

การกำหนดและจัดลำดับสายส่งรองเพื่อรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าและการสั่งการ ที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง

ชัยสิทธิ์ วันน้อย^{1*} และ นฤมล วันน้อย²

¹สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

²สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์

*cwanno@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการกำหนดและจัดลำดับสายส่งรองเพื่อรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าและการสั่งการที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังด้วยการวิเคราะห์ความไวกำลังไฟฟ้าไหล การวิเคราะห์ความไวกำลังไฟฟ้าในบทความนี้จะพิจารณาค่าแพคเตอร์การกระจายกำลังไฟฟ้าหลังสายส่งถูกปลดออกเพื่อจัดลำดับสายส่งรอง สำหรับการสั่งการที่เหมาะสมของระบบจะพิจารณาจากความสามารถส่งผ่านพลังงานพร้อมมูลของสายส่งรองโดยพิจารณาค่าจำกัดด้านความร้อนของสายส่ง ในการศึกษาได้มุ่งเน้นศึกษาการกำหนดและจัดลำดับสายส่งรองสำหรับสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่และได้ใช้ระบบไฟฟ้ากำลังปรับปรุงประเทศไทยเป็นระบบฐาน ซึ่งระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยได้แบ่งออกเป็น 7 ระบบย่อย โดยมีสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ 27 สายส่ง ผลการศึกษาพบว่าหากสายส่งเหล่านี้หากถูกปลดออกจะส่งผลให้เกิดปัญหาความหนาแน่นพลังงานขึ้นในระบบจากการที่กลุ่มสายส่งรองได้รับภาระโหลดเพิ่มขึ้น และผลการศึกษาสามารถกำหนดและชี้ให้เห็นถึงเส้นทางการกระจายกำลังไฟฟ้าผ่านสายส่งรองเส้นต่างๆ ซึ่งข้อมูลการกระจายกำลังไฟฟ้าเหล่านี้สามารถนำมาจัดลำดับสายส่งรองเพื่อใช้ในการวางแผนสำหรับการสั่งการที่เหมาะสมในการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง

คำสำคัญ: การจัดลำดับ สายส่งรอง การส่งผ่านกำลังไฟฟ้า การสั่งการ การควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง

The Secondary Transmission Lines Defining and Ranking to Support Power Transfer and Proper Dispatch for Power System Control

Chaisit Wannoi^{1,*} and Narumon Wannoi²

¹ computer technology department, faculty of agricultural and industrial technology,
phetchabun rajabhat university

² electrical industrial technology department, faculty of agricultural and industrial technology,
phetchabun rajabhat university

*cwannoi@gmail.com

Abstract

This paper presents the secondary transmission lines defining and ranking to support power transfer and proper dispatch for power system control with power flow sensitivity analysis. The power sensitivity analysis in this paper has considered the Line Outage Distribution Factor (LODF) to rank the secondary transmission line. For, a proper dispatch has considered the Available Transfer Capability (ATC) of the secondary transmission lines by considering the thermal limit. In this study has focused the secondary transmission lines defining and ranking for inter tied-lines and used a modified Thailand power system as the base system. A modified Thailand power system is divided into 7 sub-systems connected with 27 inter tied-lines. The study results show that if these inter tied-lines are outage, it will make the secondary transmission lines receive an additional load which it cause power congestion problem in the system. The study results can define and point out the power distribution routes through the secondary transmission lines. These power distribution data can be used to rank the secondary transmission lines for proper dispatch planning in power system control.

Keywords: ranking, secondary transmission line, power transfer, dispatch, power system control

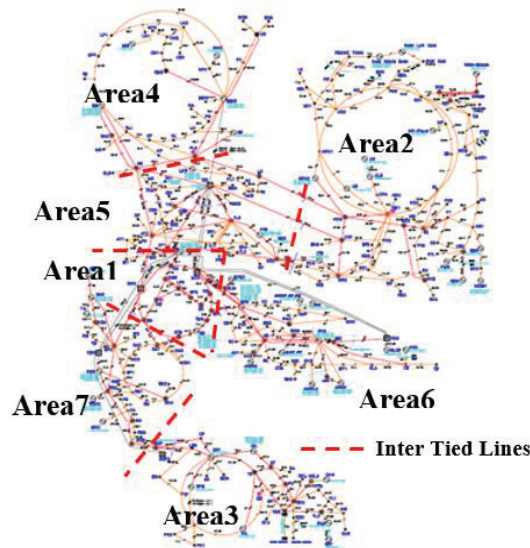
1. บทนำ

การส่งผ่านพลังงานในระบบไฟฟ้ากำลังนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาตามสภาวะความต้องการและปริมาณการเปลี่ยนแปลงของโหลด ซึ่งการส่งผ่านพลังงานจะถูกส่งผ่านสายส่งเป็นหลักซึ่งหากสายส่งที่มีความสำคัญในการส่งผ่านพลังงานถูกปลดออกและสายส่งรองจะทำหน้าที่รองรับปริมาณกำลังไฟฟ้าที่ถูกปลดออก หากสายส่งรองเหล่านี้ได้รับการโหลดเกินซึ่งจะส่งผลให้เกิดปัญหาความหนาแน่นการส่งผ่านพลังงานขึ้นในระบบ โดย (C. Chompoo-inwai et al., 2007;1483-1490) ได้ทำการนำเสนอรูปแบบการบริหารจัดการความแออัดในช่วงการเปลี่ยนถ่ายกำลังไฟฟ้าของประเทศไทยซึ่งเป็นวิธีการป้องกันผลกระทบไม่ให้เกิดความแออัดของกำลังไฟฟ้าขึ้นในระบบ และปัญหาความหนาแน่นการส่งผ่านพลังงานอาจเป็นสาเหตุทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังขาดความเสถียรภาพด้านแรงดันไฟฟ้าและเกิดความล้มเหลวได้ ซึ่งการประเมินความสามารถพร้อมมูล (ATC) ของสายส่งหลักเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอกับการนำไปวางแผนการป้องกันซึ่งในการควบคุมการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของสายส่งรองในระบบไฟฟ้ากำลังต้องเผื่อค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของสายส่งหลักภายใต้ระบบสูญเสียสายส่งจำนวนหนึ่งสายส่ง (Contingency n-1) ซึ่ง (T. Mandloi et al., 2014) ได้กล่าวถึงการศึกษาความมั่นคงของระบบไฟฟ้าและการวิเคราะห์ภาวะเหตุการณ์ฉุกเฉิน และ (A. A. Abdulrazzaq et al., 2015) ได้กล่าวถึงการจัดอันดับเหตุการณ์ฉุกเฉินของระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้ดัชนีประสิทธิภาพ และ (C. Wannoi et al., 2015) ได้นำเสนอการกำหนดสถานที่ที่เหมาะสมในการจัดวางอุปกรณ์ FACTS และการกำหนดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าการตอบสนองหลักเพื่อเพิ่มความมั่นคงให้กับมัลติไลนส์ภายใต้การวิเคราะห์

เหตุการณ์ฉุกเฉิน ดังนั้นในการศึกษานี้จึงได้นำเสนอวิธีการกำหนดและจัดลำดับความสำคัญสายส่งรองเพื่อรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ากรณีสายส่งหลักถูกปลดออกเพื่อเพิ่มความมั่นคงให้กับระบบไฟฟ้ากำลังภายใต้การศึกษาการวิเคราะห์ความไวกำลังไฟฟ้าไหล โดย (C. Wannoi et al., 2019:179-189) ได้กล่าวถึงวิธีการประเมินความสามารถพร้อมมูลของสายส่งแบบใหม่โดยพิจารณาขีดจำกัด การส่งจ่ายกำลังการผลิตพลังงานทดแทนโดยการวิเคราะห์ความไวของกำลังไฟฟ้าไหล สำหรับในการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นศึกษาแพ็คเกจการกระจายกำลังไฟฟ้าหลังสายส่งถูกปลดออก (LODF) การศึกษาได้ใช้โปรแกรม POWERWORLD ในการจำลองและวิเคราะห์ผลและใช้ระบบไฟฟ้ากำลังปรับปรุงประเทศไทย ปี 2019 (Energy policy and planning office ministry of energy-Thailand power development plan-2018) ในการศึกษา ซึ่งระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยนั้นแบ่งออกเป็น 7 ระบบย่อยด้วยกัน ซึ่งในแต่ละระบบย่อยจะเชื่อมต่อกันด้วยสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ (Inter Tied-Lines) โดย (A. Sadiq et al., 2013) ได้กล่าวถึงสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่โดยได้นำเสนอการประเมินความสามารถพร้อมมูลของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ของระบบไฟฟ้ากำลังในจังหวัดที่ระดับแรงดัน 330kV และสำหรับปริมาณกำลังการผลิตของระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 และภาพรวมของระบบไฟฟ้ากำลังสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1

ตารางที่ 1 กำลังผลิตและปริมาณโหลดประเทศไทย

พื้นที่ หรือ ระบบย่อย	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



ภาพที่ 1 ภาพโดยรวมระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทย

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

วัตถุประสงค์การวิจัยเพื่อนำเสนอแนวทางการกำหนดและจัดลำดับความสำคัญของสายส่งรองเพื่อรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้ากรณีสายส่งหลักถูกปลดออก พร้อมการประเมินความสามารถส่งผ่านพร้อมมูลของสายส่งเพื่อนำข้อมูลประกอบการวางแผนการสั่งการที่เหมาะสมในการควบคุมการลดผลกระทบความหนาแน่นการส่งผ่านพลังงานขึ้นในระบบไฟฟ้ากำลัง

3. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องการวิจัย

3.1 การวิเคราะห์ความไวกำลังไฟฟ้าไหล

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การวิเคราะห์ความไวกำลังไฟฟ้าไหลโดยใช้ค่าแฟกเตอร์การกระจายกำลังไฟฟ้าหลังสายส่งถูกปลดออก (LODF) ซึ่งสามารถเขียนสมการได้ดังสมการที่ (1)

$$d_{lk} = \frac{\Delta f_l}{f_k^{old}} \quad (1)$$

กำหนดให้ d_{lk} หมายถึง แฟกเตอร์การกระจายของกำลังไฟฟ้าของสายส่ง l หลังจากสายส่ง k ถูกปลด, Δf_l หมายถึง การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้า (MW) ในสายส่ง l หลังจากสายส่ง k ถูกปลด, f_k^{old} หมายถึง กำลังไฟฟ้าในสายส่ง k ก่อนถูกปลด

3.2 ความสามารถส่งผ่านพร้อมมูลของสายส่ง

การประเมินความสามารถการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ในบทความนี้ได้ใช้ข้อจำกัดการส่งผ่านพลังงานภายใต้ข้อจำกัดด้านความร้อนของสายส่งในรูปของค่าจำกัดในหน่วย MVA โดยสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2)

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

กำหนดให้ $Limit_{AMP}$ หมายถึง ค่าจำกัดในหน่วยแอมแปร์, $Limit_{MVA}$ หมายถึง ค่าจำกัดในหน่วย MVA, VN หมายถึง ค่าแรงดันไฟฟ้า (Nominal Voltage)

จากองค์การ (North American Electric Reliability Council (NERC)-Available Transfer Capability Definition and Determination-1996) ได้กำหนดค่าความสามารถส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยรวมของสายส่ง ดังสมการที่ (3)

$$TTC = ATC + TRM + (ETC + CBM) \quad (3)$$

โดยในการศึกษานี้จะไม่พิจารณาค่าส่วนเผื่อของ TRM และ CRM และใช้ข้อกำหนด NERC ATC terminology ได้กำหนดค่าของ committed Uses ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการ (4)

$$Committed_Uses = TRM + (ETC + CBM) \quad (4)$$

และการศึกษานี้ได้กำหนดการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด (TTC) มีค่าเท่ากับขีดความสามารถสูงสุดในหน่วยของ MVA และ ค่า Committed Uses มีค่าเท่ากับกำลังไฟฟ้าไหลจริงในระบบ ดังนั้นสามารถหาค่าของ ATC ได้ดังสมการที่ (5)

$$\%ATC = \%TTC - \%Committed_Uses \quad (5)$$

กำหนดให้

ATC หมายถึง ความสามารถพร้อมมูลในการส่งผ่านพลังงาน (Available Transfer Capability),

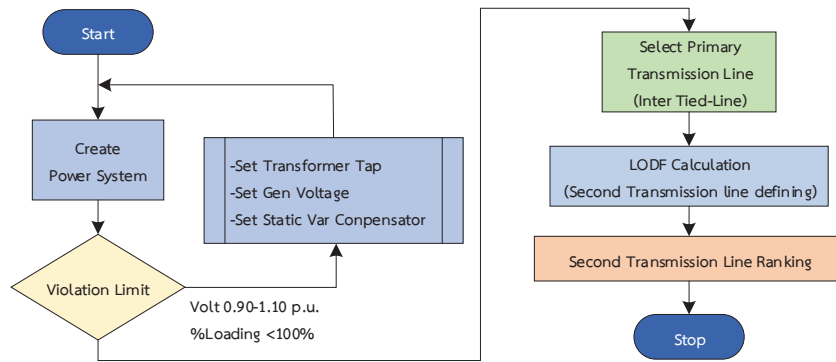
TTC หมายถึง ความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Total Transfer Capability),

ETC หมายถึง กำลังไฟฟ้า ณ สภาวะการทำงานปัจจุบันของระบบ (Existing Transfer Capability),

TRM หมายถึง กำลังส่งในระบบสายส่งที่สำรองเพื่อความมั่นคงและความเชื่อถือได้ (Transfer Reliability Margin),

CBM หมายถึง กำลังส่งที่สำรองเพื่อผลทางด้านความน่าเชื่อถือได้ของกำลังการผลิต (Capability Benefit Margin)

4. ขั้นตอนและขบวนการวิจัย



ภาพที่ 2 ขั้นตอนและขบวนการวิจัย

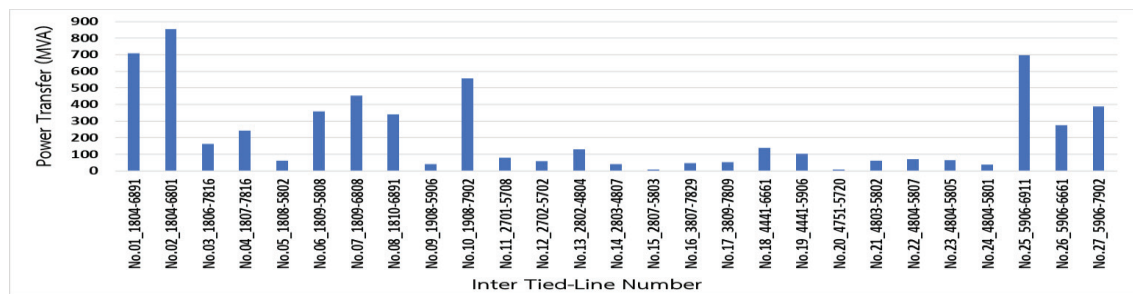
จากภาพที่ 2 ได้แสดงขบวนการศึกษาของบทความนี้โดยเริ่มจากการสร้างระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม POWERWORLD ในการวิเคราะห์ และได้ใช้ระบบไฟฟ้ากำลังประเทศไทยเป็นระบบฐานในการศึกษา โดยการสร้างระบบไฟฟ้ากำลังนั้นได้กำหนดค่าควบคุมด้านแรงดันไว้ที่ 0.90-1.10 p.u. และควบคุมภาระโหลดของอุปกรณ์ไม่เกิน 100% จากนั้นทำการรันระบบไฟฟ้ากำลังโดยใช้เทคนิคนิวตันราฟสัน และทำการตรวจสอบการละเมิดค่าอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้ากำลัง หากมีการละเมิดก็จะทำการปรับค่าที่ขของหม้อแปลง ค่าแรงดันเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และค่ากำลังรีแอกทีฟช่วย โดยการปรับค่าที่เหมาะสมจะต้องพิจารณากราฟความสามารถ (Capacity Curve) และค่าลิมิตของแต่ละอุปกรณ์ พร้อมทั้งการศึกษการเปลี่ยนแปลงในระบบจนกระทั่งไม่มีการละเมิดข้อจำกัดการควบคุมก็จะได้ระบบไฟฟ้ากำลังฐานในการศึกษา จากนั้นจะทำการเลือกสายส่งหลักซึ่งในการศึกษานี้ได้มุ่งเน้นการกำหนดและจัดลำดับสายส่งรองสำหรับสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ซึ่งมีทั้งหมด 27 สายส่ง และจากนั้นทำการคำนวณค่าแพคเตอร์การกระจายกำลังไฟฟ้าหลังสายส่งหลักถูกปลดออก (LODF) ของแต่ละสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่โดยใช้โปรแกรม POWERWORLD และในขั้นตอนสุดท้ายจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจัดลำดับความสำคัญของสายส่งรองตามค่าแพคเตอร์ โดยสายส่งที่มีค่าแพคเตอร์สูงก็มีความสำคัญในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงหรือเป็นสายส่งรองที่มีความสำคัญในการรองรับกำลังไฟฟ้าหากสายส่งหลักถูกปลดออก

5. ผลการศึกษาวิจัย

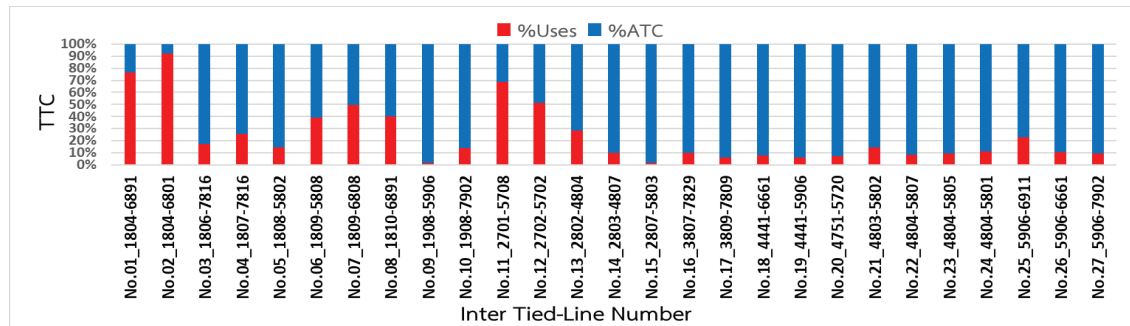
ผลการศึกษาวิจัยได้ทำการแบ่งลำดับการศึกษออกเป็น 3 ส่วนหลักซึ่งสามารถแสดงผลได้ดังนี้

5.1 ผลการศึกษาข้อมูลสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ภายใต้ระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะปกติ

ผลการศึกษาข้อมูลสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ของระบบไฟฟ้ากำลังในสภาวะปกตินั้นได้แสดงไว้ในภาพที่ 3 โดยผลการศึกษพบว่าสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ของระบบมีทั้งหมด 27 สายส่ง โดยพบว่าสายส่งหมายเลข 1804-6801 มีกำลังไฟฟ้าส่งผ่านสูงสุดอยู่ที่ 855.3 MVA, สายส่งหมายเลข 4751-5720 มีกำลังไฟฟ้าส่งผ่านต่ำสุดอยู่ที่ 9.1 MVA โดยเมื่อทำการศึกษาค่าความสามารถพร้อมมูลของแต่ละสายส่งพบว่ามีค่าต่ำสุดอยู่ที่ 7.6% คือสายส่งเชื่อมต่อหมายเลข 1804-6801 และค่าความสามารถพร้อมมูลสูงสุดอยู่ที่ 98.7 % คือสายส่งเชื่อมต่อหมายเลข 1908-5906 ซึ่งได้แสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 3 กำลังไฟฟ้าส่งผ่านของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ (MVA) ภายใต้ระบบในสภาวะปกติ



ภาพที่ 4 ความสามารถส่งผ่านพลังงานพร้อมมูลของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ ภายใต้ระบบในสภาวะปกติ

5.2 ผลการศึกษาการกำหนดและลำดับความสำคัญสายส่งรองในกลุ่มสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่

ผลการศึกษาการกำหนดและจัดลำดับความสำคัญของสายส่งรองสำหรับกลุ่มสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งได้แสดงค่าแพคเตอร์การกระจายกำลังไฟฟ้าหลังสายส่งถูกปลดออก (d_{lk}) ในกลุ่มสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ทั้งหมด 27 สายส่ง ซึ่งทำให้ทราบถึงสายส่งรองที่มีความสำคัญในการรองรับการส่งผ่านพลังงานแทนสายส่งหลักเพื่อรองรับการส่งผ่านพลังงานและใช้เป็นดัชนีในการพิจารณาสั่งการควบคุมกำลังไฟฟ้าในระบบไฟฟ้ากำลัง

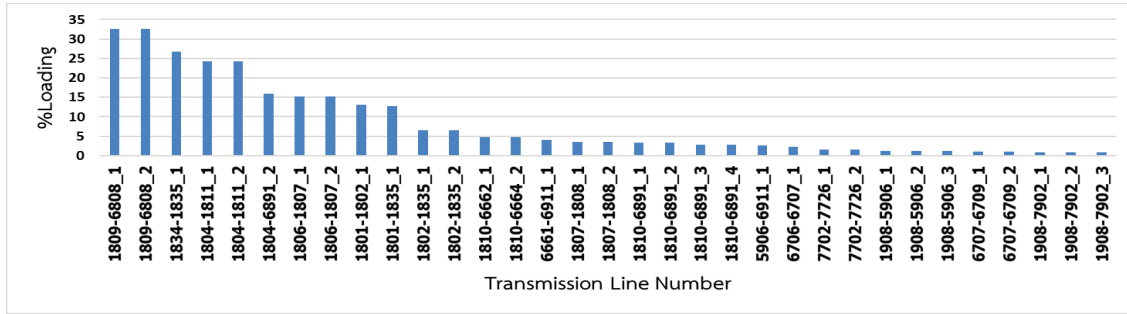
ตารางที่ 2 การกำหนดสายส่งรองในกลุ่มสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ด้วยค่าแพคเตอร์การกระจายกำลังไฟฟ้า (d_{lk})

Number	Line Outage Distribution Factor each Inter Tied Lines (d_{lk})																										
1804-6891	0	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	0	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	0	2	-2	0.1
1806-7816	3.3	5.4	0	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	0	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	0	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	0	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	0	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	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	0	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	0.3	0	0	0	0	0	0	0.6	1.2	29
2701-5708	0	0	0	0	0.5	0	0	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
2702-5708	0	0	0	0	0.5	0	0	0	0	0	13	0	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	0	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	0	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	27	27	28	20	0	0	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	0	0	0	50	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	0	0	50	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	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	0	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	0	5	8.4	3.7	6.4	0	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	0	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	0	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	0	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	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	0	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	0	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	0

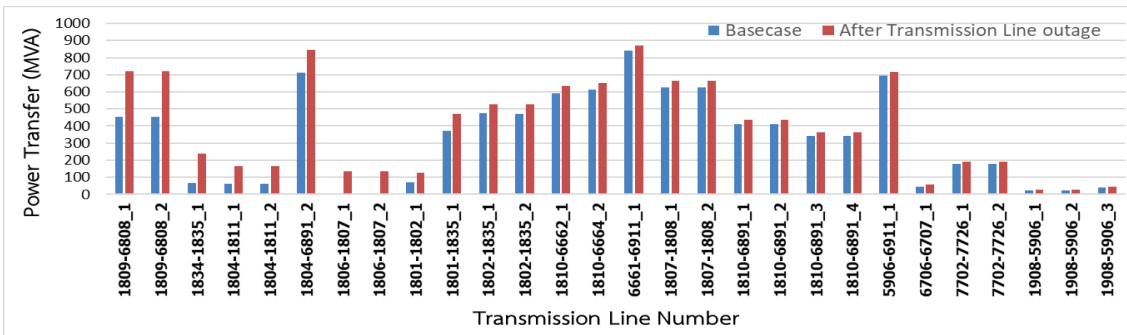
* 0 หมายถึง สายส่งถูกปลดออก (Outage)

5.3 ผลการศึกษาการกำหนดและการจัดลำดับสายส่งรองของสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ที่มีกำลังส่งผ่านสูง

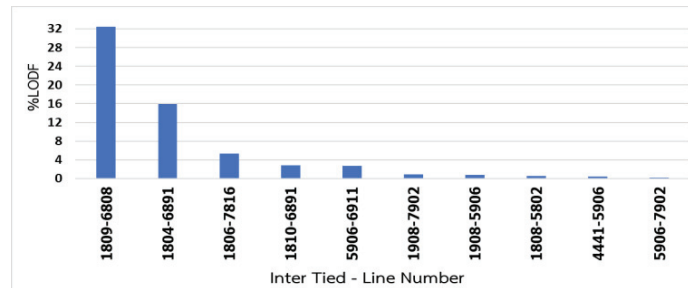
ผลการศึกษาในหัวข้อนี้จะมุ่งเน้นศึกษาโดยยกตัวอย่างเฉพาะสายส่งที่มีการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงเพื่อชี้และแสดงให้เห็นเส้นทางการกระจายกำลังไฟฟ้าหากสายส่งดังกล่าวถูกปลดออกเพื่อกำหนดและจัดลำดับความสำคัญสายส่งรองในการรองรับกำลังไฟฟ้าส่งผ่านเพื่อใช้ในการวางแผนการควบคุมหรือการสั่งการในระบบไฟฟ้ากำลัง จากผลการศึกษาในภาพที่ 3 และ 4 พบว่ามีสายส่ง 1 สายส่งที่มีกำลังไฟฟ้าส่งผ่านสูงสุดคือสายส่ง หมายเลข 1804-6801 ที่ระดับแรงดัน 230 kV และค่าพารามิเตอร์ Resistance (R) ของสายส่งเท่ากับ 0.00215, ค่า Reactance (x) เท่ากับ 0.02396 โดยผลการศึกษาจะทำการเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าส่งผ่านในสถานะที่ระบบไฟฟ้ากำลังปกติและสถานะที่ระบบสูญเสียสายส่งโดยได้แสดงผลดังภาพที่ 5-8



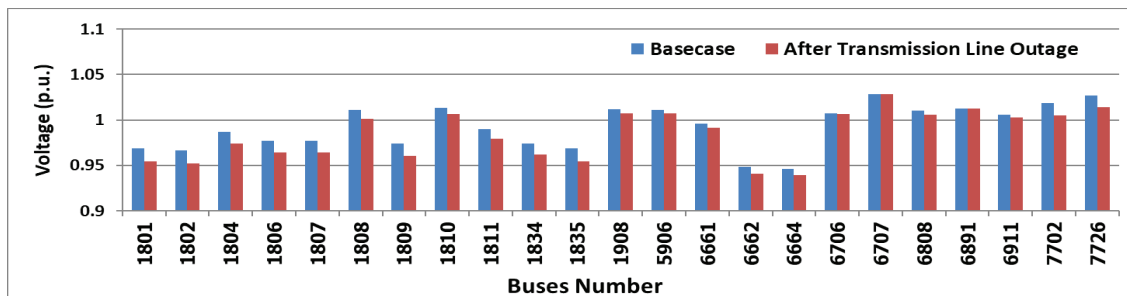
ภาพที่ 5 การกำหนดและจัดลำดับกลุ่มสายส่งรองของสายส่ง ในกรณีสายส่งหมายเลข 1804-6801 ถูกปลดออก



ภาพที่ 6 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าส่งผ่าน (MVA) ของกลุ่มสายส่งรองในกรณีสายส่ง 1804-6801 ถูกปลดออก



ภาพที่ 7 การเปลี่ยนแปลงกำลังไฟฟ้าส่งผ่าน (MVA) ของกลุ่มสายส่งรองในกลุ่มสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่



ภาพที่ 8 การเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าของ Bus ของกลุ่มสายส่งรอง ก่อนและหลัง ในกรณีสายส่ง 1804-6801 ถูกปลดออก

จากภาพที่ 5 แสดงการจัดลำดับสายส่งรองที่มีความสำคัญในการส่งผ่านพลังงานในกรณีสายส่ง 1804-6801 ถูกปลดออกซึ่งเป็นสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ 1 และ 6 ซึ่งพบว่าสายส่งรองหมายเลข 1809-6808 วงจร 1 และ 2 มีความสำคัญสูงสุดในการรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้า โดยกำลังไฟฟ้าส่งผ่านที่ไหลบนสายส่งที่ถูกปลดออกนั้นจะกระจายไปยังสายส่งรองต่าง ๆ ซึ่งส่งผลให้สายส่งรองเหล่านี้ได้รับภาระโหลดเพิ่มขึ้น ซึ่งกำลังไฟฟ้าส่งผ่านที่เพิ่มขึ้นของแต่ละสายส่งรองนั้นได้แสดงในภาพที่ 6 ซึ่งพบว่าสายส่ง 1809-6808 มีอัตราการได้รับภาระโหลดสูงสุดซึ่งเป็นสายส่งในกลุ่มสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่เพื่อรองรับการส่งผ่านพลังงานของสายส่งหลักที่ตั้งแสดงในภาพที่ 7 และเมื่อตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าในกลุ่มสายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่พบว่ายังอยู่ในช่วงค่าควบคุม ดังแสดงในภาพที่ 8 ดังนั้นการสั่งการที่เหมาะสมควรควบคุมกำลังไฟฟ้าไหลบนสายส่งรอง 1809-6808 จะต้องเผื่อค่ากำลังไฟฟ้าส่งผ่านประมาณ 260 MVA เพื่อป้องกันการได้รับภาระโหลดเกิน

6. สรุปผลการศึกษาวิถัยและข้อเสนอแนะ

ในบทความนี้ได้นำเสนอการกำหนดและจัดลำดับสายส่งรองเพื่อรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าและการสั่งการที่เหมาะสมสำหรับการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลังโดยเฉพาะการควบคุมการส่งผ่านพลังงานในระบบสายส่งนั้นมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งซึ่งหากสายส่งหรืออุปกรณ์ส่งผ่านพลังงานในระบบได้รับภาระโหลดเกินหรือเกิดภาวะปัญหาจากความหนาแน่นการไหลกำลังไฟฟ้า จนกระทั่งได้รับความเสียหายและทำให้ถูกปลดออก และหากเป็นสายส่งที่มีความสำคัญในการส่งผ่านพลังงานในระบบเช่น สายส่งเชื่อมต่อระหว่างพื้นที่ที่ถ่ายโอนกำลังไฟฟ้าเพื่อรักษาความสมดุลระหว่างกำลังผลิตและปริมาณโหลดของระบบก็อาจทำให้ระบบเกิดความไม่เสถียรภาพขึ้นได้ หรือแม้กระทั่งการปลดสายส่งเพื่อทำการซ่อมบำรุงรักษา ก็ต้องมีการศึกษาการกำหนดและจัดลำดับสายส่งรองเพื่อรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าในการป้องกันปัญหาความหนาแน่นการไหลกำลังไฟฟ้าขึ้นในระบบ ซึ่งการควบคุมกำลังไฟฟ้าไหลในระบบโดยพิจารณาขีดความสามารถเฉพาะสายส่งหลักนั้นอาจไม่เพียงพอ ต้องพิจารณาค่าส่วนเผื่อหรือขีดความสามารถการรองรับกำลังไฟฟ้าส่งผ่านของกลุ่มสายส่งรอง โดยเฉพาะสายส่งที่มีดัชนีค่าแพดเตอร์การกระจายของสายส่งถูกปลดออก (LODF) สูงดังนั้นในการควบคุมการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของสายส่งในระบบไฟฟ้ากำลังต้องเผื่อค่าการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของสายส่งหลัก ซึ่งการกำหนดและจัดลำดับสายส่งรองเพื่อรองรับการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าของสายส่งหลักสามารถนำไปเป็นข้อมูลหนึ่งในการบริหารจัดการ การสั่งการควบคุมระบบไฟฟ้ากำลัง (Dispatch) ได้เพื่อเพิ่มความเสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง

เอกสารอ้างอิง (References)

- C. Chompoo-inwai, C. Yingvitanapong, 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.
- 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. Chompoo-inwai, "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.
- C. Wannoi, N. Wannoi, C. Boonkhun, C. Temiyasathit and C. 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, No.5, 2019, pp.179-189.
- Energy Policy and planning office ministry of energy, "Thailand Power development plan 2018"
- 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.
- North American Electric Reliability Council (NERC), "Available Transfer Capability Definitions and Determination", NERC Report, 1996.