

การปรับปรุงและประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า แบบเหนือดินในเมืองใหญ่

Reliability Improvement and Assessment on Overhead Power Distribution Systems in Large Cities

สรพล กิจศิริสิน นพดา ชีรอังกริชกุล วิชัย สุระพัฒน์ และดุลย์พิเชษฐ์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Email : vespersinsight@gmail.com, noppada@hotmail.com, fengvis@ku.ac.th, dulpichet.r@ku.ac.th



บทคัดย่อ

เมืองใหญ่ คือ เมืองที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและวัฒนธรรม การเกิดไฟฟ้าขัดข้องในพื้นที่เมืองใหญ่ย่อมทำให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังนั้นการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจึงต้องให้ความสำคัญในการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าในเมืองใหญ่อย่างเต็มที่ เพื่อให้เศรษฐกิจเติบโตได้อย่างต่อเนื่อง บทความนี้เสนอขั้นตอนและกระบวนการปรับปรุงและประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือดินในเมืองใหญ่ ได้แก่ การเปลี่ยนจากสายเปลือยและสายหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัดให้เป็นสายหุ้มฉนวนเต็มพิกัด การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันสัตว์บริเวณจุดเปลือย การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอนเพิ่มในระบบ การป้องกันฟ้าผ่าสายจำหน่ายโดยการติดตั้งสายดินล่อฟ้า (Overhead Ground Wire) รวมถึงการเพิ่มระบบควบคุมสั่งการอัตโนมัติ (DAS) และฟังก์ชันแยกฟอลต์อัตโนมัติ (FDIR) ทั้งนี้เพื่อให้สามารถลดการเกิดไฟฟ้าขัดข้องและลดระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้องได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยได้ประเมินผลของการปรับปรุงข้างต้นจากค่าดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI และ SAIDI ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการประเมินค่าดัชนีทั้งสองภายหลังการปรับปรุงระบบด้วยสูตรอย่างง่ายที่สะดวกแก่การนำไปใช้ตัดสินใจเพื่อการลงทุนต่อไป โดยในบทความนี้ได้นำกระบวนการปรับปรุงความเชื่อถือได้ไปประยุกต์ใช้กับเมืองใหญ่ 4 เมือง ในพื้นที่จ่ายไฟของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ของประเทศไทย พร้อมประเมินความเชื่อถือได้ที่ดีขึ้นในรูปของค่าดัชนี SAIFI และ SAIDI

คำสำคัญ : ▶▶▶

ระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือดิน การปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า การลดระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้อง

Abstract

Large cities are urban areas which are the center of economy and culture. A power interruption of the large cities can result in a significant economic loss both directly and indirectly. Thus, the Provincial Electricity Authority of Thailand (PEA) has to improve the reliability of power distribution systems which electrify the large cities with all efforts to support the growth of economy continually. This paper presents necessary steps and a procedure of reliability improvement on overhead power distribution systems in the large cities such as replacing all aluminum conductors and partial insulated cables with spaced aerial cables, installing animal guards to cover all live parts, installing additional protective devices and switches, and installing overhead ground wires for lightning protection. Besides, additions of electrical technologies including Distribution Automation System–DAS, Fault Detection Isolation and Restoration–FDIR, which are able to effectively decrease the frequency and duration of permanent outages, are suggested. All reliability improvement is assessed in terms of reliability indices, SAIFI and SAIDI. In this research, an assessment method of both indices after system improvement is described as simple formulae suitable for investment decision making. Finally, the proposed reliability improvement is applied to 4 large cities in PEA service which are the Northern, Eastern, North Eastern and Southern parts of Thailand. In addition, the improved reliability of all cities is assessed in terms of SAIFI and SAIDI.

Keywords :

overhead power distribution systems, reliability improvement distribution systems, duration of permanent outages decrease

1. บทนำ

เมืองใหญ่ คือ เมืองที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ และวัฒนธรรม ปัจจุบันเมืองใหญ่ในประเทศไทย มีการขยายตัวของการใช้ไฟฟ้าและจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้ามากขึ้นทุกปี การเกิดไฟฟ้าขัดข้องในแต่ละครั้งทำให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจ และความน่าเชื่อถือในด้านการลงทุนต่างๆ ดังนั้นเมืองใหญ่ควรมีระบบไฟฟ้าที่มีความเชื่อถือได้สูง ซึ่งจากสถิติที่ผ่านมาพบว่าค่าดัชนีความเชื่อถือได้ในเมืองใหญ่ที่อยู่ในพื้นที่รับผิดชอบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ยังสามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้อีกมาก สาเหตุไฟฟ้าขัดข้องส่วนใหญ่มาจาก

ปัจจัยภายนอกระบบถึง 80% กล่าวคือ สาเหตุจากสัตว์ต้นไม้ และฟ้าผ่า [1] ซึ่งมักเกิดขึ้นกับระบบจำหน่ายที่เป็นสายเปลือย ไม่มีสายดินล่อฟ้าป้องกันฟ้าผ่า อีกทั้งอุปกรณ์ตัดตอนยังมีการทำงานแบบ Manual จึงทำให้เกิดระยะเวลาไฟดับเป็นเวลานาน ดังนั้นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจ่ายไฟให้แก่ผู้ใช้ไฟฟ้าในเมืองใหญ่ จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยการขจัดสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องข้างต้นให้หมดไป

แนวทางหนึ่งในการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือดินของเมืองใหญ่ คือ



การเปลี่ยนสายเปลือยและสายหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัด เป็นสายหุ้มฉนวนเต็มพิกัด การเพิ่มสายดินล่อฟ้า (Overhead Ground Wire) การเพิ่มอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอน และการเปลี่ยนอุปกรณ์เดิมให้มีระบบควบคุมสั่งการระบบจำหน่ายแบบอัตโนมัติ (Distribution Automation System ; DAS) พร้อมทั้งใช้อุปกรณ์ที่มีฟังก์ชันการตรวจจับ แยกแยะ และตัดตอนฟอลต์อัตโนมัติ FDIR (Fault Detection Isolation and Restoration) [2], [3] โดยมีวัตถุประสงค์ของการปรับปรุงระบบดังนี้ คือ [4]

- เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้ากลับคืนสู่ผู้ใช้ในพื้นที่ที่ไม่ใช่พื้นที่ที่เกิดฟอลต์
- เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้ากลับคืนสู่ผู้ใช้ไฟตามลำดับความสำคัญของผู้ใช้ไฟ
- เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าคืนสู่ระบบได้อย่างรวดเร็วโดยให้อุปกรณ์ป้องกันทำงานในระบบน้อยที่สุด
- เพื่อคงเงื่อนไขการจ่ายไฟฟ้าแบบระบบเปิด (open-looped) หลังจากจ่ายคืนกระแสไฟฟ้าสู่ผู้ใช้ไฟฟ้าในพื้นที่อื่น

แนวทางที่กล่าวมาข้างต้นสามารถลดความถี่และลดระยะเวลาการเกิดไฟฟ้าขัดข้อง ซึ่งทำให้เกิดข้อดีทั้งทางด้านเศรษฐศาสตร์ คือลดความสูญเสียทางเศรษฐกิจเพิ่มรายได้ค่าไฟฟ้าเนื่องจากสามารถจ่ายไฟฟ้ากลับคืนได้อย่างรวดเร็ว ในด้านการบำรุงรักษาสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมอุปกรณ์ และในด้านผู้ใช้ไฟจะได้รับไฟที่มีคุณภาพไฟฟ้าดีขึ้น ลดความสูญเสียของผู้ใช้ไฟ [5] โดยในหัวข้อที่ 2 จะแสดงทฤษฎี และกระบวนการในการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือนดินในเมืองใหญ่อย่างเป็นขั้นตอน หัวข้อที่ 3 แสดงค่ารายละเอียดข้อมูลของเมืองใหญ่ซึ่งจัดทำเป็นกรณีศึกษาในภาคเหนือ (N_City) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (NE_City) ภาคตะวันออก (E_City) และภาคใต้ (S_City) ของ

ประเทศไทยทั้ง 4 เมือง หัวข้อที่ 4 แสดงการประยุกต์ของกระบวนการ และผลลัพธ์ก่อนและหลังการปรับปรุงระบบไฟฟ้าในเมืองใหญ่ทั้ง 4 เมือง และสรุปผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษานี้ในหัวข้อที่ 5

2. ทฤษฎีและกระบวนการ

ก. การประเมินดัชนีความเชื่อถือได้

ดัชนีความเชื่อถือได้ที่พิจารณาสำหรับการปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือนดินในเมืองใหญ่ คือ ค่า SAIFI และ SAIDI ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$SAIFI_{Old} = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} \lambda_i N_i}{N_{Total}} \quad (1)$$

$$SAIDI_{Old} = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} \lambda_i r_i N_i}{N_{Total}} \quad (2)$$

โดยที่ (System Average Interruption Frequency Index) คือความถี่ที่เกิดไฟดับแบบต่อเนื่องเฉลี่ยต่อผู้ใช้ไฟในพื้นที่ที่พิจารณา (ครั้งต่อรายต่อปี)

(System Average Interruption Duration Index) คือ ระยะเวลาไฟดับเฉลี่ยต่อผู้ใช้ไฟในพื้นที่ที่พิจารณา (นาที่ต่อรายต่อปี)

N_i คือ จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบเมื่ออุปกรณ์ป้องกันประเภททำงาน(ราย)

N_{Total} คือ จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดในพื้นที่ที่พิจารณา (ราย)

n_p คือ จำนวนประเภทของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้แก่ เบรกเกอร์รีโคลสเซอร์และฟิวส์

r_i คือ ระยะเวลาซ่อมเฉลี่ยเนื่องจากอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ทำงาน (นาที่)

λ_i คือ อัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i (ครั้ง/ปี) คำนวณตามสมการที่ (3)

$$\lambda_i = \frac{525,600}{MTTF_i} \quad (3)$$

เมื่อ $MTTF_i$ คือ ระยะเวลาเฉลี่ยที่ระบบไฟฟ้าที่อยู่ในโซนของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ตามปกติ (นาทีก) ซึ่งในการศึกษานี้ค่า $MTTF_i$ คำนวณจากข้อมูลสถิติไฟฟ้าขัดข้องของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคย้อนหลัง 3 ปี ตามสมการที่ (4) และระยะเวลาไฟดับเฉลี่ยเนื่องจากอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ทำงานแสดงดังสมการที่ (5)

$$MTTF_i = \frac{\sum_{j=1}^y (525,600 \times n_{p,i} - \sum_{k=1}^{n_{p,i}} DT_{i,k})_j}{\sum_{j=1}^y (\sum_{k=1}^{n_{p,i}} O_{i,k})_j} \quad (4)$$

$$r_i = \frac{\sum_{j=1}^y (\sum_{k=1}^{n_{p,i}} DT_{i,k})_j}{\sum_{j=1}^y (\sum_{k=1}^{n_{p,i}} O_{i,k})_j} \quad (5)$$

โดยที่ $O_{i,k}$ คือ จำนวนครั้งไฟฟ้าขัดข้องเนื่องจากอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ตัวที่ k ทำงานในปีที่พิจารณา (ครั้ง)

$DT_{i,k}$ คือ ระยะเวลาไฟดับเนื่องจากอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ตัวที่ k ทำงานในปีที่พิจารณา (นาทีก)

$n_{p,i}$ คือ จำนวนอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าในพื้นที่ที่พิจารณา (ตัว)

y คือ จำนวนปีที่พิจารณา (ปี)

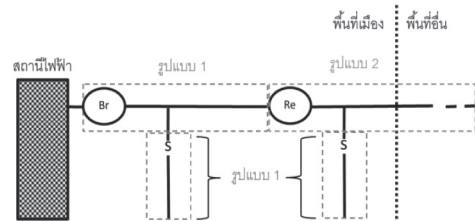
การประเมินความเชื่อถือได้จะพิจารณาจากอัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ป้องกัน (เบรกเกอร์ รีโคลสเซอร์ และฟิวส์) ซึ่งสามารถแบ่งสาเหตุที่ทำให้อุปกรณ์ดังกล่าวทำงานได้ 2 แบบคือ สาเหตุที่ควบคุมได้ และสาเหตุที่ควบคุมไม่ได้ มีพารามิเตอร์ดังนี้ [6]

$$\lambda_i = \lambda_{i,cc} + \lambda_{i,uc} \quad (6)$$

โดยที่ $\lambda_{i,cc}$ คือ อัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i เนื่องจากสาเหตุที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Causes) (ครั้ง/ปี)

$\lambda_{i,uc}$ คือ อัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i เนื่องจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable Causes) (ครั้ง/ปี)

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดรูปแบบโซนของอุปกรณ์ป้องกันในฟีดเดอร์ไว้ 2 รูปแบบ แสดงดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 รูปแบบโซนของอุปกรณ์ป้องกันในเมืองใหญ่

รูปแบบที่ 1 : โซนของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ครอบคลุมเฉพาะพื้นที่ในเมือง-อัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ภายหลังการปรับปรุงสามารถคำนวณได้ดังสมการ (7)

$$\lambda'_i = (k_{cc}\lambda_{cc} + \lambda_{uc}) \quad (7)$$

โดยที่ $N_{i,city}$ คือ จำนวนผู้ใช้ไฟของฟีดเดอร์ในพื้นที่เมืองที่ได้รับผลกระทบเมื่ออุปกรณ์ป้องกันประเภท i ทำงาน (ราย)

k_{cc} คือ ค่าแฟกเตอร์การปรับปรุงระบบจากการป้องกันสาเหตุที่ควบคุมได้

λ'_i คือ อัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i อันเนื่องมาจากการเกิดฟอสต์ในพื้นที่เมือง ภายหลังการปรับปรุง (ครั้ง/ปี)

รูปแบบที่ 2 : โซนของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ครอบคลุมพื้นที่ในเมืองและนอกเมืองบางส่วน ซึ่งสามารถลดจำนวนการเกิดไฟฟ้าขัดข้องในเมืองได้ โดยการติดตั้งรีโคลสเซอร์ที่ตำแหน่งบริเวณนอกนอกเขตเมือง เมื่อเกิดฟอสต์นอกเมืองจะป้องกันผู้ใช้ไฟในเมืองไม่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องนั้น ดังนั้นอัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ภายหลังการปรับปรุงสามารถอธิบายได้ดังสมการ (8)

$$\lambda'_i = \frac{N_{i,city}}{N_i} \times (k_{cc}\lambda_{i,cc} + \lambda_{i,uc}) \quad (8)$$



เพื่อจำกัดพื้นที่การเกิดไฟดับให้น้อยลง จึงควรแบ่ง section ในพื้นที่เมืองให้มีจำนวนมากขึ้น ซึ่งสามารถกำหนดจำนวน section ในไลน์เมนหลังอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ได้จากสมการ (9)

$$n'_{s,i} = \text{roundup} \left(\frac{N_{i,\text{city}}}{N_{\text{feeder}}} \times \frac{P_{\text{feeder}}}{P_s} \right) \quad (9)$$

โดยที่ N_{feeder} คือ จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดของฟีดเดอร์ (ราย)

P_{feeder} คือ ค่าโหลดพิคกในฟีดเดอร์ (MW)

P_s คือ ค่าโหลดเฉลี่ยที่กำหนดในแต่ละ section (MW)

$n'_{s,i}$ คือ จำนวน section ในไลน์เมนหลังอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ที่แนะนำให้ปรับปรุงในพื้นที่เมืองหลังปรับปรุง (section)

ดังนั้นอัตราความขัดข้องหลังการปรับปรุงของในแต่ละ section ในโซนของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i อธิบายได้ดังสมการ (10) โดยกำหนดให้โซนของฟิวส์ภายในพื้นที่เมืองไม่มีการแบ่ง section เพิ่ม และกรณี section เดิมก่อนที่จะแบ่งมีมากกว่าจำนวน section ที่แบ่งได้ตามสมการ (9) จะเลือกใช้จำนวน section เดิม

$$\lambda'_{s,i} = \frac{\lambda_i}{n_{s,i}} \quad (10)$$

เมื่อ

$$\overline{n}_{s,i} = \begin{cases} \max(n_{s,i}, n'_{s,i}); \text{ สำหรับโซนป้องกันของ} \\ \text{อุปกรณ์เบรกเกอร์และ} \\ \text{รีโคลสเซอร์} \\ 1; \text{ สำหรับโซนป้องกันของฟิวส์} \end{cases}$$

โดยที่ $\lambda'_{s,i}$ คือ อัตราความขัดข้องในแต่ละ section ในโซนของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i หลังปรับปรุง (ครั้ง/ปี)

$n_{s,i}$ คือ จำนวน section ที่อยู่ในโซนของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ในเขตพื้นที่เมืองก่อนการปรับปรุง (section)

กำหนดให้จำนวนรีโคลสเซอร์ในแต่ละฟีดเดอร์ก่อนการปรับปรุงมีจำนวน 1 ตัว เนื่องจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะไม่ติดตั้งรีโคลสเซอร์ในฟีดเดอร์มากกว่า 1 ตัว เพราะการ Co-ordination ของอุปกรณ์ป้องกันในฟีดเดอร์ทำได้ยาก และระยะเวลาซ่อมเฉลี่ยของแต่ละ section หลังจาการปรับปรุงระบบมีค่าเท่ากับระยะเวลาซ่อมเฉลี่ยของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ก่อนการปรับปรุง ดังสมการที่ (11)

$$r'_{s,i} = r_i \quad (11)$$

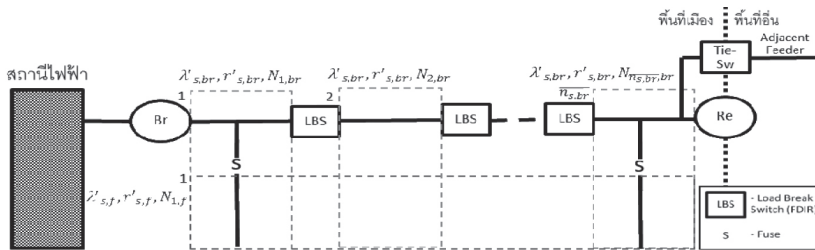
โดยที่ $r'_{s,i}$ คือ ระยะเวลาซ่อมเฉลี่ยของแต่ละ section ในโซนของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i หลังการปรับปรุง (นาที่) การเพิ่มฟังก์ชัน FDIR ที่อุปกรณ์ตัดตอนทุกตัวในระบบเพื่อแยก section ที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบและจ่ายไฟคืนให้แก่ section อื่น กำหนดให้ r_{sw} คือ ระยะเวลาจ่ายไฟกลับคืนให้แก่ section ที่ไม่เกิดฟอลต์ (นาที่) และ คือ r_{det} ระยะเวลาไฟดับที่ผู้ให้บริการไฟฟ้าไม่นำมาคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI และ SAIDI (นาที่) โดยระบบ DAS-FDIR มีหลักการทำงานดังนี้ [4],[7]

- เมื่อฟอลต์เกิดขึ้นใน section ใด section หนึ่งในระบบ อุปกรณ์ป้องกันจะทำงานแล้วอุปกรณ์ในแต่ละช่วง section ส่งสัญญาณให้ผู้ควบคุมทราบผ่านระบบ RTU (Remote Terminal Unit)
- ฟังก์ชันนี้จะสั่งการเปิดวงจรในช่วง section ที่เกิดฟอลต์ออกแบบอัตโนมัติ
- ระบบคอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณให้อุปกรณ์ถ่ายโอนโหลดทำงาน ทำให้ผู้ใช้ไฟใน section อื่นได้รับผลกระทบจากไฟดับเป็นระยะเวลา r_{sw} นาที่

ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่างที่ได้รับการปรับปรุงตามกระบวนการข้างต้น ซึ่งการคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าแบบเหนือดินในเมืองใหญ่ภายหลังการปรับปรุงสามารถแบ่งได้ 2 กรณีซึ่งมีความแตกต่างกันดังนี้

กรณีที่ 1 : เมื่อฟอลต์เกิดขึ้นในระบบทำให้อุปกรณ์ป้องกันทำงาน section ที่เกิดฟอลต์ขึ้นจะสามารถจ่ายไฟกลับคืนได้ภายในระยะเวลา $r'_{s,i}$ นาที และ section อื่นจะจ่ายไฟกลับคืนได้จากการถ่ายโอนโหลดภายในเวลา 1 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไม่นับ

เป็นค่าดัชนีความเชื่อถือได้ $SAIFI$ และ $SAIDI$ ($r_{sw} \leq r_{det}$) ดังนั้นการนับเป็นค่าดัชนีความเชื่อถือได้จะคิดเฉพาะ section ที่เกิดฟอลต์และจำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบใน section นั้นๆ ($N_{m,i}$) เมื่ออัตราความขัดข้องแต่ละ section เท่ากัน ($\lambda'_{s,i}$) จำนวนผู้ใช้ไฟในแต่ละ section ที่เกิดฟอลต์รวมจะมีค่าเท่ากับจำนวนผู้ใช้ไฟหลังอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ในพื้นที่เมือง ($N_{i,city}$) ดังนั้นสามารถคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ตามสมการ (12) และ (13)



ภาพที่ 2 ตัวอย่างของฟีดเดอร์ภายหลังการปรับปรุง

$$SAIFI_{New} = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} \lambda'_{s,i} (N_{1,i} + N_{2,i} + \dots + N_{\overline{n_{s,i}}})}{N_{city}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} \lambda'_{s,i} N_{i,city}}{N_{city}} \quad (12)$$

$$SAIDI_{New} = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} \lambda'_{s,i} r'_{s,i} (N_{1,i} + N_{2,i} + \dots + N_{\overline{n_{s,i}}})}{N_{city}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} \lambda'_{s,i} r'_{s,i} N_{i,city}}{N_{city}} \quad (13)$$

โดยที่ N_{city} คือ จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดของฟีดเดอร์ในพื้นที่เมือง (ราย)

กรณีที่ 2 : เมื่อฟอลต์เกิดขึ้นในระบบทำให้อุปกรณ์ป้องกันทำงาน section ที่เกิดฟอลต์ขึ้นจะสามารถจ่ายไฟกลับคืนได้ภายในระยะเวลานาที $r'_{s,i}$ และ

section อื่นจะจ่ายไฟกลับคืนได้จากการถ่ายโอนโหลดภายในเวลา r_{sw} ซึ่งเป็นระยะเวลามากกว่าที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไม่นำมาคิดคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ $SAIFI$ และ $SAIDI$ ($r_{sw} \leq r_{det}$) ดังนั้นเมื่อเกิดฟอลต์ใน section ใด section หนึ่ง โชนของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i จะทำให้ผู้ใช้ไฟได้รับผลกระทบจากไฟดับจำนวน $N_{i,city}$ ราย ซึ่งระบบมีจำนวนการเกิดฟอลต์ของทุก section รวม $\lambda'_{s,i} \cdot \overline{n_{s,i}}$ ครั้ง แต่ครั้งทำให้ผู้ใช้ไฟใน section อื่นได้รับผลกระทบรวมทั้งสิ้น $\frac{N_{i,city}(\overline{n_{s,i}}-1)}{\overline{n_{s,i}}}$ ราย ซึ่งผู้ใช้ไฟดังกล่าวสามารถรับไฟฟ้ากลับคืนได้ภายในระยะเวลา r_{sw} นาที ดังนั้นการนับเป็นค่าดัชนีความเชื่อถือได้ตามสมการ (14) และ (15)

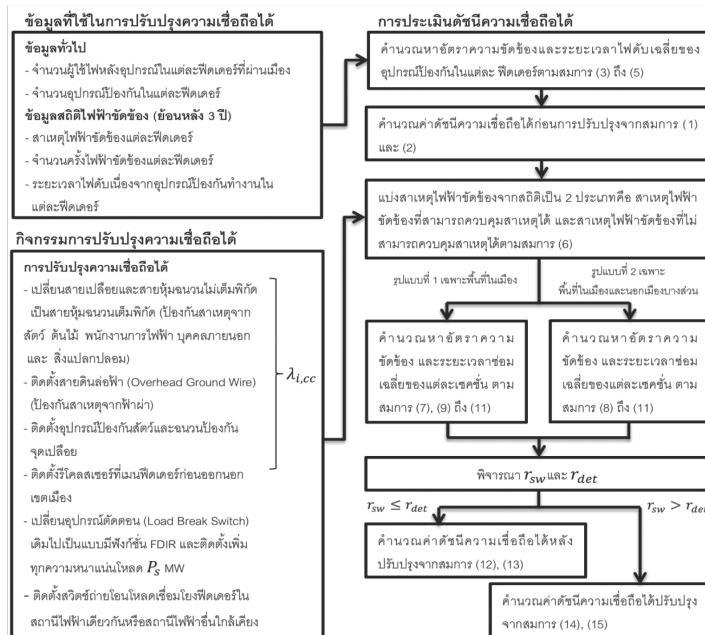


$$SAIFI_{New} = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} \lambda'_{s,i} N_{i,city}}{N_{city}} + \frac{\sum_{i=1}^{n_p} \lambda'_{s,i} N_{i,city} (\overline{n_{s,i}} - 1) \overline{n_{s,i}}}{N_{city} \overline{n_{s,i}}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} \lambda'_{s,i} N_{i,city} \overline{n_{s,i}}}{N_{city}} \quad (14)$$

$$SAIDI_{New} = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} \lambda'_{s,i} r'_{s,i} (N_{1,i} + N_{2,i} + \dots + N_{\overline{n_{s,i}},i})}{N_{city}} + \frac{\sum_{i=1}^{n_p} \lambda'_{s,i} r_{sw} N_{i,city} (\overline{n_{s,i}} - 1) \overline{n_{s,i}}}{N_{city} \overline{n_{s,i}}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} \lambda'_{s,i} r'_{s,i} N_{i,city}}{N_{city}} + \frac{\sum_{i=1}^{n_p} \lambda'_{s,i} r_{sw} N_{i,city} (\overline{n_{s,i}} - 1)}{N_{city}} = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} \lambda'_{s,i} N_{i,city} (r'_{s,i} + r_{sw} (\overline{n_{s,i}} - 1))}{N_{city}} \quad (15)$$

ข. กระบวนการปรับปรุงและประเมินความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าในเมืองใหญ่

กระบวนการปรับปรุงและประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนื่อดินในเมืองใหญ่ สามารถสรุปได้ดังโพลีชาร์ตในภาพที่ 3 [8], [9]



ภาพที่ 3 โพลีชาร์ตแสดงกระบวนการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของแต่ละประเภทอุปกรณ์ป้องกัน

ตัวอย่างข้างล่างแสดงการประเมินค่าความเชื่อถือได้ของระบบโดยใช้กระบวนการปรับปรุงข้างต้นในฟีดเดอร์ที่มีการจัดรูปแบบ section ที่แตกต่างกัน ได้แก่ฟีดเดอร์เมืองใหญ่ในภาคเหนือ N_ID12 และฟีดเดอร์เมืองใหญ่ในภาคใต้ S_ID06 ทั้ง 2 ฟีดเดอร์มีรูปแบบ section ดังนี้

1. ฟีดเดอร์ N_ID12 – มีโซนของอุปกรณ์ป้องกัน
2. รูปแบบ ได้แก่ โซนของเบรกเกอร์และฟิวส์ที่ครอบคลุมเฉพาะในพื้นที่เมือง (รูปแบบที่ 1) และโซนของรีเคลเซอร์ที่ครอบคลุมพื้นที่ในเมืองและนอกเมืองบางส่วน (รูปแบบที่ 2)

2. ฟีดเดอร์ S_ID06 - มีโซนของอุปกรณ์ป้องกัน 2 รูปแบบ ได้แก่ โซนของเบรกเกอร์ที่ครอบคลุมพื้นที่ในเมืองและนอกเมืองบางส่วน (รูปแบบที่ 2) และโซนของฟิวส์ที่ครอบคลุมเฉพาะในพื้นที่เมือง (รูปแบบที่ 1)

รายละเอียดของทั้ง 2 ฟีดเดอร์ข้างต้นแสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยฟีดเดอร์ N_ID12 และ S_ID06 มีจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าทั้งฟีดเดอร์ (N_{feeder}) เท่ากับ 5,325 และ 5,959 รายตามลำดับ ในการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของฟีดเดอร์ดังกล่าว กำหนดให้มีการเปลี่ยนสายเปลือยและสายหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัดเป็นสายหุ้มฉนวนเต็มพิกัด การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันสัตว์ที่จุดเปลือยต่างๆ และการติดตั้งสายดินล่อฟ้า สามารถลดไฟดับจากสาเหตุที่ควบคุมได้ 100% ($k_{cc} = 0$) [8] นอกจากนี้ติดตั้งสวิตช์ตัดตอน (FDIR) เพื่อแบ่งโหลดในแต่ละ section (P_s) ให้ใกล้เคียง 1 MW ในบทความนี้กำหนดให้แต่ละฟีดเดอร์จ่ายโหลดได้ (P_{feeder}) ไม่เกิน 6 MW เนื่องจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคกำหนดว่าแต่ละฟีดเดอร์

ในเมืองใหญ่มีค่าโหลดพิกัดเท่ากับ 6 MW กำหนดให้อุปกรณ์สวิตช์ตัดตอนทำงานสำเร็จ 100% ไม่มีข้อจำกัดในการถ่ายโอนโหลด ระยะเวลาไฟดับที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคพิจารณาคำนวณเป็นค่าดัชนีความเชื่อถือได้ (r_{det}) ต้องมีค่ามากกว่า 1 นาที่ขึ้นไป และระยะเวลาจ่ายไฟกลับคืนสู่ผู้ใช้ไฟใน section อื่นที่ไม่เกิดฟอลต์ (r_{sw}) ภายใน 1 นาที เพื่อประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ตามกรณีที่ 1 ($r_{sw} \leq r_{det}$) และภายใน 5 นาที ($r_{sw} > r_{det}$) เพื่อประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ตามกรณีที่ 2 [4]

เมื่อได้ปรับปรุงและประเมินความเชื่อถือได้ตามกระบวนการขั้นตอน ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และดัชนีความเชื่อถือได้ถูกแสดงในตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับจากผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าดัชนีความเชื่อถือได้มีค่าลดลง กล่าวได้ว่าฟีดเดอร์ทั้ง 2 ฟีดเดอร์มีความเชื่อถือได้ที่ดีขึ้นอย่างชัดเจน

ตารางที่ 1 ข้อมูลฟีดเดอร์ N_ID12 และ S_ID06

ฟีดเดอร์	อุปกรณ์	ปีที่	n_i (ตัว)	$O_{i,k}$ (ครั้ง)	$DT_{i,k}$ (นาที่)	$\lambda_{i,cc}(\%)$ (ครั้ง/ปี)	$n_{s,i}$ (เซกชัน)	$N_{i,city}$ (ราย)
N_ID12	เบรกเกอร์	1	1	0	0	100.00	1	5,117
		2	1	1	34			
		3	1	0	0			
	รีโคลลเซอร์	1	1	1	11	66.67	4	4,917
		2	1	2	10			
		3	1	0	0			
	ฟิวส์	1	2	2	155	50.00	1	657
		2	2	3	160			
		3	2	1	60			
S_ID06	เบรกเกอร์	1	1	0	0	33.33	3	4,199
		2	1	1	9			
		3	1	2	20			
	ฟิวส์	1	13	8	190	83.33	1	1,628
		2	13	5	377			
		3	5	8	294			



ตารางที่ 2 พารามิเตอร์และผลลัพธ์จากการประเมินความเชื่อถือได้ของฟีดเดอร์ N_ID12 และ S_ID06

ฟีดเดอร์	อุปกรณ์	$MTTF_i$ (นาท)	λ_i (ครั้ง/ปี)	λ'_i (ครั้ง/ปี)	$r'_{s,i}$ (นาท)	$n'_{s,i}$ (เซกชัน)	$\lambda'_{s,i}$ (ครั้ง/ปี)
N_ID12	เบรกเกอร์	1,576,766	0.33	0.00	34.00	1	0.00
	รีโวลลเซอร์	350,393	1.50	0.03	7.00	6	0.08
	ฟิวส์	525,537	1.00	0.50	62.50	1	0.50
S_ID06	เบรกเกอร์	525,590	1.00	0.45	9.67	5	0.09
	ฟิวส์	905,152	0.58	0.10	47.83	1	0.10

ตารางที่ 3 ดัชนีความเชื่อถือได้ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงของฟีดเดอร์ N_ID12 และ S_ID06

เมือง	SAIFI(ครั้ง/ราย/ปี)			SAIDI(นาท/ราย/ปี)		
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	
		กรณีที่ 1 ($r_{sw} = 1$ นาท)	กรณีที่ 2 ($r_{sw} = 5$ นาท)		กรณีที่ 1 ($r_{sw} = 1$ นาท)	กรณีที่ 2 ($r_{sw} = 5$ นาท)
N_ID12	1.58	0.13	0.51	98.93	8.72	10.06
S_ID06	1.22	0.13	0.50	58.60	6.29	8.16

3. กรณีศึกษา

กรณีศึกษาในบทความนี้ได้เลือกระบบจำหน่ายไฟฟ้าในเมืองใหญ่ของประเทศไทยทั้ง 4 ภาค ได้แก่ เมืองใหญ่ในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออก และภาคใต้ ซึ่งจ่ายไฟฟ้าแบบเรเดียล ที่ระดับแรงดัน 22 และ 33 กิโลโวลต์ แต่ละฟีดเดอร์จ่าย

โหลดได้ไม่เกิน 6 MW จำนวนไฟฟ้าขัดข้องที่สามารถควบคุมสาเหตุได้ และไม่สามารถควบคุมสาเหตุได้ และจำนวนผู้ใช้ไฟฟ้าของแต่ละเมืองแสดงดังตารางที่ 4 โดยไม่พิจารณาการทำงานของอุปกรณ์ป้องกันของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต

ตารางที่ 4 จำนวนฟีดเดอร์ สาเหตุไฟฟ้าขัดข้องและผู้ใช้ไฟของแต่ละเมือง

เมือง	จำนวนฟีดเดอร์	จำนวนไฟฟ้าขัดข้อง (%)		ผู้ใช้ไฟ (ราย)
		ควบคุมได้	ควบคุมไม่ได้	
N_City	13	75.21	14.38	38,802
NE_City	20	65.37	25.50	43,102
E_City	30	54.19	26.10	61,902
S_City	28	61.97	25.42	52,671

4. การประยุกต์และผลลัพธ์

เพื่อนำกระบวนการปรับปรุงและประเมินความเชื่อถือได้ในหัวข้อที่ 2 มาประยุกต์ใช้กับระบบไฟฟ้าในเมืองใหญ่ทั้ง 4 เมืองข้างต้น โดยกำหนดให้สวิตช์ตัดตอนแบบ FDIR แบ่งโหลดในแต่ละ section เท่ากับ 1 MW ลดการเกิดไฟฟ้าขัดข้องจากสาเหตุที่ควบคุมได้ 100% โอกาสอุปกรณ์ป้องกันทำงานสำเร็จ 100% ไม่มีข้อจำกัดในการถ่ายโอนโหลดระยะเวลาไฟดับที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคพิจารณาเป็นค่าดัชนีความ

เชื่อถือได้ต้องมีค่ามากกว่า 1 นาที่ขึ้นไป และระยะเวลาจ่ายไฟกลับคืนสู่ผู้ใช้ไฟใน section อื่นที่ไม่เกิดฟอลต์ภายในระยะเวลา 1 นาที่ เพื่อประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ตามกรณีที่ 1 ($r_{sw} \leq r_{det}$) และภายใน 5 นาที่ ($r_{sw} > r_{det}$) และเพื่อประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ตามกรณีที่ 2

ผลลัพธ์ของค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของเมืองใหญ่ทั้ง 4 เมืองก่อนและหลังปรับปรุงโดยใช้กระบวนการปรับปรุงความเชื่อถือได้ตามโพล์ชาร์ต ซึ่งแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ก่อนและหลังปรับปรุงของระบบไฟฟ้าใน 4 เมืองใหญ่

เมือง	SAIFI(ครั้ง/ราย/ปี)			SAIDI(นาที่/ราย/ปี)		
	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	
		กรณีที่ 1 ($r_{sw} = 1$ นาที่)	กรณีที่ 2 ($r_{sw} = 5$ นาที่)		กรณีที่ 1 ($r_{sw} = 1$ นาที่)	กรณีที่ 2 ($r_{sw} = 5$ นาที่)
N_City	0.94	0.08	0.30	50.22	3.89	5.04
NE_City	3.82	0.31	1.42	188.36	15.48	21.03
E_City	1.77	0.18	0.97	54.42	5.64	9.59
S_City	1.59	0.17	0.74	103.31	10.84	13.65



5. สรุปผลการศึกษา

บทความนี้นำเสนอกระบวนการปรับปรุงและประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือนดินในเมืองใหญ่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ขั้นตอนการปรับปรุงความเชื่อถือได้ประกอบด้วย การเปลี่ยนสายเปลือยและสายหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัดเป็นสายหุ้มฉนวนเต็มพิกัด การติดตั้งรีโกลสเซอร์ก่อนออกนอกเขตเมือง การติดตั้งสายดินล่อฟ้า การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันสัตว์และฉนวนป้องกันจุดเปลือยการติดตั้งสวิตช์ถ่ายโอนโหลด (Tie-Switch) การเปลี่ยนสวิตช์ตัดตอนเดิมเป็นแบบฟังก์ชันแยกฟอลต์อัตโนมัติ (FDIR) และการติดตั้งสวิตช์ตัดตอนแบบ FDIR โดยแบ่งโหลดในแต่ละ section เท่ากับ 1 MW สำหรับระบบไฟฟ้าในเมืองใหญ่ทั้ง 4 เมือง ในกรณีศึกษาจะเห็นได้จากการเปลี่ยนสายและการติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันสัตว์สามารถลดสาเหตุที่ทำให้เกิดไฟฟ้าขัดข้องจากสาเหตุจากสัตว์ ต้นไม้ สิ่งแปลกปลอม พนักงานการไฟฟ้า และบุคคลภายนอกได้ และการติดตั้งสายดินล่อฟ้าสามารถลดสาเหตุที่ทำให้เกิดไฟฟ้าขัดข้องจากสาเหตุจากฟ้าผ่าได้ ซึ่งสาเหตุเหล่านี้เกิดขึ้นบ่อยครั้งและเป็นสาเหตุที่สามารถควบคุมได้ ดังนั้นอัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ป้องกันหลังจากการเปลี่ยนสายและติดตั้งสายดินล่อฟ้าจะลดลงไปอย่างมาก และเมื่อเกิดไฟฟ้าขัดข้องขึ้นฟังก์ชัน FDIR สามารถแยก section ที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบ พร้อมทั้งมีสวิตช์ถ่ายโอนโหลดเพื่อย้ายกระแสไฟฟ้าไปสู่ผู้ใช้ไฟใน section อื่นที่ไม่เกิดฟอลต์ภายในระยะเวลา 1 นาที และ 5 นาที ซึ่งระยะเวลาไฟดับที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจะไม่นำมาคิดค่าดัชนีความ

เชื่อถือได้ SAIFI และ SAIDI มีค่าไม่เกิน 1 นาทีจากผลลัพธ์ทั้ง 2 กรณีดังกล่าวเห็นได้อย่างชัดเจนว่าความเชื่อถือได้ของ 4 เมืองดังกล่าวมีค่าดีขึ้นอย่างมาก ซึ่งเดิมการประเมินดัชนีความเชื่อถือได้จะคิดคำนวณจากอุปกรณ์ทุกตัวในระบบ แต่ในงานวิจัยนี้จะเป็นการประเมินเป็นรายประเภทของอุปกรณ์ ซึ่งเป็นรูปแบบที่ง่ายและสามารถนำไปใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้หลังจากปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือนดินในเมืองใหญ่ได้จริง โดยพิจารณาจากดัชนีความเชื่อถือได้ที่ประเมินได้จากกระบวนการที่นำเสนอไว้ในงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Brown R.E. (2009). Electric Power Distribution Reliability. Taylor and Francis Group, New York.
- [2] Baharin K.A. (2005). Remote Terminal Unit (RTU) for Distribution Automation System (DAS). Kolej Universiti Teknikal Kebangsaan, Malaysia.
- [3] Ausgrid. (2012). Grid Applications Stream : Fault Detection, Isolation and Restoration. Smart Grid Smart City Project. George Street, Sydney.
- [4] Lin C.H., Chuang H.J., Chen C.S., Li C.S. and Ho C.Y., (2009), "Fault Detection, Isolation and Restoration using a Multiagent-based Distribution Automation System". Industrial Electronics and Applications. pp. 2528-2533.
- [5] Chen R.L. and Sabir S., (2001), "The Benefits of Implementing Distribution Automation and System Monitoring in the Open Electricity Market". Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, Vol. 2. pp. 825-830.

- [6] โครงการพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลัง. (2554). ความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กรุงเทพมหานคร
- [7] Vidyasagar E. and Prasad P.V.N. (2011), “Reliability Assessment of Radial Feeder for Different Automation Intensity Levels”. Recent Advances in Intelligent Computational Systems, pp 416–419.
- [8] ฝ่ายวางแผนระบบไฟฟ้า. (2553). รายงานการศึกษาความเหมาะสมโครงการเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าระยะที่ 3. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กรุงเทพมหานคร
- [9] Hart D.G., Uy D., Green J.N., Laplace C. and Novosel D., (2000), “Automated Solution for Distribution Feeder”. Computer Application in Power. Vol.13.pp 25–30.