

การศึกษาและวิเคราะห์สุขภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงต่ำและหม้อแปลง ในสถานีไฟฟ้า 22,000 โวลต์

The study and health analysis of low voltage circuit breaker and transformer
in 22,000 volts substations

ภุมรินทร์ ทวิชศรี^{1*} และ จักรพันธ์ นันทพันธ์กุล²
Phummarin Thavitchasri^{1*} and Jakrapan Nanthaphunkul²

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการศึกษาและการวิเคราะห์สุขภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงต่ำและหม้อแปลงในสถานีไฟฟ้า 22,000 โวลต์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการศึกษาสภาพการใช้งานในปัจจุบันเพื่อนำไปสู่การวางแผนการจัดการอุปกรณ์ให้มีความพร้อมใช้งานในการจ่ายระบบไฟฟ้าให้กับระบบการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีประวัติความเสียหายเกิดขึ้นมาหลายครั้งทำให้ไม่สามารถผลิตสินค้าได้ โดยในการศึกษาประกอบไปด้วยสถานีไฟฟ้าย่อย 6 สถานี และใช้การเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ทางกายภาพและผลการทดสอบอื่นๆ เข้ามาประกอบในการวิเคราะห์ข้อมูล ซึ่งผลการคำนวณค่าดัชนีสุขภาพของหม้อแปลงจำนวน 12 เครื่อง พบว่าหม้อแปลงไฟฟ้ามีดัชนีที่มีความพร้อมต่อการใช้งานในระดับดีมาก และมีความพร้อมในการใช้งานที่โหลดสูงสุดจำนวน 4 เครื่อง มีความพร้อมต่อการใช้งานในระดับดีจำนวน 4 เครื่อง มีความพร้อมต่อการใช้งานในระดับปานกลางจำนวน 2 เครื่อง และมีความพร้อมต่อการใช้งานในระดับที่แย่จำนวน 2 เครื่อง ซึ่งต้องวางแผนการบำรุงรักษาอย่างเร่งด่วนเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น ส่วนผลการวิเคราะห์ดัชนีสุขภาพการใช้งานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ 12 ชุด พบว่ามีสุขภาพการใช้งานในระดับดีมากจำนวน 6 ตัว มีสุขภาพการใช้งานในระดับดีจำนวน 4 ตัว มีสุขภาพการใช้งานในระดับแย่อีกต้องทำการแก้ไขโดยด่วนจำนวน 2 ตัว โดยผลจากการศึกษาพบว่าค่าดัชนีสุขภาพของหม้อแปลงและเซอร์กิตเบรกเกอร์เป็นค่าที่สามารถนำมาช่วยวิเคราะห์เพื่อที่จะนำไปสู่การวางแผนจัดการบำรุงรักษาที่ถูกต้องตามหลักวิชาการ เพื่อยืดอายุการใช้งานให้นานขึ้นและมีความต่อเนื่องในการจ่ายระบบไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ: ดัชนีสุขภาพ สถานีไฟฟ้าย่อย หม้อแปลง เซอร์กิตเบรกเกอร์

Abstract

This research presents the study and health analysis of low voltage circuit breaker and transformer in 22,000 volts substations. The objective of this research was to study the current conditions for system management of electricity supplies production in factory. The equipment failure occurred previously resulting to the process failure. The study was consisted of 6 substations and the data was collected from procedure of research methodology by using data record

¹ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์

¹ Faculty of Industrial Technology, Valaya Alongkorn Rajabhat University under the Royal Patronage

² คณะวิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

² Faculty of Technical Education, Rajamangala University of Technology Thanyaburi

* Corresponding author. E-mail: phummarin@vru.ac.th

Received: May 5, 2021; Revised: July 20, 2021; Accepted: October 5, 2021

of physical conditions and specific test results. The calculations of the health index of transformer 12 units indicated that the health index of transformers was very good for 4 units, good for 4 units, fair for 2 units and poor for 2 units, which should be plan for urgent maintenance to protect the occurring failure. The results of health index for circuit breaker in total 12 sets were very good for 6 units, good for 4 units, and poor for 2 units. The results of health index of transformer and low voltage circuit breaker could be used to analyze the condition of equipment's set-up maintenance plan to extend the shelf-life of equipment and to continuous the efficiency of power distribution system.

Keywords: health index, substation, transformer, circuit breaker

บทนำ

ในกระบวนการผลิตสินค้าในภาคอุตสาหกรรมในปัจจุบันนี้มีการเปลี่ยนแปลงไปมาก เนื่องจากระบบการผลิตได้มีการปรับเปลี่ยนกระบวนการเป็นการผลิตที่มีรูปแบบการผลิตตามการสั่งซื้อ (make to order) ซึ่งเป็นรูปแบบการสั่งซื้อในปริมาณไม่มากแต่ต้องการหลากหลายขนาดและหลายยี่ห้อ เมื่อเปรียบเทียบกับในระยะเวลา 3 ถึง 4 ปี ที่ผ่านมาโรงงานอุตสาหกรรมมีรูปแบบการผลิตแบบผลิตเก็บไว้ในคลังสินค้าปริมาณมาก ๆ เพื่อรอส่งให้ลูกค้าได้ทันที ผลที่ตามมาคือมีสินค้าคงคลังเก็บไว้ในปริมาณมาก มีค่าใช้จ่ายในการเช่าพื้นที่ในปริมาณที่สูง หรือแม้กระทั่งสินค้าที่ผลิตออกมาแล้วไม่สามารถส่งต่อให้ลูกค้าได้ เนื่องจากมีสินค้ารุ่นใหม่ๆ ออกมา เนื่องจากพฤติกรรมของผู้บริโภคในปัจจุบันที่มีการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วมาก โรงงานอุตสาหกรรมจึงต้องปรับให้มีกระบวนการผลิตแบบย่อย ปริมาณการผลิตแต่ละครั้งน้อย แต่มีความถี่ต่อรอบในการผลิตที่มากขึ้น (Thavitchasri, 2016a) มีความยืดหยุ่นในการเปลี่ยนแปลงสูตรหรือโมเดลได้ตลอดเวลา จึงมีความจำเป็นต้องมีความต่อเนื่องของเครื่องจักรในกระบวนการผลิตและความต่อเนื่องของการจ่ายกระแสไฟฟ้าเพื่อไปรองรับการผลิต ซึ่งระบบไฟฟ้าที่ใช้ภายในโรงงานอุตสาหกรรมจะใช้แรงดันไฟฟ้าในระบบ 22,000 โวลต์

และลดระดับแรงดันไฟฟ้าที่หม้อแปลงไฟฟ้าให้เหลือแรงดันไฟฟ้าที่ระดับ 400 โวลต์ เพื่อจ่ายให้กับเบรกเกอร์ควบคุมตู้เมนของระบบไฟฟ้าแรงต่ำและจ่ายต่อไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าภายในโรงงาน จากระบบการจ่ายไฟฟ้าจากการไฟฟ้าเข้ามาสู่ระบบไฟฟ้าภายในโรงงานอุตสาหกรรม จะเห็นว่าระบบหม้อแปลงไฟฟ้าและเบรกเกอร์ควบคุมระบบไฟฟ้าแรงต่ำเป็นอุปกรณ์ที่เป็นหัวใจหลักของระบบที่จะต้องมีความเสถียรภาพในการทำงานสูงมาก เพื่อให้ระบบไฟฟ้าที่ใช้งานภายในโรงงานมีประสิทธิภาพและความต่อเนื่องที่สุด

ดังนั้นการบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยเฉพาะหม้อแปลงไฟฟ้าและเมนเซอร์กิตเบรกเกอร์แรงต่ำจึงมีความสำคัญ และจะต้องให้หลักการทางวิชาการเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ในการดำเนินงานเพื่อหาแนวทางการบำรุงรักษาที่ถูกต้องและเหมาะสม เพื่อให้อุปกรณ์ทั้ง 2 ส่วนนี้ สามารถจ่ายไฟฟ้าได้ต่อเนื่องและทำงานได้อย่างถูกต้องและมีระยะเวลาการใช้งานที่ยาวนาน โดยเฉพาะอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีระบบการทำงานที่มีการทำงานโดยใช้กลไกเข้ามาเกี่ยวข้องอย่างเซอร์กิตเบรกเกอร์และหม้อแปลงไฟฟ้า จึงต้องมีวิธีการในการจัดการบำรุงรักษาตามหลักวิชาการให้ถูกต้องเพื่อให้สามารถวางแผนการจัดการระบบไฟฟ้าได้ถูกต้อง โดยใช้การวิเคราะห์ความเสี่ยงจากสภาพแวดล้อมและการทำงาน

ของอุปกรณ์สามารถใช้วิธีสร้างทางเลือก (multi criteria method) หรือวิธีทางสถิติในการประเมินเพื่อจัดการความเสี่ยงกระบวนการที่สำคัญคือการกำหนดความเสี่ยงที่ต้องสามารถระบุความถี่ความรุนแรงจากความเสี่ยงที่เกิดขึ้นให้ถูกต้อง เพื่อเป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงต่อไป Kongsong, & Pooworarluchai, (2020) เสนอรูปแบบการติดตามควบคุมความเสี่ยงที่สามารถเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ เพื่อเป็นเครื่องมือในการควบคุมความเสี่ยงซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการควบคุมการทำงานของระบบและอุปกรณ์เพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับระบบ ในขณะที่ Chanhom (2021) ได้ศึกษาการสร้างแบบจำลองและแบบจำลองการทำงานระบบเก็บพลังงานแบบใช้อุปกรณ์เก็บพลังงานหลายตัวโดยใช้การจัดเก็บพลังงานด้านบัสกระแสตรงซึ่งมีความเหมาะสมกับกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมที่มีแหล่งจ่ายบางส่วนของเป็นไฟฟ้ากระแสตรงโดยจำแนกโหลดในระบบไฟฟ้าและเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าที่บัสของระบบไฟฟ้ากระแสสลับผ่านการจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink โดยผลการศึกษาพบว่าจากการสร้างระบบจำลองทดสอบระบบโดยการปรับค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการใช้งานจะทำให้ระบบไฟฟ้ามีเสถียรภาพดีขึ้นลดโอกาสที่อุปกรณ์ไฟฟ้าจะมีความเสียหายมากขึ้นจากค่าต่าง ๆ ในระบบไฟฟ้า ทำให้การจัดการระบบไฟฟ้าและการบำรุงรักษาระบบง่ายขึ้นแต่ยังพบว่าหากต้องการพัฒนาในอนาคตยังต้องใช้ต้นทุนที่สูงเพื่อให้โหลดต่าง ๆ ในระบบและในสถานีไฟฟ้าทำงานที่ประสิทธิภาพสูงสุด

การหาค่าดัชนีสุขภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้าย่อย 22,000 โวลต์ และเซอร์กิตเบรกเกอร์

แรงต่ำ ในระบบไฟฟ้าเป็นแนวทางหนึ่งในการศึกษาสภาพการใช้งานของอุปกรณ์ทั้ง 2 ส่วนนี้ โดยใช้เกณฑ์มาตรฐานเข้าไปประเมินอุปกรณ์แต่ละส่วน ซึ่งผลจากการศึกษาค่าดัชนีสุขภาพสามารถนำไปช่วยในการวิเคราะห์และประเมินความเสียหายเบื้องต้นที่จะเกิดกับอุปกรณ์และความเป็นไปได้ที่อุปกรณ์จะเสียหายขณะที่อุปกรณ์กำลังทำงาน และนำไปสู่การวางแผนการบำรุงรักษาเซอร์กิตเบรกเกอร์และหม้อแปลงไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้าย่อย 22,000 โวลต์ ต่อไป

วิธีการศึกษา

1. แนวทางการศึกษาค่าดัชนีสุขภาพ

1.1 สมการดัชนีสุขภาพ (health index formula)

ดัชนีสุขภาพ (health index) เป็นค่าที่คำนวณจากการประเมินสภาพอุปกรณ์เทียบกับปัจจัยที่ทำให้อุปกรณ์เสื่อมสภาพ ซึ่งเมื่อผลรวมของปัจจัยดังกล่าวสะสมในระยะยาว จะนำไปสู่จุดที่ทำให้ระบบเกิดปัญหาหรือเกิดการชำรุดของอุปกรณ์ในที่สุด (Garzon, 1997; Srichada, & Ruekpreedapong, 2016) การคำนวณทางคณิตศาสตร์ใช้การให้คะแนนเป็นสัดส่วนน้ำหนักของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ ดัชนีสุขภาพจะมีความหมายแตกต่างจากการทดสอบเพื่อบำรุงรักษา ซึ่งจะเน้นไปที่การหาข้อบกพร่องที่ต้องทำการแก้ไขเพื่อให้อุปกรณ์สามารถทำงานได้ในช่วงเวลาหนึ่ง โดยสูตรของดัชนีสุขภาพดังสมการที่ (1)

$$HI = \frac{\sum_{i=1}^n (W_i \times S_i)}{\sum_{i=1}^n W_i \times S_{\max}} \times 100\% \quad (1)$$

HI คือ ดัชนีสุขภาพ

W_i คือ ค่าน้ำหนักของปัจจัยที่นำมาพิจารณา

S_i คือ ค่าคะแนนของแต่ละปัจจัย

S_{max} คือ ค่าคะแนนสูงสุดของปัจจัยทั้งหมด

n คือ จำนวนปัจจัยที่นำมาพิจารณา

หมายเหตุ: ทุกปัจจัยที่นำมาพิจารณาจะต้องมี
คะแนนสูงสุด (S_{max}) เท่ากัน

1.2 ปัจจัยและการให้คะแนน (condition and scoring)

การหาค่าดัชนีสุขภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์และหม้อแปลง จะกำหนดปัจจัยทั้งหมดที่เป็นสาเหตุทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์และหม้อแปลงทำงานล้มเหลวซึ่งได้มาจากการตรวจสอบสภาพจากภายนอก (visual inspection) การตรวจสอบฟังก์ชันการทำงาน (operation check) ประวัติการบำรุงรักษา (maintenance histories) การจดบันทึกหรือจากประสบการณ์ที่ทำงานกับระบบมานาน Garzon (1997); Dongale (2008); Srichada, & Ruekpreedapong (2016) ได้ศึกษาแนวทางการศึกษาค่าดัชนีสุขภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์ในระบบจำหน่ายพบว่าผลการใช้เกณฑ์การวิเคราะห์ดัชนีสุขภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์ในระบบจำหน่ายช่วยให้สามารถวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาก่อนที่อุปกรณ์จะเสียหายสามารถลดความเสียหาย ดังนั้นการคำนวณหาดัชนีสุขภาพมีความถูกต้อง แม่นยำและเชื่อถือได้ จึงต้องใช้ข้อมูลดังกล่าวข้างต้นมาประกอบในการพิจารณาปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่นำมาพิจารณามีด้วยกันทั้งหมด 10 ปัจจัย Tuntirattanasoontorn (1992) ศึกษาการประเมินความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ในระบบจำหน่ายด้วยระบบฐานข้อมูล พบว่าในระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า

ได้มีการนำระบบฐานข้อมูลการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าเข้ามาช่วยในการศึกษาความเสียหายโดยใช้ปัจจัยที่จะทำให้อุปกรณ์เสียหายมาเป็นฐานข้อมูลโดยปัจจัยต่าง ๆ นำมาใช้ในระบบฐานข้อมูล Witoontorn (2013) ศึกษาการประเมินความน่าเชื่อถือได้จากการเจริญเติบโตของโหลดเพื่อประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นกับอุปกรณ์ไฟฟ้าในกรณีที่มีการเพิ่มขึ้นของผู้ใช้ไฟอย่างต่อเนื่องในระบบจำหน่ายโดยผลการศึกษาศาสามารถจำแนกปัจจัยความเสี่ยงที่มีผลทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์และหม้อแปลงไฟฟ้าในระบบจำหน่ายได้ ดัง (Table 1)

Table 1 The degradation factor of circuit breaker.

no.	factor	rate (max./average/min.)	criteria weight
1	age	average	5
2	peak load	maximum	9
3	customer demand	minimum	3
4	insulation resistance	maximum	9
5	contact resistance	maximum	9
6	no. of operating	maximum	7
7	maintenance histories	average	5
8	visual inspection	minimum	3
9	circuit breaker position	average	5
10	environmental	minimum	3

และปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพของหม้อแปลง ที่นำมาพิจารณามีด้วยกันทั้งสิ้น 10 ปัจจัย (Tuntirattanasoontorn, 1992) ดัง (Table 2) โดยข้อมูลรายละเอียดของปัจจัยที่เป็นสาเหตุของการเสื่อมสภาพเป็นปัจจัยที่ทำให้อุปกรณ์เสียหายจากทั้งทางกายภาพและเกิดจากการใช้งาน ซึ่งหม้อแปลงที่นำมาวิเคราะห์ในครั้งนี้เป็นหม้อแปลงชนิดน้ำมันเหมือนกันทั้ง 12 เครื่อง

Table 2 The degradation factor of transformer.

no.	factor	rate (max./average/min.)	criteria weight
1	age	minimum	3
2	peak load	maximum	9
3	customer demand	maximum	7
4	insulation resistance	maximum	9
5	oil insulation	maximum	9
6	oil operating temperature	maximum	7
7	maintenance histories	average	5
8	temperature sensor detector	average	5

การกำหนดเกณฑ์น้ำหนัก (criteria weight) สำหรับทั้ง 10 ปัจจัยที่นำมาพิจารณา มีความสำคัญ และความรุนแรงที่มีผลต่อการล้มเหลวของเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยแบ่งระดับการให้น้ำหนักเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ค่าสูงสุด (maximum: max.) ค่าเฉลี่ย (average: avg.) และค่าต่ำสุด (minimum: min.) และมีคะแนนน้ำหนักแต่ละกลุ่มดังนี้ (Garzon, 1997; Srichada, & Ruekpreedapong, 2016)

ค่าสูงสุด	(max.)	น้ำหนัก	7-9
ค่าเฉลี่ย	(avg.)	น้ำหนัก	4-6
ค่าต่ำสุด	(min.)	น้ำหนัก	1-3

การให้คะแนนเซอร์กิตเบรกเกอร์แต่ละตัว จากปัจจัยสภาพของเบรกเกอร์และข้อมูลที่ตรวจพบ จะพิจารณาให้คะแนน 0 ถึง 4 ซึ่งมีความหมายของคะแนนแต่ละระดับ ดังนี้ (Garzon, 1997; Srichada & Ruekpreedapong, 2016)

คะแนน 4 หมายถึง อุปกรณ์อยู่ในสภาพดีมาก เหมือนอุปกรณ์ใหม่
 คะแนน 3 หมายถึง อุปกรณ์มีข้อบกพร่องเล็กน้อย บางส่วน
 คะแนน 2 หมายถึง อุปกรณ์มีข้อบกพร่องค่อนข้างมาก ต้องติดตามเฝ้าระวัง
 คะแนน 1 หมายถึง อุปกรณ์มีปัญหาบางอย่างที่สามารถนำไปสู่การเสื่อมสภาพหรือชำรุด
 คะแนน 0 หมายถึง อุปกรณ์ได้เสื่อมสภาพ ชำรุด หรือเสียหายจนเกินที่จะแก้ไขซ่อมแซมได้

2. ข้อมูลของหม้อแปลงและเซอร์กิตเบรกเกอร์

ในสถานีไฟฟ้าย่อย 22 kV (Thavitchasri, 2016b) ที่ได้เก็บรวบรวมข้อมูลจะมีรูปแบบ single line diagram ดัง (Figure 1)

2.1 ข้อมูลของหม้อแปลงในสถานีไฟฟ้าย่อย 22 kV

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าในสถานีไฟฟ้าย่อย ได้แบ่งออกเป็นทั้งหมด 3 สถานีย่อย โดยข้อมูลของหม้อแปลงไฟฟ้าที่ใช้งานภายในบริษัทที่ได้ทำการศึกษาจนถึงปัจจุบัน ดัง (Table 3) (Thavitchasri, 2016b)

2.2 ข้อมูลของเซอร์กิตเบรกเกอร์

ในการเก็บรวบรวมข้อมูลของเซอร์กิตเบรกเกอร์เพื่อนำไปหาค่าดัชนีสุขภาพ ดัง (Table 4) (Thavitchasri, 2016b) โดยข้อมูลประวัติของเซอร์กิตเบรกเกอร์ที่ใช้งานภายในบริษัทที่ได้ทำการศึกษาจนถึงปัจจุบัน

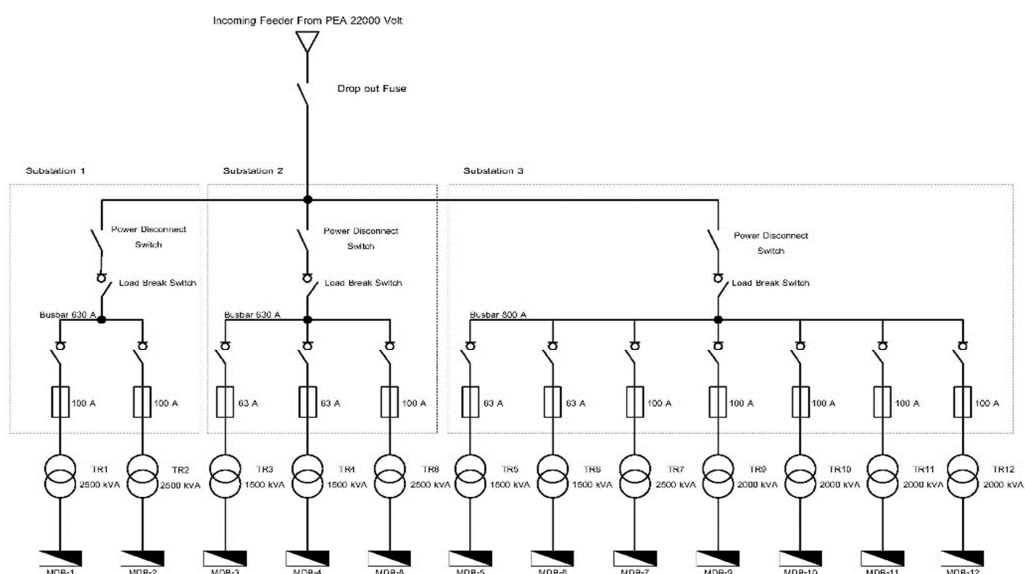


Figure 1 Single line diagram of 22,000 volt substations.

Table 3 The transformer information in substation.

code (TR)	capacity (kVA)	year (A.D.)	age (year)	peak load (%)	operating load (%)
TR 1	2,500/Sub 1	1991	27	70	62
TR 2	2,500/Sub 1	1991	27	88	75
TR 3	1,500/Sub 2	1996	22	83	74
TR 4	1,500/Sub 2	1996	22	90	85
TR 5	1,500/Sub 3	1999	19	88	80
TR 6	1,500/Sub 3	1999	19	92	84
TR 7	2,500/Sub 3	2001	17	85	73
TR 8	2,500/Sub 2	2010	8	70	68
TR 9	2,000/Sub 3	2000	18	88	75
TR 10	2,000/Sub 3	2000	18	82	72
TR 11	2,000/Sub 3	2005	13	80	73
TR 12	2,000/Sub 3	2010	8	68	60

Table 4 The low voltage circuit breaker information in substation.

code (ACB)	capacity (A/set point)	year (A.D.)	age (year)	peak load (%)	operating load (%)
ACB 1	4,000/3,600	2003	15	70	62
ACB 2	4,000/3,600	2003	15	88	75
ACB 3	2,500/2,125	2003	15	83	74
ACB 4	2,500/2,125	2003	15	90	85
ACB 5	2,500/2,125	1999	19	88	80
ACB 6	2,500/2,125	1999	19	92	84
ACB 7	4,000/3,600	2001	17	85	73
ACB 8	4,000/3,600	2010	8	70	68
ACB 9	3,000/2,500	2000	18	88	75
ACB 10	3,000/2,500	2000	18	82	72
ACB 11	3,000/2,500	2005	13	80	73
ACB 12	3,000/2,500	2010	8	68	60

การวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของหม้อแปลงและเซอร์กิตเบรกเกอร์ มีข้อมูลการวิเคราะห์ ดัง (Table 5-6) (Dongale, 2008)

Table 5 The information type of degradation factor for transformer.

order	factor	information	transformer type	
			dry type	oil type
1	age	data	✓	✓
2	peak load	data	✓	✓
3	customer demand	data	✓	✓
4	insulation resistance	test report	✓	✓
5	oil insulation	test report		✓
6	oil operating temperature	data		✓
7	maintenance histories	data	✓	✓
8	temperature sensor detector	test report	✓	✓
9	visual inspection	data	✓	✓
10	environmental	data	✓	✓

Table 6 The information type of degradation factor for low voltage circuit breaker.

order	factor	information	air circuit breaker type	
			fixed type	draw out type
1	age	data	✓	✓
2	peak load	data	✓	✓
3	customer demand	data	✓	✓
4	insulation resistance	test report	✓	✓
5	contact resistance	test report	✓	✓
6	no. of operating	data	✓	✓
7	maintenance histories	data	✓	✓
8	circuit breaker position	test report	✓	✓
9	visual inspection	data	✓	✓
10	environmental	data	✓	✓

2.3 เกณฑ์การให้คะแนน

จากปัจจัยทั้ง 10 ด้านที่มีผลต่อการเสื่อมสภาพของหม้อแปลงและเซอร์กิตเบรกเกอร์แต่ละตัว จากปัจจัยทั้งหมดได้นำเสนอตัวอย่างเกณฑ์การให้คะแนนจำนวน 2 ปัจจัย ดัง (Table 7-8) (Dongale, 2008)

Table 7 The criteria rate factor of age for transformer and low voltage circuit breaker.

condition rating	description
4	age $\leq$ 5 years
3	5 years $\leq$ age $\leq$ 10 years
2	10 years $\leq$ age $\leq$ 20 years
1	20 years $\leq$ age $\leq$ 30 years
0	age $\leq$ 30 years

Table 8 The criteria rate factor of insulation for transformer.

condition rating	description
4	> 1 giga-ohm
0	< 1 giga-ohm

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

1. การคำนวณดัชนีสุขภาพ

จากเกณฑ์การให้คะแนนทั้ง 10 ปัจจัย และการให้น้ำหนักของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของหม้อแปลงและเซอร์กิตเบรกเกอร์ เพื่อแทนค่าตัวแปรน้ำหนัก W_i ในสมการที่ (1) สรุปดัง (Table 9-10) พบว่าการให้น้ำหนักของปัจจัยการเสื่อมสภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้ง 10 ปัจจัย จะให้น้ำหนักความเสี่ยงที่จะทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าเสียหายจากปัจจัยที่ 5 ด้าน insulation resistance และปัจจัยที่ 6 ด้าน oil insulation ที่มีการกำหนดน้ำหนักที่ 4 ในกรณีที่ค่าน้ำหนักของทั้ง 2 ปัจจัยเข้าใกล้จุดที่จะทำให้หม้อแปลงเกิดความเสียหายในทันทีทันใด จะต้องหยุดการใช้งานแล้วทำการแก้ไขทันที โดยต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหม้อแปลงใหม่หรือใช้กระบวนการกรองน้ำมันหม้อแปลงเพื่อทำให้ค่าฉนวนของน้ำมันหม้อแปลงมีค่าสูงขึ้นมากกว่าค่าพิกัดแรงดันใช้งานที่หม้อแปลง ส่วนการให้น้ำหนักของปัจจัยการเสื่อมสภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์

ทั้ง 10 ปัจจัย จะให้น้ำหนักความเสี่ยงที่จะทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์เสียหายจากปัจจัยที่ 5 ด้าน insulation resistance และปัจจัยที่ 6 ด้าน contact resister ที่มีการกำหนดค่าน้ำหนักที่ 4 ในกรณีที่ค่าของทั้ง 2 ปัจจัยเข้าใกล้จุดที่จะทำให้เซอร์กิตเบรกเกอร์เกิดการทำงานผิดพลาด ซึ่งจะต้องหยุดการใช้งานแล้วทำการแก้ไขทันที โดยทำการเปลี่ยนชุดทริปอัตโนมัติเพื่อไม่ให้เซอร์กิตเบรกเกอร์ทำงานผิดพลาดจนกระทบกับสายการผลิต

การหาค่าดัชนีสุขภาพของหม้อแปลงและเซอร์กิตเบรกเกอร์สามารถหาได้โดยนำค่าน้ำหนัก จาก (Table 9-10) ผลการหาค่าดัชนีสุขภาพ โดยนำคะแนนของหม้อแปลงและเซอร์กิตเบรกเกอร์แทนค่าในสมการ (1) เพื่อหาค่าดัชนีสุขภาพ และนำไปเปรียบเทียบกับเกณฑ์ดัชนีสุขภาพ ดัง (Table 11) เพื่อจัดกลุ่มความเสี่ยงในการใช้งานของหม้อแปลงและเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยแบ่งกลุ่มดัชนีสุขภาพออกเป็น 5 ระดับ คือ ดีมาก (very good) ดี (good) ปานกลาง (fair) แย่ (poor) และแย่มาก (very poor) (Tuntirattanasoontorn, 1992)

ผลจากการคำนวณค่าดัชนีสุขภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า จำนวน 12 เครื่อง ในสถานีไฟฟ้าย่อย 22,000 โวลต์ พบว่าหม้อแปลงลูกที่ 4 และหม้อแปลงลูกที่ 6 มีดัชนีสุขภาพที่ต่ำ มีสภาพการใช้งานที่แย่ และมีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายมากกว่าหม้อแปลงอีก 10 ลูก จึงจำเป็นต้องหยุดและทำการซ่อมบำรุง โดยต้องทำการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหม้อแปลงใหม่หรือใช้กระบวนการกรองน้ำมันหม้อแปลงเพื่อทำให้ค่าฉนวนของน้ำมันหม้อแปลงมีค่าสูงขึ้นมากกว่าค่าพิกัดแรงดันใช้งานที่หม้อแปลง โดยผลการสรุปดัชนีสุขภาพของหม้อแปลงทั้ง 12 ลูก ในสถานีไฟฟ้าย่อย 22,000 โวลต์ ดัง (Figure 2)

Table 9 Relative weight value for W_i value of transformer.

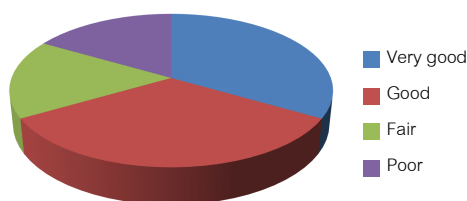
order	factor	criteria weight	relative weight	condition scored range
1	age	3	5.00%	4,3,2,1,0
2	peak load	9	15.00%	4,3,2,1,0
3	customer demand	7	16.67%	4,3,2,1,0
4	insulation resistance	9	15.00%	4,0
5	oil insulation	9	15.00%	4,0
6	oil operating temperature	7	16.67%	4,3,2,1,0
7	maintenance histories	5	8.33%	4,3,2,1,0
8	temperature sensor detector	5	8.33%	4,3,2,1,0
9	visual inspection	3	5.00%	4,3,2,1,0
10	environmental	3	5.00%	4,3,2,1,0
total		60	100%	

Table 10 Relative weight value for W_i value of low voltage circuit breaker.

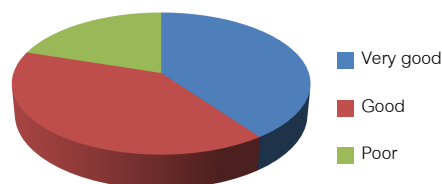
order	factor	criteria weight	relative weight	condition scored range
1	age	5	8.62%	4,3,2,1,0
2	peak load	9	15.52%	4,3,2,1,0
3	customer demand	3	5.17%	4,3,2,1,0
4	insulation resistance	9	15.52%	4,0
5	contact resistance	9	15.52%	4,0
6	no. of operating	7	12.07%	4,3,2,1,0
7	maintenance histories	5	8.62%	4,3,2,1,0
8	temperature sensor detector	3	5.17%	4,3,2,1,0
9	visual inspection	5	8.62%	4,3,2,1,0
10	environmental	3	5.17%	4,3,2,1,0
total		58	100%	

Table 11 Health index criteria.

health index (%)	description	maintenance plan
0-30	very poor	change part
31-50	poor	repair
51-70	fair	normal maintenance and focus
71-85	good	normal maintenance
85-100	very good	normal maintenance

**Figure 2** Health index result of transformer.

ผลจากการคำนวณค่าดัชนีสุขภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์ 12 ตัว พบว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์ ตัวที่ 3 และตัวที่ 4 มีดัชนีสุขภาพที่ต่ำ มีสภาพการใช้งานที่แย่และมีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายมากกว่าเซอร์กิตเบรกเกอร์อีก 10 ตัว จึงจำเป็นต้องหยุดและทำการเปลี่ยนชุดทรีปัดโนมิติ เพื่อลดความผิดพลาดจากการทำงานที่ผิดพลาดซึ่งขึ้นจากการที่เบรกเกอร์ทริปแบบไม่ทราบสาเหตุ โดยผลการสรุปดัชนีสุขภาพของเซอร์กิตเบรกเกอร์ทั้ง 12 ตัว ดัง (Figure 3)

**Figure 3** Health index result of low voltage circuit breaker.

สรุป

จากผลการคำนวณค่าดัชนีสุขภาพของหม้อแปลง 12 เครื่อง และเซอร์กิตเบรกเกอร์ 12 ตัว ดัง (Figure 2-3) พบว่า หม้อแปลงไฟฟ้ามีดัชนีที่มีความพร้อมต่อการใช้งานในระดับดีมากและมีความพร้อมในการใช้งาน

ที่โหลดสูงสุด 4 เครื่อง มีความพร้อมต่อการใช้งานในระดับดีจำนวน 4 เครื่อง มีความพร้อมต่อการใช้งานในระดับปานกลางจำนวน 2 เครื่อง และมีความพร้อมต่อการใช้งานในระดับที่แย่อจำนวน 2 เครื่อง ซึ่งต้องวางแผนการหยุดทำการบำรุงรักษาเพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้น โดยต้องทำการเปลี่ยนถ่านน้ำมันหม้อแปลงใหม่หรือใช้กระบวนการกรองน้ำมันหม้อแปลงเพื่อให้ค่าฉนวนของน้ำมันหม้อแปลงมีค่าสูงขึ้นมากกว่าค่าพิกัดแรงดันใช้งานที่หม้อแปลงอย่างเร่งด่วนของหม้อแปลงไฟฟ้า 2 เครื่องนี้ทั้งที่ส่วนผลการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพการใช้งานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ 12 ชุด พบว่ามีคุณภาพการใช้งานในระดับดีมาก 6 ตัว มีคุณภาพการใช้งานในระดับดี 4 ตัว มีคุณภาพการใช้งานในระดับแยที่ต้องทำการแก้ไขอย่างเร่งด่วน 2 ตัว โดยต้องทำการเปลี่ยนชุดทรัพย์สินของเซอร์กิตเบรกเกอร์ 2 ชุดนี้ทันที เพื่อป้องกันผลกระทบต่อระบบการผลิตจากการทำงานผิดพลาดของเซอร์กิตเบรกเกอร์ โดยจากผลการศึกษาค่าดัชนีสุขภาพของหม้อแปลงและเซอร์กิตเบรกเกอร์ในสถานีไฟฟ้าย่อย 22,000 โวลต์ เป็นการหาค่าที่สามารถนำมาช่วยวิเคราะห์เบื้องต้นได้เพื่อที่จะนำไปสู่การวางแผนจัดการบำรุงรักษาที่ถูกต้องเพื่อให้อุปกรณ์มีอายุการใช้งานที่นานขึ้นและเพื่อความต่อเนื่องในการจ่ายระบบไฟฟ้า ลดผลกระทบในระบบการผลิตและนำไปสู่กระบวนการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารอ้างอิง

- Chanhom, P. (2021). Modeling and simulation of energy storage system with multiple energy storage devices using energy management. *RMUTSB Academic Journal*, 9(1), 52-62. (in Thai)
- Garzon, D. (1997). *High voltage circuit breaker design and operation*. New York: Marcel Dekker.
- Kongsong, W., & Pooworarlchai, C. (2020). Risk analysis in construction projects by matrix method. *RMUTSB Academic Journal*, 8(1), 126-139. (in Thai)
- Dongale, P. J. (2008). *Equipment condition assessment and its importance in estimation and prediction of power system reliability* (Master's thesis). Wichita State University, India.
- Srichada, C., & Ruekpreedapong, D. (2016). Study of distribution circuit breaker health index. *The 8th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology* (pp. 125-128). Nakhon Pathom: Rajamangala University of Technology Rattanakosin. (in Thai)
- Thavitchasri, P. (2016a). Risk assessment of electrical equipment and economic impact for 22 kV substation. *The 8th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology (EENET-8)* (pp. 121-124). Nakhon Pathom: Rajamangala University of Technology Rattanakosin. (in Thai)
- Thavitchasri, P. (2016b). Failure rate determination and time forecast of electrical equipment for 22 kV substations. *The 39th Electrical Engineering Conference (EECON-39)* (pp. 65-68). Bangkok: Chulalongkorn University. (in Thai)
- Tuntirattanasoonorn, B. (1992). *Reliability evaluation of distribution system by database management system* (Master's thesis). Chulalongkorn University, Bangkok. (in Thai)
- Witoontorn, W. (2013). *Reliability evaluation of considering load growth* (Master's thesis). Chulalongkorn University, Bangkok. (in Thai)