



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การปรับปรุงและประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือดินในเมืองใหญ่

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

นามผู้วิจัย นายสรพล กิจศิริสิน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รongศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์คุณชัยพิเศษส์ ฤกษ์ปรีดาพงศ์, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รongศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รongศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การปรับปรุงและประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือดินในเมืองใหญ่

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

โดย

นายสรพล กิจศิริสิน

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ.2556

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

สรพล กิจศิริสิน 2556: การปรับปรุงและประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่าย
ไฟฟ้าแบบเหนือนดินในเมืองใหญ่ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
(วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษา
วิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม. 129 หน้า

เมืองใหญ่ คือ เมืองที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและวัฒนธรรม การเกิดไฟฟ้าขัดข้องใน
พื้นที่เมืองใหญ่มักรวมทำให้เกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังนั้นการไฟฟ้า
ส่วนภูมิภาคจึงต้องปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าในเมืองใหญ่อย่างเต็มที่ เพื่อให้
เศรษฐกิจเติบโตได้อย่างต่อเนื่อง วิทยานิพนธ์นี้เสนอขั้นตอนและกระบวนการปรับปรุงความ
เชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือนดินในเมืองใหญ่ ได้แก่ การเปลี่ยนจากสายเปลือยและ
สายหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัดให้เป็นสายหุ้มฉนวนเต็มพิกัด การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันสัตว์บริเวณจุด
เปลือย การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอนเพิ่มในระบบ การป้องกันฟ้าผ่าสายจำหน่ายโดยการ
ติดตั้งสายดินล่อฟ้า (Overhead Ground Wire) รวมถึงการเพิ่มระบบควบคุมสั่งการอัตโนมัติ (DAS)
และฟังก์ชันแยกฟอลต์อัตโนมัติ (FDIR) ทั้งนี้เพื่อให้สามารถลดการเกิดไฟฟ้าขัดข้อง และลด
ระยะเวลาไฟฟ้าขัดข้องได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยได้ประเมินผลของการปรับปรุงข้างต้นจากค่า
ดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI และ SAIDI ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการประเมินค่าดัชนีทั้งสอง
ภายหลังการปรับปรุงระบบ ด้วยสูตรอย่างง่ายที่สะดวกแก่การนำไปใช้ตัดสินใจเพื่อการลงทุน
ต่อไป โดยในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำกระบวนการปรับปรุงความเชื่อถือได้ไปประยุกต์ใช้กับเมืองใหญ่
4 เมือง ในภาคเหนือ ภาคตะวันออก ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และภาคใต้ของประเทศไทย พร้อม
ประเมินความเชื่อถือได้ที่ดีขึ้นในรูปของค่าดัชนี SAIFI และ SAIDI

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Soraphon Kigsirisin 2013: Reliability Improvement and Assessment on Overhead Power Distribution Systems in Large Cities. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Vichai Surapatana, M.Eng. 129 pages.

Large cities are urban areas which are the center of economy and culture. A power interruption the area of 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 thesis presents necessary steps and 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 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.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดีได้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์คุณย์พิเชษฐ ฤกษ์ปรีดาพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษา และข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการทำวิทยานิพนธ์ ตลอดจนทำการตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปได้ ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่เอื้อเฟื้อข้อมูลที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนสำเร็จ

ขอขอบพระคุณบิดา มารดาและครอบครัว ตลอดจนญาติพี่น้องทุกคน ที่ได้ให้การสนับสนุนทุกด้านและขอบคุณพี่ๆ ในโครงการวิจัยและพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลังที่สนับสนุนและให้คำแนะนำในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

ท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณและประสบการณ์ที่มีค่าในการศึกษาครั้งนี้ ไปใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อตัวเองและต่อสังคมต่อไป

สรพล กิจศิริสิน
พฤษภาคม 2556

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(7)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	35
อุปกรณ์	35
วิธีการ	35
ผลและวิจารณ์	69
ผล	70
วิจารณ์	72
สรุปและข้อเสนอแนะ	74
สรุป	74
ข้อเสนอแนะ	75
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	76
ภาคผนวก	78
ภาคผนวก ก ข้อมูลการทำงานอุปกรณ์ป้องกันในแต่ละไฟเตอร์ของ 4 เมือง	79
ภาคผนวก ข ผลลัพธ์พารามิเตอร์จากการคำนวณแต่ละไฟเตอร์ของ 4 เมือง	108
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	129

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ผลลัพธ์ดัชนีความเชื่อถือได้ในฟีดเดอร์ที่ไม่มีระบบอัตโนมัติ	25
2	ผลลัพธ์ดัชนีความเชื่อถือได้ในฟีดเดอร์ที่มีรี โคลสเซอร์ในระบบ	26
3	ผลลัพธ์ดัชนีความเชื่อถือได้ในฟีดเดอร์ที่มีรี โคลสเซอร์และ สวิตช์ตัดตอนในระบบ	28
4	ผลลัพธ์ดัชนีความเชื่อถือได้ในฟีดเดอร์ที่มีรี โคลสเซอร์ สวิตช์ตัดตอน และสวิตช์ถ่ายโอนโหลดในระบบ	30
5	รหัสการไฟฟ้าในเมืองใหญ่ 12 เมือง	39
6	รหัสสาเหตุไฟดับ	40
7	จำนวนสาเหตุไฟดับเมือง N_CITY	43
8	จำนวนไฟดับเมือง NE_CITY	44
9	จำนวนไฟดับเมือง E_CITY	45
10	จำนวนไฟดับเมือง S_CITY	45
11	ชื่อคอลัมน์เพื่อหาสาเหตุไฟดับและจำนวนผู้ใช้ไฟ	49
12	ข้อมูลฟีดเดอร์ N_ID12	58
13	ข้อมูลฟีดเดอร์ S_ID06	64
14	ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงในฟีดเดอร์ N_ID12 และ S_ID06	69
15	ข้อมูลทั่วไป 4 เมืองใหญ่	70
16	ผลลัพธ์ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ทั้ง 4 เมืองใหญ่	71

ตารางผนวกที่

ก1	ข้อมูลการทำงานของเบรกเกอร์ในปี 2553-2555 ในเขตเมืองใหญ่ N_CITY	80
ก2	ข้อมูลการทำงานของรี โคลสเซอร์ในปี 2553-2555 ในเขตเมืองใหญ่ N_CITY	82
ก3	ข้อมูลการทำงานของฟิวส์ในปี 2553-2555 ในเขตเมืองใหญ่ N_CITY	84

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก4 ข้อมูลการทำงานของเบรกเกอร์ในปี 2553-2555 ในเขตเมืองใหญ่ NE_CITY	86
ก5 ข้อมูลการทำงานของรี โคลสเซอร์ในปี 2553-2555 ในเขตเมืองใหญ่ NE_CITY	88
ก6 ข้อมูลการทำงานของฟิวส์ในปี 2553-2555 ในเขตเมืองใหญ่ E_CITY	90
ก7 ข้อมูลการทำงานของเบรกเกอร์ในปี 2553-2555 ในเขตเมืองใหญ่ E_CITY	92
ก8 ข้อมูลการทำงานของฟิวส์ในปี 2553-2555 ในเขตเมืองใหญ่ E_CITY	96
ก9 ข้อมูลการทำงานของเบรกเกอร์ในปี 2553-2555 ในเขตเมืองใหญ่ S_CITY	100
ก10 ข้อมูลการทำงานของฟิวส์ในปี 2553-2555 ในเขตเมืองใหญ่ S_CITY	104
ข1 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ของเบรกเกอร์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมืองใหญ่ N_CITY	109
ข2 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ของรี โคลสเซอร์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมืองใหญ่ N_CITY	110
ข3 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ของฟิวส์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมืองใหญ่ N_CITY	111
ข4 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ของเบรกเกอร์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมืองใหญ่ NE_CITY	112
ข5 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ของรี โคลสเซอร์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมืองใหญ่ NE_CITY	113
ข6 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ของฟิวส์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมืองใหญ่ NE_CITY	114
ข7 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ของเบรกเกอร์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมืองใหญ่ E_CITY	115
ข8 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ของฟิวส์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมืองใหญ่ E_CITY	117
ข9 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ของเบรกเกอร์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมืองใหญ่ S_CITY	119

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข10	ผลลัพธ์พารามิเตอร์ของพีวส์จากการคำนวณในแต่ละฟิเคเตอร์ในเขตเมืองใหญ่ S_CITY	121
ข11	ผลลัพธ์พารามิเตอร์จากการคำนวณในแต่ละฟิเคเตอร์ในเขตเมืองใหญ่ N_CITY	123
ข12	ผลลัพธ์พารามิเตอร์จากการคำนวณในแต่ละฟิเคเตอร์ในเขตเมืองใหญ่ NE_CITY	124
ข13	ผลลัพธ์พารามิเตอร์จากการคำนวณในแต่ละฟิเคเตอร์ในเขตเมืองใหญ่ E_CITY	125
ข14	ผลลัพธ์พารามิเตอร์จากการคำนวณในแต่ละฟิเคเตอร์ในเขตเมืองใหญ่ S_CITY	127

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 องค์ประกอบของสมรรถนะความพร้อมใช้งาน	4
2 ไตอะแกรมของสมรรถนะความพร้อมใช้งาน	5
3 สายอลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย (AAC)	10
4 สายอลูมิเนียมแกนเหล็ก (ACSR)	11
5 สายหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัด (PIC)	12
6 สาย SPACE AERIAL CABLE (SAC)	12
7 สาย CROSS-LINKED POLYETHYLENE (XLPE)	13
8 อัตราความเสียหายของระบบจากการเปลี่ยนสายเปลือยเป็นสายหุ้มฉนวน	14
9 สถานีไฟฟ้าแรงสูงที่มีระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยใช้เสาต่อฟ้าติดตั้งบน TAKE OFF STRUCTURE และ HIGH MAST	15
10 แสดงสถานีไฟฟ้าแรงสูงที่มีระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยใช้สายดินล่อฟ้า	16
11 สถานีไฟฟ้าแรงสูงที่มีระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยใช้เสาต่อฟ้าและสายดินล่อฟ้าร่วมกัน	17
12 โครงสร้างของระบบควบคุมระบบจำหน่ายอัตโนมัติ (DAS)	18
13 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ TAIPOWER	19
14 อัตราความขัดข้องสาเหตุของสายเปลือยเหนือดิน	21
15 อัตราความขัดข้องสาเหตุไฟดับของสายหุ้มฉนวนเหนือดิน	21
16 การเกิดฟลัดต์ในระบบอัตโนมัติ	24
17 ฟิวเตอร์ที่มีการติดตั้งรีโคลสเซอร์เข้าสู่ระบบ	26
18 ฟิวเตอร์ที่มีการติดตั้งรีโคลสเซอร์และสวิตช์ตัดตอนเข้าสู่ระบบ	28
19 ฟิวเตอร์ที่มีการติดตั้งรีโคลสเซอร์ สวิตช์ตัดตอนและสวิตช์ถ่ายโอน โหลดเข้าสู่ระบบ	30
20 อุปกรณ์ป้องกันแบบแผ่นโลหะ	31
21 อุปกรณ์ป้องกันแบบแผ่นพลาสติก	31
22 อุปกรณ์ป้องกันแบบตาข่าย	32
23 อุปกรณ์ป้องกันแบบหัวครอบพีวีซีครอบที่หัวขั้วของหม้อแปลง	33
24 อุปกรณ์ป้องกันแบบหัวครอบที่ครอบเอาท์พิวส์	33
25 อุปกรณ์ป้องกันลิ่ง	34

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
26 แผนที่การไฟฟ้าเขตทั้ง 12 เขตของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	38
27 ไฟล์ฐานข้อมูล จฟ.3	41
28 คอลัมน์เพื่อค้นหาข้อมูลไฟดับ	42
29 คอลัมน์เพื่อค้นหาจำนวนผู้ใช้ไฟ	43
30 สาเหตุควบคุมได้และควบคุมไม่ได้จากการปรับปรุงความเชื่อถือได้	52
31 รูปแบบโซนป้องกันของอุปกรณ์ป้องกันในเมืองใหญ่	52
32 ตัวอย่างฟีดเดอร์ภายหลังการปรับปรุง	54
33 โฟล์วชาร์ตกระบวนการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือดินในเมืองใหญ่	56

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

SAIFI	= System Average Interruption Frequency Index
SAIDI	= System Average Interruption Duration Index
Br	= Breaker
Re	= Recloser
LBS	= Load Break Switch
DAS	= Distribution Automation System
FISR	= Fault Isolation and Service Restoration
FDIR	= Fault Detection Isolation and Restoration
AAC	= All Aluminum Conductor
ACSR	= Aluminum Conductor Steel Reinforced
PIC	= Partial Insulation Cable
SAC	= Space Aerial Cable

การปรับปรุงและประเมินความเชื่อถือได้ ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือดินในเมืองใหญ่

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

คำนำ

เนื่องจากการเติบโตทางด้านเศรษฐกิจของเมืองสำคัญมีเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว ระบบไฟฟ้ามีความสำคัญในการพัฒนาเติบโตทางเศรษฐกิจด้วย ปัจจุบันความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าเมืองสำคัญเป็นที่น่าพอใจของการไฟฟ้าระดับหนึ่ง เช่น เมืองใหญ่ทางภาคใต้ มีค่า SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) และ SAIDI (System Average Interruption Duration Index) เท่ากับ 1.43 และ 50.43 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบกับค่าที่การไฟฟ้าคาดหวังไว้อยู่ในระดับที่ 4 จาก 5 อันดับ นั้นแสดงให้เห็นว่าจะต้องมีการเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าให้มากขึ้น โดยต้องปรับปรุงระบบให้มีค่า SAIFI และ SAIDI ลดลงให้ได้มากที่สุด เพื่อให้ลดความสูญเสียทางเศรษฐกิจเหตุจากการเกิดไฟฟ้าดับให้มากที่สุด ประการหนึ่งการปรับปรุงสายไฟฟ้าเคเบิลเหนือดินมีความสำคัญต่อการลดค่า SAIFI และ SAIDI ได้ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพและเกิดความมั่นคงพลังงานทางด้านไฟฟ้าได้มากขึ้นอีกด้วย

ดังนั้นการศึกษาเรื่องการปรับปรุงและประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือดินในเมืองใหญ่จะทำให้ได้แนวทางในการพัฒนา ปรับปรุง และประเมินความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า เพื่อนำไปใช้ให้เกิดประสิทธิภาพในการพัฒนาและปรับปรุงระบบไฟฟ้าได้ในอนาคตต่อไป

วัตถุประสงค์

1. พัฒนาระบบการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือนดินในเมืองใหญ่ โดยแสดงวิธีการประเมินความเชื่อถือได้ในรูปของดัชนี SAIFI และ SAIDI
2. สามารถนำกระบวนการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือนดินในเมืองใหญ่ดังกล่าวไปใช้ในพื้นที่อื่นได้



การตรวจเอกสาร

1. ดัชนีความเชื่อถือได้

1.1 นิยาม “ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า” ซึ่งประกอบด้วยความเพียงพอและความมั่นคงในระบบ ความเพียงพอหมายถึงความสามารถของระบบไฟฟ้าในการจัดส่งพลังงานไฟฟ้าสนองตอบความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้ได้ตลอดเวลา รวมถึงจัดให้มีการวางแผนการผลิตและหยุดซ่อมโรงไฟฟ้าอย่างเหมาะสม ส่วนความมั่นคงจะหมายถึงความสามารถในการจัดการแก้ไขเหตุขัดข้องที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า เช่น การเกิดไฟฟ้าลัดวงจร หรือการสูญเสียพลังงานจากเงิน เช่น มีโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่หลุดออกจากระบบ เป็นต้น ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้านับวันมีบทบาทสำคัญมากขึ้นเรื่อยๆ ในการผลิตและจัดส่งไฟฟ้า เนื่องจากไฟฟ้าเป็นรากฐานที่สำคัญของการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคม เหตุขัดข้องใดๆที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า จึงสามารถสร้างความเสียหายอย่างมากต่อการดำเนินงานภาคธุรกิจและอุตสาหกรรม (การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2554)

1.2 นิยาม อัตราความเสียหาย (Failure Rate, λ) คือจำนวนครั้งที่อุปกรณ์เสียหายต่อปี หรือกล่าวได้ว่า อุปกรณ์ 1 ตัวเกิดความเสียหายกี่ครั้งในหนึ่งปี ดังแสดงในสมการ

$$\text{อัตราความเสียหาย } (\lambda) = \frac{\text{จำนวนครั้งไฟดับ}}{\text{เวลาที่พิจารณาทั้งหมด}} \quad (1)$$

ดังนั้นส่วนกลับของค่าอัตราความเสียหายจะบ่งบอกถึงสมรรถนะความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์นั้นคือ

$$\frac{1}{\text{อัตราความเสียหาย } (\lambda)} = \text{Mean Time to Failure (MTTF)} \quad (2)$$

เมื่ออุปกรณ์ในระบบเสียหายสามารถดำเนินการได้ 2 วิธีเพื่อให้ระบบสามารถใช้งานได้คือ การซ่อม (Repair) และการเปลี่ยนใหม่ (Replacement) ซึ่งระยะเวลาไฟดับที่เกิดขึ้นจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอุปกรณ์บางชนิดการเปลี่ยนใหม่อาจเร็วกว่าการซ่อม บางชนิดการซ่อมอาจเร็วกว่าการเปลี่ยนใหม่

อัตรา การซ่อม (Repair Rate, μ) คือ อัตราส่วนระหว่างจำนวนครั้งของการซ่อมอุปกรณ์ 1 หน่วยหรือ 1 ตัวกับระยะเวลาในการซ่อม (ชานาญ, 2553)

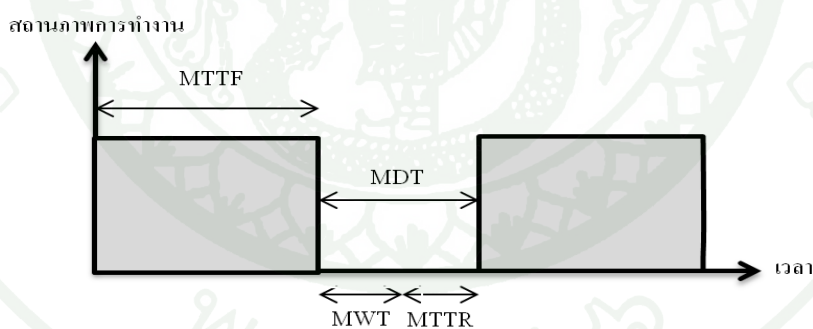
1.3 สมรรถนะความพร้อมใช้งานของระบบ

ชานาญ (2553) คำนึงที่ใช้บอกความเชื่อถือได้ของระบบมีหลายแบบขึ้นกับความเหมาะสมและวัตถุประสงค์ในการวัดของแต่ละระบบ สมรรถนะความพร้อมใช้งานประกอบด้วยองค์ประกอบ 3 อย่างคือ

- ก. สมรรถนะความเชื่อถือได้ (Reliability Performance)
- ข. สมรรถนะการสนับสนุนการบำรุงรักษา (Maintenance Support Performance)
- ค. สมรรถนะการบำรุงรักษาได้ (Maintainability Performance)

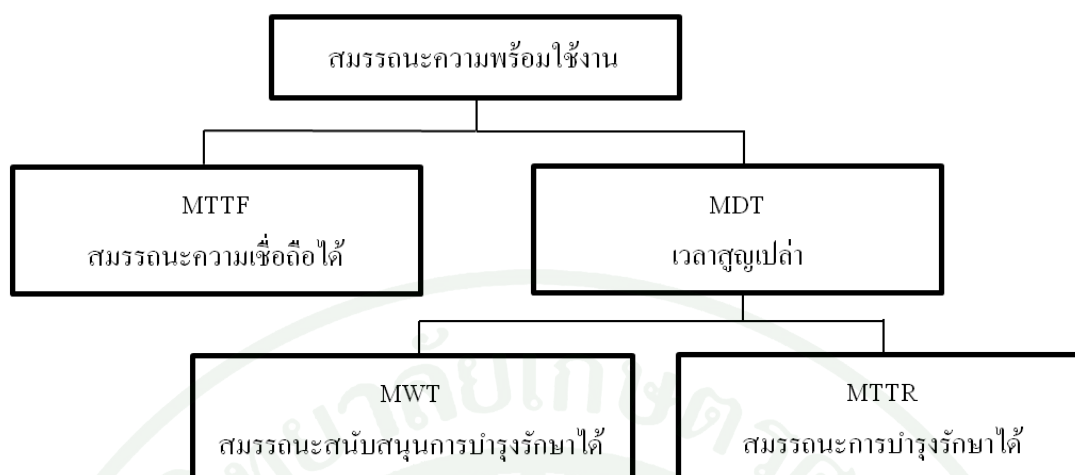
นอกจากนี้ยังกล่าวถึงระยะเวลาเฉลี่ย (Mean Waiting Time) ซึ่งมักเป็นองค์ประกอบหนึ่งในการพิจารณาปรับปรุงระบบจำหน่ายให้มีความเชื่อถือได้สูงขึ้น

สมรรถนะความพร้อมใช้งานขึ้นกับองค์ประกอบต่างๆ ดังข้างต้น และเมื่อพิจารณาดังภาพที่ 1 ถ้าสามารถเพิ่ม MTTF หรือลด MWT และ/หรือลด MTTR ได้ ก็ทำให้สมรรถนะความพร้อมใช้งานเพิ่มขึ้นได้ การแบ่งสมรรถนะความพร้อมใช้งานออกเป็นส่วนๆ ได้แสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 1 องค์ประกอบของสมรรถนะความพร้อมใช้งาน

ที่มา: ชานาญ (2553)



ภาพที่ 2 โดอะแกรมของสมรรถนะความพร้อมใช้งาน

ที่มา: ชำนาญ (2553)

ก. สมรรถนะความเชื่อถือได้ (Reliability Performance)

สมรรถนะความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้ากำลัง คือความสามารถในการทำงานของอุปกรณ์หรือระบบสามารถบอกในรูปของระยะเวลาเฉลี่ยที่ระบบทำงานก่อนจะเสีย (Mean Time to Failure: MTTF) ซึ่งขึ้นกับองค์ประกอบหลายประการ แต่ที่สำคัญสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประการคือ

- ก. คุณภาพอุปกรณ์
- ข. การดำเนินการเพื่อให้ระบบทำงานต่อเนื่องได้
- ค. การบำรุงรักษาเพื่อให้ระบบทำงานต่อเนื่องได้

ถ้าคุณภาพอุปกรณ์ดีระยะเวลาเฉลี่ยที่ระบบทำงานก่อนเสีย MTTF มีระยะเวลานาน แต่ถ้าใช้อุปกรณ์ที่ไม่มีคุณภาพก็มีการเสียบ่อยมากขึ้น ระยะเวลาเฉลี่ยที่ระบบทำงานต่อครั้งก็สั้น สิ่งตอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีคุณภาพดี โดยมากมักสามารถทำงานนานมากก่อนที่จะเสียแต่ละครั้ง แต่ถ้าเป็นอุปกรณ์คุณภาพไม่ดีหรือราคาถูก มักมีระยะเวลาทำงานไม่นานก่อนเสียแต่ละครั้ง

การดำเนินการและการบำรุงรักษาในระหว่างที่ระบบทำงานตามที่กล่าวไว้ในข้อ ข. และ ค. ข้างต้นมีผลต่อระยะเวลาเฉลี่ยที่ระบบทำงานมาก นั่นคือในระหว่างที่ระบบทำงานถ้าบุคลากรทางด้านดำเนินการและการบำรุงรักษาช่วยกันดูแลและซ่อมบำรุงให้ระบบทำงานได้อย่างต่อเนื่องก็ทำให้ระบบมีความเชื่อถือได้มากขึ้น เช่น การบำรุงรักษาแบบป้องกัน โดยการเช็คความร้อนด้วยกล้องส่องความร้อน ทำให้สามารถทราบได้ว่าจุดใดที่มีความเสี่ยงต่อการทำให้เกิดไฟฟ้าดับก็สามารถวางแผนถ่ายโอน โหลดและซ่อมบำรุงเพื่อให้จุดที่มีปัญหาหายไป จึงทำให้ไม่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับและทำให้ระยะเวลาที่ระบบทำงานนานขึ้น

ข. สมรรถนะการสนับสนุนการบำรุงรักษา (Maintenance Support Performance)

สมรรถนะสนับสนุนการบำรุงรักษาขึ้นกับความสามารถด้านการบริหารขององค์กรที่จะจัดหาทรัพยากรที่ต้องการเพื่อการบำรุงรักษา ซึ่งสามารถบอกได้ในรูปของระยะเวลารอเฉลี่ย (Mean Waiting Time: MWT) สมรรถนะสนับสนุนการบำรุงรักษาวัดได้จากค่าเฉลี่ยของเวลาในการรอคอยทรัพยากรสำหรับการบำรุงรักษาเมื่อระบบหยุดทำงาน ถ้าสมรรถนะสนับสนุนการบำรุงรักษาสูงจะหมายถึง MWT ที่สั้น นั่นคือส่งผลให้ระยะเวลาที่ระบบไม่ทำงานสั้นลง

ตัวอย่างขององค์ประกอบที่มีผลต่อ MWT ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้แก่ การขาดรถแก๊ส การรอกการอนุมัติ ความพร้อมของเอกสารเทคนิค ความพร้อมของอะไหล่ การจัดองค์กร เป็นต้น ซึ่งส่วนใหญ่สามารถบริหารจัดการเพื่อลดระยะเวลาดังกล่าวที่จะส่งผลให้ค่า MWT น้อยลงได้

องค์กรใดที่มีระยะเวลารอเฉลี่ย หรือ MWT มากแสดงว่าองค์กรนั้นมีปัญหาทางด้านการบริหารจัดการการบำรุงรักษา เพราะเวลารอเฉลี่ยไม่ได้ขึ้นกับหน่วยบำรุงรักษาแต่เพียงหน่วยเดียวแต่ขึ้นกับทุกหน่วยงานที่เกี่ยวข้องตั้งแต่ ผู้บริหาร การเงิน พัสดุ เป็นต้น ดังนั้นถ้าเวลารอเฉลี่ยมีค่ามากก็ต้องไปแก้ไขที่การบริหารจัดการขององค์กรนั้น เช่น การรออะไหล่ การรอแบบ การรอการอนุมัติจากผู้บริหาร เป็นต้น

ค. สมรรถนะการบำรุงรักษาได้

สมรรถนะการบำรุงรักษาได้สามารถบอกได้ในรูปของเวลาซ่อมแซม (Mean Time to Repair – MTTR) ซึ่งวัดได้จากค่าเฉลี่ยของเวลาในการซ่อมแซมอุปกรณ์หรือระบบ และได้รับ

อิทธิพลอย่างมากจากการออกแบบอุปกรณ์ให้ง่ายต่อการบำรุงรักษา เช่น การแยกเป็น โมดูล การออกแบบให้เป็นไปตามมาตรฐานสากล เป็นต้น ถ้าสมรรถนะการบำรุงรักษาได้มีค่าสูง หมายถึงค่า MTTR ที่สั้น นั่นคือใช้เวลาสั้นในการซ่อมแซมอุปกรณ์หรือระบบ

อุปกรณ์ที่มีคุณภาพและราคาสูงนั้นมักถูกออกแบบให้มีเวลาเฉลี่ยในการทำงานต่อครั้ง หรือ MTTF สูงและนอกจากนั้นอุปกรณ์ปัจจุบัน นอกจากออกแบบให้มีคุณภาพดีแล้ว ยังออกแบบให้มีการบำรุงรักษาได้ง่ายด้วยนั่นคือ MTTR มีค่าน้อย ลองสังเกตอุปกรณ์ที่มีคุณภาพดีมักใช้งานได้นานและซ่อมง่าย

สำหรับค่า MTTR ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าอาจหมายถึง เวลาที่ใช้ในการซ่อมหรือเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนอุปกรณ์หรือเวลาที่ใช้ในการสับสวิตช์เพื่อต่อตรง (by-pass) เช่น ถ้าหม้อแปลงเสีย เวลา MTTR ก็เป็นเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนหม้อแปลง โดยนำหม้อแปลงเสียลงและนำหม้อแปลงดีขึ้นไปเปลี่ยน เป็นต้น ดังนั้นต้องระวังคำดังกล่าวตรงจุดนี้ด้วยว่าเป็นการซ่อม เปลี่ยนหรือสับสวิตช์

ง. เวลาสูญเสียเฉลี่ย (Mean Downtime)

เวลาสูญเสียเฉลี่ย (Mean Downtime: MDT) เป็นเวลารวมของ MWT และ MTTR ในทางปฏิบัติเป็นการยากที่จะแยกให้เห็นชัดเจนว่าอะไรคือระยะเวลาเฉลี่ย (MWT) และอะไรคือเวลาซ่อมแซม (MTTR) หรือในกรณีที่ไม่ได้บันทึกแยกก็ไม่สามารถได้ค่า MWT และ MTTR

ในกรณีที่ไม่ได้มีการบันทึกแยกเวลารอและเวลาซ่อมก็ใช้ MDT เป็นตัวแทนของเวลาทั้งหมดตั้งแต่ระบบเริ่มหยุดทำงานจนกระทั่งเริ่มทำงานได้ใหม่อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถทราบค่า MWT และ MTTR จึงไม่ทราบสาเหตุที่ทำให้เกิดการรอกอยนานด้วย โดยปกติเวลาสูญเสียเฉลี่ยที่เกิดขึ้นมักเกิดเนื่องจากเวลารอกอยนานและเป็นจุดที่สามารถแก้ไขได้ง่ายที่สุด ถ้าได้มีการบันทึกแยกเวลารอและเวลาซ่อมแซมพร้อมทั้งบันทึกสาเหตุของการรอกอยด้วย

สมมติเราเข้าไปแก้ไขปัญหาให้กับองค์กรที่มีเวลาสูญเสียยาวนาน สิ่งแรกที่เราควรเข้าไปสำรวจคือ เวลารอกอยและเวลาซ่อมแซมจริง รวมทั้งการหาสาเหตุของเวลารอกอยนานหรือเวลาซ่อมนาน และองค์กรที่มีระยะเวลาสูญเสียสูงมักมีเวลารอกอยนาน การแก้ไขเรื่องเวลารอกอยให้สั้นลงนั้นแก้ไขได้ง่ายเพราะเวลาซ่อมแซม (MTTR) มักลดได้ลำบาก ถ้าองค์กรใดที่ไม่ได้จดเวลารอ

คอยและเวลาซ่อมแซมแยกออกจากกันก็จะทำให้ไม่สามารถทราบว่าองค์กรนั้นมีปัญหาในเรื่องการบริหารการจัดการหรือไม่

1.4 SAIFI (System Average Interruption Frequency Index) ค่าเฉลี่ยจำนวนครั้งไฟดับต่อผู้ใช้ไฟทั้งระบบ โดยทั่วไปใช้หน่วยเป็น ครั้งต่อรายต่อปี (ชำนานู, 2553)

$$SAIFI = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับแต่ละครั้ง}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด}} \quad (3)$$

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_i N_i}{N_T} \quad (4)$$

เมื่อ N_i คือ จำนวนผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับแต่ละเหตุการณ์ในช่วงระยะเวลาของการบันทึกค่ารายงาน

N_T คือ จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดในพื้นที่ที่กำหนด

λ_i คือ จำนวนครั้งเฉลี่ยการทำงานของอุปกรณ์ i

1.5 SAIDI (System Average Interruption Duration Index) ค่าเฉลี่ยระยะเวลาไฟดับทั้งหมดในระยะเวลาที่พิจารณาต่อผู้ใช้ไฟทั้งระบบ โดยทั่วไปใช้หน่วยเป็น นาทีต่อรายต่อปี (ชำนานู, 2553)

$$SAIDI = \frac{\text{ผลรวมของจำนวนผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับในแต่ละครั้งคูณเวลาในแต่ละครั้ง}}{\text{จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมด}} \quad (5)$$

$$SAIDI = \frac{\sum \lambda_i r_i N_i}{N_T} \quad (6)$$

เมื่อ N_i คือ จำนวนผู้ใช้ไฟที่เกิดไฟดับแต่ละเหตุการณ์ในช่วงระยะเวลาของการบันทึกค่ารายงาน

N_T คือ จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดในพื้นที่ที่กำหนด

r_i คือ เวลาที่ใช้ในการนำระบบไฟฟ้ากลับมาใช้งานได้ตามปกติของการเกิดไฟดับแต่ละเหตุการณ์

2. สายไฟฟ้า

สายไฟฟ้า ประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ ตัวนำและฉนวน (NECTEC's Web Based Learning , 2547)

1. ตัวนำ

ตัวนำของสายไฟฟ้าทำมาจากโลหะที่มีความนำไฟฟ้าสูง อาจเป็นตัวนำเดี่ยว (solid) หรือตัวนำตีเกลียว (strand) ที่นิยมได้แก่ ทองแดง และอลูมิเนียม ซึ่งมีข้อดี-ข้อเสีย ดังนี้

ทองแดง มีความนำไฟฟ้าสูงมาก แข็งแรง เหนียว ทนต่อการกัดกร่อนได้ดี ข้อเสียคือน้ำหนักมาก ราคาแพง จึงไม่เหมาะกับงานแรงดันสูง แต่เหมาะกับงานทั่วไปโดยเฉพาะงานในอาคาร

อลูมิเนียม มีความนำไฟฟ้ารองจากทองแดง แต่เมื่อเทียบประสิทธิภาพแล้ว อลูมิเนียมจะเบาและราคาถูกลงกว่า จึงเหมาะกับงานนอกอาคารและแรงดันสูง อลูมิเนียมถ้าทิ้งไว้ในอากาศ จะเกิดออกไซด์เป็นฉนวนฟิล์มบางๆ ป้องกันการสึกกร่อน แต่ทำให้การเชื่อมต่อทำได้ยาก

2. ฉนวน

ทำหน้าที่ห่อหุ้มตัวนำ เพื่อป้องกันการสัมผัสโดยตรง ระหว่างตัวนำ หรือตัวนำกับส่วนที่ต่อลงดิน ในระหว่างที่ตัวนำ นำกระแสไฟฟ้า จะเกิดพลังงานสูญเสีย ในรูปความร้อน ซึ่งจะถ่ายเทไปยังเนื้อฉนวน ความสามารถในการทนต่อความร้อน ของฉนวน จะเป็นตัวกำหนด ความสามารถในการทน ความร้อนของสายไฟฟ้านั้นเอง การเลือกใช้ชนิดของฉนวน จะขึ้นกับอุณหภูมิใช้งาน แรงดันของระบบ และสภาพแวดล้อมในการติดตั้ง วัสดุที่นิยมใช้เป็น ฉนวนมากที่สุดในขณะนี้คือ Polyvinyl Chloride (PVC) และ Cross Linked Polyethylene (XLPE)

2.1 ประเภทของสายไฟฟ้า

สายไฟฟ้าแรงดันสูง - เป็นตัวนำตีเกลียวมีขนาดใหญ่ แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ สายเปลือย และสายหุ้มฉนวน

2.1.1 สายเปลือย

สายชนิดนี้ใช้กับแรงดันต่ำจะไม่ปลอดภัย จึงนิยมใช้กับแรงดันสูงและ มักทำจากสายอลูมิเนียมเพราะน้ำหนักเบา และราคาถูก แต่สายอลูมิเนียมล้วนสามารถรับแรงดึงได้ต่ำ จึงได้พัฒนาให้สามารถรับแรงดึงให้สูงขึ้น โดยเสริมแกนเหล็กหรือวัสดุอื่น สายเปลือยที่นิยมใช้ปัจจุบันได้แก่

2.1.1.1 สายอลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย (AAC - All Aluminum Conductor)

เป็นตัวนำอลูมิเนียมล้วนตีเกลียวเป็นชั้นๆ รับแรงดึงได้ต่ำ จึงไม่สามารถขึงสายให้มีระยะห่างมากๆ ได้ ปกติความยาวช่วงเสา ต้องไม่เกิน 50 เมตร ยกเว้นสายที่มีขนาด 95 sq.mm ขึ้นไปสามารถมีระยะช่วงเสามากถึง 100 เมตร มีลักษณะและข้อมูลทางเทคนิค (บางกอกเคเบิ้ล) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 สายอลูมิเนียมตีเกลียวเปลือย (AAC)

ที่มา: NECTEC's Web Based Learning (2547)

2.1.1.2 สายอลูมิเนียมผสม (AAAC - All Aluminum Alloy Conductor)

สายชนิดนี้มีส่วนผสมของอลูมิเนียม แมกนีเซียมและซิลิกอน ซึ่งมีความเหนียวและรับแรงดึงได้สูงกว่าสายอลูมิเนียมล้วน จึงสามารถขึงสายได้ห่างมากขึ้น นิยมใช้บริเวณชายทะเลเพราะสามารถทนการกัดกร่อนของไอเกลือได้ดี

2.1.1.3 สายอลูมิเนียมแกนเหล็ก (ACSR - Aluminum Conductor Steel Reinforced)

เป็นสายอลูมิเนียมตีเกลียวและมีสายเหล็กอยู่ตรงกลางเพื่อให้สามารถรับแรงดึงได้สูงขึ้น ทำให้ขยายระยะห่างช่วงเสาได้มากขึ้น แต่จะไม่ใช้สายชนิดนี้บริเวณชายทะเล เพราะจะเกิดการกัดกร่อนจากไอเกลือ มีลักษณะและข้อมูลทางเทคนิคดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 สายอลูมิเนียมแกนเหล็ก (ACSR)

ที่มา: NECTEC's Web Based Learning (2547)

2.1.2 สายหุ้มฉนวน

ในการเดินสายแรงสูงผ่านที่อยู่อาศัย เพื่อความปลอดภัยต้องใช้สายที่มีฉนวนหุ้มซึ่งทำให้มีความเชื่อถือสูงขึ้น ที่นิยมใช้มีดังนี้

2.1.2.1 สาย Partial Insulated Cable (PIC)

โครงสร้างประกอบด้วยตัวนำอลูมิเนียมตีเกลียวอัดแน่น หุ้มด้วยฉนวน XLPE (Cross-linked Polyethylene) หรือ PE (Polyethylene) แล้วแต่ความเหมาะสม 1 ชั้น ปัจจุบันนิยมใช้ฉนวน XLPE ถึงแม้มีฉนวนหุ้ม ก็ไม่สามารถแตะต้องสายได้ เพราะฉนวนบางมาก ซึ่งจะช่วยลดการเกิดลัดวงจร ของสายเปลือยเท่านั้น ใช้เดินในอากาศผ่านลูกถ้วยแทนสายเปลือย แสดงดังภาพที่ 5

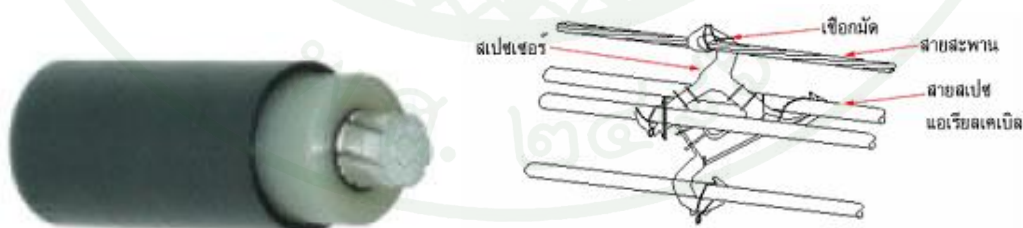


ภาพที่ 5 สายหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัด (PIC)

ที่มา: NECTEC's Web Based Learning (2547)

2.1.2.2 สาย Space Aerial Cable (SAC)

โครงสร้างประกอบด้วยตัวนำอลูมิเนียมตีเกลียวหุ้มด้วยฉนวน XLPE เช่นเดียวกับสาย PIC แต่จะมีเปลือก (Sheath) ที่ทำจาก XLPE หุ้มฉนวนอีกชั้นหนึ่ง แต่ไม่มีซิลด์จึงไม่สามารถกันสนามไฟฟ้าที่ออกจากตัวนำได้ และถึงแม้จะมีเปลือกหุ้ม ก็ไม่ควรสัมผัสสายโดยตรง เพราะมีความเข้มสนามไฟฟ้าสูง ในการใช้งาน จำเป็นต้องติดตั้งบนฉนวนไฟฟ้าอีกทีหนึ่ง และต้องใช้ฉนวนที่เรียกว่า spacer ที่เหมาะสมกับแรงดันเป็นตัวรองรับ และเพื่อจำกัดระยะห่างระหว่างสาย แม้ว่าจะสามารถวางไว้ใกล้กันไ้มากกว่าสาย PIC แต่ต้องไม่เกินค่าจำกัดค่าหนึ่งและต้องใช้ Messenger Wire เป็นตัวรับน้ำหนักและช่วยดึงสายไว้ Messenger Wire จะต่อลงดินทำหน้าที่เป็นสาย Overhead Ground Wire ด้วยแสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 สาย Space Aerial Cable (SAC)

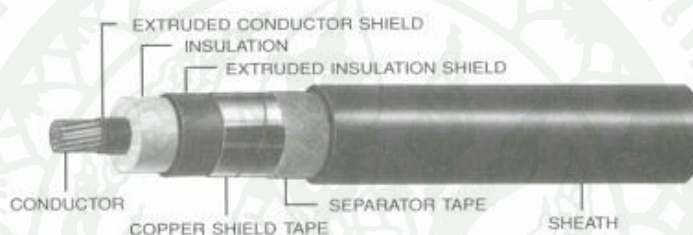
ที่มา: NECTEC's Web Based Learning (2547)

2.1.2.3 สาย Preassembly Aerial Cable

สายชนิดนี้จัดเป็นสาย fully insulated มีโครงสร้างคล้ายสาย XLPE และสามารถวางใกล้กันได้ จึงใช้สายชนิดนี้ในบริเวณที่มี ระยะห่างจากตัวอาคารจำกัด หรือผ่านบริเวณที่มีคนอาศัยอยู่

2.1.2.4 สาย Cross-linked Polyethylene (XLPE)

สายชนิดนี้จัดเป็นสาย fully insulated มีโครงสร้างดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 สาย Cross-linked Polyethylene (XLPE)

ที่มา: NECTEC's Web Based Learning (2547)

ตัวนำ (Conductor) ส่วนใหญ่เป็นทองแดงตีเกลียว ซึ่งอาจจัดอยู่ในรูปแบบของ Copper Concentric Strand

ชีลด์ของตัวนำ (Conductor Shield) ทำด้วยสารกึ่งตัวนำ มีหน้าที่ช่วยให้สนามไฟฟ้าระหว่างตัวนำกับฉนวนกระจายอย่างสม่ำเสมอในแนวรัศมี ช่วยลดการเกิด Break down ได้

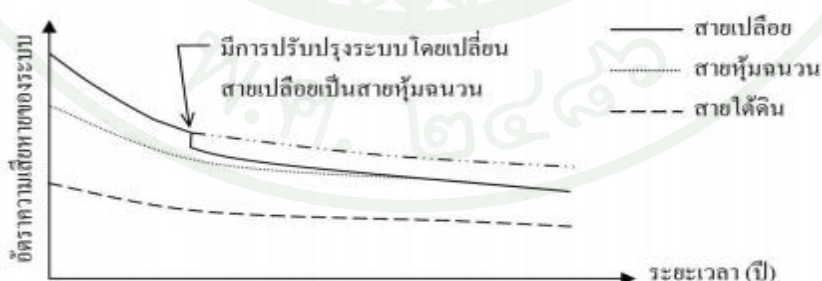
ฉนวน (Insulation) เป็นชั้นที่ห่อหุ้มชีลด์อีกทีหนึ่ง ทำด้วยฉนวน XLPE

ชีลด์ของฉนวน (Insulation Shield) เป็นชั้นของ semi-conducting tape พันทับชั้นของฉนวนจากนั้นก็หุ้มด้วยชั้นของ Copper Tape อีกทีหนึ่ง ชีลด์ของฉนวนนี้ทำหน้าที่จำกัดสนามไฟฟ้าให้อยู่เฉพาะภายในสายเคเบิล เป็นการป้องกันการรบกวนระบบสื่อสาร นอกจากนี้การต่อชีลด์ลงดิน จะช่วยลดอันตราย จากการสัมผัสถูกสายเคเบิลด้วย และทำให้เกิดการกระจายของแรงดันอย่างสม่ำเสมอเวลาใช้งาน

เปลือกนอก (Jacket) อาจเป็น Polyvinyl Chloride หรือ Polyethylene ก็ได้แล้วแต่ลักษณะงาน ถ้าเป็นงานกลางแจ้ง มักใช้ Polyvinyl Chloride เพราะเมื่อเกิดการติดไฟ ขณะที่ Polyethylene มักใช้งานเดินลอย เนื่องจากทนต่อสภาพดินฟ้าอากาศ สายชนิดนี้สามารถเดินลอย ในอากาศหรือฝังดินก็ได้ แต่นิยมฝังใต้ดิน เนื่องจากมีความแข็งแรง ทนทาน สามารถทนต่อความชื้นได้ดี

3. การเปลี่ยนสายเปลือยเป็นสายหุ้มฉนวน

การเปลี่ยนจากสายเปลือยเป็นสายหุ้มฉนวน หรือเปลี่ยนจากระบบจำหน่ายเหนือดินเป็นระบบจำหน่ายใต้ดิน ซึ่งจะช่วยให้ความเชื่อถือได้ของระบบดีขึ้น แต่ทั้งนี้ก็ต้องอาศัยงบประมาณลงทุนที่สูงมากเมื่อเทียบกับการบำรุงรักษาในแต่ละปี เมื่อปรับปรุงระบบโดยเปลี่ยนจากสายเปลือยเป็นสายหุ้มฉนวน อัตราความเสียหายของระบบแต่ละจะค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ โดยไม่ได้ลดลงจนเท่ากับระบบที่เป็นสายหุ้มฉนวนอยู่แล้วอย่างทันทีทันใด แสดงดังภาพที่ 8 (โครงการวิจัยเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการตั้งค่าเป้าหมายด้านความเชื่อถือได้, 2553)

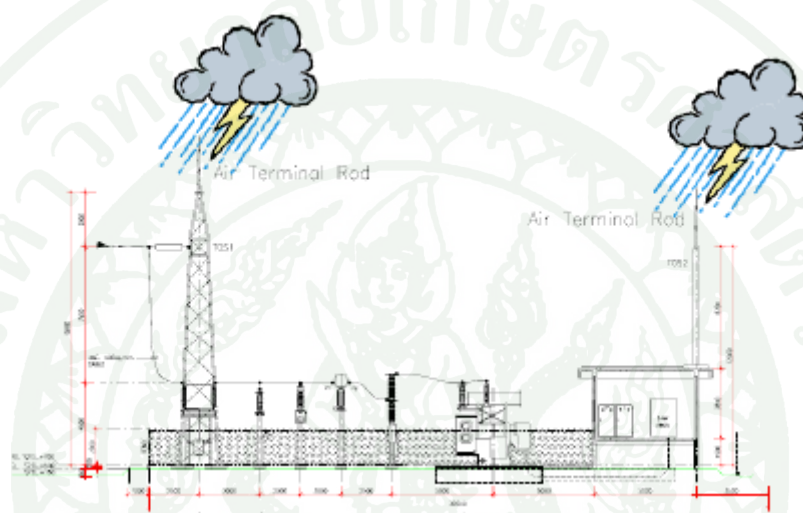


ภาพที่ 8 อัตราความเสียหายของระบบจากการเปลี่ยนสายเปลือยเป็นสายหุ้มฉนวน

ที่มา: โครงการวิจัยเพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการตั้งค่าเป้าหมายด้านความเชื่อถือได้ (2553)

4. การติดตั้งเสาต่อฟ้า และตัวนำต่อฟ้า

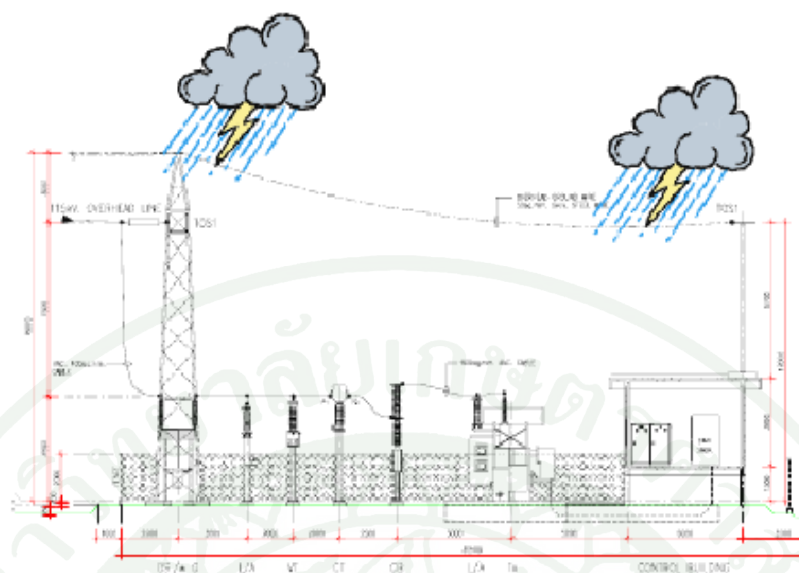
พรชัย (2554) การป้องกันโดยใช้เสาต่อฟ้า (High Mast Air Terminal) เป็นการป้องกันฟ้าผ่า โดยการใช้ตัวนำต่อฟ้า (Air Terminal Rod) ติดตั้งบนเสาสูง (High Mast) โดยที่ระยะความสูงของปลายตัวนำต่อฟ้าจะสูงไม่เกินค่าระยะเผชิญ (Striking Distance) และมีขอบเขตพื้นที่ปลอดภัย (Zone Protection) ของการติดตั้งอุปกรณ์ตามข้อกำหนดดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 สถานีไฟฟ้าแรงสูงที่มีระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยใช้เสาต่อฟ้าติดตั้งบน Take off Structure และ High Mast

ที่มา: พรชัย (2554)

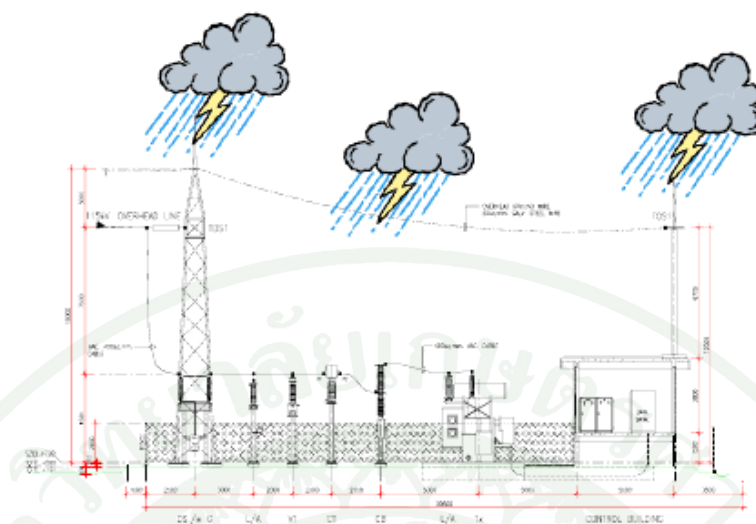
การป้องกันโดยใช้สายดินต่อฟ้าต่อฟ้าวางเหนือระบบ (Overhead Ground Wire :: OHGW) เป็นการป้องกันฟ้าผ่าโดยการใช้ ตัวนำสายดินต่อฟ้า (Overhead Ground Wire) ติดตั้งเหนือระบบ เป็นวิธีการที่นิยมใช้กับงานออกแบบ ก่อสร้างในระบบสายส่ง (Transmission Line) และลานไถไฟฟ้า (Switchyard) โดยมีการจึงสายเปลือยประเภทสายเหล็ก (Strand Galvanized Steel) ขนาด 35-70 Sq.mm. (PEA. Standard) 3/8 นิ้ว 7 Stand Gavanized Steel (EGAT. Standard) โดยมีขอบเขตพื้นที่ปลอดภัย (Zone Protection) ในการติดตั้งอุปกรณ์ตามข้อกำหนดดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 แสดงสถานีไฟฟ้าแรงสูงที่มีระบบป้องกันฟ้าผ่าโดยใช้สายดินล่อฟ้า

ที่มา: พรชัย (2554)

การป้องกันโดยใช้เสาล่อฟ้าและสายดินล่อฟ้าวางเหนือระบบร่วมกัน (High Mast Air Terminal & Overhead Ground Wire) เป็นการป้องกันฟ้าผ่าโดยการใช้ ทั้งสองวิธีข้างบนมารวมกัน ซึ่งเป็นวิธีที่ดี ถ้าหากมีการติดตั้งอุปกรณ์สถานีไฟฟ้าห่างออกไปเกินขอบเขตพื้นที่ปลอดภัยของวิธีสายดินล่อฟ้า OHGW เพราะไม่มีหรือไม่สามารถสร้างโครงสร้าง (Structure) มาขึ้นสาย OHGW เพื่อให้ครอบคลุมอุปกรณ์สถานีไฟฟ้าแรงสูงได้ เราก็สามารถใช้ เสาล่อฟ้า (High Mast Air Terminal) มาเสริมในระบบได้ดังภาพที่ 11

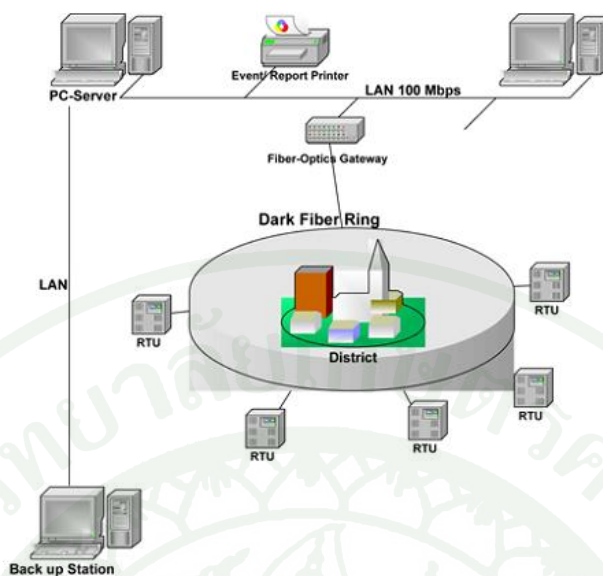


ภาพที่ 11 สถานีไฟฟ้าแรงสูงที่มีระบบป้องกันฟ้าผ่า โดยใช้เสาต่อฟ้าและสายดินต่อฟ้าร่วมกัน

ที่มา: พรชัย (2554)

5. ระบบควบคุมจำหน่ายไฟฟ้า

ในอดีตการควบคุมระบบจำหน่ายไฟฟ้า ของการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) ใช้การสับ Load Break Switch (LBS) โดยใช้คนเป็นผู้ปฏิบัติงานนอกสถานที่ เมื่อเกิดปัญหาไฟฟ้าดับ การใช้งานของสายส่งเกินขีดความสามารถของสายส่ง ฯลฯ การรับรู้ปัญหาและการแก้ไขเป็นไปอย่างล่าช้า อีกทั้งอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงาน ดังนั้น กฟน. จึงได้ปรับปรุงระบบให้เป็นการควบคุมจากระบบกึ่งอัตโนมัติ โดยการเปลี่ยนจากอุปกรณ์ Load Break Switch (LBS) ที่ถูกควบคุมด้วยคนเป็นอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถควบคุมจากระยะทางไกล แต่ระบบดังกล่าวยังมีความล่าช้าในการส่งผ่านข้อมูลซึ่งมีความสำคัญในเชิงเวลามาก อุปกรณ์นำเข้าจากต่างประเทศมีราคาแพง Protocol ในการสื่อสารเป็นแบบปิดซึ่งประยุกต์ใช้หรือเปลี่ยนแปลงให้เข้ากับระบบอื่นๆ ได้ยาก และการติดตั้งระบบใหม่ต้องตามเทคโนโลยีของผู้ผลิตซึ่งทำให้ราคาของระบบใหม่มีมูลค่าสูงขึ้นตาม (ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ และการไฟฟ้านครหลวง, 2554)



ภาพที่ 12 โครงสร้างของระบบควบคุมระบบจำหน่ายอัตโนมัติ (DAS)

ที่มา: ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ และการไฟฟ้านครหลวง (2554)

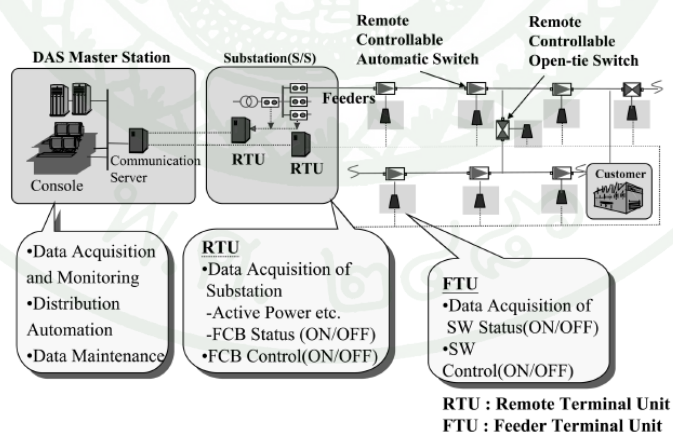
เป้าหมายการควบคุม และจัดการอยู่ที่อุปกรณ์ในสายป้อนของระบบจำหน่าย (Load Break Switch, LBS หมายถึง อุปกรณ์ตัดตอนที่นำมาใช้แทนสวิตช์ใบมีดสามารถปลด และสับได้ขณะมีโหลด) และข้อมูลที่ต้องการเช่น แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า เป็นต้น ระบบ DAS สามารถตรวจจับการเกิดกระแสลัดวงจร (Fault) และบริเวณที่เกิดการลัดวงจร เพื่อให้ผู้สั่งการสามารถแยกส่วนที่ลัดวงจรออกจากระบบจำหน่ายได้อย่างรวดเร็ว ในกรณีที่มีกระแสลัดวงจร เกิดขึ้นในสายป้อนระบบ DAS ซึ่งได้ติดตั้ง RTU ไว้กับสวิตช์ในสายป้อน จะทำหน้าที่ตรวจจับความผิดปกติของกระแสที่ไหลผ่านสวิตช์แต่ละตัว หากพบกระแสลัดวงจร ก็จะรายงานกลับมายังสถานีแม่ (Master Station) ทำให้พนักงานที่สถานีแม่ทราบการเกิดกระแสลัดวงจรได้ และสามารถออกคำสั่งควบคุมระยะไกล เพื่อทำการปลดสวิตช์แยกส่วนที่เกิดกระแสลัดวงจรออกจากระบบจำหน่าย และสับสวิตช์เพื่อจ่ายไฟฟ้าจากสายป้อนสำรองเข้าจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าในส่วนที่ไม่เกิดลัดวงจร ซึ่งจะทำให้ไฟฟ้าดับเป็นบริเวณแคบและจะมีไฟฟ้าดับเฉพาะบริเวณที่เกิดการลัดวงจรเท่านั้น ด้วยวิธีการนี้จะเห็นว่าที่สถานีแม่สามารถควบคุมและทำการสับเปลี่ยนการจ่ายไฟฟ้าได้ทันทีนอกจากความสามารถที่ได้กล่าวมาแล้ว RTU ที่ติดตั้งอยู่ในระบบจำหน่ายจะทำหน้าที่ในการตรวจจับ

เหตุการณ์และอ่านข้อมูล สถานะการทำงานของอุปกรณ์รวมทั้งทำการวัดค่าทางไฟฟ้า ณ จุดต่างๆ ในระบบจำหน่ายที่มี RTU ติดตั้งอยู่เพื่อทำการตรวจจับและอ่านคำสั่งมายัง สถานีแม่่นอกจากนี้อีก

ความสามารถหนึ่งของ RTU ก็คือสามารถทำงานในโหมดการทำงานแบบอัตโนมัติตาม โปรแกรมที่ปรับตั้งไว้ในตัว RTU กล่าวคือ RTU มีความสามารถในการตรวจสอบสถานะการณ์ว่าเป็นไปตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้หรือไม่ถ้าสถานะการณ์เป็นไปตามเงื่อนไข RTU จะสั่งการให้อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมทำงานตามที่ได้โปรแกรมไว้ ระบบ DAS ถูกนำมาใช้งาน เพื่อลดระยะเวลาไฟฟ้าดับและความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับผู้ใช้ไฟฟ้า เมื่อเกิดระบบไฟฟ้าขัดข้อง รวมทั้งเพื่อเพิ่มความปลอดภัย, ประหยัดเวลาและลดค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงาน Switching

Chia-Hung Lin (2009) Taipower ในประเทศไต้หวัน ใช้ระบบจำหน่ายไฟฟ้าอัตโนมัติ (Distribution Automation System - DAS) เพื่อที่จะเพิ่มความเชื่อถือได้ และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการปฏิบัติงานมากยิ่งขึ้น

DAS ควบคุมหลายฟังก์ชันเช่น Fault Detection, Isolation and Restoration (FDIR) ซึ่งหน้าที่หลักของ FDIR เพื่อลดระยะเวลาจ่ายไฟกลับคืนเข้าสู่ระบบเมื่อฟอลต์ถาวรเกิดขึ้นจาก 58 นาที เหลือเพียง 5 นาที FDIR เป็นส่วนหนึ่งที่อยู่ในระบบ DAS ตามภาพที่ 13 FDIR ถูกออกแบบเพื่อที่จะทำงานร่วมกับ Master Station (MS) กับ Remote Terminal Units (RTUs) และ



ภาพที่ 13 ระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ Taipower

ที่มา: Chia-Hung Lin (2009)

DAS มีระบบเป็นแบบมอนิเตอร์รีงในการควบคุมระบบ เช่น การระบุตำแหน่งฟอลต์และเมื่อเกิดฟอลต์ถาวรขึ้นในระบบจำหน่ายไฟฟ้า FDIR สามารถแยกเซกชันฟอลต์ออก เริ่มแรก FDIR จะสั่งให้เบรกเกอร์ทริป ระบบจะตรวจสอบค่าฟอลต์ที่เกิดขึ้นในแต่ละเซกชันโดย Over-current relays ของ FTU ในฟีดเดอร์ สัญญาณของแต่ละสวิตช์ถูกส่งไปยัง MS โดยระบบ RTU ที่สถานีไฟฟ้าเพื่อที่จะตรวจสอบเซกชันที่เกิดฟอลต์

เมื่อทราบตำแหน่งฟอลต์แล้ว FDIR จะทำการเปิดวงจรสวิตช์ในเซกชันฟอลต์ทั้ง 2 ทิศทางออก เบรกเกอร์ทำการรีโคลสเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าคืนให้ระบบ เพื่อให้ผู้ใช้ไฟในเซกชันอื่นได้รับกระแสไฟฟ้า เมื่อเซกชันฟอลต์ถูกซ่อมแซมแล้ว FDIR สามารถทำงานปิดวงจรเพื่อคืนกระแสไฟฟ้าให้เซกชันนั้น

Vidyasagar (2011) ระบบออโตเมชันของอุปกรณ์ป้องกันและสวิตช์ตัดตอน มีหลักการทำงานดังนี้

- เมื่อฟอลต์เกิดขึ้นในเซกชันหนึ่งในระบบ อุปกรณ์ป้องกันทำงานแล้ว อุปกรณ์ในแต่ละช่วงเซกชันส่งสัญญาณให้ผู้ควบคุมทราบผ่านระบบ RTU (Remote Terminal Unit)
- ฟังก์ชันนี้จะสั่งการเปิดวงจรในช่วงเซกชันที่เกิดฟอลต์ออกแบบอัตโนมัติ
- ระบบคอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณให้อุปกรณ์ถ่ายโอนโหลดทำงาน ทำให้ผู้ใช้ไฟในเซกชันอื่นไม่ได้รับผลกระทบไฟดับ
- เซกชันที่เกิดไฟฟ้าขัดข้องจะสามารถรับไฟฟ้ากลับคืนได้หลังจากการซ่อมแซมอุปกรณ์ชำรุดนั้นๆเสร็จสิ้น

6. อัตราความขัดข้องสาเหตุไฟดับกับการเปลี่ยนสายเปลือยเป็นสายหุ้มฉนวน

ข้อมูลอัตราความขัดข้องของอุปกรณ์กลุ่มสายหุ้มฉนวนเหนือดินและกลุ่มสายเปลือยเหนือดินที่จะใช้ในการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ จะพิจารณาจากข้อมูลอัตราขัดข้องรวมของกลุ่มสายเหนือดินในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ที่แสดงในภาพที่ 14 ร่วมกับข้อมูลสัดส่วนของสายหุ้มฉนวนและสายเปลือย ในระบบจำหน่ายแรงดันสูงจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค จากภาพที่ 15 เราสามารถอนุมานได้ว่า หากเราทำการหุ้มฉนวนกลุ่มสายเหนือดินในระบบจำหน่ายทั้งหมดของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค สาเหตุการขัดข้องที่เกิดจาก ต้นไม้ อุปกรณ์ พนักงานการไฟฟ้า บุคคลภายนอก

ลัทธิ และวัสดุแปลกปลอม จะต้องหมดไป ดังนั้น อัตราการขัดข้องที่เป็นสายหุ้มฉนวนเพียงอย่างเดียวสามารถแสดงดังภาพที่ 15 (โครงการเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ระยะที่ 3, 2554)

หน่วย : ชั่วโมง / 100 วงจร-กม./ปี

สาเหตุ	ภาคกลาง			ภาคเหนือ			ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ			ภาคใต้		
	ทราบสาเหตุ	สันนิษฐาน	รวม	ทราบสาเหตุ	สันนิษฐาน	รวม	ทราบสาเหตุ	สันนิษฐาน	รวม	ทราบสาเหตุ	สันนิษฐาน	รวม
1 ต้นไม้	3.231159	1.305355	4.536514	4.537901	2.286087	6.823988	2.829132	1.676394	4.505526	14.813206	5.678477	20.491682
2 อุปกรณ์	3.890213	0.809685	4.699899	3.313937	1.322855	4.636793	2.106779	0.603284	2.710063	4.289630	1.320852	5.610482
3 พนักงานบริการ	0.120643	0.007239	0.127881	0.079017	0.007299	0.086315	0.052225	0.003721	0.038946	0.046028	0.004533	0.050561
4 บุคคลภายนอก	0.265759	0.003792	0.269550	0.352553	0.007933	0.373187	0.175131	0.006450	0.181580	0.288370	0.011158	0.299528
5 ลัทธิ	5.220042	6.810458	12.030500	5.003116	7.280952	12.284067	2.229073	3.536353	5.765427	11.416232	21.324363	32.740595
6 ยานพาหนะ	0.461200	0.012409	0.473609	0.266562	0.010789	0.277351	0.162976	0.004961	0.167937	0.243388	0.011856	0.255244
7 วัสดุแปลกปลอม	0.336766	0.097893	0.434659	0.433798	0.122174	0.555972	0.490664	0.171162	0.661826	0.557561	0.308943	0.866504
8 สภาพแวดล้อม	1.582489	3.041577	4.624066	0.899500	2.435869	3.305369	0.857050	2.757691	3.614740	0.953329	1.647229	2.600558
9 กัมมธรรมชาติ	1.928217	2.168123	4.096340	2.019525	1.988109	4.007633	0.850600	2.179461	3.030061	1.657690	0.847326	2.505016
10 สงคราม	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000697	0.000000	0.000697
11 โรคภัยไข้เจ็บ	0.002413	0.003447	0.005860	0.031099	0.011424	0.042523	0.005953	0.004713	0.010667	0.014994	0.001046	0.016040
12 อื่น ๆ	0.740057	0.773148	1.513205	0.228482	0.592149	0.820630	0.196216	0.655128	0.851344	0.116464	0.457486	0.573950
รวม	17.778957	15.033127	32.812084	17.148190	16.065440	33.213630	9.938800	11.599318	21.538117	34.397587	31.613268	66.010855

ภาพที่ 14 อัตราความขัดข้องสาเหตุของสายเปลือยเหนือดิน

ที่มา: โครงการเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ระยะที่ 3 (2554)

หน่วย : ชั่วโมง / 100 วงจร-กม./ปี

สาเหตุ	ภาคกลาง			ภาคเหนือ			ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ			ภาคใต้		
	ทราบสาเหตุ	สันนิษฐาน	รวม	ทราบสาเหตุ	สันนิษฐาน	รวม	ทราบสาเหตุ	สันนิษฐาน	รวม	ทราบสาเหตุ	สันนิษฐาน	รวม
1 ต้นไม้												
2 อุปกรณ์												
3 พนักงานบริการ												
4 บุคคลภายนอก												
5 ลัทธิ												
6 ยานพาหนะ	0.461200	0.012409	0.473609	0.266562	0.010789	0.277351	0.162976	0.004961	0.167937	0.243388	0.011856	0.255244
7 วัสดุแปลกปลอม												
8 สภาพแวดล้อม	1.582489	3.041577	4.624066	0.899500	2.435869	3.305369	0.857050	2.757691	3.614740	0.953329	1.647229	2.600558
9 กัมมธรรมชาติ	1.928217	2.168123	4.096340	2.019525	1.988109	4.007633	0.850600	2.179461	3.030061	1.657690	0.847326	2.505016
10 สงคราม	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000697	0.000000	0.000697
11 โรคภัยไข้เจ็บ	0.002413	0.003447	0.005860	0.031099	0.011424	0.042523	0.005953	0.004713	0.010667	0.014994	0.001046	0.016040
12 อื่น ๆ	0.740057	0.773148	1.513205	0.228482	0.592149	0.820630	0.196216	0.655128	0.851344	0.116464	0.457486	0.573950
รวม	4.714376	5.988704	10.713080	3.415168	5.038340	8.453506	2.072795	5.601954	7.674749	2.986562	2.964943	5.951595

ภาพที่ 15 อัตราความขัดข้องสาเหตุไฟดับของสายหุ้มฉนวนเหนือดิน

ที่มา: โครงการเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ระยะที่ 3 (2554)

การเปลี่ยนสายเปลือยเป็นสายหุ้มฉนวนจากข้อมูลที่รวบรวมได้ทั่วประเทศ ซึ่งจากผลวิเคราะห์พบว่าการเปลี่ยนสายสามารถลดจำนวนครั้งไฟดับลงได้ระหว่าง 30.54-47.95% (โครงการวิจัยเพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการตั้งค่าเป้าหมายด้านความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, 2555)

7. การปรับปรุงความเชื่อถือได้

7.1 กิจกรรมการปรับปรุงความเชื่อถือได้

Pepco (2553) กิจกรรมการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของ Pepco เพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้ มีกิจกรรมในการปรับปรุงความเชื่อถือได้มีดังนี้

- ติดตั้งชุดอุปกรณ์ป้องกันสัตว์
- เปลี่ยน Lightning Arrestors
- เปลี่ยนเสาไฟฟ้าและคออาร์มที่เสื่อมสภาพ
- ติดตั้งสเปเซอร์
- เปลี่ยนลูกถ้วยให้เหมาะสม
- บำรุงรักษา และ/หรือ เปลี่ยนหม้อแปลงและอุปกรณ์ในระบบจำหน่าย
- ติดตั้งฟิวส์ในไลน์แยก
- ติดตั้งสวิตช์ตัดตอน
- ตัดต้นไม้
- เปลี่ยนสายดินล่อฟ้า
- ตรวจสอบการติดตั้งและเปลี่ยนขนาดของฟิวส์สำหรับการทำงานประสานกันกับอุปกรณ์อื่น

7.2 ระบบ DAS กับดัชนีความเชื่อถือได้

Pepco (2553) Pepco ใช้ระบบ Distribution Automation คือ Automatic Sectionalizing and Restoration (ASR) ซึ่งประกอบด้วยสวิตช์อัตโนมัติ คอนโทรลเลอร์ สมาร์ทเซนเซอร์ และรีเลย์แบบอิเล็กทรอนิกส์ที่สถานีไฟฟ้า เชื่อมต่อกับระบบจำหน่ายไฟฟ้า โดยใช้รีโมทในการควบคุม

อุปกรณ์ทั้งหมด ระบบอัตโนมัตินี้จะแยกพื้นที่ที่เกิดฟอลต์ออก และควบคุมการถ่ายโอนโหลดให้ผู้ใช้ไฟในเซกชันอื่นๆ ไม่ได้รับผลกระทบ ซึ่งทำให้ลดระยะเวลาไฟดับ และเกิดผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟน้อยที่สุด ทำให้เกิดข้อดีในเรื่องความเชื่อถือได้ และทำให้ดัชนีความเชื่อถือได้มีค่าที่ลดลงดังนี้

SAIDI 19 %

SAIFI 13 %

CAIDI 7%

7.3 การตรวจสอบและแก้ไขปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้อง

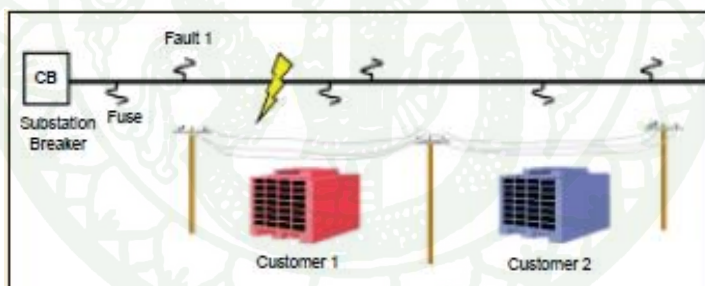
การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2553) ตัวอย่างการแก้ไขปัญหากระแสไฟฟ้าขัดข้อง เมื่อมีเหตุการณ์ไฟฟ้าดับเนื่องจากมีสัตว์เลื้อยคลาน เช่น งูขึ้นไปบนเสาไฟฟ้า ทำให้ระบบจำหน่ายของสถานีไฟฟ้าชลบุรีลัดวงจรจึงเกิดไฟฟ้าดับ

1. เซอร์กิตเบรกเกอร์ (CB1) ที่สถานีไฟฟ้าชลบุรีทำงานตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกทั้งวงจร เนื่องจากมีกระแสลัดวงจรเกิดขึ้น ทำให้มีกระแสไฟฟ้าดับตั้งแต่สถานีฯ จนถึงสวิตช์ X1
2. RTU ที่สถานีไฟฟ้าชลบุรีรายงานให้ศูนย์ควบคุมฯ ทราบทันทีว่า CB1 ตัดกระแสไฟฟ้าและมีไฟฟ้าดับ
3. RTU ที่ติดตั้งไว้ที่สวิตช์ควบคุมระยะไกลของระบบจำหน่ายชลบุรี A1 และ A3 จะรายงานผ่านระบบสื่อสารให้ศูนย์ควบคุมฯ ทราบทันทีว่าตรวจพบกระแสลัดวงจร ส่วน A5 ไม่รายงาน เนื่องจากไม่พบกระแสลัดวงจร ระบบตรวจหาตำแหน่งที่เกิดไฟฟ้าขัดข้อง (FISR) จะทำการวิเคราะห์ และแจ้งให้พนักงานศูนย์ควบคุมฯ ทราบทันทีว่าปัญหาที่ทำให้ไฟฟ้าดับอยู่ระหว่างสวิตช์ A3 และ A5
4. ระบบตรวจหาตำแหน่งที่เกิดไฟฟ้าขัดข้อง (FISR) จะทำการปลดสวิตช์ A3 และ A5 ออก แล้วส่งจ่ายไฟจาก CB1 ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าที่อยู่ต้นทางมีไฟฟ้าใช้ และจ่ายไฟจาก X1 ทำให้ผู้ใช้ไฟฟ้าปลายทางส่วนที่ไม่มีปัญหา มีไฟฟ้าใช้ทันที ซึ่งการทำงานทั้งหมดจะแล้วเสร็จภายใน 3 นาที ในส่วนพื้นที่ที่ยังมีไฟฟ้าดับอยู่นั้น พนักงานจะส่งรถออกไปตรวจสอบหาสาเหตุ
5. เมื่อพนักงานออกไปตรวจสอบหาสาเหตุพบว่ามีสัตว์เลื้อยคลานดังกล่าวอยู่บนเสา ก็จะนำออกเพื่อทำการกระจายกระแสไฟฟ้าทันที แต่หากเป็นปัญหาใหญ่ที่ต้องใช้เวลาแก้ไข

นาน เช่น เสาไฟฟ้าล้ม ก็จะต้องเดินทางไปปลดสวิตช์ A4 ออก พร้อมให้ศูนย์ควบคุมฯ จ่ายไฟจาก A4 เพื่อให้ผู้ใช้ไฟฟ้าอีกบางส่วนมีกระแสไฟฟ้าใช้ระบบศูนย์สั่งการจ่ายไฟฟ้าอัตโนมัติ

7.4 การเพิ่มอุปกรณ์เข้าสู่ระบบ

ปัจจุบันมีหลายเทคนิคในการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของผู้ให้บริการไฟฟ้า เดิมฟีดเดอร์มีอุปกรณ์เช่น รีโกลสเซอร์ สวิตช์ตัดตอน และโหลดเบรกสวิตช์ การติดตั้งรีโกลสเซอร์และการจ่ายไฟกลับคืนสู่ระบบ เป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากต่อการปรับปรุงระบบจำหน่ายไฟฟ้า (David, 2000) ฟีดเดอร์ที่มีระบบอัตโนมัติ (Feeder Automation) อุปกรณ์จะสามารถทำงานด้วยระยะเวลาไม่นาน เพื่อลดระยะเวลาการบำรุงรักษา ฟีดเดอร์แบบอัตโนมัติมีความแตกต่างกันหลายแบบเพื่อเป็นตัวอย่างแสดงการปรับปรุงความเชื่อถือได้ดังภาพที่ 16 ซึ่งแสดงตัวอย่างการเกิดฟอลต์ในฟีดเดอร์ สมมติว่าระยะเวลาจ่ายไฟคืนสู่ระบบมีระยะเวลา 1 ชั่วโมง และฟีดเดอร์นี้มีประวัติการเกิดฟอลต์ 6 ครั้งต่อปี ดังนั้นระยะเวลาที่สูญเสียไปเนื่องจากการเกิดฟอลต์ที่ตำแหน่งที่ 1 และเวลาที่สูญเสียรวมแสดงดังตารางที่ 1



ภาพที่ 16 การเกิดฟอลต์ในระบบอัตโนมัติ

ที่มา: David (2000)

ตารางที่ 1 ผลลัพธ์ดัชนีความเชื่อถือได้ในฟีดเดอร์ที่ไม่มีระบบอัตโนมัติ

	เวลาไฟดับเนื่องจาก เกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 1	เวลาไฟดับเนื่องจาก เกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 1
ผู้ใช้ไฟ 1	360	360
ผู้ใช้ไฟ 2	360	360

ที่มา: David (2000)

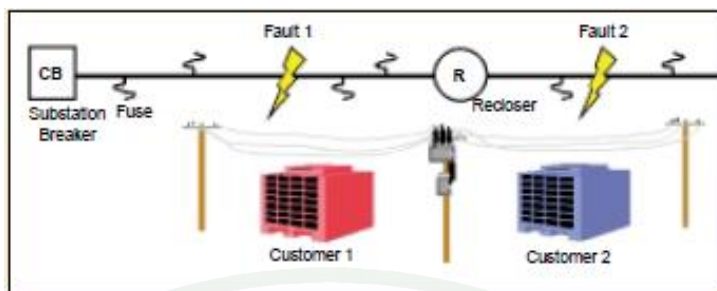
7.4.1 รีโกลสเซอร์และระยะเวลาไฟดับ

รีโกลสเซอร์มีความสามารถแยกฟอลต์ออกจากระบบ ง่ายต่อการติดตั้ง และสามารถงานใช้ได้ในพื้นที่ไฟฟ้า รีโกลสเซอร์จำเป็นต้องถูกตั้งค่าการทำงานประสานร่วมกันกับอุปกรณ์ตัวอื่นๆ เช่น เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่สถานีไฟฟ้า และฟิวส์ในไลน์แยก สำหรับฟิวส์มีรูปแบบ 2 คือ

- Fuse Saving : รูปแบบนี้ รีโกลสเซอร์สามารถทำงาน เมื่อเกิดฟอลต์แบบชั่วคราวที่มีสาเหตุมาจากสัตว์ หรือกิ่งไม้พาดสาย รีโกลสเซอร์ที่รีโกลสเพื่อที่จะกำจัดฟอลต์ออกก่อนที่ฟิวส์จะทำงาน ถ้าระบบมีการเคลียร์ฟอลต์ชั่วคราวได้สำเร็จ จะสามารถลดการสูญเสียทางเศรษฐกิจโดยการที่ฟิวส์ไม่ทำงาน และเมื่อเกิดฟอลต์ถาวรขึ้นในระบบ รีโกลสเซอร์จะทำงานหลังฟิวส์ เพื่อให้ฟิวส์ทำงานและแยกฟอลต์ออกก่อน

- Fuse Clearing : สำหรับบางฟีดเดอร์ วิธีนี้สำคัญมากเพื่อที่จะแยกฟอลต์ออกได้อย่างรวดเร็ว ถ้าฟิวส์ในไลน์แยกสามารถเคลียร์ฟอลต์ได้ การเกิดไฟดับแบบนี้จะทำให้เกิดความสูญเสียต่อผู้ใช้ไฟน้อยที่สุด

การปรับปรุงความเชื่อถือได้ในระบบพิจารณาในรูปแบบฟีดเดอร์ข้างต้น รีโกลสเซอร์ติดตั้งในระบบดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ฟีดเดอร์ที่มีการติดตั้งรีโคลอสเซอร์เข้าสู่ระบบ

ที่มา: David (2000)

กำหนดให้ฟีดเดอร์เกิดฟอลต์ถาวรทั้งสิ้น 6 ครั้ง ดังนั้นตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 2 มีการเกิดฟอลต์ตำแหน่งละ 3 ครั้ง ผลลัพธ์ของการปรับปรุงความเชื่อถือได้โดยการเพิ่มรีโคลอสเซอร์เข้าสู่ระบบดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์ดัชนีความเชื่อถือได้ในฟีดเดอร์ที่มีรีโคลอสเซอร์ในระบบ

	เวลาไฟดับเนื่องจาก เกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 1	เวลาไฟดับเนื่องจาก เกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 2	รวมระยะเวลาไฟดับ
ผู้ใช้ไฟ 1	180	0	180
ผู้ใช้ไฟ 2	180	180	360

ที่มา: David (2000)

ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าเมื่อฟอลต์ถาวรเกิดขึ้นในระบบทำให้ผู้ใช้ไฟ 2 มีระยะเวลาไฟดับเท่าเดิม แต่ผู้ใช้ไฟ 1 มีระยะเวลาไฟดับลดลง 50%

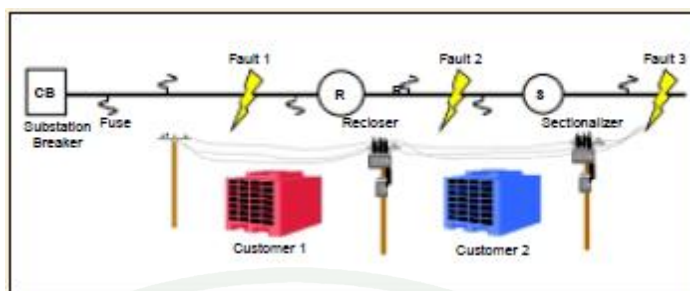
7.4.2 สวิตช์ตัดตอนและระยะเวลาไฟดับ

สวิตช์ตัดตอนถูกใช้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งสามารถลดจำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบเมื่อเกิดฟอลต์ถาวร โดยทั่วไปสวิตช์ตัดตอนถูกใช้แบบ downstream ถัดจากรีโกลสเซอร์ สวิตช์ตัดตอนไม่สามารถเป็นอุปกรณ์ที่กำจัดฟอลต์ได้ แต่จะมีลักษณะการทำงานแบบรีโกลสภาพที่ 18 แสดงจำนวนสวิตช์ตัดตอนทั้งสิ้น 2 ตัว เมื่อฟอลต์เกิดขึ้นตำแหน่งที่ 3 เหตุการณ์การแยกฟอลต์มีลำดับดังนี้

1. ฟอลต์ที่ตำแหน่ง 3 ถูกตรวจสอบโดยรีโกลสเซอร์
2. รีโกลสเซอร์ทริป
3. สวิตช์ตัดตอนตรวจจับฟอลต์ที่เกิดขึ้นและนับจำนวนรีโกลสเซอร์ทริป 1 ครั้ง
4. รีโกลสเซอร์รีโกลสกลับ
5. เมื่อฟอลต์เป็นแบบฟอลต์ถาวร รีโกลสเซอร์ทริปอีกครั้ง
6. สวิตช์ตัดตอนนับจำนวนรีโกลสเซอร์ทริป 2 ครั้ง
7. ในขณะที่รีโกลสเซอร์เปิดวงจรออก สวิตช์ตัดตอนจะเปิดวงจรออก
8. รีโกลสเซอร์รีโกลสกลับและจ่ายกำลังไฟฟ้าคืนสู่ระบบให้ผู้ใช้ไฟ 2

ฟอลต์ที่เกิดขึ้นในตำแหน่งที่ 1 สวิตช์ตัดตอนไม่สามารถตรวจจับฟอลต์ได้ และไม่มีกรนับจำนวนฟอลต์

ฟีดเดอร์ตัวอย่าง สวิตช์ตัดตอนถูกเพิ่มเข้าสู่ระบบเพื่อที่จะปรับปรุงความเชื่อถือได้ระบบไฟฟ้า จากฟีดเดอร์กำหนดให้ฟอลต์เกิดขึ้น 6 ครั้ง ซึ่งในระบบมีรีโกลสเซอร์ และสวิตช์ตัดตอนติดตั้งอยู่ในฟีดเดอร์ ฟอลต์สามารถเกิดขึ้นได้ 2 ครั้งต่อเซกชัน และระยะเวลาจ่ายไฟกลับคืนสู่ระบบเนื่องจากฟอลต์ถาวร 1 ชั่วโมง ดังนั้นผลลัพธ์ในการปรับปรุงความเชื่อถือได้แสดงตารางที่ 3



ภาพที่ 18 ฟีดเดอร์ที่มีการติดตั้งรี โคลสเซอร์และสวิตช์ตัดตอนเข้าสู่ระบบ

ที่มา: David (2000)

ตารางที่ 3 ผลลัพธ์ดัชนีความเชื่อถือได้ในฟีดเดอร์ที่มีรี โคลสเซอร์และสวิตช์ตัดตอนในระบบ

	เวลาไฟดับเนื่องจาก เกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 1	เวลาไฟดับเนื่องจาก เกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 2	เวลาไฟดับเนื่องจาก เกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง 3	รวม ระยะเวลา ไฟดับ
ผู้ใช้ไฟ 1	120	0	0	120
ผู้ใช้ไฟ 2	120	120	0	240

ที่มา: David (2000)

เมื่อรี โคลสเซอร์และสวิตช์ตัดตอนถูกติดตั้งเข้าสู่ระบบ การปรับปรุงความเชื่อถือได้ดังกล่าวทำให้ระยะเวลาไฟดับลดลง 66.6% ของผู้ใช้ไฟ 1 และ 33.3% ของผู้ใช้ไฟ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 1 (ระยะเวลาที่ลดลง 33.3% ของผู้ใช้ไฟ 1 และผู้ใช้ไฟ 2 เปรียบเทียบกับตารางที่ 2)

7.4.3 สวิตช์ถ่ายโอนโหลดและระยะเวลาไฟดับ

ฟีดเดอร์สามารถรับไฟจากฟีดเดอร์อื่นเมื่อเกิดฟอลต์ถาวรขึ้นในระบบ โดยทั่วไปแล้วฟีดเดอร์หนึ่งจะเชื่อมต่อกับฟีดเดอร์หนึ่งที่สถานีไฟฟ้าต่างกันเมื่อสถานีไฟฟ้าหนึ่ง

เสียทำให้สถานีไฟฟ้าหนึ่งยังสามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับฟีดเดอร์หนึ่งได้ โดยการทำงานของสวิตช์ตัดตอนมี 2 รูปแบบคือ

1. ควบคุมโดยรีโมท : เมื่อเกิดฟอลต์ถาวรขึ้นในฟีดเดอร์ ระบบ SCADA/DMS จะรายงานเหตุการณ์และผู้ควบคุมทราบตำแหน่งฟอลต์จากรีโคลสเซอร์หรือสวิตช์ตัดตอน เพื่อที่จะแยกในส่วนที่เป็นพื้นที่ฟอลต์ออกจากระบบไฟฟ้าและคืนกระแสไฟฟ้าสู่พื้นที่อื่น

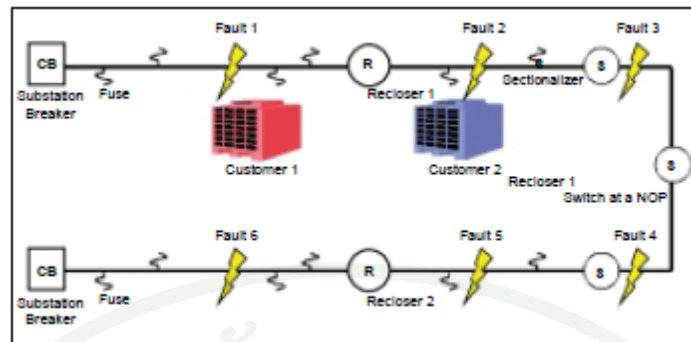
2. ระบบอัตโนมัติ : เมื่อเกิดฟอลต์ถาวรขึ้นในฟีดเดอร์ อุปกรณ์ในฟีดเดอร์ เคลียร์ฟอลต์และแยกฟอลต์เกิดขึ้นในเซกชันนั้นๆ โดยให้สวิตช์ถ่ายโอนโหลดทำงานเพื่อคืนกระแสไฟฟ้าสู่ผู้ใช้ไฟในพื้นที่อื่น

การทำงานของอุปกรณ์เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในระบบ ภาพที่ 19 แสดงสวิตช์ถ่ายโอนโหลดติดตั้งในจุดเชื่อมต่อกับฟีดเดอร์อื่นเป็นแบบ Normally-Open เมื่อเกิดฟอลต์ขึ้นในตำแหน่งที่ 1 ลำดับเหตุการณ์ทำงานของสวิตช์ตัดตอนมีดังนี้

1. เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงาน (ทริป) เพื่อเคลียร์ฟอลต์
2. ระบบสั่งการควบคุมสั่งให้รีโคลสเซอร์เปิดวงจรออก
3. สวิตช์ถ่ายโอนโหลดปิดวงจร และจ่ายกระแสไฟฟ้าสู่ผู้ใช้ไฟในพื้นที่อื่น

ฟอลต์ที่เกิดขึ้นในตำแหน่งที่ 1 ทำให้ผู้ใช้ไฟ 1 ไม่มีไฟฟ้าใช้เนื่องจากเป็นตำแหน่งพื้นที่เกิดฟอลต์

ตัวอย่างแสดงการเชื่อมต่อฟีดเดอร์และแยกเซกชันของอุปกรณ์ในพื้นที่เกิดฟอลต์ออกจากระบบเพื่อเพิ่มความเชื่อถือได้มากขึ้น จากรูปกำหนดให้ฟอลต์เกิดขึ้นในระบบทุกๆ ตำแหน่ง และระยะเวลาจ่ายไฟกลับคืนเนื่องจากฟอลต์ถาวรเกิดขึ้นในระบบ 1 ชั่วโมง ผลลัพธ์จากการปรับปรุงความเชื่อถือได้แสดงดังตารางที่ 4



ภาพที่ 19 ฟีดเดอร์ที่มีการติดตั้งรี โคลสเซอร์ สวิตช์ตัดตอนและสวิตช์ถ่ายโอน โหลดเข้าสู่ระบบ

ที่มา : David (2000)

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์ดัชนีความเชื่อถือได้ในฟีดเดอร์ที่มีรี โคลสเซอร์ สวิตช์ตัดตอนและสวิตช์ถ่ายโอน โหลดในระบบ

	เวลาไฟดับเนื่องจาก เกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง	เวลาไฟดับเนื่องจาก เกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง	เวลาไฟดับเนื่องจาก เกิดฟอลต์ที่ตำแหน่ง	รวม ระยะเวลา
	1	2	3-6	ไฟดับ
ผู้ใช้ไฟ 1	60	0	0	60
ผู้ใช้ไฟ 2	0	60	0	60

ที่มา: David (2000)

เมื่อรี โคลสเซอร์และสวิตช์ตัดตอนติดตั้งเข้าสู่ระบบ ฟอลต์ที่เกิดขึ้นทำให้ผู้ใช้ไฟในพื้นที่เซกชันของสวิตช์นั้นได้รับผลกระทบไฟดับเพียงพื้นที่เดียว ดังนั้นระยะเวลาไฟดับลดลง 83.3% สำหรับผู้ใช้ไฟ 1 และผู้ใช้ไฟ 2 เมื่อเปรียบเทียบกับตารางที่ 1

7.5 การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันสัตว์

7.5.1 การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันงู (Snake Guard)

โครงการวิจัยเพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการตั้งค่าเป้าหมายด้านความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2555) อุปกรณ์ป้องกันงูที่การไฟฟ้าส่วนภูมิกานำมาใช้งานในปัจจุบันมีรูปแบบหลักอยู่สองรูปแบบคือ แบบแผ่น และแบบตาข่ายดังรูปที่ 20 และ 21 ตามลำดับ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลการติดตั้งการรณใน 56 ฟีดเดอร์ พบว่าได้ค่าเกณฑ์เฉลี่ยที่จะสามารถลด SAIFI เนื่องจากงูได้ 38.95%



ภาพที่ 20 อุปกรณ์ป้องกันงูแบบแผ่นโลหะ

ที่มา: โครงการวิจัยเพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการตั้งค่าเป้าหมายด้านความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2555)



ภาพที่ 21 อุปกรณ์ป้องกันงูแบบแผ่นพลาสติก

ที่มา: โครงการวิจัยเพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการตั้งค่าเป้าหมายด้านความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2555)



ภาพที่ 22 อุปกรณ์ป้องกันแบบตาข่าย

ที่มา: โครงการวิจัยเพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการตั้งค่าเป้าหมายด้านความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2555)

7.5.2 การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันนก

โครงการวิจัยเพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการตั้งค่าเป้าหมายด้านความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2555) การไฟฟ้าแต่ละแห่งมีวิธีการป้องกันนกที่จะมาทำให้ระบบเกิดการลัดวงจรที่แตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ จุดที่ต้องการป้องกัน และอุปกรณ์ที่เลือกใช้ ซึ่งให้ประสิทธิภาพในการป้องกันแตกต่างกัน และมีค่าใช้จ่ายแตกต่างกัน เช่น การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันนกแบบหัวครอบที่บุชซึ่งสำหรับป้องกันการลัดวงจรจากสายนำเข้าหม้อแปลงกับดิน และการติดตั้งฉนวนลูกถ้วยเพิ่มเติมในบางจุด โดยเฉพาะที่เสาต้น double-dead-end (DOE) หรือที่ครอบเอาท์พิวส์เพื่อเพิ่มระยะห่างระหว่างส่วนที่มีไฟกับดิน เป็นต้น เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลการติดตั้งการ์ดกันนก ใน 18 ไฟดเคอร์ พบว่าได้ค่าเกณฑ์เฉลี่ยที่จะสามารถลด SAIFI เนื่องจากนกได้เท่ากับ 5.58%



ภาพที่ 23 อุปกรณ์ป้องกันแบบหวัครอบพีวีซีครอบที่หัวบุขซึ่งของหม้อแปลง

ที่มา: โครงการวิจัยเพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการตั้งค่าเป้าหมายด้านความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2555)



ภาพที่ 24 อุปกรณ์ป้องกันแบบหวัครอบที่ครอบเอาท์ไฟส์

ที่มา: โครงการวิจัยเพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการตั้งค่าเป้าหมายด้านความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2555)

7.5.3 การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันลิง (Monkey Guard)

โครงการวิจัยเพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการตั้งค่าเป้าหมายด้านความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2555) นอกจากปัญหาเนื่องจากงูและนกที่ก่อกวนข้างต้นแล้ว การไฟฟ้าบางแห่งได้ประสบปัญหาไฟฟาลัดวงจรเนื่องจากลิงด้วย การไฟฟ้าเหล่านี้จึงได้คิดค้นอุปกรณ์ป้องกันลิงราคาถูกขึ้นเพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว



ภาพที่ 25 อุปกรณ์ป้องกันลิง

ที่มา: โครงการวิจัยเพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการตั้งค่าเป้าหมายด้านความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (2555)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

ในการศึกษาการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนื่อดินในเมืองใหญ่ เพื่อประเมินค่าดัชนีความเชื่อถือได้ก่อนปรับปรุงและหลังปรับ โดยใช้วัสดุอุปกรณ์ และข้อมูลสำหรับการวิทยานิพนธ์ดังนี้

1. Microsoft Office 2010 (Microsoft Words, Excel และ Access)
2. โปรแกรมดัชนีความเชื่อถือได้ (จฟ.3) ของแผนวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ กองจ่ายไฟ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

วิธีการ

1. ข้อมูลทั่วไปของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

1.1 การแบ่งประเภทพื้นที่ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเป็นผู้ให้บริการไฟฟ้า ส่งจ่ายไฟฟ้าให้กับพื้นที่เกือบทุกจังหวัดของประเทศไทยยกเว้น จังหวัดกรุงเทพมหานคร นนทบุรี และสมุทรปราการ โดยการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้แบ่งพื้นที่ออกเป็นเขตพื้นที่รับผิดชอบทั้งสิ้น 12 เขต แสดงดังภาพที่ 26 การไฟฟ้าแต่ละเขตมีหน้าที่ควบคุม สั่งการและให้คำแนะนำในแต่ละภาคดังนี้

ภาคเหนือ

การไฟฟ้าเขต น.1 การไฟฟ้าจังหวัดเชียงใหม่ รับผิดชอบการบริการในพื้นที่ 6 จังหวัด คือ จังหวัดเชียงใหม่ เชียงราย แม่ฮ่องสอน พะเยา ลำพูน ลำปาง

การไฟฟ้าเขต น.2 การไฟฟ้าจังหวัดพิษณุโลก รับผิดชอบการบริการในพื้นที่ 8 จังหวัด
คือ พิษณุโลก แพร่ น่าน อุตรดิตถ์ สุโขทัย ตาก กำแพงเพชร พิจิตร

การไฟฟ้าเขต น.3 การไฟฟ้าจังหวัดลพบุรี รับผิดชอบการบริการในพื้นที่ 6 จังหวัดคือ
ลพบุรี นครสวรรค์ อุทัยธานี เพชรบูรณ์ ชัยนาท สิงห์บุรี

ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

การไฟฟ้าเขต ฉ.1 การไฟฟ้าจังหวัดอุดรธานี รับผิดชอบการบริการในพื้นที่ 8 จังหวัด
คือ อุดรธานี หนองบัวลำภู เลย หนองคาย บึงกาฬ สกลนคร นครพนม ขอนแก่น

การไฟฟ้าเขต ฉ.2 การไฟฟ้าจังหวัดอุบลราชธานี รับผิดชอบการบริการในพื้นที่ 8
จังหวัด คือ อุบลราชธานี ศรีสะเกษ ยโสธร มุกดาหาร กาฬสินธุ์ มหาสารคาม ร้อยเอ็ด อำนาจเจริญ

การไฟฟ้าเขต ฉ.3 การไฟฟ้าจังหวัดนครราชสีมา รับผิดชอบการบริการในพื้นที่ 4
จังหวัด คือ นครราชสีมา บุรีรัมย์ สุรินทร์ ชัยภูมิ

ภาคกลาง

การไฟฟ้าเขต ก.1 การไฟฟ้าจังหวัดพระนครศรีอยุธยา รับผิดชอบการบริการในพื้นที่ 7
จังหวัดคือ พระนครศรีอยุธยา อ่างทอง ปทุมธานี นครนายก สระบุรี ปราจีนบุรี สระแก้ว

การไฟฟ้าเขต ก.2 การไฟฟ้าจังหวัดชลบุรี รับผิดชอบการบริการในพื้นที่ 5 จังหวัดคือ
ชลบุรี ระยอง ฉะเชิงเทรา จันทบุรี ตราด

การไฟฟ้าเขต ก.3 การไฟฟ้าจังหวัดนครปฐม รับผิดชอบการบริการในพื้นที่ 4 จังหวัด
คือ นครปฐม กาญจนบุรี สุพรรณบุรี สมุทรสาคร

ภาคใต้

การไฟฟ้าเขต ต.1 การไฟฟ้าจังหวัดเพชรบุรี รับผิดชอบการบริการในพื้นที่ 6 จังหวัด คือ เพชรบุรี ราชบุรี สมุทรสงคราม ประจวบคีรีขันธ์ ชุมพร ระนอง

การไฟฟ้าเขต ต.2 การไฟฟ้าจังหวัดนครศรีธรรมราช รับผิดชอบการบริการในพื้นที่ 6 จังหวัด คือ นครศรีธรรมราช สุราษฎร์ธานี พังงา ภูเก็ต กระบี่ ตรัง

การไฟฟ้าเขต ต.3 การไฟฟ้าจังหวัดยะลา รับผิดชอบการบริการในพื้นที่ 6 จังหวัด คือ ยะลา พัทลุง สตูล สงขลา ปัตตานี นราธิวาส

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้แบ่งประเภทพื้นที่เป็น 5 ประเภทได้แก่

1. เขตพื้นที่อุตสาหกรรม (พื้นที่ที่ 1) คือ พื้นที่เฉพาะโรงงานอุตสาหกรรม
2. เขตพื้นที่เทศบาลนคร (พื้นที่ที่ 2) คือ พื้นที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น หรือเมืองที่มีขนาดใหญ่
3. เขตพื้นที่เทศบาลเมือง (พื้นที่ที่ 3) คือ พื้นที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นสำหรับเมืองขนาดกลาง
4. เขตพื้นที่เทศบาลตำบล (พื้นที่ที่ 4) คือ พื้นที่องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นสำหรับเมืองขนาดเล็ก
5. เขตพื้นที่ชนบท (พื้นที่ที่ 5) คือ พื้นที่ที่อยู่นอกเขตเทศบาล เป็นเขตแดนที่พ้นจากเมืองหลวงออกไป



ภาพที่ 26 แผนที่การไฟฟ้าเขตทั้ง 12 เขตของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

1.2 วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติกระแสไฟฟ้าขัดข้อง

พิจารณาข้อมูลทางสถิติเกี่ยวกับเหตุการณ์กระแสไฟฟ้าขัดข้อง ได้แก่ การวิเคราะห์จำนวนครั้งไฟดับ ระยะเวลาไฟดับ และจำนวนผู้ใช้ไฟ เนื่องจากเมื่อเกิดเหตุไฟดับแต่ละครั้งจะส่งผลกระทบต่อดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI และ SAIDI โดยพิจารณาไฟดับจากฐานข้อมูล จฟ.3 ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคซึ่งเป็นข้อมูลอยู่ในไฟล์ประเภท .mdf ใช้งานในโปรแกรม Microsoft Access ต่อมาวิธีเพื่อหารายละเอียดของเมืองใหญ่ทั้ง 4 เมืองใหญ่ดังนี้

1. ชื่อการไฟฟ้า
2. รหัสการไฟฟ้าเขต
3. วันเดือนปีที่เกิดไฟฟ้าขัดข้อง
4. จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบ
5. จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดในเมืองของแต่ละการไฟฟ้า
6. ระยะเวลาที่ผู้ใช้ไฟได้รับผลกระทบจากไฟฟ้าขัดข้อง
7. จำนวนสาเหตุที่ทำให้ไฟฟ้าขัดข้อง

รหัสการไฟฟ้าและชื่อเมืองใหญ่ ที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้กำหนดให้เขตพื้นที่เทศบาลนคร หรือพื้นที่เทศบาลเมืองให้เป็นเมืองใหญ่ มีทั้งสิ้น 12 เมือง แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 รหัสการไฟฟ้าในเมืองใหญ่ 12 เมือง

รหัสการไฟฟ้า	การไฟฟ้า	เมืองใหญ่
0101101	เชียงใหม่	เทศบาลนครเชียงใหม่
0201101	พิษณุโลก	เทศบาลนครพิษณุโลก
0301101	ลพบุรี	เทศบาลเมืองลพบุรี
0403101	ขอนแก่น	เทศบาลนครขอนแก่น
0501101	อุบลราชธานี	เทศบาลนครอุบลราชธานี
0601101	นครราชสีมา	เทศบาลนครราชสีมา
0708101	รังสิต	เทศบาลนครรังสิต
0806101	พัตยา	เมืองพัตยา
0904101	สมุทรสาคร	เทศบาลนครสมุทรสาคร
1007101	หัวหิน	เทศบาลนครหัวหิน
1106101	ภูเก็ต	เทศบาลนครภูเก็ต
1207101	หาดใหญ่	เทศบาลนครหาดใหญ่

จำนวนครั้งไฟดับของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้จัดบันทึกรายละเอียดแยกประเภทสาเหตุที่ทำให้ไฟดับดังตารางที่ 6 ดังนี้

ตารางที่ 6 รหัสสาเหตุไฟดับ

รหัส	สาเหตุ
TC001	ต้นไม้
TC002	อุปกรณ์
TC003	พนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค
TC004	บุคคลภายนอก
TC005	สัตว์
TC006	ยานพาหนะ
TC007	วัสดุแปลกปลอม
TC008	สภาพแวดล้อม
TC009	ภัยธรรมชาติ
TC010	สงคราม
TC011	โหลดเกิน
TC012	อื่นๆ

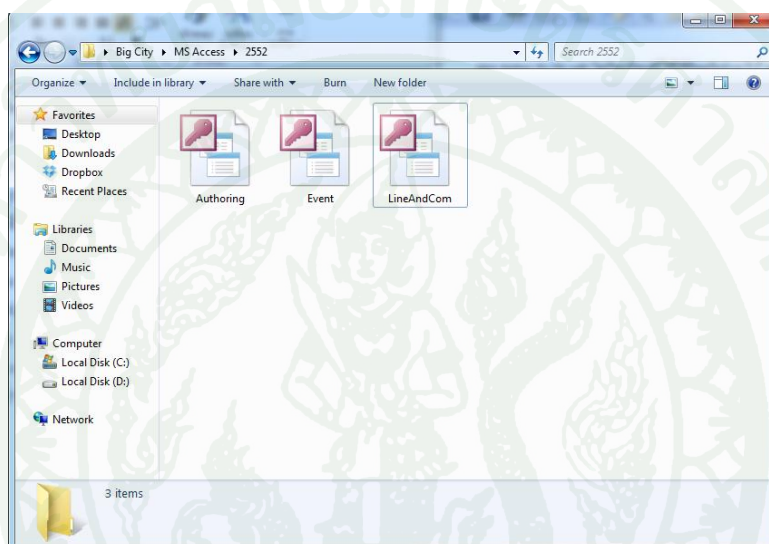
2. ข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องในระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้มีการบันทึกเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องไว้ในฐานข้อมูลของกองจ่ายไฟ (จฟ.3) พนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในแผนกควบคุมการจ่ายไฟเพื่อบันทึกเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องแต่ละครั้ง ในแต่ละพื้นที่ โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อใช้ในการประเมินค่าดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบ (SAIFI และ SAIDI) โดยข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องดังกล่าวได้รับความอนุเคราะห์จากแผนกวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ กองควบคุมการจ่ายไฟ ฝ่ายควบคุมระบบไฟฟ้า ซึ่งเป็นข้อมูลที่ทำกรบันทึกไว้ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ.2553 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2555 โดยได้รับข้อมูลมาในรูปแบบการจัดเก็บเป็นไฟล์ 3 ไฟล์คือ Event.mdb, LineAndCom.mdb และ Authoring.mdb ไฟล์ดังกล่าวมีลักษณะดังนี้

- Event.mdb เป็นไฟล์เก็บบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับไฟฟ้าขัดข้องว่า เกิดขึ้นที่ใด พื้นที่ไหน จำนวนผู้ใช้ไฟได้รับผลกระทบแต่ละพื้นที่มีจำนวนเท่าใด ระยะเวลาเฉลี่ยจ่ายไฟกลับคืนเข้าสู่ระบบมีค่าเท่าใด เป็นต้น

- LineAndCom.mdb เป็นไฟล์เก็บบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ จำนวนผู้ใช้ไฟในแต่ละช่วงของอุปกรณ์ในฟีดเดอร์ต่าง เป็นต้น
- Authoring.mdb เป็นไฟล์เก็บบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับการเปลี่ยน ใค้จากการบันทึกข้อมูลใน Event.mdb ให้เป็นภาษาไทยเพื่อให้อ่านง่าย

วิทยานิพนธ์นี้ใช้ข้อมูลสถิติไฟฟ้าขัดข้องที่เกิดขึ้นในช่วง 3 ปี ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2553 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ. 2555 ประกอบการพิจารณาดังแสดงในภาพที่ 27



ภาพที่ 27 ไฟล์ฐานข้อมูล จฟ.3

2.1 คอลัมน์ข้อมูลเพื่อใช้ในการประเมินความเชื่อถือได้

ข้อมูลเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ผู้วิจัยได้คัดเลือกเฉพาะคอลัมน์ที่ต้องนำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ 16 คอลัมน์ ดังนี้

- PeaCode	หมายถึง	รหัสการไฟฟ้า
- SubstationCode	หมายถึง	รหัสสถานีไฟฟ้า
- FeederCode	หมายถึง	รหัสฟีดเดอร์ที่ไฟดับ
- EquipWork	หมายถึง	รหัสอุปกรณ์ทำงานเมื่อเกิดไฟดับ
- EquipStart	หมายถึง	รหัสอุปกรณ์

- DateOutage หมายถึง วันที่เกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้อง
- CauseType หมายถึง รหัสสาเหตุไฟฟ้าขัดข้อง
- KnowCause หมายถึง ทราบ/ไม่ทราบสาเหตุไฟดับ
- TotalTime หมายถึง ระยะเวลาจ่ายไฟกลับคืนสู่ระบบ
- Cus_A2 หมายถึง จำนวนผู้ใช้ไฟในเขตพื้นที่เมืองที่ได้รับผลกระทบจากไฟดับ
- CusXTime หมายถึง จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบไฟดับคูณกับระยะเวลาไฟดับ
- Cust_Amt_Area1 หมายถึง จำนวนผู้ใช้ไฟในพื้นที่ที่ 1
- Cust_Amt_Area2 หมายถึง จำนวนผู้ใช้ไฟในพื้นที่ที่ 2
- Cust_Amt_Area3 หมายถึง จำนวนผู้ใช้ไฟในพื้นที่ที่ 3
- Cust_Amt_Area4 หมายถึง จำนวนผู้ใช้ไฟในพื้นที่ที่ 4
- Cust_Amt_Area5 หมายถึง จำนวนผู้ใช้ไฟในพื้นที่ที่ 5

คัดเลือกคอลัมน์ที่ต้องการนำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ ดังแสดงในภาพที่ 28 และภาพที่

29

PeaCode	DateOutage	EquipWork	CauseType	Cus_A2	TotalTime	OwnerCause
0104101	01-Jan-11	CRA09H005000	TC005	2	27	ON001
0101101	01-Apr-11	CMA01H004000	TC005	487	17	ON001
0104101	01-Jul-11	CRA09B001000	TC001	5941	10	ON001
0101101	01-Jul-11	CMA07H001000	TC005	262	25	ON001
0103101	01-Sep-11	LPA02D001000	TC005	22	26	ON001
0101101	01-Sep-11	CMA03B001000	TC004	6596	9	ON001
0103101	01-Oct-11	LPA02D001000	TC009	22	8	ON001
0104101	02-May-11	CRA09H007000	TC005	5	42	ON001
0101101	02-May-11	CMA03H006000	TC005	4	25	ON001
0101101	02-Jun-11	CMD08H004000	TC005	256	25	ON001
0101101	02-Jul-11	CMB02D001000	TC002	3227	67	ON001
0104101	02-Aug-11	CRA02H013000	TC005	10	20	ON001
0101101	02-Sep-11	CMB04H002000	TC009	149	25	ON001
0101101	02-Oct-11	CMB05D001000	TC002	20	28	ON001
0103101	03-May-11	LPC02B001000	TC002	4451	64	ON001
0103101	03-Jul-11	LPA02D001000	TC002	22	9	ON001
0101101	03-Oct-11	CMA02B001000	TC001	809	21	ON001
0101101	03-Dec-11	CMA02B001000	TC005	809	6	ON001
0101101	04-Jun-11	CMC02B001000	TC007	168	13	ON001
0104101	04-Jul-11	CRA01H001000	TC005	1	39	ON001
0101101	04-Sep-11	CMA03B001000	TC007	6596	17	ON001
0101101	05-Apr-11	CMB05H001000	TC005	177	20	ON001
0101101	05-May-11	CMD03B001000	TC002	1	31	ON001
0101101	05-May-11	CMA01B001000	TC002	123	23	ON001
0101101	05-May-11	CMC01B001000	TC002	5	13	ON001
0101101	05-May-11	CMC03B001000	TC002	5761	17	ON001
0101101	05-May-11	CMA03B001000	TC002	6596	36	ON001
0101101	05-May-11	CMA09B001000	TC002	5717	10	ON001
0101101	05-May-11	CMC02B001000	TC002	168	34	ON001

ภาพที่ 28 คอลัมน์เพื่อใช้หาข้อมูลไฟดับ

PEACODE	SUBSTATION_CODE	FEEDER_CODE	EQUIP_START	EQUIP_END	CUST_AMT_AREA1	CUST_AMT_AREA2	CUST_AMT_AREA3	CUST_AMT_AREA4	CUST_AMT_AREA5
1207101	BPR	BPR01	BPR01F001000	BPR01I030002	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01G001000	BPR01I014000	0	0	807	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I004006	BPR04H007005	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I007006	BPR01I004006	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I007006	BPR04H007004	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I00A006	BPR01I007006	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I00A006	BPR01I00A009	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I00A009	BPR01I00A00C	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I00A009	BPR04H008001	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I00A00C	BPR04H008002	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I00A00C	BPR04H008003	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I00F038	BPR04H017000	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I011006	BPR01K006000	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I011006	BPR04H006012	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I014000	BPR01I014010	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I014000	BPR04H006013	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I014010	BPR01I014012	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I014010	BPR04H006001	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I014012	BPR01I014015	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I014012	BPR04H006002	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I014015	BPR01I014017	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I014015	BPR04H006014	0	0	0	0	0
1207101	BPR	BPR01	BPR01I014017	BPR01I014019	0	0	0	0	0

ภาพที่ 29 คอลัมน์เพื่อใช้หาจำนวนผู้ใช้ไฟ

2.3 จำนวนเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องของเมืองใหญ่ 4 เมือง

เมืองใหญ่ 4 เมืองตัวอย่าง ผู้วิจัยได้วิเคราะห์สาเหตุแยกเป็นรายเมือง โดยใช้ข้อมูลไฟดับเฉลี่ยในปี 2553-2555 เพื่อนำไปประเมินความเชื่อถือได้ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงจำนวนสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องของเมืองใหญ่ 4 เมือง แสดงดังตารางที่ 7 ถึง 10

ตารางที่ 7 จำนวนสาเหตุไฟดับเมือง N_City

เมืองใหญ่ N_City			
รหัสสาเหตุ	สาเหตุ	จำนวนครั้ง	เปอร์เซ็นต์
TC001	ต้นไม้	18	12.33%
TC002	อุปกรณ์	34	23.29%
TC003	พนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	4	2.74%
TC004	บุคคลภายนอก	2	1.37%
TC005	สัตว์	64	43.84%
TC006	ยานพาหนะ	1	0.68%
TC007	วัสดุแปลกปลอม	3	2.05%

ตารางที่ 7 (ต่อ)

เมืองใหญ่ N_City			
รหัสสาเหตุ	สาเหตุ	จำนวนครั้ง	เปอร์เซ็นต์
TC008	สภาพแวดล้อม	17	11.64%
TC009	ภัยธรรมชาติ	2	1.37%
TC010	สงคราม	0	0.00%
TC011	โหลดเกิน	1	0.68%
TC012	อื่นๆ	0	0.00%

ตารางที่ 8 จำนวนไฟดับเมือง NE_City

เมืองใหญ่ NE_City			
รหัสสาเหตุ	สาเหตุ	จำนวนครั้ง	เปอร์เซ็นต์
TC001	ต้นไม้	34	10.90%
TC002	อุปกรณ์	65	20.83%
TC003	พนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	3	0.96%
TC004	บุคคลภายนอก	1	0.32%
TC005	สัตว์	139	44.55%
TC006	ยานพาหนะ	10	3.21%
TC007	วัสดุแปลกปลอม	6	1.92%
TC008	สภาพแวดล้อม	17	5.45%
TC009	ภัยธรรมชาติ	14	4.49%
TC010	สงคราม	0	0.00%
TC011	โหลดเกิน	0	0.00%
TC012	อื่นๆ	23	7.37%

ตารางที่ 9 จำนวนไฟดับเมือง E_City

เมืองใหญ่ E_City			
รหัสสาเหตุ	สาเหตุ	จำนวนครั้ง	เปอร์เซ็นต์
TC001	ต้นไม้	50	18.32%
TC002	อุปกรณ์	87	31.87%
TC003	พนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	2	0.73%
TC004	บุคคลภายนอก	4	1.47%
TC005	สัตว์	69	25.27%
TC006	ยานพาหนะ	15	5.49%
TC007	วัสดุเปลกปลอม	11	4.03%
TC008	สภาพแวดล้อม	19	6.96%
TC009	ภัยธรรมชาติ	12	4.40%
TC010	สงคราม	0	0.00%
TC011	โหลดเกิน	1	0.37%
TC012	อื่นๆ	3	1.10%

ตารางที่ 10 จำนวนไฟดับเมือง S_City

เมืองใหญ่ S_City			
รหัสสาเหตุ	สาเหตุ	จำนวนครั้ง	เปอร์เซ็นต์
TC001	ต้นไม้	20	6.15%
TC002	อุปกรณ์	118	36.31%
TC003	พนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	1	0.31%
TC004	บุคคลภายนอก	3	0.92%
TC005	สัตว์	157	48.31%
TC006	ยานพาหนะ	3	0.92%
TC007	วัสดุเปลกปลอม	6	1.85%
TC008	สภาพแวดล้อม	11	3.38%

ตารางที่ 10 (ต่อ)

เมืองใหญ่ S_City			
รหัสสาเหตุ	สาเหตุ	จำนวนครั้ง	เปอร์เซ็นต์
TC009	ภัยธรรมชาติ	5	1.54%
TC010	สงคราม	0	0.00%
TC011	โหลดเกิน	0	0.00%
TC012	อื่นๆ	1	0.31%

3. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา

การประเมินความเชื่อถือได้ ผู้วิจัยใช้ตัวแปรต่างๆ เพื่อที่จะประเมินดัชนีความเชื่อถือได้มีดังนี้

<i>SAIFI</i>	หมายถึง	ความถี่ที่เกิดไฟดับแบบต่อเนื่องเฉลี่ยต่อผู้ใช้ไฟในพื้นที่ที่พิจารณา (ครั้งต่อรายต่อปี)
<i>SAIDI</i>	หมายถึง	ระยะเวลาไฟดับเฉลี่ยต่อผู้ใช้ไฟในพื้นที่ที่พิจารณา (นาที่ต่อรายต่อปี)
<i>SAIFI_{city}</i>	หมายถึง	ความถี่ที่เกิดไฟดับแบบต่อเนื่องเฉลี่ยต่อผู้ใช้ไฟในพื้นที่เมืองก่อนปรับปรุง (ครั้งต่อรายต่อปี)
<i>SAIDI_{city}</i>	หมายถึง	ระยะเวลาไฟดับเฉลี่ยต่อผู้ใช้ไฟในพื้นที่เมืองก่อนปรับปรุง (นาที่ต่อรายต่อปี)
<i>SAIFI'_{city}</i>	หมายถึง	ความถี่ที่เกิดไฟดับแบบต่อเนื่องเฉลี่ยต่อผู้ใช้ไฟในพื้นที่เมืองหลังปรับปรุง (ครั้งต่อรายต่อปี)
<i>SAIDI'_{city}</i>	หมายถึง	ระยะเวลาไฟดับเฉลี่ยต่อผู้ใช้ไฟในพื้นที่เมืองหลังปรับปรุง (นาที่ต่อรายต่อปี)
<i>MTTF_i</i>	หมายถึง	ระยะเวลาเฉลี่ยที่ระบบไฟฟ้าที่อยู่ในโซนของอุปกรณ์ป้องกันประเภท <i>i</i> สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ตามปกติ (นาที่)
<i>DT_{i,k}</i>	หมายถึง	ระยะเวลาไฟดับเนื่องจากอุปกรณ์ป้องกันประเภท <i>i</i> ตัวที่ <i>k</i> ทำงานในปีที่พิจารณา (นาที่)

λ_i	หมายถึง	อัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ป้องกัน i ทำงาน (ครั้งต่อปี)
λ'_i	หมายถึง	อัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ป้องกัน i อันเนื่องมาจากการเกิดฟอลต์ในพื้นที่เมืองภายหลังการปรับปรุง (ครั้งต่อปี)
$\lambda'_{s,i}$	หมายถึง	อัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ในแต่ละเซกชันในโซนของอุปกรณ์ป้องกัน i ภายหลังการปรับปรุง (ครั้ง/ปี)
$\lambda_{i,cc}$	หมายถึง	อัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i เนื่องจากสาเหตุที่สามารถควบคุมได้ (Controllable Causes) (ครั้งต่อปี)
$\lambda_{i,uc}$	หมายถึง	อัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i เนื่องจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ (Uncontrollable Causes) (ครั้งต่อปี)
k_{cc}	หมายถึง	ค่าการประเมินเนื่องจากสามารถลดการเกิดไฟฟ้าขัดข้องจากสาเหตุที่ควบคุมได้ (เปอร์เซ็นต์)
$O_{i,k}$	หมายถึง	จำนวนครั้งไฟฟ้าขัดข้องเนื่องจากอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ตัวที่ k ทำงานในปีที่พิจารณา (ครั้ง)
r_i	หมายถึง	ระยะเวลาไฟดับเฉลี่ยเนื่องจากอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ทำงาน (นาทีก)
$r'_{s,i}$	หมายถึง	ระยะเวลาซ่อมเฉลี่ยในแต่ละเซกชัน อันเนื่องมาจากอุปกรณ์ป้องกัน i ทำงานหลังการปรับปรุง (นาทีก)
r_{sw}	หมายถึง	ระยะเวลาจ่ายไฟกลับคืนให้แก่เซกชันที่ไม่เกิดฟอลต์ (นาทีก)
r_{det}	หมายถึง	ระยะเวลาไฟดับที่ผู้ให้บริการไฟฟ้าไม่นำมาคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI และ SAIDI (นาทีก)
n_i	หมายถึง	จำนวนอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าได้แก่ เบรกเกอร์ รีโคสเซอร์ และฟิวส์ (ตัว)
n_p	หมายถึง	จำนวนประเภทของอุปกรณ์ป้องกันในระบบจำหน่ายไฟฟ้าในพื้นที่ที่พิจารณา (ตัว)
$n_{p,i}$	หมายถึง	จำนวนอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าในพื้นที่ที่พิจารณา (ตัว)

$n_{s,i}$	หมายถึง	จำนวนเซกชั่นที่อยู่ในโซนของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ในเขตพื้นที่เมืองก่อนการปรับปรุง (เซกชั่น)
$n'_{s,i}$	หมายถึง	จำนวนเซกชั่นในไลน์เมนหลังอุปกรณ์ป้องกัน i ที่แนะนำให้ปรับปรุงในพื้นที่เมือง(เซกชั่น)
$\overline{n_{s,i}}$	หมายถึง	จำนวนเซกชั่นหลังอุปกรณ์ป้องกันต้นทาง i หลังจากการปรับปรุง (เซกชั่น)
N_i	หมายถึง	จำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบเมื่ออุปกรณ์ป้องกันประเภท i ทำงาน (ราย)
N_{total}	หมายถึง	จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งหมดในพื้นที่ที่พิจารณา (ราย)
$N_{m,i}$	หมายถึง	จำนวนผู้ใช้ไฟในเซกชั่นที่ m ที่อยู่ในโซนของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ในเขตพื้นที่เมืองหลังปรับปรุง (ราย)
$N_{i,city}$	หมายถึง	จำนวนผู้ใช้ไฟในพื้นที่เมืองที่ได้รับผลกระทบเมื่ออุปกรณ์ป้องกันประเภท i ทำงาน (ราย)
N_{city}	หมายถึง	จำนวนผู้ใช้ไฟในพื้นที่เมือง (ราย)
N_{feeder}	หมายถึง	จำนวนผู้ใช้ไฟทั้งฟีดเดอร์ (ราย)
P_{feeder}	หมายถึง	ค่าโหลดพิกัดในฟีดเดอร์ (MW)
P_s	หมายถึง	ค่าโหลดที่กำหนดในแต่ละเซกชั่น (MW)

4. กิจกรรมการปรับปรุงความเชื่อถือได้

กิจกรรมการปรับปรุงความเชื่อถือได้มีทั้งสิ้น 6 กิจกรรมดังนี้

1. เปลี่ยนสายเปลือย (A, ACSR) และสายหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัด (PIC) ไปเป็นสายหุ้มฉนวนเต็มพิกัด (SAC)
2. ติดตั้งรีโคลสเซอร์ก่อนออกนอกเขตเมือง
3. ติดตั้ง Load Break Switch พร้อมเปิดฟังก์ชันเพื่อแยกฟอล์ดอต์อัตโนมัติ (FDIR) ติดตั้งทุกความหนาแน่นโหลด 1 MW
4. ติดตั้งสวิตช์ถ่ายโอนโหลด (Tie-Switch) ที่สามารถควบคุมสั่งการระยะไกลได้ เชื่อมโยงกับฟีดเดอร์อื่นในสถานีไฟฟ้าเดียวกันหรือสถานีไฟฟ้าอื่นใกล้เคียง
5. ติดตั้งสายดินต่อฟ้า (Overhead Ground Wire)
6. ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันสัตว์และฉนวนป้องกันจุดเปลือย

5. การประเมินความเชื่อถือได้

5.1 ก่อนการปรับปรุงความเชื่อถือได้

ก่อนการปรับปรุงความเชื่อถือได้ ผู้วิจัยแบ่งการทำงานของอุปกรณ์มี 3 ประเภทคือ เบรกเกอร์ รีโคสเซอร์ และฟิวส์ เพื่อประเมินหาจำนวนครั้งเฉลี่ยของอุปกรณ์ทำงาน และระยะเวลาไฟดับเฉลี่ยของแต่ละประเภทของอุปกรณ์ป้องกันในแต่ละฟีดเดอร์ จากสถิติย้อนหลัง 3 ปี (พ.ศ. 2553- 2555) จากฐานข้อมูลโปรแกรม จฟ.3

เพื่อหาข้อมูลการเกิดไฟฟ้าขัดข้อง จำนวนครั้งอุปกรณ์ป้องกันทำงานจากไฟฟ้าขัดข้อง เวลาไฟดับเฉลี่ยเมื่ออุปกรณ์ป้องกันทำงาน และจำนวนผู้ใช้ไฟของแต่ละฟีดเดอร์ของแต่ละเมือง ผู้วิจัยดึงข้อมูลจากไฟล์ Event.mdb ในโปรแกรม Microsoft Access โดยใช้คอลัมน์เพื่อการคิวรี่ทั้ง 2 การคิวรี่ดังกล่าวตามตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ชื่อคอลัมน์เพื่อหาสาเหตุไฟดับและจำนวนผู้ใช้ไฟ

คอลัมน์หาสาเหตุไฟดับ	คอลัมน์หาจำนวนผู้ใช้ไฟ
Peacode	Peacode
Dateoutage	SubstationCode
Equipwork	FeederCode
Causetype	EquipStart
Cus_A2	EquipEnd
Totaltime	Cust_Amt_Area1
Ownercause	Cust_Amt_Area2
	Cust_Amt_Area3
	Cust_Amt_Area4
	Cust_Amt_Area5

จากผลการคิวรี่เพื่อหาจำนวนครั้งอุปกรณ์ป้องกันทำงานจากไฟฟ้าขัดข้อง สาเหตุที่ทำให้ไฟฟ้าขัดข้อง ระยะเวลาไฟดับ จำนวนอุปกรณ์ป้องกันและจำนวนผู้ใช้ไฟในแต่ละฟีดเดอร์ เพื่อการ

คำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ ดังนั้นระยะเวลาเฉลี่ยของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ทำงานในแต่ละปีเตอร์ ($MTTF_i$) ในปีที่พิจารณา และอัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ก่อนการปรับปรุงตามสมการที่ 7 และสมการที่ 8 ตามลำดับ

$$MTTF_i = \frac{\sum_{j=1}^y (525600 \times n_{p,i} - \sum_{k=1}^{n_{p,i}} DT_{i,k})_j}{\sum_{j=1}^y (\sum_{k=1}^{n_{p,i}} O_{i,k})_j} \quad (7)$$

$$\lambda_i = \frac{525,600}{MTTF_i} \quad (8)$$

ระยะเวลาไฟดับเฉลี่ยของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ในปีที่พิจารณาตามสมการที่ 9

$$r_i = \frac{\sum_{j=1}^y (\sum_{k=1}^{n_{p,i}} DT_{i,k})_j}{\sum_{j=1}^y (\sum_{k=1}^{n_{p,i}} O_{i,k})_j} \quad (9)$$

ความถี่ที่เกิดไฟดับแบบต่อเนื่องเฉลี่ยต่อผู้ใช้ไฟในพื้นที่ที่พิจารณา (SAIFI) และระยะเวลาไฟดับเฉลี่ยต่อผู้ใช้ไฟในพื้นที่ที่พิจารณา (SAIDI) ตามสมการที่ 10 และสมการที่ 11 ตามลำดับ

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} \lambda_i N_i}{N_{Total}} \quad (10)$$

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^{n_p} \lambda_i r_i N_i}{N_{Total}} \quad (11)$$

5.2 คำเนิการปรับปรุงความเชื่อถือได้

กิจกรรมในการปรับปรุงความเชื่อถือได้ในหัวข้อที่ 4 นำมาประยุกต์ใช้ เราสามารถลดสาเหตุที่ทำให้เกิดไฟฟ้าขัดข้อง หรืออัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ป้องกันได้ จากกิจกรรมดังกล่าว ผู้วิจัยกำหนดให้

- การเปลี่ยนสายเปลือยและสายหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัดเป็นสายหุ้มฉนวนเต็มพิกัดสามารถลดสาเหตุที่ทำให้เกิดไฟฟ้าขัดข้องจากต้นไม้ (TC001) พนักงานกฟภ. (TC003) บุคคลภายนอก (TC004) สัตว์ (TC005) และสิ่งแปลกปลอม (TC007) กำหนดให้เป็น $\lambda_{i,cc}$
- การติดตั้งสายดินล่อฟ้า (Overhead Ground Wire) สามารถลดสาเหตุที่ทำให้เกิดไฟฟ้าขัดข้องจากสิ่งแวดล้อม (ฟ้าผ่า) (TC008) กำหนดให้เป็น $\lambda_{i,cc}$
- การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันสัตว์และฉนวนป้องกันจุดเปลือยสามารถลดสาเหตุที่ทำให้เกิดไฟฟ้าขัดข้องจากสัตว์ และต้นไม้ กำหนดให้เป็น $\lambda_{i,cc}$
- สาเหตุอื่นนอกเหนือจากสาเหตุข้างต้นกำหนดให้เป็น $\lambda_{i,uc}$

ดังนั้นอัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ป้องกันทำงานตามสมการที่ 12

$$\lambda_i = \lambda_{i,cc} + \lambda_{i,uc} \quad (12)$$

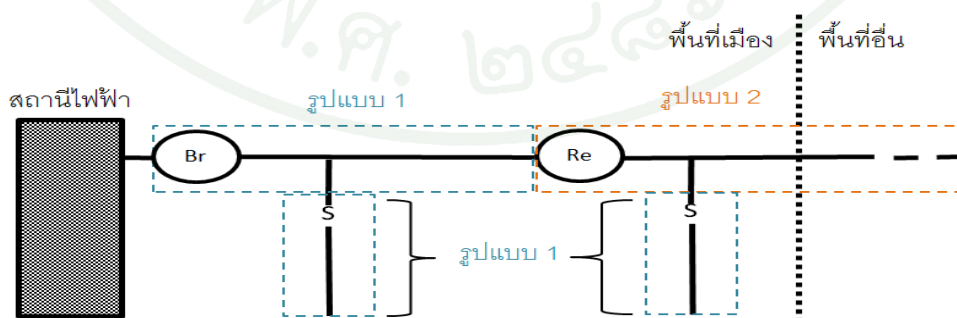
อัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ที่เราสามารถควบคุมสาเหตุได้และควบคุมสาเหตุไม่ได้ดังกล่าวสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 30

รหัสสาเหตุ	สาเหตุ
TC001	ต้นไม้
TC003	พนักงานกฟภ.
TC004	บุคคลภายนอก
TC005	สัตว์
TC007	วัสดุสิ่งแปลกปลอม
TC008	สิ่งแวดล้อม
TC002	อุปกรณ์
TC006	ยานพาหนะ
TC009	ภัยธรรมชาติ
TC010	สงคราม
TC011	โหลดเกินพิกัด
TC012	อื่นๆ

$\lambda_{i,cc}$
 $\lambda_{i,uc}$

ภาพที่ 30 สาเหตุควบคุมได้และควบคุมไม่ได้จากการปรับปรุงความเชื่อถือได้

งานวิจัยนี้ได้กำหนดรูปแบบโซนป้องกันของอุปกรณ์ป้องกันในเมืองใหญ่ของฟีดเดอร์ไว้ 2 รูปแบบดังรูปภาพที่ 31



ภาพที่ 31 รูปแบบโซนป้องกันของอุปกรณ์ป้องกันในเมืองใหญ่

ภาพที่ 31 แสดงโซนป้องกันของอุปกรณ์ป้องกันในเมืองใหญ่ ซึ่งครอบคลุมในพื้นที่เมือง และนอกเมือง มีด้วยกัน 2 รูปแบบคือ

รูปแบบที่ 1 : โซนของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ครอบคลุมเฉพาะพื้นที่ในเมือง

รูปแบบที่ 2 : โซนของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ครอบคลุมพื้นที่ในเมืองและนอกเมืองบางส่วน

รูปแบบที่ 1 - โซนป้องกันของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ครอบคลุมเฉพาะในพื้นที่เมือง ดังนั้นอัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ป้องกัน i ดังสมการที่ 13

$$\lambda'_i = (k_{cc}\lambda_{i,cc} + \lambda_{i,uc}) \quad (13)$$

รูปแบบที่ 2 - โซนป้องกันของอุปกรณ์ป้องกันครอบคลุมในเขตพื้นที่เมืองและนอกเมืองบางส่วน เราสามารถลดจำนวนการเกิดไฟฟ้าขัดข้องในเมืองได้โดยการติดตั้งรีโคลสเซอร์ที่ตำแหน่งก่อนออกนอกเขตเมือง เมื่อเกิดฟอลต์นอกเมืองจะป้องกันผู้ใช้ไฟในเมืองไม่ได้รับผลกระทบจากเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องนั้น ดังนั้นอัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ป้องกัน i ดังสมการที่ 14

$$\lambda'_i = \frac{N_{i,city}}{N_i} \times (k_{cc}\lambda_{i,cc} + \lambda_{i,uc}) \quad (14)$$

เพื่อจำกัดพื้นที่ฟอลต์ให้เป็นเซกชั่น พร้อมเปิดฟังก์ชัน FDIR ที่อุปกรณ์ตัดตอน เพื่อแยกเซกชั่นฟอลต์ออกจากระบบ เมื่อฟอลต์เกิดขึ้นในเซกชั่นใดเซกชั่นหนึ่ง ทำให้อุปกรณ์ป้องกันทำงานฟังก์ชัน FDIR จะทำการตรวจสอบค่าฟอลต์ในอุปกรณ์ในแต่ละช่วงเซกชั่นว่ามีฟอลต์เกิดขึ้นในเซกชั่นใด ฟังก์ชันดังกล่าวนี้จะทำการเปิดวงจรในเซกชั่นฟอลต์ออกจากระบบ อุปกรณ์ป้องกันรีโคลสปิดวงจร และอุปกรณ์ถ่ายโอนโหลดปิดวงจร ทำให้ผู้ใช้ไฟในเซกชั่นอื่นไม่ได้รับผลกระทบจากไฟฟ้าขัดข้องนั้น ดังนั้นจำนวนเซกชั่นหลังอุปกรณ์ป้องกันประเภท i ได้จากสมการที่ 15

$$n'_{s,i} = \text{roundup} \left(\frac{N_{i,city}}{N_{feeder}} \times \frac{P_{feeder}}{P_s} \right) \quad (15)$$

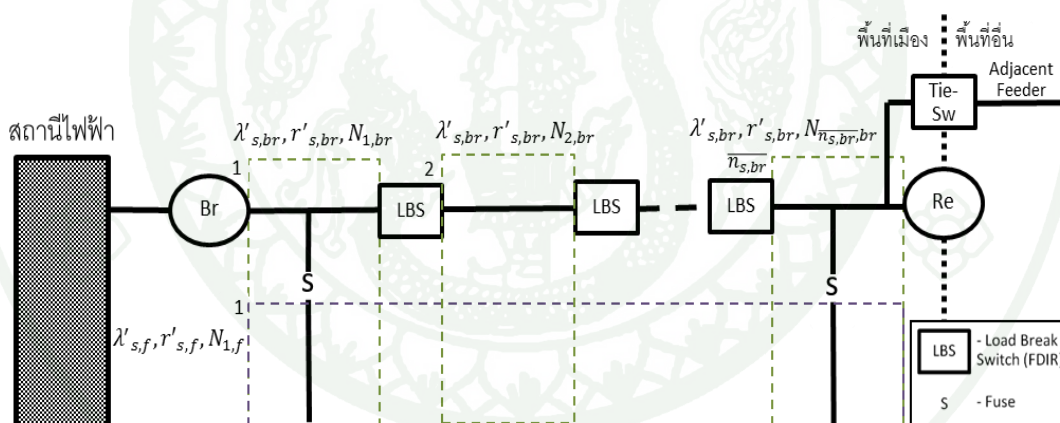
อัตราความขัดข้องในแต่ละเซกชันในโซนของอุปกรณ์ป้องกันประเภท i และระยะเวลาซ่อมเฉลี่ยในแต่ละเซกชันได้ตามสมการที่ 16 และสมการที่ 17 ตามลำดับ

$$\lambda'_{s,i} = \frac{\lambda'_i}{n_{s,i}} \quad (16)$$

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

$$r'_{s,i} = r_{fuse} \quad (17)$$

รูปภาพที่ 32 แสดงภาพหลังจากการปรับปรุงระบบโดยใช้กระบวนการปรับปรุงดังกล่าว ดังนั้นดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI และ SAIDI ในเมืองใหญ่หลังการปรับปรุงสามารถแบ่งได้ 2 กรณีดังนี้



ภาพที่ 32 ตัวอย่างฟีดเดอร์ภายหลังการปรับปรุง

กรณีที่ 1 : เมื่อฟอลต์เกิดขึ้นในระบบทำให้อุปกรณ์ป้องกันทำงาน เซกชันฟอลต์จะสามารถรับไฟฟ้ากลับคืนได้ภายในระยะเวลา $r'_{s,i}$ นาที และเซกชันอื่นได้รับไฟฟ้ากลับคืนจากการถ่ายโอนโหลดภายในระยะเวลาที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไม่นำมาคิดคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI และ SAIDI ($r_{sw} \leq r_{det}$) ดังนั้นการคิดคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้จะคิดเฉพาะเซกชันที่เกิดฟอลต์และจำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบในเซกชันนั้นๆ ($N_{m,i}$) เมื่ออัตราความขัดข้องแต่ละเซกชันเท่ากัน ($\lambda'_{s,i}$) จำนวนผู้ใช้ไฟในแต่ละเซกชันที่เกิดฟอลต์รวมจะมีค่าเท่ากับจำนวนผู้ใช้ไฟหลัง

อุปกรณ์ป้องกัน i ในพื้นที่เมือง ($N_{i,city}$) ดังนั้นดัชนีความเชื่อถือได้ $SAIFI$ และ $SAIDI$ สามารถคำนวณได้จากสมการ (18) และ (19) ตามลำดับ

$$SAIFI = \frac{\sum_{i=1}^{np} \lambda'_{s,i} (N_{1,i} + N_{2,i} + \dots + N_{\overline{n_{s,i}},i})}{N_{city}} = \frac{\sum_{i=1}^{np} \lambda'_{s,i} N_{i,city}}{N_{city}} \quad (18)$$

$$SAIDI = \frac{\sum_{i=1}^{np} \lambda'_{s,i} r'_{s,i} (N_{1,i} + N_{2,i} + \dots + N_{\overline{n_{s,i}},i})}{N_{city}} = \frac{\sum_{i=1}^{np} \lambda'_{s,i} r'_{s,i} N_{i,city}}{N_{city}} \quad (19)$$

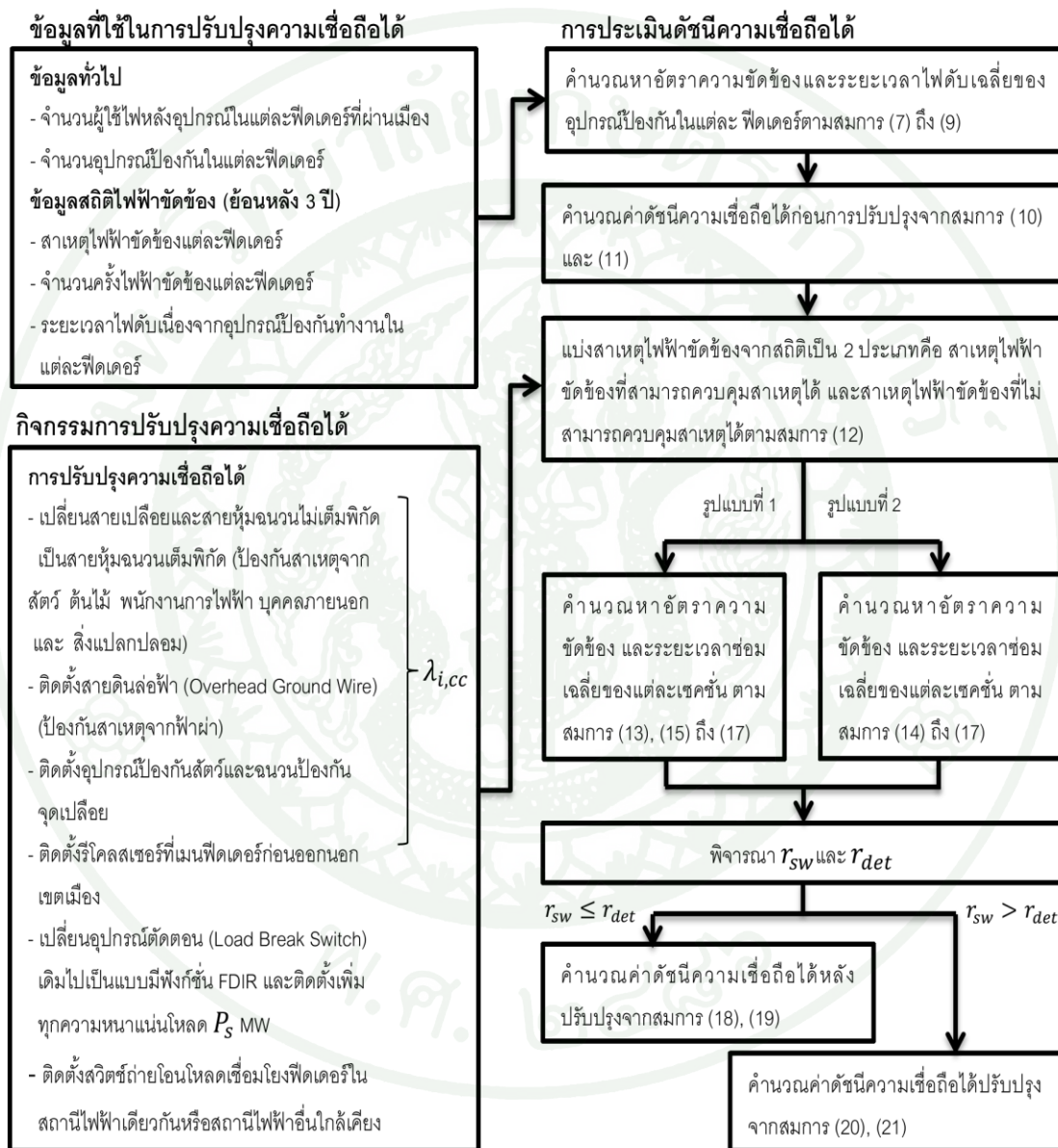
กรณีที่ 2 : เมื่อฟอลต์เกิดขึ้นในระบบทำให้อุปกรณ์ป้องกันทำงาน เซกชันฟอลต์จะสามารถรับไฟฟ้ากลับคืนได้ภายในระยะเวลา $r'_{s,i}$ นาที และเซกชันอื่นได้รับไฟฟ้ากลับคืนจากการถ่ายโอนโหลดภายในระยะเวลา r_{sw} ซึ่งมากกว่าระยะเวลาที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไม่นำมาคิดคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ $SAIFI$ และ $SAIDI$ ($r_{sw} > r_{det}$) ดังนั้นเมื่อเกิดฟอลต์ในเซกชันใดเซกชันหนึ่งจะทำให้ผู้ใช้ไฟได้รับผลกระทบจากไฟดับจำนวน $N_{i,city}$ รายต่อการเกิดฟอลต์หนึ่งครั้ง ซึ่งระบบมีจำนวนการเกิดฟอลต์ของทุกเซกชันรวม $\overline{n_{s,i}}$ ครั้ง แต่ทุกครั้งทำให้ผู้ใช้ไฟในเซกชันอื่นได้รับผลกระทบรวมทั้งสิ้น $\frac{N_{i,city}(\overline{n_{s,i}}-1)}{\overline{n_{s,i}}}$ ราย ซึ่งผู้ใช้ไฟดังกล่าวสามารถรับไฟฟ้ากลับคืนได้ภายในระยะเวลา r_{sw} นาที ดังนั้นดัชนีความเชื่อถือได้ $SAIFI$ และ $SAIDI$ สามารถคำนวณได้จากสมการ (20) และ (21) ตามลำดับ

$$\begin{aligned} SAIFI &= \frac{\sum_{i=1}^{np} \lambda'_{s,i} N_{i,city}}{N_{city}} + \frac{\sum_{i=1}^{np} \lambda'_{s,i} N_{i,city} (\overline{n_{s,i}}-1) \overline{n_{s,i}}}{N_{city} \overline{n_{s,i}}} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^{np} \lambda'_{s,i} N_{i,city} \overline{n_{s,i}}}{N_{city}} \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} SAIDI &= \frac{\sum_{i=1}^{np} \lambda'_{s,i} r'_{s,i} (N_{1,i} + N_{2,i} + \dots + N_{\overline{n_{s,i}},i})}{N_{city}} + \frac{\sum_{i=1}^{np} \lambda'_{s,i} r_{sw} N_{i,city} (\overline{n_{s,i}}-1) \overline{n_{s,i}}}{N_{city} \overline{n_{s,i}}} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^{np} \lambda'_{s,i} r'_{s,i} N_{i,city}}{N_{city}} + \frac{\sum_{i=1}^{np} \lambda'_{s,i} r_{sw} N_{i,city} (\overline{n_{s,i}}-1)}{N_{city}} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^{np} \lambda'_{s,i} N_{i,city} (r'_{s,i} + r_{sw} (\overline{n_{s,i}}-1))}{N_{city}} \end{aligned} \quad (21)$$

6. กระบวนการปรับปรุงความเชื่อถือได้

กระบวนการประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าเหนือดินในเมืองใหญ่ ในหัวข้อที่ 4 สามารถแสดงกระบวนการเป็นโฟลว์ชาร์ตตามภาพที่ 33



ภาพที่ 33 โฟลว์ชาร์ตกระบวนการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือดินในเมืองใหญ่

7. ตัวอย่างการประเมินความเชื่อถือได้

ผู้วิจัยเสนอตัวอย่างการปรับปรุงความเชื่อถือได้ที่ฟีดเดอร์มีรูปแบบเซกชันที่แตกต่างกัน คือ ฟีดเดอร์เมืองใหญ่ทางภาคเหนือ N_ID12 และฟีดเดอร์เมืองใหญ่ทางภาคใต้ S_ID06 ในฟีดเดอร์ดังกล่าวมีรูปแบบดังนี้

1. ฟีดเดอร์ N_ID12 มีรูปแบบเซกชัน 2 รูปแบบ คือ เซกชันของเบรกเกอร์และฟิวส์มีรูปแบบเซกชันครอบคลุมเฉพาะในพื้นที่เมือง (รูปแบบที่ 1) และเซกชันของรีโคสเซอร์มีรูปแบบเซกชันครอบคลุมพื้นที่ในเมืองและนอกเมือง (รูปแบบที่ 2)

2. ฟีดเดอร์ S_ID06 มีรูปแบบเซกชัน 2 รูปแบบ คือ เซกชันของเบรกเกอร์มีรูปแบบเซกชันครอบคลุมพื้นที่ในเมืองและนอกเมือง (รูปแบบที่ 2) และฟิวส์มีรูปแบบเซกชันครอบคลุมเฉพาะในพื้นที่เมือง (รูปแบบที่ 1)

2 ฟีดเดอร์ N_ID12 และ S_ID06 มีจำนวนผู้ใช้ไฟเท่ากับ 5,325 และ 5,959 รายตามลำดับ ในการปรับปรุงความเชื่อถือได้ของฟีดเดอร์ดังกล่าว กำหนดให้มีการเปลี่ยนสายเปลือยและสายหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัดเป็นสายหุ้มฉนวนเต็มพิกัด การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันสัตว์ที่จุดเปลือยต่างๆ และการติดตั้งสายดินล่อฟ้า สามารถลดไฟดับจากสาเหตุที่ควบคุมได้ 100% นอกจากนี้ทำการติดตั้งสวิตช์ตัดตอน (FDIR) เพื่อแบ่งโหลดในแต่ละเซกชัน (P_S) ให้ใกล้เคียง 1 MW ในวิทยานิพนธ์นี้ กำหนดให้แต่ละฟีดเดอร์จ่ายโหลดได้ (P_{feeder}) ไม่เกิน 6 MW กำหนดให้โอกาสอุปกรณ์ทำงานสำเร็จ 100% ไม่มีข้อจำกัดในการถ่ายโอนโหลด ระยะเวลาไฟดับที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคนำมาคำนวณดัชนีความเชื่อถือได้ (r_{det}) ต้องมีค่ามากกว่า 1 นาทีขึ้นไป และระยะเวลาจ่ายไฟกลับคืนสู่ผู้ใช้ไฟในเซกชันอื่นที่ไม่เกิดฟอลต์ (r_{sw}) ภายใน 1 นาที เพื่อประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ตามกรณีที่ 1 และ 5 นาที เพื่อประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ตามกรณีที่ 2

1. ฟีดเดอร์ N_ID12 มีรายละเอียดฟีดเดอร์แสดงดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ข้อมูลฟีดเดอร์ N_ID12

อุปกรณ์	ปีที่	n_i (ตัว)	$O_{i,k}$ (ครั้ง)	$DT_{i,k}$ (นาที)	$\lambda_{i,cc}(\%)$ (ครั้ง/ปี)	$n_{s,i}$ (เซคชั่น)	$N_{i,city}$ (ราย)
เบรกเกอร์	1	1	0	0			
	2	1	1	34	100.00	1	5,117
	3	1	0	0			
รีโคลสเซอร์	1	1	1	11			
	2	1	2	10	66.67	4	4,917
	3	1	0	0			
ฟิวส์	1	2	2	155			
	2	2	3	160	50.00	1	657
	3	2	1	60			

จากสมการที่ 7 หา MTF ของเบรกเกอร์

$$MTF_{br} = \frac{(525,600 \times 1 - 0) + (525,600 \times 1 - 34) + (525,600 \times 1 - 0)}{0 + 1 + 0}$$

$$= 1,576,766 \text{ นาที/ปี}$$

ดังนั้น MTF ของเบรกเกอร์มีค่าเท่ากับ 1,576,766 นาที/ปี

จากสมการที่ 7 หา MTF ของรีโคลสเซอร์

$$MTF_{re} = \frac{(525,600 \times 1 - 11) + (525,600 \times 1 - 10) + (525,600 \times 1 - 0)}{1 + 2 + 0}$$

$$= 525,593 \text{ นาที/ปี}$$

ดังนั้น MTTF ของรีโกลสเซอร์มีค่าเท่ากับ 525,593 นาที/ปี

จากสมการที่ 7 หา MTTF ของฟิวส์

$$MTTF_{fuse} = \frac{(525,600 \times 2 - 155) + (525,600 \times 2 - 160) + (525,600 \times 2 - 60)}{2 + 3 + 1}$$

$$= 525,538 \text{ นาที/ปี}$$

ดังนั้น MTTF ของฟิวส์มีค่าเท่ากับ 525,538 นาที/ปี

ดังนั้นอัตราความขัดข้องของเบรกเกอร์จากสมการที่ 8

$$\lambda_{br} = \frac{525,600}{1,576,766} = 0.33 \text{ ครั้ง/ปี}$$

อัตราความขัดข้องของรีโกลสเซอร์จากสมการที่ 8

$$\lambda_{re} = \frac{525,600}{525,593} = 1.00 \text{ ครั้ง/ปี}$$

อัตราความขัดข้องของฟิวส์จากสมการที่ 8

$$\lambda_{fuse} = \frac{525,600}{525,538} = 1.00 \text{ ครั้ง/ปี}$$

ระยะเวลาไฟดับเฉลี่ยของเบรกเกอร์จากสมการที่ 9

$$r_{br} = \frac{0 + 34 + 0}{0 + 1 + 0} = 34.00 \text{ นาที}$$

ระยะเวลาไฟดับเฉลี่ยของรีโกลสเซอร์จากสมการที่ 9

$$r_{re} = \frac{11 + 10 + 0}{1 + 2 + 0} = 7.00 \text{ นาที}$$

ระยะเวลาไฟดับเฉลี่ยของฟิวส์ตามจากสมการที่ 9

$$r_{fuse} = \frac{155 + 160 + 60}{2 + 3 + 1} = 62.50 \text{ นาที}$$

อัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมสาเหตุได้ และไม่สามารถควบคุมสาเหตุนั้นได้ของเบรกเกอร์จากสมการที่ 12

$$\lambda_{br,cc} = 100\% \times 0.33 = 0.33 \text{ ครั้ง/ปี}$$

$$\lambda_{br,uc} = 0\% \times 0.67 = 0 \text{ ครั้ง/ปี}$$

คำนวณหาอัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมสาเหตุได้ และไม่สามารถควบคุมสาเหตุนั้นได้จากรีโกลสเซอร์จากสมการที่ 12

$$\lambda_{re,cc} = 66.67\% \times 1.00 = 0.67 \text{ ครั้ง/ปี}$$

$$\lambda_{re,uc} = 33.33\% \times 1.00 = 0.33 \text{ ครั้ง/ปี}$$

คำนวณหาอัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมสาเหตุได้ และไม่สามารถควบคุมสาเหตุนั้นได้จากฟิวส์จากสมการที่ 12

$$\lambda_{fuse,cc} = 50.00\% \times 1.00 = 0.50 \text{ ครั้ง/ปี}$$

$$\lambda_{fuse,uc} = 50.00\% \times 1.00 = 0.50 \text{ ครั้ง/ปี}$$

การปรับปรุงความเชื่อถือได้จากการเปลี่ยนสาย กำหนดให้การเปลี่ยนสายเปลือยและสายหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัดเป็นสายหุ้มฉนวนเต็มพิกัด ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันสัตว์ และฉนวนป้องกันจุดเปลือย

สามารถลดสาเหตุที่ควบคุมได้ 100% ซึ่งอุปกรณ์ป้องกันเบรกเกอร์และฟิวส์มีรูปแบบเซกชันรูปแบบที่ 1 ดังนั้นอัตราความขัดข้องของเบรกเกอร์และฟิวส์จากสมการที่ 13

$$\lambda'_{br} = (0 \times 0.33 + 0) = 0 \text{ ครั้ง/ปี}$$

$$\lambda'_{fuse} = (0 \times 0.50 + 0.50) = 0.50 \text{ ครั้ง/ปี}$$

อุปกรณ์ป้องกันรีโคลสเซอร์มีรูปแบบเซกชันรูปแบบที่ 2 ดังนั้นอัตราความขัดข้องของรีโคลสเซอร์สมการที่ 14

$$\lambda'_{recloser} = \frac{4,917}{5,025} (0 \times 0.67 + 0.33) = 0.32 \text{ ครั้ง/ปี}$$

การแบ่งเซกชันพร้อมเปิดฟังก์ชัน FDIR ที่ LBS เราสามารถหาจำนวนเซกชันในไลน์เมนหลังอุปกรณ์ป้องกันที่แนะนำให้ปรับปรุงได้ โดยผู้วิจัยได้ใช้การแบ่งเซกชันหลังอุปกรณ์ป้องกันเท่ากับ 1 MW และโหลดในฟีดเคอร์มีทั้งสิ้น 6 MW ดังนั้น

จำนวนเซกชันหลังเบรกเกอร์ตามสมการที่ 15

$$n'_{s,br} = \text{roundup} \left(\frac{300}{5225} \times \frac{6 \text{ MW}}{1 \text{ MW/เซกชัน}} \right) = 1 \text{ เซกชัน}$$

ฟิวส์ไม่มีการแบ่งเซกชันเนื่องจากเป็นไลน์แยกที่มีผู้ใช้ไฟในพื้นที่ในเมืองเท่านั้น

จำนวนเซกชันหลังรีโคลสเซอร์ตามสมการที่ 15

$$n'_{s,re} = \text{roundup} \left(\frac{4917}{5225} \times \frac{6 \text{ MW}}{1 \text{ MW/เซกชัน}} \right) = 6 \text{ เซกชัน}$$

อัตราความขัดข้องในแต่ละเซกชันในโซนของเบรกเกอร์ตามสมการที่ 16

$$\overline{n_{s,i}} = \max(1,1) = 1 \text{ เซกชัน}$$

$$\lambda'_{s,br} = \frac{0}{1} = 0 \text{ ครั้ง/ปี}$$

อัตราการความขัดข้องในแต่ละเซกชั่นในโซนของรีโคลสเซอร์ตามสมการที่ 16

$$\overline{n_{s,i}} = \max(4,6) = 6 \text{ เซกชั่น}$$

$$\lambda'_{s,re} = \frac{0.32}{6} = 0.05 \text{ ครั้ง/ปี}$$

อัตราการความขัดข้องในแต่ละเซกชั่นในโซนของฟิวส์ตามสมการที่ 16

$$\overline{n_{s,i}} = 1 \text{ เซกชั่น}$$

$$\lambda'_{s,fuse} = \frac{0.50}{1} = 0.50 \text{ ครั้ง/ปี}$$

ระยะเวลาซ่อมเฉลี่ยในแต่ละเซกชั่นหลังเบรกเกอร์ตามสมการที่ 17

$$r'_{s,br} = 62.50 \text{ นาที}$$

ระยะเวลาซ่อมเฉลี่ยในแต่ละเซกชั่นหลังรีโคลสเซอร์ตามสมการที่ 17

$$r'_{s,re} = 62.50 \text{ นาที}$$

ระยะเวลาซ่อมเฉลี่ยของฟิวส์ตามสมการที่ 17

$$r'_{s,fuse} = 62.50 \text{ นาที}$$

ดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI และ SAIDI ก่อนการปรับปรุงดังกล่าวข้างต้นของฟีดเดอร์ในเมืองจะคำนวณตามสมการที่ 10 และสมการที่ 11 ตามลำดับ

$$SAIFI_{city} = \frac{(0.33 \times 5,117) + (1.00 \times 4917) + (1.00 \times 657)}{5117}$$

$$SAIFI_{city} = 1.48 \text{ ครั้ง/ราย/ปี}$$

$$SAIDI_{city} = \frac{(0.33 \times 62.50 \times 5,117) + (1.00 \times 62.50 \times 4917) + (1.17 \times 55.00 \times 657)}{5217}$$

$$SAIDI_{city} = 98.93 \text{ นาที/ราย/ปี}$$

ดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI และ SAIDI หลังการปรับปรุงในกรณีที่ 1 ของฟีดเดอร์ N_ID12 จะคำนวณตามสมการที่ 18 และสมการที่ 19 ตามลำดับ

$$SAIFI'_{city} = \frac{(0 \times 5,117) + (0.05 \times 4917) + (0.50 \times 657)}{5217}$$

$$SAIFI'_{city} = 0.11 \text{ ครั้ง/ราย/ปี}$$

$$SAIDI'_{city} = \frac{(0 \times 62.50 \times 5,117) + (0.05 \times 62.50 \times 4917) + (0.33 \times 62.50 \times 657)}{5217}$$

$$SAIDI'_{city} = 7.15 \text{ นาที/ราย/ปี}$$

ดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI และ SAIDI หลังการปรับปรุงในกรณีที่ 2 ของฟีดเดอร์ N_ID12 จะคำนวณตามสมการที่ 20 และสมการที่ 21 ตามลำดับ

$$SAIFI'_{city} = \frac{(0 \times 5,117 \times 1) + (0.05 \times 4917 \times 6) + (0.50 \times 657 \times 1)}{5217}$$

$$SAIFI'_{city} = 0.34 \text{ ครั้ง/ราย/ปี}$$

$$SAIDI'_{city} = \frac{(0 \times 62.50 \times 5,117) + (0.05 \times 62.50 \times 4917) + (0.33 \times 62.50 \times 657) + (0 \times 5 \times 5,117)(6 - 1) + (0.05 \times 5 \times 4917)(5 - 1) + (0.33 \times 5 \times 657)(1 - 1)}{5217}$$

$$SAIDI'_{city} = 8.40 \text{ นาที/ราย/ปี}$$

1. ฟิวส์ S_ID06 มีรายละเอียดฟิวส์แสดงดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ข้อมูลฟิวส์ S_ID06

อุปกรณ์	ปีที่	n_i (ตัว)	$O_{i,k}$ (ครั้ง)	$DT_{i,k}$ (นาที)	$\lambda_{i,cc}$ (%) (ครั้ง/ปี)	$n_{s,i}$ (เซกชั่น)	$N_{i,city}$ (ราย)
เบรกเกอร์	1	1	0	0			
	2	1	1	9	33.33	3	4,199
	3	1	2	20			
รีโคสเซอร์	1	1	-	-			
	2	1	-	-	-	-	-
	3	1	-	-			
ฟิวส์	1	13	8	190			
	2	13	5	377	83.33	1	1,628
	3	5	8	294			

จากสมการที่ 7 หา MTF ของเบรกเกอร์

$$\begin{aligned}
 MTF_{br} &= \frac{(525600 \times 1 - 0) + (525600 \times 1 - 9) + (525600 \times 1 - 20)}{0 + 1 + 2} \\
 &= 525,590 \text{ นาที/ปี}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น MTF ของเบรกเกอร์มีค่าเท่ากับ 525,590 นาที/ปี จากสมการที่ 7 หา MTF ของฟิวส์

$$MTF_{fuse} = \frac{(525600 \times 13 - 377) + (525600 \times 13 - 190) + (525600 \times 5 - 294)}{8 + 5 + 5}$$

$$= 905,152 \text{ นาที/ปี}$$

ดังนั้น MTTF ของฟิวส์มีค่าเท่ากับ 905,152 นาที/ปี

ดังนั้นอัตราความขัดข้องของเบรกเกอร์จากสมการที่ 8

$$\lambda_{br} = \frac{525,600}{525,590} = 1.00 \text{ ครั้ง/ปี}$$

อัตราความขัดข้องของฟิวส์จากสมการที่ 8

$$\lambda_{fuse} = \frac{525,600}{905,152} = 0.58 \text{ ครั้ง/ปี}$$

ระยะเวลาไฟดับเฉลี่ยของเบรกเกอร์จากสมการที่ 9

$$r_{br} = \frac{0 + 9 + 20}{0 + 1 + 2} = 9.67 \text{ นาที}$$

ระยะเวลาไฟดับเฉลี่ยของฟิวส์ตามจากสมการที่ 9

$$r_{fuse} = \frac{377 + 190 + 294}{8 + 5 + 5} = 47.83 \text{ นาที}$$

อัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมสาเหตุได้ และไม่สามารถควบคุมสาเหตุนั้นได้ของเบรกเกอร์จากสมการที่ 12

$$\lambda_{br,cc} = 33.33\% \times 1.00 = 0.33 \text{ ครั้ง/ปี}$$

$$\lambda_{br,uc} = 66.67\% \times 1.00 = 0.67 \text{ ครั้ง/ปี}$$

คำนวณหาอัตราความขัดข้องของอุปกรณ์ที่สามารถควบคุมสาเหตุได้ และไม่สามารถควบคุมสาเหตุ
นั้นได้จากฟิวส์จากสมการที่ 12

$$\lambda_{fuse,cc} = 83.33\% \times 0.58 = 0.48 \text{ ครั้ง/ปี}$$

$$\lambda_{fuse,uc} = 16.67\% \times 0.58 = 0.10 \text{ ครั้ง/ปี}$$

การปรับปรุงความเชื่อถือได้จากการเปลี่ยนสาย โดยกำหนดให้การเปลี่ยนสายเปลือยและสายหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัดเป็นสายหุ้มฉนวนเต็มพิกัด และติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันสัตว์และฉนวนป้องกันจุดเปลือย สามารถลดสาเหตุที่ควบคุมได้ 100% อุปกรณ์ป้องกันเบรกเกอร์มีรูปแบบเซกชันรูปแบบที่ 2 ดังนั้นอัตราความขัดข้องของเบรกเกอร์จากสมการที่ 14

$$\lambda'_{br} = \frac{4199}{5959} (0 \times 0.33 + 0.67) = 0.47 \text{ ครั้ง/ปี}$$

อุปกรณ์ป้องกันไฟลัมีรูปแบบเซกชันรูปแบบที่ 1 ดังนั้นอัตราความขัดข้องของไฟลัจากสมการที่ 13

$$\lambda'_{fuse} = (0 \times 0.48 + 0.10) = 0.10 \text{ ครั้ง/ปี}$$

การแบ่งเซกชันพร้อมเปิดฟังก์ชัน FDIR ที่ LBS สามารถหาจำนวนเซกชันในไลน์เมนหลังอุปกรณ์ป้องกัน โดยผู้วิจัยได้ใช้การแบ่งเซกชันหลังอุปกรณ์ป้องกันเท่ากับ 1 MW และ โหลดในฟีดเดอร์มีทั้งสิ้น 6 MW ดังนั้น

จำนวนเซกชันหลังเบรกเกอร์ตามสมการที่ 15

$$n'_{s,br} = \text{roundup} \left(\frac{4199}{5959} \times \frac{6 \text{ MW}}{1 \text{ MW/เซกชัน}} \right) = 5 \text{ เซกชัน}$$

ไฟลัไม่มีการแบ่งเซกชันเนื่องจากเป็นไลน์แยกที่มีผู้ใช้ไฟในพื้นที่ในเมืองเท่านั้น

อัตราความขัดข้องในแต่ละเซกชันในโซนของเบรกเกอร์ตามสมการที่ 16

$$\overline{n_{s,i}} = \max(3,5) = 5 \text{ เซกชัน}$$

$$\lambda'_{s,br} = \frac{0.47}{5} = 0.09 \text{ ครั้ง/ปี}$$

อัตราความขัดข้องในแต่ละเซกชั่นในโซนของฟิวส์ตามสมการที่ 16

$$\overline{n_{s,i}} = 1 \text{ เซกชั่น}$$

$$\lambda'_{s,fuse} = \frac{0.10}{1} = 0.10 \text{ ครั้ง/ปี}$$

ระยะเวลาซ่อมเฉลี่ยในแต่ละเซกชั่นหลังเบรกเกอร์ตามสมการที่ 17

$$r'_{s,br} = 47.83 \text{ นาที}$$

ระยะเวลาซ่อมเฉลี่ยของฟิวส์ตามสมการที่ 17

$$r'_{s,fuse} = 47.83 \text{ นาที}$$

ดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI และ SAIDI ก่อนการปรับปรุงดังกล่าวข้างต้นของฟีดเดอร์ในเมืองจะคำนวณตามสมการที่ 10 และสมการที่ 11 ตามลำดับ

$$SAIFI_{City} = \frac{(1.00 \times 4,199) + (0.58 \times 1,628)}{4,199}$$

$$SAIFI_{City} = 1.22 \text{ ครั้ง/ราย/ปี}$$

$$SAIDI_{City} = \frac{(1.00 \times 47.83 \times 4,199) + (0.58 \times 47.83 \times 1,628)}{4,199}$$

$$SAIDI_{City} = 58.60 \text{ นาที/ราย/ปี}$$

ดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI และ SAIDI หลังการปรับปรุงในกรณีที่ 1 ของฟีดเดอร์ S_ID06 จะคำนวณตามสมการที่ 18 และสมการที่ 19 ตามลำดับ

$$SAIFI'_{city} = \frac{(0.09 \times 4,199) + (0.10 \times 1,628)}{4,199}$$

$$SAIFI'_{city} = 0.13 \text{ ครั้ง/ราย/ปี}$$

$$SAIDI'_{city} = \frac{(0.09 \times 47.83 \times 4,199) + (0.10 \times 47.83 \times 1,628)}{4,199}$$

$$SAIDI'_{city} = 6.29 \text{ นาที/ราย/ปี}$$

ดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI และ SAIDI หลังการปรับปรุงในกรณีที่ 2 ของฟีดเดอร์ S_ID06 จะคำนวณตามสมการที่ 20 และสมการที่ 21 ตามลำดับ

$$SAIFI'_{city} = \frac{(0.09 \times 4,199 \times 5) + (0.10 \times 1,628 \times 1)}{4,199}$$

$$SAIFI'_{city} = 0.50 \text{ ครั้ง/ราย/ปี}$$

$$SAIDI'_{city} = \frac{(0.09 \times 47.83 \times 4,199) + (0.10 \times 47.83 \times 1,628) + (0.09 \times 5 \times 4,199)(5 - 1) + (0.10 \times 5 \times 1,628)(1 - 1)}{4,199}$$

$$SAIDI'_{city} = 8.16 \text{ นาที/ราย/ปี}$$

ผลลัพธ์จากการประเมินความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือนดินในเมืองใหญ่ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงโดยใช้แนวคิด และหลักการข้างต้นทั้ง 2 ฟีดเดอร์ที่แตกต่างกันจะเห็นว่าดัชนีความเชื่อถือได้ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงของ 2 กรณีแสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงในฟีดเดอร์ N_ID12 และ S_ID06

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

ผลและวิจารณ์

ผล

การปรับปรุงและประเมินความเชื่อถือได้จากแนวคิดข้างต้นนำมาประยุกต์ใช้เพื่อหาดัชนีความเชื่อถือได้ในเมืองใหญ่ทั้ง 4 เมืองของประเทศไทย ได้แก่เมืองใหญ่ทางภาคเหนือ (N_City) ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (NE_City) ภาคตะวันออก (E_City) และภาคใต้ (S_City) ซึ่งในแต่ละเมืองมีข้อมูลภาพรวมของแต่ละเมืองแสดงดังตารางที่ 18 และประวัติการเกิดไฟฟ้าขัดข้องในปี 2553-2555 จากสาเหตุ 12 สาเหตุดังตารางที่ 7 ถึง 10 ข้อมูลฟีดเดอร์ที่ผ่านตัวในเขตเมืองใหญ่ และพารามิเตอร์ที่ได้จากการคำนวณดังกล่าวแสดงดังภาคผนวก ก และภาคผนวก ข ตามลำดับ

ตารางที่ 15 ข้อมูลทั่วไป 4 เมืองใหญ่

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

เมื่อนำกระบวนการปรับปรุงและประเมินความเชื่อถือได้มาประยุกต์ใช้ในฟีดเดอร์ของเมืองใหญ่ 4 เมืองดังกล่าว ตารางที่ 19 แสดงผลลัพธ์ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ทั้ง 4 เมืองใหญ่

ตารางที่ 16 ผลลัพธ์ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ทั้ง 4 เมืองใหญ่

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

ผลลัพธ์จากประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ในเมืองใหญ่ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงของ 2 กรณีดังกล่าว โดยใช้วิธีการ และกระบวนการปรับปรุงความเชื่อถือได้ข้างต้น จะเห็นได้ว่าดัชนีความเชื่อถือได้ในเมืองใหญ่ 4 เมือง มีค่าที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด

วิจารณ์

การปรับปรุงและประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือดินในเมืองใหญ่ 4 เมืองดังกล่าว เป็นกระบวนการและเป็นขั้นตอน ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และง่ายต่อการคำนวณ เพื่อประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง เนื่องจากข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยเป็นข้อมูลที่มีการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ทำการเก็บบันทึกเป็นสถิติประจำวันไว้อยู่แล้ว ดังนั้นสามารถนำข้อมูลนี้มาใช้ในการประเมินได้ทุกเวลา และกระบวนการปรับปรุงและวิเคราะห์ดังกล่าวนี้สามารถนำไปใช้ในเมืองใหญ่เมืองอื่นและพื้นที่อื่นได้ เมื่อพิจารณาสาเหตุที่ทำให้ไฟฟ้าขัดข้องในเมืองใหญ่ 4 เมืองดังกล่าวแล้ว จะเห็นได้ว่าโดยเฉลี่ยแล้วสาเหตุที่สามารถควบคุมได้มีมากกว่าร้อยละ 60 ดังนั้นการปรับปรุงความเชื่อถือได้จากการเปลี่ยนสายเปลือยและสายหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัดเป็นสายหุ้มฉนวนเต็มพิกัด การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันสัตว์ และฉนวนป้องกันจุดเปลือย สามารถลดสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องจากต้นไม้ พนักงานกฟภ. บุคคลภายนอก สัตว์ และสิ่งแปลกปลอมได้ การติดตั้งสายดินล่อฟ้า (Overhead Ground Wire) สามารถลดสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องจากลิ่งแควดล้อม (ฟ้าผ่า) ติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันสัตว์และฉนวนป้องกันจุดเปลือยสามารถลดสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องจากสัตว์ และต้นไม้ อีกทั้งการติดตั้งรีโกลสเซอร์ก่อนออกนอกเขตเมืองเพื่อไม่ให้ผู้ใช้ไฟในเมืองได้รับผลกระทบเมื่อเกิดเหตุไฟฟ้าขัดข้องจากพื้นที่อื่นนอกเขตเมืองใหญ่ และการแบ่งเซกชันของอุปกรณ์พร้อมเปิดฟังก์ชัน FDIR เพื่อแยกเซกชันของอุปกรณ์ในพื้นที่เกิดฟอลต์ออก และระยะเวลาจ่ายไฟกลับคืนสู่เซกชันอื่นไม่เกิน 1 นาที ซึ่งเป็นระยะเวลาที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไม่นำมาคิดดัชนีความเชื่อถือได้ ทำให้ดัชนีความเชื่อถือได้มีค่าที่ลดลงไปมาก (กรณีที่ 1) และ 5 นาที ทำให้ดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI และ SAIDI ลดลงเป็นอย่างมากเช่นกันด้วย (กรณีที่ 2)

ผลลัพธ์จากการประเมินค่าดัชนีความเชื่อถือได้ใน 4 เมืองใหญ่ คือ เมืองใหญ่ทางภาคเหนือ (N_City) เมืองใหญ่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (NE_City) เมืองใหญ่ทางภาคตะวันออก (E_City) และเมืองใหญ่ทางภาคใต้ (S_City) ของประเทศไทย จะเห็นได้ว่าค่าดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI ก่อนปรับปรุงทั้ง 4 เมืองมีค่าเท่ากับ 0.94, 3.82, 1.77 และ 1.59 ครั้งต่อรายต่อปี ตามลำดับ และ SAIDI มีค่าเท่ากับ 50.22, 188.36, 5.64 และ 10.84 นาทีต่อรายต่อปี ตามลำดับ เมื่อทำการปรับปรุงโดยกระบวนการดังกล่าวแล้ว ทำให้ดัชนีความเชื่อถือได้หลังปรับปรุงในกรณีที่ 1 SAIFI มีค่าเท่ากับ 0.08, 0.31, 0.18 และ 0.17 ครั้งต่อรายต่อปี ตามลำดับ และ SAIDI มีค่าเท่ากับ 3.89, 15.48, 5.64 และ 13.65 นาทีต่อรายต่อปี ตามลำดับ และดัชนีความเชื่อถือได้หลังปรับปรุงในกรณีที่ 2 SAIFI มีค่าเท่ากับ 0.30, 1.42, 0.97 และ 0.74 ครั้งต่อรายต่อปี ตามลำดับ และ SAIDI มีค่าเท่ากับ

5.04, 21.03, 9.59 และ 13.65 นาทีต่อรายต่อปี ตามลำดับ จากผลลัพธ์จากการปรับปรุงทุกเมืองจะเห็นได้ว่าดัชนีความเชื่อถือได้ SAIFI และ SAIDI มีค่าลดลงไม่ถึงศูนย์เนื่องจากสาเหตุที่ทำให้เกิดไฟฟ้าขัดข้องที่ไม่สามารถควบคุมได้ส่วนใหญ่เป็นสาเหตุที่มาจากอุปกรณ์ชำรุด จึงทำให้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้หลังปรับปรุงมีค่าลดลงไม่ถึงศูนย์ ดังนั้นการจัดซื้ออุปกรณ์ควรมีการใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพ และพนักงานกฟภ. ควรมีการบำรุงรักษาที่ถูกต้องเพื่อลดสาเหตุดังกล่าวนี้ และการปรับปรุงดังกล่าวนี้ได้มีระยะเวลาในการสวิตช์ของอุปกรณ์ตัดตอนเพื่อแยกเซกชันฟอลต์ออก ทำให้ผู้ใช้ไฟในเซกชันอื่นยังได้รับผลกระทบจากไฟฟ้าขัดข้องอยู่ แต่เป็นเพียงไฟดับชั่วคราว ซึ่งทำให้ดัชนีความเชื่อถือได้ MAIFI (Momentary Average Interruption Frequency Index) ยังมีค่าไม่เป็นศูนย์ และยังเกิดความสูญเสียทางเศรษฐกิจจากไฟดับชั่วคราวนั้นด้วย และผลลัพธ์ดังกล่าวได้อยู่บนสมมติฐานทางทฤษฎีเท่านั้น ซึ่งวิธีการเพื่อนำไปสู่ผลลัพธ์ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ดังกล่าว อาจจะไม่ถูกต้องในความเป็นจริงมากนัก

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผู้วิจัยได้เสนอแนวคิด และกระบวนการปรับปรุงและประเมินความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือนดินในเมืองใหญ่ ซึ่งมีกิจกรรมการปรับปรุงโดยการเปลี่ยนสายเปลือยและสายหุ้มฉนวนไม่เต็มพิกัด (AAC, ACSR, PIC) เป็นสายหุ้มฉนวนเต็มพิกัด (SAC) ทำให้ลดสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องจากต้นไม้ พนักงานกฟภ. บุคคลภายนอก สัตว์ การติดตั้งสายดินล่อฟ้า (Overhead Ground Wire) ทำให้ลดสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องจากสิ่งแวดล้อม (ฟ้าผ่า) การติดตั้งอุปกรณ์ป้องกันสัตว์และฉนวนป้องกันจุดเปลือย ทำให้ลดสาเหตุไฟฟ้าขัดข้องจากสัตว์ และต้นไม้ และการแบ่งเซกชันของอุปกรณ์พร้อมมีฟังก์ชันแยกเซกชันฟอลต์ตัด โนมดี FDIR ทำให้สามารถจำกัดจำนวนผู้ใช้ไฟที่ได้รับผลกระทบจากไฟฟ้าขัดข้อง และติดตั้งสวิตช์ถ่ายโอนโหลดเชื่อมโยงฟีดเดอร์อื่นในสถานีไฟฟ้าเดียวกันหรือสถานีไฟฟ้าอื่นใกล้เคียง ซึ่งมีระยะเวลาจ่ายไฟกลับคืนสู่ระบบ 1 นาที และ 5 นาที (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคไม่นำมาคิดดัชนีความเชื่อถือได้) เพื่อให้ผู้ใช้ไฟในเซกชันอื่นได้รับผลกระทบไฟฟ้าขัดข้องน้อยที่สุด ทำให้ดัชนีความเชื่อถือได้มีค่าดีขึ้น

พิจารณาผลลัพธ์จากการประเมินดัชนีความเชื่อถือได้ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงเมืองใหญ่ตัวอย่างทั้ง 4 เมืองได้แก่ เมืองใหญ่ทางภาคเหนือ (N_City) เมืองใหญ่ทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ (NE_City) เมืองใหญ่ทางภาคตะวันออก (E_City) และเมืองใหญ่ทางภาคใต้ (S_City) ของประเทศไทย จะเห็นได้ว่าค่าดัชนี SAIFI ก่อนปรับปรุงมีค่าเท่ากับ 0.94, 3.82, 1.77 และ 1.59 ครั้งต่อรายต่อปี ตามลำดับ และ SAIDI มีค่าเท่ากับ 50.22, 188.36, 5.64 และ 10.84 นาทีต่อรายต่อปี ตามลำดับ และดัชนีความเชื่อถือได้หลังปรับปรุงในกรณีที่ 1 SAIFI มีค่าเท่ากับ 0.08, 0.31, 0.18 และ 0.17 ครั้งต่อรายต่อปี ตามลำดับ และ SAIDI มีค่าเท่ากับ 3.89, 15.48, 5.64 และ 13.65 นาทีต่อรายต่อปี ตามลำดับ และดัชนีความเชื่อถือได้หลังปรับปรุงในกรณีที่ 2 SAIFI มีค่าเท่ากับ 0.30, 1.42, 0.97 และ 0.74 ครั้งต่อรายต่อปี ตามลำดับ และ SAIDI มีค่าเท่ากับ 5.04, 21.03, 9.59 และ 13.65 นาทีต่อรายต่อปี ผลลัพธ์ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงทั้ง 2 กรณีดังกล่าวสามารถเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ค่าดัชนีความเชื่อถือได้มีค่าที่ลดลงเป็นอย่างมาก กล่าวได้ว่าจากแนวคิด และกระบวนการปรับปรุงความเชื่อถือได้ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแบบเหนือนดินดังกล่าว ทำให้ดัชนีความเชื่อถือได้มีค่าที่ลดลง หรือดัชนีความเชื่อถือได้ในเมืองใหญ่ดีขึ้น ส่งผลให้เมืองใหญ่

เกิดไฟฟ้าขัดข้องน้อยลง ทำให้ลดความสูญเสียทางเศรษฐกิจ และเพิ่มความน่าเชื่อถือด้านการลงทุนมากขึ้น

ข้อเสนอแนะ

การปรับปรุงความเชื่อถือได้ของระบบจำหน่ายเหนือดินในเมืองใหญ่โดยใช้หลักการประเมินดังกล่าว ต้องใช้ข้อมูลที่มีความละเอียดจากการบันทึกเหตุการณ์ไฟฟ้าขัดข้องสูง เช่น ระยะเวลาขอ ระยะเวลาซ่อมเฉลี่ย จำนวนอุปกรณ์ในระบบ ขนาดสายไฟ ความหนาแน่นโหลด และต้นตอสาเหตุที่ทำให้ไฟฟ้าขัดข้องที่ถูกต้อง เป็นต้น แต่ในฐานข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยนี้มีการบันทึกข้อมูลที่ไม่ละเอียดมากนัก ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า ข้อมูลดังกล่าวมีความแม่นยำและถูกต้องไม่มากนัก ทำให้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากการประเมินเช่น จำนวนครั้งเฉลี่ยที่อุปกรณ์ทำงาน ระยะเวลาไฟดับ และเวลาจ่ายไฟกลับคืนสู่ระบบมีความคลาดเคลื่อน ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์จากการคำนวณก่อนการปรับปรุงและหลังปรับปรุงมีค่าที่คลาดเคลื่อนตามไปด้วย ดังนั้นการจดบันทึกข้อมูลไฟฟ้าขัดข้องควรมีความถูกต้องที่แม่นยำ เพื่อให้ได้ค่าดัชนีความเชื่อถือได้ที่มีความแม่นยำสูง อีกทั้งในภาคหน้าสามารถทำให้ผู้สั่งการ และผู้ปฏิบัติงานสามารถแก้ปัญหาที่ทำให้เกิดไฟฟ้าขัดข้องได้ตรงจุดและรวดเร็วได้มากขึ้น และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคควรมีกิจกรรมเพื่อปรับปรุงความเชื่อถือได้อื่น นอกเหนือจากกระบวนการการปรับปรุงความเชื่อถือได้ข้างต้นเช่น การฉีดน้ำล้างลูกถ้วย การติดตั้งฉนวนป้องกันจุดเปลือย เป็นต้น เพื่อลดจำนวนไฟฟ้าขัดข้องได้มากขึ้น ทำให้ดัชนีความเชื่อถือได้มีค่าลดลงมากขึ้นไปอีก

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย. 2556. ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า. คำศัพท์พลังงาน.

แหล่งที่มา: <http://www.egat.co.th>, 1 มกราคม 2556.

โครงการพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลัง. 2555. การวิเคราะห์หาจุดอ่อนตัวของค่าดัชนีความเชื่อถือได้. โครงการวิจัยเพื่อศึกษาวิธีการที่เหมาะสมในการตั้งค่าเป้าหมายด้านความเชื่อถือได้ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ชำนาญ ห่อเกียรติ. 2549. ความเชื่อถือได้และการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า. บริษัท จรลสนิท วงศ์การพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพฯ.

แผนกผลิตสื่อสิ่งพิมพ์ ฝ่ายประชาสัมพันธ์ กองประชาสัมพันธ์. 2554. ระบบศูนย์สั่งการจ่ายไฟฟ้าอัตโนมัติ. วารสารสายใจไฟฟ้า ปีที่ 54 ฉบับที่ 10. สำนักงานการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, กรุงเทพฯ.

กองโครงการ. 2553. รายงานการศึกษาความเหมาะสมโครงการเพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า ระยะที่ 3. การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, กรุงเทพฯ.

พรชัย องค์วงศ์สกุล. 2554. ความรู้เบื้องต้นระบบป้องกันฟ้าผ่าสถานีไฟฟ้าแรงสูง. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. 2547. สายไฟฟ้า. งานติดตั้งไฟฟ้า.

แหล่งที่มา: <http://www.nkw.ac.th>, 1 พฤศจิกายน 2547.

หน่วยปฏิบัติการวิจัยพัฒนาการควบคุมและระบบอัตโนมัติทางอุตสาหกรรม. 2554. ระบบควบคุมการจ่ายไฟฟ้าอัตโนมัติ (Distribute Automation System: DAS). ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ, กรุงเทพฯ.

Chia,H.L., H.J. Chuang, C.S. Chen, C.S. Li and C.Y. Ho. 2009. Fault Detection Isolation and Restoration using a Multiagent-based Distribution Automation System, pp. 2528-2533. *In Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*. Newfoundland, Canada.

David,G.H., D. Uy, J.N. Green, C. Laplace and D. Novosel. 2000. Automated Solutions for Distribution Feeders. pp. 25-30. *In IEEE Computer Applications in Power vol. 13*. n.p., n.p.

Potomac Electric Power Company. 2010. **Comprehensive Reliability Plan For District of Columbia Including Distribution System Overview, Reliability Initiatives and Response to Public Service Commision of the District of Columbia**. A PHI Company, USA.

Vidyasagar, E. and P.V.N. Prasad. 2011. Reliability Assessment of Radial Feeder for Different Automation Intensity Levels, pp. 416-419. *In Recent Advances in Intelligent Computational Systems*. Trivandrum, India.



ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ข้อมูลการทำงานอุปกรณ์ป้องกันในแต่ละฟีดเดอร์ของ 4 เมือง

ตารางผนวกที่ ก1 ข้อมูลการทำงานของเบรกเกอร์ในปี 2553-2555 ในเขตเมืองใหญ่ N_City

ฟีดเดอร์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง)			ระยะเวลาไฟดับ (นาที)			จำนวนอุปกรณ์ (ตัว)		
	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555
N_ID01	0	0	1	0	0	1	1	1	1
N_ID02	1	1	0	26	32	0	1	1	1
N_ID03	1	0	0	17	0	0	1	1	1
N_ID04	0	1	1	0	21	22	1	1	1
N_ID05	0	1	1	0	38	19	1	1	1
N_ID06	1	0	1	28	0	20	1	1	1
N_ID07	0	4	1	0	39	24	1	1	1
N_ID08	2	3	0	42	54	0	1	1	1
N_ID09	0	2	0	0	39	0	1	1	1
N_ID10	0	0	0	0	0	0	1	1	1
N_ID11	1	1	1	7	16	11	1	1	1
N_ID12	0	1	0	0	34	0	1	1	1
N_ID13	0	0	3	0	0	53	1	1	1

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ฟีดเดอร์	สาเหตุไฟดับ		$N_{Br,city}$ (ราย)	N_{feeder} (ราย)
	ควบคุมได้	ควบคุมไม่ได้		
N_ID01	100.00%	0.00%	661	774
N_ID02	50.00%	50.00%	634	4320
N_ID03	100.00%	0.00%	963	1397
N_ID04	50.00%	50.00%	6360	7821
N_ID05	50.00%	50.00%	4421	5995
N_ID06	100.00%	0.00%	4308	5763
N_ID07	80.00%	20.00%	2935	9791
N_ID08	60.00%	40.00%	5057	5259
N_ID09	0.00%	100.00%	4533	4533
N_ID10	0.00	0.00	2603	3337
N_ID11	100.00%	0.00%	534	537
N_ID12	100.00%	0.00%	200	5225
N_ID13	33.33%	66.67%	312	11273

ตารางผนวกที่ ก2 ข้อมูลการทำงานของรีโคลสเซอร์ในปี 2553-2555 ในเขตเมืองใหญ่ N_City

ฟีดเดอร์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง)			ระยะเวลาไฟดับ (นาที)			จำนวนอุปกรณ์ (ตัว)		
	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555
N_ID12	1	2	0	11	10.00	0	1	1	1



ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

ฟีดเดอร์	สาเหตุไฟดับ		$N_{re,city}$ (ราย)	N_{feeder} (ราย)
	ควบคุมได้	ควบคุมไม่ได้		
N_ID12	66.67%	33.33%	4917	5225



ตารางผนวกที่ ก3 ข้อมูลการทำงานของฟิวส์ในปี 2553-2555 ในเขตเมืองใหญ่ N_City

ฟิวส์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง)			ระยะเวลาไฟดับ (นาท)			จำนวนอุปกรณ์ (ตัว)		
	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555
N_ID01	0	0	1	0	0	100	2	2	2
N_ID02	4	6	9	200	340	435	5	5	5
N_ID03	3	2	4	170	85	240	5	5	5
N_ID04	3	1	2	190	61	150	12	12	12
N_ID05	0	0	0	0	0	0	13	13	13
N_ID06	3	1	2	130	60	80	8	8	8
N_ID07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N_ID08	2	10	2	150	352	56	6	6	6
N_ID09	0	0	0	0	0	0	4	4	4
N_ID10	5	0	0	186	0	0	7	7	7
N_ID11	0	0	0	0	0	0	2	2	2
N_ID12	2	3	1	155	160	60	2	2	2
N_ID13	7	0	0	250	0	0	6	6	6

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ฟีดเดอร์	สาเหตุไฟดับ		N_{fuse} (ราย)
	ควบคุมได้	ควบคุมไม่ได้	
N_ID01	100.00%	0.00%	100.00%
N_ID02	94.74%	5.26%	94.74%
N_ID03	77.78%	22.22%	77.78%
N_ID04	100.00%	0.00%	100.00%
N_ID05	0.00%	0.00%	0.00%
N_ID06	100.00%	0.00%	100.00%
N_ID07	0.00%	0.00%	0.00%
N_ID08	64.29%	35.71%	64.29%
N_ID09	0.00%	0.00%	0.00%
N_ID10	100.00%	0.00%	100.00%
N_ID11	0.00%	0.00%	0.00%
N_ID12	50.00%	50.00%	50.00%
N_ID13	57.14%	42.86%	57.14%

ตารางผนวกที่ ก4 ข้อมูลการทำงานของเบรกเกอร์ในปี 2553-2555 ในเขตเมืองใหญ่ NE_City

ฟีดเดอร์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง)			ระยะเวลาไฟดับ (นาที)			จำนวนอุปกรณ์ (ตัว)		
	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555
NE_ID01	0	1	2	0	42	36	1	1	1
NE_ID02	0	1	0	0	55	0	1	1	1
NE_ID03	5	2	2	124	18	53	1	1	1
NE_ID04	2	1	0	50	35	0	1	1	1
NE_ID05	3	1	2	48	33	75	1	1	1
NE_ID06	0	2	1	0	81	15	1	1	1
NE_ID07	1	0	1	45	0	23	1	1	1
NE_ID08	1	3	2	6	69	41	1	1	1
NE_ID09	4	7	4	144	259	129	1	1	1
NE_ID10	4	9	4	94	252	136	1	1	1
NE_ID11	3	6	8	80	182	140	1	1	1
NE_ID12	0	1	2	0	26	27	1	1	1
NE_ID13	1	1	4	57	30	85	1	1	1
NE_ID14	2	6	2	38	219	50	1	1	1
NE_ID15	3	3	0	104	17	0	1	1	1
NE_ID16	0	2	2	0	40	24	1	1	1
NE_ID17	2	4	1	37	114	18	1	1	1
NE_ID18	4	11	6	92	337	193	1	1	1
NE_ID19	1	2	5	37	92	170	1	1	1
NE_ID20	0	2	2	0	80	71	1	1	1

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

ฟีดเดอร์	สาเหตุไฟดับ		$N_{Br,city}$ (ราย)	N_{feeder} (ราย)
	ควบคุมได้	ควบคุมไม่ได้		
NE_ID01	33.33%	66.67%	1029	1029
NE_ID02	0.00%	100.00%	1572	1572
NE_ID03	22.22%	77.78%	2035	4813
NE_ID04	33.33%	66.67%	798	798
NE_ID05	83.33%	16.67%	2903	3682
NE_ID06	0.00%	100.00%	11	20
NE_ID07	100.00%	0.00%	52	1256
NE_ID08	33.33%	66.67%	2151	2151
NE_ID09	73.33%	26.67%	24	5793
NE_ID10	64.71%	35.29%	397	7549
NE_ID11	52.94%	47.06%	8717	9337
NE_ID12	66.67%	33.33%	2009	2009
NE_ID13	50.00%	50.00%	960	960
NE_ID14	30.00%	70.00%	72	4152
NE_ID15	50.00%	50.00%	4087	4087
NE_ID16	100.00%	0.00%	2805	2805
NE_ID17	42.86%	57.14%	4428	7617
NE_ID18	33.33%	66.67%	5984	8274
NE_ID19	62.50%	37.50%	0	8805
NE_ID20	25.00%	75.00%	572	5509

ตารางผนวกที่ ๓๕ ข้อมูลการทำงานของรีโคลสเซอร์ในปี 2553-2555 ในเขตเมืองใหญ่ NE_City

ไฟคเคอร์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง)			ระยะเวลาไฟดับ (นาที)			จำนวนอุปกรณ์ (ตัว)		
	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555
NE_ID19	1	2	1	50	110	58	1	1	1



ตารางผนวกที่ ๕ (ต่อ)

ฟีดเดอร์	สาเหตุไฟดับ		$N_{re,city}$ (ราย)	N_{feeder} (ราย)
	ควบคุมได้	ควบคุมไม่ได้		
NE_ID19	100.00%	0.00%	2496	8805



ตารางผนวกที่ ก6 ข้อมูลการทำงานของฟิวส์ในปี 2553-2555 ในเขตเมืองใหญ่ E_City

ฟิวส์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง)			ระยะเวลาไฟดับ (นาที)			จำนวนอุปกรณ์ (ตัว)		
	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555
NE_ID01	1	2	1	50	110	60	2	2	2
NE_ID02	2	0	0	119	0	0	1	1	1
NE_ID03	3	5	5	140	325	263	3	3	3
NE_ID04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NE_ID05	2	1	1	120	35	95	1	1	1
NE_ID06	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NE_ID07	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NE_ID08	4	3	1	215	264	35	6	6	6
NE_ID09	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NE_ID10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NE_ID11	6	6	8	225	315	415	1	1	1
NE_ID12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NE_ID13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NE_ID14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NE_ID15	2	5	7	80	215	288	4	4	4
NE_ID16	1	0	0	30	0	0	1	1	1
NE_ID17	2	7	1	90	453	45	4	4	4
NE_ID18	12	1	0	545	73	0	1	1	1
NE_ID19	6	9	0	245	465	0	2	2	2
NE_ID20	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางผนวกที่ ก6 (ต่อ)

ฟิวเตอร์	สาเหตุไฟดับ		N_{fuse} (ราย)
	ควบคุมได้	ควบคุมไม่ได้	
NE_ID01	100.00%	0.00%	674
NE_ID02	50.00%	50.00%	1
NE_ID03	76.92%	23.08%	792
NE_ID04	0.00%	0.00%	0
NE_ID05	75.00%	25.00%	140
NE_ID06	0.00%	0.00%	0
NE_ID07	0.00%	0.00%	0
NE_ID08	87.50%	12.50%	854
NE_ID09	0.00%	0.00%	0
NE_ID10	0.00%	0.00%	0
NE_ID11	85.00%	15.00%	410
NE_ID12	0.00%	0.00%	0
NE_ID13	0.00%	0.00%	0
NE_ID14	0.00%	0.00%	0
NE_ID15	92.86%	7.14%	1416
NE_ID16	100.00%	0.00%	179
NE_ID17	70.00%	30.00%	444
NE_ID18	76.92%	23.08%	894
NE_ID19	80.00%	20.00%	1783
NE_ID20	0.00%	0.00%	0

ตารางผนวกที่ ก7 ข้อมูลการทำงานของเบรกเกอร์ในปี 2553-2555 ในเขตเมืองใหญ่ E_City

ฟีดเดอร์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง)			ระยะเวลาไฟดับ (นาท)			จำนวนอุปกรณ์ (ตัว)		
	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555
E_ID01	2	0	1	13	0	21	1	1	1
E_ID02	2	1	2	19	4	20	1	1	1
E_ID03	0	0	6	0	0	195	1	1	1
E_ID04	0	3	1	0	52	15	1	1	1
E_ID05	0	0	0	0	0	0	1	1	1
E_ID06	0	0	0	0	0	0	1	1	1
E_ID07	4	4	4	48	89	51	1	1	1
E_ID08	1	0	0	4	0	0	1	1	1
E_ID09	0	1	0	0	3	0	1	1	1
E_ID10	0	4	1	0	82	40	1	1	1
E_ID11	3	2	4	27	13	52	1	1	1
E_ID12	7	2	3	92	13	35	1	1	1
E_ID13	1	2	0	7	56	0	1	1	1
E_ID14	0	1	2	0	21	73	1	1	1
E_ID15	1	2	0	27	102	0	1	1	1
E_ID16	0	3	1	0	99	32	1	1	1
E_ID17	1	0	1	13	0	12	1	1	1
E_ID18	2	1	1	48	31	11	1	1	1
E_ID19	4	1	5	131	13	33	1	1	1
E_ID20	2	7	0	69	149	0	1	1	1
E_ID21	3	2	2	169	49	69	1	1	1
E_ID22	1	1	1	37	6	8	1	1	1
E_ID23	2	0	1	32	0	6	1	1	1
E_ID24	0	0	5	0	0	138	1	1	1
E_ID25	0	0	5	0	0	25	1	1	1

ตารางผนวกที่ ก7 (ต่อ)

ฟีดเดอร์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง)			ระยะเวลาไฟดับ (นาที)			จำนวนอุปกรณ์ (ตัว)		
	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555
E_ID26	1	0	1	11	0	17	1	1	1
E_ID27	2	0	0	53	0	0	1	1	1
E_ID28	5	0	0	116	0	0	1	1	1
E_ID29	3	0	1	59	0	28	1	1	1
E_ID30	0	0	5	0	0	114	1	1	1

ตารางผนวกที่ ก7 (ต่อ)

ฟีดเดอร์	สาเหตุไฟดับ		$N_{Br,city}$ (ราย)	N_{feeder} (ราย)
	ควบคุมได้	ควบคุมไม่ได้		
E_ID01	0.00%	100.00%	2092	2111
E_ID02	60.00%	40.00%	3138	3138
E_ID03	50.00%	50.00%	4375	6982
E_ID04	50.00%	50.00%	4899	4899
E_ID05	0.00%	0.00%	818	4024
E_ID06	0.00%	0.00%	157	5333
E_ID07	50.00%	50.00%	105	3618
E_ID08	100.00%	0.00%	865	3889
E_ID09	100.00%	0.00%	1894	1894
E_ID10	100.00%	0.00%	1348	1348
E_ID11	44.44%	55.56%	1054	1054
E_ID12	50.00%	50.00%	2532	2532
E_ID13	66.67%	33.33%	2220	2220
E_ID14	0.00%	100.00%	785	785
E_ID15	33.33%	66.67%	635	635
E_ID16	75.00%	25.00%	1144	1144
E_ID17	0.00%	100.00%	2256	2256
E_ID18	25.00%	75.00%	1453	1453
E_ID19	10.00%	90.00%	3759	3759
E_ID20	44.44%	55.56%	2459	2459
E_ID21	42.86%	57.14%	4218	4218
E_ID22	33.33%	66.67%	2486	2486
E_ID23	33.33%	66.67%	3182	3182
E_ID24	40.00%	60.00%	1536	1536
E_ID25	20.00%	80.00%	825	825

ตารางผนวกที่ ก7 (ต่อ)

ฟีดเดอร์	สาเหตุไฟดับ		$N_{Br,city}$ (ราย)	N_{feeder} (ราย)
	ควบคุมได้	ควบคุมไม่ได้		
E_ID26	50.00%	50.00%	481	481
E_ID27	50.00%	50.00%	196	196
E_ID28	40.00%	60.00%	3643	3643
E_ID29	50.00%	50.00%	548	548
E_ID30	40.00%	60.00%	4940	4940

ตารางผนวกที่ ก8 ข้อมูลการทำงานของฟิวส์ในปี 2553-2555 ในเขตเมืองใหญ่ E_City

ฟิวเตอร์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง)			ระยะเวลาไฟดับ (นาที)			จำนวนอุปกรณ์ (ตัว)		
	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555
E_ID01	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E_ID02	2	2	0	40	75	0	1	1	2
E_ID03	0	0	0	0	0	0	0	0	6
E_ID04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E_ID05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E_ID06	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E_ID07	4	1	0	85	30	0	5	5	1
E_ID08	0	1	0	0	40	0	0	0	3
E_ID09	1	1	0	25	45	0	2	2	1
E_ID10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E_ID11	1	1	0	20	45	0	1	1	2
E_ID12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E_ID13	3	2	0	185	81	0	2	2	3
E_ID14	0	0	0	0	0	0	0	0	2
E_ID15	3	3	1	60	95	50	1	1	1
E_ID16	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E_ID17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E_ID18	6	3	0	125	105	0	1	1	3
E_ID19	1	1	0	20	40	0	2	2	1
E_ID20	1	0	0	25	0	0	1	1	1
E_ID21	0	0	0	0	0	0	0	0	2
E_ID22	5	0	0	110	0	0	1	1	1
E_ID23	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E_ID24	0	0	0	0	0	0	2	2	1
E_ID25	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางผนวกที่ ก8 (ต่อ)

ฟีดเดอร์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง)			ระยะเวลาไฟดับ (นาที)			จำนวนอุปกรณ์ (ตัว)		
	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555
E_ID26	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E_ID27	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E_ID28	0	0	0	0	0	0	1	0	0
E_ID29	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E_ID30	0	0	0	0	0	0	1	1	1

ตารางผนวกที่ ก8 (ต่อ)

พีคเตอร์	สาเหตุไฟดับ		N_{fuse} (ราย)
	ควบคุมได้	ควบคุมไม่ได้	
E_ID01	0.00%	0.00%	0
E_ID02	75.00%	25.00%	700
E_ID03	0.00%	0.00%	1858
E_ID04	0.00%	0.00%	0
E_ID05	0.00%	0.00%	0
E_ID06	0.00%	0.00%	0
E_ID07	80.00%	20.00%	105
E_ID08	100.00%	0.00%	700
E_ID09	100.00%	0.00%	500
E_ID10	0.00%	0.00%	0
E_ID11	50.00%	50.00%	230
E_ID12	0.00%	0.00%	0
E_ID13	60.00%	40.00%	1540
E_ID14	0.00%	0.00%	210
E_ID15	85.71%	14.29%	518
E_ID16	0.00%	0.00%	0
E_ID17	0.00%	0.00%	0
E_ID18	100.00%	0.00%	620
E_ID19	100.00%	0.00%	100
E_ID20	100.00%	0.00%	264
E_ID21	0.00%	0.00%	210
E_ID22	80.00%	20.00%	1115
E_ID23	0.00%	0.00%	0
E_ID24	0.00%	0.00%	678
E_ID25	0.00%	0.00%	0

ตารางผนวกที่ ก8 (ต่อ)

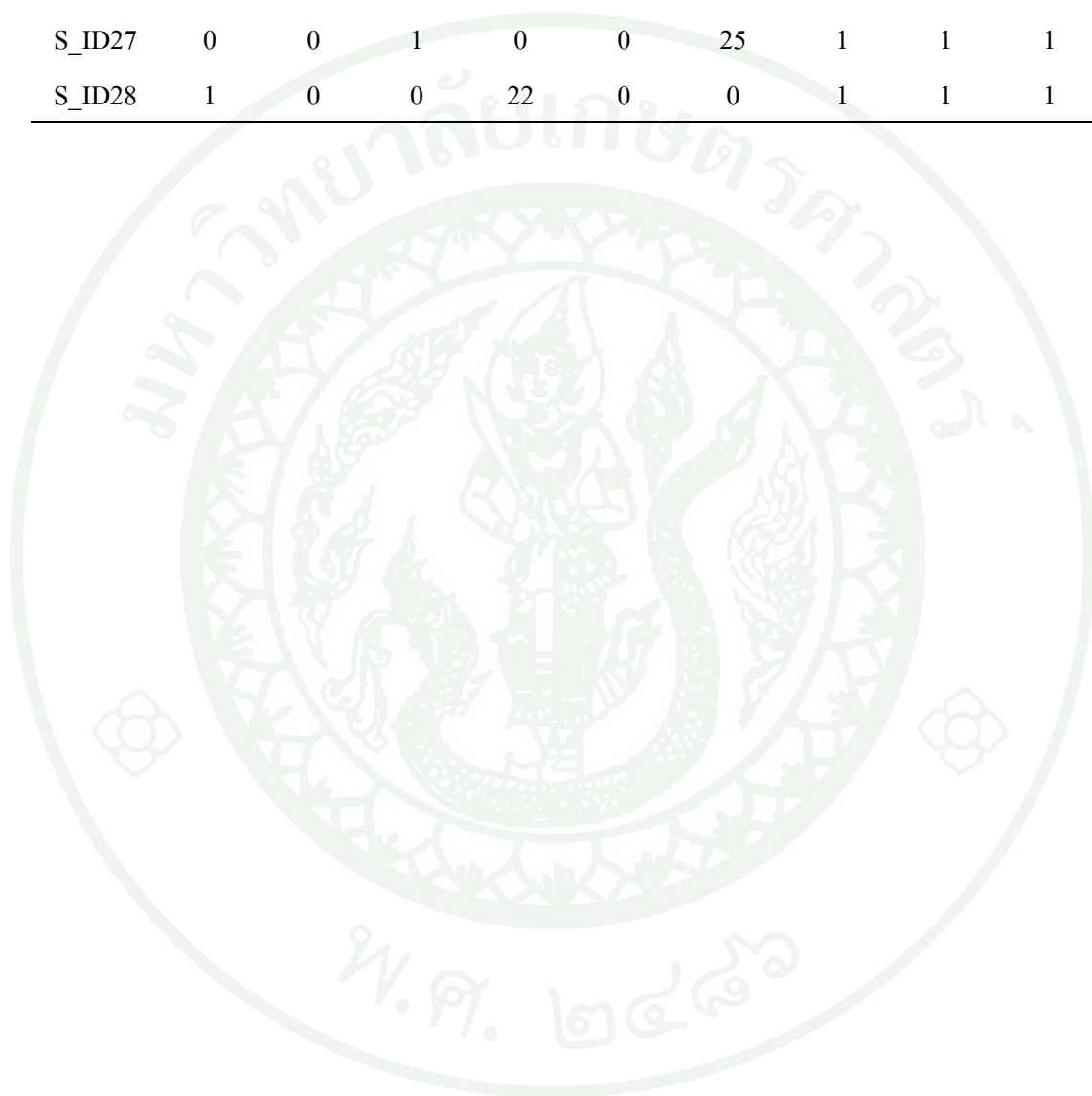
ฟีดเดอร์	สาเหตุไฟดับ		N_{fuse} (ราย)
	ควบคุมได้	ควบคุมไม่ได้	
E_ID26	0.00%	0.00%	0
E_ID27	0.00%	0.00%	0
E_ID28	0.00%	0.00%	1000
E_ID29	0.00%	0.00%	0
E_ID30	0.00%	0.00%	866

ตารางผนวกที่ ก9 ข้อมูลการทำงานของเบรกเกอร์ในปี 2553-2555 ในเขตเมืองใหญ่ S_City

ฟีดเดอร์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง)			ระยะเวลาไฟดับ (นาที)			จำนวนอุปกรณ์ (ตัว)		
	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555
S_ID01	2	2	2	64	27	66	1	1	1
S_ID02	3	4	1	95	85	35	1	1	1
S_ID03	1	0	0	6	0	0	1	1	1
S_ID04	0	0	0	0	0	0	1	1	1
S_ID05	3	2	0	46	22	0	1	1	1
S_ID06	0	1	2	0	9	20	1	1	1
S_ID07	0	2	2	0	19	39	1	1	1
S_ID08	2	1	0	17	33	0	1	1	1
S_ID09	2	0	2	86	0	24	1	1	1
S_ID10	2	0	2	58	0	30	1	1	1
S_ID11	2	0	2	230	0	64	1	1	1
S_ID12	1	0	2	14	0	307	1	1	1
S_ID13	0	1	0	0	14	0	1	1	1
S_ID14	3	2	0	46	38	0	1	1	1
S_ID15	4	3	1	73	68	18	1	1	1
S_ID16	1	0	2	25	0	56	1	1	1
S_ID17	1	3	0	9	69	0	1	1	1
S_ID18	0	1	2	0	13	68	1	1	1
S_ID19	1	5	6	49	110	92	1	1	1
S_ID20	2	2	3	42	21	63	1	1	1
S_ID21	8	5	5	147	131	86	1	1	1
S_ID22	13	1	2	455	56	62	1	1	1
S_ID23	0	2	2	0	36	19	1	1	1
S_ID24	2	2	4	66	173	40	1	1	1
S_ID25	2	2	1	48	32	4	1	1	1

ตารางผนวกที่ ก9 (ต่อ)

ฟีดเดอร์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง)			ระยะเวลาไฟดับ (นาที)			จำนวนอุปกรณ์ (ตัว)		
	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555
S_ID26	1	0	0	24	0	0	1	1	1
S_ID27	0	0	1	0	0	25	1	1	1
S_ID28	1	0	0	22	0	0	1	1	1

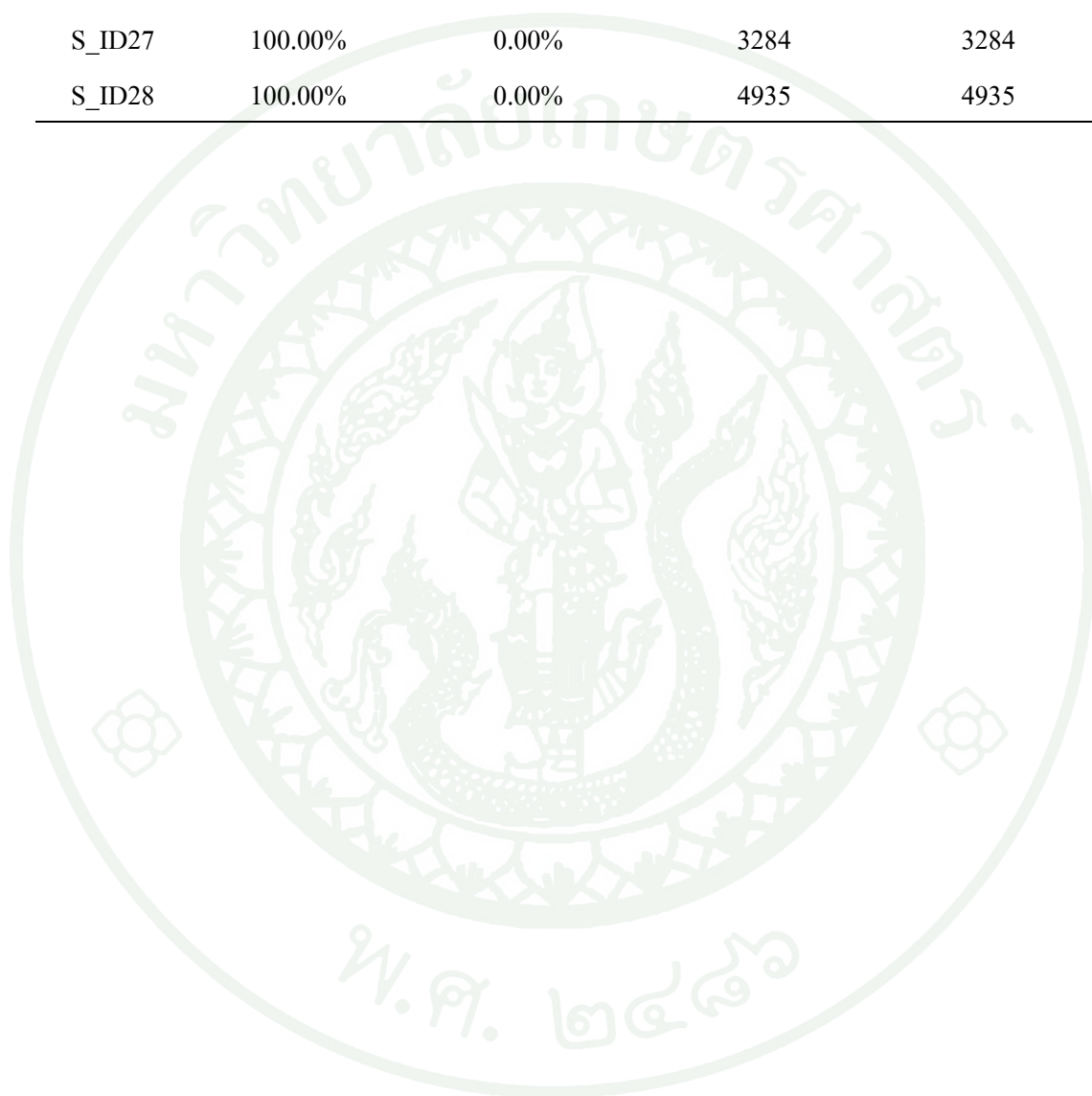


ตารางผนวกที่ ก9 (ต่อ)

ฟีดเดอร์	สาเหตุไฟดับ		$N_{Br,city}$ (ราย)	N_{feeder} (ราย)
	ควบคุมได้	ควบคุมไม่ได้		
S_ID01	33.33%	66.67%	725	725
S_ID02	37.50%	62.50%	1991	1991
S_ID03	0.00%	100.00%	2186	2186
S_ID04	0.00%	0.00%	1533	2454
S_ID05	60.00%	40.00%	29	33
S_ID06	33.33%	66.67%	4199	5959
S_ID07	25.00%	75.00%	4102	5491
S_ID08	33.33%	66.67%	2052	2052
S_ID09	50.00%	50.00%	11	5653
S_ID10	0.00%	100.00%	747	3154
S_ID11	50.00%	50.00%	1170	4146
S_ID12	0.00%	100.00%	2934	3165
S_ID13	100.00%	0.00%	171	173
S_ID14	0.00%	100.00%	99	4759
S_ID15	0.00%	100.00%	2649	4113
S_ID16	33.33%	66.67%	1039	4133
S_ID17	75.00%	25.00%	319	2539
S_ID18	33.33%	66.67%	6079	6254
S_ID19	50.00%	50.00%	2257	6041
S_ID20	28.57%	71.43%	2056	11725
S_ID21	16.67%	83.33%	5	128
S_ID22	12.50%	87.50%	1528	1615
S_ID23	50.00%	50.00%	2648	2648
S_ID24	62.50%	37.50%	82	2409
S_ID25	0.00%	100.00%	1080	1080

ตารางผนวกที่ ก9 (ต่อ)

ฟีดเดอร์	สาเหตุไฟดับ		$N_{Br,city}$ (ราย)	N_{feeder} (ราย)
	ควบคุมได้	ควบคุมไม่ได้		
S_ID26	100.00%	0.00%	2761	2761
S_ID27	100.00%	0.00%	3284	3284
S_ID28	100.00%	0.00%	4935	4935

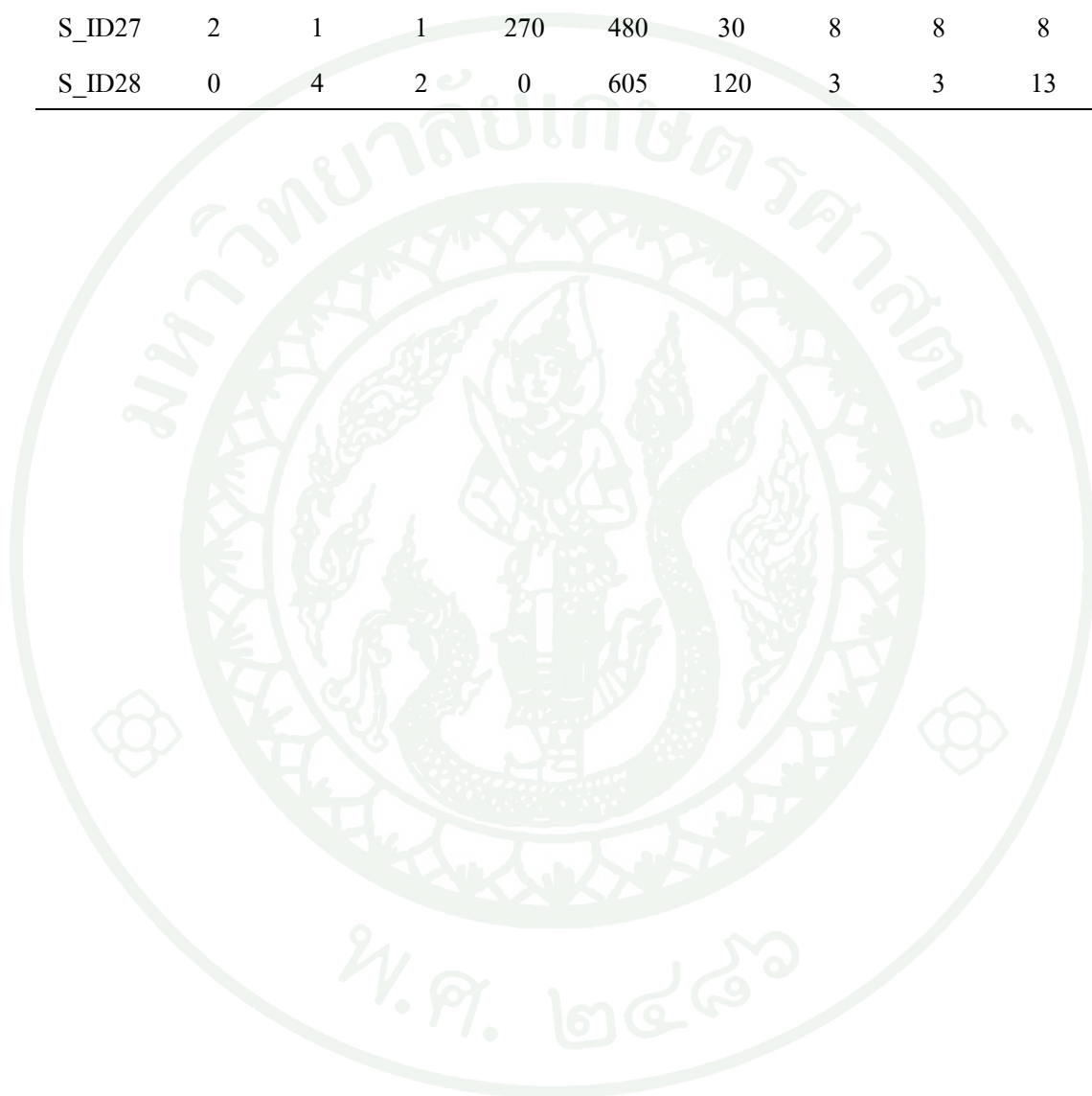


ตารางผนวกที่ ก10 ข้อมูลการทำงานของฟิวส์ในปี 2553-2555 ในเขตเมืองใหญ่ S_City

ฟิวส์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง)			ระยะเวลาไฟดับ (นาท)			จำนวนอุปกรณ์ (ตัว)		
	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555
S_ID01	0	2	0	0	220	0	2	2	1
S_ID02	1	3	1	25	120	30	3	3	1
S_ID03	2	5	2	245	310	90	6	6	8
S_ID04	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_ID05	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_ID06	8	5	5	377	190	294	13	13	5
S_ID07	4	2	3	250	90	105	7	7	7
S_ID08	3	3	1	118	125	30	4	4	4
S_ID09	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_ID10	0	0	0	0	0	0	1	1	1
S_ID11	13	10	2	629	450	100	1	1	4
S_ID12	0	1	0	0	30	0	5	5	7
S_ID13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_ID14	0	0	0	0	0	0	1	1	3
S_ID15	2	0	1	105	0	60	3	3	3
S_ID16	1	1	1	65	45	50	1	1	1
S_ID17	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S_ID18	13	4	2	1183	311	50	16	16	16
S_ID19	6	13	6	242	1940	275	10	10	7
S_ID20	1	7	2	60	345	70	5	5	3
S_ID21	1	0	0	90	0	0	1	1	1
S_ID22	2	0	0	131	0	0	1	1	4
S_ID23	4	3	5	220	115	195	6	6	5
S_ID24	0	0	0	0	0	0	6	6	6
S_ID25	9	3	5	566	620	255	3	3	3

ตารางผนวกที่ ก10 (ต่อ)

ไฟเตอร์	จำนวนครั้งไฟดับ (ครั้ง)			ระยะเวลาไฟดับ (นาที)			จำนวนอุปกรณ์ (ตัว)		
	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555	ปี2553	ปี2554	ปี2555
S_ID26	0	0	0	0	0	0	2	2	2
S_ID27	2	1	1	270	480	30	8	8	8
S_ID28	0	4	2	0	605	120	3	3	13

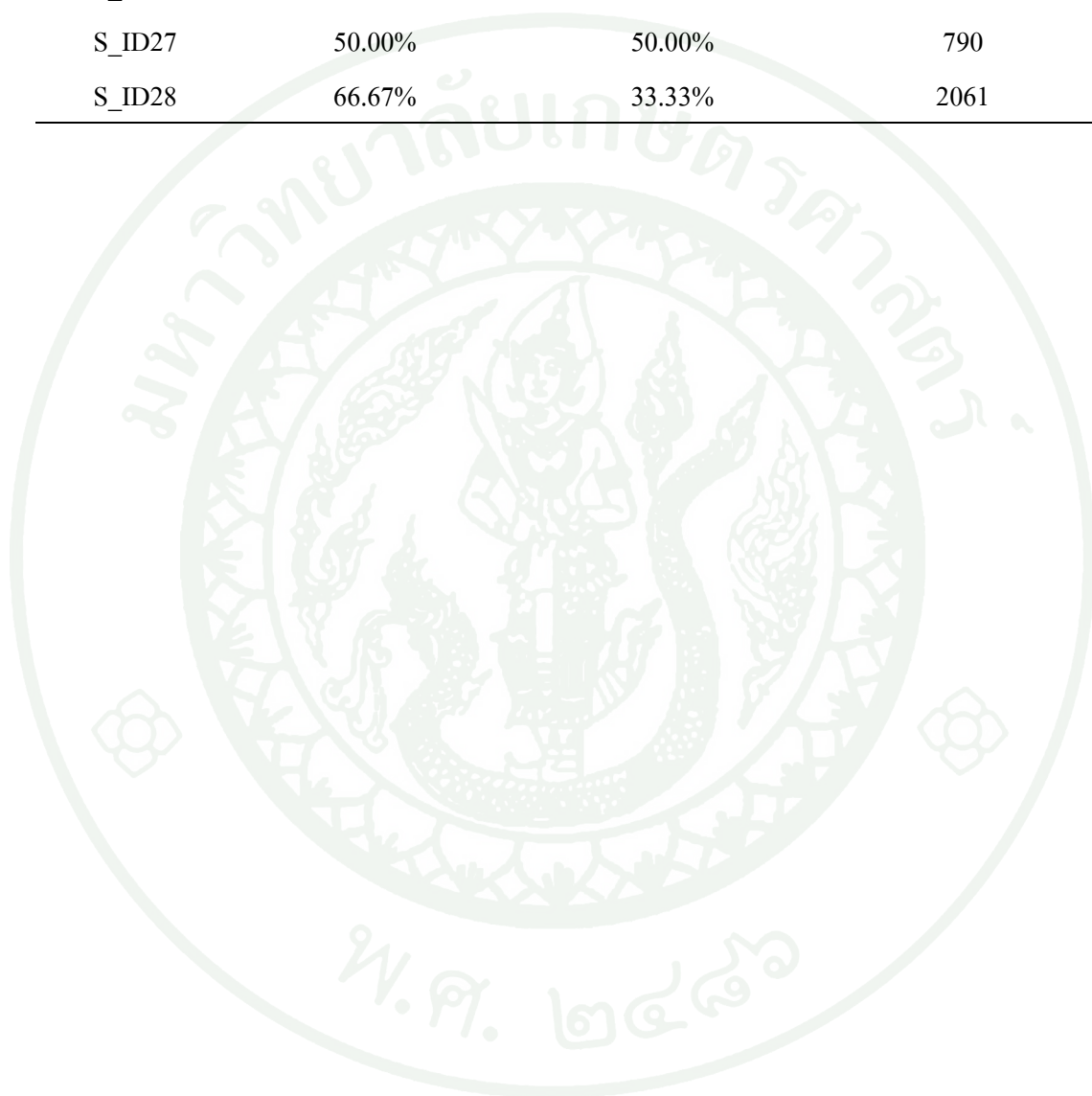


ตารางผนวกที่ ก10 (ต่อ)

ฟิวเตอร์	สาเหตุไฟดับ		N_{fuse} (ราย)
	ควบคุมได้	ควบคุมไม่ได้	
S_ID01	100.00%	0.00%	85
S_ID02	40.00%	60.00%	67
S_ID03	55.56%	44.44%	760
S_ID04	0.00%	0.00%	0
S_ID05	0.00%	0.00%	0
S_ID06	83.33%	16.67%	1628
S_ID07	77.78%	22.22%	1609
S_ID08	100.00%	0.00%	999
S_ID09	0.00%	0.00%	0
S_ID10	0.00%	0.00%	251
S_ID11	76.00%	24.00%	1128
S_ID12	100.00%	0.00%	1067
S_ID13	0.00%	0.00%	0
S_ID14	0.00%	0.00%	88
S_ID15	66.67%	33.33%	509
S_ID16	100.00%	0.00%	367
S_ID17	0.00%	0.00%	0
S_ID18	57.89%	42.11%	2408
S_ID19	76.00%	24.00%	692
S_ID20	70.00%	30.00%	112
S_ID21	100.00%	0.00%	2
S_ID22	50.00%	50.00%	1037
S_ID23	83.33%	16.67%	763
S_ID24	0.00%	0.00%	56
S_ID25	88.24%	11.76%	784

ตารางผนวกที่ ก10 (ต่อ)

ฟีดเดอร์	สาเหตุไฟดับ		N_{fuse} (ราย)
	ควบคุมได้	ควบคุมไม่ได้	
S_ID26	0.00%	0.00%	5
S_ID27	50.00%	50.00%	790
S_ID28	66.67%	33.33%	2061





ภาคผนวก ข

ผลลัพธ์พารามิเตอร์จากการคำนวณแต่ละฟีดเดอร์ของ 4 เมือง

ตารางผนวกที่ ข1 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ของเบรกเกอร์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมืองใหญ่ N_City

ฟีดเดอร์	$MTTF_i$	r_i	$\lambda_{i,cc}$	$\lambda_{i,uc}$	$n_{s,i}$	$n'_{s,i}$	$\overline{n_{s,i}}$	$\lambda'_{i,cc}$	$\lambda'_{i,uc}$
N_ID01	1576799	1.00	0.33	0.00	1	6	6	0.00	0.00
N_ID02	788371	29.00	0.33	0.33	1	1	1	0.00	0.05
N_ID03	1576783	17.00	0.33	0.00	3	5	5	0.00	0.00
N_ID04	788379	21.50	0.33	0.33	0	5	5	0.00	0.05
N_ID05	788372	28.50	0.33	0.33	3	5	5	0.00	0.05
N_ID06	788376	24.00	0.67	0.00	2	5	5	0.00	0.00
N_ID07	315347	12.60	1.33	0.33	1	2	2	0.00	0.05
N_ID08	315341	19.20	1.00	0.67	2	6	6	0.00	0.11
N_ID09	788381	19.50	0.00	0.67	3	6	6	0.00	0.11
N_ID10	0	0.00	0.00	0.00	1	5	5	0.00	0.00
N_ID11	525589	11.33	1.00	0.00	2	6	6	0.00	0.00
N_ID12	1576766	34.00	0.33	0.00	1	1	1	0.00	0.00
N_ID13	525582	17.67	0.33	0.67	0	1	1	0.00	0.67

ตารางผนวกที่ ข2 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ของรีโกลสเซอร์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมืองใหญ่ N_City

ฟีดเดอร์	$MTTF_i$	r_i	$\lambda_{i,cc}$	$\lambda_{i,uc}$	$n_{s,i}$	$n'_{s,i}$	$\overline{n}_{s,i}$	$\lambda'_{i,cc}$	$\lambda'_{i,uc}$
N_ID12	525593	7.00	0.67	0.33	4	6	6	0.00	0.05



ตารางผนวกที่ ข3 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ของฟิวส์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมืองใหญ่
N_City

ฟีดเดอร์	$MTTF_i$	r_i	$\lambda_{i,cc}$	$\lambda_{i,uc}$	$\lambda'_{i,cc}$	$\lambda'_{i,uc}$
N_ID01	3153500	100.00	0.17	0.00	0.00	0.00
N_ID02	414896	51.32	1.20	0.07	0.07	0.07
N_ID03	875945	55.00	0.47	0.13	0.13	0.13
N_ID04	3153533	66.83	0.17	0.00	0.00	0.00
N_ID05	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N_ID06	2102355	45.00	0.25	0.00	0.00	0.00
N_ID07	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N_ID08	675732	39.86	0.50	0.28	0.28	0.28
N_ID09	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N_ID10	2207483	37.20	0.24	0.00	0.00	0.00
N_ID11	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
N_ID12	525538	62.50	0.50	0.50	0.50	0.50
N_ID13	1351507	35.71	0.22	0.17	0.17	0.17

ตารางผนวกที่ ข4 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ของเบรกเกอร์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขต

NE_City

ฟีดเดอร์	$MTTF_i$	r_i	$\lambda_{i,cc}$	$\lambda_{i,uc}$	$n_{s,i}$	$n'_{s,i}$	$\overline{n}_{s,i}$	$\lambda'_{i,cc}$	$\lambda'_{i,uc}$
NE_ID01	525574	26.00	0.33	0.67	0	6	6	0.11	0.11
NE_ID02	1576745	55.00	0.00	0.33	2	6	6	0.06	0.06
NE_ID03	175178	21.67	0.67	2.33	4	3	4	0.25	0.25
NE_ID04	525572	28.33	0.33	0.67	1	6	6	0.11	0.11
NE_ID05	262774	26.00	1.67	0.33	4	5	5	0.05	0.05
NE_ID06	525568	32.00	0.00	1.00	1	4	4	0.14	0.14
NE_ID07	788366	34.00	0.67	0.00	1	1	1	0.00	0.00
NE_ID08	262781	19.33	0.67	1.33	4	6	6	0.22	0.22
NE_ID09	105085	35.47	3.67	1.33	1	1	1	0.01	0.01
NE_ID10	92725	28.35	3.67	2.00	0	1	1	0.11	0.11
NE_ID11	92729	23.65	3.00	2.67	4	6	6	0.42	0.42
NE_ID12	525582	17.67	0.67	0.33	3	6	6	0.06	0.06
NE_ID13	262771	28.67	1.00	1.00	1	6	6	0.17	0.17
NE_ID14	157649	30.70	1.00	2.33	1	1	1	0.04	0.04
NE_ID15	262780	20.17	1.00	1.00	2	6	6	0.17	0.17
NE_ID16	394184	16.00	1.33	0.00	4	6	6	0.00	0.00
NE_ID17	225233	24.14	1.00	1.33	6	4	6	0.13	0.13
NE_ID18	75056	29.62	2.33	4.67	4	5	5	0.68	0.68
NE_ID19	197063	37.38	1.67	1.00	0	0	0	0.00	0.00
NE_ID20	394162	37.75	0.33	1.00	1	1	1	0.10	0.10

ตารางผนวกที่ ข5 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ของรีโกลสเซอร์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมืองใหญ่ NE_City

ฟีดเดอร์	$MTTF_i$	r_i	$\lambda_{i,cc}$	$\lambda_{i,uc}$	$n_{s,i}$	$n'_{s,i}$	$\overline{n_{s,i}}$	$\lambda'_{i,cc}$	$\lambda'_{i,uc}$
NE_ID19	394146	54.50	1.33	0.00	0	2	2	0.00	0.00



ตารางผนวกที่ ข6 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ของฟิวส์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมืองใหญ่
NE_City

ฟีดเดอร์	$MTTF_i$	r_i	$\lambda_{i,cc}$	$\lambda_{i,uc}$	$\lambda'_{i,cc}$	$\lambda'_{i,uc}$
NE_ID01	788345	55.00	0.67	0.00	0.00	0.00
NE_ID02	788341	59.50	0.33	0.33	0.00	0.33
NE_ID03	363821	56.00	1.11	0.33	0.00	0.33
NE_ID04	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NE_ID05	394138	62.50	1.00	0.33	0.00	0.33
NE_ID06	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NE_ID07	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NE_ID08	1182536	64.25	0.39	0.06	0.00	0.06
NE_ID09	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NE_ID10	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NE_ID11	78792	47.75	5.67	1.00	0.00	1.00
NE_ID12	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NE_ID13	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NE_ID14	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NE_ID15	450473	41.64	1.08	0.08	0.00	0.08
NE_ID16	1576770	30.00	0.33	0.00	0.00	0.00
NE_ID17	630661	58.80	0.58	0.25	0.00	0.25
NE_ID18	121245	47.54	3.33	1.00	0.00	1.00
NE_ID19	210193	47.33	2.00	0.50	0.00	0.50
NE_ID20	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางผนวกที่ ข 7 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ของเบรกเกอร์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมือง
ใหญ่ E_City

ฟีดเดอร์	$MTTF_i$	r_i	$\lambda_{i,cc}$	$\lambda_{i,uc}$	$n_{s,i}$	$n'_{s,i}$	$\overline{n_{s,i}}$	$\lambda'_{i,cc}$	$\lambda'_{i,uc}$
E_ID01	525589	11.33	0.00	1.00	2	6	6	0.00	0.17
E_ID02	315351	8.60	1.00	0.67	0	6	6	0.00	0.11
E_ID03	262768	32.50	1.00	1.00	0	4	4	0.00	0.16
E_ID04	394183	16.75	0.67	0.67	4	6	6	0.00	0.11
E_ID05	0	0.00	0.00	0.00	1	2	2	0.00	0.00
E_ID06	0	0.00	0.00	0.00	1	1	1	0.00	0.00
E_ID07	131384	15.67	2.00	2.00	0	1	1	0.00	0.06
E_ID08	1576796	4.00	0.33	0.00	1	2	2	0.00	0.00
E_ID09	1576797	3.00	0.33	0.00	0	6	6	0.00	0.00
E_ID10	315336	24.40	1.67	0.00	0	6	6	0.00	0.00
E_ID11	175190	10.22	1.33	1.67	2	6	6	0.00	0.28
E_ID12	131388	11.67	2.00	2.00	2	6	6	0.00	0.33
E_ID13	525579	21.00	0.67	0.33	0	6	6	0.00	0.06
E_ID14	525569	31.33	0.00	1.00	1	6	6	0.00	0.17
E_ID15	525557	43.00	0.33	0.67	1	6	6	0.00	0.11
E_ID16	394167	32.75	1.00	0.33	1	6	6	0.00	0.06
E_ID17	788388	12.50	0.00	0.67	0	6	6	0.00	0.11
E_ID18	394178	22.50	0.33	1.00	0	6	6	0.00	0.17
E_ID19	157662	17.70	0.33	3.00	0	6	6	0.00	0.50
E_ID20	175176	24.22	1.33	1.67	1	6	6	0.00	0.28
E_ID21	225216	41.00	1.00	1.33	0	6	6	0.00	0.22
E_ID22	525583	17.00	0.33	0.67	2	6	6	0.00	0.11
E_ID23	525587	12.67	0.33	0.67	2	6	6	0.00	0.11
E_ID24	315332	27.60	0.67	1.00	0	6	6	0.00	0.17

ตารางผนวกที่ ข7 (ต่อ)

พีคเตอร์	$MTTF_i$	r_i	$\lambda_{i,cc}$	$\lambda_{i,uc}$	$n_{s,i}$	$n'_{s,i}$	$\bar{n}_{s,i}$	$\lambda'_{i,cc}$	$\lambda'_{i,uc}$
E_ID25	315355	5.00	0.33	1.33	2	6	6	0.00	0.22
E_ID26	788386	14.00	0.33	0.33	1	6	6	0.00	0.00
E_ID27	788374	26.50	0.33	0.33	1	6	6	0.00	0.00
E_ID28	315337	23.20	0.67	1.00	0	6	6	0.00	0.00
E_ID29	394178	21.75	0.67	0.67	0	6	6	0.00	0.00
E_ID30	315337	22.80	0.67	1.00	1	6	6	0.00	0.00

ตารางผนวกที่ ข8 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ของฟิวส์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมืองใหญ่
E_City

ฟีดเดอร์	$MTTF_i$	r_i	$\lambda_{i,cc}$	$\lambda_{i,uc}$	$\lambda'_{i,cc}$	$\lambda'_{i,uc}$
E_ID01	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E_ID02	525571	28.75	0.75	0.25	0.00	0.25
E_ID03	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E_ID04	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E_ID05	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E_ID06	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E_ID07	1156297	23.00	0.36	0.09	0.00	0.09
E_ID08	1576760	40.00	0.33	0.00	0.00	0.00
E_ID09	1313965	35.00	0.40	0.00	0.00	0.00
E_ID10	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E_ID11	1051168	32.50	0.25	0.25	0.00	0.25
E_ID12	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E_ID13	735787	53.20	0.43	0.29	0.00	0.29
E_ID14	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E_ID15	225228	29.29	2.00	0.33	0.00	0.33
E_ID16	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E_ID17	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E_ID18	291974	25.56	1.80	0.00	0.00	0.00
E_ID19	1313970	30.00	0.40	0.00	0.00	0.00
E_ID20	1576775	25.00	0.33	0.00	0.00	0.00
E_ID21	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E_ID22	315338	22.00	1.33	0.33	0.00	0.33
E_ID23	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E_ID24	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางผนวกที่ ข8 (ต่อ)

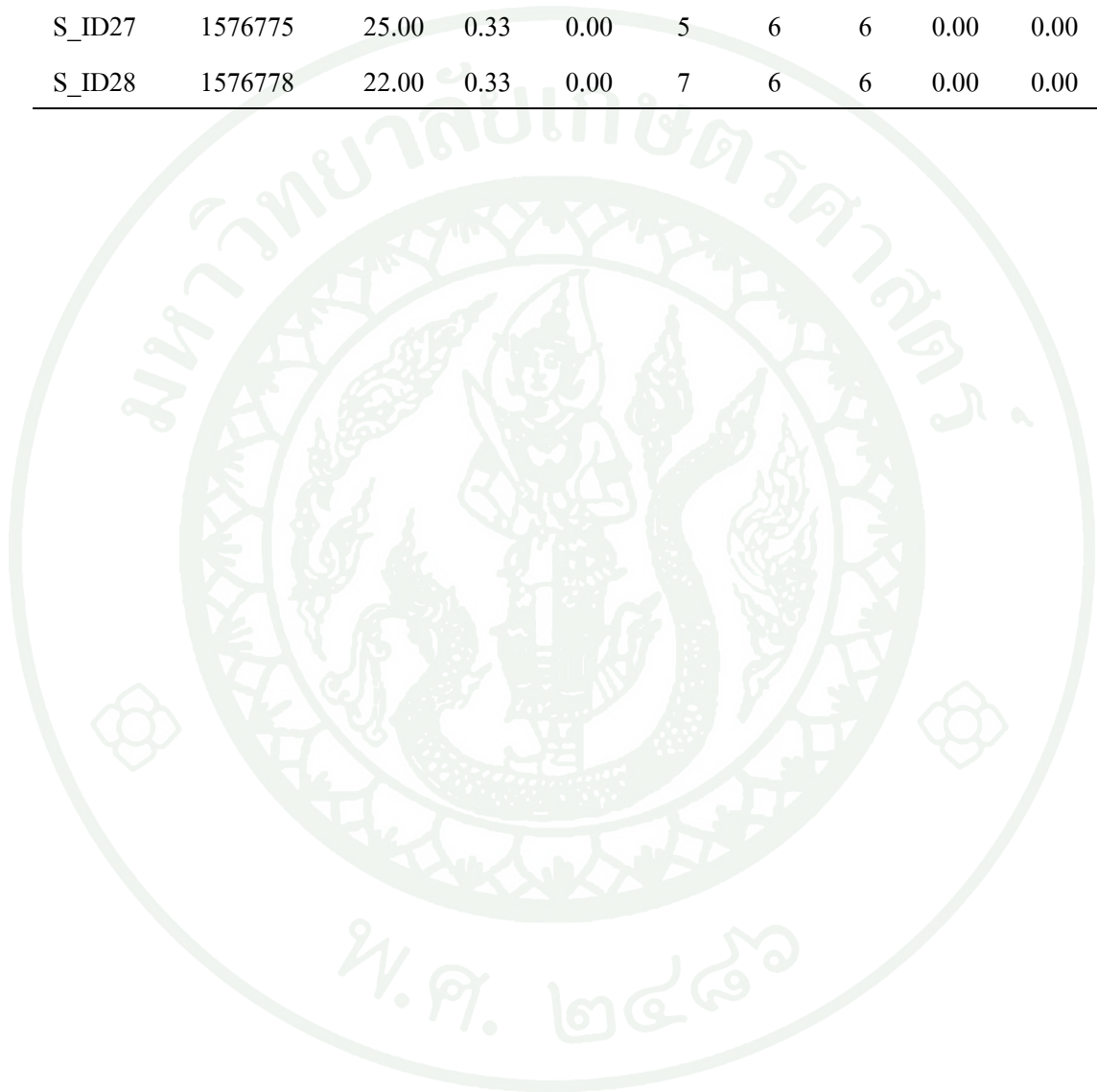
พีคเตอร์	$MTTF_i$	r_i	$\lambda_{i,cc}$	$\lambda_{i,uc}$	$\lambda'_{i,cc}$	$\lambda'_{i,uc}$
E_ID25	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E_ID26	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E_ID27	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E_ID28	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E_ID29	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
E_ID30	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางผนวกที่ ข9 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ของเบรกเกอร์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมือง
ใหญ่ S_City

ฟีดเดอร์	$MTTF_i$	r_i	$\lambda_{i,cc}$	$\lambda_{i,uc}$	$n_{s,i}$	$n'_{s,i}$	$\overline{n_{s,i}}$	$\lambda'_{i,cc}$	$\lambda'_{i,uc}$
S_ID01	262774	26.17	0.67	1.33	3	6	6	0.00	0.22
S_ID02	197073	26.88	1.00	1.67	2	6	6	0.00	0.28
S_ID03	1576794	6.00	0.00	0.33	3	6	6	0.00	0.06
S_ID04	0	0.00	0.00	0.00	0	4	4	0.00	0.00
S_ID05	315346	13.60	1.00	0.67	1	6	6	0.00	0.10
S_ID06	525590	9.67	0.33	0.67	3	5	5	0.00	0.09
S_ID07	394186	14.50	0.33	1.00	5	5	5	0.00	0.15
S_ID08	525583	16.67	0.33	0.67	3	6	6	0.00	0.11
S_ID09	394173	27.50	0.67	0.67	1	1	1	0.00	0.00
S_ID10	394178	22.00	0.00	1.33	2	2	2	0.00	0.16
S_ID11	394127	73.50	0.67	0.67	1	2	2	0.00	0.09
S_ID12	525493	107.00	0.00	1.00	3	6	6	0.00	0.15
S_ID13	1576786	14.00	0.33	0.00	2	6	6	0.00	0.00
S_ID14	315343	16.80	0.00	1.67	5	1	5	0.00	0.01
S_ID15	197080	19.88	0.00	2.67	3	4	4	0.00	0.43
S_ID16	525573	27.00	0.33	0.67	7	2	7	0.00	0.02
S_ID17	394181	19.50	1.00	0.33	1	1	1	0.00	0.04
S_ID18	525573	27.00	0.33	0.67	4	6	6	0.00	0.11
S_ID19	131379	20.92	2.00	2.00	3	3	3	0.00	0.25
S_ID20	225239	18.00	0.67	1.67	3	2	3	0.00	0.10
S_ID21	87580	20.22	1.00	5.00	1	1	3	0.00	0.20
S_ID22	98514	35.81	0.67	4.67	15	6	12	0.00	0.29
S_ID23	394186	13.75	0.67	0.67	5	6	6	0.00	0.11
S_ID24	197065	34.88	1.67	1.00	1	1	1	0.00	0.03

ตารางผนวกที่ ข9 (ต่อ)

ฟีดเดอร์	$MTTF_i$	r_i	$\lambda_{i,cc}$	$\lambda_{i,uc}$	$n_{s,i}$	$n'_{s,i}$	$\overline{n}_{s,i}$	$\lambda'_{i,cc}$	$\lambda'_{i,uc}$
S_ID25	315343	16.80	0.00	1.67	13	6	13	0.00	0.13
S_ID26	1576776	24.00	0.33	0.00	6	6	6	0.00	0.00
S_ID27	1576775	25.00	0.33	0.00	5	6	6	0.00	0.00
S_ID28	1576778	22.00	0.33	0.00	7	6	6	0.00	0.00

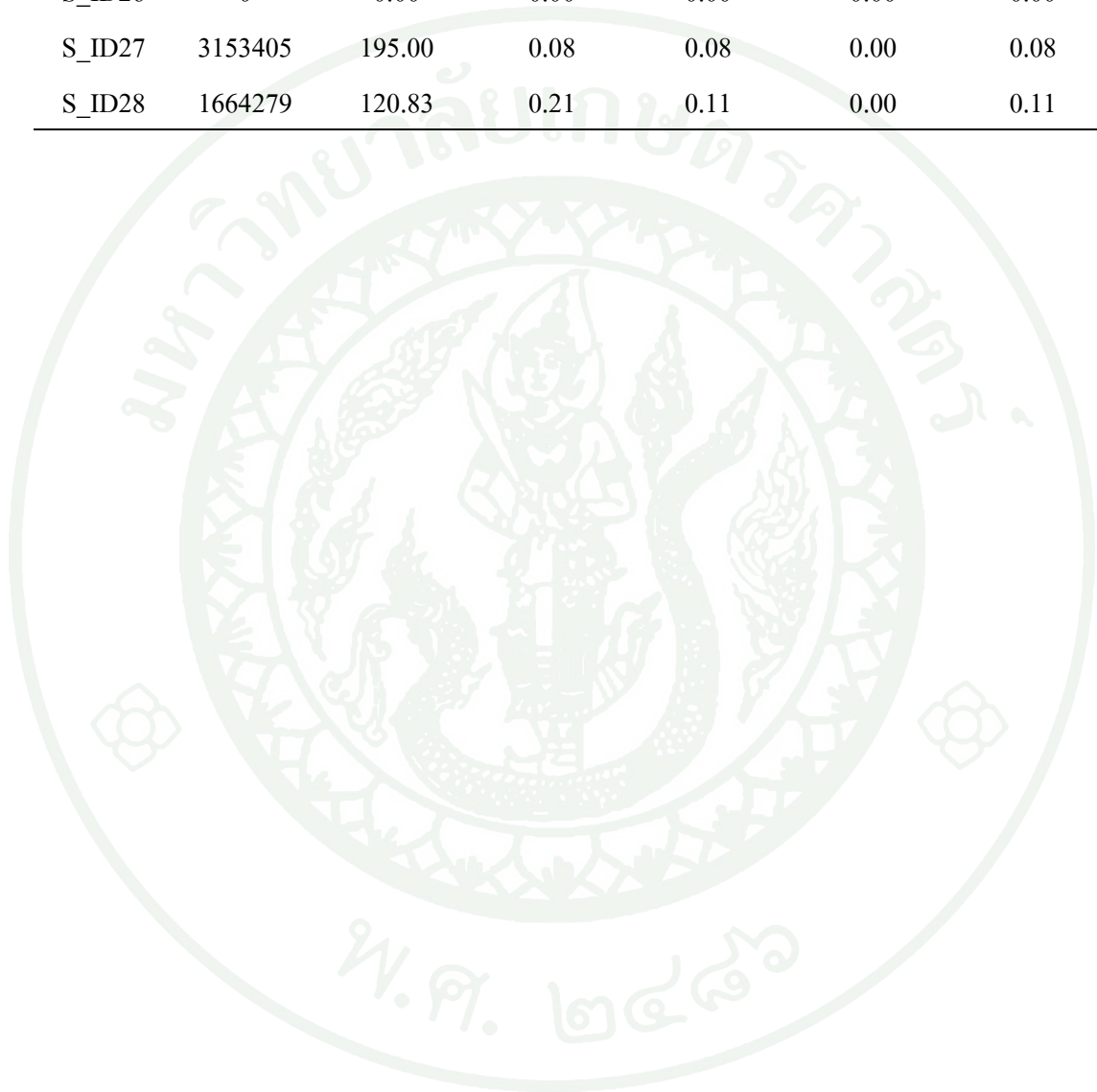


ตารางผนวกที่ ข10 ผลลัพธ์พารามิเตอร์ของฟิวส์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมืองใหญ่
S_City

ฟีดเดอร์	$MTTF_i$	r_i	$\lambda_{i,cc}$	$\lambda_{i,uc}$	$\lambda'_{i,cc}$	$\lambda'_{i,uc}$
S_ID01	1313890	110.00	0.40	0.00	0.00	0.00
S_ID02	735805	35.00	0.29	0.43	0.00	0.43
S_ID03	1167928	71.67	0.25	0.20	0.00	0.20
S_ID04	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S_ID05	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S_ID06	905152	47.83	0.48	0.10	0.00	0.10
S_ID07	1226351	49.44	0.33	0.10	0.00	0.10
S_ID08	900990	39.00	0.58	0.00	0.00	0.00
S_ID09	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S_ID10	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S_ID11	126097	47.16	3.17	1.00	0.00	1.00
S_ID12	8935170	30.00	0.06	0.00	0.00	0.00
S_ID13	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S_ID14	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S_ID15	1576745	55.00	0.22	0.11	0.00	0.11
S_ID16	525547	53.33	1.00	0.00	0.00	0.00
S_ID17	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S_ID18	1327750	81.26	0.23	0.17	0.00	0.17
S_ID19	567550	98.28	0.70	0.22	0.00	0.22
S_ID20	683233	47.50	0.54	0.23	0.00	0.23
S_ID21	1576710	90.00	0.33	0.00	0.00	0.00
S_ID22	1576735	65.50	0.17	0.17	0.00	0.17
S_ID23	744556	44.17	0.59	0.12	0.00	0.12
S_ID24	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

ตารางผนวกที่ ข10 (ต่อ)

ฟีดเดอร์	$MTTF_i$	r_i	$\lambda_{i,cc}$	$\lambda_{i,uc}$	$\lambda'_{i,cc}$	$\lambda'_{i,uc}$
S_ID25	278174	84.76	1.67	0.22	0.00	0.22
S_ID26	0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S_ID27	3153405	195.00	0.08	0.08	0.00	0.08
S_ID28	1664279	120.83	0.21	0.11	0.00	0.11



ตารางผนวกที่ ข11 ผลลัพธ์พารามิเตอร์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมืองใหญ่ N_City

ฟีดเดอร์	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง			
			กรณีที่ 1		กรณีที่ 2	
	$SAIFI_{CITY}$	$SAIDI_{CITY}$	$SAIFI'_{CITY}$	$SAIDI'_{CITY}$	$SAIFI'_{CITY}$	$SAIDI'_{CITY}$
N_ID01	0.006	0.620	0.000	0.000	0.000	0.000
N_ID02	0.011	0.567	0.001	0.041	0.001	0.041
N_ID03	0.014	0.781	0.001	0.072	0.001	0.072
N_ID04	0.109	7.307	0.009	0.594	0.044	0.772
N_ID05	0.076	4.165	0.006	0.307	0.028	0.419
N_ID06	0.075	3.353	0.000	0.000	0.000	0.000
N_ID07	0.126	6.912	0.004	0.207	0.008	0.226
N_ID08	0.221	8.789	0.015	0.602	0.085	0.950
N_ID09	0.078	4.270	0.013	0.712	0.078	1.036
N_ID10	0.001	0.019	0.000	0.000	0.000	0.000
N_ID11	0.014	0.755	0.000	0.000	0.000	0.000
N_ID12	0.188	11.726	0.015	0.943	0.048	1.109
N_ID13	0.027	0.959	0.012	0.416	0.012	0.416
รวม	0.944	50.222	0.075	3.895	0.305	5.041

ตารางผนวกที่ ข12 ผลลัพธ์พารามิเตอร์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมืองใหญ่ NE_City

ฟีดเดอร์	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง			
			กรณีที่ 1		กรณีที่ 2	
	$SAIFI_{CITY}$	$SAIDI_{CITY}$	$SAIFI'_{CITY}$	$SAIDI'_{CITY}$	$SAIFI'_{CITY}$	$SAIDI'_{CITY}$
NE_ID01	0.034	55.000	0.003	0.146	0.016	0.212
NE_ID02	0.012	59.500	0.002	0.121	0.012	0.172
NE_ID03	0.168	56.000	0.018	0.995	0.053	1.170
NE_ID04	0.019	51.847	0.002	0.107	0.012	0.158
NE_ID05	0.139	62.500	0.005	0.289	0.019	0.360
NE_ID06	0.000	51.847	0.000	0.002	0.000	0.002
NE_ID07	0.001	51.847	0.000	0.000	0.000	0.000
NE_ID08	0.109	64.250	0.012	0.783	0.068	1.061
NE_ID09	0.003	51.847	0.000	0.000	0.000	0.000
NE_ID10	0.052	51.847	0.001	0.050	0.001	0.050
NE_ID11	1.210	47.750	0.093	4.463	0.513	6.561
NE_ID12	0.047	51.847	0.003	0.134	0.016	0.199
NE_ID13	0.045	51.847	0.004	0.192	0.022	0.285
NE_ID14	0.006	51.847	0.000	0.004	0.000	0.004
NE_ID15	0.228	41.643	0.019	0.772	0.098	1.167
NE_ID16	0.088	30.000	0.000	0.000	0.000	0.000
NE_ID17	0.248	58.800	0.016	0.932	0.082	1.264
NE_ID18	1.062	47.538	0.115	5.443	0.490	7.318
NE_ID19	0.335	47.333	0.021	0.979	0.021	0.979
NE_ID20	0.018	51.847	0.001	0.071	0.001	0.071
รวม	3.823	49.272	0.313	15.484	1.423	21.034

ตารางผนวกที่ ข13 ผลลัพธ์พารามิเตอร์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมืองใหญ่ E_City

ฟีดเดอร์	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง			
			กรณีที่ 1		กรณีที่ 2	
	$SAIFI_{CITY}$	$SAIDI_{CITY}$	$SAIFI'_{CITY}$	$SAIDI'_{CITY}$	$SAIFI'_{CITY}$	$SAIDI'_{CITY}$
E_ID01	0.034	1.056	0.006	0.174	0.033	0.314
E_ID02	0.096	2.754	0.008	0.243	0.037	0.384
E_ID03	0.141	4.418	0.011	0.346	0.044	0.512
E_ID04	0.106	3.298	0.009	0.275	0.053	0.495
E_ID05	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
E_ID06	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
E_ID07	0.008	0.174	0.000	0.006	0.000	0.006
E_ID08	0.008	0.337	0.000	0.000	0.000	0.000
E_ID09	0.013	0.470	0.000	0.000	0.000	0.000
E_ID10	0.036	1.134	0.000	0.000	0.000	0.000
E_ID11	0.053	1.721	0.006	0.184	0.029	0.302
E_ID12	0.164	5.113	0.014	0.426	0.082	0.767
E_ID13	0.054	2.853	0.009	0.484	0.019	0.534
E_ID14	0.013	0.396	0.002	0.066	0.013	0.119
E_ID15	0.030	0.872	0.004	0.115	0.010	0.144
E_ID16	0.025	0.770	0.001	0.032	0.006	0.058
E_ID17	0.024	0.759	0.004	0.127	0.024	0.228
E_ID18	0.049	1.261	0.004	0.100	0.023	0.198
E_ID19	0.203	6.093	0.030	0.911	0.182	1.670
E_ID20	0.121	3.015	0.011	0.276	0.066	0.552
E_ID21	0.159	4.970	0.015	0.473	0.091	0.852
E_ID22	0.070	1.544	0.010	0.230	0.033	0.342
E_ID23	0.051	1.606	0.006	0.178	0.034	0.321

ตารางผนวกที่ ข13 (ต่อ)

พีคเตอร์	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง			
			กรณีที่ 1		กรณีที่ 2	
	$SAIFI_{CITY}$	$SAIDI_{CITY}$	$SAIFI'_{CITY}$	$SAIDI'_{CITY}$	$SAIFI'_{CITY}$	$SAIDI'_{CITY}$
E_ID24	0.041	1.292	0.004	0.129	0.025	0.233
E_ID25	0.022	0.694	0.003	0.093	0.018	0.167
E_ID26	0.005	0.162	0.000	0.013	0.003	0.024
E_ID27	0.002	0.066	0.000	0.005	0.001	0.010
E_ID28	0.098	3.065	0.010	0.307	0.059	0.552
E_ID29	0.012	0.369	0.001	0.031	0.006	0.055
E_ID30	0.133	4.157	0.013	0.416	0.080	0.748
รวม	1.771	54.421	0.182	5.641	0.971	9.585

ตารางผนวกที่ ข14 ผลลัพธ์พารามิเตอร์จากการคำนวณในแต่ละฟีดเดอร์ในเขตเมืองใหญ่ S_City

ฟีดเดอร์	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง			
			กรณีที่ 1		กรณีที่ 2	
	$SAIFI_{CITY}$	$SAIDI_{CITY}$	$SAIFI'_{CITY}$	$SAIDI'_{CITY}$	$SAIFI'_{CITY}$	$SAIDI'_{CITY}$
S_ID01	0.028	3.100	0.003	0.337	0.018	0.413
S_ID02	0.102	3.560	0.011	0.387	0.064	0.649
S_ID03	0.020	1.457	0.005	0.372	0.017	0.430
S_ID04	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
S_ID05	0.001	0.069	0.000	0.004	0.000	0.005
S_ID06	0.098	4.672	0.010	0.501	0.040	0.651
S_ID07	0.117	5.782	0.015	0.719	0.061	0.952
S_ID08	0.050	1.951	0.004	0.169	0.026	0.277
S_ID09	0.000	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000
S_ID10	0.019	1.426	0.002	0.169	0.004	0.180
S_ID11	0.119	5.607	0.024	1.109	0.026	1.119
S_ID12	0.057	1.707	0.009	0.258	0.052	0.473
S_ID13	0.001	0.082	0.000	0.000	0.000	0.000
S_ID14	0.003	0.236	0.000	0.001	0.000	0.001
S_ID15	0.137	7.554	0.023	1.247	0.087	1.571
S_ID16	0.027	1.424	0.000	0.025	0.003	0.039
S_ID17	0.008	0.609	0.000	0.019	0.000	0.019
S_ID18	0.134	10.850	0.020	1.632	0.082	1.944
S_ID19	0.184	18.044	0.014	1.336	0.035	1.443
S_ID20	0.093	4.404	0.004	0.204	0.012	0.242
S_ID21	0.001	0.052	0.000	0.002	0.000	0.002
S_ID22	0.161	10.568	0.012	0.774	0.131	1.372
S_ID23	0.077	3.412	0.007	0.322	0.035	0.462

ตารางผนวกที่ ข14 (ต่อ)

พีคเตอร์	ก่อนปรับปรุง		หลังปรับปรุง			
			กรณีที่ 1		กรณีที่ 2	
	$SAIFI_{CITY}$	$SAIDI_{CITY}$	$SAIFI'_{CITY}$	$SAIDI'_{CITY}$	$SAIFI'_{CITY}$	$SAIDI'_{CITY}$
S_ID24	0.004	0.313	0.000	0.004	0.000	0.004
S_ID25	0.062	5.281	0.006	0.503	0.037	0.661
S_ID26	0.017	1.318	0.000	0.000	0.000	0.000
S_ID27	0.023	4.540	0.001	0.244	0.001	0.244
S_ID28	0.044	5.267	0.004	0.498	0.004	0.498
รวม	1.587	103.307	0.175	10.836	0.738	13.652

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นายสรพล กิจศิริสิน
วัน เดือน ปี ที่เกิด	3 ตุลาคม 2531
สถานที่เกิด	เขตคลองสาน จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (ไฟฟ้ากำลัง) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	ผู้ช่วยวิจัย
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	โครงการวิจัยและพัฒนาความชำนาญด้านไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์