



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

การประเมินความสามารถการรองรับโหลดและกำลังการผลิตไฟฟ้าข้ามพื้นที่ควบคุมด้วย เทคนิคการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบทำซ้ำ

Assessment of power system loading and zonal to zonal power transfer capability with repeated power flow calculation technique

ชัยสิทธิ์ วันน้อย^{1*} นฤมล วันน้อย²

¹ สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เพชรบูรณ์ 67000

² สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ เพชรบูรณ์ 67000

Chaisit Wannoi^{1*} Narumon Wannoi²

¹ Department of Computer Technology, Faculty of Agricultural and Industrial Technology, Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun 67000

² Department of Electrical Industrial Technology, Faculty of Agricultural and Industrial Technology, Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun 67000

* Corresponding author.

E-mail: chaisit.w@pcru.ac.th; Telephone: 09-1839-6689

วันที่รับบทความ 17 มิถุนายน 2563; วันแก้ไขบทความครั้งที่ 1 23 กรกฎาคม 2563; วันแก้ไขบทความครั้งที่ 2 7 ตุลาคม 2563;

วันที่ตอบรับบทความ 23 มกราคม 2564

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการประเมินความสามารถการรองรับโหลดและกำลังการผลิตไฟฟ้าข้ามพื้นที่ควบคุมด้วยเทคนิคการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบทำซ้ำภายใต้การพิจารณาการละเมิดข้อจำกัดค่าควบคุมของระบบ โดยวัตถุประสงค์ในการนำเสนอเทคนิคนี้เพื่อศึกษาประเมินขีดความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิต รวมถึงการกำหนดพื้นที่วิกฤตของระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อใช้ในการปรับปรุงความเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งการประเมินความสามารถระบบในการศึกษานี้ได้กำหนดการศึกษาไว้ 3 กรณีซึ่งประกอบด้วยกรณีแรกคือขีดความสามารถในการรองรับการเพิ่มขึ้นของโหลดในระบบขณะที่กำลังการผลิตคงที่ กรณีที่สองคือขีดความสามารถในการรองรับการลดลงของโหลดขณะที่กำลังการผลิตคงที่ และกรณีสุดท้ายคือขีดความสามารถในการรองรับการลดลงของกำลังผลิตในระบบขณะที่โหลดคงที่ ในการศึกษาได้ใช้ระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยเป็นระบบฐานในการศึกษาเพื่อนำเสนอเทคนิคและกระบวนการศึกษาการประเมินความสามารถของระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ โดยระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยมีกำลังผลิตอยู่ที่ 27,443.75 MW โหลดในระบบอยู่ที่ 26,848.58 MW และความสูญเสียในระบบอยู่ที่ 595.17 MW โดยค่าจำกัดการละเมิดของระบบในการประเมินจะควบคุมแรงดันไฟฟ้าที่ 0.90-1.10 p.u. และภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานที่ 105 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยที่ใช้ในการศึกษานี้ได้แบ่งระบบออกเป็น 7 พื้นที่ควบคุมย่อย โดยผลการศึกษานี้สามารถทำให้ทราบถึงขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังการผลิตไฟฟ้าข้ามพื้นที่ควบคุมย่อยโดยพบว่าพื้นที่ระบบไฟฟ้ากำลังภาคตะวันออกเฉียงเหนือสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตไฟฟ้าข้ามพื้นที่ควบคุมได้น้อยกว่าระบบอื่น นอกจากนี้ผลการศึกษายังสามารถระบุพื้นที่ที่วิกฤตด้านแรงดันและพื้นที่ที่เกิดความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าไหลสูงสุดซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญเพื่อใช้ในการปรับปรุงความเสถียรภาพระบบไฟฟ้ากำลัง

คำสำคัญ

การเปลี่ยนแปลงโหลดระบบไฟฟ้ากำลัง กำลังการผลิตไฟฟ้าข้ามพื้นที่ควบคุม การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบทำซ้ำ พื้นที่วิกฤต

Abstract

This article presents assessment of power system loading and zonal to zonal power transfer capability with repeated power flow calculation technique under consideration violation limits of system control. The aim of this technique is capability assessment of power system to support load and generation changing include defining critical areas to improve the power system stability. The assessment in this study is defined in 3 case studies. The first case study is the capacity assessment for support the increase of the load in the system while the generation capacity is stable. The second case study is the capacity assessment for support the decrease of the load in the system while the generation capacity is stable and the last case study is the capacity assessment for support the decrease of the generation in the system while the load is stable. This study uses the Thailand power system for base case system to present the techniques and process for the capacity assessment of the large power system. The base case system has total generation capacity 27,443.75 MW, total load in the system 26,848.58 MW and the total power loss 595.17 MW. The violation limits of the system for the assessment are set the voltage at 0.90-1.10 p.u. and the loading percentage of the power transfer equipment at 105 percent. The Thailand power system in this study is divided into 7 subsystems, which the results are shown the capacity to support power system loading and zonal to zonal power transfer in each subsystem. The study results have found that the Northeastern power system or area 2 is able to handle the least loading and have less zonal to zonal power transfer capability than other systems. Also, the study results can identify the critical voltage areas and the congestion areas which is important data to improve the power system stability

Keywords

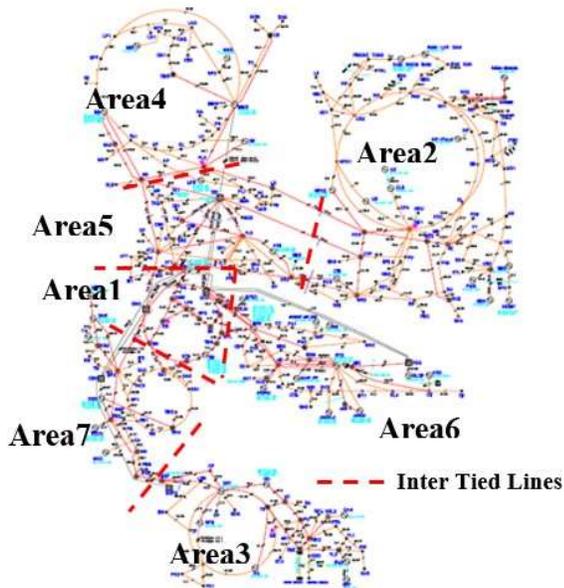
power system loading; zonal to zonal power transfer; repeated power flow calculation; critical area

1. คำนำ

ในการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังสิ่งสำคัญที่สุดคือข้อมูลของค่าขีดจำกัดของระบบเพื่อป้องกันการควบคุมไม่ให้ระบบเกิดการละเมิดข้อจำกัดของค่าควบคุม โดยค่าจำกัดในการควบคุมของระบบไฟฟ้ากำลังทั่วไปจะประกอบไปด้วยค่าจำกัดด้านแรงดันและค่าจำกัดด้านภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานซึ่งหากมีอุปกรณ์หรือมีบัสเกิดละเมิดข้อจำกัดการควบคุมก็อาจทำให้อุปกรณ์นั้นเสียหายและถ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญในการส่งผ่านพลังงานอาจเป็นสาเหตุทำให้ระบบเกิดความล้มเหลวได้ ด้วยเหตุนี้การศึกษาขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงของโหลดหรือกำลังผลิตในระบบจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในการศึกษาเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการควบคุมเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อระบบและเป็นสาเหตุนำระบบไปสู่ความล้มเหลวได้ [1-3] ซึ่งประกอบด้วยการศึกษาการป้องกันความมั่นคงของระบบไฟฟ้ากำลัง การเสนอการจัดการเพื่อไม่ให้เกิดความหนาแน่นของการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ และข้อเสนอแนะการปฏิบัติการควบคุมระบบช่วงโหลดสูงสุดซึ่งจะต้องมีแผนการป้องกันและยกระดับความมั่นคงระบบและ [4-6] ได้นำเสนอการปรับแรงดันโดยใช้ตัวชดเชย

กำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟในระบบ ในการศึกษานี้ได้ทำการศึกษาและนำเสนอเทคนิคในการประเมินขีดความสามารถของระบบในการรองรับโหลดโดยใช้หลักการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบทำซ้ำ [7] ซึ่งมีการนำมาใช้ในกระบวนการประเมินขีดความสามารถพร้อมมูลของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่แต่เป็นเพียงการพิจารณาผลการเพิ่มขึ้นของโหลดในระบบและ [8] ได้นำมาใช้ในการพิจารณาพื้นที่ที่เหมาะสมในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในระบบโดยใช้การคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบทำซ้ำ

ดังนั้นในการศึกษานี้ได้นำเสนอการประเมินความสามารถการเปลี่ยนแปลงโหลดระบบไฟฟ้ากำลังและกำลังการผลิตไฟฟ้าข้ามพื้นที่ควบคุมซึ่งทำให้ทราบถึงขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนโหลดและกำลังผลิตด้วยการคำนวณกำลังไฟฟ้าไหลแบบทำซ้ำภายใต้การวิเคราะห์ความเสถียรภาพแรงดัน ซึ่งในการศึกษาได้ใช้โปรแกรม Powerworld Simulator และใช้ระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยช่วงที่มีความต้องการสูงสุด [6] เป็นระบบฐาน โดยมีกำลังผลิตที่ประมาณ 27,443.75 MW และโหลดในระบบอยู่ที่ 26,848.58 MW ดังแสดงในรูปที่ 1 และในตารางที่ 1



รูปที่ 1 ภาพโดยรวมระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย (ระบบฐาน)

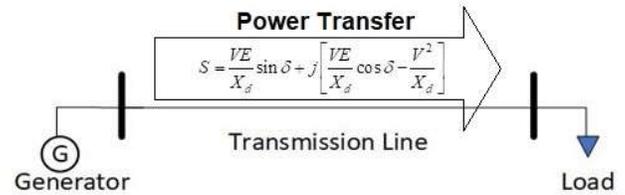
ตารางที่ 1 กำลังผลิตและปริมาณโหลดระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย

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

จากรูปที่ 1 แสดงภาพโดยรวมของระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยโดยได้กำหนดค่าจำกัดการละเมิดแรงดันไฟฟ้าของระบบอยู่ที่ 0.95 - 1.05 p.u. และค่าควบคุมภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานไว้ไม่เกิน 100 เปอร์เซ็นต์ โดยระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยนั้นได้แบ่งออกเป็น 7 พื้นที่ควบคุมย่อย ซึ่งแต่ละพื้นที่ควบคุมย่อยจะเชื่อมต่อด้วยสายส่ง ซึ่งเมื่อทำการศึกษากำลังผลิตและปริมาณโหลดในตารางที่ 1 พบว่าแต่ละพื้นที่ที่มีปริมาณกำลังผลิตและโหลดที่ไม่เท่ากันตั้งแต่การศึกษาศักยภาพในการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังผลิตของแต่ละพื้นที่ควบคุมย่อยจึงมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งเพื่อนำข้อมูลการศึกษาไปปรับปรุงระบบไฟฟ้ากำลัง

2. เสถียรภาพแรงดันไฟฟ้า

การส่งผ่านพลังงานในระบบไฟฟ้ากำลังจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไปยังโหลดผ่านสายส่งนั้นสามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าในระบบกำลังไฟฟ้าอย่างง่าย

จากรูปที่ 2 สมการกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่สามารถส่งผ่านพลังงานไปยังโหลดสามารถแสดงได้ดังสมการที่ 1 [9]

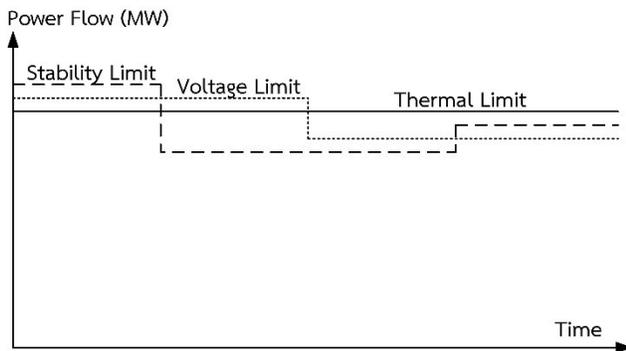
$$S = \frac{VE}{X_d} \sin \delta + j \left[\frac{VE}{X_d} \cos \delta - \frac{V^2}{X_d} \right] \quad (1)$$

กำหนดให้

V คือ แรงดันที่โหลดบัส, E คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัสเครื่องกำเนิดไฟฟ้า, δ คือ มุมโรเตอร์, X_d คือ ค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่ง

ดังนั้นความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตไฟฟ้าข้ามพื้นที่ควบคุมจะถูกกำหนดด้วยขีดจำกัดด้วยตัวแปรต่าง ๆ ของการส่งผ่านพลังงาน ซึ่งประกอบไปด้วยค่าแรงดันไฟฟ้าที่บัส ค่ามุมโรเตอร์เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและค่าอิมพีแดนซ์ของสายส่ง โดยในแต่ละช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบ ค่าจำกัดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา [10] ดังแสดงในรูปที่ 3

ซึ่งในการศึกษานี้จะพิจารณาขีดจำกัดความสามารถของระบบไฟฟ้ากำลังภายใต้ค่าจำกัดควบคุมแรงดันไฟฟ้าและขีดจำกัดภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงาน ซึ่งค่าจำกัดทั้งสองนี้จะถูกใช้ในการตรวจสอบขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตในระบบซึ่ง [11] ได้นำมาประยุกต์ในการศึกษาความสามารถคงเหลือและการจัดลำดับของโหลดบัสในระบบ



รูปที่ 3 ค่าจำกัดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าแต่ละช่วงเวลาการเปลี่ยนการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง

3. เทคนิคการประเมินความสามารถและกำหนดพื้นที่วิกฤตในระบบไฟฟ้ากำลัง

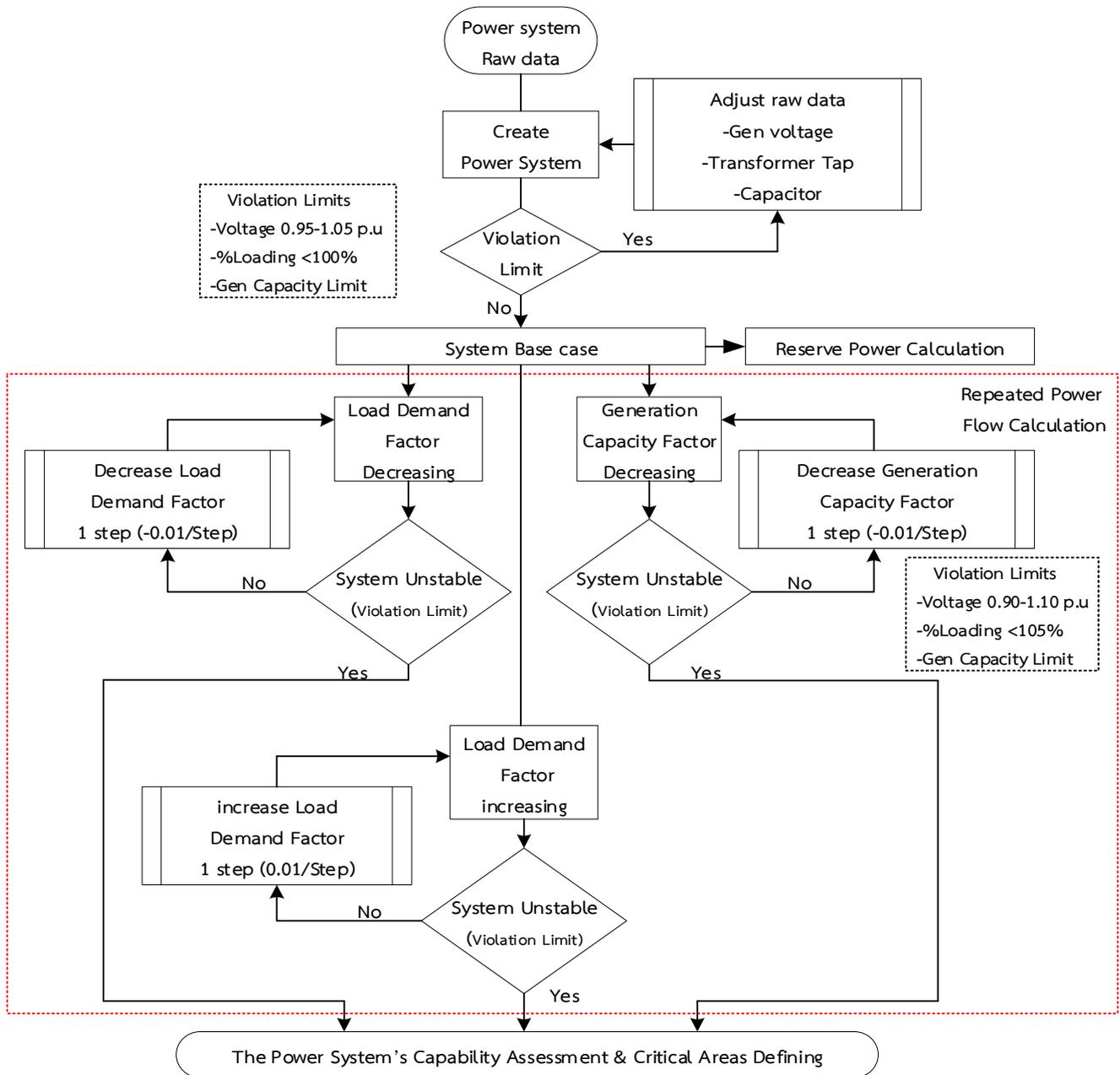
การประเมินความสามารถการเปลี่ยนแปลงโหลดระบบไฟฟ้ากำลังและกำลังการผลิตไฟฟ้าข้ามพื้นที่ควบคุมในบทความนี้จะพิจารณาจากความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตของระบบโดยใช้เทคนิคการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบทำซ้ำ โดยได้กำหนดกรณีการศึกษาขีดความสามารถไว้ 3 กรณีด้วยกันคือ การลดลงของโหลดในระบบ การเพิ่มขึ้นของโหลดในระบบ และการลดลงของกำลังการผลิตในระบบดังได้แสดงในรูปที่ 4

จากรูปที่ 4 แสดงขั้นตอนการประเมินความสามารถการเปลี่ยนแปลงโหลดระบบไฟฟ้ากำลังและกำลังการผลิตไฟฟ้าข้ามพื้นที่ควบคุมโดยในการศึกษาเริ่มจากการสร้างระบบไฟฟ้ากำลังเพื่อใช้เป็นระบบฐาน โดยค่าควบคุมของระบบไฟฟ้ากำลังในการศึกษานี้ได้กำหนดค่าควบคุมแรงดันไฟฟ้าอยู่ที่ 0.95-1.05 p.u. และค่าภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงาน น้อยกว่า 100 เปอร์เซ็นต์ และค่ากำลังผลิตไฟฟ้าของแต่ละเครื่องไม่เกินค่ากำลังการผลิตตามสัญญาการซื้อขายของแต่ละโรงไฟฟ้ารวมถึงเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่บัสอ้างอิงต้องจ่ายกำลังให้เป็นไปตามสัญญาซื้อขายของเครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้น เช่นเดียวกัน หากระบบมีการละเมิดค่าควบคุมก็จะทำการปรับค่าของอุปกรณ์ในระบบเช่น การปรับแรงดันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แท้ปของหม้อแปลงไฟฟ้า และค่าคาปาซิเตอร์ จนกระทั่งระบบไม่มีการละเมิดค่าควบคุม ก็จะได้ระบบฐานในการศึกษา ซึ่งการกำหนดบัสอ้างอิงต้องไม่อยู่ในพื้นที่ที่ต้องการประเมินและ

เป็นเครื่องที่กำลังผลิตสูงสุด ซึ่งในการศึกษานี้ได้ใช้ข้อมูลระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยเป็นระบบฐานในการศึกษาโดยข้อมูลดังกล่าวจะนำไปคำนวณเพื่อศึกษาขีดความสามารถสูงสุดในการจ่ายกำลังไฟฟ้าและกำลังผลิตไฟฟ้าสำรองในระบบ สำหรับการประเมินขีดความสามารถการรองรับการเปลี่ยนแปลงของโหลดและกำลังการผลิตในระบบสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่สามารถใช้เทคนิคการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบทำซ้ำโดยได้กำหนดไว้ 3 กรณี กรณีแรกคือการลดลงของโหลดในพื้นที่, กรณีที่สองคือการเพิ่มขึ้นของโหลดในพื้นที่ และกรณีที่สามคือการลดลงของกำลังการผลิตในพื้นที่ ซึ่งในการทดสอบจะปรับเปอร์เซ็นต์หรือแฟคเตอร์ (Factor) ในการเพิ่มหรือลดปริมาณโหลดหรือกำลังการผลิตในแต่ละระบบย่อยที่ต้องการศึกษาครั้งละ 1 เปอร์เซ็นต์ (0.01 Factor) ด้วยอัตราคงที่ โดยจะทำการรันระบบไฟฟ้ากำลังทั้งระบบต่อการปรับลดหรือเพิ่มค่าเปอร์เซ็นต์ 1 ครั้ง สำหรับการปรับการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของปริมาณโหลดหรือกำลังการผลิตในระบบจะทำการปรับจนกระทั่งระบบเกิดการละเมิดค่าควบคุมที่ตั้งไว้ โดยที่ไม่มีการปรับแต่งค่าใดๆในระบบ ซึ่งในขั้นตอนนี้ในการศึกษาได้กำหนดค่าความเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าระบบอยู่ที่ 0.90- 1.10 p.u. ค่ากำหนดภาระของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานอยู่ที่ 105 เปอร์เซ็นต์ จากนั้นจึงนำผลการศึกษาทำการวิเคราะห์ความสามารถของระบบไฟฟ้ากำลัง

4. ผลการศึกษา

ผลการศึกษาได้ทำการศึกษาเพื่อประเมินกำลังไฟฟ้าสำรองและพิจารณาขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบย่อย นอกจากนี้ผลการศึกษาแต่ละกรณีจะทำการวิเคราะห์พื้นที่วิกฤต ซึ่งพื้นที่วิกฤตหมายถึงพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบและละเมิดค่าควบคุมของระบบด้านแรงดันและภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงาน



รูปที่ 4 ขั้นตอนการศึกษาการประเมินความสามารถระบบไฟฟ้ากำลัง

4.1 ผลการศึกษากำลังการผลิตและกำลังไฟฟ้าสำรองของระบบ

ผลการศึกษาสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 โดยผลการศึกษาจะพิจารณาเฉพาะกำลังไฟฟ้าคงเหลือของโรงไฟฟ้าในระบบภายใต้การพิจารณากำลังการผลิตตามสัญญาซื้อขายของแต่ละโรงไฟฟ้าซึ่งพบว่าขีดความสามารถกำลังการผลิตโดยรวมของระบบอยู่ที่ 33,596 MVA กำลังไฟฟ้าส่งจ่ายอยู่ที่ 28,728 MVA และกำลังไฟฟ้าสำรองอยู่ที่ 4,868 MVA โดยใน

ผลศึกษานั้นได้แสดงให้เห็นถึงกำลังผลิตและปริมาณกำลังไฟฟ้าสำรองของแต่ละพื้นที่โดยพบว่า กำลังการผลิตไฟฟ้าในระบบพื้นที่ 6 มีกำลังผลิตสูงสุดอยู่ที่ 12,412 MVA และมีกำลังไฟฟ้าสำรองสูงสุดอยู่ที่ 2,219 MVA และระบบไฟฟ้ากำลังพื้นที่ 3 มีกำลังผลิตต่ำสุดอยู่ที่ 2,042 MVA และในส่วนของกำลังไฟฟ้าสำรองที่ต่ำสุดอยู่ที่พื้นที่ 1 โดยมีกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 12 MVA

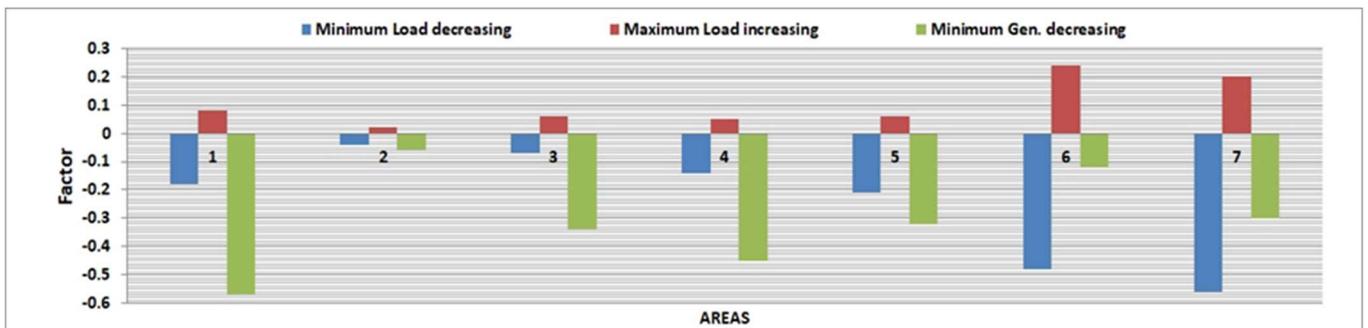
ตารางที่ 2 การประเมินกำลังผลิตของระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทย

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

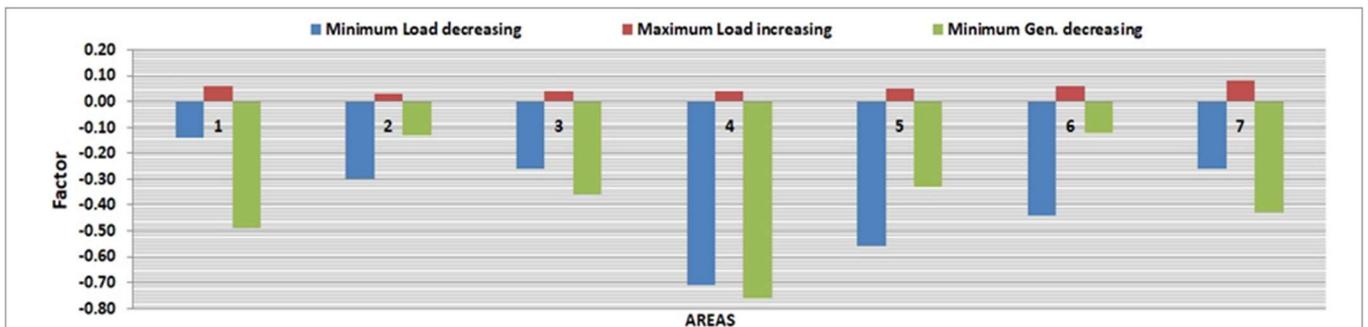
4.2 ผลการศึกษาขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบย่อย

ผลการศึกษาขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบย่อย

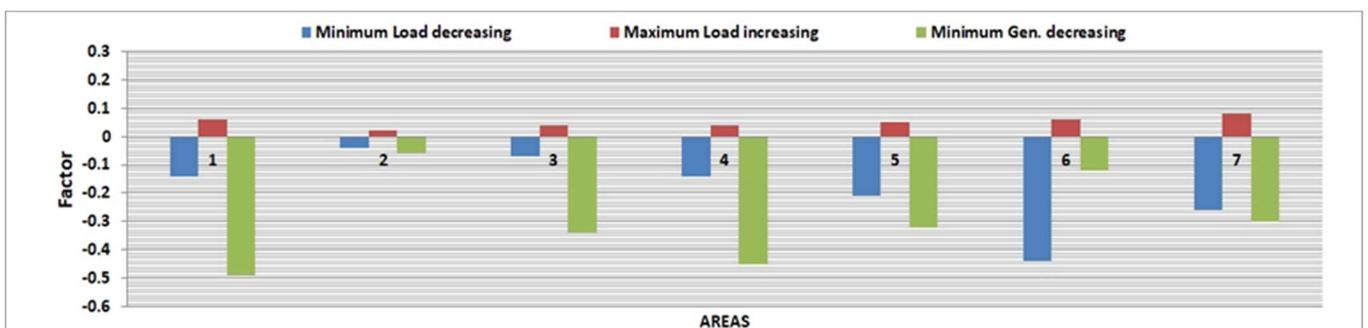
ได้กำหนดค่าความเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าระบบอยู่ที่ 0.90-1.10 เอร์ยูนิต ค่าภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานอยู่ที่ 105 เอร์เซ็นต์ และค่าขีดจำกัดกำลังการผลิตไฟฟ้าของแต่ละเครื่องไม่เกินค่ากำลังการผลิตตามสัญญาการซื้อขายของแต่ละโรงไฟฟ้าซึ่งผลการศึกษาสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 5 - 7



รูปที่ 5 ขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบเมื่อพิจารณาเฉพาะค่าจำกัดด้านแรงดัน



รูปที่ 6 ขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบเมื่อพิจารณาเฉพาะค่าจำกัดด้านภาระโหลด



รูปที่ 7 ขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบเมื่อพิจารณาค่าจำกัดด้านแรงดันและภาระโหลด

จากผลการศึกษารูปที่ 5 แสดงขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบเมื่อพิจารณาเฉพาะค่าจำกัดด้านแรงดันซึ่งได้ตั้งค่าไว้ที่ 0.90-1.10 p.u. โดยผลการศึกษาพบว่าระบบไฟฟ้ากำลังพื้นที่ 2 มีความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตในระบบได้ต่ำกว่าพื้นที่อื่น ๆ โดยสามารถรองรับการลดลงของโหลดได้เพียง 3 เพอร์เซ็นต์ สามารถรองรับการเพิ่มขึ้นของโหลดได้เพียง 2 เพอร์เซ็นต์ และสามารถรองรับการลดลงของกำลังผลิตในระบบได้เพียง 6 เพอร์เซ็นต์ สำหรับพื้นที่ที่มีความสามารถในการรองรับการลดลงของโหลดได้สูงสุดคือพื้นที่ 7 โดยสามารถรองรับได้ 56 เพอร์เซ็นต์ สำหรับพื้นที่ที่มีความสามารถในการรองรับการเพิ่มขึ้นของโหลดได้สูงสุดคือพื้นที่ 6 โดยสามารถรองรับได้ 24 เพอร์เซ็นต์ และพื้นที่ที่สามารถรองรับการลดลงของกำลังผลิตสูงสุดคือพื้นที่ 1 โดยสามารถรองรับได้เพียง 57 เพอร์เซ็นต์ และผลการศึกษาในรูปที่ 6 ขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตเมื่อพิจารณาค่าจำกัดด้านภาระโหลดของอุปกรณ์ (105%) พบว่าพื้นที่ที่มีความสามารถในการรองรับการลดลงของโหลดได้ต่ำสุดคือพื้นที่ 1 โดยสามารถรองรับได้ 14 เพอร์เซ็นต์สำหรับพื้นที่ที่มีความสามารถในการรองรับการเพิ่มขึ้นของโหลดได้ต่ำสุดคือพื้นที่ 2 โดยสามารถรองรับได้ 3 เพอร์เซ็นต์ และสำหรับพื้นที่ที่มีความสามารถในการรองรับการลดลงของกำลังผลิตได้ต่ำสุดคือพื้นที่ 6 โดยสามารถรองรับได้เพียง 12 เพอร์เซ็นต์สำหรับพื้นที่ที่มีความสามารถในการรองรับการลดลงของโหลดได้สูงสุดคือ พื้นที่ 4 โดยสามารถรองรับการลดลงได้ 71 เพอร์เซ็นต์ สำหรับพื้นที่ที่มีความสามารถในการรองรับการเพิ่มขึ้นของโหลดได้สูงสุดคือพื้นที่ 7 โดยสามารถรองรับได้ 8 เพอร์เซ็นต์และสำหรับพื้นที่ที่

ความสามารถรองรับการลดลงของกำลังผลิตได้สูงสุดคือพื้นที่ 4 โดยสามารถรองรับได้เพียง 76 เพอร์เซ็นต์ สำหรับผลการศึกษาในรูปที่ 7 แสดงขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบเมื่อพิจารณาค่าจำกัดด้านแรงดันซึ่งได้ตั้งค่าไว้ที่ 0.90-1.10 p.u. และภาระโหลดโดยได้ตั้งค่าไว้ที่ 105% โดยพบว่าพื้นที่ 2 มีขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงต่ำกว่าพื้นที่อื่น โดยสามารถรองรับการลดลงของโหลดได้เพียง 3 เพอร์เซ็นต์ สามารถรองรับการเพิ่มขึ้นของโหลดได้เพียง 2 เพอร์เซ็นต์และสามารถรองรับการลดลงของกำลังผลิตได้เพียง 6 เพอร์เซ็นต์

4.3 ผลการศึกษาพื้นที่วิกฤตภายใต้การเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบย่อย

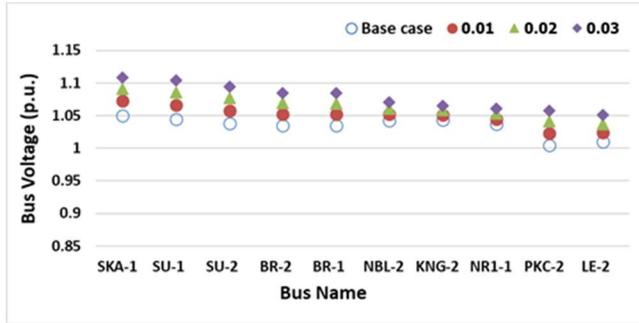
ผลการศึกษาพื้นที่วิกฤตภายใต้การเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตของแต่ละระบบย่อยนั้นสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3 และตารางที่ 4 ซึ่งได้แสดงข้อบ่งชี้ของสถานีไฟฟ้าจากฐานข้อมูลระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทย โดยผลการศึกษาในตารางที่ 3 แสดงบ่งชี้วิกฤตของแต่ละพื้นที่ที่ควบคุมย่อยเมื่อพิจารณาค่าจำกัดด้านแรงดัน (0.90-1.10 p.u.) และผลการศึกษาในตารางที่ 4 แสดงบ่งชี้วิกฤตที่อุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานเชื่อมต่ออยู่ที่ได้รับภาระโหลดสูงของแต่ละพื้นที่ที่ควบคุมย่อยเมื่อพิจารณาค่าจำกัดด้านภาระโหลด (105%) ซึ่งเป็นพื้นที่จำเป็นในการวางแผนปรับปรุงการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังผลิตโดยตัวอย่างรูปแบบการเปลี่ยนแปลงปริมาณโหลดและกำลังผลิตในพื้นที่ที่มีความสามารถในการรองรับต่ำสุด ภายใต้การพิจารณาค่าจำกัดด้านแรงดันสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8-10 และภายใต้ค่าจำกัดภาระโหลดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 11-13

ตารางที่ 3 พื้นที่หรือบ่งชี้วิกฤตด้านแรงดันของระบบสูงสุดในแต่ละพื้นที่ภายใต้การพิจารณาค่าจำกัดด้านแรงดัน (0.90-1.10 p.u.)

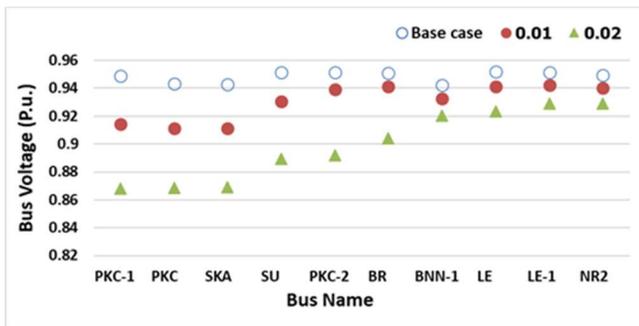
Case Study	Area1	Area2	Area3	Area4	Area5	Area6	Area7
Minimum Load Decreasing	PKC	SKA_1	SRT_C10	CTG-2	CBD_2	TR_1	SNA_2
Maximum Load increasing	ON_1J	PKC_1	PK2_2	CTG_1	CBD_1	AP_1J	PB_2
Minimum Gen. Decreasing	THG_1	PKC	RN_1	PKC	THG_1	THG_1	THG_1

ตารางที่ 4 พื้นที่หรือข้อจำกัดด้านความหนาแน่นกำลังไฟฟ้าของระบบสูงสุดภายใต้การพิจารณาค่าจำกัดด้านภาระโหลด (105%)

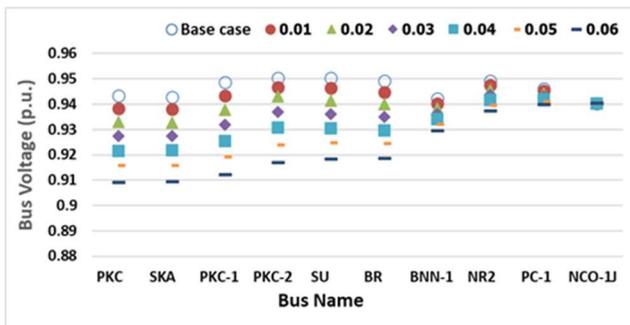
Case Study	Area1	Area2	Area3	Area4	Area5	Area6	Area7
Min. Load Decreasing	BB, TA1	TL3, KKI	MM3_T12,MM3	CTG, CTG2	BB, TA1	BB, TA1	BB, TA1
Max. Load increasing	BN, BN_3J	LE1, LE	SRT_C10, SRT	PC1, PC	AT2,AT2_1J	AP, AP_1J	SN3_1, SN3
Min. Gen. Decreasing	NCO,NCO2J	BB, TA1	PK2-1, PK2	WNC30,WNSPL	AT2,AT2_1J	NCO,NCO2J	WNC30,WNSPL



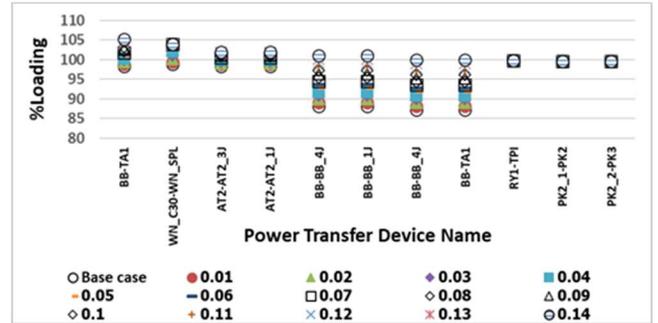
รูปที่ 8 ลำดับข้อจำกัดด้านแรงดันในพื้นที่ 2 กรณีลดโหลด (ต่ำสุด)



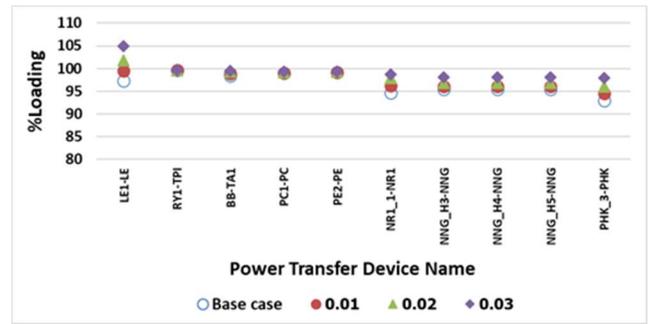
รูปที่ 9 ลำดับข้อจำกัดด้านแรงดันในพื้นที่ 2 กรณีเพิ่มโหลด (ต่ำสุด)



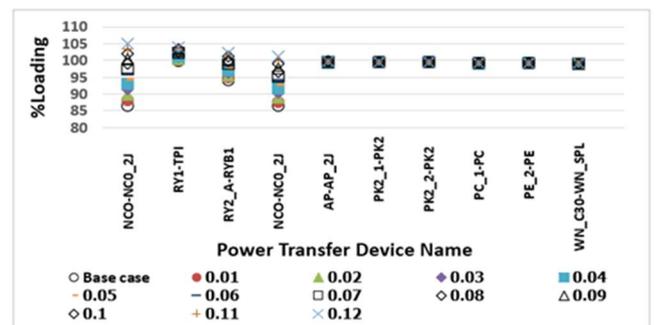
รูปที่ 10 ลำดับข้อจำกัดด้านแรงดันในพื้นที่ 2 กรณีลดกำลังผลิต (ต่ำสุด)



รูปที่ 11 ลำดับข้อจำกัดด้านภาระโหลดในพื้นที่ 1 กรณีลดโหลด (ต่ำสุด)



รูปที่ 12 ลำดับข้อจำกัดด้านภาระโหลดในพื้นที่ 2 กรณีเพิ่มโหลด (ต่ำสุด)



รูปที่ 13 ลำดับข้อจำกัดด้านภาระโหลดพื้นที่ 6 กรณีลดกำลังผลิต (ต่ำสุด)

จากรูปที่ 8 ได้แสดงลำดับข้อวิฤตด้านแรงดัน 10 ลำดับแรกในพื้นที่ 2 กรณีศึกษาความสามารถในการรองรับการลดโหลดในระบบได้ต่ำกว่าพื้นที่อื่น ๆ ซึ่งได้แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันบัส โดยพบว่าบัส SKA_1 เป็นบัสที่วิฤตด้านแรงดันสูงสุดหากมีการลดโหลดในระบบสภาวะปกติที่ยังไม่มีการปรับปรุง สำหรับรูปที่ 9 ได้แสดงลำดับข้อวิฤตด้านแรงดัน 10 ลำดับแรกในพื้นที่ 2 กรณีศึกษาความสามารถในการรองรับการเพิ่มขึ้นของโหลดในระบบได้ต่ำกว่าพื้นที่อื่น ๆ ซึ่งได้แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันบัส โดยพบว่าบัส PKC-1 เป็นบัสที่วิฤตด้านแรงดันต่ำสุดหากมีการเพิ่มขึ้นของโหลดในระบบสภาวะปกติที่ยังไม่มีการปรับปรุง และรูปที่ 10 ได้แสดงลำดับข้อวิฤตด้านแรงดัน 10 ลำดับแรกในพื้นที่ 2 กรณีที่ระบบสามารถรองรับการลดกำลังผลิตในระบบได้ต่ำกว่าพื้นที่อื่น ๆ ซึ่งได้แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันบัส โดยพบว่าบัส PKC เป็นบัสที่วิฤตด้านแรงดันต่ำสุดหากมีการลดกำลังผลิตในระบบสภาวะปกติที่ยังไม่มีการปรับปรุง ดังนั้นจากผลการศึกษา พบว่าในกรณีโหลดในระบบลดลงจะส่งผลให้แรงดันในระบบเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งทำให้เกิดการละเมิดด้านแรงดันสูง และในกรณีโหลดในระบบเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้แรงดันในระบบลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งทำให้เกิดการละเมิดด้านแรงดันต่ำ สำหรับกรณีการลดกำลังผลิตในระบบจะส่งผลให้แรงดันในระบบลดลงเรื่อย ๆ จนทำให้เกิดการละเมิดด้านแรงดันต่ำ

จากรูปที่ 11 ได้แสดงลำดับข้อวิฤตโดยพิจารณาด้านภาระโหลด 10 ลำดับแรกในพื้นที่ 1 กรณีที่ระบบสามารถรองรับการลดโหลดในระบบได้ต่ำกว่าระบบอื่น ๆ ซึ่งได้แสดงการเปลี่ยนแปลงของภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานที่วิฤตสูงสุดที่เชื่อมต่อกับบัส โดยพบว่าอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับบัส BB และบัส TA1 หากมีการลดของโหลดในระบบสภาวะปกติที่ยังไม่มีการปรับปรุง สำหรับรูปที่ 12 ได้แสดงลำดับข้อวิฤตโดยพิจารณาด้านภาระโหลด 10 ลำดับแรกในพื้นที่ 2 กรณีที่ระบบสามารถรองรับการเพิ่มโหลดในระบบได้ต่ำสุด ซึ่งได้แสดงการเปลี่ยนแปลงของภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานที่วิฤตสูงสุดที่เชื่อมต่อกับบัส โดยพบว่าอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับบัส LE1 และบัส LE หากมีการเพิ่มของโหลดในระบบสภาวะปกติที่ยังไม่มีการปรับปรุง และรูปที่ 13 ได้แสดงลำดับข้อวิฤตโดยพิจารณาด้านภาระโหลด 10 ลำดับแรกใน

พื้นที่ 6 กรณีที่ระบบสามารถรองรับการลดกำลังการผลิตในระบบได้ต่ำสุด ซึ่งได้แสดงการเปลี่ยนแปลงของภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานที่วิฤตสูงสุดที่เชื่อมต่อกับบัส โดยพบว่าอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับบัส NCO และบัส NCO_2J หากมีการลดของกำลังการผลิตในระบบสภาวะปกติที่ยังไม่มีการปรับปรุง ดังนั้นจากผลการศึกษาพบว่าทั้งกรณีโหลดในระบบลดลง กรณีโหลดในระบบเพิ่มขึ้น และกรณีการลดกำลังผลิตในระบบ จะส่งผลให้ภาระโหลดของสายส่งบางสายส่งในระบบเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งทำให้เกิดการละเมิดด้านภาระโหลดจากการเปลี่ยนแปลงการไหลของกำลังไฟฟ้าในระบบที่เกิดขึ้น

5. สรุปผลการศึกษา

ในบทความนี้ได้นำเสนอการประเมินความสามารถการเปลี่ยนแปลงโหลดและกำลังการผลิตไฟฟ้าข้ามพื้นที่ควบคุมสำหรับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ ซึ่งในการศึกษาได้ใช้เทคนิคการคำนวณการไหลของกำลังไฟฟ้าแบบทำซ้ำโดยพิจารณาผลด้วยกัน 3 กรณี โดยกรณีแรกคือขีดความสามารถในการรองรับการลดลงของโหลดในระบบขณะที่กำลังผลิตคงที่ กรณีที่สองคือขีดความสามารถในการรองรับการเพิ่มขึ้นของโหลดขณะที่กำลังผลิตคงที่ และกรณีสุดท้ายคือขีดความสามารถในการรองรับการลดลงของกำลังผลิตในระบบขณะที่โหลดคงที่ ซึ่งการปรับเปอร์เซ็นต์หรือแฟคเตอร์ซึ่งในการศึกษาจะปรับเพิ่มหรือลดครั้งละ 1 เปอร์เซ็นต์ (0.01 Factor) ของปริมาณโหลดหรือกำลังการผลิตในระบบ ซึ่งจะปรับจนกระทั่งระบบเกิดการละเมิดค่าควบคุมที่ตั้งไว้โดยไม่มี การปรับปรุงระบบ หากเกิดการละเมิดขึ้นก็จะหยุดการคำนวณ ซึ่งผลการคำนวณก็จะทำให้ทราบขีดความสามารถของระบบ และพื้นที่ที่วิฤตในระบบที่ต้องการปรับปรุงในระบบ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถการถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าในระบบ ซึ่งขีดความสามารถของระบบจะขึ้นกับการกำหนดค่าควบคุมระบบ ซึ่งประกอบด้วยค่าความเสถียรภาพแรงดันไฟฟ้าระบบ และค่ากำหนดภาระโหลดของอุปกรณ์ส่งผ่านพลังงาน ซึ่งระบบที่มีความยืดหยุ่นสูงก็สามารถกำหนดค่าควบคุมที่สูงขึ้นได้

ในส่วนค่าขีดความสามารถในการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในระบบจะประเมินจากค่ากำลังการผลิตที่ซื้อขายตามสัญญาซื้อขายจริงของโรงไฟฟ้าแต่ละโรงไฟฟ้าที่ส่งค่าความพร้อม

ล่วงหน้าให้กับหน่วยงานควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังในแต่ละวัน โดยเทคนิคที่นำเสนอนี้ไม่ใช่เพียงใช้เฉพาะระบบกำลังไฟฟ้าประเทศไทยเท่านั้นยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบไฟฟ้าทั่วไปได้ซึ่งเหมาะสมและง่ายต่อการศึกษาขีดความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าและปริมาณโหลดเบื้องต้นกับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่และมีการแบ่งระบบไฟฟ้ากำลังออกเป็นระบบย่อยต่าง ๆ โดยเฉพาะช่วงที่ระบบมีปริมาณโหลดสูงสุด ซึ่งเทคนิคนี้จะทำให้ทราบขีดความสามารถของระบบในแต่ละระบบย่อยเบื้องต้นได้และรวดเร็วเพื่อนำข้อมูลไปปรับปรุงในการวางแผนการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง โดยเฉพาะการวางแผนปรับปรุงพื้นที่ที่วิกฤตในระบบเพื่อเพิ่มความเสถียรภาพให้กับระบบไฟฟ้ากำลัง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Althowibi FA, Mustafa MW. 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.
- [2] Ravindra S, Reddy VCV, Sivanagaraju S. Power system severity analysis under generator outage condition. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*. 2015; 4(1):317-323.
- [3] Shu Y, 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):334-339.
- [4] Chompoo-inwai C, Yingvivanapong C, Faungfoo P, Lee WJ. Transmission congestion management during transition period of electricity deregulation in Thailand. *IEEE Transaction on Industrial Application*. 2007;43(6): 1483-1490.
- [5] Yu F, Booth C, Dysko A, Hong Q. Wide-area backup protection and protection performance analysis scheme using PMU data. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*. 2009;110:630-641.
- [6] Wannoi C, Khumdee A, Wannoi N, Boonkun C, 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.
- [7] Sadiq A, Nwohu M. Evaluation of inter – area available transfer capability of Nigeria 330KV network. *International Journal of Engineering and Technology*. 2013; 3(2):148-158.
- [8] Wannoi C, Khumdee A, Wannoi N, 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.
- [9] Kundur P, Balu NJ, Luuby MG. Power system stability and control. McGraw-Hill. 1994.
- [10] Wannoi C, Wannoi N, Boonkhun C, Temiyasathit C, 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.
- [11] Tella TG, Sitati S, Nyakoe GN. 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.