บทความวิจัย

การวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้าโดยพิจารณาการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าเชิงเศรษฐศาสตร์ร่วมกับการพิจารณาความเชื่อถือได้ของระบบ

นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ*

* โปรแกรมวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา 1061 ถนนอิสรภาพ แขวงหิรัญรูจี เขตธนบุรี กรุงเทพฯ 10600

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เพื่อนำเสนอวิธีการวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้าโดยพิจารณาการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าเชิงเศรษฐศาสตร์อย่างเหมาะสมในระบบไฟฟ้าร่วมกับการพิจารณาความเชื่อถือได้ของระบบ เป็นการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมของกำลังไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการปริมาณไฟฟ้า โดยให้มูลค่าการลงทุนการวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้ามีค่าต่ำสุด ภายใต้เงื่อนไขบังคับด้านความเชื่อถือได้ของระบบ งานวิจัยการวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้านี้ได้นำเทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าร่วมกับวิธีวิเคราะห์แผนเหตุการณ์ เนื่องจากการกำหนดตำแหน่งเส้นทางของสายส่งมีความสำคัญต่อเศรษฐศาสตร์ของระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งทำให้จำเป็นต้องมีหลายทางเลือกในการกำหนดตำแหน่งที่เหมาะสม ผลของการทดสอบวิธีที่นำเสนอกับระบบไฟฟ้ากำลังมาตรฐานได้แสดงให้เห็นว่าการวางแผนขยายระบบส่งกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีวิเคราะห์แผนเหตุการณ์ทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งของสายส่งและการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าอย่างเหมาะสม

คำสำคัญ: ระบบส่งกำลังไฟฟ้า การจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้า ความเชื่อถือได้

บทนำ

การวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้ามีความสำคัญต่อความมั่นคงและความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ในการวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้า ให้สามารถรองรับการความต้องการ

พิจารณาการลงทุนให้ต่ำสุดเป็นสำคัญ แต่มิได้พิจารณาความมั่นคงของระบบไฟฟ้ากำลัง ยังผลให้มูลค่าในการลงทุนขยายระบบส่งไม่สามารถสะท้อนความเป็นจริงได้ในทางปฏิบัติ กรณีศึกษานี้เป็นใช้เป็นกรณีฐานเพื่อเปรียบเทียบกับกรณีศึกษาที่พิจารณาด้านความเชื่อถือได้ของระบบ (Rugthaicharoencheep and Leeprechanon, 2005)

กรณีศึกษาที่ 2. การวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้าโดยพิจารณาความเชื่อถือได้ระบบให้สามารถรองรับกับปัญหาที่อาจเกิดขึ้นที่จะยังผลให้ระบบส่งไม่สามารถส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าได้ และพิจารณามูลค่าในการลงทุนที่เหมาะสมกับการตอบสนองปริมาณไฟฟ้าที่เพิ่มสูงขึ้นได้

วิทยาการเกี่ยวข้อง

1. การจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสม

การวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้าต้องมีความสอดคล้องกับระบบผลิตกำลังไฟฟ้า เนื่องจากการวางแผนเพิ่มจำนวนสายส่งเส้นใหม่จะต้องพิจารณาข้อมูลของระบบผลิตเช่น ตำแหน่งที่ตั้ง โรงไฟฟ้าใหม่ และข้อมูลกำลังผลิตทั้งหมดของระบบ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวนี้ถือว่าเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับการจ่ายโหลดอย่างประหยัด (economic dispatch) ให้เหมาะสมกับความต้องการไฟฟ้าและความจุของสายส่ง จะยังผลให้ต้นทุนในระบบผลิตไฟฟ้าลดลง และยังเป็นการ

อุปกรณ์และวิธีการ

การวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้าในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการทดสอบกับระบบไฟฟ้ากำลังมาตรฐานและพัฒนาเพื่อประยุกต์ใช้กับระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ได้ต่อไป งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 กรณีศึกษา คือ

กรณีศึกษาที่ 1. การวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้าโดยคำนึงถึงมูลค่าในการลงทุนที่ต่ำสุด นักวิจัยด้านการวางแผนระบบไฟฟ้าจะ

2. การวิเคราะห์แผนเหตุการณ์

การวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้าให้มีมูลค่าการลงทุนรวมต่ำสุดขึ้นอยู่กับการพิจารณาเส้นทางในการเพิ่มสายส่งเส้นใหม่ในแต่ละแผนเหตุการณ์ที่กำหนดขึ้น การนำวิธีวิเคราะห์แผนเหตุการณ์นี้มาใช้ในเนื่องจากเป็นการวิเคราะห์ที่อยู่บนพื้นฐานของปัจจัยที่ไม่แน่นอน และการวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้านั้นเป็นการวางแผนเพื่อรองรับกับความต้องการไฟฟ้าในอนาคต ทำให้จำเป็นต้องมีหลายแผนเหตุการณ์ การวิเคราะห์แผนเหตุการณ์เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจในการลงทุนภายใต้ข้อจำกัดเหมาะสมที่สุด

3. การวิเคราะห์โหลดโฟลว์

การวิเคราะห์โหลดโฟลว์ในระบบไฟฟ้ากำลังสภาวะทำงานปกติ โดยทั่วไปประกอบด้วยขนาดและมุมของศักดาไฟฟ้าที่บัสต่างๆ ในระบบ กระแสและกำลังไฟฟ้าที่ไหลในระบบทุกเส้นจะต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ดังนั้นการวิเคราะห์โหลดโฟลว์จึงเป็นสิ่งสำคัญต่อการวางแผนขยายระบบส่งกำลังไฟฟ้า โดยที่กำลังไฟฟ้าที่ไหลในสายส่งและกำลังไฟฟ้าสูญเสียหาได้จากสมการที่ (1)- (3) (Saadat, 1999)

$$S_{ij} = V_i I^*_{ij} \qquad (1)$$

$$S_{ji} = V_j I^*_{ji} \qquad (2)$$

$$S_{Loss\,ij} = S_{ij} + S_{ji} \qquad (3)$$

โดยที่

S_{ij} คือ กำลังไฟฟ้าจากบัส i ไปยังบัส j

S_{ji} คือ กำลังไฟฟ้าจากบัส j ไปยังบัส i

$S_{Loss\,ij}$ คือ กำลังไฟฟ้าสูญเสียระหว่างบัส i กับ j

4. ความเชื่อถือได้ของระบบ

การพิจารณาความเชื่อถือของระบบประกอบด้วยการวิเคราะห์การจ่ายโหลดอย่างประหยัด และพิจารณามูลค่าในการลงทุนขยายระบบส่งกำลังไฟฟ้า ในการพิจารณาเสถียรภาพของระบบได้จำลองเหตุการณ์เกิดสภาวะผิดพร่อง (fault) ของสายส่งเมื่อไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ ในการทดสอบได้ทำการปลดสายส่งที่มีอยู่ในระบบออกทีละวงวจร และทำการประมวลผลโปรแกรมโหลดโฟลว์ เพื่อตรวจสอบค่าการสูญเสียของระบบ และพิจารณาวิสัยสามารถการส่งกำลังไฟฟ้าของระบบส่งไปยังโหลด (Wang, 1994)

วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดในการวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้า

การหามูลค่าการลงทุนรวมที่ต่ำสุดภายใต้เงื่อนไขบังคับ โดยได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้เป็นตัวแทนของระบบไฟฟ้า เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นเนื่องจากตัวแปรที่ออกแบบ เงื่อนไขบังคับ และจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ ขั้นตอนการวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้ามีดังนี้

1. กำหนดฟังก์ชั่นจุดประสงค์ (objective function) คือ การหาค่าการลงทุนรวมในการขยายระบบส่งให้มีค่าต่ำสุด (minimize total cost)

2. กำหนดตัวแปรออกแบบและเงื่อนไขบังคับ (constraints)

2.1 กฎกระแสไฟฟ้าของเคอร์ชอฟฟ์ (KCL)

2.2 พิกัดการไหลของกำลังไฟฟ้าต้องไม่เกินพิกัดของระบบส่ง (transmission limit)

2.3 กำลังผลิตรวมทั้งหมดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต้องเท่ากับความต้องการไฟฟ้ารวมกับกำลังไฟฟ้าสูญเสียทั้งหมดของระบบ (energy balance)

3. คำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าที่ไหลในระบบส่งและค่ากำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบส่งด้วยวิธีการวิเคราะห์โหลดโฟลว์

4. คำนวณหาค่ากำลังผลิตไฟฟ้าที่เหมาะสม

5. คำนวณหาจำนวนสายส่งที่เหมาะสมที่สุด ด้วยวิธีโปรแกรมจำนวนเต็มเชิงเส้น (integer linear programming) โดยใช้ค่ากำลังไฟฟ้าจริงเป็นตัวแปรตัดสินใจเพิ่มสายส่งเส้นใหม่เข้ามาในระบบส่งกำลังไฟฟ้า (Haffner, 2001)

6. คำนวณหามูลค่าการลงทุนรวมทั้งหมดด้วยวิธีวิเคราะห์แผนเหตุการณ์เพื่อกำหนดเส้นทางการเพิ่มสายส่งใหม่ที่เหมาะสมที่สุด

แบบจำลองคณิตศาสตร์

การหาค่าเหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้ได้เสนอแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อใช้แก้ปัญหาในการขยายระบบส่งกำลังไฟฟ้าให้มีมูลค่าในการลงทุนต่ำสุด ซึ่งได้พิจารณาการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าเชิงเศรษฐศาสตร์ รวมถึงวิเคราะห์ผลกระทบของกำลังไฟฟ้าสูญเสียในระบบต่อมูลค่าในการลงทุนขยายระบบส่งกำลังไฟฟ้า ซึ่งสามารถเขียนแบบจำลองคณิตศาสตร์ภายใต้เงื่อนไขบังคับได้ดังนี้ (Wang, 1994)

1. ปัญหาการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าเชิงเศรษฐศาสตร์ (economic dispatch problem)

Minimize

$$Min\ F_T = \sum_{i=1}^{N_G} F_i(P_{Gi}) = \sum_{i=1}^{N_G} (a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i) \quad (4)$$

Subject to

$$V_i \sum_{j=1}^{N} V_j Y_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) - P_{Gi} + P_{Di} = 0 \quad (5)$$

$$V_i \sum_{j=1}^{N} V_j Y_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) - Q_{Gi} + Q_{Di} = 0 \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{N} P_{Gi} - \sum_{i=1}^{N} P_{Di} - P_{loss} = 0 \quad (7)$$

$$P_{Gi}^{\min} \le P_{Gi} \le P_{Gi}^{\max} \quad (8)$$

$$i = 1,2,\ldots,N$$

2. ปัญหาการลงทุนระบบส่งกำลังไฟฟ้า (transmission investment problem)

$$Min \quad v = \sum_{(ij)} C_{ij} n_{ij} \qquad (9)$$

$$\left| f_{ij} \right| \le (n_{ij}^{0} + n_{ij}) \bar{f}_{ij} \qquad (10)$$

โดยที่

F_T คือ ราคาต้นทุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

P_{Gi} คือกำลังไฟฟ้าจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ i

P_{Di} คือ โหลดที่บัส i

a_i, b_i, c_i คือพารามิเตอร์ต้นทุนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ i

N_G คือ จำนวนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

N คือ จำนวนบัส

V_i คือ แรงดันไฟฟ้าที่บัส i

Y_{ij} คือ แอดมิตแตนซ์สายส่งระหว่างบัส i กับบัส j

δ_i คือ มุมแรงดันที่บัส i

θ_{ij} คือแอดมิตแตนซ์มุมของสายส่งระหว่างi กับบัส j

P_{loss} คือกำลังไฟฟ้าสูญเสีย

$P_{Gi}^{\min}, P_{Gi}^{\max}$ คือ พิกัดการจ่ายโหลดสูงสุดและต่ำสุดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าตัวที่ i

v คือต้นทุนรวมในการวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้า

c_{ij} คือต้นทุนการขยายระบบส่งกำลังไฟฟ้าระหว่างบัส i กับบัส j

n_{ij} คือ จำนวนสายส่งที่เพิ่มขึ้นระหว่างบัส i กับบัส j

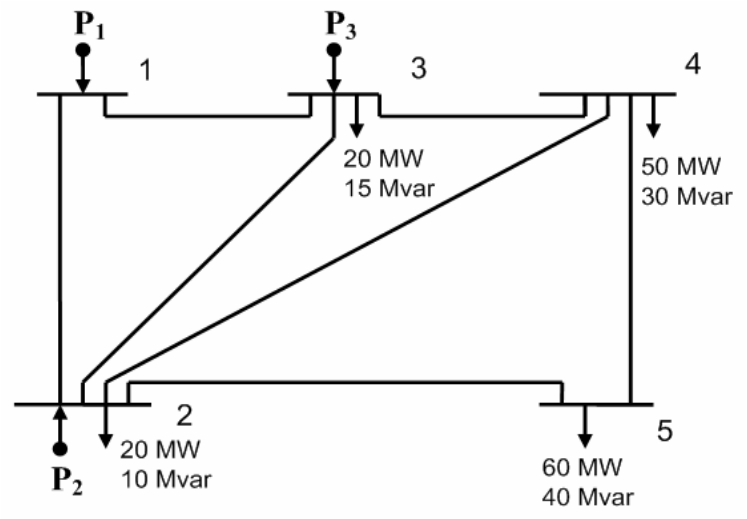
n_{ij}^{0} คือจำนวนสายส่งที่มีอยู่เดิมระหว่างบัส i กับบัส j

$\bar{f}_{ij}$ คือกำลังไฟฟ้าที่ไหลระหว่างบัส i ไปยังบัส j

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

กรณีศึกษาที่ 1. การวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้าโดยพิจารณาการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าเชิงเศรษฐศาสตร์

เทคนิคที่เสนอนี้ได้ทดสอบกับระบบไฟฟ้ากำลัง 5 บัส ซึ่งเป็นระบบไฟฟ้ามาตรฐานที่ใช้สำหรับทดสอบและวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งประกอบด้วยบัสที่เป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จำนวน 3 บัส คือ บัส 1 บัส 2 และบัส 3 บัสโหลดจำนวน 4 บัส คือ บัส 2 บัส 3 บัส 4 และบัส 5 ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยระบบทดสอบนี้มีมีพิกัดกำลังผลิตสูงสุดรวมทั้งหมดเท่ากับ 235 MW และมีความต้องการปริมาณไฟฟ้าทั้งระบบเท่ากับ 150 MW ในการทดสอบได้พิจารณาการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าเชิงเศรษฐศาสตร์และพิจารณาค่าการสูญเสียในระบบส่งกำลังไฟฟ้า ข้อมูลของระบบ ไฟฟ้ากำลัง 5 บัส ดังแสดงในตารางที่ 1 และข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลด ดังแสดงในตารางที่ 2



ภาพที่ 1. ระบบไฟฟ้ากำลัง 5 บัส

ตารางที่ 1. ข้อมูลระบบไฟฟ้ากำลัง 5 บัส

สายส่ง ระหว่างบัส	**มูลค่าการลงทุน (10^3 US$)**	**R (pu)**	**X (pu)**	**½ B**	**ความจุไฟฟ้าของสายส่ง (MW)**
1-2	**25**	0.02	*j*0.06	0.030	**50**
1-3	**35**	0.08	*j*0.24	0.025	**50**
2-3	**45**	0.06	*j*0.18	0.020	**50**
2-4	**50**	0.06	*j*0.18	0.020	**50**
2-5	**30**	0.04	*j*0.12	0.015	**50**
3-4	**20**	0.01	*j*0.03	0.010	**50**
4-5	**40**	0.08	*j*0.24	0.025	**50**

ตารางที่ 2. ข้อมูลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและโหลดในระบบไฟฟ้ากำลัง 5 บัส

บัส	พิกัดกำลังผลิตไฟฟ้าสูงสุด (MW)	โหลด (MW)
1	85	0
2	80	20
3	70	20
4	0	50
5	0	60
รวม	**235**	**150**

ต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าและขีดจำกัดในการผลิตกำลังไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 3 เครื่อง มีดังนี้

$F_1(P_{G1}) = 200 + 7.0P_{G1} + 0.008P_{G1}^2$ \$/h

$10 \text{ MW} \le P_{G1} \le 85 \text{ MW}$

$F_2(P_{G2}) = 180 + 6.3P_{G2} + 0.009P_{G2}^2$ \$/h

$10 \text{ MW} \le P_{G2} \le 80 \text{ MW}$

$F_3(P_{G3}) = 140 + 6.8P_{G3} + 0.007P_{G3}^2$ \$/h

$10 \text{ MW} \le P_{G3} \le 70 \text{ MW}$

ผลการทดสอบกรณีศึกษาที่ 1

การทดสอบในกรณีศึกษาที่ 1 ในระบบไฟฟ้ากำลัง 5 บัส ได้กำหนดการเพิ่มสายส่งตามแผนเหตุการณ์ต่างๆ ซึ่งมีทั้งหมด 7 แผนเหตุการณ์เป็นเส้นทางการเพิ่มสายส่งเส้นใหม่ที่อาจจะเกิดขึ้นได้ในอนาคต โดยพิจารณาจากมูลค่าในการลงทุนที่ต่ำสุดก่อน ดังแสดงในตารางที่ 3 ในการทดสอบเป็นการหาแผนเหตุการณ์ที่เหมาะสมที่สุดในด้านการลงทุนขยายระบบส่งกำลังไฟฟ้าร่วมกับการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าเชิงเศรษฐศาสตร์ โดยทำการทดสอบในแต่ละแผนเหตุการณ์ที่กำหนดขึ้น ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3. แผนเหตุการณ์ในการวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้า 5 บัส

แผนเหตุการณ์	การเพิ่มเส้นทางสายส่งใหม่ระหว่างบัส *i* กับบัส *j*						
1	1-3	2-3	2-5	3-4	4-5	-	-
2	1-2	2-3	2-5	3-4	4-5	-	-
3	1-2	2-3	2-4	2-5	4-5	-	-
4	1-2	2-3	2-4	2-5	3-4	4-5	-
5	1-2	1-3	2-3	2-5	3-4	4-5	-
6	1-2	1-3	2-3	2-4	2-5	4-5	-
7	1-2	1-3	2-3	2-4	2-5	3-4	4-5

ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4 มูลค่าการลงทุนเพิ่มสายส่งเส้นใหม่ที่ต่ำสุดภายใต้เงื่อนไขบังคับ คือ แผนเหตุการณ์ที่ 1 มีการลงทุนรวมของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 190 (10^3 US$) มีจำนวนสายส่ง 6 วงจร แต่เมื่อพิจารณาการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้า แผนเหตุการณ์ที่ 5 มีต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสม คือ 1,590.39 ($/h) มีการลงทุนรวมของระบบส่งกำลังไฟฟ้าเท่ากับ 245 (10^3 US$) ซึ่งมีค่าการลงทุนสูงกว่าแผนเหตุการณ์ที่ 1 อยู่ 55 (10^3 US$) ซึ่งการสูญเสียในระบบส่งกำลังไฟฟ้ามีค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ 1.306 MW เมื่อเทียบกับแผนเหตุการณ์อื่น ผลการทดสอบใน แผนเหตุการณ์ที่ 7 มีมูลค่าในการลงทุนเพิ่มสายส่งใหม่ที่สูงกว่าแผนเหตุการณ์อื่น มีจำนวนสายส่ง 8 วงจร ต้นทุนในการผลิตกำลังไฟฟ้ามีค่าใกล้เคียงกับแผนเหตุการณ์ที่ 5 ดังนั้นการลงทุนขยายระบบส่งที่สูงก็มิใช่จะเป็นตัวกำหนดถึงเสถียรภาพที่ดีของระบบได้

ตารางที่ 4. ผลการทดสอบกรณีศึกษาที่ 1 การวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้าโดยพิจารณาการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าเชิงเศรษฐศาสตร์

แผนเหตุการณ์	จำนวนสายส่งที่เพิ่มขึ้น (*i-j*)							ต้นทุนการผลิตกำลังไฟฟ้า ($/h)	การลงทุนขยายระบบส่งกำลังไฟฟ้า ($10^3$$)	ค่าการสูญเสียในระบบส่ง (MW)
	n_{1-2}	n_{1-3}	n_{2-3}	n_{2-4}	n_{2-5}	n_{3-4}	n_{4-5}			
1	0	1	1	0	1	2	1	1,604.60	190	2.461
2	1	0	0	0	2	2	1	1,598.11	210	1.643
3	1	0	1	1	2	0	1	1,620.13	220	4.505
4	1	0	1	1	1	1	1	1,596.32	210	2.129
5	1	1	1	0	2	2	1	1,590.39	245	1.306
6	1	1	1	1	2	0	1	1,616.92	255	4.088
7	1	1	1	1	1	2	1	1,595.47	265	1.954

กรณีศึกษาที่ 2. การวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้าโดยพิจารณาความเชื่อถือได้ของระบบ

การทดสอบในกรณีศึกษาที่ 2 ได้นำผลการทดสอบในกรณีศึกษาที่ 1 ในแผนเหตุการณ์ที่ 5 ซึ่งเป็นแผนเหตุการณ์ที่เหมาะสมสำหรับการวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้ามาพิจารณาความเชื่อถือได้เทียบกับแผนเหตุการณ์ที่ 7 ซึ่งเป็นแผนเหตุการณ์ที่มีการลงทุนสูงกว่าแผนเหตุการณ์อื่น ในการทดสอบความเชื่อถือได้ของระบบ ทำการทดสอบเฉพาะระบบส่งกำลังไฟฟ้า โดยทดสอบด้วยวิธี *N-1* (N = Nominal) คือ การทดสอบเสถียรภาพการปฏิบัติการของระบบส่งกำลังไฟฟ้า เมื่อเกิดสภาวะที่สายส่งที่มีอยู่ในระบบ *N* จำนวน มิสามารถส่งกำลังไฟฟ้าได้ 1 วงจร เป็นการตรวจสอบว่า สายส่งกำลังไฟฟ้าที่เหลืออยู่จะต้องส่งผ่านกำลังไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟได้ตามปกติ

ตารางที่ 5. ผลการทดสอบกรณีศึกษาที่ 2 การพิจาณาความเชื่อถือได้ *N-1* ในแผนเหตุการณ์ที่ 5

ปลดสายส่ง	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า ($/h)	การสูญเสียทั้งหมดของระบบ (MW)
1-2	1,832.33	3.095
1-3	1,829.98	2.783
2-3	1,831.25	2.950
2-4	-	-
2-5	1,836.83	3.692
3-4	1,828.77	2.622
4-5	1,827.52	2.456

ผลการทดสอบกรณีศึกษาที่ 2

การทดสอบความเชื่อถือได้ของระบบได้เพิ่มปริมาณความต้องการไฟฟ้าหรือโหลดสูงขึ้นจากเดิมที่แสดงในตารางที่ 2 ในการเพิ่มโหลดให้สูงขึ้นเป็นการพยากรณ์ความต้องการไฟฟ้าที่สูงขึ้น ในกรณีศึกษานี้เพิ่มความต้องการสูงขึ้นจากเดิม 20 % ที่บัส 2 บัส 3 บัส 4 และ บัส 5 ดังนี้ บัส 2 เท่ากับ 24 MW 12 Mvar บัส 3 เท่ากับ 24 MW 18 Mvar บัส 4 เท่ากับ 60 MW 36 Mvar และ บัส 5 เท่ากับ 72 MW 48 Mvar ผลการทดสอบการวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้าโดยพิจารณาความเชื่อถือได้ ในแผนเหตุการณ์ที่ 5 และแผนเหตุการณ์ 7 ดังแสดงในตารางที่ 5 และ 6 จากผลการทดสอบในตารางที่ 6 เมื่อสายส่งไลน์ 2-5 หลุดออกจากระบบ ยังผลให้ระบบส่งกำลังไฟฟ้าขาดเสถียรถาพ การส่งกำลังไฟฟ้า มีค่าการสูญเสียในระบบสูงกว่าปกติ จึงมีการเพิ่มสายส่งไลน์ 2 -5 อีกหนึ่งวงจรและทดสอบความเชื่อถือได้ของระบบใหม่อีกครั้ง ดังในตารางที่ 7

ตารางที่ 6. ผลการทดสอบกรณีศึกษาที่ 2 การพิจาณาความเชื่อถือได้ *N-1* ในแผนเหตุการณ์ที่ 7

ปลดสายส่ง	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า ($/h)	การสูญเสียทั้งหมดของระบบ (MW)
1-2	1,841.14	4.264
1-3	1,840.41	4.167
2-3	1,835.87	3.568
2-4	1,836.83	3.629
2-5	-	25.218
3-4	1,838.19	3.873
4-5	1,842.50	4.443

ตารางที่ 7. ผลการทดสอบกรณีศึกษาที่ 2 การพิจาณาความเชื่อถือได้ *N-1* ในแผนเหตุการณ์ที่ 7 (เพิ่มสายส่งไลน์ 2-5 = 1 วงจร)

ปลดสายส่ง	ต้นทุนการผลิตไฟฟ้า ($/h)	การสูญเสียทั้งหมดของระบบ (MW)
1-2	1,830.58	2.863
1-3	1,828.82	2.629
2-3	1,825.88	2.238
2-4	1,826.41	2.309
2-5	1,834.37	3.366
3-4	1,826.37	2.303
4-5	1,826.26	2.289

สรุป

การวางแผนระบบส่งกำลังไฟฟ้าด้วยวิธีวิเคราะห์แผนเหตุการณ์ โดยพิจารณาทั้งความเชื่อถือได้ของระบบและการจัดสรรกำลังผลิตไฟฟ้าเชิงเศรษฐศาสตร์ ทำให้ได้แผนการขยายระบบส่งกำลังไฟฟ้าในอนาคตอย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้การวิเคราะห์เหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นได้กับสายส่ง เมื่อสายส่งหลุดจากระบบ (*N-1*) ยังผลทำให้สามารถกำหนดตำแหน่งสายส่งใหม่ที่เหมาะสมยิ่งขึ้นเพื่อรองรับปริมาณความต้องการไฟฟ้าอย่างมีเสถียรภาพ

คำขอบคุณ

ขอขอบคุณสำนักวิจัยและบริการวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา ที่มอบทุนสนับสนุนงานวิจัย ปีการศึกษา 2550

เอกสารอ้างอิง

Garver, L. L. (1970). Transmission network estimation using linear programming. **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems** PAS-89 (7): 1688-1697.

Haffner, S., Monticelli, A., Garcia, A., and Romero, R. (2001). Specialised branch and bound algorithm for transmission network expansion planning. **IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.** 148 (5): 482-488.

Rugthaicharoencheep, N., and Leeprechanon, N. (2005). Transmission expansion: optimizing investment cost in conjunction to scenario analysis. In **Proceeding of the 28th Electrical Engineering Conference (EECON-28), Phuket, Thailand,** Oct. 20-21: 277-280 pp.

Saadat, H. (1999). **Power system analysis**. Singapore: McGraw-Hill.

Villasana, R., Garver, L. L., and Salon, S. J. (1985). Transmission network planning using linear programming. **IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems** PAS-104 (2): 345-356.

Wang, X., and McDonald, J. R. (1994). **Modern power system planning**. Singapore: McGraw-Hill.

Wood, A. J., and Wollenberg, B. F. (1996). **Power Generation Operation and Control** (ed. 2nd). New York: Wiley.