การวิเคราะห์เซอร์กิตเบรกเกอร์115 kV สำหรับการวางแผนซ่อมบำรุง

นายศิระ รักสนิท
นายฤทธิราช กองแสง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อ : นายศิระ รักสนิท, นายฤทธิราช กองแสง
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การวิเคราะห์เซอร์กิตเบรกเกอร์115 kV สำหรับการวางแผนซ่อมบำรุง
สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์แก้ว
ปีการศึกษา : 2564

บทคัดย่อ

ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าแรงสูงของสถานีไฟฟ้า อุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์และสวิตช์ใบมีดนับเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในสถานีไฟฟ้าทำหน้าที่ตัดต่อวงจรเมื่อเกิดการขัดข้องหรือเกิดความผิดปกติทางระบบไฟฟ้า ซึ่งหากอุปกรณ์ไม่สามารถทำงานได้ทันท่วงทีจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าด้วยและมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงในการซ่อมแซมอุปกรณ์ให้กลับมาใช้งานได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะทำการประเมินสภาพของอุปกรณ์ โดยใช้ ข้อมูลทางเทคนิค การตรวจสอบพินิจด้วยสายตา และผลการทดสอบ โดยใช้วิธีการประเมินสภาพแบบ การให้น้ำหนักความสำคัญและคะแนนสภาพอุปกรณ์เพื่อหาสภาพอุปกรณ์ การให้น้ำหนักความสำคัญใช้วิธีการตัดสินใจด้วยวิธีวิเคราห์เชิงลำดับขั้นเพื่อกำหนดความสำคัญของการทดสอบอุปกรณ์ เช่น การทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์ประกอบด้วยดังนี้ การตรวจสอบด้วยสายตา การตรวจวัดกราวด์ การตรวจวัดความต้านทานฉนวนของหน้าสัมผัส การตรวจวัดค่าความสูญเสียทางฉนวน ความผิดปกติของโครงสร้าง การให้คะแนนสภาพเป็นการให้คะแนนจากสภาพจริงโดยแบ่งออกเป็น 1-3 ระดับประกอบด้วย ดี ปานกลาง และแย่ตามสภาพของแต่ละชนิดอุปกรณ์ และวิธีการทดสอบตามมาตรฐาน โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซลในการจัดฐานข้อมูลและคำนวณวิเคราะห์ห์ผลของอุปกรณ์ จำนวน 5 สถานี ผลที่ได้จากการประเมินแบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ ระดับดี ระดับปานกลาง และระดับแย่ นำไปสู่การให้ข้อแนะนำในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ 3 ระดับคือ 1. บำรุงรักษาตามปกติ 2. เพิ่มความถี่ในการซ่อมบำรุงและติดตามผลการทดสอบ 3. ต้องปรับปรุงอย่างเร่งด่วน เพื่อเพิ่มความสามารถในการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และสามารถวางแผนการบำรุงรักษาและลดค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

คำสำคัญ : เซอร์กิตเบรกเกอร์ การประเมินสภาพของอุปกรณ์

_____อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

Name : Mr.Sira Ruksnit, Mr Rittiras Kongsang
Thesis Title : 115kV Circuit Breaker Analysis for Maintenance Plan

Major Field : Electrical Engineering
Rajamangala University of Technology Phra Nakhon.
Thesis Advisor : Associate Professor Dr. Supawud Suwannasri
Academic Year : 2021

Abstract

HV power distribution system circuit breaker are important devices in substations. Such as Malfunction or deterioration of equipment with in the substation, will directing impact on the stability of the power distribution system and affect the reliability of the system. In addition, this means that it is necessary to assess the actual condition of the proper condition-based operation and maintenance. Thus, this thesis presents condition assessment procedure for equipment by using technical information visual inspection by Weighted Scoring Method. Weighting technique is used to determine important weight testing methods of devices by using Analytic Hierarchy Process (AHP). Testing methods for circuit breaker are such as visual inspection, contact timing test. Scoring technique is divided into 1-3 levels by classifying on actual evaluate equipment consisting of consisting of good, moderate, bad. This thesis proposes a software development in order to organize the database and calculate the analysis of the condition of equipment in 5 HV substations. The evaluation results will be divided into 3 levels good, medium and bad condition. According to the evaluation level, the maintenance types are separated into 1) regular maintenance 2) increase the frequency of maintenance and monitoring of the test 3) equipment must be improved urgently. Finally, abnormal incidents of equipment and cost of HV equipment maintenance can be reduced in effective way.

Keywords : Circuit Breaker, Condition Assessment

_____Advisor

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของรองศาสตราจารย์ ดร.ศุภวุฒิ เนตรโพธิ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ของการวิจัยมาโดยตลอด จึงขอขอบพระคุณที่ได้ให้การช่วยเหลือในครั้งนี้มา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบพระคุณบิดามารดาที่สนับสนุนและให้กำลังใจจนงานวิจัยสำเร็จได้ด้วยดี การศึกษาวิจัยนี้ผู้วิจัยขอน้อมบูชาพระคุณบิดามารดาและบูรพาจารย์ทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนวิชาความรู้และให้ความเมตตาแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอดและเป็นกำลังใจที่สำคัญ ทำให้การศึกษาวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ศิระ รักสนิท
ฤทธิราช กองแสง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ข

Abstrac ค

กิติกรรมประกาศ จ

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 1

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 2

1.4 วิธีการวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ของการวิจัย 2

บทที่ 2 ทฤษฎีบทและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 อุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้า 3

2.2 เกณฑ์การประเมินสภาพอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ 10

2.3 เกณฑ์ประเมินการปรับปรุงเซอร์กิตเบรกเกอร์ 20

2.4 การให้น้ำหนักความสำคัญ (Analytic Hierarchy Process : AHP) 23

2.5 การคำนวณดัชนีชี้วัดความล้มเหลวของอุปกรณ์ 28

2.6 การบริหารจัดการความเสี่ยง 31

2.7 โปรแกรม 32

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 35

3.1 การรวบรวมข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลทางเทคนิค 36

3.2 ฐานข้อมูลในโปรแกรม Microsoft Excel 40

3.3 การออกแบบหน้าต่างโปรแกรม Air Insulation Substation Condition Based Maintenance 41

บทที่ 4 ผลการวิจัย 47

4.1 ผลการประเมินสภาพเซอร์กิตเบรกเกอร์ 47

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 55

5.1 สรุปผล 55

5.2 ข้อเสนอแนะ 56

ภาคผนวก ก 60

ประวัติผู้วิจัย 63

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2-1	เกณฑ์ให้คะแนนด้วยการตรวจวัดความต้านทานหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์	12
2-2	ความต้านทานฉนวนตามมาตรฐาน ANSI/NETA ATS-2009	11
2-3	เกณฑ์ให้คะแนนด้วยการตรวจวัดความต้านทานฉนวนเซอร์กิตเบรกเกอร์	12
2-4	กณฑ์การตรวจวัดการทดสอบเวลาในการทำงาน	13
2-5	เกณฑ์ให้คะแนนความหนาแน่นและคุณภาพของก๊าซ SF_6	14
2-6	เกณฑ์ให้คะแนนการตรวจวิเคราะห์ความชื้นของก๊าซ SF_6	15
2-7	เกณฑ์ให้คะแนนเปอร์เซ็นต์ของก๊าซ SF_6	15
2-8	เกณฑ์ให้คะแนนการทดสอบความบริสุทธิ์ของก๊าซ SF_6	15
2-9	เกณฑ์ให้คะแนนปริมาณของก๊าซ SO_2	15
2-10	เกณฑ์ให้คะแนนอัตราการรั่วของแก๊ส	16
2-11	เกณฑ์ให้คะแนนการตรวจพินิจด้วยสายตาของเซอร์กิตเบรกเกอร์	19
2-12	เกณฑ์ให้คะแนนอายุและจำนวนการทำงานอุปกรณ์	21
2-13	เกณฑ์ให้คะแนนพิกัดของอุปกรณ์	21
2-14	เกณฑ์ให้คะแนนความล้าสมัยของเทคโนโลยี	22
2-15	เกณฑ์ให้คะแนนการบำรุงรักษา	22
2-16	เกณฑ์ให้คะแนนความสมควรใช้งาน	23
2-17	ตัวอย่างเมตริกซ์แบบทางเลือกคู่	26
2-18	ตัวอย่างเมตริกซ์การตัดสินใจ (จากขั้นตอนที่ 2)	26
2-19	ตัวอย่างเมตริกซ์การตัดสินใจ (จากขั้นตอนที่ 3)	27
2-20	ตัวอย่างเมตริกซ์การตัดสินใจ (จากการคำนวณ λ_{max})	27
2-21	ค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (R.I.) ตามขนาดของเมตริกซ์	28
2-22	การกำหนดช่วงของ $\%CI_{Equipment}$	31
2-23	การกำหนดช่วงของ $\%RI_{Equipment}$	31
2-24	การกำหนดช่วงของ $\%FP_{Equipment}$ ในการบริหารความเสี่ยง	32

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4-1	ตัวอย่างข้อมูลของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่นำมาคำนวณ	47
4-2	การทดสอบการตรวจวัดความต้านทานหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์	47
4-3	การทดสอบการตรวจวัดความต้านทานฉนวนเซอร์กิตเบรกเกอร์	48
4-4	การทดสอบเวลาในการทำงานเซอร์กิตเบรกเกอร์	48
4-5	การตรวจวัดความหนาแน่นและคุณภาพของก๊าซ	48
4-6	การตรวจวิเคราะห์ความชื้นของก๊าซ	48
4-7	เปอร์เซ็นต์ของก๊าซ	48
4-8	การทดสอบความบริสุทธิ์ของก๊าซ	48
4-9	ปริมาณของก๊าซ	49
4-10	อัตราการรั่วของแก๊ส	49
4-11	การตรวจพินิจด้วยสายตาเซอร์กิตเบรกเกอร์	49
4-12	การคำนวณอายุและจำนวนการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์	49
4-13	การคำนวณพิกัดของอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์	50
4-14	การคำนวณความล้าสมัยของเทคโนโลยีเซอร์กิตเบรกเกอร์	50
4-15	การคำนวณการบำรุงรักษาเซอร์กิตเบรกเกอร์	50
4-16	การคำนวณความสมควรใช้งานเซอร์กิตเบรกเกอร์	51
4-17	น้ำหนักและคะแนนแต่ละเกณฑ์เซอร์กิตเบรกเกอร์	51
4-18	ดัชนีชี้วัดความล้มเหลวของเซอร์กิตเบรกเกอร์ของสถานี AAA	52
4-19	จำนวนเซอร์กิตเบรกเกอร์แต่ละบริษัทในแต่ละ 5 สถานี	53

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2-1	โครงสร้างพื้นฐานของสถานีไฟฟ้า	3
2-2	ลักษณะของ Dead Tank Circuit Breaker [6]	4
2-3	ลักษณะของ Live Tank Circuit Breaker	5
2-4	แสดงหลักการทำงานของ Stared-Energy Spring Mechanism [7]	7
2-5	แสดงตัวอย่างกลไกการทำงานของ Hydraulic-Operated Mechanism [7]	8
2-6	แสดงตัวอย่างเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ Pneumatic-Operated Mechanism [8]	10
2-7	เครื่องมือวัดความต้านทานหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์	11
2-8	ค่าความต้านทานหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์	11
2-9	เครื่องมือวัดความความต้านทานฉนวนเซอร์กิตเบรกเกอร์	12
2-10	เครื่องตรวจวัดเวลาในการทำงานเซอร์กิตเบรกเกอร์	13
2-11	ค่าความหนาแน่นและคุณภาพของก๊าซ SF_6	14
2-12	เครื่องตรวจวิเคราะห์ความชื้นของก๊าซ SF_6 [12]	14
2-13	ตู้คอนโทรลของเซอร์กิตเบรกเกอร์	16
2-14	บริเวณโดยรอบของเซอร์กิตเบรกเกอร์	17
2-15	ระบบหล่อลื่นของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบใหม่	18
2-16	ระบบหล่อลื่นของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเก่า	18
2-17	จุดต่อสายของเซอร์กิตเบรกเกอร์	19
2-18	จุดยึดโครงสร้างของเซอร์กิตเบรกเกอร์	19
2-19	ป้ายชื่ออุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์	20
2-20	จำนวนครั้งการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์	21
2-21	โครงสร้างของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์	24
2-22	ขั้นตอนของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์	25
2-23	กระบวนการคำนวณดัชนีชี้วัดความล้มเหลวของเซอร์กิตเบรกเกอร์	30
2-24	ตัวอย่างดัชนีชี้วัดความล้มเหลวของอุปกรณ์	32
2-25	ตัวอย่างหน้าต่างของโปรแกรม Microsoft Excel	34
3-1	กระบวนการประเมินสภาพของอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์	36
3-2	ภาพ Device Code ของอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์	37
3-3	Nameplate ตู้คอลโทรลเซอร์กิตเบรกเกอร์	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-4	ภาพสเกลวัดก๊าซ SF_6	38
3-5	ภาพจำนวนครั้งการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์	38
3-6	ภาพภายในตู้คอลโทรลเซอร์กิตเบรกเกอร์	39
3-7	ภาพรวมของเซอร์กิตเบรกเกอร์	39
3-8	ตัวอย่างหน้าต่างข้อมูลทางเทคนิคของเซอร์กิตเบรกเกอร์	40
3-9	แผนผังการออกแบบโปรแกรมประเมินเซอร์กิตเบรกเกอร์	41
3-10	ตัวอย่างหน้าต่างหลักของเซอร์กิตเบรกเกอร์	42
3-11	หน้าต่างข้อมูลทางเทคนิคของเซอร์กิตเบรกเกอร์	42
3-12	หน้าต่างผลการทดสอบความต้านทานหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์	44
3-13	หน้าต่างผลการทดสอบความต้านทานฉนวนของเซอร์กิตเบรกเกอร์	44
3-14	หน้าต่างผลการทดสอบเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์	44
3-15	หน้าต่างผลการทดสอบความหนาแน่นและคุณภาพของก๊าซ SF_6	45
3-16	หน้าต่างผลการทดสอบ SF_6 Quality	45
3-17	หน้าต่างผลการทดสอบอัตราการรั่วของแก๊สของเซอร์กิตเบรกเกอร์	45
3-18	หน้าต่างผลการทดสอบการตรวจพินิจด้วยสายตาของเซอร์กิตเบรกเกอร์	46
3-19	ตัวอย่างผลลัพธ์ดัชนีเชิงสภาพของอุปกรณ์ และดัชนีความต้องการปรับปรุงอุปกรณ์	46
3-20	ตัวอย่างผลลัพธ์จากการประเมินอัตราการล้มเหลวของอุปกรณ์ (*%FP*)	46
4-1	กราฟความล้มเหลวของเซอร์กิตเบรกเกอร์ใน 5 สถานี	52

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังของประเทศไทยได้มีการขยายตัวและพัฒนามาอย่างต่อเนื่องตามความต้องการการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นทั้งในภาคอุตสาหกรรมและพาณิชยกรรม ทำให้ระบบไฟฟ้ากำลังต้องมีประสิทธิภาพและความเชื่อมั่นสูง มีความยืดหยุ่นในการทำงาน และมีการบำรุงรักษาอุปกรณ์สถานีไฟฟ้าเป็นประจำเพื่อจัดการกับความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นและลดต้นทุนค่าใช้จ่ายและเพื่อลดความเสี่ยงของความเสียหายต่อทรัพย์สินและเพื่อเพิ่มความปลอดภัยและความน่าเชื่อถือของสถานีไฟฟ้าโดยทั่วไปสถานีไฟฟ้ามีความสำคัญในการจ่ายกระแสไฟฟ้า [1] มีอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ทำงานร่วมกันในสถานีไฟฟ้าเช่นอุปกรณ์ที่สำคัญได้แก่ เซอร์กิตเบรกเกอร์ หม้อแปลงกระแส หม้อแปลงแรงดันไฟฟ้าและอุปกรณ์ป้องกันไฟกระชาก ฯลฯ การประเมินสภาพสำหรับสถานีไฟฟ้าทั้งหมดเป็นงานที่ซับซ้อนเนื่องจากสภาพอุปกรณ์ทั้งหมดมีอัตราการเสื่อมสภาพที่แตกต่างกันทุกปีและสาเหตุของการเสื่อมสภาพที่แตกต่างกันนั้นมาจากหลายปัจจัยตัวอย่าง [2] อายุ ผู้ผลิต รุ่น การใช้ประโยชน์ ตำแหน่งที่ติดตั้ง ความเครียดในการใช้งาน ระดับการบำรุงรักษา

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงเลือกอุปกรณ์ที่สำคัญมาประเมินสภาพได้แก่ เซอร์กิตเบรกเกอร์นับเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในสถานีไฟฟ้าทำหน้าที่ตัดต่อวงจรเมื่อเกิดการขัดข้องหรือเกิดความความผิดปกติทางระบบไฟฟ้าซึ่งหากเซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่สามารถทำงานได้ทันท่วงทีจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อเสถียรภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลังมีผลต่อความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า โดยใช้วิธีการประเมินความสำคัญจาก ข้อมูลทางเทคนิคและผลการทดสอบ โดยใช้วิธีการประเมินสภาพแบบการให้น้ำหนักความสำคัญและคะแนนสภาพอุปกรณ์เพื่อหาสภาพอุปกรณ์ [3] การให้น้ำหนักความสำคัญใช้วิธีการตัดสินใจด้วยวิธีวิเคราห์เชิงลำดับขั้นเพื่อกำหนดความสำคัญของการทดสอบอุปกรณ์ เช่น การทดสอบเซอร์กิตเบรกเกอร์ประกอบด้วยดังนี้ [4] การตรวจสอบด้วยสายตา การตรวจวัดความต้านทานฉนวนของหน้าสัมผัส การตรวจวัดค่าความสูญเสียทางฉนวน ความผิดปกติของโครงสร้าง การให้คะแนนสภาพเป็นการให้คะแนนจากสภาพจริงโดยแบ่งออกเป็น 1-5 ระดับประกอบด้วย ดีมาก ดี ปานกลาง พอใช้และแย่ตามสภาพของแต่ละชนิดอุปกรณ์ และวิธีการทดสอบตามมาตรฐานและประสบการณ์ของผู้ประเมิน โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซลในการจัดฐานข้อมูลและคำนวณวิเคราะห์ห์ผลการประเมินสภาพของ เซอร์กิตเบรกเกอร์ จำนวน 5 สถานี ผลที่ได้แบ่งออกเป็น 3 ระดับคือ ระดับดี ระดับปานกลาง และระดับแย่

จากความสำคัญการประเมินสภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์ นำไปสู่ข้อแนะนำในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ 3 ระดับคือ 1.บำรุงรักษาตามปกติ 2.เพิ่มความถี่ในการซ่อมบำรุงและติดตามผลการทดสอบ 3.ต้องปรับปรุงอย่างเร่งด่วนและสามารถวางแผนการบำรุงรักษาและการบริหารความเสี่ยงและลดค่าใช้จ่ายของอุปกรณ์ในระบบได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อกำหนดเกณฑ์ประเมินสภาพของแต่ละอุปกรณ์ที่มีผลต่อเซอร์กิตเบรกเกอร์

1.2.2 เพื่อประเมินสภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์

1.2.3 เพื่อได้ระบบประเมินสภาพที่สะดวกและง่ายต่อผู้ใช้งาน อีกทั้งยังช่วยในการวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาและประเมินความเสี่ยงที่อาจจะเกิดขึ้น

1.2.4 เพื่อสร้างฐานข้อมูลสำหรับการประเมินสภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยการประเมินจากสภาพของอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 รวบรวมข้อมูลสำคัญของข้อมูลส่วนกลางที่จำเป็นต้องใช้ในการประเมินสภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์ 5 สถานีไฟฟ้า

1.3.2 กำหนดเกณฑ์การประเมินสภาพระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง เซอร์กิตเบรกเกอร์

1.3.3 จัดทำฐานข้อมูลเพื่อใช้เก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลสภาพของอุปกรณ์ที่ทำการสำรวจตรวจวัดของระบบจำหน่ายไฟฟ้าเพื่อใช้ในการประเมิน

1.3.4 ทดลองประเมินสภาพอุปกรณ์ 5 สถานีไฟฟ้า และนำเสนอออกมาในรูปแบบของกราฟและสรุปผลของการประเมินสภาพ

1.4 วิธีการวิจัย

1.4.1 จัดกลุ่มอุปกรณ์หลักของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

1.4.2 รวบรวมข้อมูลสำคัญที่จำเป็นต้องใช้ในการประเมินสภาพอุปกรณ์ของระบบจำหน่ายไฟฟ้า

1.4.3 กำหนดเกณฑ์การประเมินสภาพและค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

1.4.4 วิเคราะห์ห์สภาพของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้งานผ่านโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซล

1.4.5 วิเคราะห์ห์สภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้าโดยใช้งานผ่านโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซล

1.4.6 สรุปผลและจัดทำรายงาน

1.5 ประโยชน์ของการวิจัย

1.5.1 ได้ระบบการประเมินสภาพอุปกรณ์ของระบบจำหน่ายไฟฟ้าที่ง่าย และสะดวกต่อผู้ใช้งานและยังช่วยวางแผนการปฏิบัติงานในการซ่อมแซมและการบำรุงรักษา

1.5.2 ได้ระบบฐานข้อมูลที่รวบรวมข้อมูลอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ ของระบบสถานีไฟฟ้า

1.5.3 รวบรวมผลการตรวจประเมินสภาพและประวัติการซ่อมบำรุง เพื่อเป็นแนวทางในการจัดการการบำรุงรักษาเชิงสภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้าในอนาคตต่อไป

1.5.4 เพื่อพัฒนาการบริหารจัดการความของสถานีไฟฟ้า ที่ทันสมัยและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

บทที่ 2
ทฤษฎีบทและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะอธิบายทฤษฎีสำหรับขั้นตอนประเมินสภาพเซอร์กิตเบรกเกอร์ ในสถานีไฟฟ้าระบบจำหน่าย และได้มีการศึกษาค้นคว้าข้อมูลจากเอกสารต่าง ๆ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์และรายละเอียดขององค์ประกอบพื้นฐานและฟังก์ชั่นของอุปกรณ์ จากนั้นจะอธิบายกระบวนการประเมินประสภาพของอุปกรณ์ ซึ่งประกอบด้วยวิธีการให้คะแนนแบบถ่วงน้ำหนัก (WSM) และกระบวนการวิเคราะห์ห์ลำดับขั้น (AHP) จะแสดงให้เห็นถึงลำดับความสำคัญของการทำงานของอุปกรณ์หลักตามเกณฑ์ เช่น อายุ ความเครียด อาการเสีย ความล้าสมัย สภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อความเสียหายกับความปลอดภัย การคำนวณหาดัชนีชี้วัดความน่าจะล้มเหลวของเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยใช้โปรแกรมไมโครซอฟท์เอ็กเซล ตามลำดับ

2.1 อุปกรณ์ภายในสถานีไฟฟ้า

หน้าที่หลักของสถานีไฟฟ้านั้นนอกจากจะเป็นสถานที่ควบคุมวงจรการจ่ายไฟฟ้าแปลงค่าระดับแรงดันไฟฟ้าให้สูงขึ้นหรือลดลงแล้วยังอาจจะต้องทำหน้าที่ควบคุมระดับแรงดันไฟฟ้าให้อยู่ในระดับที่กำหนดรวมทั้งการปรับปรุงระบบไฟฟ้าโดยช่วยชดเชยค่ากำลังไฟฟ้าเสมือน (MVA) ให้กับระบบไฟฟ้าอีกด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าที่อยู่ในลานไกของสถานีไฟฟ้าที่สำคัญคือ Circuit Breaker, Disconnecting Switch, Earthing Switch, Power Transformer, Capacitor Bank, Reactor และ Surge Arrester สำหรับระบบควบคุมและป้องกันไฟฟ้าจะถูกติดตั้งในอาคารควบคุมที่อยู่ใกล้กับลานไกของสถานีไฟฟ้า [5] ด้วย โดยโครงสร้างพื้นฐานของสถานีไฟฟ้าแสดงในภาพที่ 2–1

ภาพที่ 0-1 โครงสร้างพื้นฐานของสถานีไฟฟ้า

ความปลอดภัยในการทำงานของระบบไฟฟ้ากำลังจะขึ้นอยู่กับการทำงานของอุปกรณ์สวิตช์เกียร์ (Switchgear Equipment) ซึ่งจะช่วยทำหน้าที่ปลดวงจรโดยอัตโนมัติอย่างรวดเร็วในกรณีที่เกิดฟอลต์หรือช่วยต่อและปลดวงจรตามคำสั่งของผู้ควบคุมระบบไฟฟ้าเพื่อการจ่ายไฟฟ้าตามปกติ ส่วนการรักษาระดับแรงดันไฟฟ้าให้มีเสถียรภาพจะต้องใช้อุปกรณ์เสริมอย่าง เช่น Tap-Changer Transformer, Shunt Capacitor Bank, Static Var Compensator (SVC) และ Shunt Reactor

เป็นต้น จากภาพที่ 2–1 จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้ามีอยู่หลายอุปกรณ์ด้วยกัน ในงานวิจัยนี้จึงเลือกอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์มาประเมินสภาพ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในสถานีไฟฟ้า

2.1.1 เซอร์กิตเบรกเกอร์ (Power Circuit Breaker)

เซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นอุปกรณ์สำหรับทำหน้าที่สับปลด (Trip) และสับต่อ (Close) วงจรไฟฟ้าทั้งในสภาวะการทำงานปกติ (Normal Operation) และในขณะที่เกิดการลัดวงจรในระบบไฟฟ้า (Fault Condition) สำหรับสภาวะปกติเซอร์กิตเบรกเกอร์จะทำหน้าที่เริ่มจ่ายกระแสไฟฟ้า (Energize) ให้กันวงจรไฟฟ้าหรือจะทำหน้าที่หยุดการจ่ายกระแสไฟฟ้า (De-Energize) ในวงจรไฟฟ้าอย่างเช่นสายส่งไฟฟ้าหม้อแปลงไฟฟ้าและคาปาซิเตอร์เป็นต้นแต่เมื่อเกิดไฟฟ้าลัดวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์จะต้องทำหน้าที่ปลดวงจรที่เกิดปัญหาออกจากระบบซึ่งอาจจะมีค่ากระแสไฟฟ้าปริมาณสูงมากไหลผ่านเพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อผู้ใช้ไฟฟ้าและช่วยหยุดยั้งความเสียหายที่กำลังเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้าส่วนระบบไฟฟ้าส่วนที่ไม่มีฟอลต์เกิดขึ้น (Healthy System) ก็ยังสามารถจ่ายไฟฟ้าต่อไปได้สาเหตุของการลัดวงจรสามารถจะเกิดจากหลายสาเหตุเช่นการเกิดอุบัติเหตุการเสื่อมสภาพของฉนวนไฟฟ้าอุปกรณ์ไฟฟ้าชำรุดการเกิดฟ้าผ่าและการใช้ไฟฟ้าเกิน (Overload) เป็นช่วงเวลานาน ๆ เป็นต้น เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ในระบบไฟฟ้าแรงสูงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

ภาพที่ 0-2 ลักษณะของ Dead Tank Circuit Breaker [6]

2.1.1.1 Dead Tank Circuit Breaker คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีการออกแบบให้ชุด Interrupter บรรจุอยู่ในถังโลหะ (Metal Housing) ซึ่งมีการต่อลงกราวด์ทำให้มีค่าศักย์ไฟฟ้าเท่ากับพื้นดินเสมอ โดยภายในถังโลหะจะบรรจุสารซึ่งทำหน้าที่เป็นฉนวนไฟฟ้าซึ่งดีกว่าอากาศมาก เช่น Mineral Oil หรือก๊าซ SF6 เป็นต้นทำหน้าที่ขวางกั้นหน้าสัมผัส (Contact) ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีระดับแรงดันสูงมากกับโครงสร้างโลหะที่ต่อกราวด์นั้นและจะมีการต่อ High Voltage Terminal จากชุด Interrupter ผ่านถังโลหะของเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยใช้ Bushing ที่เป็น Porcelain หรือ Composite Material ดังแสดงในภาพที่ 2-2

2.1.1.2 Live Tank Circuit Breaker คือ เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มี Interrupter บรรจุอยู่ในฉนวนไฟฟ้าเช่น Porcelain หรือ Composite Material เป็นต้น เนื่องจากโครงสร้างภายในของ (Interrupter Chamber) ต้องต่อโดยตรงกับระบบไฟฟ้าที่มีแรงดันไฟฟ้าสูงจึงจำเป็นจะต้องวางอยู่บนฉนวนไฟฟ้า (Insulator Column) และความยาวของฉนวนจะขึ้นอยู่กับค่าระดับแรงดันไฟฟ้าตามการใช้งานด้วย ดังแสดงในภาพที่ 2-3

ภาพที่ 0-3 ลักษณะของ Live Tank Circuit Breaker

ในการสับปลดวงจร (Trip) ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ในระบบไฟฟ้าแรงสูงเมื่อหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์กำลังเปิดออกจะเกิดกระแสอาร์ก (Arcing Current) ที่รุนแรงมากและจะทำให้เกิดความเสียหายกับหน้าสัมผัสนั้นดังนั้นกลไกการปลกแยกวงจร (Operating Mechanism) จะต้องสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วที่สุด พร้อมทั้งจะต้องกลไกการดับอาร์กที่เกิดขึ้นไปพร้อม ๆ กันด้วย ขั้นตอนการสับวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์ จะเริ่มจากรีเลย์ป้องกันซึ่งตรวจพบฟอลต์ในระบบไฟฟ้า และส่งสัญญาณเพื่อให้ปลดวงจร (Trip Signal) ไปที่ Trip Coil ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ทำให้ระบบกลไกการปลดวรจรทำงานโดยใช้พลังงานทางกลบังคับให้ชุด Interrupter ทำการเปิดวงจรไฟฟ้า

2.1.1.3 กลไกการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Circuit Breaker's Operating Mechanism) การทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ทุกชนิดจะใช้อุปกรณ์ทางกล-ไฟฟ้า (Electromechanical Device) เพื่อช่วยในการควบคุม Current Interruption ซึ่งมีส่วนประกอบเป็นชุดหน้าสัมผัส (2 Contacts) หนึ่งหรือสองชุด เพื่อใช้สับปลด (Break) หรือสับต่อ (Make) วงจรไฟฟ้ากลไกการควบคุมจะมีทั้งแบบ m และ Pneumatical Mechanism หรืออาจเพื่อใช้สับปลด (Break) หรือสับต่อ (Make) วงจรไฟฟ้ากลไกการควบคุม Stored Energy Spring Mechanism, Hydraulic Mechanism และ Pneumatic Mechanism หรืออาจมีกลไกหลายระบบร่วมกันก็ได้ขณะที่หน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานจะเกิดการอาร์ก (Electric Arc) ขึ้นซึ่งจะทำให้หน้าสัมผัสเสียหายเนื่องจากเกิดความร้อนสูง การปลดแยกวรจรจึงทำได้ช้าลงเนื่องจากกระแสไฟฟ้ายังคงไหลข้ามผ่านอากาศไปได้ ดังนั้นภายใน Interrupting Chamber ของเซอร์กิตเบรก

เกอร์ จึงได้ถูกบรรจุ Interrupting Medium เพื่อให้สามารถช่วยดับอาร์กที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ในระบบไฟฟ้าแรงสูงสามารถแบ่งตามการใช้ Interrupting Medium ได้เป็น 4 ชนิดคือ

2.1.1.3.1 Oil Circuit Breaker เป็นเทคโนโลยีเริ่มแรกของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ในระบบไฟฟ้าแรงสูงเนื่องจากน้ำมัน (Mineral Oil) มีค่า Dielectric Strength ที่สูงมากจึงสามารถถูกใช้เพื่อการดับอาร์กและเป็นฉนวนกั้นหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไปในตัวความร้อนที่เกิดขึ้นจากการดับอาร์กอาจจะทำให้โมเลกุลของน้ำมันแตกตัว (Decompose) จนเกิดฟองก๊าซและทำให้เกิดแรงดันสูงขึ้นเมื่อน้ำมันขยายตัวจะทำให้เกิดการไหลของน้ำมันผ่านหน้าสัมผัสมากขึ้นช่วยให้ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการอาร์กกระจายตัวออกไปอย่างรวดเร็ว เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้มักจะนิยมใช้ในระบบไฟฟ้าที่มีระดับแรงดันต่ำกว่า 115 kV เนื่องจากน้ำมันที่บรรจุอยู่ในเซอร์กิตเบรกเกอร์สามารถจุดติดไฟได้หากเกิดการระเบิดขึ้นอย่างไรก็ตามได้มีการออกแบบ Oil Circuit Breaker แบบที่ใช้น้ำมันปริมาณเพียงเล็กน้อยเพื่อการดับอาร์ก (Minimum Oil Extinction)

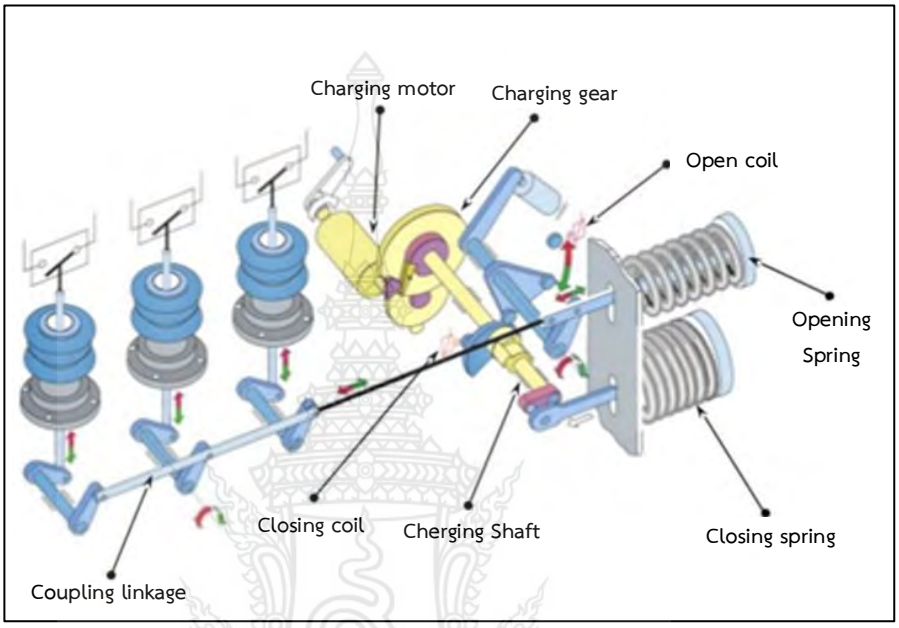
2.1.1.3.2 Air-Blast Circuit Breaker จะใช้การอัดอากาศเก็บไว้ใน Reservoir Tank เมื่อสับเปิดวงจรและมีอาร์กเกิดขึ้นที่หน้าสัมผัสที่อยู่ภายใน Pressure Chamber ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ในทันที Contact เริ่มแยกออกจากกันจะมีกลไกควบคุมการเปิดวาล์วเพื่อพ่นลมที่มีแรงดันสูงออกมาเพื่อดับอาร์กที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วลมที่ใช้ดับอาร์กจะถูกปล่อยผ่าน Expansion Valve ก่อนปล่อยทิ้งออกมาสู่บรรยากาศภายนอก เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้สามารถออกแบบเพื่อใช้ในระบบไฟฟ้าที่มีระดมแรงดันสูงพิเศษได้แต่ไม่ได้รับความนิยมใช้กันมากนัก

2.1.1.3.3 Vacuum Circuit Breaker เป็นเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้สูญญากาศเป็นฉนวนระหว่างหน้าสัมผัสทำให้มี Dielectric Strength ที่สูงกว่าการใช้ฉนวนชนิดอื่น ๆ ระยะห่างของหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์เพียงเล็กน้อยจึงเพียงพอที่จะสามารถทนค่าไฟฟ้าแรงดันสูงได้ด้วยเหตุนี้จึงใช้การขับเคลื่อน Moving Contact น้อยกว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบอื่นในขณะที่หน้าสัมผัสแยกออกจากกัน Metal Vapor Arc Discharge ระหว่างผิวของหน้าสัมผัส (Contact Surfaces) ซึ่งจะทำให้กวาง Laces) ซึ่งจะทำให้กระแสไฟฟ้ายังคงไหลผ่านหน้าสัมผัสได้ แต่เมื่อรูปคลื่นกระแสไฟฟ้าผ่านต่ำแหน่งศูนย์ อาร์กจะดับลงอย่างรวดเร็ว ขณะที่ Metal Vapor จะควบแน่นกลับกลายเป็นของแข็ง จึงทำให้เกิดสภาพเป็นสูญญากาศเช่นเดิมปัจจุบันนี้เซอร์กิตเบรกเกอร์แบบนี้จะนิยมใช้ในระดับแรงดันไฟฟ้าปานกลางเท่านั้น

2.1.1.3.4 SF_6 Circuit Breaker จะมีกลไกการดับอาร์กคล้ายกับ Air-Blast Circuit Breaker แต่ใช้ก๊าซ Sulfur Hexafluoride ซึ่งเป็น Interrupting Medium แทนการใช้อากาศเพราะมีประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็วและเป็นฉนวนไฟฟ้าที่ดีมากกว่าอากาศ เซอร์กิตเบรกเกอร์ชนิดนี้สามารถออกแบบเพื่อใช้ในระบบไฟฟ้าที่มีระดับแรงดันหลายระดับตั้งแต่ระดับ Medium Voltage จนถึงระดับ Extra High Voltage และได้รับความนิยมใช้กันมากทั่วโลก

จากที่กล่าวมาแล้วว่าการสับปลดหรือสับต่อวงจรของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะต้องกระทำอย่างรวดเร็วที่สุด ดังนั้นกลไกในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ในระบบไฟฟ้าแรงสูงจึงจะต้องถูกออกแบบมาเป็นพิเศษ โดยทั่วไปผู้ผลิตเซอร์กิตเบรกเกอร์จะเลือกลักษณะกลไกการทำงานใน 3 รูปแบบคือ

2.1.1.3.5 Spring-Operated Mechanism เป็นกลไกการสะสมพลังงานกลในสปริง (Store Energy Spring) เพื่อใช้ผลักหรือดึง Moving Contact ใน Interrupting Chamber ของเซอร์กิตเบรกเกอร์สำหรับการควบคุม [7] คุมการสับปลดวงจร (Open Circuit) และการสับต่อวงจร (Close Circuit) โดยมีหลักการทำงานดังนี้



ภาพที่ 0-4 แสดงหลักการทำงานของ Stared-Energy Spring Mechanism [7]

กลไกการสับต่อวงจร (Closing Operation) ดังแสดงในภาพที่ 2-4 เริ่มจากมีสัญญาณ Close Command เข้ามาที่ Closing Coil (Solenoid) จะทำให้ Closing Latch ปล่อย Driver Lever ทำให้ Closing Spring ขับหมุน Main Shaft และดึงกลไกให้ Connecting Rod ไปขับกลไก Contact ของเซอร์กิตเบรกเกอร์อีกทอดหนึ่ง ในขณะเดียวกันก็จะไปอัดแรง (Charge) ให้กับสปริงสำหรับสับปลดวงจร (Opening Spring) เพื่อเตรียมไว้สำหรับการสับปลดวงจร และจะมี Opening Latch คอยจับล็อก Closing Lever เอาไว้

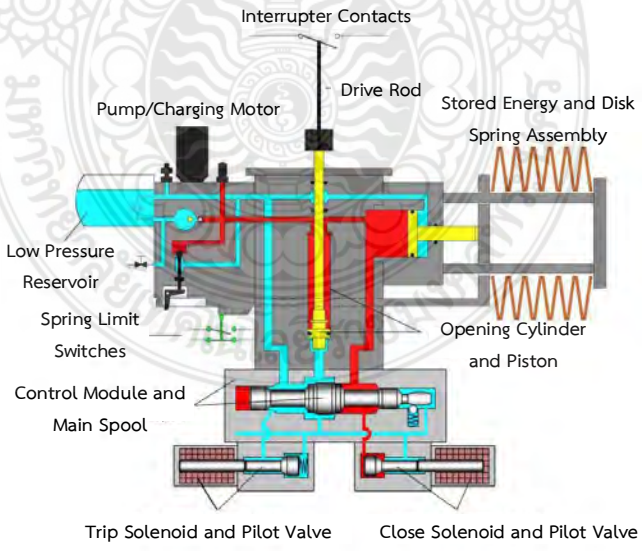
เมื่อ Closing Spring ปลดปล่อยพลังงานออกมาจนหมดแล้วจะทำให้ Limit Switch ต่อวงจรป้อนไฟฟ้าให้กับมอเตอร์เพื่อเริ่มขับหมุนและอัดแรงให้กับ Closing Spring อีกครั้งโดยอัตโนมัติทำให้การอัดแรงให้ Closing Spring จะใช้เวลาไม่เกิน 15 วินาที ทันทีที่การอัดแรงสปริงเสร็จสมบรูณ์ Limit Switch จะตัดวงจรไฟฟ้า และจะมี Closing Latch ช่วยขัดล็อก Driver Lever ให้อยู่กับที่

กลไกการสับปลดวงจร (Opening Operation) จะเริ่มจากมีสัญญาณ Open Command เข้ามาที่ Opening Coil (Solenoid) และจะทำให้ Opening Latch ปล่อย Closing Lever ขณะเดียวกัน Opening Spring จะช่วยดึง Connecting Rod เพื่อไปขับดันกลไกการสับเปิด Contact ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ หากมีการสับต่อวงจรกลับ (Reclose) อีกครั้งอย่างรวดเร็ว โดยรอเวลา Dead Time เพียง 0.3 วินาที หรือนานกว่านั้น เพื่อรอให้อากาศที่เกิด lionization ณ จุดที่เกิดฟอลต์สลายตัวไปก่อน การสับต่อวงจรกลับจะทำให้เกิดการอัดแรงให้กับ Opening Spring อีกครั้ง ดังนั้น ถ้าฟอลต์ยังคงอยู่ในระบบไฟฟ้า เซอร์กิตเบรกเกอร์จะสามารถสับปลดวงจรได้ทันที และ

จากนั้นจะต้องใช้เวลาอีกประมาณ 3 นาที เพื่อรอให้ Operating Mechanism และ Interrupting Mechanism พร้อมทำงานอีกครั้ง

ข้อดีของระบบกลไกสปริงก็คือ มีความแข็งแรงทนทาน การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไม่ค่อยมีผลต่อกลไกการทำงาน และในกรณีที่มอเตอร์ไม่สามารถทำงานได้เราสามารถใช้มือขับหมุน (Hand Crank) เพื่อทำการ Charge สปริงสำหรับสับต่อวงจร (Closing Spring) ได้ แต่มีข้อเสียคือ ข้อจำกัดของกลไกการสะสมพลังงาน ทำให้ไม่สามารถ Close-Open ได้อย่างต่อเนื่อง เพราะจะต้องใช้เวลาในการอัดแรง Closing Spring ใหม่ทุกครั้ง หลังจากสับต่อวงจรเซอร์กิตเบรกเกอร์ ดังนั้น หากต้องการการสับต่อวงจรกลับหลาย ๆ ครั้งจะต้องให้มีค่า Dead Time มากกว่า Charging Time

2.1.1.3.6 Hydraulic-Operated Mechanism เป็นกลไกการสะสมพลังงานกลในลูกสูบน้ำมันไฮดรอลิกแรงดันสูง ที่ใช้สำหรับผลักหรือดึง Moving Contact ของเซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อควบคุมการสับปลดวงจร (Open Circuit) และการสับต่อวงจร (Close Circuit) โดยมีหลักการทำงานคือ ดังแสดงในภาพที่ 2-5 กลไกการปิดวงจร (Closing Operation) เริ่มจาก Hydraulic Pump จะสูบน้ำมันจาก Oil Tank ไปเก็บสะสมไว้ใน Hydraulic Storage Cylinder และทำให้เกิดไนโตรเจน (Nitrogen Gas Accumulator) ที่อยู่ด้านในจนมีความดันประมาณ 300-400 bar เมื่อมีสัญญาณ Close Command เข้ามาที่ Closing Coil (Solenoid) จะทำให้วาล์ว (Hydraulic Valve) เปิดทำให้น้ำมันไฮดรอลิกที่มีแรงดันสูงไหลผ่านวาล์วเข้าไปด้านท้ายของลูกสูบ และจะผลัก Breaker Actuating Shaft จนไปขับกลไกการสับต่อ Contact เซอร์กิตเบรกเกอร์อีกทอดหนึ่ง เนื่องจากระบบน้ำมันไฮดรอลิกนี้สามารถสะสมพลังงานได้มาก จึงทำให้ปลดปล่อยพลังงานออกมาเพื่อการสับต่อวงจรได้หลายครั้ง และเมื่อความดันของน้ำมันไฮดรอลิกลดลงถึงระดับที่ตั้งค่าไว้มอเตอร์ปั๊มก็จะเริ่มทำงานเพื่ออัดน้ำมันไฮดรอลิก Storage Cylinder อีกครั้ง



ภาพที่ 0-5 แสดงตัวอย่างกลไกการทำงานของ Hydraulic-Operated Mechanism [7]

กลไกการเปิดวงจร (Opening Operation) เริ่มจากมีสัญญาณ Open Command เข้ามาที่ Opening Coil (Solenoid) ซึ่งจะทำให้วาล์วเปิดให้น้ำมันไฮดรอลิกที่อยู่ด้านท้ายกระบอกสูบไหล

กลับเข้า Oil Tank และทำให้ Breaker Actuating Shaft ถูกผลักกลับไปอยู่ในตำแหน่งเดิม โดยจะดึงกลไกการสับเปิด Contact ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ด้วย

ข้อดีของระบบกลไกแบบไฮดรอลิกก็คือ มีการสึกหรอต่ำ สามารถทำงาน (Close-Open) ได้หลายครั้ง ก่อนที่จะต้องมีการสะสมพลังงานใหม่ แต่ถ้าเกิดการรั่วไหลของน้ำมันจะทำให้ Hydraulic Pump ต้องทำงานอย่างหนักเพื่อรักษาระดับความดันน้ำมันไว้ และถ้าน้ำมันรั่วไหลไปมากก็อาจจะทำให้ Contact ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่สามารถคงอยู่ในสถานะ Close ได้ต่อไป

2.1.1.3.7 Pneumatic-Operated Mechanism เป็นระบบกลไกการทำงานที่เหมาะกับ Air-Blast Circuit Breaker เนื่องจากจะต้องใช้ลมที่มีแรงดันสูงสำหรับการดับอาร์กอยู่แล้ว ระบบกลไกแบบนิวเมติกนี้จะมีลักษณะการทำงานคล้ายกันกับแบบ Hydraulic-Operated Mechanism แต่เปลี่ยนจากการใช้น้ำมันเป็นการสะสมพลังงานโดยใช้การอัดอากาศ (Compressed Air) เข้าไปเก็บไว้ในถังเก็บลม (Air Reservoir) ดังแสดงในภาพที่ 2-6 และจะใช้ Solenoid Valves เพื่อปล่อยลมให้ไหลเข้าสู่ Actuating Cylinder เพื่อผลัก Moving Contact ของเซอร์กิตเบรกเกอร์ในการควบคุมการสับปลดวงจร (Open Circuit) และการสับต่อวงจร (Close Circuit) ข้อดีของระบบกลไกแบบนิวเมติกก็คือ สามารถทำงาน (Close-Open) ได้หลายครั้ง

ก่อนที่จะต้องมีการสะสมพลังงานใหม่ แต่มีข้อเสียหลายประการคือ เมื่อเกิดการรั่วไหลของลมหรือค่าความดันอากาศมีการเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ จะทำให้ Compressor ต้องทำงานหนักมากขึ้นเพื่อรักษาระดับความดันอากาศเอาไว้ และเมื่อเกิดความเปียกชื้นขึ้นจะทำให้ถังลมเกิดการผุกร่อนได้ง่ายในปัจจุบันกลไกแบบนี้จึงไม่ค่อยได้รับความนิยมใช้มากนัก กลไกการทำงานในแต่ละแบบจะมีทั้งข้อดีและข้อด้อย จึงพยายามพัฒนาระบบกลไกที่ดีขึ้นโดยรวมคุณสมบัติที่ดีของกลไกระบบต่าง ๆ มาใช้ร่วมกันได้ เช่น การสับต่อวงจร (Close) ด้วยกลไกไฮดรอลิกและสันเปิดวงจร (Open) ด้วยกลไกสปริงหรือการสับต่อวงจรด้วยกลไกสปริงและสับเปิดวงจรด้วยกลไกนิวเมติก เป็นต้น [8]

ภาพที่ 0-6 แสดงตัวอย่างเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้ Pneumatic-Operated Mechanism [8]

2.2 เกณฑ์การประเมินสภาพอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์

การประเมินสภาพเซอร์กิตเบรกเกอร์ ในการประเมินสภาพเซอร์กิตเบรกเกอร์ มีการทดสอบทางไฟฟ้าเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่สำคัญสำหรับการประเมินสภาพ โดยการทดสอบที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย และมีเกณฑ์การประเมินสภาพประกอบด้วย แย่ (5) ปานกลาง (3) และดี (0) ตามลำดับ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ [10]

2.2.1 การตรวจวัดความต้านทานหน้าสัมผัส (Main Contact Resistance Test) การทดสอบวิธีนี้เป็นการทดสอบคุณภาพของหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยใช้ Digital Low Resistance Ohmmeter แสดงดังภาพที่ 2-11 จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงได้สูง และวัดความต้านทานได้ละเอียดถึงไมโครโอห์ม โดยทำการวัดความต้านทานระหว่างขั้วต่อด้านไฟฟ้าเข้า (Line Terminals) กับขั้วต่อด้านไฟออก (Load Terminals) ในขณะที่อุปกรณ์อยู่ในตำแหน่งปิดวงจร (Closed) ค่าความต้านทานที่วัดได้ในแต่ละขั้วของเซอร์กิตเบรกเกอร์ควรมีค่าต่ำที่สุดและไม่ควรมีค่าแตกต่างกันเกินกว่า 50% ไม่เช่นนั้นจำเป็นต้องตรวจสอบ และเมื่อทำการวัดออกมาจะแสดงค่าความต้านทานหน้าสัมผัสแสดงดังภาพที่ 2-12 และมีเกณฑ์ให้คะแนนการวัดความต้านทานหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์ แสดงในตารางที่ 2-1

ภาพที่ 0-7 เครื่องมือวัดความต้านทานหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์

ภาพที่ 0-8 ค่าความต้านทานหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์

ตารางที่ 0-1 เกณฑ์ให้คะแนนด้วยการตรวจวัดความต้านทานหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์

วิธีการทดสอบ	เกณฑ์การให้คะแนน		
	ดี (0)	ปานกลาง (3)	แย่ (5)
หน้าสัมผัสเฟส A	< 200 µOhm	-	> 200 µOhm
หน้าสัมผัสเฟส B	< 200 µOhm	-	> 200 µOhm
หน้าสัมผัสเฟส C	< 200 µOhm	-	> 200 µOhm

2.2.2 การตรวจวัดความต้านทานฉนวน (Insulation Resistance Test) ในการทดสอบค่าความต้านทานฉนวนเราจะมีการกำหนดค่าแรงดันทดสอบ ซึ่งแรงดันทดสอบนี้เราจะเลือกให้เหมาะสมกับแรงดันที่ใช้งานจริง โดยปกติจะเลือกแรงดันทดสอบอยู่ที่ประมาณ 2 เท่า ของแรงดันที่ใช้งาน เมื่อเลือกแรงดันทดสอบได้แล้วก็ทำการทดสอบค่าฉนวนไฟฟ้า แล้วค่าฉนวนไฟฟ้าต้องมีค่าเท่าไรถึงแสดงว่าอุปกรณ์ไฟฟ้ามีสภาพสมบูรณ์พร้อมใช้งาน ตามมาตรฐาน IEC 60364-6 และ ANSI/NETA ATS-2009 มาตรฐานสากลด้านการติดตั้งไฟฟ้าในอาคาร ได้กำหนดค่าต่ำสุดของค่าความต้านทานฉนวนไว้ หากค่าที่ทำการทดสอบมีค่าน้อยกว่าที่กำหนดแสดงว่าอุปกรณ์นั้นไม่มีความปลอดภัยในการใช้งาน

เมื่อทำการวัดออกมาจะแสดงค่าความต้านทานฉนวน และมีเกณฑ์ให้คะแนนความต้านทานฉนวนเซอร์กิตเบรกเกอร์ แสดงในตารางที่ 2-3 [10]

ตารางที่ 0-2 ความต้านทานฉนวนตามมาตรฐาน ANSI/NETA ATS-2009

ระบบแรงดันใช้งานปกติ (V_{AC})	แรงดันทดสอบ (V_{DC})	ค่าต่ำสุดของค่าความต้านทานฉนวน
250	500	0.25 MΩ
600	1,000	0.5 MΩ
1,000	1,000	0.5 MΩ
2,500	1,000	1 MΩ
5,000	2,500	1 MΩ
8,000	2,500	2 MΩ
15,000	2,500	5 MΩ
25,000	5,000	5 MΩ
> 34,000	15,000	10 MΩ

ภาพที่ 0-7 เครื่องมือวัดความความต้านทานฉนวนเซอร์กิตเบรกเกอร์

ตารางที่ 0-3 เกณฑ์ให้คะแนนด้วยการตรวจวัดความต้านทานฉนวนเซอร์กิตเบรกเกอร์

วิธีการทดสอบ	เกณฑ์การให้คะแนน		
	ดี (0)	ปานกลาง (3)	แย่ (5)
การทดสอบความต้านทานฉนวนเฟส A-G	> 1 GOhm	-	< 1 GOhm
การทดสอบความต้านทานฉนวนเฟส B-G	> 1 GOhm	-	< 1 GOhm

การทดสอบความต้านทานฉนวนเฟส C-G	> 1 GOhm	-	< 1 GOhm
การทดสอบความต้านทานฉนวนเฟส A-C	> 1 GOhm	-	< 1 GOhm
การทดสอบความต้านทานฉนวนเฟส A-B	> 1 GOhm	-	< 1 GOhm
การทดสอบความต้านทานฉนวนเฟส B-C	> 1 GOhm	-	< 1 GOhm

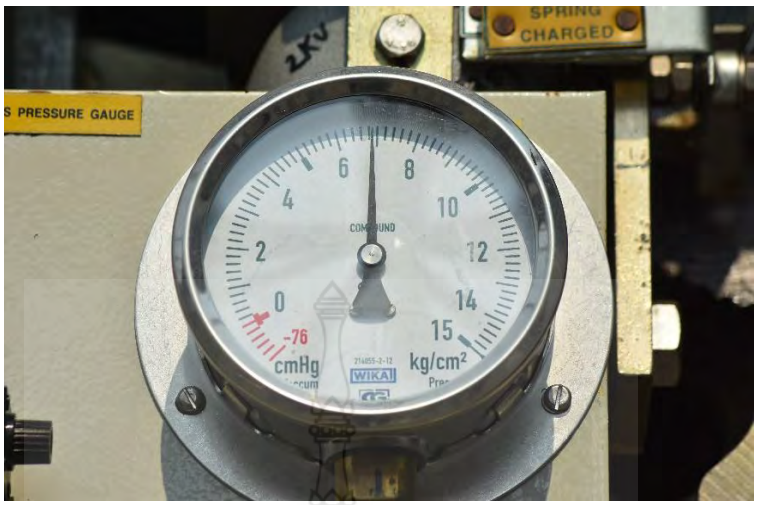
2.2.3 การตรวจวัดเวลาในการทำงาน (Contact Timming Test) การตรวจจับระยะเวลาการทำงานของ Contact ไฟฟ้าด้วยเครื่องจับเวลาการทำงาน (Dv-Power Ca t- ii Series Circuit Breaker Analysers) แสดงดังภาพที่ 2-10 ในการทดสอบการเปิด - ปิด ของ Contact และทำการบันทึกผลการทดสอบการจับเวลาการทำงานของ Contact และมีเกณฑ์ให้คะแนนด้วยการทดสอบเวลาในการทำงาน แสดงในตารางที่ 2-4

ภาพที่ 0-10 เครื่องตรวจวัดเวลาในการทำงานเซอร์กิตเบรกเกอร์

ตารางที่ 0-4 เกณฑ์การตรวจวัดการทดสอบเวลาในการทำงาน

วิธีการทดสอบ	**เกณฑ์การให้คะแนน**		
	ดี (0)	**ปานกลาง (3)**	**แย่ (5)**
เฟส A, เฟส B, เฟส C (Closing)	< 10 %	-	> 10 %
เฟส A, เฟส B, เฟส C (Opening)	< 10 %	-	> 10 %

2.2.4 การตรวจวัดความหนาแน่นและคุณภาพของก๊าซ SF_6 (SF_6 Pressure) การทดสอบปริมาณความหนาแน่นและคุณภาพของก๊าซ SF_6 ในอุปกรณ์การใช้งาน ณ ปัจจุบัน และเมื่อทำการวัดออกมาจะแสดงค่าความหนาแน่นและคุณภาพของก๊าซ SF_6 แสดงดังภาพที่ 2-11 และมีเกณฑ์ให้คะแนนความหนาแน่นและคุณภาพของก๊าซ SF_6 แสดงในตารางที่ 2-5



ภาพที่ 0-11 ค่าความหนาแน่นและคุณภาพของก๊าซ SF_6

ตารางที่ 0-5 เกณฑ์ให้คะแนนความหนาแน่นและคุณภาพของก๊าซ SF_6

วิธีการทดสอบ	เกณฑ์การให้คะแนน		
	ดี (0)	ปานกลาง (3)	แย่ (5)
SF_6 Pressure Check	> 1 bar	-	< 1 bar

2.2.5 การตรวจวิเคราะห์ห์ความชื้นของก๊าซ SF_6 (SF_6 Dewpoint) คือการตรวจวิเคราะห์ปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศ ซึ่งคุณสมบัติของน้ำจะมีอยู่ 3 สถานะ คือ ของเหลว ของแข็ง และก๊าซ และไอน้ำที่เราเห็นอยู่โดยทั่วไปก็คือน้ำที่มีสถานะเป็นก๊าซตามมาตรฐาน IEC 60480 - 2019 ด้วยเครื่องวิเคราะห์ความชื้นของก๊าซ SF_6 แสดงดังภาพที่ 2-16 และมีเกณฑ์ให้คะแนนการตรวจวิเคราะห์ความชื้นของก๊าซ SF_6 แสดงในตารางที่ 2-6 [11]

ภาพที่ 0-12 เครื่องตรวจวิเคราะห์ความชื้นของก๊าซ SF_6 [12]

ตารางที่ 0-6 เกณฑ์ให้คะแนนการตรวจวิเคราะห์ความชื้นของก๊าซ SF_6

วิธีการทดสอบ	เกณฑ์การให้คะแนน		
	ดี (0)	ปานกลาง (3)	แย่ (5)
SF_6 Dew Point	< 10 °C	-	> 10 °C

2.2.6 เปอร์เซ็นต์ของก๊าซ SF_6 (Percentage of SF_6) คือการทดสอบของปริมาณทั้งหมดของก๊าซ SF_6 ในอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ แต่ละบริษัท และรุ่นที่มีปริมาณของก๊าซไม่เท่ากัน มาคำนวณออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ และมีเกณฑ์ให้คะแนนเปอร์เซ็นต์ของก๊าซ SF_6 แสดงในตารางที่ 2-7 [11]

ตารางที่ 0-7 เกณฑ์ให้คะแนนเปอร์เซ็นต์ของก๊าซ SF_6

วิธีการทดสอบ	เกณฑ์การให้คะแนน		
	ดี (0)	ปานกลาง (3)	แย่ (5)
$\%SF_6$	> 80 %	-	< 80 %

2.2.7 การทดสอบความบริสุทธิ์ของก๊าซ SF_6 (SF_6 Purity) คือการทดสอบความบริสุทธิ์ของก๊าซ SF_6 ว่ามีความบริสุทธิ์กี่เปอร์เซ็นต์ และมีเกณฑ์ให้คะแนนการทดสอบก๊าซ SF_6 แสดงในตารางที่ 2-8

ตารางที่ 0-8 เกณฑ์ให้คะแนนการทดสอบความบริสุทธิ์ของก๊าซ SF_6

วิธีการทดสอบ	เกณฑ์การให้คะแนน		
	ดี (0)	ปานกลาง (3)	แย่ (5)
SF_6 Purity	> 99 %	-	< 99 %

2.2.8 ปริมาณของก๊าซ SO_2 (Amount of SO_2) เป็นสารที่มีอันตรายต่ออุปกรณ์ และสารที่มักทำให้เกิดขึ้นเมื่อทำปฏิกิริยาคือ กรดซัลฟูริก ซึ่งมีความสามารถในการกัดกร่อนค่อนข้างรุนแรง สามารถส่งผลกระทบต่ออุปกรณ์ได้ และมีเกณฑ์ให้คะแนนปริมาณของก๊าซ แสดงในตารางที่ 2-9

ตารางที่ 0-9 เกณฑ์ให้คะแนนปริมาณของก๊าซ SO_2

วิธีการทดสอบ	เกณฑ์การให้คะแนน		
	ดี (0)	ปานกลาง (3)	แย่ (5)
Amount of SO_2	< 10 ppm	-	< 10 ppm

2.2.9 อัตราการรั่วของแก๊ส (Gas Leakage Rate) เป็นการตรวจเช็คว่าอุปกรณ์มีการรั่วของแก๊ส เพื่อลดการสูญเสียจากการรั่วไหลของแก๊ส เพื่อลดการสูญเสียของพลังงานไฟฟ้า ซึ่งอุปกรณ์มีการเสื่อมสภาพตามระยะเวลา นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ด้วย และมีเกณฑ์ให้คะแนนอัตราการรั่วของแก๊ส แสดงในตารางที่ 2-10

ตารางที่ 0-10 เกณฑ์ให้คะแนนอัตราการรั่วของแก๊ส

วิธีการทดสอบ	เกณฑ์การให้คะแนน		
	ดี (0)	ปานกลาง (3)	แย่ (5)
Gas Leakage Rate	< 1 ครั้ง/ปี	2 ครั้ง/ปี	> 3 ครั้ง/ปี

2.2.10 การตรวจพินิจ (Visual Inspection) การตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ ด้วยสายตา เป็นการสำรวจมิติต่าง ๆ ทางกายภาพของอุปกรณ์อย่างละเอียด ทั้งก่อนและหลังทำความสะอาด แล้วทำการบันทึกข้อมูล เช่น รอยแตกร้าว สนิม สภาพสีของอุปกรณ์ ขนาดความเสียหาย (หากมีความผิดปกติเกิดขึ้นแล้ว) ซึ่งอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ต้องใช้การตรวจพินิจในการประเมินสภาพ และมีเกณฑ์ให้คะแนนการตรวจพินิจด้วยสายตาของเซอร์กิตเบรกเกอร์ แสดงในตารางที่ 2-11 [13] ประกอบด้วย

2.2.10.1 การทดสอบคุณสมบัติของฟังค์ชัน (Function Test) เป็นการทดสอบเบื้องต้นของเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยตรวจสอบจากการ ปิดเปิดวงจรของอุปกรณ์ และตรวจสอบภายในตู้คอนโทรลของเซอร์กิตเบรกเกอร์ว่ามีสิ่งผิดปกติ

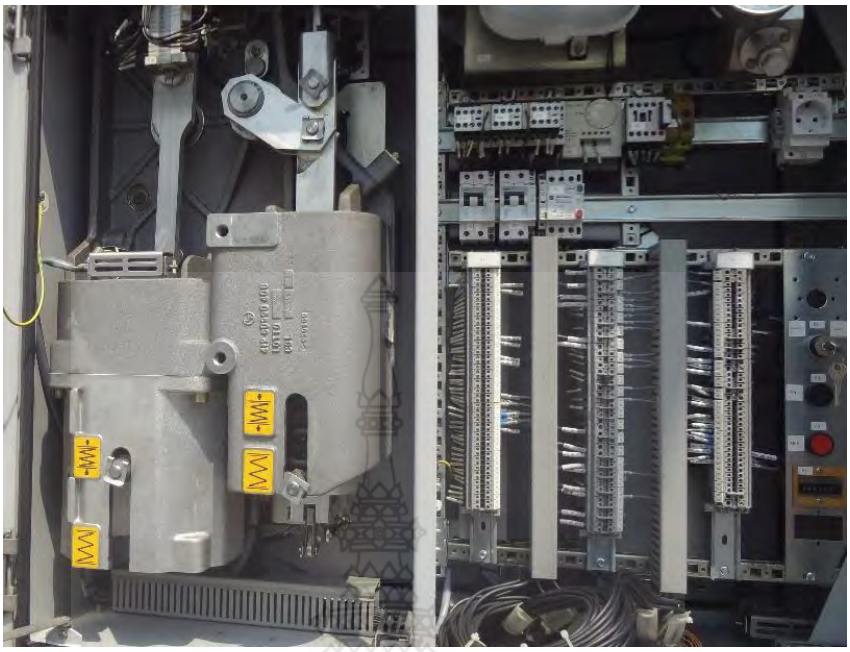
ภาพที่ 0-13 ตู้คอนโทรลของเซอร์กิตเบรกเกอร์

2.2.10.2 การทำความสะอาด (Cleaning) การทำความสะอาดผิวภายนอกของ Enclosure และบริเวณขั้วต่อ (Terminal Connection) ของเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยสม่ำเสมอ เพื่อทำให้การถ่ายเทความร้อนที่สะสมอยู่ภายในออกสู่อากาศภายนอกได้โดยสะดวก และลดความเสี่ยงจากการเกิด Flash Over ระหว่างตัวนำในแต่ละเฟส หรือระหว่างตัวนำกับระบบต่อลงดิน (Ground) ดูบริเวณโดยรอบของเซอร์กิตเบรกเกอร์แสดงดังภาพที่ 2-14

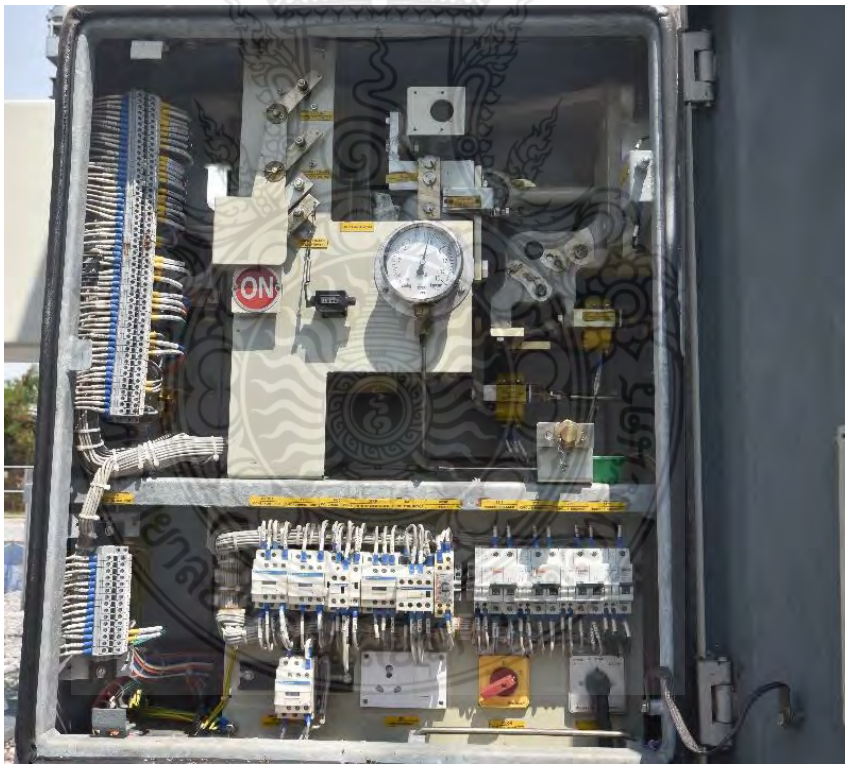
ภาพที่ 0-14 บริเวณโดยรอบของเซอร์กิตเบรกเกอร์

2.2.10.3 ระบบหล่อลื่นของกลไกการขับเคลื่อน (Lubrication Dive Mechanism) อุปกรณ์ทุกประเภทที่มีชิ้นส่วนหรือกลไกที่เคลื่อนที่ (Moving Parts) จำเป็นต้องให้ชิ้นส่วนหรือกลไกดังกล่าวได้ทำงาน

ในกรณีของเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็เช่นเดียวกัน อาจจะเป็นเรื่องผิดปกติ ถ้าหากว่าอุปกรณ์ที่ติดตั้งใช้งานมาเป็นเวลานานไม่เคยทริป (Trip) จากโหลดเกิน (Overload) หรือกระแสลัดวงจร (Short Circuits) เลย ดังนั้น ควรมีการเปิด-ปิด โดยโยกคันโยก (Handle) ขึ้นลง ซึ่งจะได้ประโยชน์เพิ่มเติม ทำให้ความต้านทานและความร้อนสะสมที่หน้าสัมผัสลดลง การนำไฟฟ้าของตัวนำนี้จะดีขึ้น สำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้งานเปิด-ปิดวงจรไฟฟ้าอยู่เสมอ ระบบหล่อลื่นของเซอร์กิตเบรกเกอร์ แสดงดังภาพที่ 2-15 และภาพที่ 2-16



ภาพที่ 0-8 ระบบหล่อลื่นของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบใหม่



ภาพที่ 0-16 ระบบหล่อลื่นของเซอร์กิตเบรกเกอร์แบบเก่า

2.2.10.4 ตรวจสอบจุดต่อ (Terminal Check) ตรวจเช็ค จุดต่อสาย และ Terminal ขั้น Bolt & Nut ให้แน่น แสดงดังภาพที่ 2-17

ภาพที่ 0-17 จุดต่อสายของเซอร์กิตเบรกเกอร์

2.2.10.5 ตรวจสอบจุดยึดทั้งหมด (All fastening check) การตรวจสอบสายกราวด และจุดยึดโครงสร้างของเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั้งหมด แสดงดังภาพที่ 2-18

ภาพที่ 0-9 จุดยึดโครงสร้างของเซอร์กิตเบรกเกอร์

ตารางที่ 0-11 เกณฑ์ให้คะแนนการตรวจพินิจด้วยสายตาของเซอร์กิตเบรกเกอร์

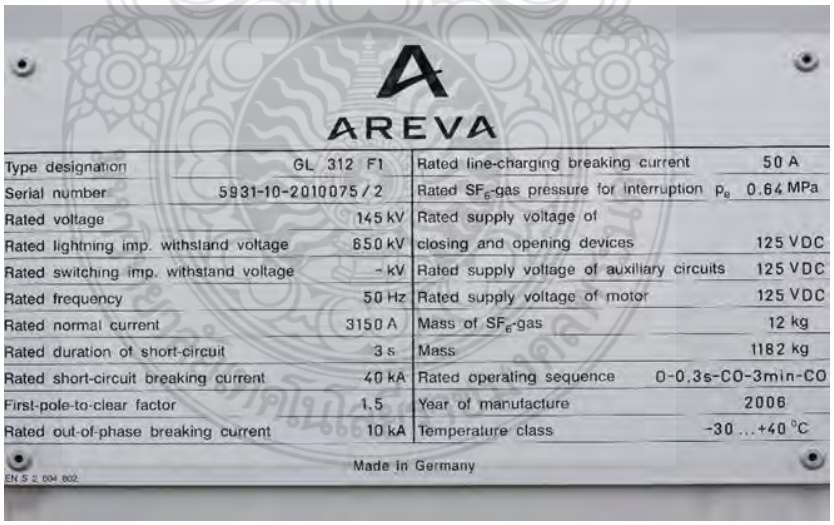
วิธีการทดสอบ	**เกณฑ์การให้คะแนน**		
	ดี (0)	**ปานกลาง (3)**	**แย่ (5)**
Function Test	ปกติ	-	ผิดปกติ

Cleaning	ปกติ	-	ผิดปกติ
Lubrication drive mechanism	ปกติ	-	ผิดปกติ
Terminal check	ปกติ	-	ผิดปกติ
All fatening	ปกติ	-	ผิดปกติ

2.3 เกณฑ์ประเมินการปรับปรุงเซอร์กิตเบรกเกอร์

การประเมินการปรับปรุงเซอร์กิตเบรกเกอร์ ในการใช้งานเซอร์กิตเบรกเกอร์มาเป็นเวลาหลายปี ก็จะมีโอกาสชำรุดเสียหาย ซึ่งเป็นผลมาจากการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์หรือความเปลี่ยนแปลงทางสภาพแวดล้อมของการใช้งาน ดังนั้นในการที่จะทำให้อุปกรณ์ยังคงประสิทธิภาพการใช้งานในระยะยาวมากขึ้น เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่สำคัญสำหรับการประเมิน โดยเกณฑ์การประเมินสภาพประกอบด้วย แย่ (5) ปานกลาง (3) และดี (0) ตามลำดับ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ [14]

2.3.1 อายุและจำนวนการทำงานอุปกรณ์ (Age & Number of Interruption) อายุ (Age) หมายถึง การอายุเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ที่เกิดขึ้นตามกาลเวลา ซึ่งสาเหตุเกิดจากวัสดุที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์เกิดความเสียหายบางส่วน อาจจะเกิดจากขั้นตอนกระบวนการผลิตหรือขณะเริ่มต้นการใช้งานส่งผล โดยดูจากปีผลิตที่แผ่นป้ายชื่ออุปกรณ์ (Nameplate) ดังแสดงในภาพที่ 2-19 จำนวนครั้งการทำงาน (Number of Interruption) หมายถึง จำนวนครั้งที่เซอร์กิตเบรกเกอร์เคยทำงานมาตั้งแต่เริ่มต้นใช้งาน ดังแสดงในภาพที่ 2-20 และเกณฑ์ให้คะแนนอายุและจำนวนการทำงานอุปกรณ์แสดงในตารางที่ 2-12



ภาพที่ 0-19 ป้ายชื่ออุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์

ภาพที่ 0-10 จำนวนครั้งการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์

ตารางที่ 0-12 เกณฑ์ให้คะแนนอายุและจำนวนการทำงานอุปกรณ์

วิธีการทดสอบ	เกณฑ์การให้คะแนน		
	ดี (0)	ปานกลาง (3)	แย่ (5)
Overall Age (25 years)	< 10	10 - 24	> 25
Age of Interrupter (24 years)	< 22	22 – 25	> 25
Age of Mechanism after Overhaul (12)	< 10	10 - 13	> 13
Number of Operation after Overhaul	< 1,800	1,800 - 2,100	> 2,100
Number of Fault Current Interruption	< 4	5 – 10	> 10

2.3.2 พิกัดของอุปกรณ์ (Inadequate Rating) พิกัดอุปกรณ์ที่สามารถรองรับความต้องการของระบบไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานส่งผลให้อุปกรณ์บางส่วนเกิดความเสียหาย ซึ่งสาเหตุเกิดจากกระแสผิดพร่องหรือกระแสโหลดสูงกว่าพิกัดของอุปกรณ์ที่สามารถทนได้ ความเครียดจะส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์เนื่องจากเป็นอุปกรณ์ที่มีความซับซ้อนและความถี่ในการใช้งานสูง [15] และเกณฑ์ให้คะแนนพิกัดของอุปกรณ์แสดงในตารางที่ 2-13

ตารางที่ 0-13 เกณฑ์ให้คะแนนพิกัดของอุปกรณ์

วิธีการทดสอบ	เกณฑ์การให้คะแนน		
	ดี (0)	ปานกลาง (3)	แย่ (5)
Ratio of Load Current to Rated	< 0.6	0.6 – 0.8	> 0.8
Ratio of S/C current to Rated	< 0.6	0.6 – 0.8	> 0.8

2.3.3 ความล้าสมัยของเทคโนโลยี (Technology Obsolescence) เทคโนโลยีที่มีการเกิดขึ้นใหม่ ต้องพยายามทำให้ผู้อื่นยอมรับ เพื่อที่จะทำให้เป็นที่ต้องการของตลาด ดังนั้นการเผยแพร่นวัตกรรมเทคโนโลยี่ จึงเป็นการทำให้ผู้อื่นยอมรับเทคโนโลยีนั้น ๆ เช่น (Air Blast Circuit Breakers) ที่ในอดีตเป็นที่ยอมรับของทุกวงการว่ามีความเชื่อถือได้ ถึงแม้ราคาแพงและมีขนาดใหญ่ แต่ในปัจจุบัน (Air Blast Circuit Breakers) ดังกล่าว ได้ถูกแทนที่ (Ais Circuit Breaker) ที่มีขนาดเล็ก ราคาถูกลง และประสิทธิภาพที่เทียบเท่าหรือดีกว่า ดังนั้น จึงทำให้อุตสากรรมเซอร์กิตเบรกเกอร์ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก ดังที่เราพบทุกวันนี้ [16] และเกณฑ์ให้คะแนนความล้าสมัยของเทคโนโลยีแสดงในตารางที่ 2-14

ตารางที่ 0-14 เกณฑ์ให้คะแนนความล้าสมัยของเทคโนโลยี

วิธีการทดสอบ	เกณฑ์การให้คะแนน		
	ดี (0)	ปานกลาง (3)	แย่ (5)
Already replaced by advanced technology	ดี	ปานกลาง	แย่
No longer manufactured	ดี	ปานกลาง	แย่

2.3.4 การบำรุงรักษา (Maintain Ability) เป็นการวางแผนโดยกำหนดระยะเวลาในการเปลี่ยนชิ้นส่วนอะไหล่หรือการโอเวอร์ฮอลเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น จะเป็นการวางแผนการป้องกันไว้ล่วงหน้าทำให้ไม่ต้องหยุดการใช้งานสินทรัพย์หรืออุปกรณ์แบบฉุกเฉิน โดยทั่วไประยะเวลาในการทำงานสามารถหาข้อมูลอ้างอิงได้จากคู่มือของผู้ผลิตหรือแผนการบำรุงรักษาที่ใช้งานอยู่ และเกณฑ์ให้คะแนนการบำรุงรักษาแสดงในตารางที่ 2-15 [13]

ตารางที่ 0-15 เกณฑ์ให้คะแนนการบำรุงรักษา

วิธีการทดสอบ	เกณฑ์การให้คะแนน		
	ดี (0)	ปานกลาง (3)	แย่ (5)
Spare parts availability	หาง่าย	หายากแต่แก้ไขได้	ไม่สามารถแก้ไขได้
Personnel expertise level	ดี	ปานกลาง	แย่
OEM Support / After saleservice quality	ดี	ปานกลาง	แย่
Orphan (< 5 units left in system)	> 5	-	< 5
Operator Level of Satisfaction (Failure Rate)	ดี	-	แย่

2.3.5 ความสมควรใช้งาน (Service Continuity) หมายถึง การสมควรใช้งานต่อไปในระบบหรือไม่จากอาการผิดปกติ และอาการเสียของอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าแรงสูง เช่น ความผิดปกติของโครงสร้างและพื้นคอนกรีตการตรวจสอบด้วยสายตา ค่าความแตกต่างช่วงเวลาปิดหรือเปิดวงจรความ

ต้านทานฉนวน การตรวจวัดค่าความสูญเสียทางฉนวน การทำของกลไก การรั่วซึมของก๊าซ อากาศ และน้ำมันไฮดรอลิกรั่วไหล และเกณฑ์ให้คะแนนความสมควรใช้งานแสดงในตารางที่ 2-16 [15]

2.3.6 การตรวจวัดเพาร์เวอร์แฟกเตอร์ (Insulation Power Factor Test) ในระบบไฟฟ้ากำลัง การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ Power Factor Correction มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นตัวที่ทำให้ค่าใช้จ่ายต่างๆเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ระบบฟ้าที่มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ต่ำจะมีความสูญเสียในระบบมาก ดังนั้น อุปกรณ์ที่นำมาใช้งานจำเป็นต้องมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ต่างๆเพิ่มขึ้น เพราะฉะนั้น การปรับปรุงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ให้มีค่าสูงขึ้นจึงมีความจำเป็นต่ออาคารสำนักงาน และโรงงานอุตสาหกรรม ความเป็นจริงในอาคารหรือโรงงานอุตสาหกรรมต้องการกำลังไฟฟ้าจริง (Real Power) และกำลังไฟฟ้ารีแอคทีฟ (Reactive Power) เพื่อใช้ในการทำงาน และมีเกณฑ์ให้คะแนนด้วยการตรวจวัดเพาร์เวอร์แฟกเตอร์ แสดงในตารางที่ 2-16

ตารางที่ 0-16 เกณฑ์ให้คะแนนด้วยการตรวจวัดเพาร์เวอร์แฟกเตอร์

วิธีการทดสอบ	**เกณฑ์การให้คะแนน**		
	ดี (0)	**ปานกลาง (3)**	**แย่ (5)**
การตรวจวัดเพาร์เวอร์แฟกเตอร์เฟส A	ปกติ	-	ผิดปกติ
การตรวจวัดเพาร์เวอร์แฟกเตอร์เฟส B	ปกติ	-	ผิดปกติ
การตรวจวัดเพาร์เวอร์แฟกเตอร์เฟส C	ปกติ	-	ผิดปกติ

2.3.6.1 การทดสอบคุณสมบัติของฟังค์ชัน (Function Test) เป็นการทดสอบเบื้องต้นของสวิตช์ใบมีดไฟฟ้า โดยตรวจสอบจากการ ปิดเปิดวงจรของ

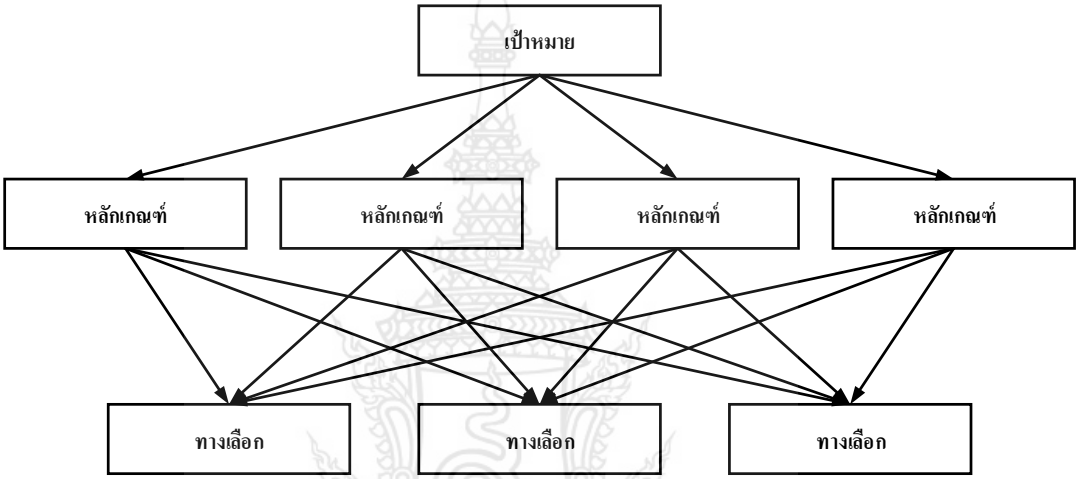
2.3.6.2 การทำความสะอาด (Cleaning) การทำความสะอาดผิวภายนอกของ Enclosure และบริเวณขั้วต่อ (Terminal Connection) ของสวิตช์ใบมีดไฟฟ้าสม่ำเสมอ เพื่อทำให้การถ่ายเทความร้อนที่สะสมอยู่ภายในออกสู่อากาศภายนอกได้โดยสะดวก และลดความเสี่ยงจากการเกิด Flash Over ระหว่างตัวนำในแต่ละเฟส หรือระหว่างตัวนำกับระบบต่อลงดิน (Ground)

2.3.6.3 ระบบหล่อลื่นของกลไกการขับเคลื่อน (Lubrication dive mechanism) อุปกรณ์ทุกประเภทที่มีชิ้นส่วนหรือกลไกที่เคลื่อนที่ (Moving Parts) จำเป็นต้องให้ชิ้นส่วนหรือกลไกดังกล่าวได้ทำงาน ในกรณีของเซอร์กิตเบรกเกอร์ก็เช่นเดียวกัน อาจจะเป็นเรื่องผิดปกติ ถ้าหากว่าอุปกรณ์ที่ติดตั้งใช้งานมาเป็นเวลานานไม่เคยทริป (Trip) จากโหลดเกิน (Overload) หรือกระแสลัดวงจร (Short Circuits) เลย ดังนั้น ควรมีการเปิด-ปิด โดยโยกคันโยก (Handle) ขึ้นลง ซึ่งจะได้ประโยชน์เพิ่มเติมก็คือ ทำให้ความต้านทานและความร้อนสะสมที่หน้าสัมผัสลดลง การนำไฟฟ้าของตัวนำนี้จะดีขึ้น สำหรับเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้งานเปิด-ปิดวงจรไฟฟ้าอยู่

2.4 การให้น้ำหนักความสำคัญ (Analytic Hierarchy Process : AHP)

การให้น้ำหนักความสำคัญ ในการให้น้ำหนักความสำคัญของการทดสอบและอุปกรณ์จะขึ้นอยู่กับการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญ โดยสำหรับการทดสอบจะพิจารณาจากความน่าเชื่อถือของแต่ละการทดสอบที่สามารถตรวจสอบและระบุความผิดปกติของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าสายเคเบิลใต้ดินได้หากมี

การชำรุดหรือเสียหาย และสำหรับอุปกรณ์จะพิจารณาจากหน้าที่และผลกระทบหากอุปกรณ์นั้น ๆ เสียหาย จากนั้นนำผลที่ได้จากการประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญมาเข้ากระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytic Hierarchy Process : AHP) ซึ่งเป็นหนึ่งในเทคนิคที่นิยมนำมาใช้ในกระบวนการตัดสินใจ โดยใช้การแบ่งองค์ประกอบของปัญหาออกเป็นส่วน ๆ ในรูปของแผนภูมิตามลำดับชั้นแล้วมีการให้ค่าน้ำหนักของแต่ละองค์ประกอบแล้วนำมาคำนวณค่าน้ำหนัก เพื่อให้ได้ค่าน้ำหนักความสำคัญของแต่ละทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดแล้วนำมาประกอบการตัดสินใจ [19] ซึ่งมีโครงลร้างและขั้นตอนของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ห์ ดังภาพที่ 2-21 และ ภาพที่ 2–22 ตามลำดับ [13]



ภาพที่ 0-21 โครงสร้างของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ห์

ภาพที่ 0-22 ขั้นตอนของกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์

ขั้นตอนที่ 1 ทำการให้คะแนนความสำคัญโดยการเปรียบเทียบทีละคู่ของเมตริกซ์ Pairwise โดยจะใช้การคำนวณหาลำดับความสำคัญ (Calculation of Relative Priority) ผู้เชี่ยวชาญจะเป็นผู้ให้คะแนนความสำคัญเปรียบเทียบของเกณฑ์หรือทางเลือกทีละคู่ (Pairwise Comparison) โดยแบ่งระดับความสำคัญ (AHP Measurement Scale) ออกเป็นระดับความสัมพันธ์การให้น้ำหนักของการประเมินสภาพของอุปกรณ์ย่อย ซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ สมการที่ (2-1)

$$A = \begin{array}{c} \begin{matrix} C_1 & C_2 & C_3 & \cdots & C_n \end{matrix} \\ \begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1n} \\ 1/a_{12} & 1 & a_{23} & \cdots & a_{2n} \\ 1/a_{13} & 1/a_{23} & 1 & \cdots & a_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ 1/a_{1n} & 1/a_{2n} & 1/a_{3n} & \cdots & 1 \end{bmatrix} \end{array} \begin{matrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ \vdots \\ C_n \end{matrix} \qquad (2\text{-}1)$$

และเมื่อนำสมการที่ (2-1) มาเทียบกับตัวอย่างจะสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2-28

ตารางที่ 0-17 ตัวอย่างเมตริกซ์แบบทางเลือกคู่

Criteria	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1.00	3.00	5.00	9.00	7.00
C2	0.33	1.00	3.00	7.00	5.00
C3	0.20	0.33	1.00	1.00	0.33
C4	0.11	0.14	1.00	1.00	0.11
C5	0.14	0.20	3.00	1.00	1.00
รวม	1.79	4.68	13.00	19.00	13.44

ขั้นตอนที่ 2 ทำการหารด้วยผลรวมของแต่ละองค์ประกอบโดยแสดงในแต่ละคอลัมน์ของเมตริกซ์ Judgment ซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการที่ (2-2) โดยมีการแบ่งองค์ประกอบของเมตริกซ์ในแต่ละคอลัมน์เป็นเมตริกซ์การตัดสินใจ (Judgment Matrix) ตามจำนวนของอุปกรณ์ทั้ง 5 ของระบบ (C1-C5) อ้างอิงตามตารางที่ 2-18 จะสรุปผลลัพธ์ได้ดังตารางที่ 2-19

$$a_{ij-new} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} \tag{2-2}$$

ตารางที่ 0-18 ตัวอย่างเมตริกซ์การตัดสินใจ (จากขั้นตอนที่ 2)

Criteria	C1	C2	C3	C4	C5	**รวม**
C1	0.56	0.64	0.38	0.47	0.52	0.516
C2	0.19	0.21	0.23	0.37	0.37	0.27429
C3	0.11	0.07	0.08	0.05	0.02	0.06751
C4	0.06	0.03	0.08	0.05	0.01	0.04611
C5	0.08	0.04	0.23	0.05	0.07	0.0961
รวม	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

ขั้นตอนที่ 3 ทำการคำนวณหาค่าน้ำหนักโดยนำค่าองค์ประกอบในแต่ละแถวหารด้วยผลรวมของแถว ซึ่งสามารถเขียนในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการที่ (2-3) และสามารถสรุปผลลัพธ์การคำนวณได้ดังนี้

$$a_{ij-new} = \frac{a_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}} \tag{2-3}$$

ตารางที่ 0-19 ตัวอย่างเมตริกซ์การตัดสินใจ (จากขั้นตอนที่ 3)

Criteria	C1	C2	C3	C4	C5
C1	0.52	0.82	0.34	0.41	0.67
C2	0.17	0.27	0.20	0.32	0.48
C3	0.10	0.09	0.07	0.05	0.03
C4	0.06	0.04	0.07	0.05	0.01
C5	0.07	0.05	0.20	0.05	0.10

ขั้นตอนที่ 4 ทำการตรวจสอบผลโดยคำนวณค่าไอเกนเวกเตอร์สูงสุด (λ_{max}) ต้องมีค่าอัตราส่วนความถูกต้อง CR < 0.1 จากนั้นทำการตรวจสอบความถูกต้องของเมตริกซ์ Judgment โดยการคำนวณค่าสูงสุดของไอเกนเวกเตอร์ (λ_{max}) สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2-4) และสามารถสรุปผลลัพธ์การคำนวณได้ดัง ตารางที่ 2-20

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} a_{ij-old}}\right)}{n} \qquad (2\text{-}4)$$

ตารางที่ 0-20 ตัวอย่างเมตริกซ์การตัดสินใจ (จากการคำนวณ λ_{max})

Criteria	C1	C2	C3	C4	C5	λmax
C1	0.52	0.82	0.34	0.41	0.67	
C2	0.17	0.27	0.20	0.32	0.48	
C3	0.10	0.09	0.07	0.05	0.03	5.03649
C4	0.06	0.04	0.07	0.05	0.01	
C5	0.07	0.05	0.20	0.05	0.10	

จากนั้นนำผลลัพธ์ของค่า λ_{max} ที่ได้มาคำนวณค่าดัชนีชี้วัดความสอดคล้อง (Consistency Index : C.I.) ดังสมการที่ (2-5)

$$C.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \qquad (2\text{-}5)$$

จะได้ $$C.I. = \frac{5.03649-5}{5-1} = 0.02027$$

หลังจากที่ได้ค่าดัชนีวัดความสอดคล้อง (C.I.) เรียบร้อยแล้ว จะคำนวณหาค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio : C.R.) ซึ่งคำนวณได้จากอัตราส่วนเปรียบเทียบระหว่างค่าดัชนีวัดความสอดคล้อง (C.I.) ที่คำนวณได้กับค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index : R.I.) ที่ดูจากตารางที่ 2-21 โดยสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ (2-6)

ตารางที่ 0-21 ค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (R.I.) ตามขนาดของเมตริกซ์

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R.I.	0.00	0.00	0.58	0.9	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49

$$C.R. = \frac{C.I.}{R.I.} \qquad (2\text{-}6)$$

จะได้

$$C.R. = \frac{0.009123}{1.12} = 0.0181$$

สำหรับค่าของ C.R. ถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 0.10 ถือว่ายอมรับได้ ถ้ามีมากกว่า 0.10 ถือว่ายอมรับไม่ได้ จะต้องทำการทบทวนการให้ค่าน้ำหนักคะแนนเปรียบเทียบในเกณฑ์นั้นกันใหม่จนกว่าจะได้ค่า C.R. ที่สามารถยอมรับได้

2.5 การคำนวณดัชนีชี้วัดความล้มเหลวของอุปกรณ์

2.5.1 ความน่าจะเป็นของความล้มเหลวของอุปกรณ์ (Failure of Probability Index)

ในการคำนวณดัชนีชี้วัดความล้มเหลวของอุปกรณ์ (Failure of Probability : $\%FP_{Equipments}$) จะใช้วิธีการ Weight Sum Method (WSM) ซึ่งประกอบด้วย การให้คะแนนและน้ำหนักของการประเมินสภาพของแต่ละอุปกรณ์

สำหรับการคำนวณดัชนีชี้วัดความน่าจะล้มเหลวของอุปกรณ์ (Probability of failure : $\%FP_{Equipment}$) จะนำผลลัพธ์จากการดัชนีเชิงสภาพของอุปกรณ์ (Conditional Index : $\%CI_{Equipment}$) ของแต่ละอุปกรณ์

จากการคำนวณหาดัชนีความต้องการปรับปรุงอุปกรณ์ (Renovation Index : $\%RI_{Equipment}$) ในระบบมาทำกระบวนการให้คะแนนและน้ำหนัก WSM และผลลัพธ์จากการคำนวณค่าดัชนีทั้งหมดจะอยู่ในรูปแบบของเปอร์เซ็นต์ เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในการประเมินความเสี่ยงของระบบและแสดงผลการประเมินสภาพได้ง่ายขึ้น [20] โดยมีวิธีการคำนวณทั้งหมดดังนี้

2.5.1.1 การคำนวณหาดัชนีเชิงสภาพของอุปกรณ์ (Conditional Index : $\%CI_{Equipment}$) สำหรับการประเมินปรับปรุงสำหรับอาการเสียของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า ซึ่งสามารถคหาดัชความต้องการปรับปรุงสำหรับอาการเสียของอุปกรณ์ได้ตามสมการที่ (2-7)

$$\%CI_{Equipment} = \frac{\sum_{i=1}^{N}(S_i)}{\sum_{i=1}^{N}(S_{\max,i})} \times 100 \quad (2\text{-}7)$$

เมื่อ S_i คือ คะแนนจากการทดสอบของอุปกรณ์ที่ *i*
$S_{max,i}$ คือ คะแนนสูงสุดของการทดสอบที่ *i*
N คือ จำนวนของการทดสอบ

2.5.1.2 การคำนวณหาดัชนีความต้องการปรับปรุงอุปกรณ์ (Renovation Index : $\%RI_{Equipment}$) สำหรับการประเมินความต้องการปรับปรุงอุปกรณ์ของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้า ซึ่งสามารถคำนวณดัชนีความต้องการปรับปรุงอุปกรณ์ของอุปกรณ์ได้ตามสมการที่ (2-8)

$$\%RI_{Equipment} = \frac{\sum_{j=1}^{M}(S_j \times W_j)}{\sum_{j=1}^{M}(S_{\max,j} \times W_j)} \times 100 \quad (2\text{-}8)$$

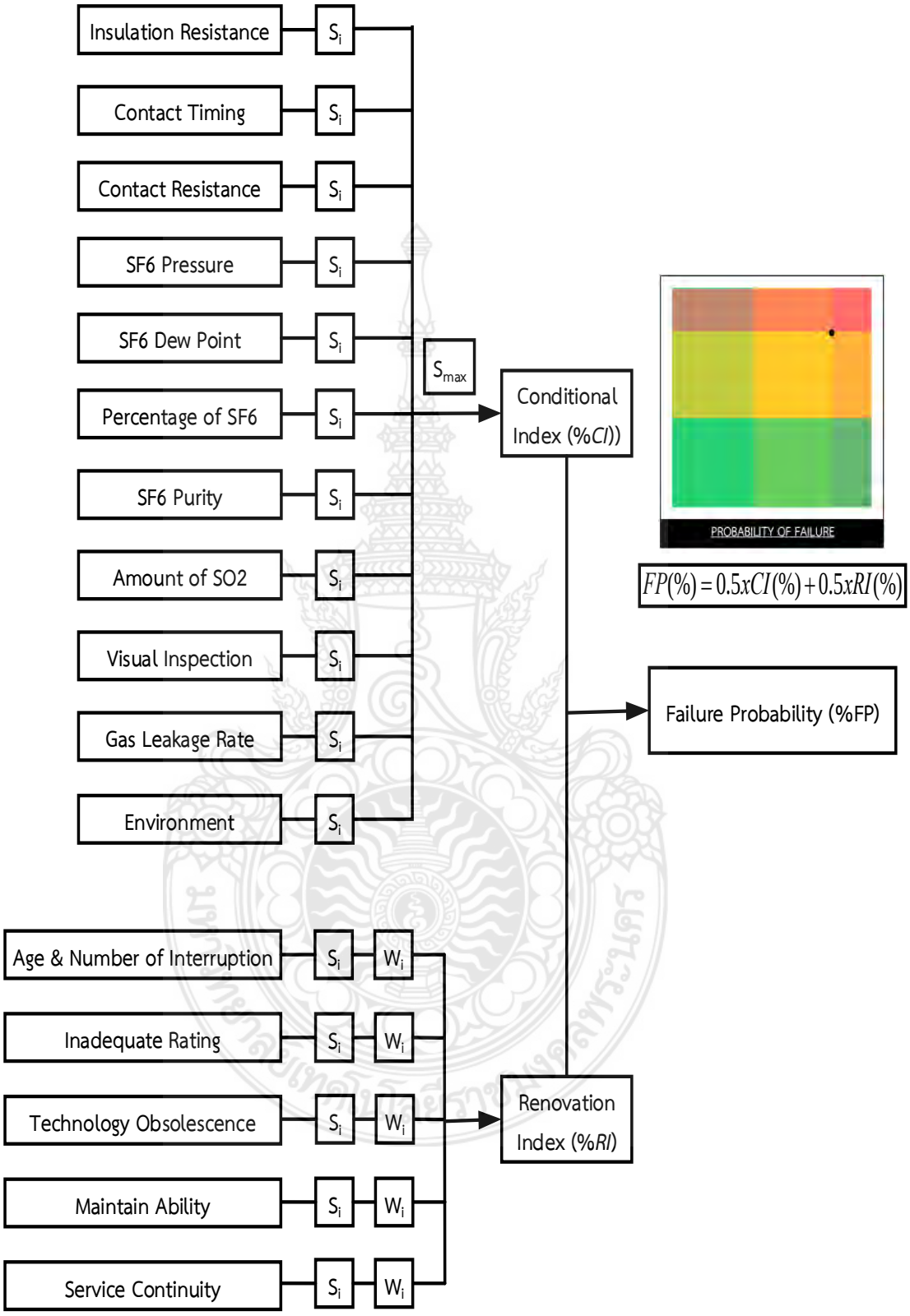
เมื่อ S_j คือ คะแนนจากการปรับปรุงของอุปกรณ์ที่ *j*
$S_{max,j}$ คือ คะแนนสูงสุดของการปรับปรุงของอุปกรณ์*j*
W_j คือ น้ำหนักของการปรับปรุงของอุปกรณ์ *j*
M คือ จำนวนของการปรับปรุง

2.5.1.3 การคำนวณดัชนีชี้วัดความล้มเหลวของอุปกรณ์ (Probability of failure : $\%FP_{Equipment}$) ในการคำนวณจะนำผลลัพธ์จากการคำนวณหาดัชนีความต้องการปรับปรุงสำหรับอาการเสีย (Conditional Index : $\%CI_{Equipment}$) ของแต่ละอุปกรณ์ และผลลัพธ์จากการคำนวณหาดัชนีความต้องการปรับปรุงอุปกรณ์ (Renovation Index : $\%RI_{Equipment}$) เป็นในลักษณะเดียวกันกับการคำนวณดัชนีความต้องการปรับปรุงอุปกรณ์

$$\%FP_{Equipment} = (0.5 \times \%CI) + (0.5 \times \%RI) \quad (2\text{-}9)$$

เมื่อ $\%FP_{Equipment}$ คือ ดัชนีชี้วัดความล้มเหลวของอุปกรณ์
$\%CI_{Equipment}$ คือ ดัชนีเชิงสภาพของอุปกรณ์
$\%RI_{Equipment}$ คือ ดัชนีความต้องการปรับปรุงอุปกรณ์

สำหรับกระบวนการคำนวณดัชนีชี้วัดความล้มเหลวของอุปกรณ์ทั้งหมด เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าดัชนีชี้วัดความล้มเหลวของอุปกรณ์แสดงดังภาพที่ 2-23



ภาพที่ 0-23 กระบวนการคำนวณดัชนีชี้วัดความล้มเหลวของเซอร์กิตเบรกเกอร์

2.6 การบริหารจัดการความเสี่ยง

จากการวิเคราะห์ห์ความเสี่ยง (Risk Analysis) และการประเมินความเสี่ยง (Risk Assessment) คือ การพยากรณ์ความผิดปกติของอุปกรณ์ไว้ล่วงหน้า ซึ่งช่วยให้การดูแลการตรวจสอบ และการควบคุมความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ระบบไฟฟ้าสามารถทำได้ง่ายขึ้น เนื่องจากสามารถเข้าไปบำรุงรักษาหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าล่วงหน้าได้ทันก่อนที่ระบบจะมีปัญหาจนเกิดเป็นความเสียหายในวงกว้าง [21]

จากข้อมูลการประเมินสภาพของอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ สามารถนำมาวิเคราะห์ห์ความน่าจะล้มเหลวของอุปกรณ์และการบริหารจัดการความเสี่ยงของอุปกรณ์ไฟฟ้าได้เป็น 3 ช่วง และแบ่งรหัสสีออกเป็น 3 ระดับ คือ เขียว เหลือง และแดง เพื่อสื่อถึง แดง หมายถึง ต้องปรับปรุงอย่างเร่งด่วน เหลือง หมายถึง เพิ่มความถี่ในการซ่อมบำรุงและติดตามผลการทดสอบ และเขียว หมายถึง บำรุงรักษาตามปกติ [22] ตามลำดับ ดังตารางที่ 2-24 ถึงตารางที่ 2-26

ความสำคัญของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าและการบริหารจัดการความเสี่ยงในการใช้เป็นการนำเอาผลงานในระดับที่หนึ่งหรือการประเมินสภาพและความพร้อมในการจ่ายไฟของอุปกรณ์ มาพิจารณาร่วมกับความสำคัญของสถานีไฟฟ้าต่อระบบไฟฟ้า (Network Importance) หรือ (System Index) และการบริหารจัดการความเสี่ยง (Risk Management) ดังแสดงในภาพที่ 2-22

ตารางที่ 0-22 การกำหนดช่วงของ $\%CI_{Equipment}$

ดัชนีความต้องการปรับปรุงสำหรับอาการเสียของอุปกรณ์ ($\%CI_{Equipment}$)			
$\%CI_{Equipment}$	**สภาพของอุปกรณ์**	**รูปแบบการบำรุงรักษา**	**รหัสสี**
0-20	ดี	บำรุงรักษาตามปกติ	เขียว
21-35	ปานกลาง	เพิ่มความถี่ในการซ่อมบำรุงและติดตามผลการทดสอบ	เหลือง
36-100	แย่	ต้องปรับปรุงอย่างเร่งด่วน	แดง

ตารางที่ 0-23 การกำหนดช่วงของ $\%RI_{Equipment}$

ดัชนีความต้องการปรับปรุงและเปลี่ยนอุปกรณ์ ($\%RI_{Equipment}$)			
$\%RI_{Equipment}$	**สภาพของอุปกรณ์**	**รูปแบบการบำรุงรักษา**	**รหัสสี**
0-20	ดี	ใช้งานได้ปกติปกติ	เขียว
21-45	ปานกลาง	ควรพิจารณาการปรับเปลี่ยน	เหลือง
46-100	แย่	ต้องเปลียนอย่างเร่งด่วน	แดง

ตารางที่ 0-24 การกำหนดช่วงของ $\%FP_{Equipment}$ ในการบริหารความเสี่ยง

ดัชนีชี้วัดความน่าจะล้มเหลวของอุปกรณ์ ($\%FP_{Equipment}$)			
$\%FP_{Equipment}$	สภาพของอุปกรณ์	ดัชนีชี้วัดความล้มเหลว	รหัสสี
0-20	ดี	ความล้มเหลวต่ำ	เขียว
21-45	ปานกลาง	ความล้มเหลวปานกลาง	เหลือง
46-100	แย่	ความล้มเหลวสูง	แดง

จากนั้นจึงทำการประเมินความสำคัญของอุปกรณ์ไฟฟ้า แล้วนำผลสภาพและความสำคัญมาพิจารณาร่วมกัน เพื่อหาความเสี่ยงในการใช้งานเบย์และสถานีไฟฟ้าโดยใช้หลักการของ Risk Matrix ดังแสดงในภาพที่ 2-24 เพื่อให้สามารถวางแผนงานบำรุงรักษาอุปกรณ์ในสถานีไฟฟ้าได้อย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพสูงสุด

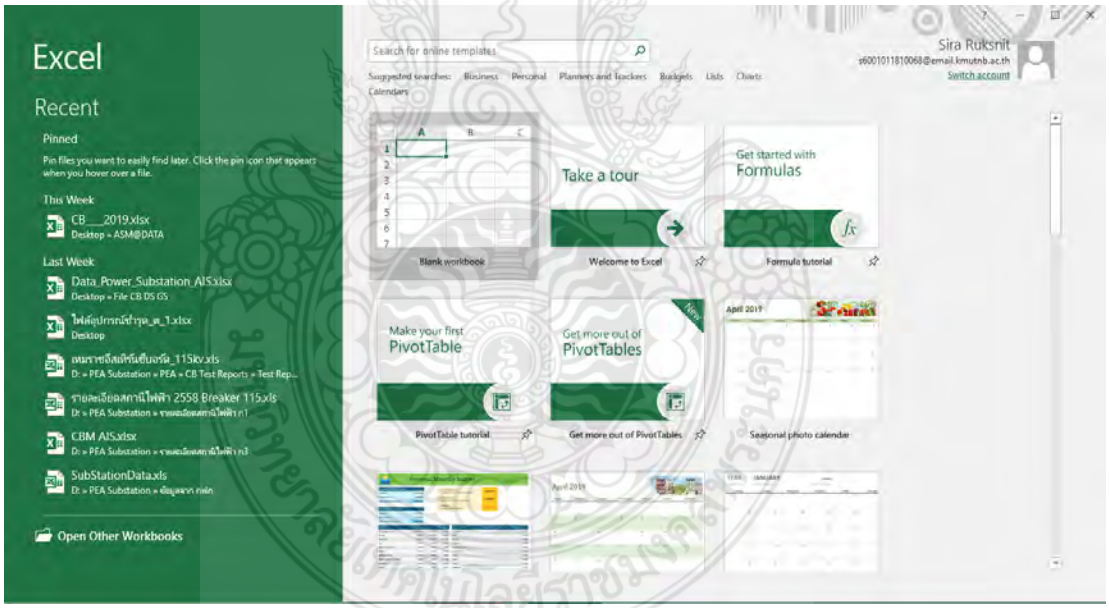
ภาพที่ 0-24 ตัวอย่างดัชนีชี้วัดความล้มเหลวของอุปกรณ์

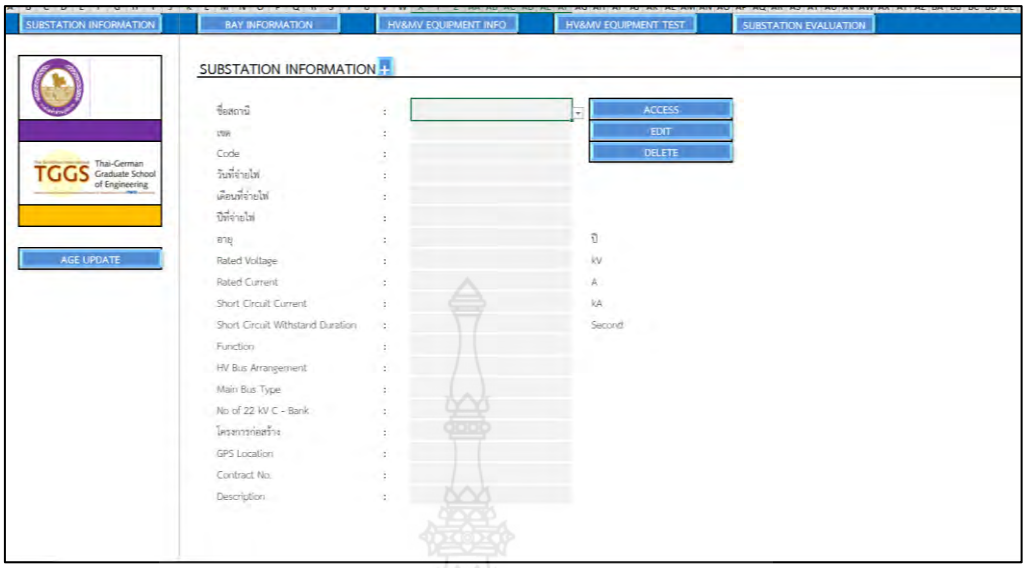
2.7 โปรแกรม

การนำข้อมูลทางเทคนิคและข้อมูลจากการทดสอบของเซอร์กิตเบรกเกอร์และใบมีดไฟฟ้า มาใช้ในการประเมินสภาพและความสำคัญของอุปกรณ์ เพื่อบริหารจัดการความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นของเซอร์กิตเบรกเกอร์และใบมีดไฟฟ้า จำเป็นต้องใช้โปรแกรมในการออกแบบ รวมทั้งการจัดการฐานข้อมูลดังต่อไปนี้

2.7.1 โปรแกรมสำหรับออกแบบและแสดงผล

2.7.1.1 Microsoft Excel ใช้สำหรับเก็บข้อมูลในลักษณะของตาราง ที่มีความสามารถในการคำนวณและสร้างกราฟจากข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ปัจจุบันได้พัฒนามาถึงรุ่นที่มีชื่อเรียกว่า Microsoft Excel 2010 ขึ้นไปที่พัฒนารูปลักษณ์ของหน้าตาและการใช้งานโปรแกรมให้ดูง่าย โดยมีส่วนติดต่อผู้ใช้ที่มีการรวบรวมไว้เป็นหมวดหมู่ให้สามารถใช้งานได้ง่ายและเป็นระบบมากขึ้น Excel เป็นโปรแกรมประเภท สเปรดชีต (Speadsheet) หรือโปรแกรมตารางงาน ซึ่งจะเก็บข้อมูลต่าง ๆ ลงบนแผ่นตารางงาน คล้ายกับการเขียนข้อมูลลงไปในสมุดที่มีการตีช่องตารางทั้งแนวนอนและแนวตั้ง ซึ่งช่องตารางแต่ละช่องจะมีชื่อประจำแต่ละช่อง ทำให้ง่ายต่อการป้อนข้อมูล การแก้ไขข้อมูล สะดวกต่อการคำนวณและการนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้ สามารถจัดข้อมูลต่าง ๆ ได้อย่างเป็นหมวดหมู่และเป็นระเบียบมากยิ่งขึ้น Macro หรือ แมโคร หรือ มาโคร เป็นกลุ่มคำสั่งที่ใช้ทำงานอัตโนมัติใน โปรแกรม Microsoft Excel เช่น Macro เพื่อทำการ Copy ข้อมูลยอดขายที่ได้มาแต่ละเดือน เข้าไปยัง Workbook ของข้อมูลยอดขายทั้งหมด เป็นต้น โดย Microsoft ออกแบบมาให้สร้าง Macro ได้ง่าย ๆ โดยการบันทึก (Record Macro) โดยจะบันทึกการกระทำที่เราทำการ Record เอาไว้ เพื่อสามารถเรียกใช้ได้ในภายหลัง โดยจะเก็บเป็นโปรแกรมด้วยภาษา Visual Basic หรือที่เรียกว่า Visual Basic for Application (VBA) จึงนับได้ว่าเป็นโปรแกรมที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการพัฒนาเว็บไซต์ได้เป็นอย่างมาก [22] โดยภาพที่ 2–39 แสดงตัวอย่างหน้าต่างของโปรแกรม Microsoft Excel



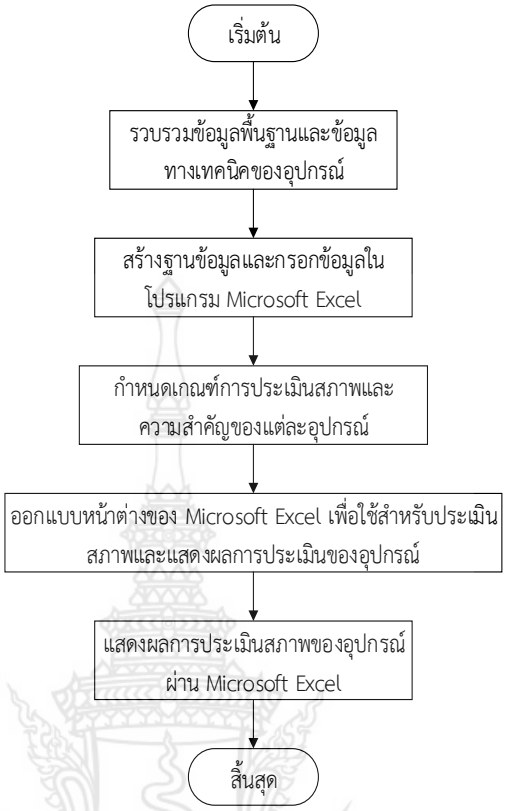


ภาพที่ 0-25 ตัวอย่างหน้าต่างของโปรแกรม Microsoft Excel

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

การประเมินสภาพของอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์และสวิตช์ใบมีดนับเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในสถานีไฟฟ้าทำหน้าที่ตัดต่อวงจรเมื่อเกิดการขัดข้องหรือเกิดความความผิดปกติทางระบบไฟฟ้าซึ่งหากเซอร์กิตเบรกเกอร์ไม่สามารถทำงานได้ทันท่วงทีจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อเสถียรภาพของระบบจำหน่ายไฟฟ้ากำลัง [23] มีผลต่อความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าในระบบไฟฟ้าการเสื่อมสภาพไปตามเวลาและการใช้งานทำให้สถานีไฟฟ้าจำนวนมากกำลังใกล้จะถึงอายุสิ้นสุดการใช้งาน ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและปรับปรุงสถานีไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างมากในอนาคต ดังนั้นจึงมีความต้องการที่จะประเมินสภาพของอุปกรณ์จ่ายไฟหลักและสถานีไฟฟ้าที่ใช้งานอยู่ในระบบส่งกำลังไฟฟ้า เพื่อนำไปพิจารณาปริมาณงานที่ต้องดำเนินการในแต่ละอุปกรณ์จ่ายไฟหลักของสถานีไฟฟ้าแต่ละแห่ง เช่น ใช้งานอุปกรณ์จ่ายไฟหลักและสถานีไฟฟ้าต่อไป ปรับปรุงหรือเปลี่ยนอุปกรณ์จ่ายไฟหลักใหม่ในบางอุปกรณ์ ปรับปรุงหรือเปลี่ยนอุปกรณ์จ่ายไฟหลักใหม่เป็นเบย์ หรือปรับปรุงใหม่ทั้งสถานีไฟฟ้าเป็นต้น และพิจารณาตัดสินใจเพื่อกำหนดเวลาที่เหมาะสมในการทำการปรับปรุงสถานีไฟฟ้า และการจัดลำดับความสำคัญของงานบำรุงรักษาและปรับปรุงสถานีไฟฟ้าได้อย่างชัดเจน มีหลักการเป็นสากลและเป็นที่ยอมรับของทุกหน่วยงาน ในงานดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ข้อมูลทางเทคนิคที่มีอยู่ของอุปกรณ์หลัก เช่น Nameplate Rating สภาวะการใช้งาน และผลการทดสอบประเมินสภาพและการทำงานของอุปกรณ์ [24] แต่ว่าในเกือบทุกองค์กรและหน่วยงานข้อมูลดังกล่าวก็จะกระจายอยู่ตามหน่วยงานที่รับผิดชอบ ยังไม่มีศูนย์กลางที่จะทำการรวบรวมข้อมูล ความรู้และประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญในแต่ละด้านของอุปกรณ์จ่ายไฟหลักและสถานีไฟฟ้าให้เป็นระบบ ยังไม่มีหลักการประเมินสภาพของอุปกรณ์จ่ายไฟหลักและสถานีไฟฟ้าที่ชัดเจนเป็นสากล และยังไม่มีเครื่องมือสนับสนุนการทำงานด้านการบำรุงรักษาอุปกรณ์จ่ายไฟหลักและสถานีไฟฟ้าที่ใช้สนับสนุนการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถนำองค์ความรู้ที่ได้รับไปพัฒนาต่อยอดจัดทำเป็นซอฟท์แวร์โปรแกรมที่สามารถใช้งานผ่านระบบสารสนเทศได้ในอนาคต [25]

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินสภาพอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่แรงดันไฟฟ้า 115 กิโลโวลต์ ในประเทศไทยจำนวน 5 สถานี รวมทั้งจะมีการประเมินสภาพของแต่ละอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์แต่ละสถานีด้วย แล้วนำมาแสดงผลในระดับสี และแบ่งรหัสสีออกเป็น 3 ระดับ คือ เขียว เหลือง และแดง ซึ่งกระบวนการทั้งหมดนี้จะดำเนินการบนโปรแกรม Microsoft Excel ดังแผนผังในภาพที่ 3-1 กระบวนการประเมินสภาพของอุปกรณ์อุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยคือ รวบรวมข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลทางเทคนิคของอุปกรณ์ในระบบเข้าไปเก็บในฐานข้อมูล และกำหนดเกณฑ์การประเมินสภาพและความสำคัญของแต่ละอุปกรณ์ จากนั้นทำการออกแบบหน้าต่างของ Microsoft Excel เพื่อใช้ประเมินสภาพของอุปกรณ์และประเมินสภาพของอุปกรณ์ และนำผลที่ได้จากการประเมินมาแสดงผลบน Microsoft Excel



ภาพที่ 0-1 กระบวนการประเมินสภาพของอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์

3.1 การรวบรวมข้อมูลพื้นฐานและข้อมูลทางเทคนิค

การรวบรวมข้อมูลเพื่อประเมินสภาพอุปกรณ์ไฟฟ้าหลักและสถานีไฟฟ้าต้องการความร่วมมือจากหลายหน่วยงาน เช่น ฝ่ายระบบควบคุมระบบไฟฟ้า ฝ่ายบำรุงรักษา เขตปฏิบัติการต่างๆ ของ กฟภ. ที่จะให้ความอนุเคราะห์ในการศึกษาและรวบรวมข้อมูล ข้อมูลที่มีอยู่เดิมจะอยู่ในหลายรูปแบบ เช่น บันทึกโดยผู้ปฏิบัติงานบำรุงรักษา บันทึกในรูปไฟล์ Excel หรือในรูปสมุดรายงาน เป็นต้น ดังนั้น ข้อมูลเหล่านี้จึงต้องมีการแยกประเภทและคัดกรองข้อมูลที่มีอยู่เดิมก่อนที่จะบันทึกลงในฐานข้อมูลซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญยิ่ง จากนั้นจึงจัดทำฐานข้อมูลกลาง มีระบบรวบรวมและนำเข้าข้อมูลที่ใช้งานได้สะดวก และเพิ่มกระบวนการวิเคราะห์ห์เรียกใช้ข้อมูล ประกอบกับการเขียนโปรแกรมโดยใช้ Visual Basic Application for Excel มาร่วมด้วยก็จะทำให้สามารถนำข้อมูลที่มีอยู่มาใช้ประโยชน์ได้เต็มที่

3.1.1 ขั้นตอนการถ่ายภาพ และรวบรวมข้อมูลพื้นฐานของอุปกรณ์ การถ่ายภาพต้องคำนึงถึงความปลอดภัยและทำความเข้าใจก่อนเข้าปฏิบัติงานในลานไก เตรียมอุปกรณ์ Safety เช่น หมวก เสื้อ รองเท้า มีระยะปลอดภัยในการทำงาน การติดต่อและประสานงานกับผู้ดูแลในสถานีไฟฟ้า

3.1.1.1 สำหรับการถ่ายภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์แสดงดังรูปภาพที่ 3-2 ถึง 3-13

ขั้นตอนที่ 1 ถ่ายภาพ Device Code ของอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ ดังแสดงในภาพที่ 3-2

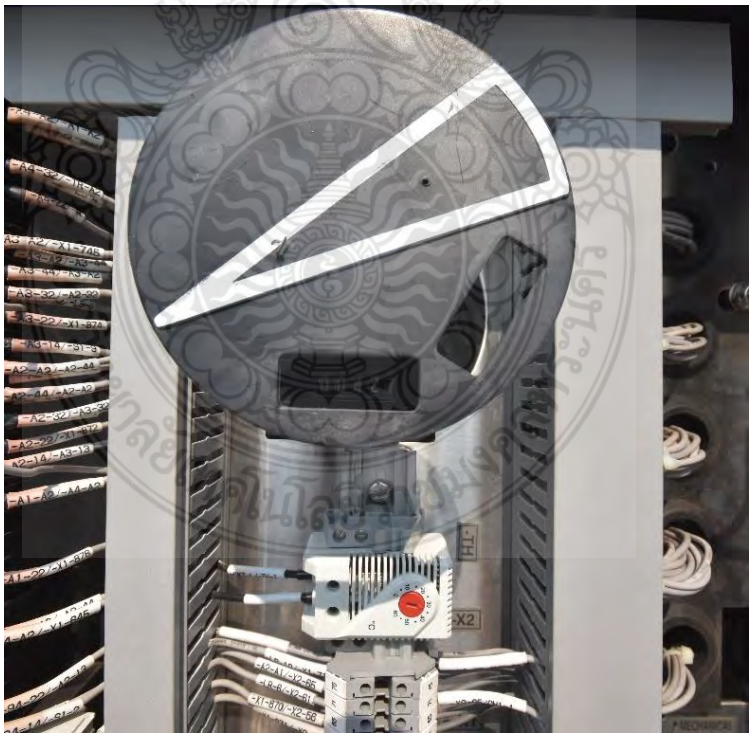
ภาพที่ 0-2 ภาพ Device Code ของอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์

ขั้นตอนที่ 2 ถ่ายภาพ Nameplate ตู้คอลโทรลเซอร์กิตเบรกเกอร์ ดังแสดงในภาพที่ 3-3

ภาพที่ 0-3 ภาพ Nameplate ตู้คอลโทรลเซอร์กิตเบรกเกอร์

ขั้นตอนที่ 3 ถ่ายภาพรวมของอุปกรณ์หลักและอุปกรณ์ประกอบต่าง ๆ ดังแสดงในภาพที่ 3-4 ถึงภาพที่ 3-7

ภาพที่ 0-4 ภาพสเกลวัดก๊าซ SF_6



ภาพที่ 0-5 ภาพจำนวนครั้งการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์

ภาพที่ 0-6 ภาพภายในตู้คอลโทรลเซอร์กิตเบรกเกอร์

ภาพที่ 0-7 ภาพรวมของเซอร์กิตเบรกเกอร์

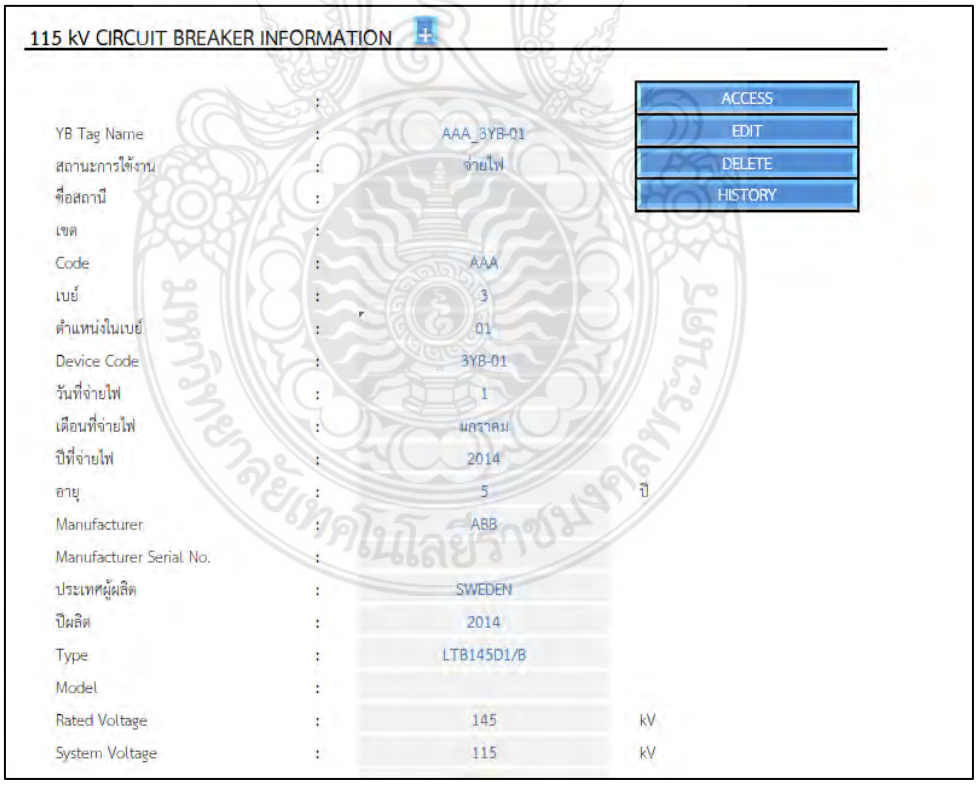
3.2 ฐานข้อมูลในโปรแกรม Microsoft Excel

สร้างฐานข้อมูล ในการสร้างฐานข้อมูลผู้ใช้จะต้องเลือกที่เมนูของหน้าต่างโปรแกรม Microsoft Excel แล้วทำการเลือกอุปกรณ์ที่ต้องการสร้างฐานข้อมูล และทำการกรอกข้อมูลจากภายนอกมายังฐานข้อมูล เพื่อให้ฐานข้อมูลสามารถเก็บข้อมูล

3.2.1 ฐานข้อมูลเซอร์กิตเบรกเกอร์

หน้าต่างข้อมูลทางเทคนิคของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เป็นหน้าต่างที่นำข้อมูล ที่สำคัญมาแสดงซึ่งประกอบด้วย แผ่นป้ายชื่ออุปกรณ์ (Nameplate) รหัสอุปกรณ์ (Device Code) ชื่อของสถานี, เฟส (Phase) เขต, รหัส (Code) เบย์ (Bay) ตำแหน่งในเบย์, สถานะใช้งาน วันที่จ่ายไฟ เดือนที่จ่ายไฟ ปีที่จ่ายไฟ อายุ ผู้ผลิต (Manufacturer) รหัสอุปกรณ์จากผู้ผลิต (Manufacturer Serial No) ประเทศผู้ผลิต ปีผลิต รุ่น (Type) ระบบแรงดัน (System Volltage) ดังภาพที่ 3–14

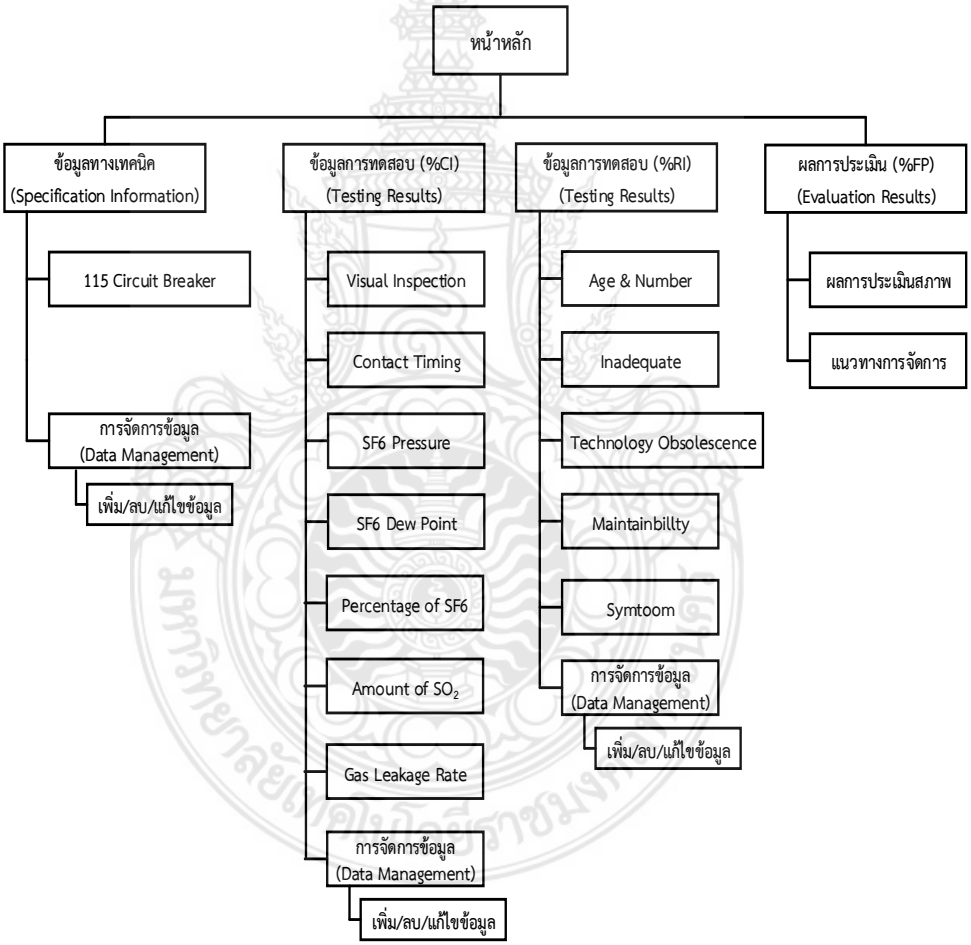
หน้าต่างข้อมูลการทดสอบประกอบด้วย การตรวจวัดความต้านทานหน้าสัมผัส (Main Contact Resistance Test), การตรวจวัดความต้านทานฉนวน (Insulation Resistance Test), การตรวจวัดเวลาในการทำงาน (Contact Timming Test), การตรวจวัดความหนาแน่นและคุณภาพของก๊าซ SF_6, การตรวจวิเคราะห์ความชื้นของก๊าซ SF_6, เปอร์เซ็นต์ของก๊าซ SF_6, การทดสอบความบริสุทธิ์ของก๊าซ SF_6, ปริมาณของก๊าซ SO_2, อัตราการรั่วของแก๊ส (Gas Leakage Rate), การตรวจพินิจ (Visual Inspection)



ภาพที่ 0-8 ตัวอย่างหน้าต่างข้อมูลทางเทคนิคของเซอร์กิตเบรกเกอร์

3.3 การออกแบบหน้าต่างโปรแกรม Air Insulation Substation Condition Based Maintenance

การออกแบบโปรแกรมประเมินสภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่จะนำไปแสดงบนหน้าต่าง Air Insulation Substation Condition Based Maintenance ในงานวิจัยนี้จะมีการออกแบบหน้าต่างของโปรแกรมตามแผนผังการเขียนโปรแกรมดังภาพที่ 3–19 โดยหลักจะมีการแบ่งหน้าต่างของโปรแกรมออกเป็น 4 ส่วน คือ หน้าหลัก ซึ่งเป็นหน้าแรกของโปรแกรมประเมินสภาพและความสำคัญของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ส่วนข้อมูลทางเทคนิค มีไว้สำหรับแสดงข้อมูลของอุปกรณ์ ส่วนข้อมูลการทดสอบ มีไว้สำหรับบันทึกและแสดงข้อมูล การทดสอบของอุปกรณ์ และส่วนผลการประเมิน มีไว้สำหรับทำการประเมินสภาพของอุปกรณ์ รวมทั้งใช้สำหรับแสดงผลการประเมินสภาพ โดยสามารถแบ่งรายละเอียดได้ดังนี้

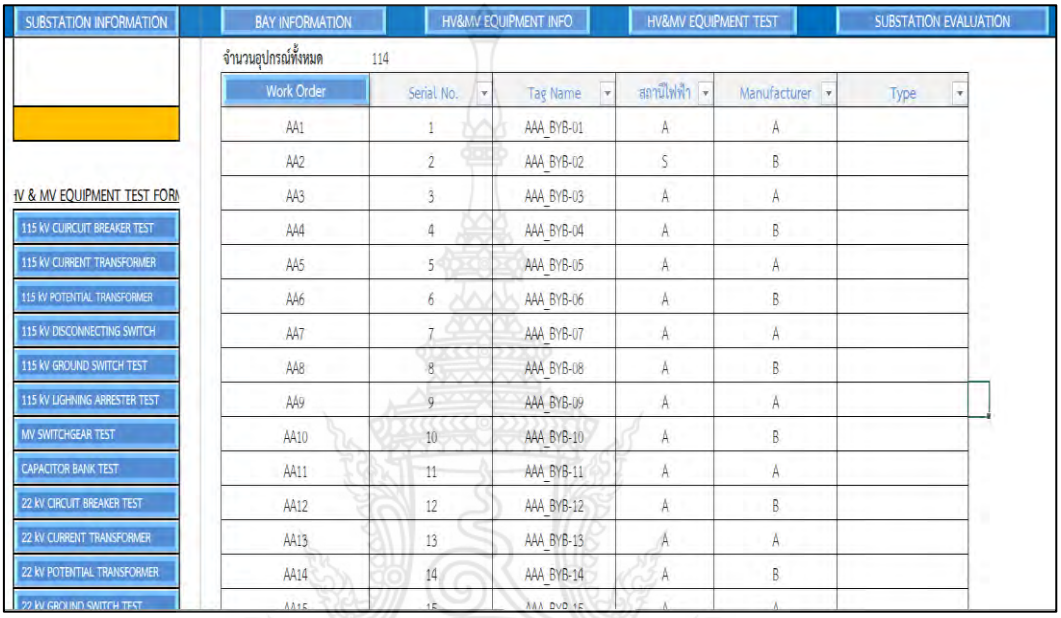


ภาพที่ 0-9 แผนผังการออกแบบโปรแกรมประเมินเซอร์กิตเบรกเกอร์

3.3.1 หน้าหลัก (Home page) เป็นหน้าต่างแรกของโปรแกรมประเมินสภาพของอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ และสวิตช์ใบมีดไฟฟ้าที่แสดงบน Microsoft Excel เพื่อเชื่อมโยงไปยังหน้าต่างอื่น ๆ ประกอบด้วย หน้าต่างข้อมูลทางเทคนิค (Specification Information) หน้าต่างข้อมูลการทดสอบ

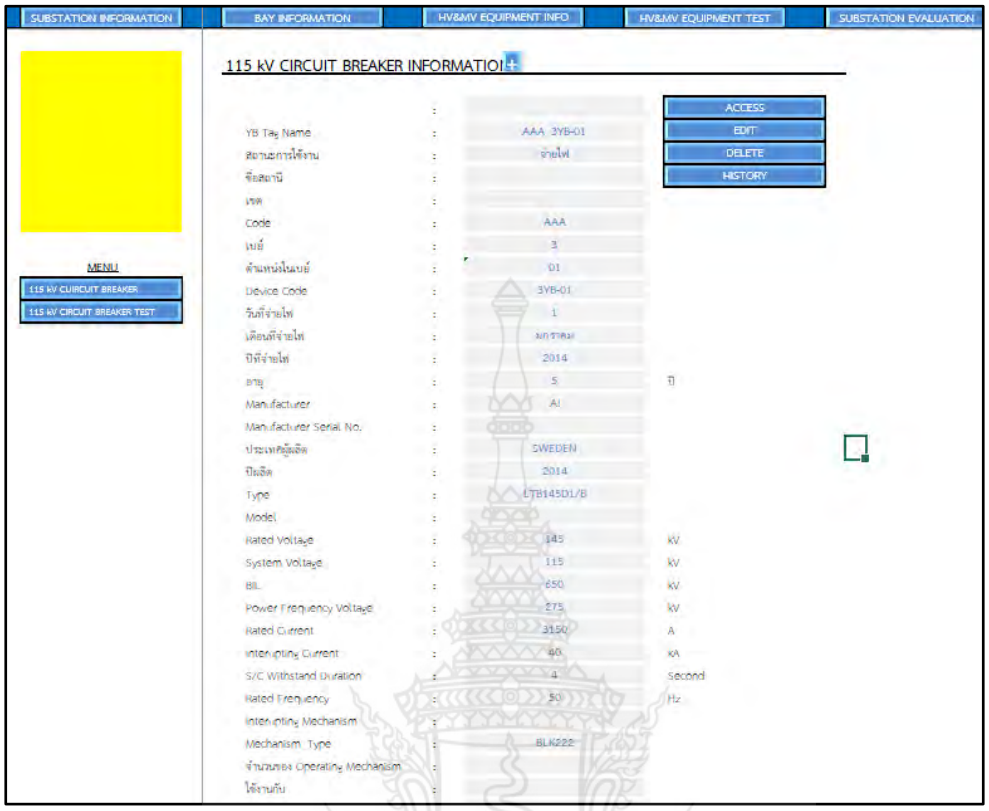
(Testing Results) หน้าต่างการจัดการข้อมูล (Data Management) และหน้าต่างการประเมินสภาพ (Display Results) โดยการออกแบบหน้าต่างหลักของงานวิจัยนี้แสดงดังต่อไปนี้

3.3.1.1 หน้าหลักเซอร์กิตเบรกเกอร์ ประกอบด้วย ชื่อสถานี, ชนิดของอุปกรณ์, (HV Equipment), จำนวนอุปกรณ์ภายในสถานี, (PEA Serial No), (Equipment Tag No), สถานะการใช้งาน, เขต, รหัส (Code), เบย์ (Bay), ตำแหน่งในเบย์, เฟส (Phase) แสดงดังภาพที่ 3–10



ภาพที่ 0-10 ตัวอย่างหน้าต่างหลักของเซอร์กิตเบรกเกอร์

3.3.2 หน้าต่างข้อมูลทางเทคนิคของเซอร์กิตเบรกเกอร์ เป็นหน้าต่างที่นำข้อมูล ที่สำคัญมาแสดงซึ่งประกอบด้วย รหัสอุปกรณ์ (Device Code) ชื่อของสถานี (PEA Serial No), (Equipment Tag No), สถานะการใช้งาน, เฟส (Phase), เขต, รหัส (Code), เบย์ (Bay), ตำแหน่งในเบย์, วันที่จ่ายไฟ, เดือนที่จ่ายไฟ, ปีที่จ่ายไฟ, อายุ, ผู้ผลิต (Manufacturer), รหัสอุปกรณ์จากผู้ผลิต (Manufacturer Serial No), ประเทศผู้ผลิต, ปีผลิต, รุ่น (Type), ระบบแรงดัน (System Volltage) และอื่น ๆ ดังภาพที่ 3–11



ภาพที่ 0-11 หน้าต่างข้อมูลทางเทคนิคของเซอร์กิตเบรกเกอร์

3.3.3 หน้าต่างผลการทดสอบของเซอร์กิตเบรกเกอร์ (Testing Results) เป็นหน้าต่างที่แสดงผลของแต่ละการทดสอบที่ได้ทำการกรอกหรือนำเข้ามายังฐานข้อมูล ซึ่งในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยข้อมูลดังนี้ (Visual Inspection), (Main Contact Resistance Test), (Insulation Resistance Test), (Contact Timming Test), (SF_6 Pressure), (SF_6 Dewpoint), (Percentage of SF_6), (SF_6 Purity), (Amount of SO_2), (Gas Leakage Rate), (Age & Number of Interruption), (Inadequate Rating), (Technology Obsolescence), (Maintainability), (Service Continuity) เช่นเดียวกับหน้าต่างแสดงข้อมูลทางเทคนิคภายในหน้าต่างนี้ได้มีการออกแบบให้สามารถเชื่อมต่อกับหน้าการจัดการข้อมูลได้

3.3.3.1 การตรวจวัดความต้านทานหน้าสัมผัส (Main Contact Resistance Test) ประกอบด้วยข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 3–12

Serial No.	Tag Name	สถานีไฟฟ้า	Breaker MFR	Type	kV	kA	Amps	Main Contact resistance Test เกณฑ์กำหนด < 200 uOhm		
								A	B	C
AAA	AAA 1YB-01	A	A	1	145	40	3150	38	39	38
AAA	AAA 1YB-02	A	B	2	145	40	3150	35	39	37
AAA	AAA 1YB-03	A	C	3	145	40	3150	36	38	36
AAA	AAA 1YB-04	A	D	4	145	40	3150	38	39	38
AAA	AAA 1YB-05	A	E	1	145	40	3150	38	38	38
AAA	AAA 1YB-06	A	F	1	145	40	3150	37	39	39

ภาพที่ 0-112 หน้าต่างผลการทดสอบความต้านทานหน้าสัมผัสของเซอร์กิตเบรกเกอร์

3.3.3.2 การตรวจวัดความต้านทานฉนวน (Insulation Resistance Test) ประกอบด้วยข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 3–13

Serial No.	Tag Name	สถานีไฟฟ้า	Breaker MFR	Type	kV	kA	Amps	Insulation Resistance Test เกณฑ์กำหนด > 1 GOhm					
								A-G	B-G	C-G	A-B	B-C	C-A
AAA	AAA 1YB-01	A	A	1	145	40	3150	10	10	10	10	10	10
AAA	AAA 1YB-02	A	B	2	145	40	3150	10	10	10	10	10	10
AAA	AAA 1YB-03	A	C	3	145	40	3150	10	10	10	10	10	10
AAA	AAA 1YB-04	A	D	4	145	40	3150	10	10	10	10	10	10
AAA	AAA 1YB-05	A	E	1	145	40	3150	10	10	10	10	10	10
AAA	AAA 1YB-06	A	F	1	145	40	3150	10	10	10	10	10	10

ภาพที่ 0-13 หน้าต่างผลการทดสอบความต้านทานฉนวนของเซอร์กิตเบรกเกอร์

3.3.3.3 การตรวจวัดเวลาในการทำงาน (Contact Timming Test) ประกอบด้วยข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 3–14

Serial No.	Tag Name	สถานีไฟฟ้า	Breaker MFR	Type	kV	kA	Amps	Timming Test Operation เกณฑ์ Closing < 1 ms						Opening < 1 ms					
								Vdc	Coil Amp	A			B			C			
										C	O1	O2	C	O1	O2	C	O1	O2
AAA	AAA 1YB-01	A	A	1	145	40	3150			32	25	24	32	25	24	32	25	24
AAA	AAA 1YB-02	A	B	2	145	40	3150			32	25	24	32	25	24	32	25	24
AAA	AAA 1YB-03	A	C	3	145	40	3150			32	25	24	32	25	24	32	25	24
AAA	AAA 1YB-04	A	D	4	145	40	3150			32	25	24	32	25	24	32	25	24
AAA	AAA 1YB-05	A	E	1	145	40	3150			32	25	24	32	25	24	32	25	24
AAA	AAA 1YB-06	A	F	1	145	40	3150											

ภาพที่ 0-14 หน้าต่างผลการทดสอบเวลาในการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์

3.3.3.4 การตรวจวัดความหนาแน่นและคุณภาพของก๊าซ SF_6 (SF_6 Pressure) ประกอบด้วยข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 3–15

Serial No.	Tag Name	สถานีไฟฟ้า	Breaker MFR	Type	kV	kA	Amps	SF6 Pressure Check		
								เกณฑ์กำหนด		
								>	1	bar
								A	B	C
AAA	AAA 1YB-01	A	A	1	145	40	3150	5.1		
AAA	AAA 1YB-02	A	B	2	145	40	3150	5.6		
AAA	AAA 1YB-03	A	C	3	145	40	3150	5.6		
AAA	AAA 1YB-04	A	D	4	145	40	3150	5.2		
AAA	AAA 1YB-05	A	E	1	145	40	3150	5.2		
AAA	AAA 1YB-06	A	F	1	145	40	3150	5.1		

ภาพที่ 0-15 หน้าต่างผลการทดสอบความหนาแน่นและคุณภาพของก๊าซ SF_6

3.3.3.5 การตรวจวิเคราะห์ความชื้นของก๊าซ SF_6 (SF_6 Dewpoint), เปอร์เซ็นต์ของก๊าซ SF_6 (Percentage of SF_6), การทดสอบความบริสุทธิ์ของก๊าซ SF_6 (SF_6 Purity), ปริมาณของก๊าซ SO_2 (Amount of SO_2) ประกอบด้วยข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 3–16

Serial No.	Tag Name	สถานีไฟฟ้า	Breaker MFR	Type	kV	kA	Amps	SF6 Quality		
								DP < -10 °C	%SF6 > 80 %	S20 < 10 ppm
AAA	AAA 1YB-01	A	A	1	145	40	3150	-19		
AAA	AAA 1YB-02	A	B	2	145	40	3150	-18		
AAA	AAA 1YB-03	A	C	3	145	40	3150	-19		
AAA	AAA 1YB-04	A	D	4	145	40	3150	-17.4		
AAA	AAA 1YB-05	A	E	1	145	40	3150	-19		
AAA	AAA 1YB-06	A	F	1	145	40	3150	-18.5		

ภาพที่ 0-16 หน้าต่างผลการทดสอบ SF_6 Quality

3.3.3.6 อัตราการรั่วของแก๊ส (Gas Leakage Rate) ดังแสดงในภาพที่ 3–17

Serial No.	Tag Name	สถานีไฟฟ้า	Breaker MFR	Type	kV	kA	Amps	Undamage & Clean
AAA	AAA 1YB-01	A	A	1	145	40	3150	Yes
AAA	AAA 1YB-02	A	B	2	145	40	3150	Yes
AAA	AAA 1YB-03	A	C	3	145	40	3150	Yes
AAA	AAA 1YB-04	A	D	4	145	40	3150	Yes
AAA	AAA 1YB-05	A	E	1	145	40	3150	Yes
AAA	AAA 1YB-06	A	F	1	145	40	3150	Yes

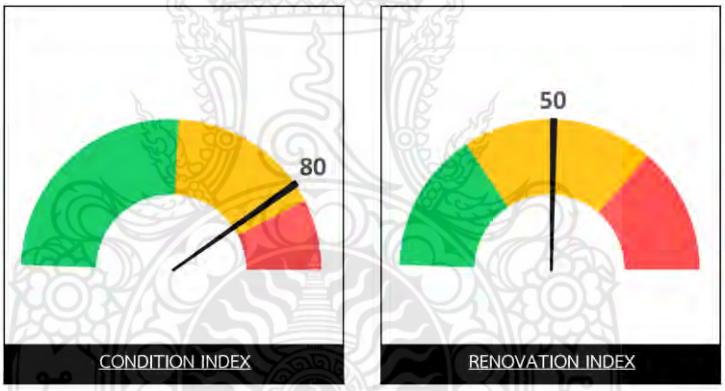
ภาพที่ 0-17 หน้าต่างผลการทดสอบอัตราการรั่วของแก๊สของเซอร์กิตเบรกเกอร์

3.3.3.7 การตรวจพินิจด้วยสายตา (Visual Inspection) ประกอบด้วยข้อมูลดังแสดงในภาพที่ 3–18

Serial No.	Tag Name	สถานีไฟฟ้า	Breaker MFR	Type	kV	kA	Amps	Visual Inspection					Symtom	Remark
								Undamage & Clean	Fastening check	Counter Check	Counter No.	Operating Check		
AAA	AAA_1YB-01	A	A	1	145	40	3150	Yes	Yes	No	ชำรุด			
AAA	AAA_1YB-02	A	B	2	145	40	3150	Yes	Yes	No	ชำรุด			
AAA	AAA_1YB-03	A	C	3	145	40	3150	Yes	Yes	No	ชำรุด			
AAA	AAA_1YB-04	A	D	4	145	40	3150	Yes	Yes	No	ชำรุด			
AAA	AAA_1YB-05	A	E	1	145	40	3150	Yes	Yes	No	ชำรุด			
AAA	AAA_1YB-06	A	F	1	145	40	3150	Yes	Yes	No	ชำรุด			

ภาพที่ 0-18 หน้าต่างผลการทดสอบการตรวจพินิจด้วยสายตาของเซอร์กิตเบรกเกอร์

3.3.4 หน้าต่างผลการประเมิน (Evaluation Results) เป็นหน้าต่างที่นำข้อมูลจากผลการทดสอบมาทำการประเมินสภาพของอุปกรณ์โดยใช้วิธีการคำนวณการคำนวณดัชนีเงื่อนไข (Conditional Index:*%CI*) และดัชนีความต้องการปรับปรุงอุปกรณ์ (Renovation Index:*%RI*) เพื่อนำไปหาอัตราการล้มเหลวของอุปกรณ์ (Failure Probability:*%FP*) จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินสภาพของแต่ละอุปกรณ์มาทำการประเมินสภาพของอุปกรณ์ เมื่อโปรแกรมทำการประเมินสภาพของแต่ละอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว โปรแกรมจะทำการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินสภาพ ดังแสดงตัวอย่างในภาพที่ 3–19 ถึงภาพที่ 3–20 ตามลำดับ



(ก) ภาพผลลัพธ์ดัชนีเชิงสภาพของอุปกรณ์ (ข) ภาพผลลัพธ์ดัชนีความต้องการปรับปรุงอุปกรณ์

ภาพที่ 0-19 ตัวอย่างผลลัพธ์ดัชนีเชิงสภาพของอุปกรณ์ และดัชนีความต้องการปรับปรุงอุปกรณ์

ภาพที่ 0-20 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการประเมินอัตราการล้มเหลวของอุปกรณ์ (*%FP*)

บทที่ 4
ผลการวิจัย

การทดลองประเมินสภาพเซอร์กิตเบรกเกอร์ในระบบจำหน่าย 115 kV ในงานวิจัยนี้ได้เลือกเซอร์กิตเบรกเกอร์มาจำนวน 5 สถานี คือ AAA, DDD, OOO, III และ MMM โดยผลจากการประเมินสภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์มีรายละเอียดดังนี้

4.1 ผลการประเมินสภาพเซอร์กิตเบรกเกอร์

การประเมินสภาพเซอร์กิตเบรกเกอร์จะเริ่มต้นด้วยการคำนวณดัชนีเชิงสภาพของอุปกรณ์ (Conditional Index:*%CI*) และดัชนีความต้องการปรับปรุงอุปกรณ์ (Renovation Index:*%RI*) เพื่อนำไปหาดัชนีความล้มเหลวของอุปกรณ์ (Failure Probability:*%FP*) โดยการคำนวณดัชนีสุขภาพของอุปกรณ์สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-7) ซึ่งจะยกตัวอย่างการประเมินสภาพของอุปกรณ์โดยใช้ข้อมูลจากสถานี AAA ข้อมูลของอุปกรณ์ แสดงดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 0-1 ตัวอย่างข้อมูลของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่นำมาคำนวณ

สถานีไฟฟ้า	รหัส	อายุ	kV	kA	Amps
AAA	AAA_1YB-01	25	123	32	2000

4.1.1 การคำนวณดัชนีเชิงสภาพเซอร์กิตเบรกเกอร์ ($\%CI_{CB}$) จะพิจารณาจากผลการทดสอบอุปกรณ์ ประกอบด้วย, การทดสอบความต้านทานหน้าสัมผัส (Main Contact Resistance Test), การทดสอบความต้านทานฉนวน (Insulation Resistance Test), การทดสอบเวลาในการทำงาน (Contact Timming Test), การตรวจวัดความหนาแน่นและคุณภาพของก๊าซ (SF_6 Pressure), การตรวจวิเคราะห์ความชื้นของก๊าซ (SF_6 Dewpoint), เปอร์เซ็นต์ของก๊าซ (Percentage of SF_6), การทดสอบความบริสุทธิ์ของก๊าซ (SF_6 Purity), ปริมาณของก๊าซ (Amount of SO_2), อัตราการรั่วของแก๊ส (Gas Leakage Rate) และการตรวจพินิจด้วยสายตา (Visual Inspection) ซึ่งมีข้อมูลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 0-2 การทดสอบการตรวจวัดความต้านทานหน้าสัมผัสเซอร์กิตเบรกเกอร์

การทดสอบวัดความต้านทานหน้าสัมผัส	เกณฑ์กำหนด	ผลที่ได้	คะแนน
หน้าสัมผัสเฟส เฟส A	< 200 μOhm	33	0
หน้าสัมผัสเฟส เฟส B	< 200 μOhm	33	0
หน้าสัมผัสเฟส เฟส C	< 200 μOhm	32	0

ตารางที่ 0-3 การทดสอบการตรวจวัดความต้านทานฉนวนเซอร์กิตเบรกเกอร์

การทดสอบความต้านทานฉนวน	เกณฑ์กำหนด	ผลที่ได้	คะแนน
การทดสอบความต้านทานฉนวนเฟส A-G	> 1 GOhm	101	0
การทดสอบความต้านทานฉนวนเฟส B-G	> 1 GOhm	101	0
การทดสอบความต้านทานฉนวนเฟส C-G	> 1 GOhm	101	0
การทดสอบความต้านทานฉนวนเฟส A-C	> 1 GOhm	177	0
การทดสอบความต้านทานฉนวนเฟส A-B	> 1 GOhm	216	0
การทดสอบความต้านทานฉนวนเฟส B-C	> 1 GOhm	215	0

ตารางที่ 0-4 การทดสอบเวลาในการทำงานเซอร์กิตเบรกเกอร์

การทดสอบเวลาในการทำงาน	เกณฑ์กำหนด	ผลที่ได้	คะแนน
เฟส A (Closing)	< 10%	86 ms (> 10%)	5
เฟส B (Closing)	< 10%	86 ms (> 10%)	5
เฟส C (Closing)	< 10%	87 ms (> 10%)	5
เฟส A (Opening)	< 10%	36 ms (> 10%)	5
เฟส B (Opening)	< 10%	37 ms (> 10%)	5
เฟส C (Opening)	< 10%	36 ms (> 10%)	5

ตารางที่ 0-5 การตรวจวัดความหนาแน่นและคุณภาพของก๊าซ

SF_6 Pressure	เกณฑ์กำหนด	ผลที่ได้	คะแนน
SF_6 Pressure Check	> 1 bar	6.8	0

ตารางที่ 0-6 การตรวจวิเคราะห์ความชื้นของก๊าซ

SF_6 Dewpoint	เกณฑ์กำหนด	ผลที่ได้	คะแนน
SF_6 Dewpoint	< -10 °C	-19.4 °C	0

ตารางที่ 0-7 เปอร์เซ็นต์ของก๊าซ

Percentage of SF_6	เกณฑ์กำหนด	ผลที่ได้	คะแนน
$\%SF_6$	> 80 %	90 %	0

ตารางที่ 0-8 การทดสอบความบริสุทธิ์ของก๊าซ

SF_6 Purity	เกณฑ์กำหนด	ผลที่ได้	คะแนน
SF_6 Purity	> 99 %	100 %	0

ตารางที่ 0-9 ปริมาณของก๊าซ

Amount of SO_2	เกณฑ์กำหนด	ผลที่ได้	คะแนน
Amount of SO_2	< 10 ppm	2 ppm	0

ตารางที่ 0-10 อัตราการรั่วของแก๊ส

Gas Leakage Rate	เกณฑ์กำหนด	ผลที่ได้	คะแนน
Gas Leakage Rate	< 1 ครั้ง/ปี	ปกติ	0

ตารางที่ 0-11 การตรวจพินิจด้วยสายตาเซอร์กิตเบรกเกอร์

Visual Inspection	เกณฑ์กำหนด	คะแนน
Function Test	ปกติ	0
Cleaning	ปกติ	5
Lubrication drive mechanism	ปกติ	5
Terminal check	ปกติ	0
All fatening	ปกติ	0

จากนั้นนำค่าคะแนนที่ได้จากการทดสอบมาแทนค่าลงในสมการที่ (2-7) จะได้ผลลัพธ์เท่ากับ 20% ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

$$\%CI_{CB} = \frac{0+0+5+0+0+0+0+0+0+5}{(5\times10)}\times100 = 20\%$$

4.1.2 การคำนวณดัชนีความต้องการปรับปรุงเซอร์กิตเบรกเกอร์ ($\%RI_{CB}$) จะพิจารณาจากผลการทดสอบอุปกรณ์ ประกอบด้วย อายุและจำนวนการทำงานของอุปกรณ์ (Age & Number of Interruption), พิกัดของอุปกรณ์ (Inadequate Rating), ความล้าสมัยของเทคโนโลยี (Technology Obsolescence), การบำรุงรักษา (Maintain Ability), และความสมควรใช้งาน (Service Continuity) ซึ่งมีข้อมูลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 0-12 การคำนวณอายุและจำนวนการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์

Age & Number of Interruption	ผลที่ได้	คะแนน	เกณฑ์ย่อย
Overall Age (25 years)	25	5	60
Age of Interrupter (24 years)	25	3	10
Age of Mechanism after Overhaul (12)	25	3	10
Number of Operation after Overhaul	-	0	10
Number of Fault Current Interruption	-	0	10

จากนั้นนำค่าคะแนนที่ได้จากการทดสอบมาแทนค่าลงในสมการที่ (2-8) จะได้ผลลัพธ์เท่ากับ 72% ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

$$\%RI_{Age} = \frac{(5\times60)+(3\times10)+(3\times10)+(0\times10)+(0\times10)}{(5\times100)}\times100 = 72\%$$

ตารางที่ 0-13 การคำนวณพิกัดของอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์

Inadequate Rating	ผลที่ได้	คะแนน	เกณฑ์ย่อย
Ratioof load current to Rated Current	100%	5	50
Ratioof S/C current to Rated S/C Current	100%	5	50

จากนั้นนำค่าคะแนนที่ได้จากการทดสอบมาแทนค่าลงในสมการที่ (2-8) จะได้ผลลัพธ์เท่ากับ 100% ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

$$\%RI_{Inadequate\ Rating} = \frac{(5\times50)+(5\times50)}{(5\times100)}\times100 = 100\%$$

ตารางที่ 0-14 การคำนวณความล้าสมัยของเทคโนโลยีเซอร์กิตเบรกเกอร์

Technology Obsolescence	ผลที่ได้	คะแนน	เกณฑ์ย่อย
Replaced by Advanced Technology	แย่	5	50
No Longer Manufactured	แย่	5	50

จากนั้นนำค่าคะแนนที่ได้จากการทดสอบมาแทนค่าลงในสมการที่ (2-8) จะได้ผลลัพธ์เท่ากับ 100% ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

$$\%RI_{Technology\ Obsolescence} = \frac{(5\times50)+(5\times50)}{(5\times100)}\times100 = 100\%$$

ตารางที่ 0-15 การคำนวณการบำรุงรักษาเซอร์กิตเบรกเกอร์

Maintain Ability	ผลที่ได้	คะแนน	เกณฑ์ย่อย
Spare parts availability	หาง่าย	0	20
Personnel expertise level	ปานกลาง	3	20
OEM Support / After saleservice quality	ดี	5	20
Orphan (< 5 units left in system)	> 5	0	20
Operator Level of Satisfaction (Failure Rate)	ดี	0	20

จากนั้นนำค่าคะแนนที่ได้จากการทดสอบมาแทนค่าลงในสมการที่ (2-8) จะได้ผลลัพธ์เท่ากับ 32% ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

$$\%RI_{Maintain\ Ability} = \frac{(0\times 20)+(3\times 20)+(5\times 20)+(0\times 20)+(0\times 20)}{(5\times 100)}\times 100 = 32\%$$

ตารางที่ 0-16 การคำนวณความสมควรใช้งานเซอร์กิตเบรกเกอร์

Service Continuity	ผลที่ได้	คะแนน	เกณฑ์ย่อย
Service Continuity	แย่	5	100

จากนั้นนำค่าคะแนนที่ได้จากการทดสอบมาแทนค่าลงในสมการที่ (2-8) จะได้ผลลัพธ์เท่ากับ 100% ซึ่งมีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

$$\%RI_{Service\ Continuity} = \frac{(5\times 100)}{(5\times 100)}\times 100 = 100\%$$

จากนั้นนำคะแนนและน้ำหนักแต่ละเกณฑ์จากกระบวนการลำดับชั้น (AHP) ดังตารางที่ 4-17 มาแทนค่าลงในสมการที่ (2-8) จะได้ ($\%RI_{CB}$) ผลลัพธ์รวมเท่ากับ 77.16% แสดงว่าอยู่ในระดับแย่ควรต้องเปลียนอย่างเร่งด่วน

$$\%RI_{CB} = \frac{(72\times 33)+(100\times 19)+(100\times 8)+(32\times 20)+(100\times 20)}{(33+19+8+20+20)\times 100}\times 100 = 77.16\%$$

ตารางที่ 0-17 น้ำหนักและคะแนนแต่ละเกณฑ์เซอร์กิตเบรกเกอร์

เกณฑ์	คะแนน	น้ำหนักเกณฑ์หลัก ($\%W_j$)	$\%RI_{CB}$
Age & Number of Interruption	72	33%	77.16%
Inadequate Rating	100	19%	
Technology Obsolescence	100	8%	
Maintain Ability	32	20%	
Service Continuity	100	20%	

4.1.3 การคำนวณดัชนีชี้วัดความล้มเหลวของอุปกรณ์ (Probability of failure : $\%FP_{system}$) ในการคำนวณจะนำผลลัพธ์จากการคำนวณหาดัชนีเชิงสภาพของอุปกรณ์ (Conditional Index : $\%CI_{Equipment}$) ของแต่ละอุปกรณ์ และผลลัพธ์จากการคำนวณหาดัชนีความต้องการปรับปรุงอุปกรณ์ (Renovation Index : $\%RI_{Equipment}$) จากนั้นนำค่าดัชนีที่ได้มาคำนวณดัชนีชี้วัดความล้มเหลวของเซอร์กิตเบรกเกอร์โดยใช้สมการที่ (2-9) จะได้ผลลัพธ์เท่ากับ 38.78% มีรายละเอียดการคำนวณดังนี้

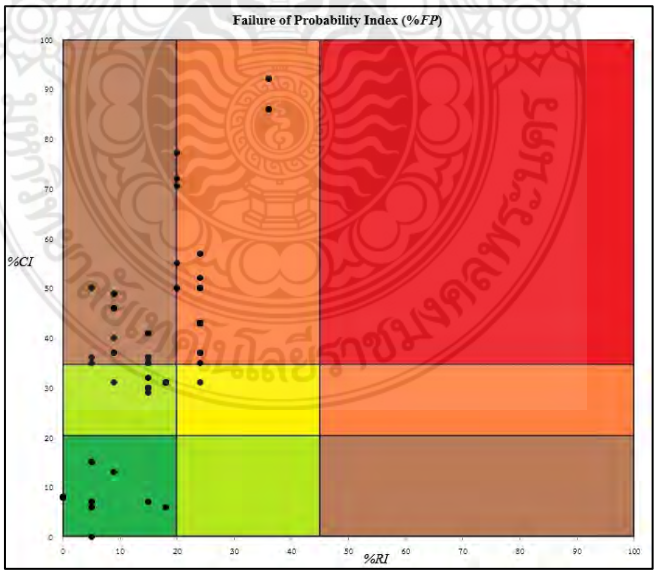
$$\%FP_{CB} = (0.5\times \%20)+(0.5\times \%77.16) = 48.58\%$$

จากสถานีไฟฟ้า AAA การวิเคราะห์ห์ความเสี่ยงของเซอร์กิตเบรกเกอร์จะอ้างอิงจากผลของการ คำนวณดัชนีชี้วัดความล้มเหลวของเซอร์กิตเบรกเกอร์ดังแสดงในตารางที่ 4–18

ตารางที่ 0-18 ดัชนีชี้วัดความล้มเหลวของเซอร์กิตเบรกเกอร์ของสถานี AAA

รหัส	$\%CI_{CB}$	$\%RI_{CB}$	$\%FP_{CB}$	ดัชนีชี้วัดความล้มเหลว
AAA_1YB-01	20	77.16	48.58	ความล้มเหลวสูง
AAA_2YB-01	20	70.50	45.25	ความล้มเหลวสูง
AAA_3YB-01	20	77.16	48.58	ความล้มเหลวสูง
AAA_4YB-01	20	50	35	ความล้มเหลวปานกลาง
AAA_5YB-01	20	50	35	ความล้มเหลวปานกลาง
AAA_6YB-01	20	55	37.50	ความล้มเหลวปานกลาง
AAA_BYB-01	20	72	46	ความล้มเหลวปานกลาง

จากผลการประเมินสภาพดัชนีความล้มเหลวของเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั้งหมด 5 สถานีจะอยู่ที่ภาคผนวก ก แล้วกราฟสรุปความเสี่ยงดังภาพที่ 4-1 โดยเซอร์กิตเบรกเกอร์ภาคกลางหรือบริเวณใกล้โรงงานอุตสาหกรรม เช่น สถานี AAA จะมีสภาพระดับแย่ มาจากที่ภาวะโหลดมากทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานหนัก และเกิดความเครียดสูงซึ่งควรต้องได้รับการบำรุงรักษา และการปรับปรุง เพื่อป้องกันการล้มเหลวของเซอร์กิตเบรกเกอร์ส่วนภาคอื่น ๆ เช่น สถานี III สภาพจะอยู่ที่ระดับดี และปานกลาง เพราะบริเวณนั้นอาจจะมีความเครียดต่ำ รวมถึงเกณฑ์อื่น ๆ อยู่ในสภาพที่ดี แสดงดังภาพที่ 4-2 ถึง 4-3 และอาจจะเกี่ยวกับอุปกรณ์แต่ละผู้ผลิตดังภาพที่ 4-4 และตารางที่ 4-31



ภาพที่ 0-1 กราฟความล้มเหลวของเซอร์กิตเบรกเกอร์ใน 5 สถานี

ตารางที่ 0-19 จำนวนเซอร์กิตเบรกเกอร์แต่ละบริษัทในแต่ละ 5 สถานี

สถานีไฟฟ้า	**บริษัท A**	**บริษัท B**	**บริษัท C**	**บริษัท D**
AAA	-	-	2	5
BBB	3	-	-	-
CCC	1	5	-	-
DDD	1	4	-	1
EEE	2	-	-	-
รวม	**7**	**9**	**2**	**6**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

การประเมินสภาพอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ และสวิตช์ใบมีดมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการบริหารสินทรัพย์ที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้า และช่วยในการวางแผนสำหรับการบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบ การสำรองอุปกรณ์อุปกรณ์ไว้ล่วงหน้า ซึ่งช่วยส่งเสริมให้ความน่าเชื่อถือ และเสถียรภาพของระบบไฟฟ้าแรงสูงในระบบจำหน่าย

งานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินสภาพอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ แรงสูงในระบบจำหน่าย 115 กิโลโวลต์ โดยใช้ตัวอย่างสถานีไฟฟ้าในประเทศไทยจำนวน 5 สถานี โดยการประเมินสภาพของระบบตามการประเมินสภาพของอุปกรณ์ ประกอบด้วย เซอร์กิตเบรกเกอร์ ซึ่งในการประเมินสภาพของแต่ละอุปกรณ์จะแบ่งย่อยตามการทดสอบที่ใช้ทดสอบแต่ละอุปกรณ์ เช่น การตรวจพินิจด้วยสายตา การทดสอบความต้านทานหน้าสัมผัส การทดสอบความต้านทานฉนวน การทดสอบเวลาในการทำงาน สภาพแวดล้อม อายุ ความเครียดทางไฟฟ้า ความล้าสมัยของเทคโนโลยี การบำรุงรักษา และอาการเสีย เป็นต้น โดยทุกขั้นตอนในการประเมินสภาพในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการให้น้ำหนักและคะแนน (Weight Score Method) และใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ห์ (Analytic Hierarchy Process) ในการวิเคราะห์ห์น้ำหนักของแต่ละการทดสอบและอุปกรณ์ที่ได้มาจากการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญในไฟฟ้าระบบจำหน่าย หลังจากที่ได้ทำการประเมินสภาพของระบบเรียบร้อยแล้วจะนำผลที่ได้ไปเทียบกับเกณฑ์ในการบริหารความเสี่ยงของระบบ เพื่อให้ได้ข้อแนะนำในการบริหารความเสี่ยงของอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์

สำหรับกระบวนการทั้งหมดในการประเมินสภาพอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ได้กล่าวมาข้างต้น จะดำเนินการผ่านโปรแกรมการประเมินสภาพอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ ที่ได้ออกแบบให้สามารถใช้งานได้บน Microsoft Excel ซึ่งช่วยให้การเข้าใช้งานโปรแกรมสามารถทำได้ง่าย สะดวก ประหยัดเวลา และช่วยให้การทำงานของผู้ใช้งานมีประสิทธิภาพมากขึ้น

จากผลการวิจัยที่ได้ทำการประเมินสภาพอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ ไฟฟ้าแรงสูงในระบบจำหน่าย 115 กิโลโวลต์ จำนวน 5 สถานี จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ EEE_1YB-01 มีสภาพโดยรวมของอุปกรณ์แย่ที่สุด เนื่องจากอุปกรณ์มีอายุมาก และยากต่อการบำรุงรักษา และข้อแนะนำในการบริหารจัดการความเสี่ยงของอุปกรณ์นี้ คือ ต้องปรับปรุงอย่างเร่งด่วน เพื่อช่วยลดความเสี่ยงและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นในภายภาคหน้า สำหรับอุปกรณ์เซอร์กิตเบรกเกอร์ที่มีสภาพดีที่สุด คือ BBB_1YB-01เนื่องจากสภาพอุปกรณ์มีอายุน้อยเป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งใหม่ และผลการประเมินความเสี่ยงของอุปกรณ์อยู่ในช่วงที่สามารถใช้งานได้ปกติ

5.2 ข้อเสนอแนะ

การประเมินสภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์ และสวิตช์ใบมีดไฟฟ้าแรงสูงในระบบจำหน่าย 115 กิโลโวลต์ ควรจะมีการเพิ่มหัวข้อในการทดสอบมากขึ้น เพื่อให้ผลการประเมินสภาพมีความใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด และควรเพิ่มลำดับความสำคัญของแต่ละอุปกรณ์ เพื่อให้สามารถระบุลำดับความสำคัญในการจัดการบริหารความเสี่ยงก่อนและหลังได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

สำหรับโปรแกรมประเมินสภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์ และสวิตช์ใบมีดไฟฟ้าที่ได้ออกแบบให้ใช้งานบน Microsoft Excel ยังมีข้อจำกัดในการใช้งานอยู่หลายอย่าง เช่น การใช้งานร่วมกันบน Web Application, Android OS, IOS ดังนั้นในการพัฒนาโปรแกรมต่อไปในอนาคต ควรจะมีรูปแบบของฟังก์ชันการใช้งานที่ง่ายขึ้นพร้อมทั้งสามารถใช้งานบนสมาร์ทโฟน รูปแบบที่ทันสมัยเพื่อให้การประเมินสภาพของของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ทำให้สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. John D. McDonald, Electric Power Substations Engineering, 2nd Edition, CRC Press LLC, 2007.
2. G. Balzer, A. Schneider, S. Gal, K. Bakic, et al, Life Cycle Assessment of Substations: A Procedure for an Optimized Asset Management," in CIGRE 23-302, 2002.
3. Tanaka, H, Tsukao S, Yamashita D., "Multiple Criteria Assessment of Substation Conditions by Pair-Wise Comparison of Analytic Hierarchy Process, IEEE Transactions on Power Delivery," 2010.
4. A. Naderian, S. Cress, R. Piercy, F. Wang, J. Service, , "An Approach to Determine the Health Index of Power Transformers," IEEE ISEI, pp. 192-196, 2008.
5. สุชาติ ปรีชาธร, วิศวกรรมการป้องกันระบบไฟฟ้าแรงสูง เล่มที่ 1, กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ด ยูเคชั่น จำกัด, 2555.
6. SIEMENS Beraker. [ออนไลน์] (ม.ป.ป). [สืบค้นวันที่ 12 มกราคม 2561]. จาก https://new.siemens.com
7. HV Circuit Breaker. [ออนไลน์] (ม.ป.ป). [สืบค้นวันที่ 12 มกราคม 2561]. จาก https://www.slideshare.com
8. Flickr. [ออนไลน์] (ม.ป.ป). [สืบค้นวันที่ 12 มกราคม 2561]. จาก https://www.flickr.com
9. Poland, HAPAM, "Single-Column Pantograph Disconnectors type TFB 123- 550 kV," 2017.
10. International Electrotechnical Commission. [online] IEC 60364-1, 2005.
11. Sft.uosh. (Equipment, Writer, IEC 60480 2019-04. [online] 2019. [cited 5 Apr. 2019]. Available : https://www.standards.org.au/
12. DILO Armaturen and Anlagen GmbH, "Devices for determination of the SF6 for determination of moisture 3-037-R001," 2019.
13. KMTEAMDCA Airport, กระบวนการตรวจพินิจ, [ออนไลน์] (ม.ป.ป). [สืบค้นวันที่ 5 เมษายน 2562]. จาก https://www.gotoknow.org/posts/572447.
14. D.Hewings, "IEC 61850 As An Asset Management Model: It's Not About Relays," in IET Conference, 2010.
15. R. Jongen, E. Gulski, J. Smit, "Statistical Analysis of Diagnostic- and Life Time Data of High Voltage Components, in IPEC, 2007.
16. M. Muhr, Aging and Degradation, "Their Detection and Monitoring & Asset

Management," in Proceedings of Int. Symposium on Electrical Insulating Materials, 2008.

17. C.Suwanasri, T. Sangpakdeejiti, N. Vipulumi, P. Fuangpian, S. Ruankon and T. Suwanasri, "Investigation on Partial Discharge Inception Voltage and Discharge Pattern of Simulated Defect Cable System," in International Conference on Condition Monitoring and Diagnosis, China, 2016.
18. W. J. Bergman, "Selecting Substation Monitoring1," in EEE/PES 2001, ,28 Oct 2002.
19. E. Mu, M. Pereyra-Rojas, "Understanding the Analytic Hierarchy Process," in Practical Decision Making, Springer International Publishing, 2017, pp. 7-22.
20. A. Naderian, S. Cress, R. Piercy, F. Wang, J. Service, "An Approach to Determine the Health Index of Power Transformers," in IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Canada, 2008.
21. R.E. Brown, J.H. Spare, "Asset Management, Risk, and Distribution System Planning," in IEEE PES Power Systems Conference and Exposition, New York, USA, 2004.
22. M. Schwan, "Risk-based Asset Management for Substations in Distribution Networks Considering Component Reliability," CIGRE, pp. B3-104, 2006.
23. ว. พัวรุ่งเรื่อง, Advanced Excel เจาะลึก การเขียนโปรแกรม VBA, กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ด ยูเคชั่น จำกัด, 2560.
24. สำรวย สังข์สะอาด, "การใช้แรงดันสูงเพื่อการจ่ายพลังงานไฟฟ้า," วิศวกรรมไฟฟ้าแรงสูง, กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ด ยูเคชั่น จำกัด, 2549.
25. C. Suwanasi, T. Suwanasri, P. Fuangpian and S. Ruankon, "Investigation on Partial Discharge of Power Cable Termination Defects Using High Frequency Current Transformer," in 10th International Conference on Electrical Thailand, 2013.
26. J. M. L. S. G. Dhuyvetter, "Guide Lines for the Refurbishment of the HV Substations in Belgium," CIGRE, pp. 23-101, 1996.
27. P. Boss, K. Pfammatter, A. Fazlagic, "Life Assessment of Power Transformers to Prepare a Rehabilitation Based on a Technical-Economical Analysis," in CIGRE 2002, 2002.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ภาคผนวก ก

ผลการคำนวณดัชนีการล้มเหลวของเซอร์กิตเบรกเกอร์ และสวิตช์ใบมีดไฟฟ้าจำนวน 5 สถานีไฟฟ้า

ตารางที่ ก-1 ผลการคำนวณดัชนีชี้วัดความน่าจะล้มเหลวของเซอร์กิตเบรกเกอร์ 15 สถานี

สถานีไฟฟ้า	รหัส	$\%CI_{CB}$	$\%RI_{CB}$	$\%FP_{CB}$	ดัชนีความล้มแหลว
1.AAA	AAA_1YB-01	20	77.16	48.58	ความล้มเหลวสูง
	AAA_2YB-01	20	70.50	45.25	ความล้มเหลวสูง
	AAA_3YB-01	20	77.16	48.58	ความล้มเหลวสูง
	AAA_4YB-01	20	50	35	ความล้มเหลวปานกลาง
	AAA_5YB-01	20	50	35	ความล้มเหลวปานกลาง
	AAA_6YB-01	20	55	37.50	ความล้มเหลวปานกลาง
	AAA_BYB-01	20	72	46	ความล้มเหลวปานกลาง
2.BBB	BBB_1YB-01	5	15	8.73	ความล้มเหลวต่ำ
	BBB_1YB-02	5	15	8.73	ความล้มเหลวต่ำ
	BBB_1YB-03	5	15	8.73	ความล้มเหลวต่ำ
3.CCC	CCC_1YB-01	24	35	29.22	ความล้มเหลวปานกลาง
	CCC_2YB-01	24	57	40.22	ความล้มเหลวปานกลาง
	CCC_3YB-01	24	50	37.02	ความล้มเหลวปานกลาง
	CCC_4YB-01	24	50	37.02	ความล้มเหลวปานกลาง
	CCC_5YB-01	24	50	37.02	ความล้มเหลวปานกลาง
	CCC_BYB-01	24	50	37.02	ความล้มเหลวปานกลาง
4.DDD	DDD_1YB-01	0	0	0	ความล้มเหลวต่ำ
	DDD_2YB-01	9	49	28.85	ความล้มเหลวปานกลาง
	DDD_3YB-01	9	49	28.85	ความล้มเหลวปานกลาง
	DDD_4YB-01	9	49	28.85	ความล้มเหลวปานกลาง
	DDD_5YB-01	9	49	28.85	ความล้มเหลวปานกลาง
	DDD_BYB-01	9	40	24.35	ความล้มเหลวปานกลาง
5.EEE	EEE_1YB-01	36	92	64.38	ความล้มเหลวสูง
	EEE_2YB-01	36	92	64.38	ความล้มเหลวสูง
	EEE_3YB-01	36	86	61.18	ความล้มเหลวสูง
	EEE_4YB-01	36	86	61.18	ความล้มเหลวสูง
	EEE_BYB-01	36	92	64.38	ความล้มเหลวสูง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายศิระ รักสนิท
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การวิเคราะห์เซอร์กิตเบรกเกอร์115 kV สำหรับการวางแผนซ่อมบำรุง
สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ประวัติ

ปีการศึกษา 2559 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เกรดเฉลี่ย 2.64 ปีการศึกษา 2562 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เกรดเฉลี่ย 3.75

ผลงานได้รับการนำเสนอต่อที่ประชุมวิชาการ ชื่องาน The 11th Conference Of Electrical Engineering Network 2019 (EENET2019) “การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 11” ชื่อผลงาน “การประเมินสภาพสวิทช์ตัดตอนไฟฟ้าแรงสูง 115 kV ในระบบจำหน่าย” และงาน The 5th National Conference on Industrial Technology and Engineering (NCITE2019) “การประชุมวิชาการนานาชาติเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและวิศวกรรม ครั้งที่ 5” ชื่อผลงาน “การประเมินสภาพสถานีไฟฟ้าในระบบจำหน่าย 115 kV”และงาน The 42nd Electrical Engineering Conference (EECON) “การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 42” ชื่อผลงาน “การประเมินสุขภาพสถานีไฟฟ้าในระบบจาหน่าย 115 kV โดยใช้ดัชนีการซ่อมแซมและดัชนีการปรับปรุงอุปกรณ์”

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ : นายฤทธิราช กองแสง
ชื่อวิทยานิพนธ์ : การวิเคราะห์เซอร์กิตเบรกเกอร์115 kV สำหรับการวางแผนซ่อมบำรุง
สาขาวิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า

ประวัติ

ปีการศึกษา 2551 สำเร็จการศึกษา ระดับมัธยมต้น รร.ไตรราษฎร์สามัคคี

ปีการศึกษา 2554 สำเร็จการศึกษา ระดับประกาศวิชาชีพ แผนกช่างไฟฟ้ากำลัง วิทยาลัยการอาชีพปัว

ปีการศึกษา 2558 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เกรดเฉลี่ย 2.81”