่าพื้นที่อื่น ๆ ซึ่งได้แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันบัส โดยพบว่าบัสหมายเลข 2283 เป็นบัสที่วิกฤตด้านแรงดันสูงสุดหากมีการลดโหลดในระบบสภาวะปกติที่ยังไม่มีการปรับปรุง สำหรับรูปที่ 4.11 ได้แสดงลำดับบัสวิกฤตด้านแรงดัน 10 ลำดับแรกในพื้นที่ 2 กรณีศึกษาความสามารถในการรองรับการเพิ่มขึ้นของโหลดในระบบได้ต่ำกว่าพื้นที่อื่น ๆ ซึ่งได้แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันบัส โดยพบว่าบัสหมายเลข 2211 เป็นบัสที่วิกฤตด้านแรงดันต่ำสุดหากมีการเพิ่มขึ้นของโหลดในระบบสภาวะปกติที่ยังไม่มีการปรับปรุง และรูปที่ 4.12 ได้แสดงลำดับบัสวิกฤตด้านแรงดัน 10 ลำดับแรกในพื้นที่ 2 กรณีที่ระบบสามารถรองรับการลดกำลังผลิตในระบบได้ต่ำกว่าพื้นที่อื่น ๆ ซึ่งได้แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันบัส โดยพบว่าบัสหมายเลข 2706 เป็นบัสที่วิกฤตด้านแรงดันต่ำสุดหากมีการลดกำลังผลิตในระบบสภาวะปกติที่ยังไม่มีการปรับปรุง ดังนั้นจากผลการศึกษาส พบว่าในกรณีโหลดในระบบลดลงจะส่งผลให้แรงดันในระบบเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งทำให้เกิดการละเมิดด้านแรงดันสูง และในกรณีโหลดในระบบเพิ่มขึ้นจะส่งผล

ให้แรงดันในระบบลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งทำให้เกิดการละเมิดด้านแรงดันต่ำ สำหรับกรณีการลดกำลังผลิตในระบบจะส่งผลให้แรงดันในระบบลดลงเรื่อย ๆ จนทำให้เกิดการละเมิดด้านแรงดันต่ำ

จากรูปที่ 4.13 ได้แสดงลำดับข้อผิดพลาดโดยพิจารณาด้านภาระโหลด 10 ลำดับแรกในพื้นที่ 1 กรณีที่ระบบสามารถรองรับการลดโหลดในระบบได้ต่ำกว่าระบบอื่น ๆ ซึ่งได้แสดงการเปลี่ยนแปลงของภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานที่วิกฤตสูงสุดที่เชื่อมต่อกับบัส โดยพบว่าอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับบัสหมายเลข 4701 และ 4702 หากมีการลดของโหลดในระบบสถานะปกติที่ยังไม่มีการปรับปรุงสำหรับรูปที่ 4.14 ได้แสดงลำดับข้อผิดพลาดโดยพิจารณาด้านภาระโหลด 10 ลำดับแรกในพื้นที่ 2 กรณีที่ระบบสามารถรองรับการเพิ่มโหลดในระบบได้ต่ำสุด ซึ่งได้แสดงการเปลี่ยนแปลงของภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานที่วิกฤตสูงสุดที่เชื่อมต่อกับบัส โดยพบว่าอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับบัสหมายเลข 2269 และ 2735 หากมีการเพิ่มของโหลดในระบบสถานะปกติที่ยังไม่มีการปรับปรุง และรูปที่ 4.15 ได้แสดงลำดับข้อผิดพลาดโดยพิจารณาด้านภาระโหลด 10 ลำดับแรกในพื้นที่ 6 กรณีที่ระบบสามารถรองรับการลดกำลังการผลิตในระบบได้ต่ำสุด ซึ่งได้แสดงการเปลี่ยนแปลงของภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานที่วิกฤตสูงสุดที่เชื่อมต่อกับบัส โดยพบว่าอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับบัสหมายเลข 6661 และ 6664 หากมีการเพิ่มของกำลังการผลิตในระบบสถานะปกติที่ยังไม่มีการปรับปรุง

ดังนั้นจากผลการศึกษาพบว่าทั้งกรณีโหลดในระบบลดลง กรณีโหลดในระบบเพิ่มขึ้น และกรณีการลดกำลังผลิตในระบบ จะส่งผลให้ภาระโหลดของสายส่งบางสายส่งในระบบเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งทำให้เกิดการละเมิดด้านภาระโหลดจากการเปลี่ยนแปลงการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบที่เกิดขึ้น

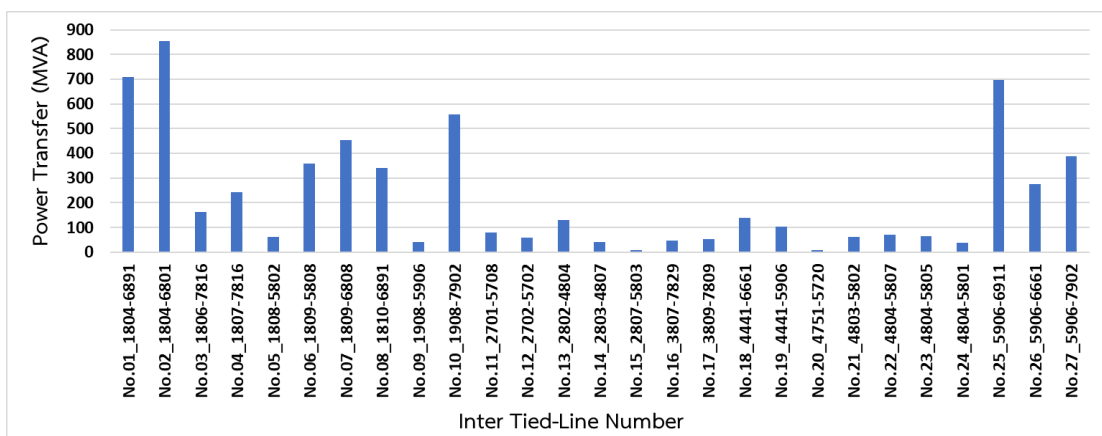
4.3 ผลการศึกษาแนวทางการกำหนดและจัดลำดับความสำคัญของสายส่งรองเพื่อรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ากรณีสายส่งหลักถูกปลดออก

วัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อนำเสนอแนวทางการปรับความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังภายใต้การศึกษาความสามารถของการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าข้ามพื้นที่และการประเมินความสามารถพร้อมมูลของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ เพื่อรองรับการกำหนดและจัดลำดับความสำคัญของสายส่งรองเพื่อรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ากรณีสายส่งหลักถูกปลดออก พร้อมการประเมินความสามารถส่งผ่านพร้อมมูลของสายส่งเพื่อนำข้อมูลประกอบการวางแผนการส่งการที่เหมาะสมในการควบคุมการลดผลกระทบความหนาแน่นการส่งผ่านพลังงานขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งผลงานวิจัยนี้ได้นำเสนอใน The 12th NPRU National Academic Conference, pp. 648-655, 9 - 10 July 2020 ดังแสดงในภาคผนวก ก.

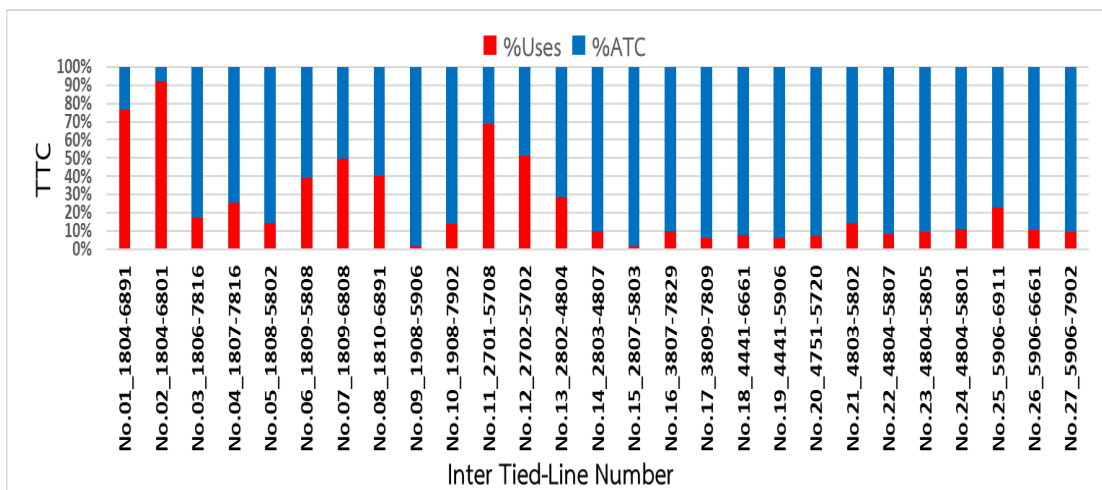
ผลการศึกษาวิจัยการกำหนดและจัดลำดับสายส่งรองเพื่อรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าและการส่งการที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังได้ทำการแบ่งลำดับการศึกษาออกเป็น 3 ส่วนหลักซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังนี้

4.3.1 ผลการศึกษาข้อมูลสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ภายใต้ระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะปกติ

ผลการศึกษาข้อมูลสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่เป็นผลการศึกษาในระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะปกติ ซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.16 และ 4.17 โดยผลการศึกษาพบว่าสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ของระบบไฟฟ้ากำลังมีทั้งหมด 27 สายส่ง โดยพบว่าสายส่งหมายเลข 1804-6801 มีกำลังไฟฟ้าส่งผ่านสูงสุดอยู่ที่ 855.3 MVA, สายส่งหมายเลข 4751-5720 มีกำลังไฟฟ้าส่งผ่านต่ำสุดอยู่ที่ 9.1 MVA โดยเมื่อทำการศึกษาค่าความสามารถพร้อมมูลของแต่ละสายส่งพบว่ามีความต่ำสุดอยู่ที่ 7.6% คือสายส่งเชื่อมต่อหมายเลข 1804-6801และค่าความสามารถพร้อมมูลสูงสุดอยู่ที่ 98.7 % คือสายส่งเชื่อมต่อหมายเลข 1908-5906



รูปที่ 4.16 กำลังไฟฟ้าส่งผ่านของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ (MVA) ภายใต้ระบบในสภาวะปกติ



รูปที่ 4.17 ความสามารถส่งผ่านพลังงานพร้อมมูลของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ภายใต้ระบบในสภาวะปกติ

4.3.2 ผลการศึกษาการกำหนดและลำดับความสำคัญสายส่งรองในกลุ่มสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่

ผลการศึกษาการกำหนดและจัดลำดับความสำคัญของสายส่งรองสำหรับกลุ่มสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ดังได้แสดงในรูปที่ 4.17 ภายใต้สายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่แต่ละเส้นถูกปลดออก ซึ่งผลการศึกษาได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.9 โดยผลการศึกษาได้แสดงค่าแฟคเตอร์การกระจายกำลังไฟฟ้าหลังสายส่งถูกปลดออก (d_{lk}) ในกลุ่มสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ ซึ่งทำให้ทราบถึงสายส่งรองที่มีความสำคัญในการรองรับการส่งผ่านพลังงานแทนสายส่งหลักโดยสายส่งที่มีค่าแฟคเตอร์สูงก็จะเป็นสายส่งรองที่มีความสำคัญสูงเพื่อรองรับการส่งผ่านพลังงานและใช้เป็นตัวชี้ในการพิจารณาสำหรับการควบคุมกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง

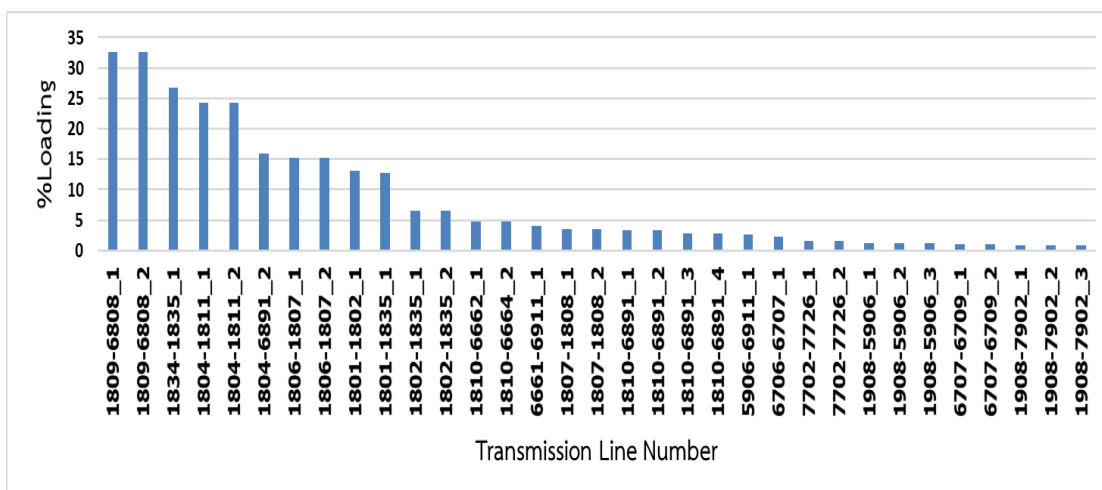
ตารางที่ 4.9 การกำหนดสายส่งรองในกลุ่มสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ด้วยค่าแฟคเตอร์การกระจายกำลังไฟฟ้า (d_{lk})

Number	Line Outage Distribution Factor each Inter Tied Lines (d_{lk})																														
1804-6891	○	16	1.6	-1	4.1	5.1	1.2	58	4.4	-1	0	0	0.3	0.2	0	0	0	1.5	0	0	-2	-1	-1	0	4.8	5	-1				
1804-6801	12	○	2	-1	1.6	-6	66	7.1	1	1.2	0	0	0.1	0	0	0	0	0.5	0	-1	0	0	0	2	-2	0.1					
1806-7816	3.3	5.4	○	87	-1	0	-5	-1	-2	2.8	0	0	0	0	0.1	0	0	-1	0.2	0.1	0.4	0.2	0.2	0.1	-1	-2	1.3				
1807-7816	-1	-2	92	○	3.9	0	2	0.6	1	5.2	0	0	0.3	0.1	0	0	0	0.5	0.5	0	-2	-1	-1	0	0.4	0.7	1.2				
1808-5802	1.2	0.6	0	0.5	○	3.5	0.3	0	7	0.3	1.7	1.7	-3	-2	3	0	0	-5	-8	2.6	20	6.8	7.5	2.5	-1	0	-2				
1809-5808	1.2	-2	0	0	2.9	○	4	-1	4	-2	0	0	0.2	0.1	0	0	0	0	0.9	0	-1	0	0	0	-2	-3	-1				
1809-6808	0.5	33	-1	0.4	0.3	6.5	○	5.7	1	-1	0	0	0.1	0	0	0	0	0.6	-0	0	0	0	0	0	2.6	2.3	-1				
1810-6891	18	2.8	0	0.1	-1	-1	4.6	○	0	0.1	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0.2	0	0.2	0.1	0.1	0.1	2.8	-2	0.1				
1908-5906	2.9	0.8	-1	0.3	16	11	1.6	-1	○	22	-1	-1	1	0.4	-1	0	0	0.2	3.3	-1	-6	-2	-2	-1	-3	-5	-22				
1908-7902	0	0.9	0.8	1.4	0.6	-4	-2	0.2	19	○	0	0	0.1	0	0	0	0	0.3	0	0	0	0	0	0.6	1.2	29					
2701-5708	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	○	13	6.3	5.2	15	0	0	0.2	0.4	0.6	0.9	1	1.1	0.7	0	0	0				
2702-5708	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	13	○	6.3	5.2	15	0	0	0.2	0.4	0.6	0.9	1	1.1	0.7	0	0	0				
2802-4804	0	0	0	0	-2	0.1	0	0	0.2	0	10	10	○	25	24	0	0	-1	-2	-2	-2	-4	-4	-3	0	0.2	0				
2803-4807	0	0	0	0	-1	0	0	0	0.1	0	5.6	5.6	16	○	12	0	0	0	-1	-1	-3	-1	-1	-1	0	0.1	0				
2807-5803	0	0	0	0	1.5	0	0	0	0	0	27	27	28	20	○	0	0	0.9	1.9	2.4	3.6	3.8	4.2	3.2	0	0	0				
3807-7829	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	○	50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
3809-7829	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	○	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
4441-6661	1.6	0	0	0.3	-17	-2	1.6	-2	0.4	0.6	2.9	2.9	-7	-5	7.1	0	0	○	60	6.1	13	9.1	9.7	13	6.8	35	0.1				
4441-5906	0	0.5	0.1	0.2	-21	2.8	-1	0.4	3.7	0	4	4	-9	-7	9.7	0	0	40	○	8.3	17	12	13	17	-3	-15	-1				
4751-5720	0	0	0	0	1.2	0	0	0	0	1.1	1.1	-2	-2	2.3	0	0	0.8	1.5	○	5	8.4	3.7	6.4	0	0	0					
4803-5802	0	0	0	0	15	-1	0	0.1	-2	0	2.6	2.6	-3	-8	5.4	0	0	2.6	5.1	7.9	○	6.7	7.6	5.8	0.1	0	0.4				
4804-5807	0	0	0	0	9.9	-1	0	0.1	-1	0	5.5	5.5	-13	-5	11	0	0	3.5	7.1	26	13	○	23	15	0	-1	0.3				
4804-5805	0	0	0	0	11	-1	0	0.1	-1	0	6	6	-14	-6	12	0	0	3.6	7.3	11	14	22	○	13	0	-1	0.3				
4804-5801	0	0	0	0	1.7	0	0	0	0	1.7	1.7	-5	-2	4.3	0	0	2.2	4.5	9.1	5.3	6.7	6.1	○	0	-1	0					
5906-6911	5.1	2.7	-1	0.2	-2	-7	7.2	9.8	-4	1.2	0	0	0.2	0.3	-0	0	0	6.6	-5	0	0.4	0	0	-1	○	30	1.3				
5906-6661	6.6	-3	-2	0.5	-1	-17	8.1	-8	-10	2.7	-1	-1	2.2	2	-3	0	0	42	-27	-2	-2	-3	-3	-5	37	○	3.1				
5906-7902	-2	0.2	0.9	0.8	-7	-8	-2	0.6	-46	69	0.2	0.2	0	0	0.4	0	0	0.1	-2	0.3	2.8	0.9	1	0.3	1.6	3.2	○				

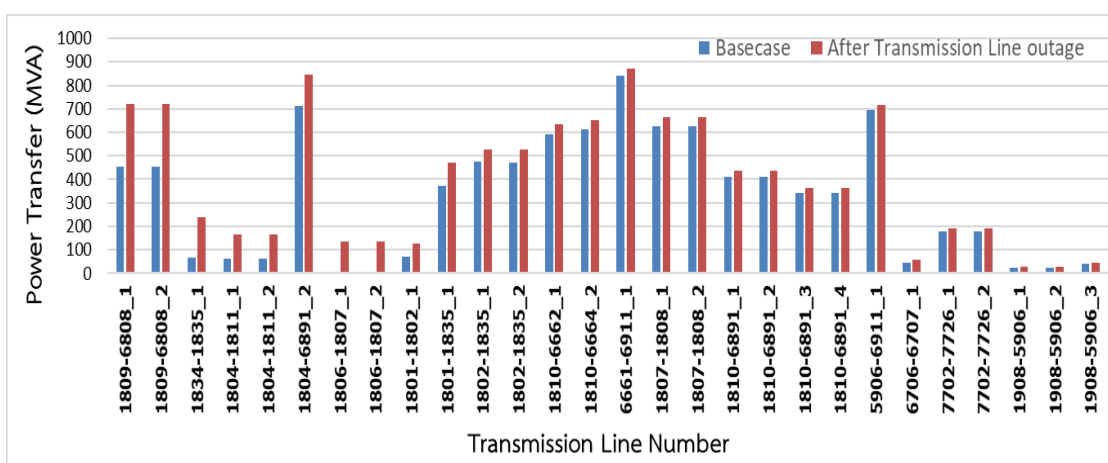
* ○ หมายถึง สายส่งถูกปลดออก (Outage)

4.3.3 ผลการศึกษาการกำหนดและการจัดลำดับสายส่งรองของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ที่มีกำลังส่งผ่านสูง

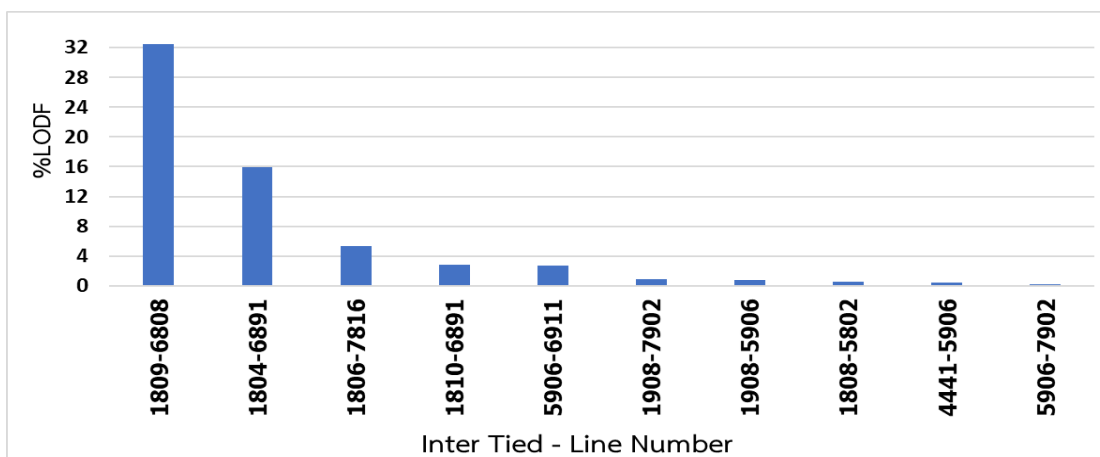
ผลการศึกษาในหัวข้อนี้จะมุ่งเน้นศึกษาโดยยกตัวอย่างเฉพาะสายส่งที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงเพื่อชี้และแสดงให้เห็นเส้นทางการกระจายกำลังไฟฟ้าหากสายส่งดังกล่าวถูกปลดออกเพื่อกำหนดและจัดลำดับความสำคัญสายส่งรองในการรองรับกำลังไฟฟ้าส่งผ่านเพื่อใช้ในการวางแผนการควบคุมหรือการสั่งการในระบบไฟฟ้ากำลัง จากผลการศึกษาในรูปที่ 4.18 และ 4.19 พบว่ามีสายส่ง 1 สายส่งที่มีกำลังไฟฟ้าส่งผ่านสูงสุดคือสายส่ง หมายเลข 1804-6801 ที่ระดับแรงดัน 230 kV และค่าพารามิเตอร์ Resistance (R) ของสายส่งเท่ากับ 0.00215, ค่า Reactance (x) เท่ากับ 0.02396 และมีกำลังไฟฟ้าส่งผ่านสูงสุดอยู่ที่ 855.3 MVA และค่าความสามารถส่งผ่านพลังงานพร้อมมูลอยู่ที่ 7.69% โดยผลการศึกษาจะทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าส่งผ่านในสถานะที่ระบบไฟฟ้ากำลังปกติและสถานะที่ระบบสูญเสียสายส่งโดยผลการศึกษาได้แสดงผลดังรูปที่ 4.20-4.21



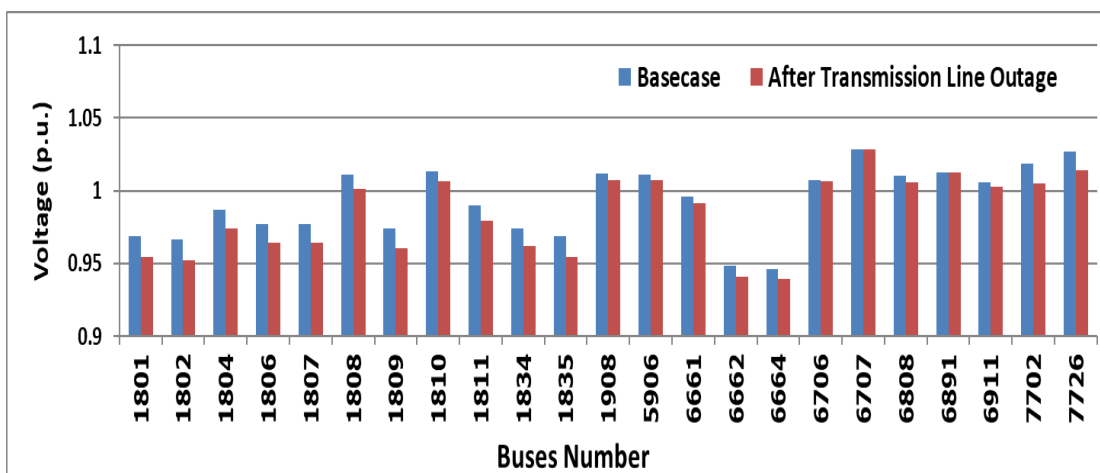
รูปที่ 4.18 การกำหนดและจัดลำดับกลุ่มสายส่งรองของสายส่ง
ในกรณีสายส่งหมายเลข 1804-6801 ถูกปลดออก



รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าส่งผ่าน (MVA) ของกลุ่มสายส่งรอง
ในกรณีสายส่ง 1804-6801 ถูกปลดออก



รูปที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าส่งผ่าน (MVA) ของกลุ่มสายส่งรองในกลุ่มสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่



รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าของกลุ่มสายส่งรอง ก่อนและหลังในกรณีสายส่ง 1804-6801 ถูกปลดออก

จากผลการศึกษาในรูปที่ 4.18 แสดงการจัดลำดับสายส่งรองที่มีความสำคัญในการส่งผ่านพลังงานในกรณีสายส่งหลัก 1804-6801 ถูกปลดออกซึ่งเป็นสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ 1 และ 6 ซึ่งพบว่าสายส่งรองหมายเลข 1809-6808 วงจร 1 และ 2 มีความสำคัญสูงสุดในการรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า โดยกำลังไฟฟ้าส่งผ่านที่ไหลบนสายส่งที่ถูกปลดออกนั้นจะกระจายไปยังสายส่งรองต่าง ๆ ซึ่งส่งผลให้สายส่งรองเหล่านี้ได้รับภาระโหลดเพิ่มขึ้นซึ่งกำลังไฟฟ้าส่งผ่านที่เพิ่มขึ้นของแต่ละสายส่งรองนั้นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.19 ซึ่งพบว่าสายส่ง 1809-6808 มีอัตราการได้รับภาระโหลดสูงสุดซึ่งเป็นสายส่งในกลุ่มสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่เพื่อรองรับการส่งผ่านพลังงานของสายส่งหลักดังได้แสดงในรูปที่ 4.20 และเมื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าในกลุ่มสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่พบว่ายังอยู่ในช่วงค่าควบคุม ดังแสดงในรูปที่ 4.21 ดังนั้นการสั่งการที่เหมาะสมควรควบคุมกำลังไฟฟ้าไหลบนสายส่งรอง 1809-6808 จะต้องเผื่อค่ากำลังไฟฟ้าส่งผ่านประมาณ 260 MVA เพื่อป้องกันการได้รับภาระโหลดเกิน ดังนั้นจะเห็นได้ว่าข้อมูลการกระจายกำลังไฟฟ้าหลังสายส่งถูกปลด

ออกและลำดับสายส่งรองเป็นข้อมูลที่สำคัญในการสั่งการควบคุมกำลังไฟฟ้าไหลในระบบโดยการสั่งการที่เหมาะสมต้องพิจารณาค่าส่วนเผื่อของขีดความสามารถพร้อมมูลของสายส่งรองเพื่อรองรับกำลังไฟฟ้าหากสายส่งหลักถูกปลดออกเพื่อป้องกันปัญหาความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าไหล

บทที่ 5

สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยนี้ได้ทำการประเมินความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อการปรับปรุงความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง โดยสามารถแบ่งหัวข้อการสรุปผลการศึกษาในงานวิจัยออกเป็นดังนี้

5.1.1 การศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการทดสอบและประเมินความสามารถส่งผ่านพลังงานของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ของระบบไฟฟ้ากำลัง

ระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยที่ใช้เป็นระบบฐานในการศึกษาของงานวิจัยนี้ๆได้แบ่งระบบควบคุมออกเป็นพื้นที่ควบคุมย่อยทั้งหมด 7 พื้นที่ควบคุมย่อยซึ่งแต่ละพื้นที่ควบคุมย่อยจะมีปริมาณกำลังผลิตและปริมาณโหลดไม่เท่ากับในบางพื้นที่ที่มีกำลังผลิตมากกว่าปริมาณโหลดและบางพื้นที่ที่มีปริมาณกำลังผลิตน้อยกว่าปริมาณโหลดและเพื่อให้ระบบไฟฟ้ากำลังมีความสมดุลและเสถียรภาพจึงต้องอาศัยการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าข้ามพื้นที่โดยอาศัยการเชื่อมต่อสายส่งที่เรียกว่าสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ การศึกษาวิจัยความสามารถและความมั่นคงการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่จึงมีความสำคัญมากซึ่งหากสายส่งเหล่านี้ไม่สามารถรองรับการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าได้อาจทำให้ถูกปลดออกเนื่องจากได้รับภาระโหลดเกินและอาจเป็นสาเหตุทำให้ระบบขนาดความเสถียรภาพได้ตั้งนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอเทคนิค การประเมินความสามารถการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าระหว่างพื้นที่ของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อการปรับปรุงความเสถียรภาพของระบบโดยพิจารณาขีดจำกัดความร้อนของสายส่งซึ่งเป็นขีดความสามารถสูงสุดของการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าของสายส่ง ซึ่งเทคนิคนี้ไม่เพียงแต่ใช้ในการศึกษาสำหรับระบบประเทศไทยแต่ยังสามารถใช้กับระบบไฟฟ้ากำลังอื่นได้ โดยเทคนิคที่ได้นำเสนอนั้นทำให้ทราบถึงขีดความสามารถสูงสุดและคงเหลือของแต่ละพื้นที่ควบคุมและแต่ละสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ รวมถึงลำดับความสำคัญของสายส่งที่รองรับการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าทั้งกรณีหากมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่กำลังผลิตสูงสุดในแต่ละพื้นที่ที่ถูกปลดออกและกรณีสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ที่ถูกปลดออก นอกจากนี้ยังสามารถลำดับความรุนแรงของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่หากถูกปลดออกโดยพิจารณาจำนวนอุปกรณ์ที่ละเมิดค่าควบคุมทั้งแรงดันไฟฟ้าและค่าเปอร์เซ็นต์โหลด ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำไปวางแผนปรับปรุงความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังได้

5.1.2 การศึกษาเทคนิคที่เหมาะสมในการศึกษาความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่

ในผลการศึกษาวิจัยนี้ได้นำเสนอการประเมินความสามารถการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตไฟฟ้าข้ามพื้นที่ควบคุมสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ ซึ่งในการศึกษาได้ใช้เทคนิคการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบทำซ้ำโดยพิจารณาผลด้วยกัน 3 กรณี โดยกรณีแรกคือขีดความสามารถในการรองรับการลดลงของโหลดในระบบขณะที่กำลังผลิตคงที่ กรณีที่สองคือขีดความสามารถในการรองรับการเพิ่มขึ้นของโหลดขณะที่กำลังผลิตคงที่ และกรณีสุดท้ายคือขีด

ความสามารถในการรองรับการลดลงของกำลังผลิตในระบบขณะที่โหลดคงที่ ซึ่งการปรับเปอร์เซ็นต์หรือแฟคเตอร์ซึ่งในการศึกษาจะปรับเพิ่มหรือลดครั้งละ 1 เปอร์เซ็นต์ (0.01 Factor) ของปริมาณโหลดหรือกำลังการผลิตในระบบ ซึ่งจะปรับจนกระทั่งระบบเกิดการละเมิดค่าควบคุมที่ตั้งไว้โดยไม่มี การปรับปรุงระบบ หากเกิดการละเมิดขึ้นก็จะหยุดการคำนวณซึ่งผลการคำนวณก็จะทำให้ทราบขีดความสามารถของระบบและพื้นที่ที่วิกฤตในระบบที่ต้องการปรับปรุงในระบบ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าในระบบ ซึ่งขีดความสามารถของระบบจะขึ้นกับการกำหนดค่าควบคุมระบบซึ่งประกอบด้วยค่าความเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าระบบ และค่ากำหนดภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงาน ซึ่งระบบที่มีความยืดหยุ่นสูงก็สามารถกำหนดค่าควบคุมที่สูงขึ้นได้ ในส่วนค่าขีดความสามารถในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบจะประเมินจากค่ากำลังการผลิตที่ซื้อขายตามสัญญาซื้อขายจริงของโรงไฟฟ้าแต่ละโรงไฟฟ้าที่ส่งค่าความพร้อมล่วงหน้าให้กับหน่วยงานควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังในแต่ละวัน โดยเทคนิคที่น่าเสนอนี้ไม่ใช่เพียงใช้เฉพาะระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทยเท่านั้นยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบไฟฟ้าทั่วไปได้ซึ่งเหมาะสมและง่ายต่อการศึกษาขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าและปริมาณโหลดเบื้องต้นกับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่และมีการแบ่งระบบไฟฟ้ากำลังออกเป็นระบบย่อยต่าง ๆ โดยเฉพาะช่วงที่ระบบมีปริมาณโหลดสูงสุด ซึ่งเทคนิคนี้จะทำให้ทราบขีดความสามารถของระบบในแต่ละระบบย่อยเบื้องต้นได้และรวดเร็วเพื่อนำข้อมูลไปปรับปรุงในการวางแผนการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง โดยเฉพาะการวางแผนปรับปรุงพื้นที่ที่วิกฤตในระบบเพื่อเพิ่มความเสถียรภาพให้กับระบบไฟฟ้ากำลัง

5.1.3 การศึกษาแนวทางการกำหนดและจัดลำดับความสำคัญของสายส่งรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ากรณีสายส่งหลักถูกปลดออก

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการกำหนดและจัดลำดับสายส่งรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าและการส่งการที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังโดยเฉพาะการควบคุมการส่งผ่านพลังงานในระบบสายส่งนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งซึ่งหากสายส่งหรืออุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานในระบบได้รับภาระโหลดเกินหรือเกิดภาวะปัญหาจากความหนาแน่นการไหลกำลังไฟฟ้า (Power Flow Congestion Problem) จนกระทั่งได้รับความเสียหายและทำให้ถูกปลดออก และหากเป็นสายส่งที่มีความสำคัญในการส่งผ่านพลังงานในระบบเช่น สายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ที่ถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเพื่อรักษาความสมดุลระหว่างกำลังผลิตและปริมาณโหลดของระบบก็อาจทำให้ระบบเกิดความไม่เสถียรภาพขึ้นได้ หรือแม้กระทั่งการปลดสายส่งเพื่อทำการซ่อมบำรุงรักษา ก็ต้องมีการศึกษาการกำหนดและจัดลำดับสายส่งรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในการป้องกันปัญหาความหนาแน่นการไหลกำลังไฟฟ้าขึ้นในระบบ ซึ่งการควบคุมกำลังไฟฟ้าไหลในระบบโดยพิจารณาขีดความสามารถเฉพาะสายส่งหลักนั้นอาจไม่เพียงพอ ต้องพิจารณาค่าส่วนเผื่อหรือขีดความสามารถรองรับกำลังไฟฟ้าส่งผ่านของกลุ่มสายส่งรองโดยเฉพาะสายส่งที่มีดัชนีค่าแฟคเตอร์การกระจายของสายส่งถูกปลดออก (LODF) สูงดังนั้นในการควบคุมการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของสายส่งในระบบไฟฟ้ากำลังต้องเผื่อค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของสายส่งหลัก ซึ่งการกำหนดและจัดลำดับสายส่งรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของสายส่งหลักสามารถนำไป

เป็นข้อมูลหนึ่งในการบริหารจัดการ การส่งการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง (Dispatch) ได้เพื่อเพิ่มความปลอดภัยของระบบไฟฟ้ากำลัง

5.2 อภิปรายผล

การศึกษาวิจัยเพื่อการประเมินความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อการปรับปรุงความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิคที่เหมาะสมในการประเมินสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ 2 เทคนิคด้วยกัน ประกอบด้วย

5.2.1 เทคนิคที่เหมาะสมในการทดสอบและประเมินความสามารถส่งผ่านพลังงานของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ของระบบไฟฟ้ากำลัง

ซึ่งเทคนิคจะทำให้ทราบความสามารถพร้อมมูลของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ของแต่ละเส้นว่ามีพร้อมมูลคงเหลือเท่าไรและยังสามารถทำให้ทราบถึงขีดความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่แต่ละเส้นหากมีเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในพื้นที่ที่กำลังการผลิตสูงสุดถูกปลดออกและสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่แต่ละเส้นถูกปลดออกภายใต้ภาวะเหตุการณ์ฉุกเฉินระบบสูญเสียอุปกรณ์จำนวนหนึ่งอุปกรณ์ (Contingency $n-1$)

5.2.2 เทคนิคที่เหมาะสมในการศึกษาความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่

ซึ่งเทคนิคจะทำให้ทราบความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังในแต่ละพื้นที่ควบคุมย่อยและพื้นที่ที่วิกฤตภายใต้การพิจารณาด้านแรงดันต่ำและพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของการไหลกำลังไฟฟ้า ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญเพื่อใช้ในการวางแผนปรับปรุงความเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลังต่อไป

5.2.3 การกำหนดและจัดลำดับสายส่งรองเพื่อรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าและการส่งการที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง

จากผลการศึกษาและผลการวิเคราะห์ความสามารถของระบบไฟฟ้ากำลังหากมีการเตรียมพร้อมหรือมีการจัดการ การวางแผนเพื่อปรับปรุงความเสถียรภาพของระบบก็จะเป็นดีซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากำหนดและจัดลำดับสายส่งรองเพื่อรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าและการส่งการที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง โดยเทคนิคนี้สามารถทำให้ทราบถึงสายส่งที่สำคัญในการรองรับกำลังไฟฟ้าถ่ายโอนหากสายส่งหลักถูกปลดออกซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับวิศวกรควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อป้องกันระบบไม่ให้เกิดปัญหาความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าไหลในระบบซึ่งเป็นการช่วยเพิ่มความปลอดภัยระบบไฟฟ้ากำลังได้อีกทาง

5.3 ข้อเสนอแนะ

เทคนิคการประเมินความสามารถของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่เพื่อการปรับปรุงความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลังนั้นทั้ง 3 เทคนิคที่ได้เสนอนั้น ข้อมูลที่ได้ เช่น พื้นที่ที่วิกฤตด้านแรงดัน และพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของการไหลกำลังไฟฟ้า ซึ่งเป็นพื้นที่ที่จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องการปรับปรุงและยกระดับความเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า หากมีการศึกษาวิจัย

หรือนำเสนอเทคนิคเพื่อปรับปรุงและยกระดับความเสถียรภาพก็จะเป็นการดีและเป็นข้อมูลที่สำคัญในการสร้างความมั่นคงและความเสถียรภาพให้กำลังระบบไฟฟ้ากำลัง

บรรณานุกรม

หนังสือ/วารสาร

- โตศักดิ์ ทัศนานุกรม, การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง, 2543.
- พิชัย อารีย์, การวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2552.
- รศ.ดร. อิศระชัย งามหริ, พลศาสตร์และเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง, พิมพ์ครั้งที่1, 2554.
- Kundur, Prabha. “Power system stability and control” EPRI Editors, Neal J. Balu and Mark G. Luuby.
- North American Electric Reliability Council (NERC), “Available Transfer Capability Definitions and Determination”, NERC Report, 1996.
- Energy Policy and planning office ministry of energy, “Thailand Power development plan 2018”
- Power World simulator 8.0 OPF manual.

บทความวิจัย

- Althowibi F A and Mustafa M W. Power System Voltage Stability: Indications, Allocations and Voltage Collapse Predictions. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. 2013; (2): 3138-3152.
- Ravindra S, Reddy V C V and Sivanagaraju S. Power System Severity Analysis under Generator Outage Condition. International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. 2015; (4).
- Shu Y and Tang Y. Analysis and Recommendations for the Adaptability of China’s Power System Security and Stability. Relevant Standard (CSEE) Journal of Power and Energy Systems. 2017; 3 (4).
- Chompoo-inwai C, Yingvivatanapong C, Faungfoo P and Lee W.J. Transmission Congestion Management during Transition Period of Electricity Deregulation in Thailand. IEEE Transaction on Industrial Application. 2007; 43 (6): 1483–1490.
- Yu F, Booth C, Dysko A and Hong Q. Wide-Area Backup Protection and Protection Performance Analysis Scheme using PMU data. International Journal of Electrical Power and Energy Systems. 2009; 630-641.
- Wannoi C, Khumdee A, Wannoi N, Boonkun C, and Chompoo-inwai C / C. An Impact Study and Operation Recommendation in Peak Load Period after Solar Power Integration to Northeastern Power System in Thailand. The International Conference on Electrical Engineering. Hong Kong. 2015; 446.

- Sadiq A and Nwohu M. Evaluation of Inter – Area Available Transfer Capability of Nigeria 330KV Network. *International Journal of Engineering and Technology*. 2013; 3 (2).
- Wannoi C, Khumdee A, Wannoi N and Chompoo-inwai C / C. An Optimum Technique for Renewable Power Generations Integration to Power System using Repeated Power Flow Technique Considering Voltage Stability Limit. *Procedia Computer Science*. 2016; (86): 357 – 360.
- Wannoi C, Wannoi N, Boonkhun C, Temiyasathit C and Chompoo-inwai C. A Novel Transmission line's ATC Assessment Method by Considering the Generation Dispatch Limit (GDL) and Renewable Generation Capacity with Power Flow Sensitivity Analysis. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*. 2019; 12 (5): 179-189.
- Tella T G, Sitati S and nyakoe G N. Finding and Ranking Load Bus Voltage Stability Severity Indexes Due to Load Reactive Power Changing Using User-Defined and Modified Voltage Stability Indices. *International Journal of Power Systems*. 2017; (2): 33-41.
- F. A. Althowibi and M.W. Mustafa, "Power System Voltage Stability: Indications, Allocations and Voltage Collapse Predictions," *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering* Vol. 2, Issue 7, July 2013, pp. 3138-3152.
- T. Mandloi¹, A. K. Jain, a study of power system security and contingency analysis, *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology (IJSRET)*, Volume 3, Issue 4, July 2014.
- A. A. Abdulrazzaq, "Contingency ranking of power systems using a performance index", *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Vol.2, May, 2015.
- C. Wannoi, S. Bunjongjit and C. Chompooinwai, "A Proper Location FACTS Device Placement and Primary Generation Response Definition for Multi-Lines Buses Security Enhancement under Contingency Analysis", *International Conference on Electrical Engineering*, 2015.
- A. Sadiq and M. Nwohu, "Evaluation of Inter – Area Available Transfer Capability of Nigeria 330KV Network", *International Journal of Engineering and Technology*, Vol.3 No.2, 2013.

ประวัตินักวิจัย

ประวัติผู้รับผิดชอบ

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นาย ชัยสิทธิ์ วันน้อย
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Chaisit Wannoi
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3400101600659
3. ตำแหน่งปัจจุบัน พนักงานมหาวิทยาลัยสายวิชาการ
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)
สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์
คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 76000
โทรศัพท์ 056-717100 ต่อ 1702, 0-91-6396689
E-mail: chaisit.w@pcru.ac.th
5. ประวัติการศึกษา
ปริญญาเอก วิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
เครื่องมือวัดและเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดย
ระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการโครงการวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วม
วิจัยในแต่ละผลงานวิจัย

ผลงานวิจัยที่ผ่านมา

[1] Narumon Wannoi, Nirudh Jiruwankul, Piampoom Sarikprueck, Chai Chompooinwai and **Chaisit Wannoi**, Novel Techniques for Critical Load Buses Identification and Load Bus's Available Capacity Calculation to Improve Power System Stability, IEEE IAS Industrial and Commercial Power System Asia Technical Conference, PP 799-804, 2020

[2] Narumon Wannoi, Nirudh Jiruwankul, Piampoom Sarikprueck, Chai Chompooinwai and **Chaisit Wannoi**, A Novel Technique to Identify Proper Locations for Distributed Renewable Generation Integration to Minimize Contingency Impact,

IEEE IAS Industrial and Commercial Power System Asia Technical Conference, PP 276-281, 2020

[3] **Chaisit Wannoi**, Narumon Wannoi, “The Secondary Transmission Lines Defining and Ranking to Support Power Transfer and Proper Dispatch for Power System Control”, NPRU12, 2020

[4] **Chaisit Wannoi**, Narumon Wannoi, C. Boonkhun, C. Temiyasathit, Chai Chompoo-inwai, “A Novel Transmission line’s ATC Assessment Method by Considering the Generation Dispatch Limit (GDL) and Renewable Generation Capacity with Power Flow Sensitivity Analysis”, International Journal of Intelligent Engineering and Systems, Vol.12, pp. 179-189 No.5, 2019.

[5] Supattarachai Jitchobjai, **Chaisit Wannoi**, Nirudh Jirasuwankul and Chai/Chow Chompoo-inwai, “Optimum Operation Scheme of Solar Power Generation System on a High-level Voltage Area to Avoid Overvoltage Problem”, The International Conference on Electrical Engineering, Japan, ICEE2016 ID 90331, July, 2016.

[6] **Chaisit WANNOI**, S. JITCHOPJAI, N. WANNOI, S. BUNJONGJIT and Chow / Chai CHOMPOO-INWAI, “A Proper Location FACTS Device Placement and Primary Generation Response Definition for Multi-Lines Buses Security Enhancement Under Contingency Analysis”, The International Conference on Electrical Engineering, Japan, ICEE2016 ID 90381, July, 2016.

[7] **Chaisit Wannoi**, Anulak Khumdee, Narumon Wannoi and Chow / Chai Chompoo-inwai, “An Optimum Technique for Renewable Power Generations Integration to Power System using Repeated Power Flow Technique Considering Voltage Stability Limit”, International Electrical Engineering Congress, Thailand, IEECON2016, Page 38, 2-4 March 2016.

[8] **Chaisit Wannoi**, Anulak Khumdee, Narumon Wannoi, C. Boonkun, Chow / Chai Chompoo-inwai, “An Impact Study and Operation Recommendation in Peak Load Period after Solar Power Integration to Northeastern Power System in THAILAND”, The International Conference on Electrical Engineering, Hong Kong, ICEE2015A-446, July, 2015.

[9] Supattarachai Jitchobjai, **Chaisit Wannoi**, Warawat Tangsrianukul and Chai Chompoo-inwai, “A Technology Assessment and Financial Indices Study to Achieve an Appropriate Range of Incentive Mechanism for Solar Energy Promotion in THAILAND”, The International Conference on Electrical Engineering, Korea, ICEE2014, June 15-19, 2014.

[10] ชัยสิทธิ์ วันน้อย, ดุสิต สุขสวัสดิ์, เซาว์ ชมภูอินไหว และ ชาย ชมภูอินไหว, “การศึกษาเสถียร ภาพระบบกำลังไฟฟ้าภาคตะวันออกของประเทศไทยและข้อเสนอแนะเพื่อระบบการป้องกันพิเศษสำหรับนําระบบกลับคืนสู่สภาวะปกติ”, การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 32 (EECON32), หมายเลข PW064, 29-30 ตุลาคม 2552, มหาวิทยาลัยมหิดล

ประวัติผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นาง นฤมล วันน้อย
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mrs. Narumon Wannoi
2. เลขหมายบัตรประจำตัวประชาชน 3409901105146
3. ตำแหน่งปัจจุบัน พนักงานมหาวิทยาลัยสายวิชาการ
4. หน่วยงานและสถานที่อยู่ติดต่อได้สะดวก พร้อมหมายเลขโทรศัพท์ โทรสาร และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail)
สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม
คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 76000
โทรศัพท์ 056-717100 ต่อ 1702, 0-8752-7598-8
E-mail: n_pue23@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา
ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา) ระบุสาขาวิชาการ
อิเล็กทรอนิกส์กำลังและเทคโนโลยีด้านคอมพิวเตอร์
7. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดย
ระบุสถานภาพในการทำการวิจัยว่าเป็นผู้อำนวยการโครงการวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วม
วิจัยในแต่ละผลงานวิจัย
ชื่อผลงานวิจัย, การควบคุมมุมต่างเฟสของแรงดันและกระแสขาออกของวงจรเร
โซแนนซ์ แบบขนานโดยใช้ พีแอลแอล
ชื่อโครงการ, ระบบไฟส่องสว่างแบบแอลอีดีโดยใช้แหล่งจ่ายไฟจากแผงเซลล์
แสงอาทิตย์
ชื่อโครงการ, การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์สำหรับแสดงผลและวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพ
แรงดันไฟฟ้าแบบรายงานผลโดยตรงของอาคารเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏ
เพชรบูรณ์
ชื่อผลงานวิจัย, การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์สำหรับแสดงผลและวิเคราะห์ข้อมูลคุณภาพ
แรงดันไฟฟ้าแบบรายงานผลโดยตรงของอาคารเทคโนโลยีอุตสาหกรรมมหาวิทยาลัยราชภัฏ

เพชรบูรณ์, ปีที่พิมพ์ 2558, ประชุมวิชาการระดับชาติ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ ครั้งที่ 2 “งานวิจัยเพื่อพัฒนาท้องถิ่น”

ชื่อโครงการ, เครื่องต้นแบบแสดงผลคุณภาพกำลังไฟฟ้าและบันทึกผลอัจฉริยะด้วยระบบจัดเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรมแลปวิวสำหรับการจัดการการอนุรักษ์พลังงาน

ชื่อผลงานวิจัย, เครื่องต้นแบบแสดงผลคุณภาพกำลังไฟฟ้าและบันทึกผลอัจฉริยะด้วยระบบจัดเก็บข้อมูลโดยใช้โปรแกรมแลปวิวสำหรับการจัดการการอนุรักษ์พลังงาน, ปีที่พิมพ์ 2558, การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 7 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

ชื่อผลงานวิจัย, การประเมินความเพียงพอกำลังการผลิตจากกราฟกำลังของเครื่องกักหน้ลมต่อระบบกำลังไฟฟ้าด้วยการจำลองมอนติคาร์โล, ปีที่พิมพ์ 2559, การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 8 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

ชื่อโครงการ, การออกแบบและติดตั้งระบบป้องกันไฟฟ้าเพื่อสร้างความปลอดภัยด้านไฟฟ้าสำหรับชุมชนบ้านตัว ต.บ้านตัว อ.หล่มสัก เพชรบูรณ์และใช้เป็นชุมชนต้นแบบในการศึกษาสำหรับองค์กรปกครองท้องถิ่น

ชื่อผลงานวิจัย, การศึกษามาตรฐานและการออกแบบระบบไฟฟ้าของครัวเรือนเพื่อสร้างความปลอดภัยด้านไฟฟ้าสู่ชุมชน การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับชาติบัณฑิตศึกษา ครั้งที่ 13, 21 – 22 เมษายน 2561, มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

ชื่อโครงการ การศึกษาแนวทางการจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างคอมไฟถนนเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า

ชื่อผลงานวิจัย, การศึกษาแนวทางการจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างคอมไฟถนนเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้า การประชุมสัมมนาวิชาการนำเสนอผลงานวิจัยระดับชาติ เครือข่ายบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยราชภัฏภาคเหนือ ครั้งที่ 19 วันที่ 10 พฤษภาคม 2562 ,มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่

ภาคผนวก ก.

บทความเผยแพร่งานประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 12 มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม,
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม, 9 - 10 กรกฎาคม 2563

การประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 12
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
The 12th NPRU NATIONAL ACADEMIC CONFERENCE
9 - 10 กรกฎาคม 2563
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐมร่วมกับสมาคมสหวิทยาการเพื่อการวิจัย

ISBN (e-book) 978-974-7063-39-4

ศาสตร์พระราชา และการวิจัยเพื่อสร้างคุณภาพชีวิตในยุค Disruptive Technology
"King's Philosophy and Research for Life Balance in Disruptive Technology Era"

Digital

5G

COVID-19 CORONAVIRUS