การพัฒนาระบบการบริหารสินทรัพย์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในระบบจำหน่าย

นายเสฏฐวุฒิ เหลืองไตรรัตน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2563
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Development on Asset management system for distribution power transformers

Mr. Seattawut Luangtriratana

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Electrical Engineering
Department of Electrical Engineering
FACULTY OF ENGINEERING
Chulalongkorn University
Academic Year 2020

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบการบริหารสินทรัพย์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในระบบจำหน่าย
โดย	นายเสฏฐวุฒิ เหลืองไตรรัตน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์ รังสีวิจิตรประภา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย เตชะอำนาจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระพันธ์ รังสีวิจิตรประภา)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธนพงศ์ สุวรรณศรี)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เสฏฐวุฒิ เหลืองไตรรัตน์ : การพัฒนาระบบการบริหารสินทรัพย์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในระบบจำหน่าย. (A Development on Asset management system for distribution power transformers) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.วีระพันธ์ รังสีวิจิตรประภา

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญและราคาสูงที่สุดในระบบไฟฟ้า อายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานขององค์ประกอบต่าง ๆ ที่ใช้อยู่ในหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งอายุขององค์ประกอบต่าง ๆ นั้นขึ้นอยู่กับ การใช้งานและสิ่งแวดล้อมที่อยู่โดยรอบ เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าเกิดความเสียหายขึ้นจะส่งผลต่อระบบไฟฟ้าทำให้ไฟฟ้าดับและอาจส่งผลต่อมูลค่าในทางเศรษฐกิจอย่างยิ่ง องค์ประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถบำรุงรักษาหน้างานได้และนำมาใช้เป็นข้อมูลเพื่อทำระบบบริหารสินทรัพย์ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ปะเก็นและกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น ส่วนน้ำมันหม้อแปลงมีข้อมูลค่อนข้างจำกัดและขาดความน่าเชื่อถือไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้อย่างถูกต้อง การวิเคราะห์ทางสถิติที่ใช้ในการศึกษานี้เพื่อหาอายุการใช้งานเฉลี่ย คือ การแจกแจงแบบปกติ ระบบบริหารจัดการสินทรัพย์ในงานวิจัยนี้พัฒนาขึ้นบน Microsoft Excel ที่เขียนโปรแกรมร่วมกับ Visual Basic for Application (VBA) เพื่อทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวระบบบริหารจัดการสินทรัพย์มีการกำหนดรหัสสินทรัพย์ บริษัทผู้ผลิต หมายเลขล็อต หมายเลขสัญญา หมายเลขเครื่อง สถานที่ติดตั้งที่ระบุโดย GPS วันที่ติดตั้ง วันที่มีการเปลี่ยนอุปกรณ์แต่ละรายการครั้งล่าสุด ซึ่งผู้ดูแลระบบการบริหารสินทรัพย์จะต้องนำข้อมูลของหม้อแปลงแต่ละใบเข้าสู่ระบบให้ครบถ้วน วันที่ที่จะต้องเปลี่ยนอุปกรณ์แต่ละรายการในครั้งถัดไป ซึ่งได้มาจากการคำนวณเชิงสถิติ ขั้นตอนการคำนวณทางสถิติเริ่มต้นด้วยการกำหนดอายุใช้งานของแต่ละองค์ประกอบเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ได้จากประสบการณ์ของทีมงานบำรุงรักษาหรือข้อกำหนดของผู้ผลิตองค์ประกอบนั้น ๆ เมื่อมีการบำรุงรักษาเกิดขึ้นทุกครั้งจะต้องนำเข้าข้อมูลที่ได้จากการบำรุงรักษา เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เป็นอายุการใช้งานเฉลี่ยพร้อมกับค่าความแปรปรวนใหม่ที่ใช้ในการกำหนดวันที่ต้องไปบำรุงรักษาครั้งถัดไปซึ่งทำให้สามารถลดต้นทุนในการบำรุงรักษาหม้อแปลงได้อย่างชัดเจน

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2563 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6170494621 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORD: maintenance asset management distribution power transformer

Seattawut Luangtriratana : A Development on Asset management system for distribution power transformers. Advisor: Asst. Prof. WEERAPUN RUNGSEEVIJITPRAPA, Ph.D.

Transformers are the most important and expensive equipment in an electrical system. Their lifetime generally depends on the lifetime components in a transformer. Their lifetime depends on the load capacity and surrounding. The transformer failure can cause the blackout and impact costly on the economics. The equipment in this research consist of gaskets and breathers. In the contrast of the transformer oil, the information was limited and unreliable to correctly analyze. The analytical statistic used in this research to obtain the average lifetime was the normal distribution. The asset management in this research was developed on Microsoft Excel integrating with Visual Basic for Application (VBA) in order to efficiently work. The developed asset management has asset code, manufacturer, lot number, contract number, serial number, GPS location installation, installation date and last maintenance. The asset management operator should completely take the information of each transformer into the system. The procedure of statistic calculation starts with the basic lifetime from the experience maintenance team or the component specification defined by manufacturer. Every time after the maintenance, the maintenance data should be taken into the system to get the new average lifetime and standard deviation. These data are used to define the next maintenance date which can be clearly reduce the maintenance cost.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study: Electrical Engineering Student's Signature .....

Academic Year: 2020 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณอาจารย์วีระพันธ์ รังสีวิจิตรประภา อาจารย์ที่ปรึกษาของงานวิทยานิพนธ์นี้ที่คอยให้คำปรึกษา แนะนำ อธิบายและส่งเสริมจนงานวิทยานิพนธ์นี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์ ผู้เขียนขอขอบพระคุณ นายประสิทธิ์ กิตติรัตนวิวัฒน์ คณะผู้บริหารบริษัทหม้อแปลงไฟฟ้าแห่งหนึ่ง นายรัช นันทามนตรี หัวหน้าแผนกซ่อมบำรุงรักษา (service) ที่ได้ให้ไปศึกษาดูงานและข้อมูลเกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้าต่าง ๆ จนทำให้มีประสบการณ์จนทำให้งานวิทยานิพนธ์นี้มีความสมบูรณ์และชัดเจน สุดท้ายนี้ผู้เขียนคาดหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้อื่นในอนาคต

เสฏฐวุฒิ เหลืองไตรรัตน์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

..... ค

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญรูปภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 6

1.4 ขอบเขตงานวิจัย 6

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ 7

1.6 ประสบการณ์จากการฝึกงาน 7

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 9

2.1 บทนำ 9

2.2 ฉนวนสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าน้ำมัน 11

2.2.1 น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า 11

2.2.2 กระดาษฉนวน 15

2.3 อายุการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้า 17

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.3.1 ช่วงเริ่มต้น (infant mortality) 18
2.3.2 ช่วงใช้งาน (random failures) 18
2.3.3 ช่วงเสื่อมสภาพการใช้งาน (wear out failures) 18
2.4 การกำหนดแผนการบำรุงรักษาขององค์ประกอบต่าง ๆ ในหม้อแปลง 19
2.5 การบริหารจัดการสินทรัพย์ 24
2.6 การบำรุงรักษา 24
2.6.1 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 24
2.6.1.1 การบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนด (time-based maintenance) 25
2.6.1.2 การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ (predictive maintenance) 27
2.6.1.3 การบำรุงรักษาตามการใช้งาน (usage-based maintenance) 28
2.6.1.4 การบำรุงรักษาตามคำแนะนำ (prescriptive maintenance) 28
2.6.2 การบำรุงรักษาแบบแก้ไข 29
2.6.3 การบำรุงรักษาตามเงื่อนไข 29
2.6.4 การบำรุงรักษาตามความเสี่ยง 30
2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ 30
2.7.1 การวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติ 31
2.7.2 การวิเคราะห์การแจกแจงแบบไวบูล 34
บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง 35
3.1 อายุการใช้งานขององค์ประกอบที่นำมากำหนดแผนการบำรุงรักษา 35
3.2 ข้อมูลทางสถิติ 37
3.2.1 ข้อมูลทางสถิติสำหรับปะเก็นด้านแรงสูงและปะเก็นด้านแรงต่ำ 37
3.2.2 ข้อมูลทางสถิติสำหรับกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น 45
3.3 ขั้นตอนการปรับปรุงอายุการใช้งาน 45
3.4 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม 47

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.5 โปรแกรมการพัฒนาระบบการบริหารสินทรัพย์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในระบบจำหน่าย . 49
3.5.1 ส่วนแสดงข้อมูลทั่วไป 49
3.5.2 ส่วนแสดงการวิเคราะห์ข้อมูล (statistic evaluation) 52
3.5.3 ส่วนแสดงผลลัพธ์ 54
บทที่ 4 การทดลอง 57
4.1 การปรับปรุงอายุการใช้งานกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น 57
4.2 การปรับปรุงอายุการใช้งานปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำ 61
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง 67
5.1 การปรับปรุงอายุการใช้งานปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำ 67
5.2 การปรับปรุงอายุการใช้งานกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น 68
5.3 การปรับปรุงอายุการใช้งานและข้อเสนอแนะสำหรับองค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าอื่น ๆ 69
5.4 สรุปผลการทดลอง 70
บรรณานุกรม 72
ภาคผนวก ก 74
ภาคผนวก ข 75
ประวัติผู้เขียน 77

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 หน้าที่ขององค์ประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้า 10
ตารางที่ 2 ค่าความคงทนฉนวนของน้ำมันตามมาตรฐาน ASTM D877- 02 11
ตารางที่ 3 ค่าความคงทนฉนวนของน้ำมันตามมาตรฐาน IEC60156 12
ตารางที่ 4 เกณฑ์ประเมินค่าความชื้นในน้ำมันหม้อแปลงตาม มาตรฐาน ASTM D1533-88 13
ตารางที่ 5 เกณฑ์ประเมินค่าความชื้นในน้ำมันหม้อแปลงตาม มาตรฐาน IEC60814 13
ตารางที่ 6 ประเภทของก๊าซที่อาจเกิดขึ้นได้ในหม้อแปลงไฟฟาที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมัน 14
ตารางที่ 7 ปริมาณของก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำมันตาม มาตรฐาน IEEE C57.104 14
ตารางที่ 8 วิธีการบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนด 25
ตารางที่ 9 ปัจจัยที่ทำให้อายุการใช้งานองค์ประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าสั้นลง 36
ตารางที่ 10 อายุการใช้งานเริ่มต้นขององค์ประกอบที่นำมากำหนดแผนการบำรุงรักษา 36
ตารางที่ 11 ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำ ปี พ.ศ.2555 38
ตารางที่ 12 ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำ ปี พ.ศ.2556 39
ตารางที่ 13 ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำ ปี พ.ศ.2557 40
ตารางที่ 14 ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำ ปี พ.ศ.2561 41
ตารางที่ 15 ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำ ปี พ.ศ.2562 42
ตารางที่ 16 ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำ ปี พ.ศ.2563 43
ตารางที่ 17 ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำ 60 เดือน 44
ตารางที่ 18 ตัวอย่างรายละเอียดของหมายเลขล็อต หม้อแปลงไฟฟ้า 51
ตารางที่ 19 การคำนวณชั่วโมงการทำงาน 53
ตารางที่ 20 ตัวอย่างการกำหนดค่าเพื่อปรับปรุงอายุการใช้งานสำหรับปะเก็น 53

Chulalongkorn University

ตารางที่ 21 ตัวอย่างการกำหนดค่าเพื่อปรับปรุงอายุการใช้งานสำหรับกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น 54
ตารางที่ 22 รูปแบบการพิจารณาช่วงระยะเวลาการบำรุงรักษา 54
ตารางที่ 23 การกำหนดค่าเงื่อนไขเริ่มต้นและค่าข้อมูลการบำรุงรักษา 57
ตารางที่ 24 การใส่ค่าข้อมูลความล้มเหลวใหม่ 58
ตารางที่ 25 การคำนวณหาฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นและฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของ กระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น 58
ตารางที่ 26 อัตราความเสียหายของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น 59
ตารางที่ 27 การแบ่งระยะเวลาการบำรุงรักษาสำหรับกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น 61
ตารางที่ 28 การหาร้อยละของการบำรุงรักษาของปะเก็น 62
ตารางที่ 29 การกำหนดระยะเวลาการบำรุงรักษาสำหรับปะเก็นด้าน 63
ตารางที่ 30 การคำนวณหาฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นและฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของปะเก็น 64
ตารางที่ 31 อัตราความเสียหายของปะเก็น 64
ตารางที่ 32 การแบ่งระยะเวลาการบำรุงรักษาสำหรับปะเก็น 66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 สาเหตุการเสื่อมสภาพซึ่งที่เกิดมาจากสัตว์ (นก)..... 8

รูปที่ 2 สาเหตุการเสื่อมสภาพซึ่งที่เกิดมาจากสัตว์ (งู)..... 8

รูปที่ 3 หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำมัน 9

รูปที่ 4 องค์ประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีโอกาสเกิดความเสียหายมากที่สุด 10

รูปที่ 5 สีของน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าเสื่อมสภาพ..... 12

รูปที่ 6 หน้าที่ของกระดาษฉนวนในการค้ำยันขดลวดต่าง ๆ 16

รูปที่ 7 กระดาษฉนวนแบบ synthetic resin bonded paper 16

รูปที่ 8 กระดาษฉนวนเสื่อมสภาพ 17

รูปที่ 9 ปัจจัยที่ส่งผลต่อหม้อแปลงไฟฟ้า 17

รูปที่ 10 แผนภาพรูปอ่างน้ำ 18

รูปที่ 11 อายุการใช้งานของอุปกรณ์ที่มีการพัฒนาทางเทคโนโลยีและวิศวกรรม..... 19

รูปที่ 12 การเกิดรอยวาบไฟที่บุชชิ่งแรงสูง 20

รูปที่ 13 ปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำในสภาวะปกติ 20

รูปที่ 14 ปะเก็นมีรอยคราบน้ำมันหรือปะเก็นเสื่อมคุณภาพ 21

รูปที่ 15 ปะเก็นแท็ปปรับแรงดันมีคราบน้ำมัน (ปะเก็นเสื่อมสภาพ)..... 21

รูปที่ 16 สีของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น 22

รูปที่ 17 กระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นเสื่อมสภาพ 22

รูปที่ 18 ขั้วต่อในสภาพปกติ..... 23

รูปที่ 19 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 25

รูปที่ 20 Mean time between Failure..... 26

รูปที่ 21 Mean time to Failure 27

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 22 การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ 28
รูปที่ 23 การบำรุงรักษาตามการใช้งาน 28
รูปที่ 24 การบำรุงรักษาตามเงื่อนไข 29
รูปที่ 25 การบำรุงรักษาตามความเสี่ยง 30
รูปที่ 26 กราฟระฆังคว่ำ 31
รูปที่ 27 ฟังก์ชันความน่าเชื่อถือ 32
รูปที่ 28 อัตราความเสียหาย 32
รูปที่ 29 การกระจายของการแจกแจงแบบปกติ 33
รูปที่ 30 ข้อมูลการบำรุงรักษาหน้างานที่ทางเจ้าหน้าที่ฝ่ายบำรุงรักษาไปดำเนินการบำรุงรักษา 35
รูปที่ 31 แผนผังขั้นตอนการปรับปรุงอายุการใช้งาน 46
รูปที่ 32 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม 48
รูปที่ 33 ส่วนแสดงข้อมูลทั่วไป 49
รูปที่ 34 หน้าเพิ่มข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้า 50
รูปที่ 35 การค้นหาหมายเลขหม้อแปลงไฟฟ้าที่ไม่มีอยู่ในระบบ 50
รูปที่ 36 ตัวอย่างการเชื่อมต่อ GPS ไปยังสถานที่ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า 51
รูปที่ 37 ตัวอย่างการแสดงผลลัพธ์ วัน/เดือน/ปี ที่ต้องไปบำรุงรักษาในครั้งถัดไป 55
รูปที่ 38 ตัวอย่างของโปรแกรมในส่วนของการปรับปรุงอายุการใช้งาน 55
รูปที่ 39 อัตราความเสียหายของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น 59
รูปที่ 40 ตัวอย่างการพิจารณาระยะเวลาการบำรุงรักษาของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น 60
รูปที่ 41 กราฟจำนวนสถิติการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำ 62
รูปที่ 42 อัตราความเสียหายของปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำ 65
รูปที่ 43 ตัวอย่างการพิจารณาระยะเวลาการบำรุงรักษาของปะเก็น 66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

หม้อแปลงไฟฟ้าถือเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญและราคาสูงในระบบไฟฟ้า [1] โดยเป็นอุปกรณ์ที่ใช้แปลงแรงดันไฟฟ้าจากระดับแรงดันหนึ่งมาเป็นระดับแรงดันหนึ่งเพื่อใช้ในการประกอบกิจการต่าง ๆเช่น โรงงานอุตสาหกรรม ที่อยู่อาศัย โรงพยาบาล โรงเรียน โรงแรม ห้างสรรพสินค้า เป็นต้น อายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน (load capacity) และสถานที่ติดตั้ง ในมาตรฐาน IEEE Std C57.12.00 [2] ได้ประมาณอายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 180,000 ชั่วโมงการทำงาน (ประมาณ 20 ปี) สาเหตุที่ส่งผลทำให้อายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าสั้นลง ได้แก่ ความชื้น ความร้อน สภาพแวดล้อมภายนอก สถานที่ติดตั้ง การออกแบบอุปกรณ์ที่ผิดพลาด การบำรุงรักษาที่ไม่เหมาะสม การขนส่ง การติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าและความผิดพลาดส่วนบุคคล (human error) [2] เมื่อมีความล้มเหลวเกิดขึ้นกับองค์ประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าจะต้องมีการไปเปลี่ยนหรือบำรุงรักษา โดยการบำรุงรักษาสามารถแยกได้เป็นองค์ประกอบที่สามารถไปเปลี่ยนหน้างาน (on-site transformers) เช่น บุชชิ่ง (bushing) ปะเก็นทางด้านแรงสูง ปะเก็นทางด้านแรงต่ำ (HV & LV gaskets) กระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น (breather) และอุปกรณ์ที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลง แก้ไขหน้างานที่เกิดเหตุได้ต้องยกหม้อแปลงไฟฟ้ามาทำการบำรุงรักษาที่บริษัทผู้ผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า เช่น ชุดปรับแท็ป (off-load tap changer) กระดาษฉนวน แกนเหล็ก การบำรุงรักษามีหลากหลายรูปแบบ ได้แก่ การบำรุงรักษาตามเงื่อนไข (condition-based maintenance) การบำรุงรักษาตามลำดับความเสี่ยง (risk-based maintenance) การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (preventive maintenance) การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (corrective maintenance) การบำรุงรักษาในรูปแบบต่าง ๆ นี้จะมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป [3] การประเมินและปรับปรุงอายุการใช้งานองค์ประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าที่เหมาะสมจะใช้หลักการบริหารจัดการสินทรัพย์เข้ามาเป็นตัวช่วยในการปรับปรุงอายุการใช้งานองค์ประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าให้มีความเหมาะสมและชัดเจน ในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะปรับปรุงองค์ประกอบที่สามารถไปเปลี่ยนหรือไปบำรุงรักษาหน้างานที่เกิดเหตุได้เลย ได้แก่ ปะเก็นทางด้านแรงสูง ปะเก็นทางด้านแรงต่ำและกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น องค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าต่าง ๆ มีอายุการใช้งานเริ่มต้นที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะของอุปกรณ์รวมไปถึงลักษณะสภาพแวดล้อมและ

สถานที่ติดตั้งของหม้อแปลงไฟฟ้า อายุการใช้งานเริ่มต้นขององค์ประกอบต่าง ๆ ถูกกำหนดจากประสบการณ์ของทีมบำรุงรักษา มาตรฐานของอุปกรณ์ หรือคู่มือการใช้งานของอุปกรณ์นั้น ๆ

ข้อมูลการบำรุงรักษาองค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้ามีข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น ข้อมูลการบำรุงรักษาที่ไม่ได้ปรับปรุงเป็นข้อมูลที่เป็นปัจจุบัน เนื่องจากในประเทศไทยมีบริษัทผู้ผลิตและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าอยู่หลากหลายทำให้ลูกค้าสามารถเลือกที่จะใช้บริการกับบริษัทผู้ผลิตและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าได้หลากหลาย อีกสาเหตุหนึ่งคือหม้อแปลงไฟฟ้าในอดีตไม่ได้มีการบำรุงรักษาหรือไม่ได้มีการบันทึกข้อมูลการบำรุงรักษาทำให้ข้อมูลความล้มเหลวไม่ได้ปรับปรุงเป็นข้อมูลในปัจจุบัน

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยและมาตรฐานที่พูดถึงเกี่ยวกับหม้อแปลงไฟฟ้าในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ความล้มเหลวที่เกิดขึ้นกับ หม้อแปลงไฟฟ้า การประเมินอายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้า การบริหารจัดการสินทรัพย์ในระบบไฟฟ้า การบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าในรูปแบบต่าง ๆ ลักษณะกราฟชีวิตของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ผู้วิจัยสรุปข้อมูลรายละเอียดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยไว้ ดังนี้

IEEE C57.91 [4] ได้พูดถึงอายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถสรุปได้ ดังนี้ อายุการใช้งานของฉนวนในหม้อแปลงไฟฟ้าขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ สถานที่ติดตั้ง อุณหภูมิ การใช้งานโหลด สภาพแวดล้อมภายนอก จากสาเหตุดังกล่าวทำให้ไม่สามารถคาดเดาอายุการใช้งานของฉนวนในหม้อแปลงไฟฟ้าได้ ใน IEEE Std C57.12.00 [2] คาดเดาหรือประมาณอายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าไว้ประมาณ 180,000 ชั่วโมง (ประมาณ 20 ปี) ฉนวนในหม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำมันจะใช้เป็นกระดาษฉนวน และน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า

N. Pandit, R.L. Chakrasali (2017) [5] ได้นำเสนอเกี่ยวกับความล้มเหลวที่เกิดขึ้นกับองค์ประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในประเทศอินเดีย ในงานวิจัยได้อธิบายอายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าในประเทศอินเดียเฉลี่ยจะอยู่ที่ 25 ไปจนถึง 30 ปี สาเหตุที่ส่งผลให้อายุการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้า ได้แก่ การบำรุงรักษาที่ไม่เหมาะสม การออกแบบที่ผิดพลาด นอกจากนั้นในงานวิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลจำนวนหม้อแปลงไฟฟ้าในระดับแรงดันต่าง ๆ ที่สิ้นอายุการใช้งานที่เกิดขึ้นใน

ประเทศอินเดีย โดยการจัดเก็บข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้าที่สิ้นอายุขัยถูกจัดเก็บโดยบริษัทผลิตไฟฟ้าที่ประเทศอินเดีย

D. Zhou, C. Li, Z. Wang (2012) [6] ได้พูดถึงการสร้างแบบจำลองอายุการใช้งานทางซึ่งเป็นเรื่องที่มีความสำคัญสำหรับการจัดการหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง หม้อแปลงไฟฟ้ามีสาเหตุ/ปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความเสื่อมสภาพ ได้แก่ แรงดันเกิน แรงดันฟ้าผ่า การใช้กำลังโหลดเกินพิกัด การบำรุงรักษาที่ไม่มีประสิทธิภาพ การออกแบบผิดพลาด ความผิดพลาดส่วนบุคคล รวมไปถึงสภาพแวดล้อมภายนอก

T. Suwnansri (2013) [7] ได้พูดถึง การใช้นวัตกรรมหลักการบริหารจัดการสินทรัพย์เข้ามาช่วยในการจัดระบบไฟฟ้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งกับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง เนื่องจากว่าเป็นอุปกรณ์ที่จะมีการเสื่อมสภาพไปตามอายุการใช้งาน การเสื่อมสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าเกิดจากความร้อน ความชื้น สภาพแวดล้อมภายนอก อุปกรณ์ปะเก็นเริ่มมีการเสื่อมสภาพ ถ้าหากการบำรุงรักษาไม่มีประสิทธิภาพหรือไม่สามารถตรวจจับได้จะส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูงและส่งผลกระทบต่อหม้อแปลงไฟฟ้าในอนาคต การพิจารณาและการวางแผนการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไฟฟ้าแรงสูงจึงมีความสำคัญ ในงานวิจัยได้พูดถึงการบำรุงรักษาในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ การบำรุงรักษาตามเงื่อนไข การบำรุงรักษาตามลำดับความเสี่ยง การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข การบำรุงรักษาในรูปแบบต่าง ๆ จะมีข้อดี ข้อเสียที่แตกต่างกันไป นอกจากนั้นยังมีบทความที่ได้พูดถึงการใช้ข้อมูลการบำรุงรักษาทางสถิติมาเป็นตัวช่วยสนับสนุนหลักการบริหารจัดการสินทรัพย์ ในบทความได้อธิบายถึงขั้นตอนการเก็บข้อมูล ข้อจำกัดในการเก็บข้อมูลการบำรุงรักษา รวมไปถึงความสำคัญของการเก็บข้อมูลการบำรุงรักษา ในบทความได้นำข้อมูลการำรุงรักษาที่ได้มาวิเคราะห์ผลลัพธ์เพื่อที่จะใช้ในการวางแผนในการบำรุงรักษาที่เหมาะสมต่อไป ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์จะส่งผลให้การบำรุงรักษามีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือมากขึ้น

Y. Chen , Z. Wang , J. Qiu, B. Zheng, H. Hong-Zhong (2011) [8] ได้นำเสนอเกี่ยวกับกราฟชีวิตของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้า อธิบายดังนี้ กราฟวงจรชีวิตของอุปกรณ์ในระบบไฟฟ้าจะแสดงออกในลักษณะของกราฟรูปอ่างน้ำซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ช่วงดังนี้ ช่วงแรกหรือช่วงเริ่มต้น สาเหตุความล้มเหลวในช่วงนี้เกิดมาจากการออกแบบอุปกรณ์ที่ผิดพลาดหรือการติดตั้ง ช่วงที่สองได้แก่ ช่วงใช้งานซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาการใช้งานของอุปกรณ์นั้น ๆ อัตราเสียหายในช่วงนี้จะค่อนข้างคงที่โดยถ้าหากมีการวางแผนการบำรุงรักษาที่ถูกต้องและเหมาะสมจะสามารถยืดอายุการใช้งานของช่วงนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ออกไป ช่วงระยะเวลาสุดท้ายหรือช่วงเสื่อมสภาพการใช้งานของอุปกรณ์เป็นช่วงระยะเวลาที่อุปกรณ์เริ่มมีการเสื่อมสภาพตามอายุขัยของตัวอุปกรณ์เอง อัตราเสียหายในช่วงนี้จะค่อนข้างสูงและเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา

คู่มือการบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า [9] อธิบายเรื่องเกี่ยวกับการบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า ความสำคัญ หน้าที่ การตรวจสอบความเสียหายที่เกิดขึ้นกับองค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าและการทดสอบต่าง ๆ เช่น การทดสอบประจำ การทดสอบเฉพาะแบบ การทดสอบพิเศษ การทดสอบน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า โดยการทดสอบในรูปแบบต่าง ๆ จะมีลักษณะและข้อกำหนดในการทดสอบที่แตกต่างกันไป การตรวจสอบความเสียหายองค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีบางอุปกรณ์ที่สามารถใช้การสังเกตุ (visual Inspect) เช่น ปะเก็นทางด้านแรงสูงและแรงต่ำ กระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นและอุปกรณ์ที่ต้องนำมาทดสอบเพื่อดูความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลงไฟฟ้า เช่น น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า กระดาษฉนวน การทดสอบน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถทดสอบได้ทั้งการวัดค่าความคงทนฉนวนและการวิเคราะห์ปริมาณของก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำมัน นอกจากนั้นในคู่มือการบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าได้อธิบายถึงการบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนดขององค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้า (time-based maintenance) ซึ่งอธิบายได้ ดังนี้ สำหรับระยะเวลาในการบำรุงรักษาปะเก็นทางด้านแรงสูงและปะเก็นทางด้านแรงต่ำควรเปลี่ยนทุก ๆ 5 ปี น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าจะเปลี่ยนในทุก ๆ 10 ปีของการใช้งานและ ควรกรองน้ำหม้อแปลงไฟฟ้ามันทุก ๆ 5 ปี กระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นสามารถพิจารณาได้เป็น 2 กรณี ได้แก่ การพิจารณาตามเงื่อนไขของเวลา คือ ระยะเวลาการใช้งานคือ 1 ปีและการพิจารณาตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ คือสีของซิลิกาเจลในกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นเปลี่ยนไปที่ระดับความสูง 2 ใน 3 ของกระบอก

T. Takahashi, T. Okamoto (2016) [10] ได้พูดถึงการใช้หลักการบริหารจัดการสินทรัพย์เข้ามาช่วยในระบบไฟฟ้ากำลังซึ่งจะทำให้มีการวางแผนการบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพและสามารถลดค่าใช้จ่ายในด้านการบำรุงรักษา ในบทความได้อธิบายถึงการนำชิ้นส่วนต่าง ๆ มาทำการแยกชิ้นส่วนเพื่อตรวจสอบความเสียหายต่าง ๆ และทำการบำรุงรักษาชิ้นส่วนในรูปแบบต่าง ๆ

D. Neilson, S. Bradshaw, A. Santandreu, A. Elena (2017) [11] พูดถึงการบริหารจัดการความเสี่ยง การบริหารความเสี่ยงจะเป็นการพิจารณาระหว่างผลกระทบและความน่าจะเป็นของผลกระทบที่เกิดขึ้น โดยการบริหารจัดการความเสี่ยงมีวัตถุประสงค์เพื่อลดความเสี่ยงที่มีโอกาสเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้า

N. Mituhiro, T. Shigeyuki, N. Masao, M. Kouji (2020) [12] ได้อธิบายถึงกรณีศึกษาการใช้หลักการบริหารจัดการสินทรัพย์มาใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้าและเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยนำเอาข้อมูลการบำรุงรักษาสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าและเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่เกิดขึ้นในประเทศญี่ปุ่น มาเป็นข้อมูลในการคำนวณและปรับปรุงเพื่อหาอายุการใช้งานที่เหมาะสม ในบทความยังได้อธิบายถึงลักษณะที่เหมาะสมสำหรับการประเมินอายุการใช้งาน คือ แบบ scoring และ risk matrix ซึ่งทั้งสองวิธีจะพิจารณาตามคุณลักษณะของอุปกรณ์นั้น ๆ

IEEE930 [13] เป็นมาตรฐานเกี่ยวกับการวิเคราะห์ทางสถิติซึ่งรายละเอียดต่าง ๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้ หลักการวิเคราะห์ทางสถิติ เช่น Weibull distribution, Normal distribution, Gumbel distribution, lognormal สามารถนำมาใช้เพื่อประเมินอายุการใช้งาน วิธีที่นิยมใช้มากที่สุด คือ Weibull distribution เนื่องจากใช้งานสะดวก ใช้งานได้ง่าย โดยแต่ละวิธีจะใช้ในลักษณะที่แตกต่างกันไป กล่าวคือ การวิเคราะห์แบบ Normal distribution จะเหมาะสำหรับฉนวนที่สามารถคืนสภาพได้เอง (self-restoring insulation) เช่น liquid and gas breakdown ส่วนการวิเคราะห์แบบ Weibull distribution จะเหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์แบบ solid breakdown สำหรับการวิเคราะห์แบบ lognormal จะไม่ถูกนิยมเนื่องจากมีข้อจำกัดบางอย่างและมีความใกล้เคียงกับการวิเคราะห์แบบ Weibull distribution

IEEE1413.1 [14] เป็นมาตรฐานที่พูดถึงเกี่ยวกับกระบวนการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อให้มีความน่าเชื่อถือในระบบไฟฟ้า โดยในการวิเคราะห์ต้องมีข้อมูลต่าง ๆ ดังนี้ ค่าเงื่อนไขเริ่มต้นหรืออายุการใช้งานเริ่มต้น ข้อมูลการบำรุงรักษาในอดีต เวลาดำเนินการและอัตราความเสียหาย ถ้าหากในการวิเคราะห์มีข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้จะส่งผลให้การวิเคราะห์มีความแม่นยำ ถูกต้องและมีหลักเกณฑ์มากขึ้น ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์จะแสดงออกมาเป็นกราฟอัตราความเสียหาย (failure rate) กราฟอัตราความเสียหายของอุปกรณ์สามารถบ่งบอกถึงระยะเวลาการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้าที่จะมีโอกาสเกิดความเสียหายขึ้นในอนาคต โดยผลลัพธ์จากกราฟอัตราความเสียหายจะสามารถนำมาใช้ในการวางแผนการบำรุงรักษาที่เหมาะสมและแม่นยำมากขึ้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

3.1 เพื่อสรุปสาเหตุทั้งปัจจัยภายนอก/ภายใน ในระบบจำหน่ายที่ทำให้มีการบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าก่อนที่หม้อแปลงไฟฟ้าจะหมดอายุการใช้งาน

3.2 เพื่อเลือกสถิติที่เหมาะสมสำหรับประเมินอายุการใช้งาน ของแต่ละส่วนที่ได้จากข้อที่ 1 เพื่อนำมาใช้ประเมินระดับความรุนแรงในระบบ asset management

3.3 เพื่อพัฒนาระบบ asset management ที่สามารถบริหารจัดการ การใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในระบบจำหน่าย สำหรับการไฟฟ้าหรือผู้จำหน่ายหม้อแปลงไฟฟ้า ได้อย่างเหมาะสม โดยใช้โปรแกรม software พื้นฐาน เช่น MATLAB หรือ Microsoft Excel (VBA)

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการปรับปรุงอายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำมัน การพิจารณาจะพิจารณาเฉพาะองค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถไปเปลี่ยน/ไปบำรุงรักษาหน้างานได้เลย ได้แก่ ปะเก็นทางด้านแรงสูง ปะเก็นด้านแรงต่ำ และกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น ในงานวิทยานิพนธ์ได้นำข้อมูลการบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นกับองค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าจำนวน 60 เดือน มีการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำทั้งสิ้น 559 ครั้ง จากบริษัทผู้ผลิตและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าแห่งหนึ่งมาเป็นฐานข้อมูลในการปรับปรุงอายุการใช้งานองค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้า โดยแต่ละองค์ประกอบจะใช้วิธีวิเคราะห์แบบการแจกแจงปกติ เนื่องจากเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว เมื่อมีข้อมูลการบำรุงรักษาเกิดขึ้นใหม่สามารถใส่ค่าข้อมูลการบำรุงรักษาเข้าไปในระบบเพื่อทำการปรับปรุงระยะเวลาการบำรุงรักษาได้ทันที ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์จะแสดงออกมาในรูปแบบของ “วัน/เดือน/ปี” ที่ต้องไปบำรุงรักษาในครั้งถัดไป ในการปรับปรุงอายุการใช้งานสาเหตุการเสื่อมสภาพขององค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าจะนับเฉพาะความเสื่อมสภาพที่เกิดมาจากสาเหตุทางเคมี ทางไฟฟ้าซึ่งไม่รวมสาเหตุที่เกิดมาจากอุบัติเหตุ ความผิดพลาดของคน สัตว์และการออกแบบอุปกรณ์ที่ผิดพลาด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

ระบบพัฒนาการบริหารจัดการสินทรัพย์ จะสามารถปรับปรุงอายุการใช้งานขององค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถไปเปลี่ยนหรือไปบำรุงรักษาหน้างานให้มีความเหมาะสม ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น สาเหตุดังกล่าวจะส่งผลให้ระบบการบำรุงรักษามีประสิทธิภาพความน่าเชื่อถือและประหยัดค่าใช้จ่ายในด้าน การบำรุงรักษา ในงานวิทยานิพนธ์สามารถเลือกวิธีการวิเคราะห์ความล้มเหลวที่เหมาะสมกับองค์ประกอบ หม้อแปลงไฟฟ้าทั้งปะเก็นด้านแรงสูง ปะเก็นด้านแรงต่ำและกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น ในอนาคตสามารถนำไปใช้ปรับปรุงอายุการใช้งานกับองค์ประกอบอื่น ๆ ได้อย่างเหมาะสม

1.6 ประสบการณ์จากการฝึกงาน

ผู้วิจัยได้ไปฝึกงานที่ บริษัทผลิตและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าแห่งหนึ่งระหว่างวันพุธที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2563 ถึงวันเสาร์ที่ 28 มีนาคม พ.ศ.2563 จำนวน 360 ชั่วโมง (45 วัน) โดยฝึกงานในฝ่ายบริการ (service), ฝ่ายผลิต, ฝ่ายบำรุงรักษา, ฝ่ายทดสอบ วัตถุประสงค์ของการฝึกงานเพื่อเป็นการมาเก็บข้อมูลที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิทยานิพนธ์ ในหัวข้อเรื่อง “การพัฒนาระบบการบริหารสินทรัพย์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในระบบจำหน่าย” การเก็บข้อมูลเป็นการเก็บข้อมูลรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับหม้อแปลงไฟฟ้าต่าง ๆ สามารถอธิบายได้ ดังนี้

การบำรุงรักษาองค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าจะมีทั้งองค์ปะกอบที่สามารถไปเปลี่ยน/ไปบำรุงรักษาหน้างานได้ ได้แก่ กระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น ปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำ บุชชิ่งและองค์ประกอบที่ไม่สามารถเปลี่ยน/บำรุงรักษาหน้างานได้ (ต้องยกหม้อแปลงไฟฟ้ากลับมาซ่อมที่บริษัทผู้ผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า) ได้แก่ กระดาษฉนวน ความล้มเหลวที่เกิดขึ้นกับองค์ประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าต่าง ๆ เกิดมาจากสาเหตุ ความร้อน ความชื้น อุณหภูมิโดยรอบ สถานที่ติดตั้ง ลักษณะการใช้งานของโหลด ความผิดพลาดส่วนบุคคล (human error) แรงดันเกิน การออกแบบอุปกรณ์ที่ผิดพลาด จากการฝึกงานพบว่าจะมีสาเหตุที่ทำให้องค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้ามีการเสื่อมสภาพที่อยู่นอกเหนือจากการวางแผนการบำรุงรักษาซึ่งส่งผลให้หม้อแปลงไฟฟ้ามีความเสียหายเกิดขึ้นจนไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้งานได้ซึ่งสาเหตุส่วนใหญ่จะมาจาก สัตว์ ดังแสดงใน รูปที่ 1 และรูปที่ 2

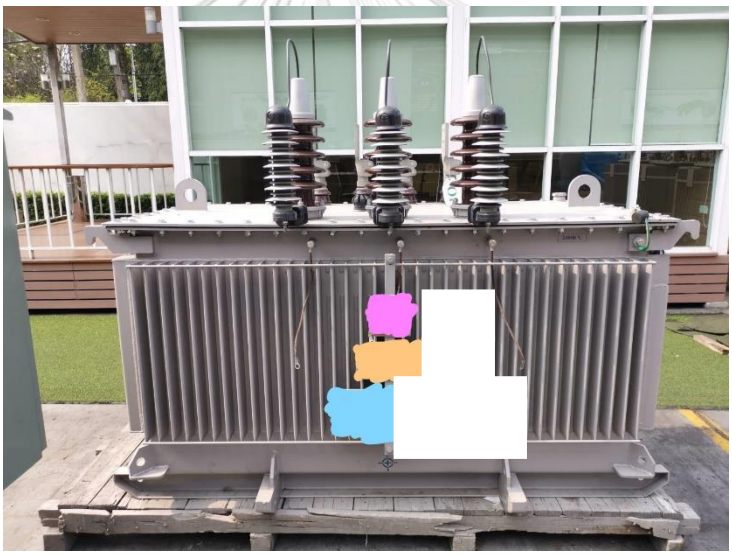
รูปที่ 1 สาเหตุการเสื่อมสภาพซึ่งที่เกิดมาจากสัตว์ (นก)

รูปที่ 2 สาเหตุการเสื่อมสภาพซึ่งที่เกิดมาจากสัตว์ (งู)

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

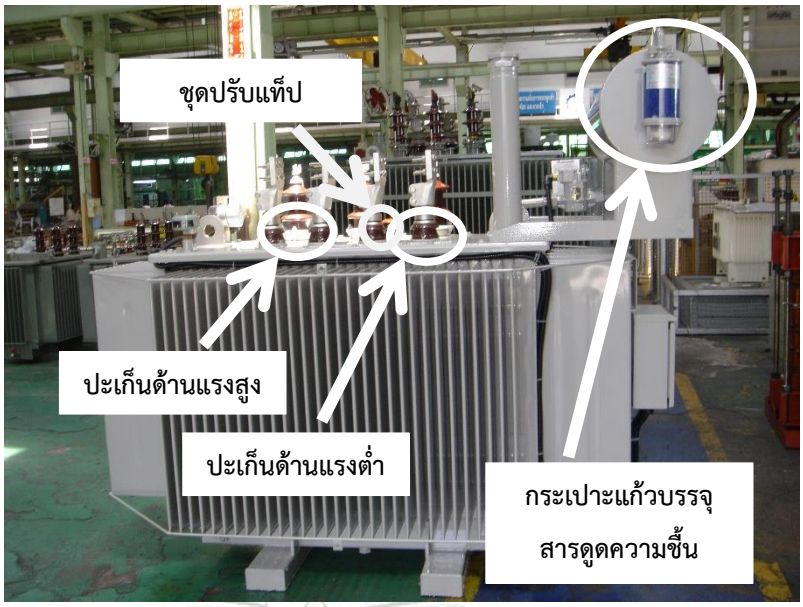
2.1 บทนำ

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญและราคาสูงอุปกรณ์หนึ่งในระบบไฟฟ้า โดยเป็นอุปกรณ์ที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าระดับหนึ่งให้เป็นแรงดันที่เหมาะสมกับการใช้งาน [15] เมื่อหม้อแปลงไฟฟ้ามีความเสียหายเกิดขึ้นจะส่งผลกระทบต่อระบบไฟฟ้าและส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้ามีอยู่หลายชนิดขึ้นอยู่กับลักษณะของอุปกรณ์ที่ใช้งานหรือลักษณะการระบายความร้อน ในงานวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณา “หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำมัน” ดังแสดงใน รูปที่ 3



รูปที่ 3 หม้อแปลงไฟฟ้าชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำมัน

หม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่ายชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำมันพบเห็นได้ทั่วไปตามเสาไฟฟ้า สถานีไฟฟ้าย่อย โรงเรียน โรงงานอุตสาหกรรม ห้างสรรพสินค้า โรงแรม เป็นต้น หม้อแปลงไฟฟ้าลักษณะนี้จะมีองค์ประกอบที่สำคัญและมีโอกาสเกิดความเสียหายรวมไปถึงหน้าที่ต่าง ๆ ดังแสดงใน รูปที่ 4 และ ตารางที่ 1



รูปที่ 4 องค์ประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีโอกาสเกิดความเสียหายมากที่สุด

ตารางที่ 1 หน้าที่ขององค์ประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้า

องค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้า	หน้าที่	ซ่อมบำรุงหน้างานได้
ปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำ	ป้องกันอันตรายที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลงไฟฟ้า	✓
กระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น	ดูดความชื้นที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลงไฟฟ้า	✓
น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า	ฉนวน	✓
กระดาษฉนวน	ฉนวน	✗
ชุดปรับแท็ป	ปรับระดับแรงดัน	✗
ตัวถังและครีบระบายความร้อน	ห่อหุ้มชิ้นส่วนที่สำคัญของหม้อแปลงไฟฟ้า	✗
ขั้วต่อแรงสูงและแรงต่ำ	จุดเชื่อมต่อระหว่างขดลวดของหม้อแปลงไฟฟ้า	✓
เทอร์โมมิเตอร์แบบเข็ม	แสดงอุณหภูมิของน้ำมันหม้อแปลง	✓

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ถ้าหากองค์ประกอบแต่ละองค์ประกอบมีความเสียหายเกิดขึ้นจะส่งผลให้หม้อแปลงไฟฟ้าไม่สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ หม้อแปลงไฟฟ้าต่างชนิดกันและมีลักษณะการระบายความร้อนที่แตกต่างกันและมีลักษณะขององค์ประกอบและหน้าที่การทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้าที่แตกต่างกันออกไป เช่น หม้อแปลงชนิดแห้ง

2.2 ฉนวนสำหรับหม้อแปลงไฟฟ้าน้ำมัน

ฉนวนในหม้อแปลงไฟฟ้าน้ำมันประกอบด้วย “กระดาษฉนวน” และ “น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า” เป็นฉนวนรายละเอียดต่าง ๆ ของฉนวนในหม้อแปลงไฟฟ้า อธิบายดังนี้

2.2.1 น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า

น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าใช้สำหรับการเป็นฉนวนร่วมกับกระดาษและยังใช้สำหรับการระบายความร้อน น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าที่นิยมใช้ ได้แก่น้ำมันจากธรรมชาติและน้ำมัน FR3 ซึ่งเป็นน้ำมันที่ติดไฟยากแต่จะมีราคาค่อนข้างสูง อายุการใช้งานของน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ความชื้น น้ำ ออกซิเจน วิธีการประเมินคุณภาพของฉนวนสามารถทำได้โดยการทดสอบด้วยวิธีต่าง ๆ ดังนี้

1) การทดสอบความคงทนฉนวน

การทดสอบความคงทนฉนวนของน้ำมันมีมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง คือ IEC60156 [17] และ ASTM D877-02 ควรทำการทดสอบอย่างน้อยปีละหนึ่งครั้ง จุดประสงค์ของการทดสอบเพื่อประเมินสภาพของน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า โดยที่ค่าความคงทนฉนวนของน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าต้องเป็นค่าตามที่มาตรฐานกำหนดไว้ดังแสดงใน ตารางที่ 2 สำหรับ มาตรฐาน ASTM D877- 02 และตารางที่ 3 สำหรับ มาตรฐาน IEC60156

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2 ค่าความคงทนฉนวนของน้ำมันตามมาตรฐาน ASTM D877- 02

ค่าความคงทนฉนวน (kV)	**ผลลัพธ์**
≥ 30	ดี
27- 29	ค่อนข้างดี
21 – 26	ควรกรองน้ำมัน
≤ 20	เสื่อมสภาพ

ตารางที่ 3 ค่าความคงทนฉนวนของน้ำมันตามมาตรฐาน IEC60156

ค่าความคงทนฉนวน (kV)	**ผลลัพธ์**
≥ 40	ดี
36 – 40	ค่อนข้างดี
30 – 35	ควรกรองน้ำมัน
≤ 30	เสื่อมสภาพ

การทดสอบจะทำการทดสอบวัดค่าความคงทนฉนวนของน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นจำนวน 5 ครั้งและหาค่าเฉลี่ย ผลลัพธ์ที่ออกมาจะแสดงถึงสภาพการฉนวนของน้ำมัน ถ้าหากความคงทนฉนวนอยู่ในช่วง 21-26 kV ควรทำการกรองน้ำมัน แต่ถ้าหากความคงทนมีค่าน้อยกว่าเท่ากับ 20 ควรเปลี่ยนน้ำมันใหม่ นอกจากนั้นการสังเกต การเสื่อมสภาพของน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถสังเกตได้จากสีของน้ำมันที่เปลี่ยนแปลงไป ถ้าสีของน้ำมันออกเป็นสีดำแสดงถึงน้ำมันมีการเสื่อมสภาพแสดงดังรูปที่ 5 [16]

รูปที่ 5 สีของน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าเสื่อมสภาพ

น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าใหม่จะมีค่าความคงทนฉนวนมากกว่า 55 kV และมีสีใส น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าที่ได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมจะสามารถกรองน้ำมันเพื่อให้มีคุณภาพที่ดีขึ้นได้ แต่น้ำมันหม้อแปลงสังเคราะห์ชนิด FR3 จะไม่สามารถกรองน้ำมันได้ ต้องใช้วิธีการเปลี่ยนน้ำมันเท่านั้น ทั้งนี้การเปลี่ยนและการกรองน้ำจะขึ้นอยู่กับความต้องการของลูกค้า

2) ความชื้นในน้ำมัน

การหาค่าความชื้นในน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า มีมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง คือ มาตรฐาน ASTM D1533-88 ซึ่งกำหนดให้มีปริมาณความชื้นในน้ำมันในเกณฑ์ปกติและผิดปกติ ดังแสดงใน ตารางที่ 4 และ มาตรฐาน IEC60814 กำหนดปริมาณความชื้นในน้ำมันในเกณฑ์ปกติและผิดปกติ ดังแสดงใน ตารางที่ 5 เครื่องมือที่ใช้วัดปริมาณความชื้นในน้ำมัน คือ Karl Fischer Titration (KF titration)

ตารางที่ 4 เกณฑ์ประเมินค่าความชื้นในน้ำมันหม้อแปลงตาม มาตรฐาน ASTM D1533-88

ค่าความชื้นในน้ำมัน (ppm)	**เกณฑ์**
< 35	ดี
≥ 35	เลว*

ตารางที่ 5 เกณฑ์ประเมินค่าความชื้นในน้ำมันหม้อแปลงตาม มาตรฐาน IEC60814

ค่าความชื้นในน้ำมัน (ppm)	**เกณฑ์**
< 10	ดี
10 – 25	ค่อนข้างดี
> 25	เลว*

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หมายเหตุ

* ต้องอบไล่ความชื้น เมื่อพบว่ามีค่าอยู่ในระดับเลว

3) วิเคราะห์ปริมาณก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำมัน

การวิเคราะห์ปริมาณของก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำมัน (DGA) เพื่อหาความผิดปกติที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้าระหว่างการใช้งาน เมื่อน้ำมันอยู่ภายใต้อุณหภูมิและความเครียดทางไฟฟ้าต่าง ๆ จะทำให้โมเลกุลของน้ำมันเกิดปฏิกิริยาทางเคมีเกิดการแตกตัวเป็นก๊าซต่าง ๆ ได้ ซึ่งการวิเคราะห์ปริมาณของก๊าซที่เกิดขึ้นจะสามารถจำแนกและระบุความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลงไฟฟ้าที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมัน ตัวอย่างก๊าซที่เกิดขึ้นแสดงใน ตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ประเภทของก๊าซที่อาจเกิดขึ้นได้ในหม้อแปลงไฟฟ้าที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมัน

ประเภทของก๊าซ	สัญลักษณ์
ไฮโดรเจน	H_2
ออกซิเจน	O_2
ไนโตรเจน	N_2
มีเทน	CH_4
เอทิลีน	C_2H_4
คาร์บอนมอนอกไซด์	CO
อีเทน	C_2H_6
อะเซทิลีน	C_2H_2

มาตรฐานที่ใช้ คือ IEEE C57.104 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่พิจารณาหาปริมาณของก๊าซที่สำคัญทุกตัวที่สามารถติดไฟได้ (Total Dissolved Combustible Gases [TDCG]) ได้แก่ ไฮโดรเจน มีเทน และคาร์บอนมอนอกไซด์ โดยจะดูอัตราเพิ่มขึ้นของก๊าซแต่ละตัวเพื่อวิเคราะห์หาปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงไฟฟ้าที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมัน ซึ่งปริมาณของก๊าซต่าง ๆ ต้องอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดดังแสดงใน ตารางที่ 7 การทดสอบการวิเคราะห์ปริมาณของก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำมันจะเป็นไปตามความต้องการของลูกค้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 7 ปริมาณของก๊าซที่ละลายอยู่ในน้ำมันตาม มาตรฐาน IEEE C57.104

ก๊าซ	H_2	CH_4	C_2H_2	C_2H_4	C_2H_6	CO	TDGC
ปกติ	<100	< 120	< 1	< 50	< 65	< 350	<= 720
เริ่มเสื่อมสภาพ	> 1800	> 1000	> 35	> 200	> 150	> 1400	> 4630

หมายเหตุ

ปริมาณของก๊าซวัดในหน่วยของ ppm

2.2.2 กระดาษฉนวน

กระดาษฉนวนคือกระดาษที่ใช้พันรอบลวดทองแดงที่ใช้ทำขดลวดแรงสูง ขดลวดแรงต่ำ นอกจากนี้ยังมีกระดาษฉนวนแข็งที่ใช้คั่นระหว่างขดลวดกับแกนเหล็กและระหว่างขดลวดแรงสูงกับแรงต่ำ ซึ่งกระดาษฉนวนแข็งนี้สามารถออกแบบในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นกับหม้อแปลงไฟฟ้าตามคุณลักษณะที่ต้องการ ปัจจัยที่สามารถส่งผลต่ออายุการใช้งานของกระดาษฉนวน คือ การใช้งานโหลดเกิน อุณหภูมิ ความชื้น ออกซิเจน การประเมินคุณภาพของกระดาษฉนวนสามารถสังเกตได้จากผลทดสอบน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าด้วยวิธี furan test

กระดาษฉนวนสามารถออกแบบพิเศษเพื่อให้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันออกไปตัวอย่างเช่น

1) กระดาษฉนวนชนิดบาง

กระดาษฉนวนชนิดบางใช้เป็นฉนวนทางไฟฟ้าพันรอบเส้นลวดทอดแดงของขดลวงต่าง ๆ ในหม้อแปลงไฟฟ้าที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมัน โดยปกติจะผลิตมาจากใยเซลลูโลส มีลักษณะพรุน น้ำมันสามารถซึมผ่านได้และใช้เป็นฉนวนที่ยอมให้น้ำมันไหลผ่านเพื่อพาความร้อนจากผิวของทองแดงออกไประบายยังตัวถังเหล็กของหม้อแปลงไฟฟ้า อย่างไรก็ตามกระดาษฉนวนชนิดบางยังคงสามารถเก็บความชื้นจากอากาศในขณะที่ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมันจึงจำเป็นต้องทำการอบไล่ความชื้นในส่วนไส้ของหม้อแปลงไฟฟ้าก่อนที่จะประกอบหม้อแปลงและเติมน้ำมัน

2) กระดาษฉนวนชนิดพิเศษ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กระดาษฉนวนแข็งจะใช้เป็นฉนวนทางไฟฟ้าและใช้ในการค้ำยันทางกลระหว่างขดลวดหม้อแปลงแรงสูงกับแรงต่ำและขดลวดแรงต่ำกับแกนเหล็ก นิยมใช้ในหม้อแปลงไฟฟ้าและมอเตอร์ไฟฟ้า กระดาษฉนวนแข็งยังสามารถออกแบบให้เป็นร่องฉนวนเพื่อใช้เป็นร่องสำหรับให้น้ำมันไหลผ่านได้โดยสะดวกเพื่อประโยชน์ในเรื่องการระบายความร้อนโดยตรงออกจากผิวของขดลวดทองแดง อาจมีขนาดหรือคุณสมบัติที่แตกต่างกันตามบริษัทผู้ผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า หน้าที่ของกระดาษฉนวนในการค้ำยันขดลวดต่าง ๆ แสดงใน รูปที่ 6

รูปที่ 6 หน้าที่ของกระดาษฉนวนในการค้ำยันขดลวดต่าง ๆ

2.1) Synthetic Resin-bonded paper

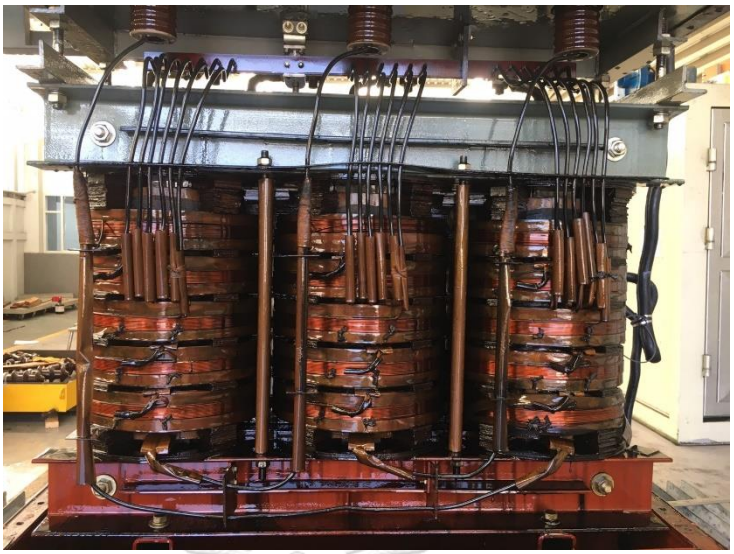
กระดาษฉนวนที่เรียกว่า synthetic resin-bonded paper เป็นกระดาษฉนวนที่มี epoxy resin เป็นตารางสี่เหลี่ยม ช่วยให้น้ำมันซึมเข้าไปสามารถระบายความร้อนและช่วยในการยึดเกาะ กระดาษฉนวนชนิด synthetic resin-boned paper แสดงใน รูปที่ 7

Chulalongkorn University

รูปที่ 7 กระดาษฉนวนแบบ synthetic resin bonded paper

2.2) Nomex Insulation paper

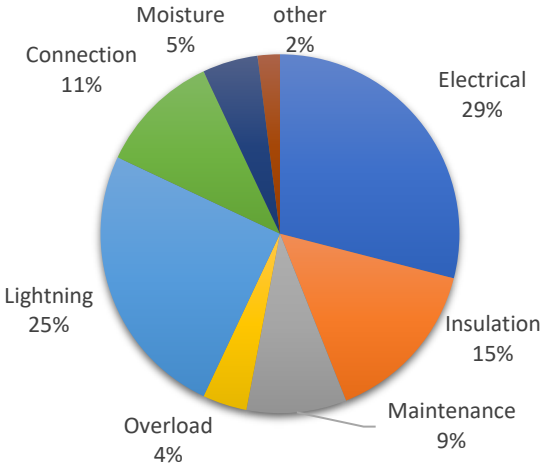
กระดาษฉนวนที่สามารถทนความร้อนได้สูงขึ้น ส่วนใหญ่จะใช้ในการผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดแห้ง สิ่งที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของกระดาษฉนวน ได้แก่ อุณหภูมิ ลักษณะการใช้งานของโหลด น้ำมันเสื่อมสภาพ เมื่อมีกระดาษฉนวนเสื่อมสภาพจะไม่สามารถแก้ไข/บำรุงรักษา หน้างานได้ต้องยกหม้อแปลงไฟฟ้ากลับมาซ่อมที่บริษัทผู้ผลิตและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า (ในบางกรณีลูกค้าเลือกที่จะซื้อหม้อแปลงไฟฟ้าใหม่แทนการบำรุงรักษากระดาษฉนวน) กระดาษฉนวนเสื่อมสภาพแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 กระดาษฉนวนเสื่อมสภาพ

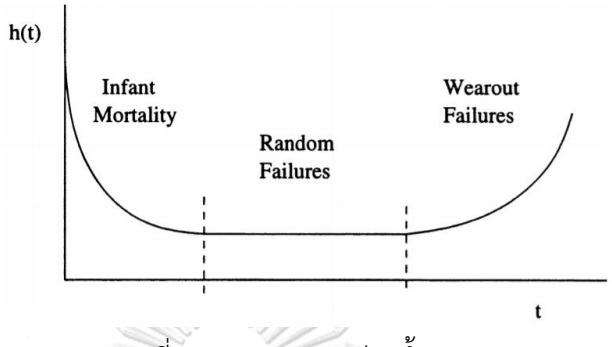
2.3 อายุการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้า

อายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้า (load capacity) และสถานที่ติดตั้ง ซึ่งไม่สามารถระบุได้แน่ชัด ในมาตรฐาน IEEE std C57.12.00 ได้ประมาณหรือคาดเดาอายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าอยู่ที่ 180,000 ชั่วโมงหรืออยู่ที่ประมาณ 20 - 22 ปี ปัจจัยที่ทำให้อายุการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าที่ระบายความร้อนด้วยน้ำมันสั้นลง ได้แก่ ความร้อน ความชื้น น้ำ อุณหภูมิ ออกซิเจน การใช้งานโหลด การเชื่อมต่อของสาย ความผิดพลาดของบุคคล การบำรุงรักษาที่ไม่เพียงพอหรือไม่มีประสิทธิภาพ แรงดันกันเกินและสัตว์ ดังแสดงในรูปที่ 9 [17]



รูปที่ 9 ปัจจัยที่ส่งผลต่อหม้อแปลงไฟฟ้า

การพิจารณาอายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถพิจารณาได้จากแผนภาพรูปอ่างน้ำ [20] ซึ่งเป็นกราฟที่บอกถึงความสัมพันธ์ระหว่าง อัตราความเสียหายกับเวลา แผนภาพรูปอ่างน้ำแบ่งช่วงอายุการใช้งานของอุปกรณ์ออกเป็น 3 ช่วงดังแสดงใน รูปที่ 10 [18]



รูปที่ 10 แผนภาพรูปอ่างน้ำ

2.3.1 ช่วงเริ่มต้น (infant mortality)

ช่วงเวลาเริ่มใช้งานของอุปกรณ์ ในช่วงแรกอัตราความเสียหายสูงซึ่งมาจากการออกแบบอุปกรณ์ที่ผิดพลาดหรือผู้ออกแบบไม่คุ้นเคยทำให้มีโอกาสเกิดการเสื่อมสภาพขึ้น [20] แต่เมื่อระยะเวลาผ่านไปอัตราความเสียหายในช่วงนี้จะลดลงเนื่องจากผู้ออกแบบเริ่มมีประสบการณ์และความคุ้นเคยในการออกแบบอุปกรณ์ทำให้อัตราความเสียหายลดลงจนคงที่เมื่อเข้าสู่ช่วงต่อไป

2.3.2 ช่วงใช้งาน (random failures)

ช่วงเวลาการใช้งานของอุปกรณ์ ในช่วงนี้อัตราความเสียหายคงที่ [20] เนื่องจากในช่วงนี้จะมีการบำรุงรักษาอุปกรณ์อย่างสม่ำเสมอทำให้อัตราความเสียหายคงที่ ถ้าหากการบำรุงรักษามีประสิทธิภาพและแม่นยำจะสามารถทำให้ช่วงเวลาการใช้งานของอุปกรณ์ยาวนานขึ้น (การยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์) ทำให้อุปกรณ์สามารถใช้งานได้นานขึ้นก่อนที่จะสิ้นอายุขัย

2.3.3 ช่วงเสื่อมสภาพการใช้งาน (wear out failures)

ช่วงเวลาที่อุปกรณ์เริ่มมีการเสื่อมสภาพตามอายุการใช้งานของตัวอุปกรณ์ [20] ในช่วงนี้ถือเป็นช่วงสิ้นสุดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ อัตราความเสียหายจึงสูงขึ้นตามระยะเวลา ถ้าหากมีการวางแผน การบำรุงรักษาที่เหมาะสมและถูกต้องในช่วงเวลาการใช้งานของอุปกรณ์จะสามารถยืดอายุการใช้งานของอุปกรณ์ซึ่งจะทำให้ระยะเวลาการใช้งานยาวนานขึ้นก่อนจะถึงช่วงสิ้นอายุขัยของอุปกรณ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ในปัจจุบันมีการพัฒนาทางเทคโนโลยีและทางวิศวกรรมจึงส่งผลให้อัตราความเสียหายในช่วงเริ่มแรกของการใช้งานลดลงจากเดิม ในความเป็นจริงจะมีความเสียหายอยู่บ้างเนื่องจาก การขนส่ง การติดตั้งที่ผิดพลาด ความผิดพลาดส่วนบุคคล อุบัติเหตุ สัตว์ ภัยธรรมชาติ อายุการใช้งานของอุปกรณ์ที่มีการพัฒนาทางเทคโนโลยีและวิศวกรรมแสดงใน รูปที่ 11

รูปที่ 11 อายุการใช้งานของอุปกรณ์ที่มีการพัฒนาทางเทคโนโลยีและวิศวกรรม

2.4 การกำหนดแผนการบำรุงรักษาขององค์ประกอบต่าง ๆ ในหม้อแปลง

การกำหนดแผนการบำรุงรักษามีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงระยะเวลาการบำรุงรักษาให้มีความเหมาะสมและแม่นยำ จากตารางที่ 1 จะเลือกมา 2 องค์ประกอบที่ใช้ในการกำหนดแผนการบำรุงรักษาขององค์ประกอบต่าง ๆ สาเหตุที่นำและไม่นำองค์ประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้ามาพิจารณาเพื่อปรับปรุงอายุการใช้งานอธิบาย ดังนี้

1. บุชชิ่ง ความเสียหายจะเกิดจากอุบัติเหตุเป็นส่วนใหญ่ เช่น รถชนหม้อแปลงไฟฟ้า การดึงการเหนี่ยวรั้งของสายแรงสูง แรงดันเกินฟ้าผ่า ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงไม่นำบุชชิ่งมากำหนดแผนการบำรุงรักษา การตรวจสอบสภาพผิวของบุชชิ่งจะต้องมีความมันวาว ไม่มีฝุ่นเกาะที่ผิวของบุชชิ่งหรือตรวจสอบสภาพการบิ่น แตก เกิดรอยวาบไฟ ที่ผิวของบุชชิ่ง สำหรับการดูแลสภาพผิวของบุชชิ่งควรทำความสะอาดผิดของบุชชิ่งอย่างน้อยปีละครั้ง บุชชิ่งเกิดรอยวาบไฟแสดงใน รูปที่ 12

รูปที่ 12 การเกิดรอยวาบไฟที่บุชชิ่งแรงสูง

2. น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า สิ่งที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าส่วนใหญ่จะมาจากอุณหภูมิ ลักษณะการใช้งานโหลด จากการไปเก็บข้อมูลการบำรุงรักษาน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าและข้อมูลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าพบว่าข้อมูลการบำรุงรักษาขาดความน่าเชื่อถือ ขาดการเก็บข้อมูลที่เป็นเชิงสถิติ เนื่องจากลูกค้าอาจเลือกใช้บริการหรือการทดสอบกับบริษัทผู้ผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าอื่น ๆ ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงไม่นำน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้ามากำหนดแผนการบำรุงรักษา

3. ปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำสาเหตุที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของปะเก็นมาจาก อุณหภูมิ สภาพแวดล้อม ความชื้น จากการไปเก็บข้อมูลการบำรุงรักษาพบว่าข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นเป็นอุปกรณ์ที่มีการเปลี่ยน/การบำรุงรักษามากที่สุดโดยเฉพาะปะเก็นทางด้านแรงสูง สาเหตุดังกล่าวจึงนำปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำมากำหนดแผนการบำรุงรักษา โดยปะเก็นเป็นสิ่งที่ใช้ไว้สำหรับป้องกันการรั่วซึมของน้ำมัน ปะเก็นที่ใช้กันทั่วไปมีแบบลูกยางและไม้ก๊อก (cork) ชนิด TD1120 ซึ่งจะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับหม้อแปลงน้ำมัน สามารถทนต่ออุณหภูมิที่สูง ปะเก็นในสภาพปกติแสดงใน รูปที่ 13 การสังเกตการเสื่อมสภาพของปะเก็นสามารถสังเกตได้จากมีรอยน้ำมันรั่วซึมบริเวณผิวของปะเก็นดังแสดงใน รูปที่ 14

รูปที่ 13 ปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำในสภาวะปกติ

รูปที่ 14 ปะเก็นมีรอยคราบน้ำมันหรือปะเก็นเสื่อมคุณภาพ

4. ปะเก็นฝาถังและปะเก็นชุดปรับแท็ปแรงดัน เนื่องจากไม่มีข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นฝาถังและปะเก็นชุดปรับแท็ปแรงดันทำให้ในการปรับปรุงอายุการใช้งานเป็นเรื่องที่ยุ่งยาก ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงไม่นำเอาปะเก็น ฝาถังและปะเก็นชุดปรับแท็ปแรงดันมากำหนดแผนการบำรุงรักษา เมื่อปะเก็นเหล่านี้มีการเสื่อมสภาพสามารถสังเกตได้จากการมีรอยคราบน้ำมันรั่วซึมบริเวณปะเก็นดังแสดงใน รูปที่ 15

รูปที่ 15 ปะเก็นแท็ปปรับแรงดันมีคราบน้ำมัน (ปะเก็นเสื่อมสภาพ)

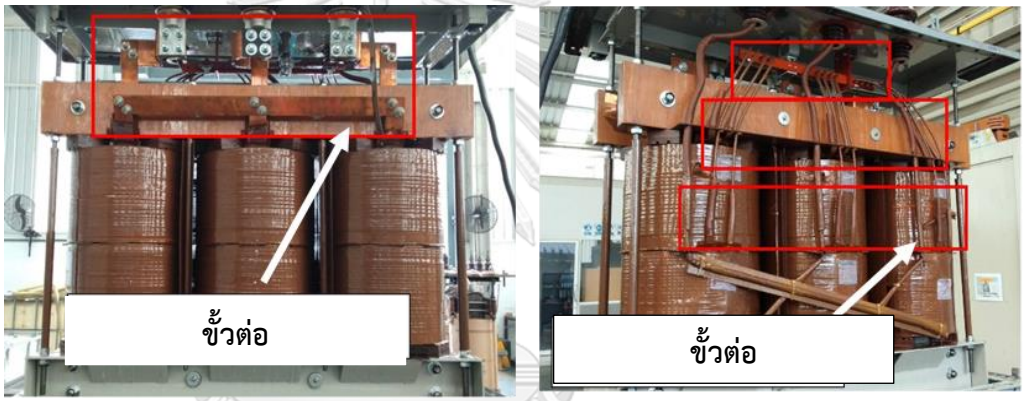
5. กระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น อายุการใช้งานของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นจะขึ้นอยู่กับ การใช้งานโหลดและความแตกต่างของโหลด ความชื้น การไปเก็บข้อมูลการบำรุงรักษาพบว่ามีข้อมูลการบำรุงรักษาบ่อยครั้งแต่อาจจะมีข้อจำกัดในเรื่องของความน่าเชื่อถือเนื่องจากข้อมูลในการบำรุงรักษาในแต่ละครั้งไม่ได้มีการบันทึกและปรับปรุงอย่างชัดเจนแต่ก็มีข้อมูลการบำรุงรักษาที่เพียงพอต่อการปรับปรุงอายุการใช้งาน ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงนำกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นมากำหนดแผนการบำรุงรักษา การสังเกตการเสื่อมสภาพของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นสามารถสังเกตได้จากสีที่เปลี่ยนไปของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น (อาจมีสีที่แตกต่างกันไปตามสารที่ใช้ทำ) กรณีที่ใช้สารเป็น silica gel สีของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นปกติจะเป็นสีน้ำเงิน ถ้าหากเริ่มมีการเสื่อมสภาพเกิดขึ้นสีของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นจะมีสีชมพูดังแสดงใน รูปที่ 16 และ รูปที่ 17 ตามลำดับ

รูปที่ 16 สีของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น

รูปที่ 17 กระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นเสื่อมสภาพ

6. ชุดปรับแท็ป อายุการใช้งานจะขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งในการปรับแรงดัน สำหรับการบำรุงรักษาต้องยกหม้อแปลงไฟฟ้ากลับมาซ่อมที่บริษัทผู้ผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า สาเหตุดังกล่าวจึงไม่นำชุดปรับแท็ปมากำหนดแผนการบำรุงรักษา

7. ขั้วต่อสายแรงสูงและขั้วต่อสายแรงต่ำ ปัจจัยที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของขั้วต่อ ได้แก่ การเหนี่ยวรั้งของสายแรงสูง การขันจุดขั้วต่อสายไม่แน่น ซึ่งเป็นความผิดพลาดจากการติดตั้ง ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงไม่นำเอาขั้วต่อมากำหนดแผนการบำรุงรักษา การสังเกตความผิดปกติที่เกิดขึ้นกับขั้วต่อ คือ สังเกตจากรอยไหม้ที่จุดต่อสายหรือที่ฉนวน การตรวจสอบความผิดปกติสามารถตรวจสอบได้จากคราบสกปรกของหน้าสัมผัสขั้วต่อสายและตรวจสอบสนิมบริเวณขั้วต่อต่าง ๆ ขั้วต่อในสภาวะปกติแสดงใน รูปที่ 18



รูปที่ 18 ขั้วต่อในสภาพปกติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

8. ตัวถังและครีบระบายความร้อน สาเหตุที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานตัวถังของหม้อแปลงไฟฟ้า ได้แก่ อุบัติเหตุ (รถวิ่งเข้ามาชนหม้อแปลงไฟฟ้า) และไม่มีข้อมูลการบำรุงรักษาตัวถังหม้อแปลงไฟฟ้า เนื่องจากเมื่อตัวถังหม้อแปลงมีความเสียหายเกิดขึ้นลูกค้าเลือกที่จะซื้อหม้อแปลงไฟฟ้าใหม่ ด้วยสาเหตุดังกล่าวจึงไม่นำเอาตัวถัง หม้อแปลงไฟฟ้ามากำหนดแผนการบำรุงรักษา การสังเกตการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้นกับตัวถังหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถตรวจสอบโดย การตรวจสอบรอยรั่วซึมของน้ำมันและคราบน้ำในตามแนวเชื่อมหรือการตรวจสอบการเกิดสนิม การกรัดกร่อนของตัวถัง

2.5 การบริหารจัดการสินทรัพย์

การบริหารจัดการสินทรัพย์เปรียบเสมือนเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการจัดการกลยุทธ์หรือการวางแผนการบำรุงรักษาให้เป็นระบบและมีประสิทธิภาพ [21] การนำหลักการบริหารจัดการสินทรัพย์เข้ามาใช้ในทางวิศวกรรมนอกจากจะช่วยให้การวางแผนการบำรุงรักษามีประสิทธิภาพแล้วยังช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา [19] มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับระบบการบริหารจัดการสินทรัพย์ คือ ISO55000 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่พูดถึงเกี่ยวกับ กลยุทธ์การจัดการ การวางแผน ประโยชน์ ผลลัพธ์ที่ได้จากการบริหารจัดการสินทรัพย์

หม้อแปลงไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญและราคาสูงในระบบไฟฟ้า เมื่อมีการเสื่อมสภาพเกิดขึ้นกับ หม้อแปลงไฟฟ้าจะมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง การนำหลักการบริหารจัดการสินทรัพย์เข้ามาใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้าหรือระบบไฟฟ้ากำลังจะช่วยให้เกิดระบบการจัดการอุปกรณ์ องค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่ดีและมีประสิทธิภาพมากขึ้นสามารถจัดการรายการอุปกรณ์ได้อย่างเหมาะสมและแม่นยำ ในปัจจุบันประเทศและหน่วยงานต่าง ๆ ได้นำหลักการบริหารจัดการสินทรัพย์เข้ามาใช้ในระบบไฟฟ้ามากขึ้น

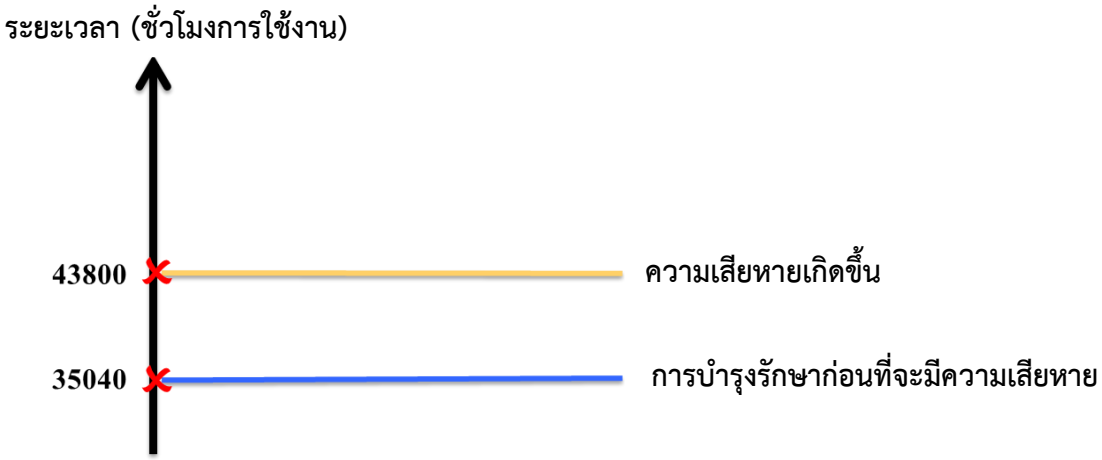
2.6 การบำรุงรักษา

เมื่ออุปกรณ์มีการเสื่อมสภาพเกิดขึ้นต้องมีการบำรุงรักษา การบำรุงรักษามีอยู่หลากหลายวิธีตามความเหมาะสมซึ่งการบำรุงรักษาในรูปแบบต่าง ๆ จะมีข้อดี ข้อเสียที่แตกต่างกันไป การบำรุงรักษารูปแบบต่าง ๆอธิบายดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6.1 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

การบำรุงรักษาเชิงป้องกันเป็นการบำรุงรักษาก่อนที่อุปกรณ์จะมีความเสียหายโดยมาจากการกำหนดหรือกล่าวได้ว่าการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเป็นการรักษาขั้นพื้นฐานที่มาจากการกำหนดระยะเวลาการบำรุงรักษาดังแสดงใน รูปที่ 19 การบำรุงรักษาเชิงป้องกันมีข้อดี คืออายุการใช้งานของอุปกรณ์ยาวนานขึ้น [20] ทำให้การใช้งานของอุปกรณ์มีความต่อเนื่อง ข้อเสียของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน คือ จะมีค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาค่อนข้างสูง การเปลี่ยนอุปกรณ์โดยสิ้นเปลือง (อุปกรณ์สามารถใช้งานได้แต่เปลี่ยน)



รูปที่ 19 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

การบำรุงรักษาเชิงป้องกันสามารถแบ่งออกเป็นชนิดหรือรูปแบบต่าง ๆ ตามลักษณะของวิธีต่าง ๆ ที่ใช้ในการพิจารณาอธิบาย ดังนี้

2.6.1.1 การบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนด (time-based maintenance)

การบำรุงรักษาที่จะเน้นไปในเรื่องของระยะเวลาการใช้งาน เมื่อใช้งานอุปกรณ์ถึงเกณฑ์ระยะเวลาที่กำหนดจะต้องมีการบำรุงรักษาเกิดขึ้น การบำรุงรักษาด้วยวิธีนี้สามารถกำหนดระยะเวลาการใช้งานได้จากประสบการณ์ของทีมงานบำรุงรักษา บทความ มาตรฐาน สถิติ เอกสารอ้างอิงของอุปกรณ์และงานวิจัยต่าง ๆ ตัวอย่างการบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนด แสดงใน ตารางที่ 8

ตารางที่ 8 วิธีการบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

องค์ประกอบ	ระยะเวลาการบำรุงรักษา	ลักษณะการบำรุงรักษา
ปะเก็นด้านแรงสูง	5	เปลี่ยน
ปะเก็นด้านแรงต่ำ	5	เปลี่ยน
ปะเก็นฝาถัง	10	เปลี่ยน
ปะเก็นปรับแท็ป	10	เปลี่ยน
น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า	10	เปลี่ยน
	5	กรองน้ำมัน

นอกจากนั้นช่วงระยะเวลาการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าสามารถคำนวณได้จาก เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการซ่อมแซม เวลาเฉลี่ยที่จะเกิดการเสื่อมสภาพในแต่ละครั้งและเวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหาย โดยรายละเอียดต่าง ๆ อธิบาย ดังนี้

1.) MTTR (Mean time to Repair)

เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการซ่อมแซม การประมาณค่า MTTR เป็นเรื่องที่ยุ่งยากและซับซ้อน เนื่องจากความเสียหายของอุปกรณ์มีลักษณะที่แตกต่างกัน การหาค่า MTTR จะทำการประมาณค่าโดยการสร้างกลุ่มตัวอย่างของการเสื่อมสภาพแล้วใส่เข้าไปในระบบ ถ้าค่า MTTR มีค่าน้อยจะแสดงถึงการใช้เวลาสั้นในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ ค่า MTTR สามารถคำนวณได้ดัง สมการที่ 1

$$\text{MTTR} = \frac{\text{เวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษา}}{\text{จำนวนครั้งในการบำรุงรักษา}} \quad (1)$$

2.) MTBF (Mean time between Failure)

เวลาเฉลี่ยที่จะเกิดการเสื่อมสภาพในแต่ละครั้ง [21] โดยค่า MTBF เป็นค่าที่แสดงถึงสมรรถนะความเชื่อถือได้ ถ้าหากค่า MTBF สูงแสดงถึงอุปกรณ์จะมีระยะเวลาการใช้งานที่ยาวนานหรือเกิดความเสียหายเกิดขึ้นน้อย ถ้าค่า MTBF มีค่าน้อยแสดงถึงอุปกรณ์จะมีความเสียหายเกิดขึ้นมากซึ่งจะแสดงถึงความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ต่ำ ค่า MTBF สามารถคำนวณได้จาก สมการที่ 2 และแสดงตัวอย่างใน รูปที่ 20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

$$\text{MTBF} = \frac{\text{ระยะเวลาที่อุปกรณ์ทำงาน}}{\text{จำนวนครั้งที่อุปกรณ์เกิดความเสียหาย}} \quad (2)$$

รูปที่ 20 Mean time between Failure

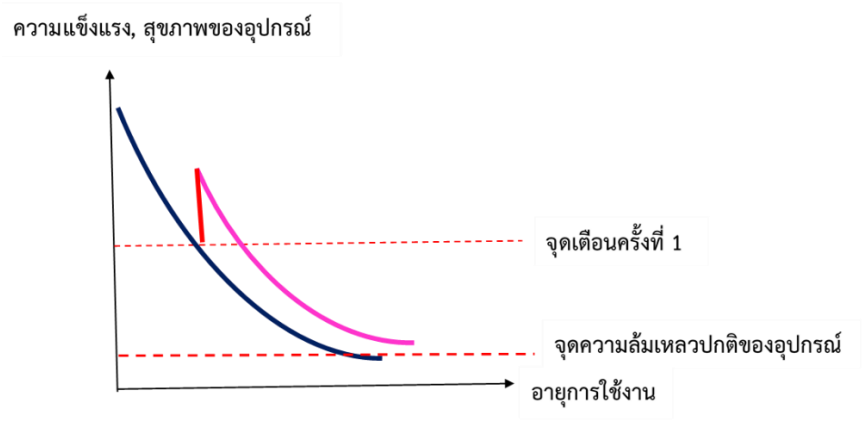
3.) MTTF (Mean time to Failure)

เวลาเฉลี่ยก่อนการเสียหาย ซึ่งหมายถึงค่าระยะเวลาเฉลี่ยที่อุปกรณ์สามารถใช้งานได้ปกติก่อนเกิดความเสียหาย ค่า MTTF มากจะแสดงถึงอุปกรณ์สามารถใช้งานได้ยาวนานก่อนจะมีความเสียหายเกิดขึ้นดังแสดงใน รูปที่ 21 ส่วนใหญ่จะใช้กับอุปกรณ์ที่เมื่อมีการเสื่อมสภาพเกิดขึ้นจะเปลี่ยนอุปกรณ์ใหม่เลย [22]

รูปที่ 21 Mean time to Failure

2.6.1.2 การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ (predictive maintenance)

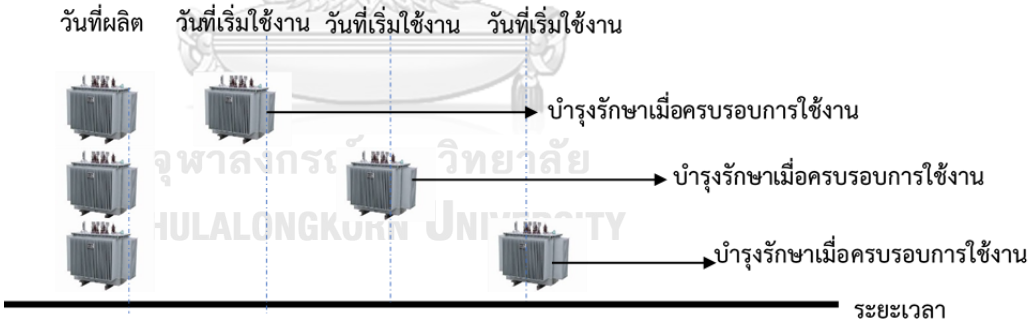
การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์เป็นการบำรุงรักษาที่ต้องนำข้อมูลต่าง ๆที่ได้มาจากการเก็บสถิติ การบันทึกข้อมูลหรือข้อมูลที่ได้มาจากระบบการตรวจวัดและเฝ้าระวัง (ข้อมูลทางสถิติจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันไปตามลักษณะขององค์ประกอบ) มาวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ที่อุปกรณ์หรือองค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าจะเกิดความเสียหาย ข้อดีของการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ คือ มีการวางแผนในการบำรุงรักษาก่อนที่อุปกรณ์จะมีการเสื่อมสภาพเกิดขึ้น ถ้าหากมีการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ที่ถูกต้องและแม่นยำจะส่งให้การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์มีความชัดเจนมากขึ้น สำหรับข้อเสียของการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ คือ ต้องใช้ข้อมูลที่ค่อนข้างสูงและผู้ทำการวิเคราะห์ต้องมีความเชี่ยวชาญ การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์แสดงใน รูปที่ 22



รูปที่ 22 การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์

2.6.1.3 การบำรุงรักษาตามการใช้งาน (usage-based maintenance)

การบำรุงรักษาตามการใช้งานเป็นหนึ่งในรูปแบบของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การบำรุงรักษาด้วยวิธีนี้จะพิจารณาจากการใช้งาน ซึ่งจะแตกต่างจากการบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนดการพิจารณาในเรื่องของเวลาการใช้งาน หลักเกณฑ์ในการพิจารณาจะพิจารณาจากการครบรอบการใช้งานของอุปกรณ์ที่กำหนด ดังแสดงใน รูปที่ 23 การบำรุงรักษาด้วยวิธีนี้ คือมีความสะดวกสบาย สามารถวางแผนการบำรุงรักษาได้อย่างเหมาะสม



รูปที่ 23 การบำรุงรักษาตามการใช้งาน

2.6.1.4 การบำรุงรักษาตามคำแนะนำ (prescriptive maintenance)

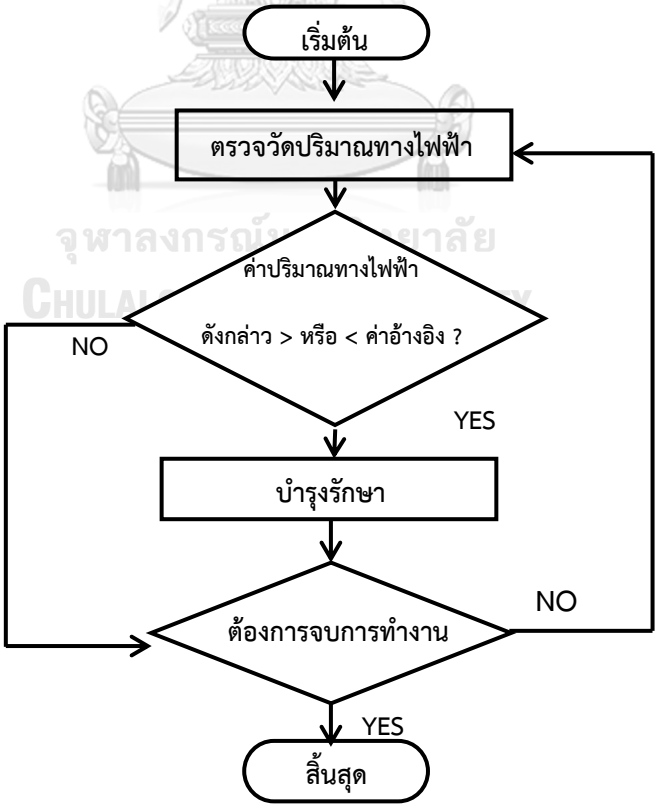
การบำรุงรักษาตามคำแนะนำเป็นการบำรุงรักษาที่ทำตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญและเป็นการลดความเสี่ยงที่อุปกรณ์อาจเสียหายก่อนถึงกำหนดอายุการใช้งาน

2.6.2 การบำรุงรักษาแบบแก้ไข

การบำรุงรักษาแบบแก้ไขเป็นการบำรุงรักษาหลังจากมีการเสื่อมสภาพเกิดขึ้นหรือเรียกว่าการบำรุงรักษาหลังจากอุปกรณ์มีความเสียหายเกิดขึ้น ส่วนใหญ่จะใช้ในระบบที่มีแรงดันไฟฟ้าที่ต่ำ การบำรุงรักษาด้วยวิธีนี้มีข้อดี คือ ประหยัดต้นทุนในการส่งคนไปซ่อมบำรุงรักษา สะดวกสบาย [23] ข้อเสียคืออุปกรณ์มีความเสียหายเกิดขึ้นก่อนที่จะมีการบำรุงรักษา

2.6.3 การบำรุงรักษาตามเงื่อนไข

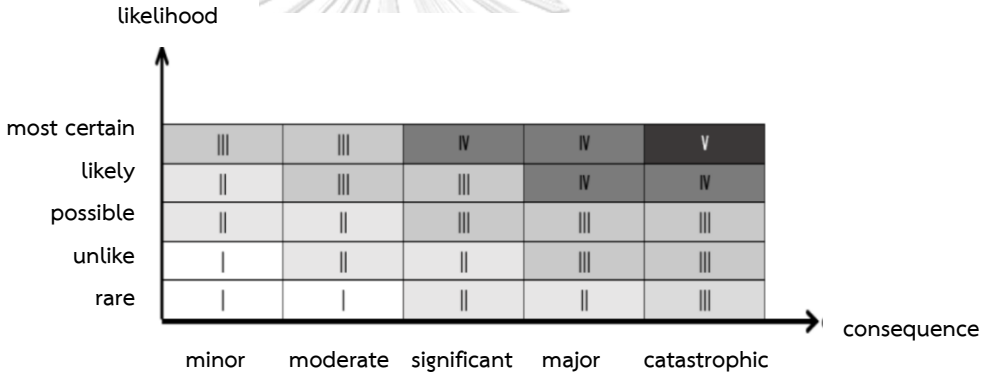
การบำรุงรักษาตามเงื่อนไข กำหนดจากประสบการณ์ของทีมบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า บทความ งานวิจัย มาตรฐานและคุณสมบัติของอุปกรณ์ ถ้าหากอุปกรณ์ยังไม่เป็นตามที่เงื่อนไขกำหนดไว้ก็จะยังไม่มีการบำรุงรักษาเกิดขึ้น การบำรุงรักษาด้วยวิธีนี้จะเป็นการกำหนดเงื่อนไขตามสภาพของอุปกรณ์หรือการตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์ที่เริ่มมีการเสื่อมสภาพเกิดขึ้นตัวอย่างเช่น สีของกระเปาะแก้วสารดูดความชื้นเปลี่ยนไปจำนวน 2 ใน 3 ของจำนวน silica gel ที่บรรจุอยู่ในกระเปาะแก้วสารดูดความชื้น การบำรุงรักษาตามเงื่อนไขแสดงใน รูปที่ 24



รูปที่ 24 การบำรุงรักษาตามเงื่อนไข

2.6.4 การบำรุงรักษาตามความเสี่ยง

การบำรุงรักษาตามความเสี่ยงเป็นการพิจารณาระหว่างความเสี่ยงของสถานที่ติดตั้งกับความรุนแรงของการเสื่อมสภาพที่เกิดขึ้น การพิจารณาจะพิจารณาจากผลคูณของสถานที่ติดตั้งกับระดับความรุนแรง [23] ถ้าความรุนแรงของการบำรุงรักษามากและสถานที่ติดตั้งของความรุนแรงที่เกิดขึ้นมีความสำคัญควรเข้าไปบำรุงรักษาทันที การบำรุงรักษาในรูปแบบนี้จะขึ้นกับบริษัทผู้ผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า การไฟฟ้า ตัวอย่างของการบำรุงรักษาตามความเสี่ยง เช่น การพิจารณาความเสี่ยงจากผลคูณระหว่างความเสี่ยงของสถานที่ติดตั้งกับความรุนแรงของการเสื่อมสภาพโดยจะแบ่งออกเป็นระดับความรุนแรง (ระดับความรุนแรงที่ 1 ถึงระดับความรุนแรงที่ 5) ดังแสดงใน รูปที่ 25 เมื่อผลของการพิจารณาอยู่ในระดับความรุนแรงที่ 5 (ระดับที่ V) จะแสดงถึงความรุนแรงสูงและความสำคัญมากควรรีบเข้าไปบำรุงรักษาทันทีเพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นได้ในอนาคต



รูปที่ 25 การบำรุงรักษาตามความเสี่ยง

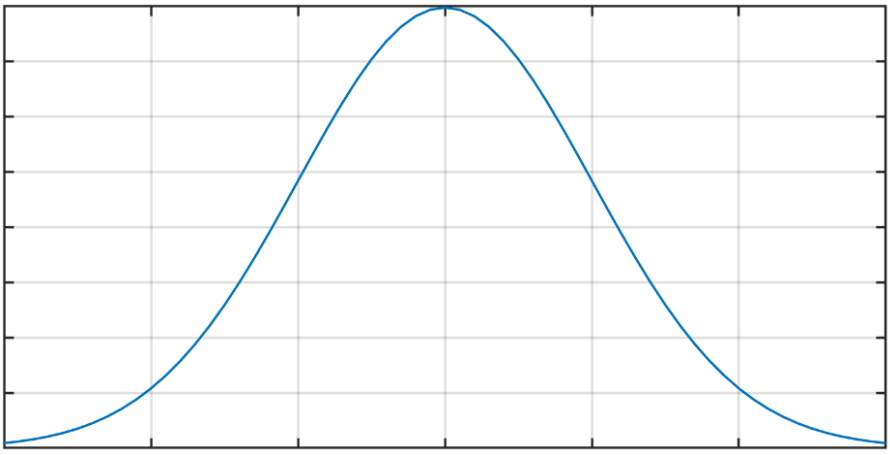
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.7 การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติถือเป็นเรื่องที่มีความสำคัญ [24] ซึ่งจะเป็นการนำข้อมูลการบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นมาใช้ในการวิเคราะห์หาอัตราความเสียหายหรือกล่าวได้ว่าเป็นการปรับปรุงอายุการใช้งานขององค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้า ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ทางสถิติจะสามารถทำให้เกิดการวางแผนการบำรุงรักษาได้อย่างชัดเจนและแม่นยำ สถิติที่นิยมใช้ในการปรับปรุงอายุการใช้งานของอุปกรณ์ ได้แก่ “Normal distribution” และ “Weibull distribution” การปรับปรุงอายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ถ้าหากอุปกรณ์มีข้อมูลการบำรุงรักษาที่ต่างกันหรือมีลักษณะที่แตกต่างกันจะใช้วิธีวิเคราะห์ที่แตกต่างกัน วิธีวิเคราะห์ทางสถิติสามารถอธิบาย ดังนี้

2.7.1 การวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติ

การวิเคราะห์การแจกแจงปกติเป็นวิธีวิเคราะห์ที่นำไปใช้มากที่สุดในด้านของการจัดการข้อมูลทางสถิติกับข้อมูลที่มีความต่อเนื่อง ลักษณะของการแจกแจงแบบปกติจะมีลักษณะสมมาตร [28] ซึ่งแสดงถึงค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐานและฐานนิยมมีค่าเท่ากัน ลักษณะกราฟจะมีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำดังแสดงใน รูปที่ 26



รูปที่ 26 กราฟระฆังคว่ำ

ลักษณะของการแจกแจงแบบปกติ

ส่วนโค้งด้านซ้ายจะมีค่าเท่ากับส่วนโค้งด้านขวา ซึ่งแสดงถึงสัมประสิทธิ์ความเบ้จะเท่ากับ 0 และส่วนสูงจะขึ้นอยู่กับความแปรปรวน, ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐานและฐานนิยมอยู่ที่จุดเดียวกันและมีค่าเท่ากัน ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3

$$f(x) = \frac{N}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

โดยที่

σ หมายถึง ค่าเฉลี่ย

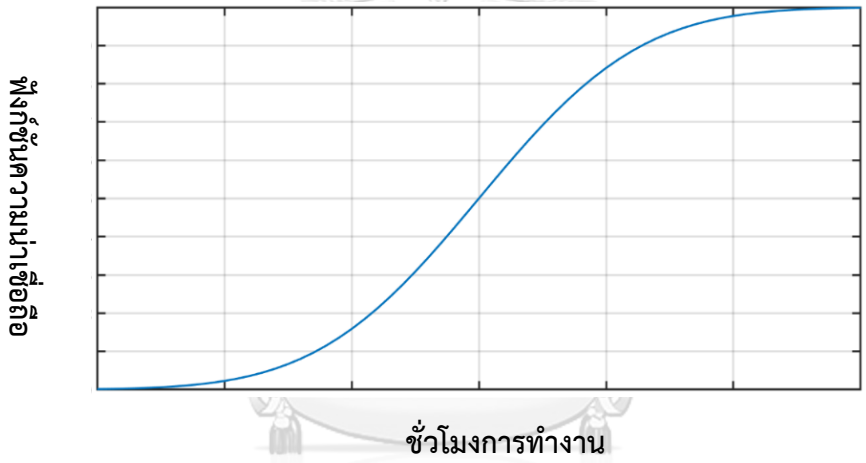
μ หมายถึง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

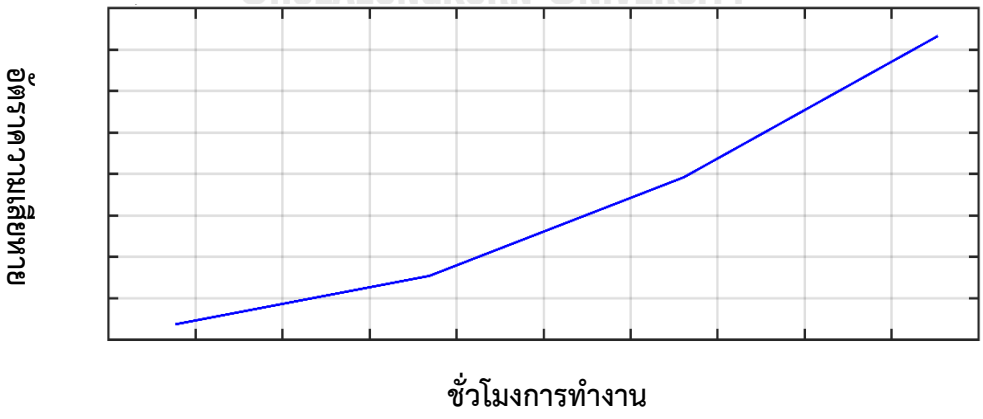
การวิเคราะห์การแจกแจงปกติ นอกจากจะสามารถหาฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น กราฟจะออกมาในรูประฆังคว่ำและคำนวณหาฟังก์ชันความน่าเชื่อถือ ดังแสดงใน รูปที่ 27 และคำนวณได้จาก สมการที่ 4 และ อัตราความเสียหาย ดังแสดงใน รูปที่ 28 และคำนวณได้จาก สมการที่ 5

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(x)dx \quad (4)$$

$$h\,(t) = \frac{f(x)}{R(t)} \qquad (5)$$



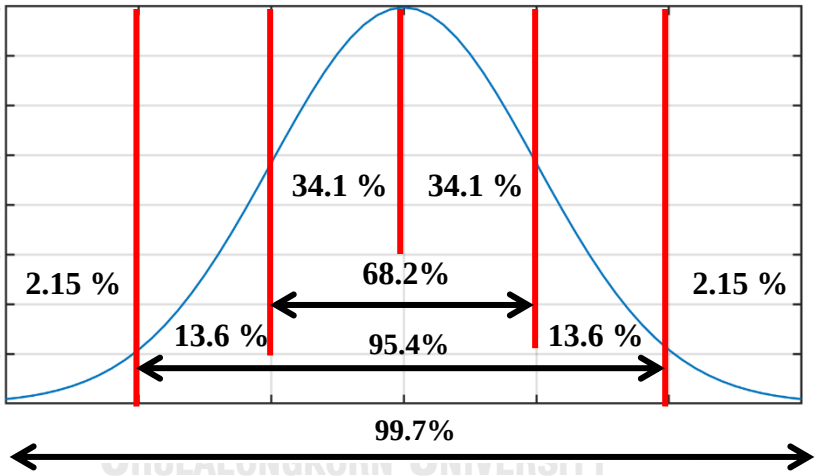
รูปที่ 27 ฟังก์ชันความน่าเชื่อถือ



รูปที่ 28 อัตราความเสียหาย

การปรับปรุงอายุการใช้งานขององค์ประกอบต่าง ๆ จะใช้ค่าอัตราความเสียหาย ในการดูแนวโน้มเกี่ยวกับระยะเวลาการบำรุงรักษาเพื่อที่จะนำมาวางแผนการบำรุงรักษาที่เหมาะสม สำหรับการกำหนดระยะเวลาการบำรุงรักษาที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์แบบการแจกแจงปกติสามารถกำหนดได้จากช่วงระยะเวลาเฉลี่ย บวก/ลบ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งสามารถอธิบายได้ ดังนี้

การกระจายของมูลซ้ำหลาย ๆ ครั้งจนถึงอนันต์จะพบว่าการกระจายตัวจะเป็นแบบสมมาตร โดยเรียกการกระจายตัวในลักษณะนี้ว่าการแจกแจงปกติ ประมาณ 68.2 % ของข้อมูลทั้งหมดจะอยู่ในช่วง ค่าเฉลี่ย บวก/ลบ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ส่วนถ้าหากต้องการความเชื่อมั่นในระดับ 95.4 % ของข้อมูลทั้งหมดจะอยู่ในช่วง ค่าเฉลี่ย บวก/ลบ 2 × ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและสุดท้ายถ้าหากต้องการความเชื่อมั่นในระดับ 99.7 % ของข้อมูลทั้งหมดจะอยู่ในช่วงค่าเฉลี่ย บวก/ลบ 3 × ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ดังแสดงใน รูปที่ 29



รูปที่ 29 การกระจายของการแจกแจงแบบปกติ

2.7.2 การวิเคราะห์การแจกแจงแบบไวบูล

การวิเคราะห์การแจกแจงแบบไวบูล มีความยืดหยุ่นและสะดวกสบายในการใช้งานเป็นที่นิยมใช้กันแพร่หลายในสาขาวิศวกรรม ในบทความทางวิชาการต่าง ๆ ใช้วิธีวิเคราะห์การแจกแจงแบบไวบูลในการประเมินอายุการใช้งานและปรับปรุงอายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ การวิเคราะห์แบบไวบูล สามารถคำนวณฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นดัง สมการที่ 6

$$f(x) = \frac{\beta t^{(\beta-1)}}{\eta^{\beta}} \exp\left[-\frac{t}{\eta}\right]^{\beta} \quad (6)$$

โดยที่

β คือ พารามิเตอร์รูปร่าง

η คือ พารามิเตอร์สเกล

คุณสมบัติของการวิเคราะห์การแจกแจงแบบไวบูล

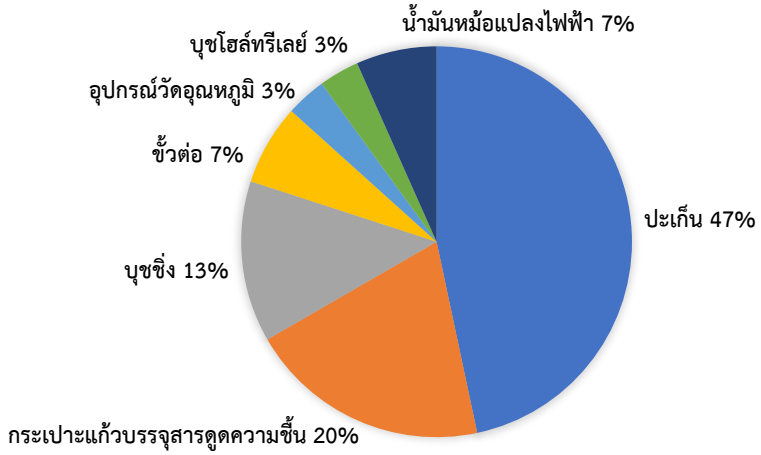
พารามิเตอร์รูปร่าง คือ ความชันถ้าหากมีค่าแตกต่างกันจะส่งผลให้การกระจายของกราฟมีค่าที่แตกต่างกัน การเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์สเกล จะให้ผลลัพธ์เช่นเดียวกับการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์รูปร่าง โดยจุดสูงสุดของกราฟจะลดลงถ้าหากค่าพารามิเตอร์สเกล เพิ่มขึ้น โดยการวิเคราะห์การแจกแจงแบบไวบูล เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ในฉนวนแข็ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3 การออกแบบการทดลอง

3.1 อายุการใช้งานขององค์ประกอบที่นำมากำหนดแผนการบำรุงรักษา

องค์ประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถบำรุงรักษาหน้างานได้ ได้แก่ กระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น ปะเก็น บุชชิ่ง น้ำมันหม้อแปลงและขั้วต่อไฟฟ้าทั้งฝั่งแรงสูงและแรงต่ำ ข้อมูลการบำรุงรักษาองค์ประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าที่รวบรวมจากบริษัทผู้ผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าจำหน่ายแห่งหนึ่งพบว่า มีข้อมูลการบำรุงรักษาหน้างานที่ทางเจ้าหน้าที่ฝ่ายบำรุงรักษาไปดำเนินการบำรุงรักษาแสดงใน รูปที่ 30



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 30 ข้อมูลการบำรุงรักษาหน้างานที่ทางเจ้าหน้าที่ฝ่ายบำรุงรักษาไปดำเนินการบำรุงรักษา

องค์ประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าที่นำมากำหนดแผนการบำรุงรักษาสามารถเกิดความเสียหายได้จากปัจจัยต่าง ๆ ทั้งจากปัจจัยภายนอก ปัจจัยภายใน ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น การใช้งานโหลด สถานที่ติดตั้ง และความแตกต่างของโหลด จากการสอบถามจากทีมงานบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า เอกสารอ้างอิงและมาตรฐานของอุปกรณ์ต่าง ๆ สามารถสรุปสาเหตุที่ทำให้องค์ประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าที่นำมากำหนดแผนการบำรุงรักษาสามารถเกิดความเสียหายแสดงดัง ตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ปัจจัยที่ทำให้อายุการใช้งานองค์ประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าสั้นลง

องค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้า	สาเหตุ/ปัจจัย	เอกสารอ้างอิง
ปะเก็น	ความร้อน ความชื้น	[10]
กระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น	การใช้งานโหลด ความชื้น ความแตกต่างของโหลด	[10]

การปรับปรุงอายุการใช้งานในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะปรับปรุงอายุการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าโดยการเปลี่ยนอะไหล่ที่มีอายุการใช้งานสั้นกว่าอายุการใช้งานของหม้อแปลงและสามารถเปลี่ยนขณะตัดไฟ/ไม่ตัดไฟชั่วคราวหน้างานได้ซึ่ง ได้แก่ ปะเก็นด้านแรงสูง ปะเก็นด้านแรงต่ำและกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น ทั้งสององค์ประกอบจะใช้วิธีวิเคราะห์คือการแจกแจงปกติ ในการปรับปรุงอายุการใช้งานจะใช้ข้อมูลการบำรุงรักษาทางสถิติซึ่งจะแสดงในหน่วยของ “ชั่วโมงการทำงาน” และแสดงผลลัพธ์ในรูปแบบของ วัน/เดือน/ปี ที่ต้องไปบำรุงรักษาในครั้งถัดไป การกำหนดค่าระยะเวลาการบำรุงรักษาตามเงื่อนไขขององค์ประกอบนั้น ๆ จะกำหนดไว้เพื่อเป็นอายุการใช้งานเริ่มต้นดังแสดงในตารางที่ 10 เมื่อมีการบำรุงรักษาเกิดขึ้นจะทำการใส่ค่าระยะเวลาการบำรุงรักษาเข้าไปในระบบเพื่อปรับปรุงอายุการใช้งานให้มีความเหมาะสม แม่นยำมากขึ้น

ตารางที่ 10 อายุการใช้งานเริ่มต้นขององค์ประกอบที่นำมากำหนดแผนการบำรุงรักษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

องค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้า	การบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนด	การบำรุงรักษาตามเงื่อนไข
ปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำ	5 ปี (43830 ชั่วโมง)	ปะเก็นเสื่อมสภาพ มีคราบน้ำมัน
กระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น	1 ปี (8766 ชั่วโมง)	สีของซิลิกาเจลในกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นเปลี่ยนไปที่ระดับความสูง 2 ใน 3 ของกระบอก

3.2 ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลทางสถิติเป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวมการบำรุงรักษาองค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่จะนำมาปรับปรุงอายุการใช้งานโดยเป็นการรวบรวมสถิติทั้งสิ้น 60 เดือน ซึ่งเป็นข้อมูลที่ทางทีมงานบำรุงรักษาจากบริษัทหม้อแปลงไฟฟ้าแห่งหนึ่งได้จัดเก็บเมื่อมีการไปบำรุงรักษาองค์ประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าที่บริษัทต่าง ๆ ข้อมูลการบำรุงรักษาจะมีข้อจำกัดเนื่องจาก ในปัจจุบันประเทศไทยมีบริษัทผลิตและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าอยู่หลากหลายทำให้ลูกค้าสามารถเลือกบริษัทที่บำรุงรักษาได้หลากหลาย สาเหตุดังกล่าวส่งผลให้ข้อมูลการบำรุงรักษาไม่ได้ปรับปรุงเป็นข้อมูลในปัจจุบันและในอีกกรณี คือ หม้อแปลงไฟฟ้ารุ่นเก่า ๆ ไม่ได้มีการบำรุงรักษาหรือไม่ได้มีการบันทึกข้อมูลการบำรุงรักษาทำให้ข้อมูลไม่ได้ปรับปรุงเป็นข้อมูลปัจจุบันจากสาเหตุดังกล่าวส่งผลให้ข้อมูลการบำรุงรักษาขาดความน่าเชื่อถือ ไม่มีประสิทธิภาพ

การเก็บข้อมูลการบำรุงรักษาองค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นการเก็บข้อมูลการบำรุงรักษาย้อนหลัง60 เดือน โดยจะเป็นข้อมูลการบำรุงรักษาในส่วนของปะเก็นด้านแรงสูง ปะเก็นด้านแรงต่ำ และกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นอธิบาย ดังนี้

3.2.1 ข้อมูลทางสถิติสำหรับปะเก็นด้านแรงสูงและปะเก็นด้านแรงต่ำ

ปะเก็นด้านแรงสูงและปะเก็นด้านแรงต่ำเป็นองค์ประกอบที่มีการไปบำรุงรักษาหรือเปลี่ยนอุปกรณ์มากที่สุดโดยเฉพาะปะเก็นบริเวณด้านแรงสูง ระยะเวลาการบำรุงรักษาตามเงื่อนไขจะอยู่ที่ 5 ปี จากสถิติพบว่าอายุการใช้งานที่เหมาะสมของปะเก็นจะไม่ได้อยู่ที่ 5 ปี เนื่องจากพบว่าเมื่อหม้อแปลงไฟฟ้าถูกใช้ไปเป็นระยะเวลามากกว่า 5 ปี ปะเก็นยังไม่เสื่อมสภาพและยังไม่มีการบำรุงรักษา ในขณะเดียวกันพบว่าเมื่อใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้าเป็นระยะเวลาน้อยกว่า 5 ปีพบว่าปะเก็นมีการเสื่อมสภาพเกิดขึ้นด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้ต้องมีการปรับปรุงอายุการใช้งานของปะเก็นให้มีความเหมาะสมและถูกต้องซึ่งจะส่งผลให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและทำให้การวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันให้มีความถูกต้องและชัดเจน

การจัดเก็บข้อมูลการบำรุงรักษาของปะเก็นด้านแรงสูงและปะเก็นด้านแรงต่ำปี พ.ศ. 2555 - 2557 และ พ.ศ. 2561 – 2563 จำนวนทั้งสิ้น 60 เดือน สรุปได้ ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อมูลการบำรุงรักษาปี 2555

ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและปะเก็นด้านแรงต่ำสำหรับปี พ.ศ.2555 (จำนวน 12 เดือน) เป็นข้อมูลการบำรุงรักษา การเปลี่ยนองค์ประกอบปะเก็นทางด้านแรงสูงและแรงต่ำทั้งสิ้น จำนวน 131 ครั้ง (ข้อมูลไม่ได้ระบุรายละเอียดและสาเหตุของการบำรุงรักษา) ดังแสดงใน ตารางที่ 11

ตารางที่ 11 ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำ ปี พ.ศ.2555

ชั่วโมงการใช้งาน	**จำนวนสถิติ**
2 เดือน	2
1 ปี	1
2 ปี	7
3 ปี	12
4 ปี	27
5 ปี	17
6 ปี	18
7 ปี	5*
8 ปี	10*
9 ปี	9*
10 ปี	8*
11 ปี	7*
12 ปี	8*
รวม	**131**

* ข้อมูลการบำรุงรักษาที่ความน่าเชื่อถือน้อย (เนื่องจากอาจมีการบำรุงรักษาจากบริษัทผลิตและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้ารายอื่นก่อนหน้าเวลาดังกล่าว)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อมูลการบำรุงรักษาปี 2556

ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและปะเก็นด้านแรงต่ำสำหรับปี พ.ศ.2556 (จำนวน 12 เดือน) เป็นข้อมูลการบำรุงรักษา การเปลี่ยนองค์ประกอบปะเก็นทางด้านแรงสูงและแรงต่ำทั้งสิ้น จำนวน 99 ครั้ง (ข้อมูลไม่ได้ระบุรายละเอียดและสาเหตุของการบำรุงรักษา) ดังแสดงใน ตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำ ปี พ.ศ.2556

ชั่วโมงการใช้งาน	**จำนวนสถิติ**
2 เดือน	2
3 เดือน	1
1 ปี	6
2 ปี	6
3 ปี	11
4 ปี	6
5 ปี	11
6 ปี	16
7 ปี	13*
8 ปี	5*
9 ปี	10*
10 ปี	2*
11 ปี	4*
12 ปี	2*
13 ปี	4*
รวม	**99**

* ข้อมูลการบำรุงรักษาที่ความน่าเชื่อถือน้อย (เนื่องจากอาจมีการบำรุงรักษาจากบริษัทผลิตและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้ารายอื่นก่อนหน้าเวลาดังกล่าว)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อมูลการบำรุงรักษาปี 2557

ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและปะเก็นด้านแรงต่ำสำหรับปี พ.ศ.2557 (จำนวน 5 เดือน) เป็นข้อมูลการบำรุงรักษา การเปลี่ยนองค์ประกอบปะเก็นทางด้านแรงสูงและแรงต่ำทั้งสิ้น จำนวน 50 ครั้ง (ข้อมูลไม่ได้ระบุรายละเอียดและสาเหตุของการบำรุงรักษา) ดังแสดงใน ตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำ ปี พ.ศ.2557

ชั่วโมงการใช้งาน	**จำนวนสถิติ**
1 ปี	2
2 ปี	2
3 ปี	3
4 ปี	2
5 ปี	9
6 ปี	4
7 ปี	4*
8 ปี	12*
9 ปี	5*
10 ปี	5*
11 ปี	2*
รวม	**50**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

* ข้อมูลการบำรุงรักษาที่ความน่าเชื่อถือน้อย (เนื่องจากอาจมีการบำรุงรักษาจากบริษัทผลิตและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้ารายอื่นก่อนหน้าเวลาดังกล่าว)

ข้อมูลการบำรุงรักษาปี 2561

ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและปะเก็นด้านแรงต่ำสำหรับปี พ.ศ.2561 (จำนวน 10 เดือน) เป็นข้อมูลการบำรุงรักษา การเปลี่ยนองค์ประกอบปะเก็นทางด้านแรงสูงและแรงต่ำทั้งสิ้น จำนวน 93 ครั้ง (ข้อมูลไม่ได้ระบุรายละเอียดและสาเหตุของการบำรุงรักษา) ดังแสดงใน ตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำ ปี พ.ศ.2561

ชั่วโมงการใช้งาน	**จำนวนสถิติ**
1 ปี	1
2 ปี	4
3 ปี	7
4 ปี	11
5 ปี	8
6 ปี	11
7 ปี	12*
8 ปี	12*
9 ปี	3*
10 ปี	8*
11 ปี	2*
12 ปี	9*
13 ปี	3*
14 ปี	2*
รวม	**93**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

* ข้อมูลการบำรุงรักษาที่ความน่าเชื่อถือน้อย (เนื่องจากอาจมีการบำรุงรักษาจากบริษัทผลิตและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้ารายอื่นก่อนหน้าเวลาดังกล่าว)

ข้อมูลการบำรุงรักษาปี 2562

ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและปะเก็นด้านแรงต่ำสำหรับปี พ.ศ.2562 (จำนวน 9 เดือน) เป็นข้อมูลการบำรุงรักษา การเปลี่ยนองค์ประกอบปะเก็นทางด้านแรงสูงและแรงต่ำทั้งสิ้น จำนวน 69 ครั้ง (ข้อมูลไม่ได้ระบุรายละเอียดและสาเหตุของการบำรุงรักษา) ดังแสดงใน ตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำ ปี พ.ศ.2562

ชั่วโมงการใช้งาน	**จำนวนสถิติ**
1 ปี	1
2 ปี	4
3 ปี	10
4 ปี	8
5 ปี	11
6 ปี	4
7 ปี	10*
8 ปี	2*
9 ปี	4*
10 ปี	3*
11 ปี	5*
12 ปี	2*
13 ปี	5*
รวม	**69**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

* ข้อมูลการบำรุงรักษาที่ความน่าเชื่อถือน้อย (เนื่องจากอาจมีการบำรุงรักษาจากบริษัทผลิตและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้ารายอื่นก่อนหน้าเวลาดังกล่าว)

ข้อมูลการบำรุงรักษาปี 2563

ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและปะเก็นด้านแรงต่ำสำหรับปี พ.ศ.2563 (จำนวน 12 เดือน) เป็นข้อมูลการบำรุงรักษา การเปลี่ยนองค์ประกอบปะเก็นทางด้านแรงสูงและแรงต่ำทั้งสิ้น จำนวน 117 ครั้ง (ข้อมูลไม่ได้ระบุรายละเอียดและสาเหตุของการบำรุงรักษา) ดังแสดงใน ตารางที่ 16

ตารางที่ 16 ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำ ปี พ.ศ.2563

ชั่วโมงการใช้งาน	**จำนวนสถิติ**
1 ปี	2
2 ปี	9
3 ปี	11
4 ปี	15
5 ปี	9
6 ปี	14
7 ปี	7*
8 ปี	13*
9 ปี	9*
10 ปี	6*
11 ปี	9*
12 ปี	12*
13 ปี	1*
รวม	**117**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

* ข้อมูลการบำรุงรักษาที่ความน่าเชื่อถือน้อย (เนื่องจากอาจมีการบำรุงรักษาจากบริษัทผลิตและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้ารายอื่นก่อนหน้าเวลาดังกล่าว)

ข้อมูลการบำรุงรักษาของปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำจาก ตารางที่ 3.3 ถึง ตารางที่ 3.8 เป็นข้อมูลการบำรุงรักษาของปะเก็นที่เสื่อมสภาพที่มาจากสาเหตุ ความร้อน ความชื้น ปะเก็นเสื่อมคุณภาพ การเหนี่ยวรั้งของสายแรงสูง อุบัติเหตุ สัตว์ ภัยธรรมชาติและอุปกรณ์ไม่มีคุณภาพและการบำรุงรักษาตามระยะเวลาที่กำหนด ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำตลอด 60 เดือนแสดงใน ตารางที่ 17

ตารางที่ 17 ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำ 60 เดือน

ชั่วโมงการใช้งาน	**จำนวนสถิติ**
2 เดือน	4
3 เดือน	1
1 ปี	13
2 ปี	32
3 ปี	54
4 ปี	69
5 ปี	65
6 ปี	67
7 ปี	51*
8 ปี	54*
9 ปี	40*
10 ปี	32*
11 ปี	29*
12 ปี	33*
13 ปี	13*
14 ปี	2*
รวม	**559**

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

* ข้อมูลการบำรุงรักษาที่ความน่าเชื่อถือน้อย (เนื่องจากอาจมีการบำรุงรักษาจากบริษัทผลิตและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้ารายอื่นก่อนหน้าเวลาดังกล่าว)

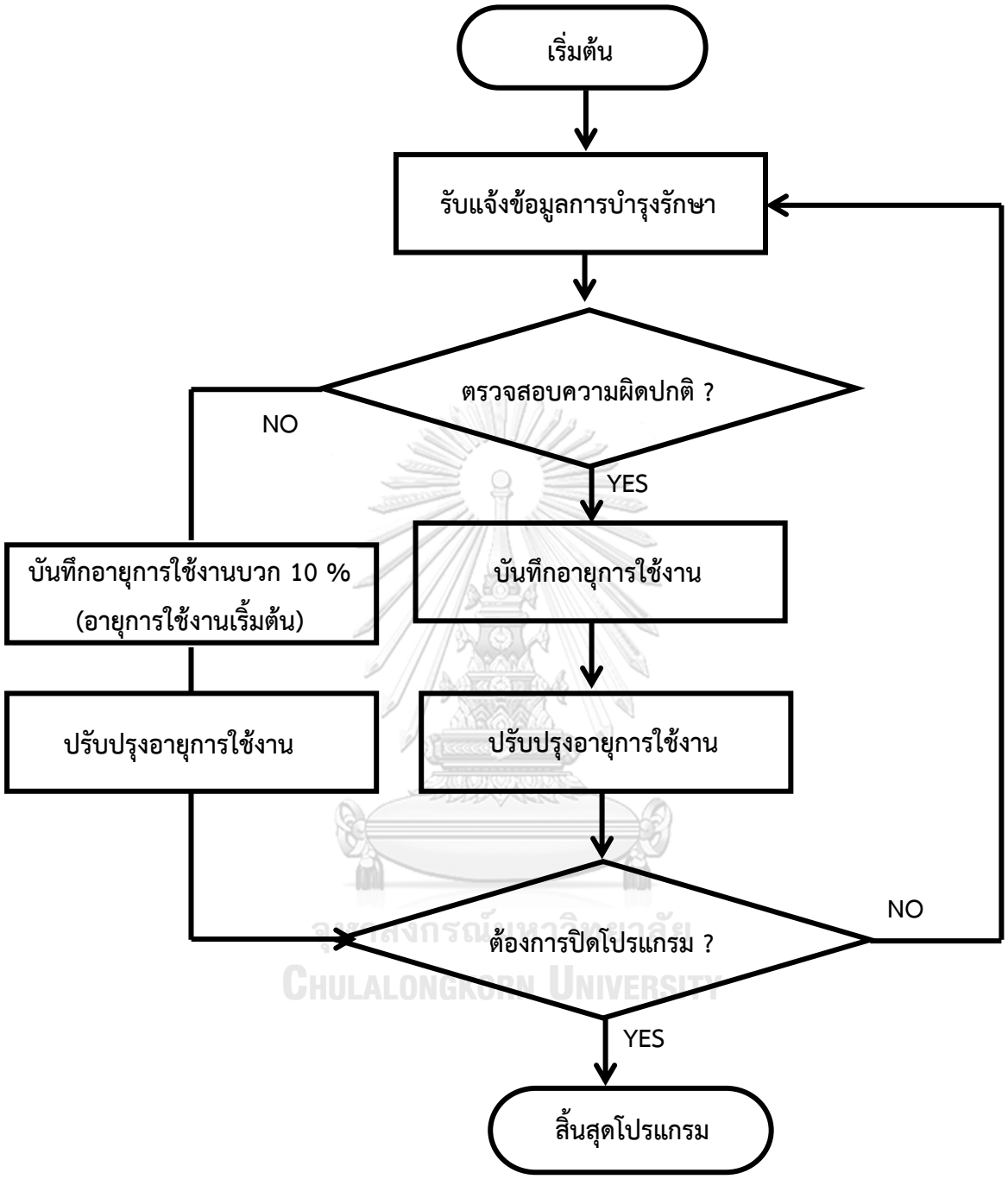
3.2.2 ข้อมูลทางสถิติสำหรับกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น

ข้อมูลการบำรุงรักษาของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นไม่ได้มีการจัดเก็บอย่างเป็นระบบ และหม้อแปลงไฟฟ้าในปัจจุบันส่วนใหญ่จะไม่มีส่วนของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น เนื่องจากในปัจจุบันจะใช้เป็นหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดปิดซึ่งจะไม่มีส่วนประกอบของกระบอกเก็บความชื้น ทำให้ข้อมูลการบำรุงรักษาที่จะนำมาปรับปรุงอายุการใช้งานมีจำนวนน้อยและไม่มีประสิทธิภาพ ในการปรังปรุงอายุการใช้งานของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นจะใช้วิธีการตั้งค่าอายุการใช้งานเริ่มต้น ซึ่งเป็นค่าที่อ้างอิงมาจากบทความ ประสบการณ์ของทีมงานบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าโดยระยะเวลาจะอยู่ที่ 1 ปีและกำหนดค่าการบำรุงรักษาจากข้อมูลที่ได้จากการจัดเก็บข้อมูลมาจากบริษัทผู้ผลิตและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าแห่งหนึ่ง เมื่อมีการบำรุงรักษาเกิดขึ้นจะทำการป้อนข้อมูลเข้าไปในระบบเพื่อปรับปรุงระยะเวลาการใช้งานของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นให้มีความเหมาะสม ถูกต้องชัดเจนมากยิ่งขึ้น

3.3 ขั้นตอนการปรับปรุงอายุการใช้งาน

ในงานวิทยานิพนธ์นี้จะเป็นการเก็บข้อมูลการบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าเฉพาะหม้อแปลงไฟฟ้ากำลัง การเก็บข้อมูลการบำรุงรักษาจะเก็บข้อมูลเฉพาะองค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่บำรุงรักษาหน้างานได้เลย ได้แก่ ปะเก็นด้านแรงสูง ปะเก็นด้านแรงต่ำและกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น ขั้นตอนการปรับปรุงอายุการใช้งานจะเริ่มจากการรับการแจ้งเตือนความเสียหายที่เกิดขึ้น (ความเสียหายที่เกิดมาจากสัตว์ อุบัติเหตุ ความผิดพลาดส่วนบุคคล อุปกรณ์ไม่มีคุณภาพ จะไม่ถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงอายุการใช้งาน) เมื่อรับแจ้งการบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นและวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้เกิดความเสียหายจะทำการใส่ค่าข้อมูลระยะเวลาใช้งาน (ใส่ในหน่วยของชั่วโมงการทำงาน) เพื่อทำการวิเคราะห์หา ระยะเวลาการบำรุงรักษาที่เหมาะสม ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์จะแสดงออกในลักษณะของวันที่ต้องบำรุงรักษาในครั้งถัดไป ขั้นตอนการปรับปรุงอายุการใช้งานแสดงใน รูปที่ 31

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



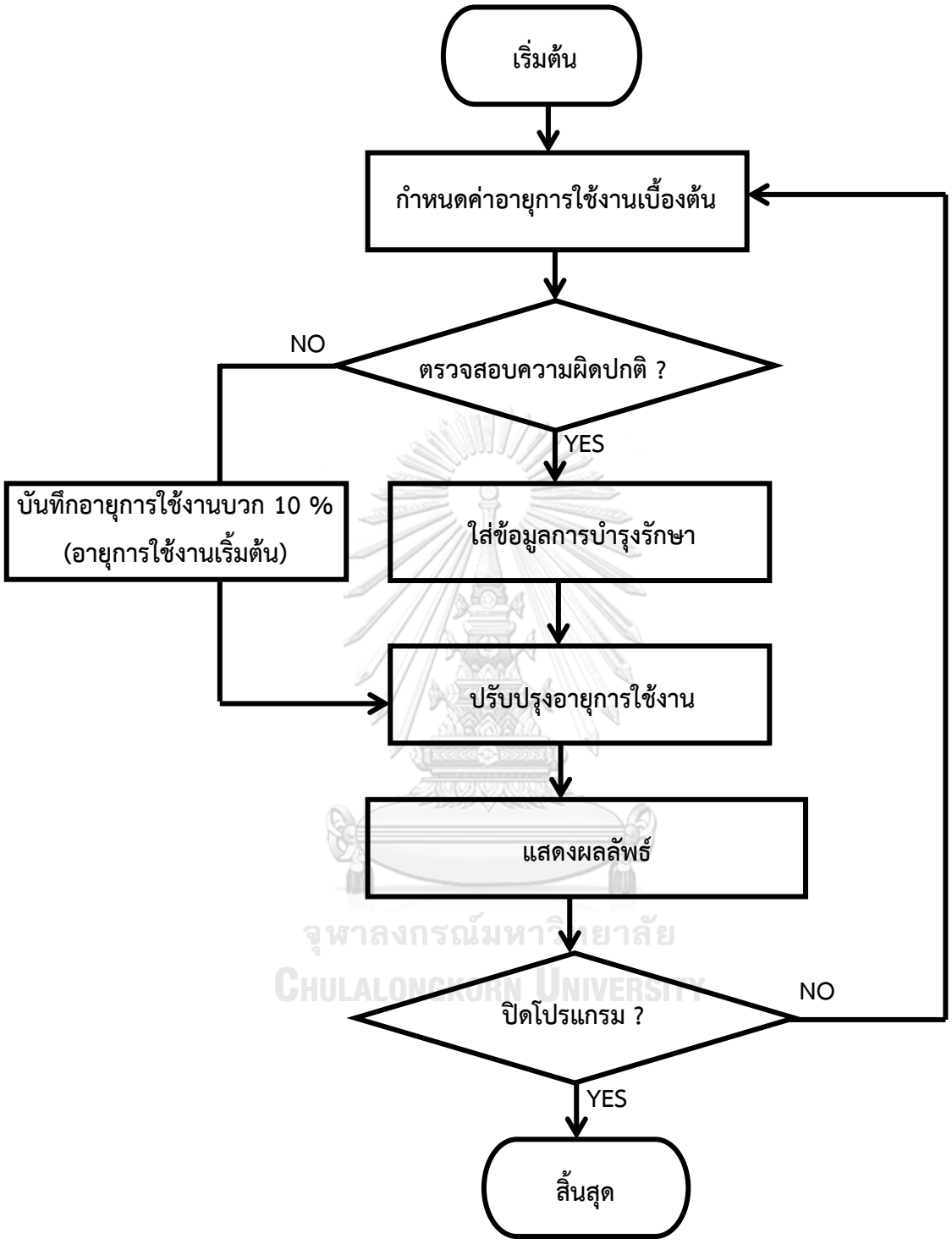
รูปที่ 31 แผนผังขั้นตอนการปรับปรุงอายุการใช้งาน

3.4 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

โปรแกรมการพัฒนาระบบการบริหารสินทรัพย์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในระบบจำหน่ายจะเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการปรับปรุงอายุการใช้งานองค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้า ผลลัพธ์จะแสดงถึงวันที่ต้องไปบำรุงรักษาในครั้งถัดไป ลำดับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจะเริ่มจากการกำหนดอายุการใช้งานเริ่มต้น ซึ่งเป็นค่าที่อ้างอิงมาจากค่าระยะเวลาการบำรุงรักษาขององค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้า (สำหรับปะเก็นจะมีค่าเท่ากับ 43,830 ชั่วโมงและกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นจะมีค่าเท่ากับ 8,766 ชั่วโมง) ในโปรแกรมได้กำหนดระยะเวลาการบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นกับองค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่ได้ไปเก็บมาจากบริษัทผลิตหม้อแปลงไฟฟ้าแห่งหนึ่ง เมื่อมีการบำรุงรักษาเกิดขึ้นจะต้องใส่ข้อมูลระยะเวลาการใช้งานจนมีการบำรุงรักษาเกิดขึ้นเข้าไปในระบบ (ในหน่วยของชั่วโมงการใช้งาน) เพื่อให้โปรแกรมสามารถคำนวณและวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยของการใช้งานรวมไปถึงหาอัตราความเสียหายเพื่อใช้ประกอบกับกางวางแผนการบำรุงรักษาที่เหมาะสม ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมแสดงใน รูปที่ 32

ถ้าหากถึงอายุการใช้งานเริ่มต้นและได้นำองค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งปะเก็นและกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นไปตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้า ทางเคมี และพบว่าคุณสมบัติยังคงเดิมซึ่งแสดงถึงอุปกรณ์ยังสามารถใช้งานได้ต้องทำการ “เพิ่มอายุการใช้งานเริ่มต้นเพิ่มขึ้น 10 %” หรือถ้าหากมีการบำรุงรักษาเกิดขึ้นก่อนถึงอายุการใช้งานเริ่มต้นให้ทำ “การลดอายุการใช้งานเริ่มต้นลดลง 10 %”

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 32 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

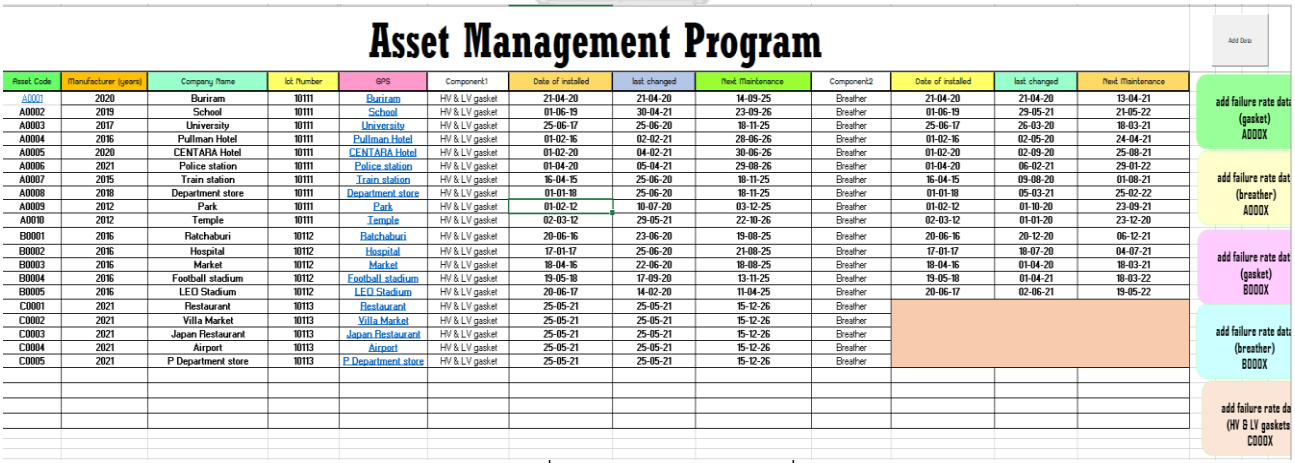
3.5 โปรแกรมการพัฒนาระบบการบริหารสินทรัพย์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในระบบจำหน่าย

การไปฝึกงานที่ บริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายหม้อแปลงไฟฟ้าแห่งหนึ่งพบว่าผู้ใช้งานหรือทีมงานบำรุงรักษาต้องการใช้โปรแกรมที่สะดวกสบาย ใช้งานง่าย สามารถใช้งานได้ทุกแผนกและเป็นโปรแกรมที่ต้องไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกใช้โปรแกรม Microsoft Excel ร่วมกับ Visual Basic for Applications (VBA) โดยรายละเอียดของโปรแกรม อธิบาย ดังนี้

โปรแกรมการพัฒนาระบบการบริหารสินทรัพย์ของหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในระบบจำหน่าย แบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ ส่วนแสดงข้อมูลทั่วไป ส่วนการวิเคราะห์/การปรับปรุงอายุการใช้งาน และส่วนแสดงผลลัพธ์ ในแต่ละส่วนอธิบาย ดังนี้

3.5.1 ส่วนแสดงข้อมูลทั่วไป

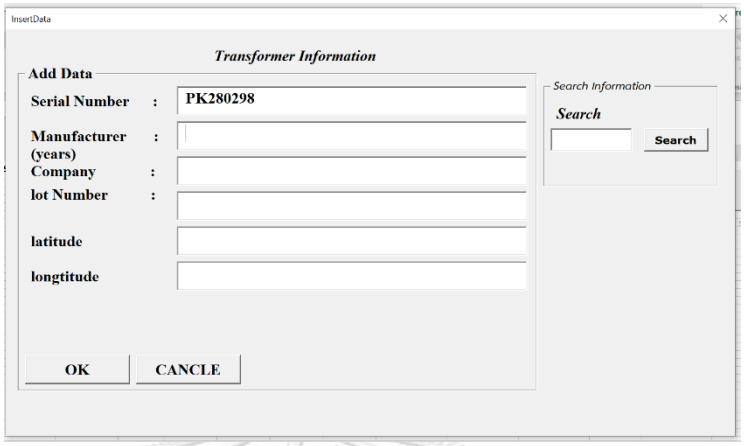
ส่วนแสดงข้อมูลทั่วไปเป็นส่วนที่จะแสดงถึงข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้า ได้แก่ หมายเลขหม้อแปลงไฟฟ้า (serial Number) หมายเลข asset ชื่อบริษัทเจ้าของหม้อแปลงไฟฟ้า ปีที่ผลิตหม้อแปลงไฟฟ้า ที่ตั้งของหม้อแปลงไฟฟ้า หมายเลขล็อต วันที่ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า วันที่ไปเปลี่ยนหรือบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าครั้งล่าสุด เส้นละติจูดและลองจิจูด แสดงใน รูปที่ 33



Asset Code	Manufacturer (years)	Company Name	lot Number	GPS	Component1	Date of installed	last changed	Next Maintenance	Component2	Date of installed	last changed	Next Maintenance
A0001	2020	Buriram	10111	Buriram	HV & LV gasket	21-04-20	21-04-20	14-09-25	Breather	21-04-20	21-04-20	13-04-21
A0002	2019	School	10111	School	HV & LV gasket	01-06-19	30-04-21	23-09-26	Breather	01-06-19	29-05-21	21-05-22
A0003	2017	University	10111	University	HV & LV gasket	25-06-17	25-06-20	18-11-25	Breather	25-06-17	26-03-20	18-03-21
A0004	2016	Pullman Hotel	10111	Pullman Hotel	HV & LV gasket	01-02-16	02-02-21	28-06-26	Breather	01-02-16	02-05-20	24-04-21
A0005	2020	CENTARA Hotel	10111	CENTARA Hotel	HV & LV gasket	01-02-20	04-02-21	30-06-26	Breather	01-02-20	02-09-20	25-08-21
A0006	2021	Police station	10111	Police station	HV & LV gasket	01-04-20	05-04-21	29-08-26	Breather	01-04-20	06-02-21	29-01-22
A0007	2015	Train station	10111	Train station	HV & LV gasket	16-04-15	25-06-20	18-11-25	Breather	16-04-15	09-08-20	01-08-21
A0008	2018	Department store	10111	Department store	HV & LV gasket	01-01-18	25-06-20	18-11-25	Breather	01-01-18	05-03-21	25-02-22
A0009	2012	Park	10111	Park	HV & LV gasket	01-02-12	10-07-20	03-12-25	Breather	01-02-12	01-10-20	23-09-21
A0010	2012	Temple	10111	Temple	HV & LV gasket	02-03-12	29-05-21	22-10-26	Breather	02-03-12	01-01-20	23-12-20
B0001	2016	Ratchaburi	10112	Ratchaburi	HV & LV gasket	20-06-16	23-06-20	19-08-25	Breather	20-06-16	20-12-20	06-12-21
B0002	2016	Hospital	10112	Hospital	HV & LV gasket	17-01-17	25-06-20	21-08-25	Breather	17-01-17	18-07-20	04-07-21
B0003	2016	Market	10112	Market	HV & LV gasket	18-04-16	22-06-20	18-08-25	Breather	18-04-16	01-04-20	18-03-21
B0004	2016	Football stadium	10112	Football stadium	HV & LV gasket	19-05-18	17-09-20	13-11-25	Breather	19-05-18	01-04-21	18-03-22
B0005	2016	LEO Stadium	10112	LEO Stadium	HV & LV gasket	20-06-17	14-02-20	11-04-25	Breather	20-06-17	02-06-21	19-05-22
C0001	2021	Restaurant	10113	Restaurant	HV & LV gasket	25-05-21	25-05-21	15-12-26	Breather			
C0002	2021	Villa Market	10113	Villa Market	HV & LV gasket	25-05-21	25-05-21	15-12-26	Breather			
C0003	2021	Japan Restaurant	10113	Japan Restaurant	HV & LV gasket	25-05-21	25-05-21	15-12-26	Breather			
C0004	2021	Airport	10113	Airport	HV & LV gasket	25-05-21	25-05-21	15-12-26	Breather			
C0005	2021	P Department store	10113	P Department store	HV & LV gasket	25-05-21	25-05-21	15-12-26	Breather			

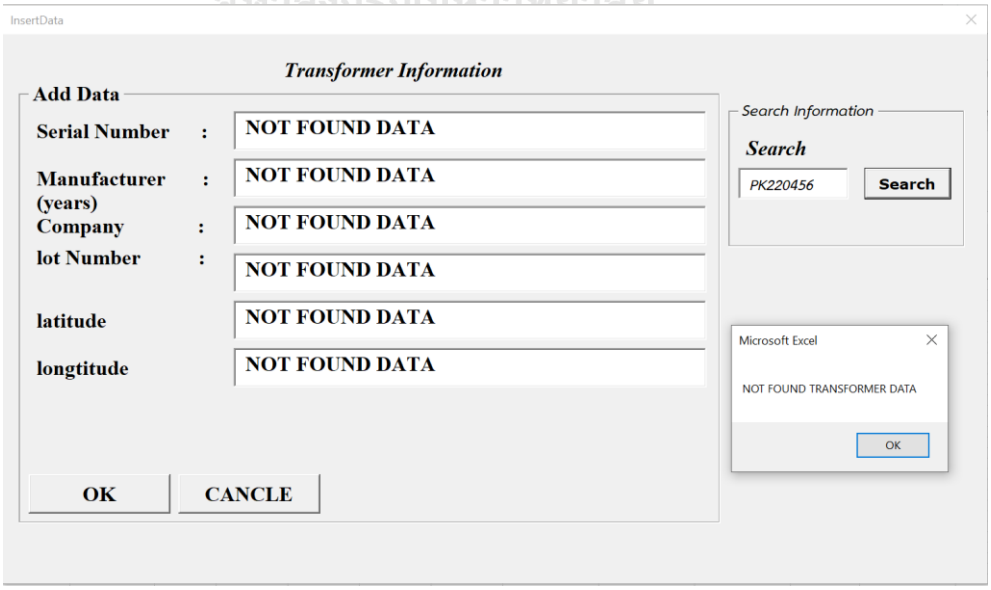
รูปที่ 33 ส่วนแสดงข้อมูลทั่วไป

ในโปรแกรมสามารถเพิ่มข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้าโดยการกดที่ปุ่ม “add data” เมื่อกดปุ่ม “add data” โปรแกรมจะมีหน้าต่างมาให้กรอกข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้าดังแสดงใน รูปที่ 34



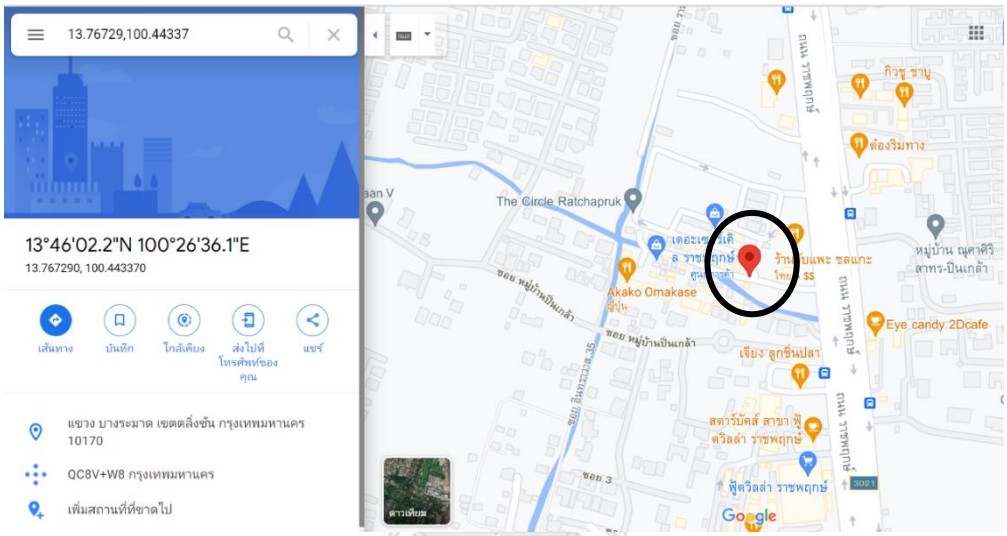
รูปที่ 34 หน้าเพิ่มข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้า

เมื่อต้องการที่จะค้นหาหม้อแปลงไฟฟ้า สามารถค้นหาได้ที่ช่องค้นหา การค้นหาสามารถค้นหาได้จากหมายเลขหม้อแปลงไฟฟ้าซึ่งจะช่วยเพิ่มความสะดวกและรวดเร็วแก่ผู้ใช้งานในการค้นหาหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีปัญหาเกิดขึ้น ถ้าหากการค้นหาหมายเลขหม้อแปลงไฟฟ้าที่ไม่มีอยู่ในระบบโปรแกรมหน้าเพิ่มข้อมูลจะแสดงข้อความ “NOT FOUND DATA” ซึ่งหมายถึงไม่มีหมายเลขหม้อแปลงไฟฟ้าอยู่ในระบบแสดงใน รูปที่ 35



รูปที่ 35 การค้นหาหมายเลขหม้อแปลงไฟฟ้าที่ไม่มีอยู่ในระบบ

ในโปรแกรมหน้าแสดงข้อมูลทั่วไปสามารถเชื่อมต่อไปยังสถานที่ติดตั้งของหม้อแปลงไฟฟ้า โดยจะต้องกรอกข้อมูลของตำแหน่งละติจูดและลองจิจูดของหม้อแปลงไฟฟ้าใบนั้น ๆ วัตถุประสงค์ของการเชื่อม GPS ไปยังสถานที่ติดตั้งของหม้อแปลงไฟฟ้าเพื่อให้ผู้ที่ต้องไปบำรุงรักษามีความสะดวกสบายสามารถหาตำแหน่งที่ตั้งของหม้อแปลงไฟฟ้าได้อย่างแม่นยำ ตัวอย่างการเชื่อมต่อ GPS ไปยังสถานที่ติดตั้งของหม้อแปลงไฟฟ้าแสดงใน รูปที่ 36



รูปที่ 36 ตัวอย่างการเชื่อมต่อ GPS ไปยังสถานที่ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้า

ในโปรแกรมได้จำลองข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้าออกเป็น 3 หมายเลขล็อต ได้แก่ A000X (ตั้งแต่ A0001 ถึง A0010) ซึ่งเป็นหม้อแปลงไฟฟ้ารุ่นเก่า B000X (B0001 ถึง B005) เป็นหม้อแปลงน้ำมัน (มีระบบเฝ้าติดตาม [motoring]) และ C000X (C0001 ถึง C0005) เป็นหม้อแปลงน้ำมันชนิดปิดซึ่งจะไม่มีส่วนของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น อธิบายใน ตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ตัวอย่างรายละเอียดของหมายเลขล็อต หม้อแปลงไฟฟ้า

หมายเลขล็อต	ชนิดของหม้อแปลงไฟฟ้า	จำนวน
A000X	หม้อแปลงน้ำมัน (รุ่นเก่าและไม่มีข้อมูลการบำรุงรักษา)	10
B000X	หม้อแปลงน้ำมัน (มีระบบเฝ้าติดตาม [motoring])	5
C000X	หม้อแปลงน้ำมันชนิดปิด	5

การนำ หมายเลขล็อต เข้าสู่ในระบบบริหารจัดการสินทรัพย์จะเข้ามาช่วยในด้านการจัดการอะไหล่หรืออุปกรณ์ที่มีปัญหาเกิดขึ้นซึ่งจะช่วยให้การจัดการมีประสิทธิภาพ เมื่อมีการบำรุงรักษาและได้นำชิ้นส่วนมาตรวจสภาพและพบว่าสาเหตุการเสื่อมสภาพมาจากอะไหล่หรืออุปกรณ์ก็สามารถเรียกคืนอะไหล่สำหรับหมายเลยล็อต ของหม้อแปลงไฟฟ้านั้น ๆ ได้อย่างรวดเร็ว

3.5.2 ส่วนแสดงการวิเคราะห์ข้อมูล (statistic evaluation)

การวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้วิธีวิเคราะห์แบบการแจกแจงปกติ วัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์ข้อมูลคือปรับปรุงระยะเวลาการใช้งานองค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้า (กระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นและปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำ) ให้มีความแม่นยำและถูกต้องมากขึ้น ในการวิเคราะห์แบบการแจกแจงปกติจะกำหนดค่าเงื่อนไขเริ่มต้นหรืออายุการใช้งานและข้อมูลการบำรุงรักษา เมื่อมีค่าข้อมูลการบำรุงรักษาเกิดขึ้นใหม่จะทำการใส่ค่าข้อมูลการบำรุงรักษาเข้าในระบบเพื่อหาค่าเฉลี่ยอายุการใช้งานที่เหมาะสมมากขึ้น ยิ่งข้อมูลการบำรุงรักษามากจะส่งผลให้ค่าระยะเวลาเฉลี่ยหรือค่าระยะเวลาการใช้งานของอุปกรณ์จะใกล้เคียงกับค่าความเป็นจริงมากขึ้น

การใส่ค่าข้อมูลการบำรุงรักษาจะต้องใส่ในหน่วยของ “ชั่วโมงการใช้งาน” โดยจะนับตั้งแต่วันที่ไปติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าหรือวันที่ไปบำรุงรักษาครั้งล่าสุดไปจนถึงวันที่มี การบำรุงรักษาเกิดขึ้น สำหรับการคำนวณชั่วโมงการทำงานจะคำนวณโดยกำหนดให้ 1 ปีมีค่าเท่ากับ 365.25 วันเท่ากับ 8,766 ชั่วโมงหรือเท่ากับเดือนละ 30.44 วัน โดยชั่วโมงการทำงานคำนวณจาก จำนวนวัน × 24 ชั่วโมง × จำนวนปีดังแสดงใน ตารางที่ 19 สาเหตุที่คิดจำนวนวันเป็น 365.25 วันเนื่องจากในปีปฏิทินจะมีปีที่เรียกว่าปีอธิกสุรทินซึ่งทำให้จำนวนวันเฉลี่ยในแต่ละปีอยู่ที่ 365.25 วัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 19 การคำนวณชั่วโมงการทำงาน

ปี	วัน	ชั่วโมงการทำงาน
1	365.25 × 1 = 365.25	365.25 × 24 = 8,766
2	365.25 × 2 = 730.50	730.50 × 24 = 17,532
3	365.25 × 3 = 1,095.75	1,095.75 × 24 = 26,298
4	365.25 × 4 = 1,461.00	1,461.00 × 24 = 35,064
5	365.25 × 5 = 1,826.25	1,826.25 × 24 = 43,830
6	365.25 × 6 = 2,191.50	2,191.50 × 24 = 52,596
7	365.25 × 7 = 2,556.75	2,556.75 × 24 = 61,352
8	365.25 × 8 = 2,922.00	2,922.00 × 24 = 52,596
9	365.25 × 9 = 3,287.25	3,287.25 × 24 = 78,894

ในการปรับปรุงอายุการใช้งานองค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าจะกำหนดค่าระยะเวลาการบำรุงรักษาตามเงื่อนไขหรืออายุการใช้งานเริ่มต้นในหน่วยของ “ชั่วโมงการทำงาน” ถ้าหากมีการบำรุงรักษาเกิดขึ้นจะนำมาใส่ในระบบเพื่อคำนวณและปรับปรุงหาระยะเวลาการใช้งานที่เหมาะสมดังแสดงใน ตารางที่ 20 สำหรับปะเก็นด้านแรงสูง ปะเก็นด้านแรงต่ำ และ ตารางที่ 21 สำหรับกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 20 ตัวอย่างการกำหนดค่าเพื่อปรับปรุงอายุการใช้งานสำหรับปะเก็น

ลำดับ	ประเภทของข้อมูล
1	อายุการใช้งานเริ่มต้น
2	ข้อมูลการบำรุงรักษา
3	ข้อมูลการบำรุงรักษา
4	ข้อมูลการบำรุงรักษา
5	ข้อมูลการบำรุงรักษา
6	ข้อมูลการบำรุงรักษา
7	ข้อมูลการบำรุงรักษา
8	ข้อมูลการบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นครั้งล่าสุด

ตารางที่ 21 ตัวอย่างการกำหนดค่าเพื่อปรับปรุงอายุการใช้งานสำหรับกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น

ลำดับ	ประเภทของข้อมูล
1	อายุการใช้งานเริ่มต้น
2	ข้อมูลการบำรุงรักษา
3	ข้อมูลการบำรุงรักษา
4	ข้อมูลการบำรุงรักษา
5	ข้อมูลการบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นครั้งล่าสุด

3.5.3 ส่วนแสดงผลลัพธ์

ผลลัพธ์จากโปรแกรมจะแสดงวันที่ต้องไปบำรุงรักษาในครั้งถัดไป ซึ่งจะแบ่งระยะเวลาการบำรุงรักษาออกเป็น 3 ช่วงได้แก่ โซนสีเขียวหมายถึงช่วงระยะเวลาการใช้งานปกติ ช่วงต่อมาคือโซนสีเหลืองซึ่งจะเป็นช่วงเฝ้าระวังและช่วงสุดท้าย คือโซนสีแดง ในช่วงระยะเวลานี้อุปกรณ์มีโอกาสที่จะต้องบำรุงรักษาสูงหรือมีโอกาสเกิดความเสียหายค่อนข้างสูง รูปแบบการพิจารณาช่วงระยะเวลาการบำรุงรักษาแสดงใน ตารางที่ 22

ตารางที่ 22 รูปแบบการพิจารณาช่วงระยะเวลาการบำรุงรักษา

โซน	รูปแบบการพิจารณาช่วงระยะเวลาการบำรุงรักษา
โซน สีเขียว	< Mean – 2SD
โซน สีเหลือง	ระหว่าง Mean – 2SD ถึง Mean
โซน สีแดง	> Mean

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การแสดงผลลัพธ์ในโปรแกรมส่วนของแสดงผลลัพธ์จะแสดงใน หน้าแสดงข้อมูลทั่วไป โดยจะแสดงเป็น วันที่ต้องบำรุงรักษาในครั้งถัดไป เมื่อมีการปรับปรุงอายุการใช้งานหรือมีการบำรุงรักษาเกิดขึ้นใหม่และใส่ค่าข้อมูลนี้เข้าไปในระบบจะทำให้วันที่ต้องบำรุงรักษาในครั้งถัดไปเปลี่ยนแปลง ตามลักษณะของข้อมูลการบำรุงรักษาที่ถูกป้อนเข้าไป ตัวอย่างของผลลัพธ์แสดงใน รูปที่ 37

Asset Management Program

Asset Code	Manufacturer (years)	Company Name	lot Number	GPS	Component1	Date of installed	last changed	Next Maintenance
A0001	2020	Buriram	10111	Buriram	HV & LV gasket	21-04-20	21-04-20	14-09-25
A0002	2019	School	10111	School	HV & LV gasket	01-06-19	30-04-21	23-09-26
A0003	2017	University	10111	University	HV & LV gasket	25-06-17	25-06-20	18-11-25
A0004	2016	Pullman Hotel	10111	Pullman Hotel	HV & LV gasket	01-02-16	02-02-21	28-06-26
A0005	2020	CENTARA Hotel	10111	CENTARA Hotel	HV & LV gasket	01-02-20	04-02-21	30-06-26
A0006	2021	Police station	10111	Police station	HV & LV gasket	01-04-20	05-04-21	29-08-26
A0007	2015	Train station	10111	Train station	HV & LV gasket	16-04-15	25-06-20	18-11-25
A0008	2018	Department store	10111	Department store	HV & LV gasket	01-01-18	25-06-20	18-11-25
A0009	2012	Park	10111	Park	HV & LV gasket	01-02-12	10-07-20	03-12-25
A0010	2012	Temple	10111	Temple	HV & LV gasket	02-03-12	29-05-21	22-10-26
B0001	2016	Ratchaburi	10112	Ratchaburi	HV & LV gasket	20-06-16	23-06-20	19-08-25
B0002	2016	Hospital	10112	Hospital	HV & LV gasket	17-01-17	25-06-20	21-08-25
B0003	2016	Market	10112	Market	HV & LV gasket	18-04-16	22-06-20	18-08-25
B0004	2016	Football stadium	10112	Football stadium	HV & LV gasket	19-05-18	17-09-20	13-11-25
B0005	2016	LEO Stadium	10112	LEO Stadium	HV & LV gasket	20-06-17	14-02-20	11-04-25
C0001	2021	Restaurant	10113	Restaurant	HV & LV gasket	25-05-21	25-05-21	15-12-26
C0002	2021	Villa Market	10113	Villa Market	HV & LV gasket	25-05-21	25-05-21	15-12-26
C0003	2021	Japan Restaurant	10113	Japan Restaurant	HV & LV gasket	25-05-21	25-05-21	15-12-26
C0004	2021	Airport	10113	Airport	HV & LV gasket	25-05-21	25-05-21	15-12-26

รูปที่ 37 ตัวอย่างการแสดงผลลัพธ์ วัน/เดือน/ปี ที่ต้องไปบำรุงรักษาในครั้งถัดไป

เมื่อมีการบำรุงรักษาครั้งใหม่ ในการปรับปรุงอายุการใช้งานขององค์ประกอบต้องกดไปที่ปุ่ม “add failure rate data (องค์ประกอบที่จะปรับปรุงอายุการใช้งาน) หมายเลขล็อต” ดังแสดงใน รูปที่ 3.3 เมื่อกดปุ่มแล้วโปรแกรมจะขึ้นหน้ามาให้กรอกข้อมูลการบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นใหม่ เพื่อทำการปรับปรุงอายุการใช้งาน ตัวอย่างของโปรแกรมการใส่ค่าข้อมูลการบำรุงรักษาแสดงใน รูปที่ 38

การปรับปรุงอายุการใช้งานปะเก็น (HV & LV gaskets)

หม้อแปลงไฟฟ้า Asset Number A000X

ชั่วโมงทำงาน	Mean	S.D.	
43830	48620.18182	15950.19279	หมายเหตุ
26298			1. ค่าฐาน (Based value) มีค่าเท่ากับ 43820 ชั่วโมงการทำงาน (5 ปี)
35064			2. ข้อมูลการบำรุงรักษา/ข้อมูลความล้มเหลว (Failure rate data)
52596			เป็นข้อมูลความล้มเหลวที่อ้างอิงมาจากข้อมูลการบำรุงรักษาจริง
61362			
70128			Based value
78894			Failure rate value
41290			Update failure rate value
43200			
47600			
34560			รูปแบบ / ชั่วโมงทำงาน / ปี

รูปที่ 38 ตัวอย่างของโปรแกรมในส่วนของการปรับปรุงอายุการใช้งาน

ในการวิเคราะห์/การปรับปรุงอายุการใช้งานหมายเลขล็อต ของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละล็อต จะมีอายุการใช้งานเริ่มต้นและข้อมูลการบำรุงรักษาที่แตกต่างกัน เนื่องจากข้อมูลการบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้ามีความแตกต่างกันเชิงสถิติและการไม่มีการบันทึกข้อมูลการบำรุงรักษาของหม้อแปลงไฟฟ้ารวมไปถึงหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละ ล็อต อาจจะใช้บริษัทผู้ผลิตองค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่แตกต่างกันด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงต้องแยกข้อมูลการปรับปรุงอายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละล็อต ออกจากกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 4 การทดลอง

สำหรับการปรับปรุงอายุการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้า หมายเลขล็อต A000X B000X และ C000X จะมีข้อมูลการบำรุงรักษาที่แตกต่างกันไป โดยในงานวิทยานิพนธ์ฉบับจะแสดงการจำลองข้อมูลการปรับปรุงอายุการใช้งานเฉพาะหม้อแปลงไฟฟ้า หมายเลขล็อต A000X ซึ่งสามารถอธิบายดังนี้

4.1 การปรับปรุงอายุการใช้งานกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น

ข้อมูลการบำรุงรักษากระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นมีอยู่จำนวนน้อยแต่สามารถนำข้อมูลการบำรุงรักษาใส่ในระบบเพื่อปรับปรุงอายุการใช้งาน อายุการใช้งานเริ่มต้นของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นมีค่าเท่ากับ “8,766 ชั่วโมง” โดยกำหนดอายุการใช้งานเริ่มต้นเพื่อใช้เป็นอายุการใช้งานเริ่มต้นข้อมูลการบำรุงรักษากระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นมีค่าเท่ากับ “4,383 5,844 และ 13,152 ชั่วโมง” ดังแสดงใน ตารางที่ 23

ตารางที่ 23 การกำหนดค่าเงื่อนไขเริ่มต้นและค่าข้อมูลการบำรุงรักษา

ลำดับของข้อมูล	ชั่วโมงการใช้งาน	ประเภทของข้อมูล
1	8,766	อายุการใช้งานเริ่มต้น
2	4,383	ข้อมูลการบำรุงรักษา
3	7,306	ข้อมูลการบำรุงรักษา
4	13,152	ข้อมูลการบำรุงรักษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อมีการปรับปรุงข้อมูลการบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นและการบำรุงรักษานั้นต้องมาจากสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับ ความร้อน ความชื้น สภาพแวดล้อมซึ่งไม่รวมถึงสาเหตุที่เกิดมาจากอุบัติเหตุ สัตว์และความผิดพลาดส่วนบุคคลตัวอย่างเช่น เมื่อใช้งานกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นไปเป็นระยะเวลา 9,497 ชั่วโมงและพบว่ามีการไปบำรุงรักษาจะใส่ค่าข้อมูลการบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นเข้าไปในระบบเพื่อปรับปรุงและหาอายุการใช้งานเฉลี่ยที่มีเหมาะสมและถูกต้องมากขึ้นดังแสดงใน ตารางที่ 24

ตารางที่ 24 การใส่ค่าข้อมูลความล้มเหลวใหม่

ลำดับของข้อมูล	ชั่วโมงการใช้งาน	ประเภทของข้อมูล
1	8,766	อายุการใช้งานเริ่มต้น
2	4,383	ข้อมูลการบำรุงรักษา
3	7,306	ข้อมูลการบำรุงรักษา
4	13,152	ข้อมูลการบำรุงรักษา
5	9,497	ข้อมูลการบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นครั้งล่าสุด

การวิเคราะห์การแจกแจงแบบปกติจำเป็นต้องหาค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญอยู่ 2 ค่า ได้แก่ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ข้อมูลใน ตารางที่ 24 สามารถหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้เป็น 8,620.80 และ 3,201.88 ตามลำดับ เมื่อคำนวณค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจะนำสองค่านี้ไปคำนวณหาฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นและฟังก์ชันการแจกแจงสะสมแสดงใน ตารางที่ 25

ตารางที่ 25 การคำนวณหาฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นและฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของ กระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น

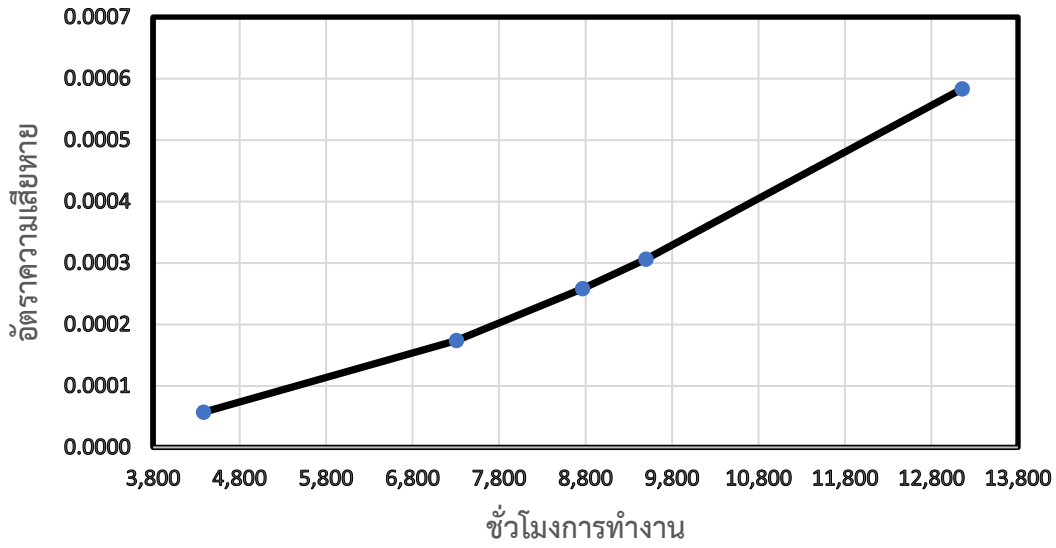
ชั่วโมงการทำงาน	ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม
8,766	0.000125	0.5181
4,383	0.000052	0.0928
7,306	0.000115	0.3407
13,152	0.000046	0.9215
9,497	0.000120	0.6078

ค่าจาก ตารางที่ 25 จะนำมาหาอัตราความเสียหาย ดังแสดงใน ตารางที่ 26 โดยค่าอัตราความเสียหายจะสามารถทำให้เกิดการวางแผนการบำรุงรักษาที่เหมาะสมและถูกต้องมากขึ้น

ตารางที่ 26 อัตราความเสียหายของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น

ชั่วโมงการทำงาน	อัตราความเสียหาย
8,766	0.000258
4,383	0.000057
7,306	0.000174
13,152	0.000583
9,497	0.000306

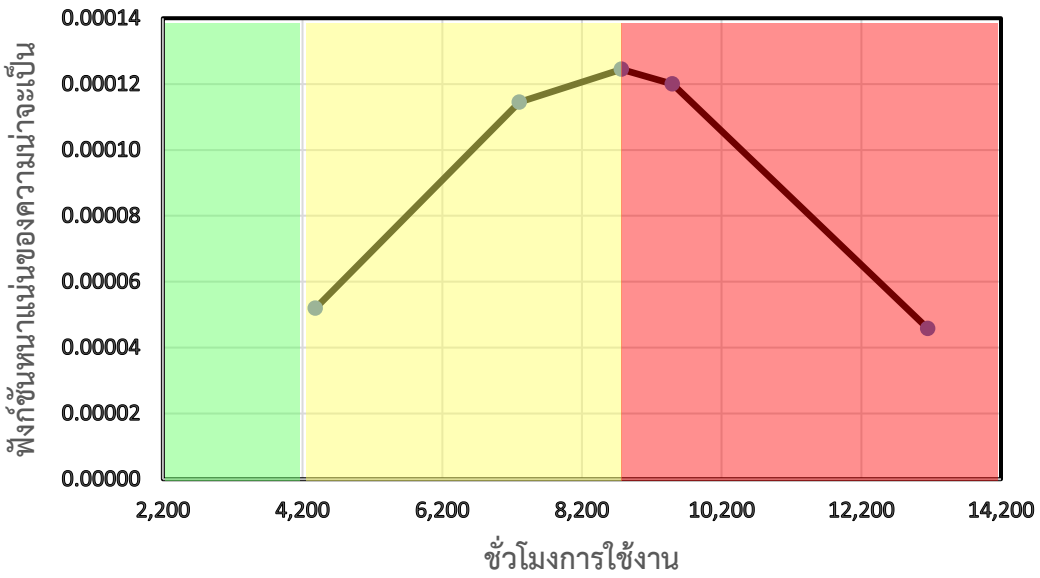
ข้อมูลอัตราความเสียหายของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นจาก ตารางที่ 26 สามารถนำข้อมูลมาแสดงกราฟเพื่อใช้ประกอบในการวางแผนการบำรุงรักษาที่เหมาะสม ดังแสดงใน รูปที่ 39



รูปที่ 39 อัตราความเสียหายของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น

กราฟอัตราความเสียหายของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นใน รูปที่ 39 พบว่าในช่วงระยะเวลาการใช้งานประมาณ 8,620 อุปกรณ์จะเริ่มเข้าสู่ช่วงสิ้นอายุขัย ดังนั้นในการวางแผนการบำรุงรักษาควรจะพิจารณาให้ไม่เกินช่วงระยะเวลานี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้นกับอุปกรณ์ การวางแผนการบำรุงรักษาสำหรับกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นอธิบายดังนี้

การพิจารณาระยะเวลาการบำรุงรักษา/โซนการบำรุงรักษาที่เหมาะสมสำหรับกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นจะพิจารณาเป็นช่วงโซนโดยจะแบ่งเป็นโซนสีเขียวหรือช่วงระยะเวลาการใช้งานที่น้อยกว่าช่วงระยะเวลา 7 เดือน (ช่วงระยะเวลาที่น้อยกว่า ค่าเฉลี่ย - ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) เมื่อใช้งานกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นถึงช่วงระยะเวลาระหว่าง 7 ถึง 12 เดือน (ช่วงระยะเวลาระหว่าง ค่าเฉลี่ย – ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไปจนถึง ระยะเวลาค่าเฉลี่ย) จะอยู่ในโซนสีเหลืองหรือช่วงเฝ้าระวังและสุดท้ายเมื่อกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นถูกใช้งานจนเป็นมากกว่า 12 เดือน (ช่วงระยะเวลาที่มากกว่าค่าเฉลี่ย) จะถึงช่วงสิ้นอายุขัยของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดความเสียหายหรือมีโอกาสต้องไปบำรุงรักษาสูง ตัวอย่างการพิจารณาระยะเวลาการบำรุงรักษาแสดงใน รูปที่ 40 และช่วงระยะเวลาการบำรุงรักษาดังแสดงใน ตารางที่ 27



รูปที่ 40 ตัวอย่างการพิจารณาระยะเวลาการบำรุงรักษาของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น

ตารางที่ 27 การแบ่งระยะเวลาการบำรุงรักษาสำหรับกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น

โซน (ZONE)	**ระยะเวลา**
สีเขียว	< 7 เดือน
สีเหลือง	ระหว่าง 7 เดือน ถึง 12 เดือน
สีแดง	≥ 12 เดือน

สำหรับการปรับปรุงอายุการใช้งานกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นของหม้อแปลงไฟฟ้าหมายเลขล็อต A000X และ B000X จะมีข้อมูลการบำรุงรักษาที่แตกต่างกันตามลักษณะของหม้อแปลงไฟฟ้าชนิดนั้น ๆ แต่สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้า หมายเลขล็อต C000X จะไม่มีส่วนของการปรับปรุงอายุการใช้งานเนื่องจากเป็นหม้อแปลงน้ำมันชนิดปิดที่ไม่มีส่วนประกอบของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น

4.2 การปรับปรุงอายุการใช้งานปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำ

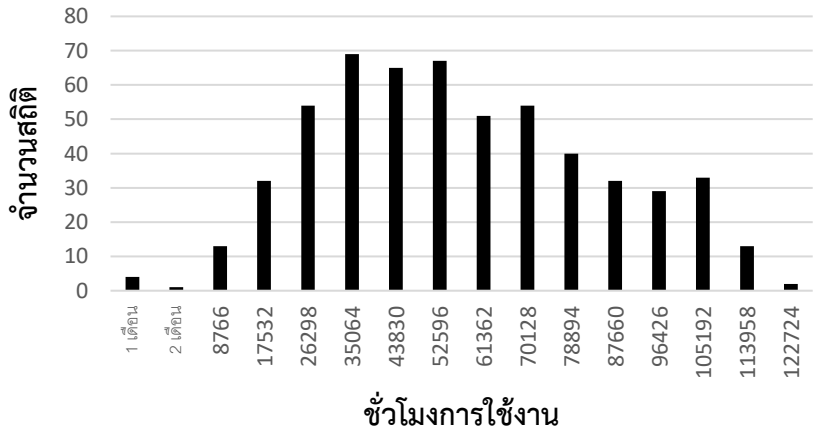
ข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำเป็นข้อมูลการบำรุงรักษาที่เก็บมาจากบริษัทผู้ผลิตและจำหน่ายหม้อแปลงไฟฟ้าแห่งหนึ่ง ข้อมูลการบำรุงรักษามีจำนวนทั้งสิ้น 60 เดือนและมีจำนวนการบำรุงรักษาทั้งสิ้น 559 ครั้ง ซึ่งไม่ได้ระบุว่าสาเหตุการบำรุงรักษาในแต่ละครั้ง ดังนั้นการจะนำเอาข้อมูลการบำรุงรักษาทั้งหมดมาใช้ในการปรับปรุงอายุการใช้งานอาจจะส่งผลให้ผลลัพธ์มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อยจากสาเหตุดังกล่าวจึงจำเป็นต้องคิดร้อยละของการบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นทั้งหมดเพื่อที่จะหาค่าข้อมูลการบำรุงรักษาที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุงอายุการใช้งานได้อย่างเหมาะสมดังแสดงใน ตารางที่ 28 และ รูปที่ 41

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 28 การหาร้อยละของการบำรุงรักษาของปะเก็น

ชั่วโมงการใช้งาน	จำนวนสถิติ	ร้อยละ
2 เดือน	4	0.72
3 เดือน	1	0.18
8,766	13	2.33
17,532	32	5.72
26,298	54	9.66
35,064	69	12.34
43,830	65	11.63
52,596	67	11.99
61,362	51	9.12
70,128	54	9.66
78,894	40	7.16
87,660	32	5.72
96,426	29	5.19
105,192	33	5.90
113,958	13	2.33
122,724	2	0.36
รวม	**559**	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 41 กราฟจำนวนสถิติการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำ

ข้อมูลการบำรุงรักษาจาก ตารางที่ 28 และ รูปที่ 41 ทำให้ทราบว่าช่วงระยะเวลาที่มีโอกาสบำรุงรักษามากที่สุดจะอยู่ในช่วงระยะเวลาประมาณ 26,298 ถึง 70,128 ชั่วโมงหรือประมาณ 3 ถึง 8 ปี ดังนั้นการกำหนดค่าการบำรุงรักษา สำหรับปะเก็นด้านแรงสูงและด้านแรงต่ำจะใช้ค่าระยะเวลาการบำรุงรักษาตั้งแต่ช่วงเวลา 3 ถึง 8 ปี อายุการใช้งานเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 43,830 ชั่วโมง ตัวอย่างในการปรับปรุงอายุการใช้งานจะกำหนดอายุการใช้งาน เมื่อมีการบำรุงรักษาหลังจากใช้ปะเก็นไปเป็นระยะเวลา 41,290 ชั่วโมงการใช้งานและใส่ค่าการบำรุงรักษาเข้าไปในระบบดังแสดงใน ตารางที่ 29

ตารางที่ 29 การกำหนดระยะเวลาการบำรุงรักษาสำหรับปะเก็นด้าน

ลำดับข้อมูล	ชั่วโมงการใช้งาน	ประเภทของข้อมูล
1	43,830	อายุการใช้งานเริ่มต้น
2	26,298	ข้อมูลการบำรุงรักษา
3	35,064	ข้อมูลการบำรุงรักษา
4	52,596	ข้อมูลการบำรุงรักษา
5	61,362	ข้อมูลการบำรุงรักษา
6	70,128	ข้อมูลการบำรุงรักษา
7	78,894	ข้อมูลการบำรุงรักษา
8	41,290	ข้อมูลการบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นครั้งล่าสุด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การวิเคราะห์แบบการแจกแจงปกติจะต้องคำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน จาก ตารางที่ 29 สามารถหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานได้เท่ากับ 51,182.75 และ 17,981.91 ตามลำดับเมื่อคำนวณหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานมาหาฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นและฟังก์ชันการแจกแจงสะสม ดังแสดงใน ตารางที่ 30

ตารางที่ 30 การคำนวณหาฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นและฟังก์ชันการแจกแจงสะสมของปะเก็น

ชั่วโมงการทำงาน	ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น	ฟังก์ชันการแจกแจงสะสม
43,830	0.000021	0.3413
26,298	0.000009	0.0832
35,064	0.000015	0.1850
52,596	0.000022	0.5313
61,362	0.000019	0.7143
70,128	0.000013	0.8540
78,894	0.000007	0.9383
41,290	0.000019	0.2911

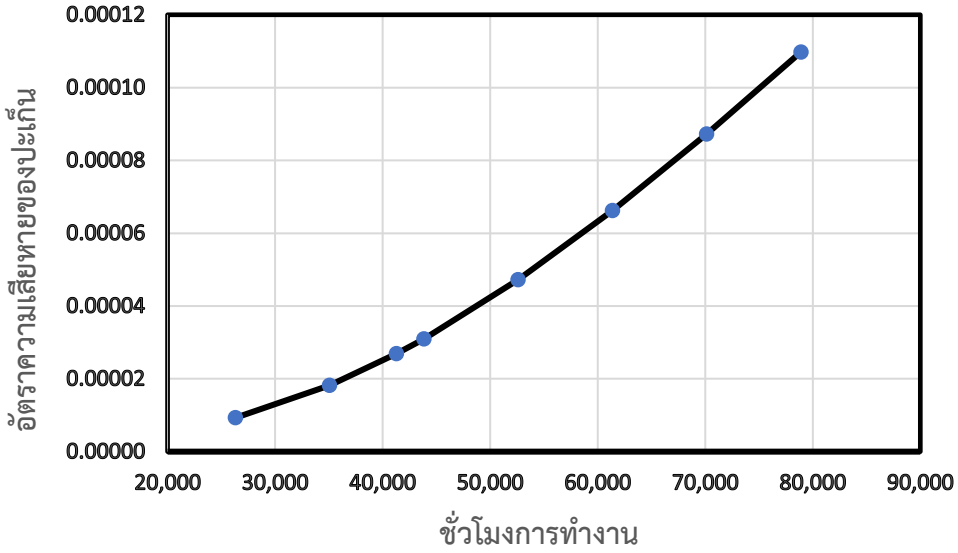
จาก ตารางที่ 30 สามารถหาค่าอัตราความเสียหายแสดงใน ตารางที่ 31 โดยค่าอัตราความเสียหายสามารถนำมาใช้ในการวางแผนระยะเวลาการบำรุงรักษาที่เหมาะสมและถูกต้องมากขึ้น

ตารางที่ 31 อัตราความเสียหายของปะเก็น

ชั่วโมงการทำงาน	อัตราความเสียหาย
43,830	0.000031
26,298	0.000009
35,064	0.000018
52,596	0.000047
61,362	0.000066
70,128	0.000087
78,894	0.000110
41,290	0.000027

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อมูลอัตราความเสียหายของปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำ จาก ตารางที่ 31 สามารถนำข้อมูลมาแสดงกราฟเพื่อใช้ประกอบในการวางแผนการบำรุงรักษาที่เหมาะสม ดังแสดงใน รูปที่ 42

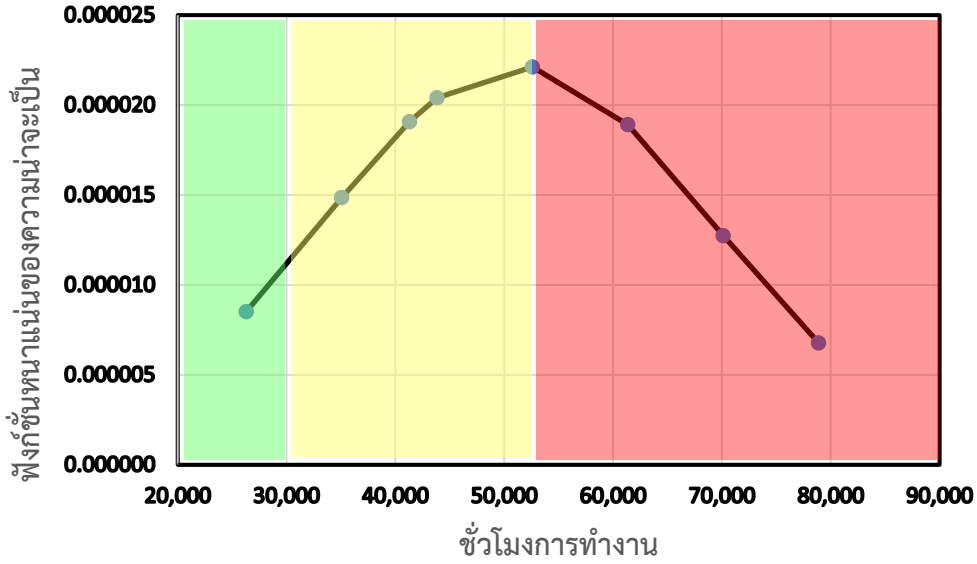


รูปที่ 42 อัตราความเสียหายของปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำ

กราฟอัตราเสียหายของปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำใน รูปที่ 4.4 พบว่าในช่วงระยะเวลาการใช้งานประมาณ 51,182 ชั่วโมง อุปกรณ์จะเริ่มเข้าสู่ช่วงสิ้นอายุขัยของอุปกรณ์ เมื่อพิจารณาตามกราฟวงจรชีวิตของอุปกรณ์ การวางแผนการบำรุงรักษาควรจะพิจารณาให้ไม่เกินช่วงระยะเวลานี้เพื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์มีความเสียหายเกิดขึ้น การวางแผนการบำรุงรักษาสำหรับปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำสามารถอธิบายได้ ดังนี้

การพิจารณาระยะเวลาการบำรุงรักษา/โซนการบำรุงรักษาที่เหมาะสมสำหรับปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำจะพิจารณาเป็นช่วงโซน ดังแสดงใน ตารางที่ 32 จะแบ่งเป็นโซนสีเขียวหรือช่วงระยะเวลาการใช้งานตั้งแต่ติดตั้งปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำไปจนถึงระยะเวลาการใช้งาน 3 ปี (ช่วงระยะเวลาที่น้อยกว่า ค่าเฉลี่ย - ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน) เมื่อใช้งานปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำมาจนถึงระยะเวลา 3 ถึง 6 ปี จะอยู่ในโซนสีเหลืองหรือช่วงเฝ้าระวัง (ช่วงระยะเวลาระหว่าง ค่าเฉลี่ย – ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานไปจนถึงระยะเวลาเฉลี่ย) และสุดท้ายเมื่อปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำถูกใช้งานจนเป็นระยะเวลามากกว่า 6 ปี (ช่วงระยะเวลามากกว่าค่าเฉลี่ย) จะถึงช่วงสิ้นอายุขัยของปะเก็น

ซึ่งมีโอกาสที่จะเกิดความเสียหายหรือมีโอกาสต้องไปบำรุงรักษาสูง ตัวอย่างการพิจารณาระยะเวลาการบำรุงรักษาของปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำ แสดงใน รูปที่ 43



รูปที่ 43 ตัวอย่างการพิจารณาระยะเวลาการบำรุงรักษาของปะเก็น

ตารางที่ 32 การแบ่งระยะเวลาการบำรุงรักษาสำหรับปะเก็น

โซน (ZONE)	ระยะเวลา
สีเขียว	< 3 ปี
สีเหลือง	ระหว่าง 3 ปี ถึง 6 ปี
สีแดง	≥ 6 ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำหรับการปรับปรุงอายุการใช้งานสำหรับปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำของหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละหมายเลขล็อต จะมีข้อมูลการบำรุงรักษาและค่าเฉลี่ยการใช้งานที่แตกต่างกันไปตามลักษณะข้อมูลการบำรุงรักษาหรือตามลักษณะของปะเก็นที่ใช้ใน หมายเลขล็อตนั้น ๆ

บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

การปรับปรุงอายุการใช้งานปะเก็นด้านแรงสูง ปะเก็นด้านแรงต่ำและกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นเป็น การนำข้อมูลการบำรุงรักษา อายุการใช้งานเริ่มต้นและค่าการบำรุงรักษาใหม่ผลลัพธ์จากการปรับปรุงอายุการใช้งานจะแสดงถึงวันที่ต้องไปบำรุงรักษาในครั้งถัดไป การปรับปรุงอายุการใช้งานอธิบาย ดังนี้

5.1 การปรับปรุงอายุการใช้งานปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำ

ระยะเวลาการบำรุงรักษาตามเงื่อนไขของปะเก็นมีค่าเท่ากับ 5 ปี (43,830 ชั่วโมง) ดังนั้นอายุการใช้งานเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 43,830 ชั่วโมง การนำข้อมูลการบำรุงรักษาปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำจากบริษัทผลิตและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าแห่งหนึ่งมาใช้เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงอายุการใช้งาน เมื่อมีความการบำรุงรักษาเกิดขึ้นใหม่ต้องทำการใส่ข้อมูลการบำรุงรักษาเข้าในระบบเพื่อปรับปรุงและหาอายุการใช้งานเฉลี่ยที่เหมาะสม

การแบ่งระยะเวลาการบำรุงรักษาออกเป็น 3 ช่วง ซึ่งหมายถึงช่วงระยะเวลาการใช้งานหรือการวางแผนการบำรุงรักษาที่เหมาะสม อธิบายดังนี้

เมื่อใช้งานปะเก็นไปเป็นระยะเวลาน้อยกว่า 26,298 ชั่วโมงหรือน้อยกว่า 3 ปี คือ โซนการใช้งานสีเขียวซึ่งหมายถึงช่วงระยะเวลาการใช้งานปกติของอุปกรณ์ จะไม่ค่อยมีการบำรุงรักษาและความเสียหายเกิดขึ้น เมื่อปะเก็นถูกใช้งานมาเป็นระยะเวลาตั้งแต่ 26,298 ไปจนถึง 52,596 ชั่วโมง (ช่วงระยะเวลาระหว่าง 3 ปี ถึง 6 ปี) จะเข้าสู่โซนการใช้งานสีเหลืองหรือหมายถึงโซนเฝ้าระวังซึ่งอาจจะมีความเสียหายเกิดขึ้น นอกจากนั้นยังสามารถเลือกที่จะพิจารณาตามลักษณะของการบำรุงรักษาตามความเสี่ยงและช่วงสุดท้ายคือเมื่อใช้งานปะเก็นไปเป็น ระยะเวลามากกว่า 52,596 ชั่วโมงการทำงาน (ช่วงระยะเวลามากกว่า 6 ปี) จะหมายถึงระยะเวลาช่วงสิ้นอายุขัยของปะเก็น ซึ่งจะแสดงถึงระยะเวลาที่ปะเก็นเริ่มมีการเสื่อมสภาพต้องเข้าไปบำรุงรักษาเพื่อยืดอายุการใช้งานของหม้อแปลงไฟฟ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เมื่อมีการบำรุงรักษาครั้งใหม่และได้ทำการวิเคราะห์สาเหตุที่ต้องไปบำรุงรักษาและพบว่าสาเหตุของการบำรุงรักษามาจากคุณสมบัติทางไฟฟ้า ทางเคมีหรือเกี่ยวกับสภาพแวดล้อมของสถานที่ติดตั้งของปะเก็นจะต้องทำการนำค่าข้อมูลการบำรุงรักษามาใส่ในระบบเพื่อที่จะให้โปรแกรมคำนวณค่าเฉลี่ยและหาช่วงระยะเวลาการบำรุงรักษาที่เหมาะสมใหม่ (วัน/เดือน/ปี ที่ต้องบำรุงรักษาในครั้งถัดไป) ยิ่งมีข้อมูลการบำรุงรักษามากจะส่งผลให้ผลลัพธ์ในด้านการวางแผนการบำรุงรักษามีความแม่นยำและชัดเจนมากขึ้น

5.2 การปรับปรุงอายุการใช้งานกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น

ระยะเวลาการบำรุงรักษาตามเงื่อนไขของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นมีค่าเท่ากับ 1 ปี (8,766 ชั่วโมงการทำงาน) ดังนั้นอายุการใช้งานเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 8,766 ชั่วโมง และการนำข้อมูลการบำรุงรักษากระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นจากบริษัทผลิตและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าแห่งหนึ่ง มาใช้เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงอายุการใช้งาน เมื่อมีความการบำรุงรักษาเกิดขึ้นใหม่ต้องทำการใส่ข้อมูลการบำรุงรักษาเข้าในระบบเพื่อปรับปรุงและหาอายุการใช้งานเฉลี่ย ยิ่งมีข้อมูลการบำรุงรักษามากย่อมส่งผลให้ผลลัพธ์ในด้านการวางแผนการบำรุงรักษามีความแม่นยำและชัดเจนมากขึ้น

ระยะเวลาการบำรุงรักษาถูกแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ซึ่งจะหมายถึงช่วงระยะเวลาการใช้งานที่เหมาะสมหรือช่วงระยะเวลาการบำรุงรักษาที่เหมาะสม อธิบายดังนี้

เมื่อใช้งานกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นไปเป็นระยะเวลาน้อยกว่า 5,113 ชั่วโมงการทำงาน (7 เดือน) หมายถึง โซนการใช้งานสีเขียวหรือช่วงระยะเวลาการใช้งานปกติซึ่งมีโอกาสที่ต้องไปบำรุงรักษาต่ำหรือมีโอกาสเกิดความเสียหายน้อย เมื่อกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นถูกใช้งานมาเป็นระยะระหว่าง 5,113 ชั่วโมงการทำงาน ไปจนถึง 8,766 ชั่วโมงการทำงาน (ตั้งแต่ 7 ถึง 12 เดือน) จะเข้าสู่โซนการใช้งานสีเหลือง ซึ่งหมายถึงโซนเฝ้าระวังอาจจะมีความเสียหายเกิดขึ้น นอกจากนั้นในช่วงนี้สามารถเลือกที่จะพิจารณาตามลักษณะของการบำรุงรักษาตามความเสี่ยง ช่วงสุดท้ายคือเมื่อใช้งานกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นไปเป็นระยะเวลาที่มากกว่าค่าเฉลี่ย (12 เดือน) หมายถึงช่วงระยะเวลาการสิ้นอายุขัยของกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้นควรเข้าไปบำรุงรักษาเพื่อป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นกับหม้อแปลงไฟฟ้าในอนาคต

5.3 การปรับปรุงอายุการใช้งานและข้อเสนอแนะสำหรับองค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าอื่น ๆ

1. น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า เนื่องจากข้อมูลการบำรุงรักษาและข้อมูลการทดสอบน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าไม่ได้ถูกจัดเก็บอย่างเป็นระบบและไม่มีรายละเอียดเชิงสถิติอย่างชัดเจน จึงไม่สามารถที่จะใช้ปรับปรุงอายุการใช้งานน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าโดยตรงจากข้อมูลเหล่านี้ได้ แต่การปรับปรุงหรือการพิจารณาอายุการใช้งานของน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าสามารถพิจารณาได้จากอุณหภูมิและลักษณะการใช้งานโหลดของหม้อแปลงไฟฟ้า นั้น ๆ ถ้าหากอุณหภูมิและลักษณะการใช้งานโหลดมีความแตกต่างกันที่ชัดเจนก็สามารถนำมาเป็นข้อมูลในการปรับปรุงอายุการใช้งานของน้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้าที่เหมาะสม

2. ชุดปรับแท็ป เนื่องจากอายุการใช้งานของ ชุดปรับแท็ปกำหนดตามลักษณะการใช้งาน เมื่อครบจำนวนรอบปรับแท็ปก็จะมีการบำรุงรักษาเกิดขึ้น การพิจารณาปรับปรุงอายุการใช้งานของชุดปรับแท็ป จึงสามารถกำหนดได้จากการบำรุงรักษาตามการใช้งานที่เหมาะสมหรือสามารถทำได้โดยติดตั้งระบบการเฝ้าสังเกตการ ไปที่ตัวหม้อแปลงไฟฟ้าเมื่อถึงระยะเวลาครบรอบจำนวนปรับแท็ปแรงดันระบบการเฝ้าสังเกตการจะแจ้งเตือนในรูปแบบที่โปรแกรมระบบการเฝ้าสังเกตการกำหนดไว้

3. ปะเก็นฝาถังและปะเก็นชุดปรับแท็ปแรงดัน เนื่องด้วยข้อมูลการบำรุงรักษาสำหรับปะเก็นฝาถังและปะเก็นชุดปรับแท็ปแรงดันไม่มีข้อมูลการบำรุงรักษา ซึ่งสาเหตุที่ส่งผลปะเก็นฝาถังและปะเก็นชุดปรับแท็ปแรงดันจะมาจากอุบัติเหตุ ดังนั้นในการพิจารณาการปรับปรุงอายุการใช้งานของปะเก็นฝาถังและปะเก็นชุดปรับแท็ปแรงดัน ควรพิจารณาจากค่าอายุการใช้งานเริ่มต้น เมื่อมีการบำรุงรักษาเกิดขึ้นจะทำให้ค่าอายุการใช้งานของปะเก็นฝาถังและปะเก็นชุดปรับแท็ปแรงดันมีค่าที่ถูกต้องและเหมาะสมมากขึ้น

4. ขั้วต่อแรงสูงและขั้วต่อแรงต่ำ ส่วนใหญ่สาเหตุที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของขั้วต่อ คือ การเหนี่ยวรั้งของสายแรงสูง การขันจุดขั้วต่อสายไม่แน่น ซึ่งเป็นความผิดพลาดจากการติดตั้งและความผิดพลาดส่วนบุคคล ดังนั้นในการพิจารณาการปรับปรุงอายุการใช้งานของขั้วต่อควรอธิบายวิธีการขันจุดขั้วต่อสายแก่ทีมงานบำรุงรักษาให้ชัดเจนหรือใช้เครื่องตรวจสภาพของขั้วต่อให้ชัดเจนในทุกครั้งที่มีการขันขั้วต่อ

5. ตัวถังและครีบระบายความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้า สาเหตุที่ส่งผลต่ออายุการใช้งานของตัวถังและครีบระบายความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้าจะมาจากอุบัติเหตุ การพิจารณาการปรับปรุงอายุการใช้งานสำหรับตัวถังและครีบระบายความร้อนของหม้อแปลงไฟฟ้าจึงไม่เหมาะสม เนื่องจากว่าถ้าหากตัวถังของหม้อแปลงไฟฟ้ามีการเสื่อมสภาพ ลูกค้าเลือกที่จะเปลี่ยนหม้อแปลงไฟฟ้าใหม่ แทนที่จะบำรุงรักษาตังถังของหม้อแปลงไฟฟ้าเดิม

5.4 สรุปผลการทดลอง

การนำระบบการพัฒนาเข้ามาใช้กับหม้อแปลงไฟฟ้าจะเข้ามาช่วยให้เกิดระบบการจัดการและการบำรุงรักษาขององค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่เหมาะสม สำหรับโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะเป็นโปรแกรมที่ถูกเขียนด้วยโปรแกรม Microsoft Excel ร่วมกับการเขียนโค้ด Visual basic for application (VBA) สาเหตุที่เลือกใช้โปรแกรมนี้เนื่องจากว่าเป็นโปรแกรมที่ผู้ใช้งานหรือทีมงานบำรุงรักษาสามารถใช้งานได้สะดวก มีความคุ้นเคย สามารถใช้งานได้ทุกคน สามารถจัดเก็บข้อมูลได้อย่างเป็นระบบและไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม เมื่อต้องการเพิ่มองค์ประกอบที่จะนำมาพิจารณาสามารถเพิ่มได้สะดวกและรวดเร็ว

ในโปรแกรมการพัฒนาหลักการบริหารจัดการสินทรัพย์สำหรับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังในระบบจำหน่ายนี้จะเป็นการใช้หลักการพัฒนาบริหารจัดการสินทรัพย์มาใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า คือ หม้อแปลงน้ำมันและจะเน้นไปที่องค์ประกอบหม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถไปเปลี่ยน/บำรุงรักษาหน้างานได้ ได้แก่ ปะเก็นด้านแรงสูง ปะเก็นด้านแรงต่ำและกระเปาะแก้วบรรจุสารดูดความชื้น การจัดเก็บข้อมูลในงานวิจัยได้จัดเก็บข้อมูลการบำรุงรักษาเฉพาะหม้อแปลงน้ำมันทั้งระบบของบริษัทผลิตและบำรุงรักษาแห่งหนึ่ง โดยจะนำข้อมูลการบำรุงรักษามาใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยในงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เลือกการวิเคราะห์ทางสถิติแบบการแจกแจงปกติ สาเหตุที่เลือกการวิเคราะห์ทาง

สถิติแบบการแจกแจงปกติเนื่องจากใช้งานได้ง่ายและสะดวก เมื่อมีการบำรุงรักษาเกิดขึ้นสามารถใส่ค่าข้อมูลการบำรุงรักษาและแสดงผลลัพธ์ได้อย่างรวดเร็วและผู้วิจัยต้องการที่จะพัฒนาระบบที่มีการจัดการ/การบำรุงรักษา ก่อนที่องค์ประกอบจะมีความเสียหายเกิดขึ้น จากการทดลองพบว่าการใช้วิธีวิเคราะห์แบบการแจกแจงแบบปกติมีความเหมาะสมกับการประเมินอายุการใช้งาน/ปรับปรุงอายุการใช้งาน สำหรับองค์ประกอบที่เลือกมาพิจารณาที่เหมาะสมและสามารถแสดงผลลัพธ์ที่ชัดเจน ในอนาคตถ้ามีการบำรุงรักษาเกิดขึ้นหลายครั้งและได้ทำการใส่ค่าข้อมูลการบำรุงรักษาจะทำให้ผลลัพธ์มีความแม่นยำและใกล้เคียงกับอายุการใช้งานจริงของอุปกรณ์มากขึ้น

ในอนาคตถ้าหากต้องการเพิ่มองค์ประกอบที่จะปรับปรุงอายุการใช้งาน เช่น น้ำมันหม้อแปลงไฟฟ้า บุชชิ่ง กระดาษฉนวน ชุดปรับแท็ป ปะเก็นฝาถัง สามารถที่จะเพิ่มองค์ประกอบเหล่านี้เข้าไปในโปรแกรมได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว ซึ่งจะส่งผลให้โปรแกรมมีความหลากหลายสามารถใช้ปรับปรุงอายุการใช้งานหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังได้ในทุก ๆ องค์ประกอบซึ่งจะส่งผลให้มีการจัดการองค์ประกอบของหม้อแปลงไฟฟ้าต่าง ๆที่เหมาะสมและส่งผลให้ระบบการบำรุงรักษามีประสิทธิภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

1. Koltunowicz, T., G. Bajracharya, and D. Djairam. *Defining a transformer's aging factors in the future*. in *CIRED 2009 - 20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution - Part 1*. 2009.
2. *<IEEE Std. C57.12.00.pdf>.*
3. Suwanasri, T., R. Phadungthin, and C. Suwanasri, *Asset management for power transformer in high voltage substation.* Transactions on Electrical Engineering, Electronics, and Communications, 2013. **11**: p. 1-9.
4. *<IEEE C.57.91.pdf>.*
5. Pandit, N. and R.L. Chakrasali. *Distribution transformer failure in India root causes and remedies*. in *2017 International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA)*. 2017.
6. Dan, Z., L. Chengrong, and W. Zhongdong. *Power transformer lifetime modeling*. in *Proceedings of the IEEE 2012 Prognostics and System Health Management Conference (PHM-2012 Beijing)*. 2012.
7. Suwnansri, T. *Asset management of power transformer: Optimization of operation and maintenance costs*. in *2014 International Electrical Engineering Congress (iEECON)*. 2014.
8. Chen, Y., et al. *Adaptive bathtub hazard rate curve modelling via transformed radial basis functions*. in *2011 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering*. 2011.
9. *<Maintenance book.pdf>.*
10. Takahashi, T. and T. Okamoto, *Development of asset management support tools for oil-immersed transformer.* IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2016. **23**(3): p. 1643-1647.
11. *<Distribution Network operator.pdf>.*
12. Mitsuhiro, N., et al. *Approach to Asset Management of Substation Equipment in Japan*. in *2020 International Symposium on Electrical Insulating Materials (ISEIM)*. 2020.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

13. *<IEEE 930.pdf>.*

14. *<IEEE 1413.pdf>.*

15. Arshad, M., S.M. Islam, and A. Khaliq. *Power transformer aging and life extension*. in *2004 International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems*. 2004.

16. Singh, R. and A. Singh. *Causes of failure of distribution transformers in India*. in *2010 9th International Conference on Environment and Electrical Engineering*. 2010.

17. *<Paper oil immersed transformer.pdf>.*

18. Klutke, G.A., P.C. Kiessler, and M.A. Wortman, *A critical look at the bathtub curve.* IEEE Transactions on Reliability, 2003. **52**(1): p. 125-129.

19. Gómez, J.F., et al., *Risk-Based Criticality for Network Utilities Asset Management.* IEEE Transactions on Network and Service Management, 2019. **16**(2): p. 755-768.

20. Zhu, Z., et al., *Preventive Maintenance Subject to Equipment Unavailability.* IEEE Transactions on Reliability, 2019. **68**(3): p. 1009-1020.

21. *<Reliability & MTBF overview.pdf>.*

22. Vintr, Z. and M. Vintr. *An assessment of mean time between failures for a group of rolling bearings*. in *2011 International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering*. 2011.

23. Liao, Y., et al., *A Holistic Approach to Risk-Based Maintenance Scheduling for HV Cables.* IEEE Access, 2019. **7**: p. 118975-118985.

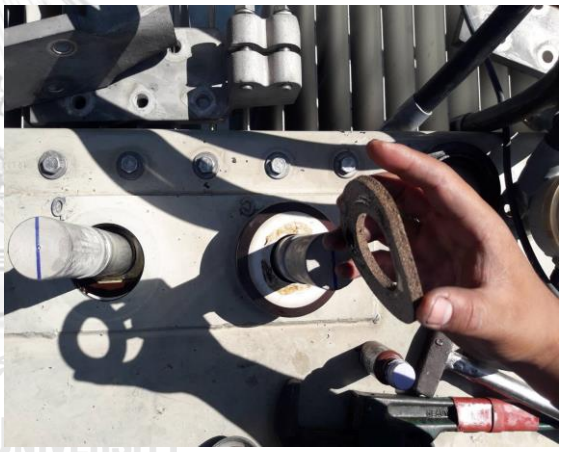
24. Tippachon, W., et al. *Failure Mode Distribution of Transformers in Thailand*. in *2006 International Conference on Power System Technology*. 2006.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

รูปภาพแสดงการไปติดตั้งและบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าระหว่างฝึกงาน

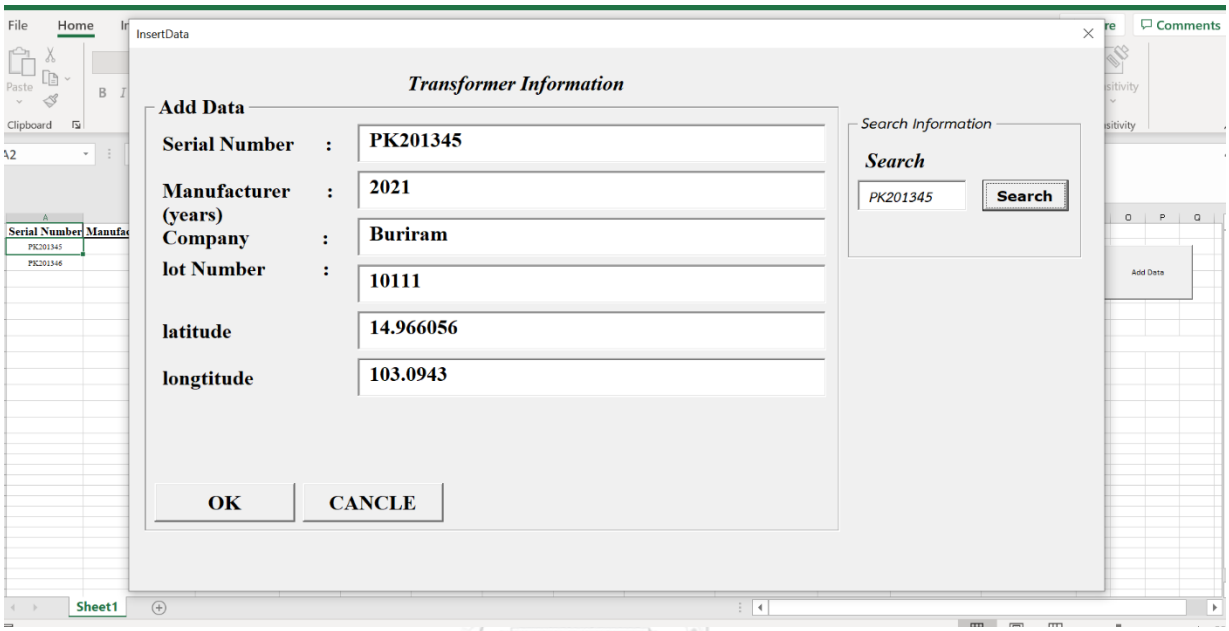
(ระหว่างวันพุธที่ 5 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2563 ถึง วันเสาร์ที่ 28 มีนาคม พ.ศ.2563)



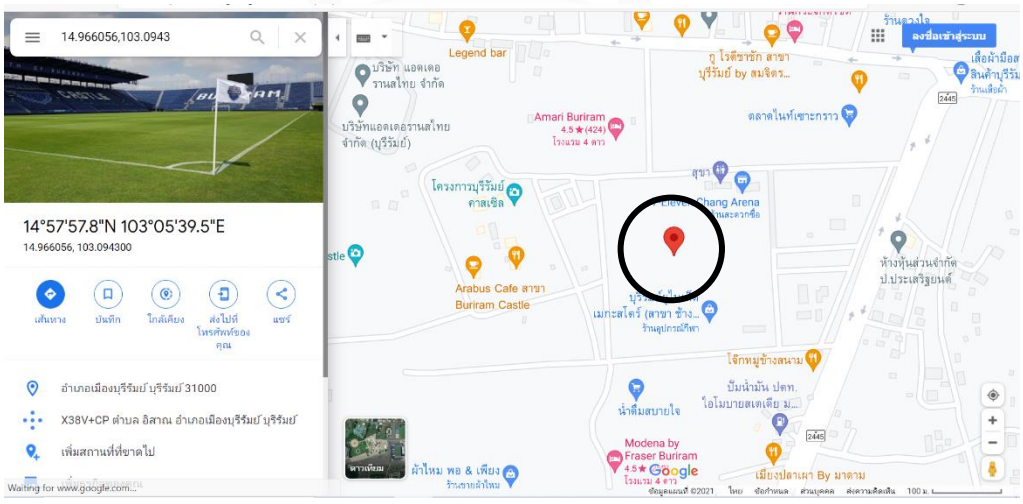
ภาคผนวก ข

ตัวอย่างขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม

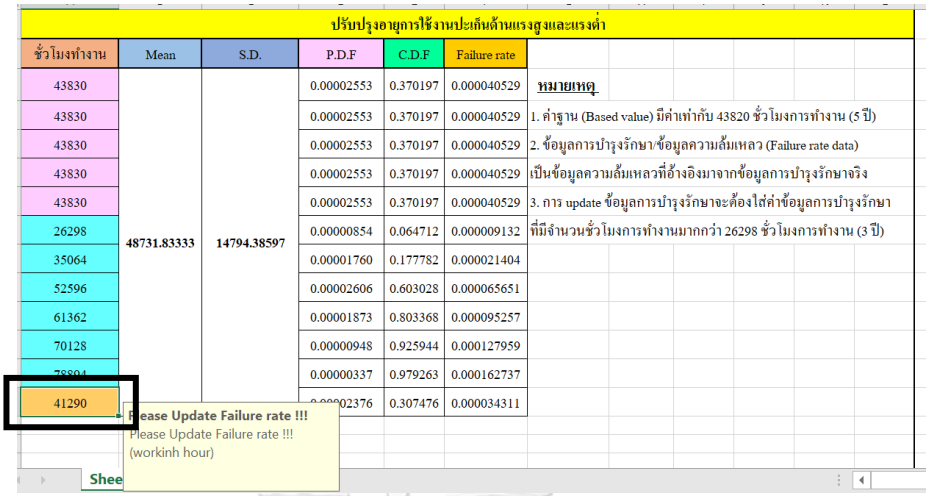
1. เพิ่มข้อมูลหม้อแปลงไฟฟ้า



2. เชื่อมต่อไปยังสถานที่ติดตั้งของหม้อแปลงไฟฟ้า



3. การใส่ข้อมูลความล้มเหลวสำหรับปะเก็นที่เกิดขึ้นใหม่ (ชั่วโมงการทำงาน)



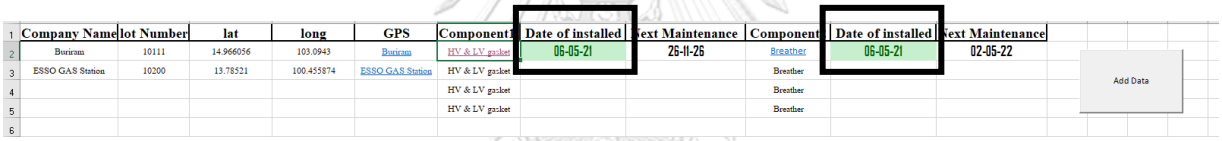
ปรับปรุงอายุการใช้งานปะเก็นด้านแรงสูงและแรงต่ำ

ชั่วโมงทำงาน	Mean	S.D.	P.D.F	C.D.F	Failure rate	
43830	48731.83333	14794.38597	0.00002553	0.370197	0.000040529	หมายเหตุ
43830			0.00002553	0.370197	0.000040529	1. ค่าฐาน (Based value) มีค่าเท่ากับ 43820 ชั่วโมงการทำงาน (5 ปี)
43830			0.00002553	0.370197	0.000040529	2. ข้อมูลการบำรุงรักษา/ข้อมูลความล้มเหลว (Failure rate data)
43830			0.00002553	0.370197	0.000040529	เป็นข้อมูลความล้มเหลวที่อ้างอิงมาจากข้อมูลการบำรุงรักษาจริง
43830			0.00002553	0.370197	0.000040529	3. การ update ข้อมูลการบำรุงรักษาจะต้องใส่ค่าข้อมูลการบำรุงรักษา
26298			0.00000854	0.064712	0.000009132	ที่มีจำนวนชั่วโมงการทำงานมากกว่า 26298 ชั่วโมงการทำงาน (3 ปี)
35064			0.00001760	0.177782	0.000021404	
52596			0.00002606	0.603028	0.000065651	
61362			0.00001873	0.803368	0.000095257	
70128			0.00000948	0.925944	0.000127959	
78894			0.00000337	0.979263	0.000162737	
41290			0.00002376	0.307476	0.000034311	

Please Update Failure rate !!!
Please Update Failure rate !!!
(workinh hour)

Shee

5. ระบบจะแจ้งเตือนวันที่ต้องไปบำรุงรักษาในครั้งถัดไป



	Company Name	lot Number	lat	long	GPS	Component1	Date of installed	Next Maintenance	Component	Date of installed	Next Maintenance
2	Buriram	10111	14.966056	103.0943	Buriram	HV & LV gasket	06-05-21	26-11-26	Breather	06-05-21	02-05-22
3	ESSO GAS Station	10200	13.78521	100.455874	ESSO GAS Station	HV & LV gasket			Breather		
4						HV & LV gasket			Breather		
5						HV & LV gasket			Breather		
6											

Add Data

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายเสฏฐวุฒิ เหลืองไตรรัตน์
วัน เดือน ปี เกิด	25 มิถุนายน 2539
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลศิริราช กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	มหาวิทยาลัยมหิดล
ที่อยู่ปัจจุบัน	บ้านเลขที่ 8 ซอยฉิมพลี 6 ถนนฉิมพลี แขวงฉิมพลี เขตตลิ่งชัน 10170
ผลงานตีพิมพ์	S. Luangtriratana, W. Rungseevijitprapa, "A Development On Asset Management System For Distribution Power Transformers" International Electrical Engineering Congress (iEECON2021), Pattaya, Thailand, 2021

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University