

การพัฒนาการบำรุงรักษาเชิงสภาพของอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอนในระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ด้วยการประยุกต์ใช้ Common Network Asset Index Methodology

วสิษฐพล แสงทอง¹, พจนีย์ ศิริบุญรอด², อรรถณพ ธัญญชนะ³, อีรพจน์ จันทรสุมแสง³, จิราภรณ์ วงศ์ใหญ่³

¹กองบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค vasitpol.san@pea.co.th

²กองวิจัย การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค potjaneer.sir@pea.co.th

³วิทยาลัยนานาชาตินวัตกรรมดิจิทัล มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ jiraporn.won@cmu.ac.th

บทคัดย่อ

การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นหน่วยงานสาธารณูปโภคด้านไฟฟ้าที่ให้บริการพลังงานไฟฟ้าแก่ผู้ใช้ไฟทั่วประเทศ ยกเว้นพื้นที่กรุงเทพมหานครฯ นนทบุรี และสมุทรปราการ โดยในการให้บริการพลังงานไฟฟ้าที่มีความมั่นคงและเชื่อถือได้ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้ลงทุนโครงข่ายระบบจำหน่ายไฟฟ้า ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ไฟฟ้าจำนวนมากที่มีความหลากหลายทั้งในแง่ประเภทของอุปกรณ์ ลักษณะและอายุการใช้งาน ตลอดจนความเสี่ยงจากการใช้งานอุปกรณ์ เพื่อยกระดับกลยุทธ์การบำรุงรักษาอุปกรณ์ตามแนวทางการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขและเชิงป้องกัน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคจำเป็นต้องยกระดับความสามารถในการประเมินสภาพอุปกรณ์โดยใช้ประโยชน์จากข้อมูลอุปกรณ์ แนวทางการประเมินสภาพและความเสี่ยงที่เป็นระบบ ดังนั้น งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้แนวทางการประเมิน Common Network Asset Index Methodology (CNAIM) ที่ถูกบังคับใช้กับหน่วยงานการไฟฟ้าระดับจำหน่ายในสหราชอาณาจักร โดยผลลัพธ์จากการวิจัยแสดงให้เห็นว่า กรอบการประเมิน Common Network Asset Index Methodology สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในบริบทของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคได้อย่างไรก็ตามจำเป็นต้องมีการปรับแนวคิดในการประเมินบางส่วนเพื่อให้เข้ากับสภาพการดำเนินธุรกิจของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค โดยการนำข้อมูลของอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอนในระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคมาใช้เป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้

คำสำคัญ: การประเมินสภาพและความเสี่ยง, อุปกรณ์ป้องกันและตัดตอนในระบบจำหน่าย, Common Network Asset Index Methodology (CNAIM)

1. บทนำ

ปัจจุบันพลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยพื้นฐานที่สำคัญทั้งในแง่ของการดำรงชีวิตของประชาชนและการขับเคลื่อนเศรษฐกิจและสังคมของประเทศ ทำให้ระบบไฟฟ้าของประเทศไทยมีการขยายตัวและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จะเห็นได้ว่าปัจจัยหลักในการขับเคลื่อนการพัฒนาคือการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ มั่นคงและเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟผ.) ที่ครอบคลุมตลอดทั้งวัฏจักรของสินทรัพย์ระบบไฟฟ้าตั้งแต่การจัดการเพื่อให้ได้มาซึ่งสินทรัพย์ระบบไฟฟ้าที่ต้องการ การใช้งานบำรุงรักษา และการนำออกจากระบบไฟฟ้าเมื่อสิ้นสุดอายุการใช้งาน ส่งผลให้การบริหารจัดการสินทรัพย์ระบบไฟฟ้ามีกิจกรรมที่จำเป็นต้องตัดสินใจตลอดช่วงวัฏจักรของสินทรัพย์ระบบไฟฟ้าที่จำเป็นต้องรักษาสมดุลระหว่าง ต้นทุนค่าใช้จ่าย (Cost) ประสิทธิภาพของสินทรัพย์ (Performance) และความเสี่ยง (Risks) ซึ่งการบริหารจัดการสินทรัพย์ระบบไฟฟ้านับได้ว่าเป็นแนวปฏิบัติที่เป็นมาตรฐานสากลที่หน่วยงานการไฟฟ้าชั้นนำทั่วโลกได้นำมาประยุกต์ใช้ โดย กฟผ. ได้ริเริ่มนำระบบบริหารจัดการสินทรัพย์ระบบไฟฟ้าเข้ามาใช้ภายในองค์กร โดยมีการจัดทำ

แผนที่นำทางการพัฒนาระบบบริหารจัดการสินทรัพย์ระบบไฟฟ้าของ กฟผ. (PEA Asset Management Roadmap) และแผนงานโครงการ (Project and Action Plan) ที่ระบุถึงกิจกรรมที่จำเป็นต้องดำเนินการ

กลุ่มอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอนในระบบจำหน่ายของ กฟผ. นับได้ว่ามีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการให้บริการพลังงานไฟฟ้าแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าในเขตพื้นที่ความรับผิดชอบของ กฟผ. เนื่องจากกลุ่มอุปกรณ์เหล่านี้ทำหน้าที่ป้องกันและตัดตอนเมื่อเกิดเหตุการณ์ผิดปกติหรือตามการสั่งการ เพื่อให้เกิดความต่อเนื่องในการให้บริการพลังงานไฟฟ้าแก่ผู้ใช้ไฟฟ้าได้มากที่สุด ทำให้ประเด็นความมั่นคงเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอนในระบบจำหน่ายมีความสำคัญต่อการทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและความปลอดภัยของระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟผ. จากความสำคัญของอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอนในระบบไฟฟ้าของ กฟผ. ดังกล่าว จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาและพัฒนากระบวนการเพื่อวางแผนงานบำรุงรักษาและการบำรุงรักษาเชิงสภาพของอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอน ซึ่งในการศึกษาวิจัยนี้จะครอบคลุมเฉพาะอุปกรณ์ Load Break Switch ระบบ 115/22/33 kV อุปกรณ์ Switching Capacitor ระบบ 22/33 kV อุปกรณ์ Circuit Switcher ระบบ 115 kV และอุปกรณ์ Recloser ระบบ 22/33 kV

2. ความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

เพื่อให้สามารถยกระดับกลยุทธ์การบำรุงรักษาอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอนเป็นเชิงสภาพและเปรียบเทียบได้ในระดับนานาชาติ ทำให้งานวิจัยนี้มีการประยุกต์ใช้กระบวนการและเครื่องมือที่เป็นมาตรฐานสากลที่มีใช้อยู่ภายในหน่วยงานการไฟฟ้าระดับนานาชาติ ดังนั้น ในส่วนนี้จะได้อธิบายถึงทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ โดยเฉพาะความรู้พื้นฐานในการเฝ้าระวังสภาพ และแนวการประเมินสภาพและความเสี่ยงจากการชำรุดของอุปกรณ์ตาม Common Network Asset

Index Methodology (CNAIM) ที่ถูกบังคับใช้กับหน่วยงานการไฟฟ้าระดับจำหน่ายในสหราชอาณาจักร

2.1 เทคนิคและเทคโนโลยีการเฝ้าระวังสภาพอุปกรณ์ไฟฟ้า

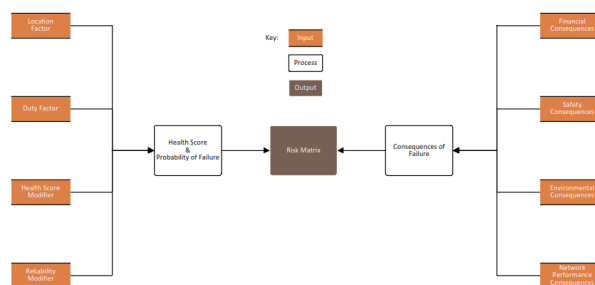
เทคโนโลยีการเฝ้าระวังสภาพ (Condition Monitoring Technology) เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยในการเก็บข้อมูลตามช่วงเวลาหรืออย่างต่อเนื่องที่บ่งชี้ถึงสัญญาณสำคัญ (Vital Sign) จากการทำงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า โดยการเฝ้าระวังสภาพ (Condition Monitoring) นับได้ว่าเป็นหนึ่งในเทคนิคการบริหารจัดการสินทรัพย์ระบบไฟฟ้าที่สำคัญที่มีจุดมุ่งหมายในการตรวจพบความเปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะมากหรือน้อยในการทำงานของอุปกรณ์ ทำให้สามารถระบุถึงความผิดปกติ คาดการณ์ความเป็นไปได้และป้องกันการชำรุด และประมาณการอายุการใช้งานที่เหลืออยู่จากสภาพในปัจจุบัน โดยทั่วไปแล้ว ในปัจจุบัน เทคนิคการเฝ้าระวังสภาพ (Condition Monitoring) ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายกับอุปกรณ์จำพวก Transformer อุปกรณ์ Generator อุปกรณ์ Induction Motors และอุปกรณ์ Circuit Breaker เป็นส่วนใหญ่ โดยตัวแปรที่มักจะถูกเฝ้าระวังและเก็บค่าเพื่อเฝ้าระวังสภาพในระบบจำหน่ายไฟฟ้า ได้แก่ ตัวแปร Temperature ตัวแปร Vibration ตัวแปร Torque ตัวแปร Partial Discharge ตัวแปร Moisture และตัวแปร Gas Dissolved in Oil เป็นต้น ในแง่ของการทำงานแล้วอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอน (รวมถึงอุปกรณ์ที่ถูกนำมาใช้เป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ อุปกรณ์ Recloser อุปกรณ์ Load Break Switch อุปกรณ์ Circuit Switcher และอุปกรณ์ Switching Capacitor) ก็มีความสำคัญและส่งผลอย่างสูงต่อความมั่นคงของระบบจำหน่ายไฟฟ้า ทำให้ก็เป็นโอกาสเช่นเดียวกันในการนำเทคนิคการเฝ้าระวังสภาพมาใช้กับอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอนในระบบจำหน่ายไฟฟ้า

การค้นพบความรู้ใหม่ (Knowledge Discovery) นับได้ว่าเป็นผลลัพธ์ส่วนหนึ่งที่สำคัญในการประเมินสภาพของ

อุปกรณ์แบบอัตโนมัติโดยใช้เทคนิคการสร้างเหมืองข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล (Data Mining and Analytics) และการสังเคราะห์ข้อมูลอย่างเป็นระบบที่มีโครงสร้าง เช่น กฎเกณฑ์ (Rule Based) เป็นต้น และนำความรู้ใหม่นี้เข้าไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของระบบช่วยในการตัดสินใจ (Decision Support System) ในการประเมินสภาพของอุปกรณ์ เป็นการช่วยแก้ปัญหาของหน่วยงานการไฟฟ้าที่พบว่ามีปริมาณข้อมูลที่เก็บรวบรวมมาได้สำหรับการประเมินสภาพอุปกรณ์อย่างมหาศาล แต่ผู้ปฏิบัติงานที่มีความเชี่ยวชาญที่สามารถนำข้อมูลเหล่านั้นมาใช้ประโยชน์ได้น้อยและจะน้อยลงเรื่อยๆ เนื่องจากการเกษียณอายุและไม่สามารถสร้างบุคลากรรุ่นใหม่ขึ้นมาได้ทัน ทำให้ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยีการเฝ้าระวังสภาพที่ลงทุนไปแล้วได้อย่างเต็มที่ โดยได้มีการนำเสนอเทคนิคใหม่ในการเฝ้าระวังเพื่อประเมินสภาพอุปกรณ์

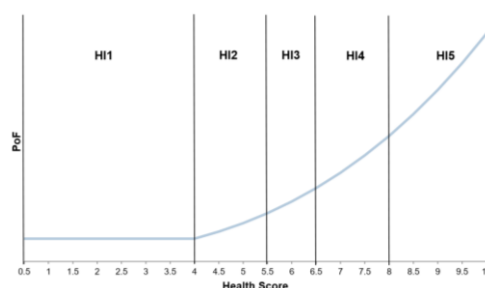
2.2 Common Network Asset Indices Methodology (CNAIM)

ในการรายงานความเสี่ยงที่สัมพันธ์กับสินทรัพย์ระบบไฟฟ้าภายใต้กรอบ CNAIM นั้น จะเริ่มจากการวิเคราะห์ประเมินสภาพของสินทรัพย์ (Asset Health) ซึ่งรวมไปถึงการประมาณการอายุการใช้งานที่เหลือ (Proximity to the End of its Useful Life) จากนั้น ในทางปฏิบัติแล้ว เมื่อสินทรัพย์ระบบไฟฟ้ามีการชำรุด ย่อมจะมีผลกระทบจากการชำรุดของสินทรัพย์นั้นตามมาด้วย เช่น ผลกระทบต่อผู้ใช้ไฟ เกิดการบาดเจ็บ ซึ่งผลกระทบต่างๆ เหล่านี้ มักจะถูกประเมินในรูปแบบของผลกระทบที่เกิดจากการชำรุด (Consequence of Failure หรือ CoF) และเช่นเดียวกันกับข้างต้น ภายใต้กรอบ CNAIM มีการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบที่เกิดจากการชำรุด (CoF) กับความวิกฤตของสินทรัพย์ (Criticality) ทำให้ในท้ายที่สุดแล้ว กฟผ. สามารถประเมินความเสี่ยงที่สัมพันธ์กับสภาพของสินทรัพย์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการประเมินความเสี่ยงที่สัมพันธ์กับสภาพของสินทรัพย์ตามกรอบ CNAIM

รูปที่ 1 แสดงกระบวนการประเมินความเสี่ยงที่สัมพันธ์กับสภาพของสินทรัพย์ (Risk) ตามกรอบ CNAIM ที่เป็นผลรวมของการประเมินสภาพของสินทรัพย์จากการติดตั้งและใช้งาน (Asset Health) และผลกระทบจากการชำรุดของสินทรัพย์ (Consequence of Failure) ในการประเมินสภาพของสินทรัพย์ (Asset Health) นั้น กระบวนการ CNAIM แนะนำให้ครอบคลุมทั้งสภาพของสินทรัพย์ในปัจจุบัน (Current Asset Health) และประมาณการสภาพสินทรัพย์ในอนาคต (Future Asset Health) ซึ่งโดยหลักการแล้วเมื่อมีการติดตั้งและใช้งานสินทรัพย์ในระบบไฟฟ้า จะมีการชำรุดเสื่อมสภาพส่งผลให้ออกาสในการชำรุดที่สัมพันธ์กับสภาพของสินทรัพย์นั้นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทำให้ภายใต้กรอบ CNAIM มีการเชื่อมโยงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพของสินทรัพย์ (Asset Health) กับความน่าจะเป็นในการทำงานจากสภาพของสินทรัพย์ (Probability of Condition-Based Failure หรือ PoF) ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่าง Health Score, Health Index Band และ PoF

รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Health Score, Health Index Band และ PoF จากนั้น เพื่อให้หน่วยงานสามารถตัดสินใจได้อย่างเหมาะสม ทำให้กรอบ CNAIM มีการประเมินผลกระทบจากการชำรุดของสินทรัพย์ระบบไฟฟ้า (CoF) ภายใต้กรอบ CNAIM แนะนำให้คำนึงถึงผลกระทบ 4 ด้าน (หรืออาจจะใช้บางด้านที่เป็นจุดเน้นของหน่วยงานในขณะนั้น) ได้แก่

- ผลกระทบทางการเงิน (Financial Impact) หรือค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมบำรุงรักษา หรือเปลี่ยนทดแทนอุปกรณ์จากการชำรุดเสียหาย
- ผลกระทบทางด้านความปลอดภัย (Safety Impact) หรือค่าใช้จ่ายที่เป็นสินไหมทดแทนจากอุบัติเหตุ
- ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact) หรือค่าใช้จ่ายในการฟื้นฟูสภาพแวดล้อม
- ผลกระทบทางด้านสมรรถนะหรือประสิทธิภาพของระบบ (Network Performance Impact) หรือค่าเสียโอกาสจากการที่ระบบจำหน่ายไม่สามารถทำงานได้

โดยในการประเมินผลกระทบจากการชำรุดของสินทรัพย์ระบบไฟฟ้า (CoF) นั้น กระบวนการ CNAIM แนะนำให้มีการคำนวณให้อยู่ในรูปของตัวเงิน (Monetised Value) ในแต่ละด้านให้ได้ เพื่อให้เห็นขนาด (Scale) ของผลกระทบที่จะเกิดกับการดำเนินธุรกิจ และเมื่อนำไปตัดสินใจรวมกับ PoF ก็จะทำให้หน่วยงานเข้าใจถึงขนาดของความเสียหาย (Risk Value) ดังนั้นจำเป็นต้องมีการคำนวณหรือกำหนดค่าใช้จ่ายอ้างอิง (Reference Cost) สำหรับสินทรัพย์ระบบไฟฟ้าแต่ละประเภท ซึ่งโดยทั่วไปแล้วมักจะมาจากประสบการณ์ในอดีตที่ผ่านมาของแต่ละหน่วยงานการไฟฟ้า

3. แนวทางการประเมินสภาพอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอนในระบบไฟฟ้าของ กฟภ.

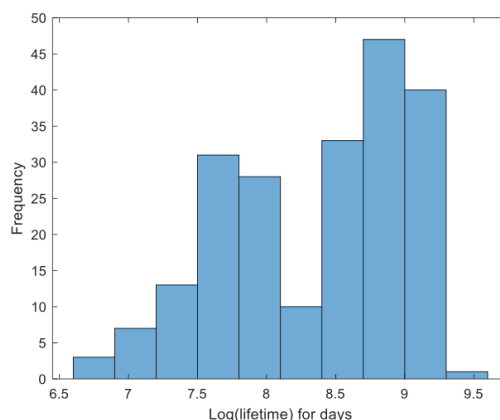
ในส่วนที่ผ่านมาได้อธิบายถึงความรู้พื้นฐานและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้โดยเฉพาะเทคโนโลยีการเฝ้าระวังสภาพอุปกรณ์ไฟฟ้าและแนวทางการประเมินสภาพอุปกรณ์ CNAIM

ดังนั้นในส่วนนี้จะได้อธิบายถึงแนวทางการประเมินสภาพอุปกรณ์ที่คณะผู้วิจัยได้ออกแบบไว้สำหรับทดสอบกับชุดข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอนในระบบจำหน่ายของ กฟภ.

จากการทบทวนแหล่งที่มาข้อมูลอุปกรณ์และการดำเนินการ Data Cleansing and Preprocessing เพื่อเตรียมความพร้อมชุดข้อมูลสำหรับการประเมินสภาพ เนื่องจากลักษณะของข้อมูลอุปกรณ์ในปัจจุบันที่ไม่ครบถ้วนและมีประเด็นเรื่องคุณภาพของข้อมูลผลกระทบและความเสี่ยงที่สัมพันธ์กับการชำรุดของอุปกรณ์ตามแนวทาง CNAIM โดยแนวทางการประเมินและผลการประเมินสภาพอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอนในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟภ. ผู้วิจัยได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ Lifetime Analysis, Anomaly Detection และ CNAIM

3.1 Lifetime Analysis

เป็นที่เข้าใจตรงกันว่าอีกหนึ่งเป้าหมายที่สำคัญของการยกระดับการบำรุงรักษาอุปกรณ์ไปสู่การบำรุงรักษาเชิงสภาพและความเสี่ยง คือความสามารถในการประเมินช่วงเวลาก่อนที่อุปกรณ์จะชำรุด โดยปกติทั่วไปแล้วในการแสดง Lifetime/Time to Failure รูปแบบหนึ่งที่มีจะถูกนำมาใช้ได้แก่ Histogram เพื่อแสดงถึงการกระจายตัวของอายุการใช้งาน ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ตัวอย่างอายุการใช้งานของอุปกรณ์ในรูปแบบ Histogram

รูปที่ 3 แสดงตัวอย่าง Histogram ที่แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของอายุการใช้งานของอุปกรณ์ โดยแกน “x” แสดงค่าอายุการใช้งานเป็นวัน (Lifetime) ในรูปแบบของ Logarithm และในแกน “y” แสดงจำนวนอุปกรณ์ที่อยู่ในแต่ละช่วงอายุการใช้งาน ซึ่งสาเหตุที่เลือกใช้การแสดงอายุการใช้งานของอุปกรณ์ในรูปแบบของ Logarithm เนื่องจากความต้องการในการแปลงค่าให้อยู่ในรูปแบบที่สื่อความหมายและไม่ติดข้อจำกัดในเรื่องของค่าตัวแปรที่อาจจะติดลบ โดยปกติทั่วไปแล้วการสร้างแบบจำลองอายุการใช้งานของอุปกรณ์มักจะนิยมใช้ Weibull Distribution ที่อยู่บนสมมุติฐานว่าการกระจายตัวของข้อมูลจะมีแบบเดียว อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติแล้วมักจะไม่เป็นเช่นนั้นโดยเฉพาะกับอุปกรณ์ที่มีความหลากหลายในเชิงคุณลักษณะอย่างที่ได้แสดงให้เห็นในรูปที่ 3 ที่การกระจายตัวของข้อมูลอายุการใช้งานของอุปกรณ์แสดงให้เห็น 2 ยอดที่อาจจะสื่อให้เห็นถึงรูปแบบการชำรุด 2 รูปแบบ ดังนั้นจากการวิเคราะห์การกระจายตัวของอายุการใช้งานของอุปกรณ์ที่แสดงให้เห็นในรูปที่ 3 ข้างต้น คณะนักวิจัยจึงได้พัฒนาแบบจำลองอายุการใช้งานของอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอนในระบบจำหน่ายของ กฟภ. ด้วยแบบจำลอง Gaussian Mixture Model (GMM) ดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2)

$$f(x) = \sum_{i=1}^K \varphi_i \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^K |\sigma_i|}} \exp \left(-\frac{1}{2} (x - \mu_i)^T \sigma_i^{-1} (x - \mu_i) \right) \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^K \varphi_i = 1 \quad (2)$$

โดยที่ φ_i แสดง the proportion of the components

σ_i แสดง the variance

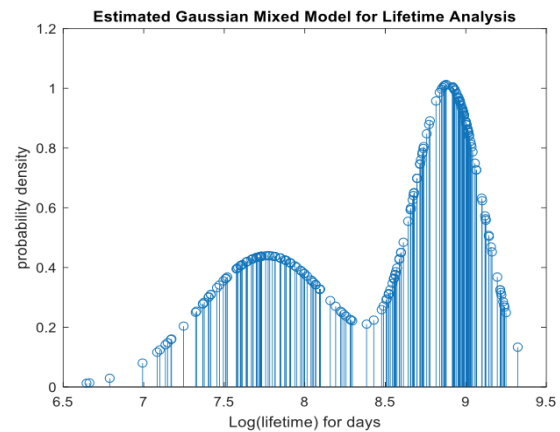
μ_i แสดง the mean

x แสดง the input lifetime (in this case, transformed into log space)

$f(x)$ แสดง the probability density

K แสดง the number of mixture components used to achieve a good fit

โดยเมื่อใช้แบบจำลองอายุการใช้งานของอุปกรณ์ที่แสดงไว้ในสมการที่ (1) และ (2) กับข้อมูลอุปกรณ์ชุดเดียวกับที่แสดงในรูปที่ 3 ก็จะได้รูปแบบของ Probability Density ของอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอนในระบบจำหน่ายของ กฟภ. ดังแสดงในรูปที่ 4



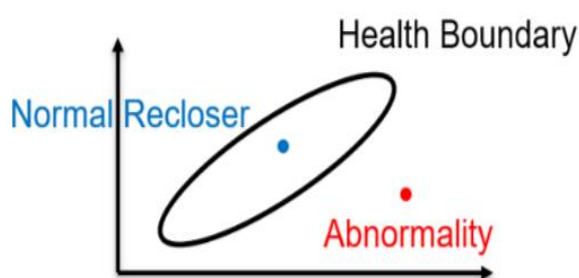
รูปที่ 4 Probability Density Distribution ของอายุการใช้งาน (Logarithm) ด้วย GMM

รูปที่ 4 แสดง Probability Density Distribution ของอายุการใช้งาน (Logarithm) ด้วย GMM ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเลือกพัฒนาแบบจำลองเพื่อระบุอายุการใช้งานของอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอนในระบบจำหน่ายไฟฟ้าของ กฟภ. ด้วยการใช้ Gaussian Mixture Model สามารถสื่อถึงการกระจายตัวในทางปฏิบัติได้มากกว่า Weibull Distribution

3.2 Correlation Analysis

ในการยกระดับให้เป็นการบำรุงรักษาเชิงสภาพของอุปกรณ์นั้น ส่วนหนึ่งที่หลีกเลี่ยงไม่ได้คือการระบุถึงสภาพของอุปกรณ์ในช่วงเวลานั้น ทำให้ กฟภ. จำเป็นต้องทราบถึงปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการชำรุด (Key Failure Drivers) และค่าการทดสอบที่จะช่วยบ่งชี้ถึงการชำรุดที่มีแนวโน้มที่จะเกิดขึ้น (Impending Failures) และช่วงเวลาก่อนที่จะชำรุด (Associated Time to Failure) เพื่อทำให้สามารถกำหนด Boundary ที่บ่งชี้สภาพที่ดีและที่ชำรุดได้

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์การวิเคราะห์ Correlation Analysis เพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลและสภาพของอุปกรณ์ กล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าการเฝ้าระวังการเปลี่ยนแปลงของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่สำคัญจะทำให้ กฟภ. สามารถแยกแยะสภาพของอุปกรณ์ที่ยังดีอยู่และแนวโน้มการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ที่จะส่งผลต่อการชำรุดในอนาคต โดยผลลัพธ์ของแบบจำลองจะทำให้สามารถกำหนดขอบเขตที่แสดงถึงสภาพอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 5

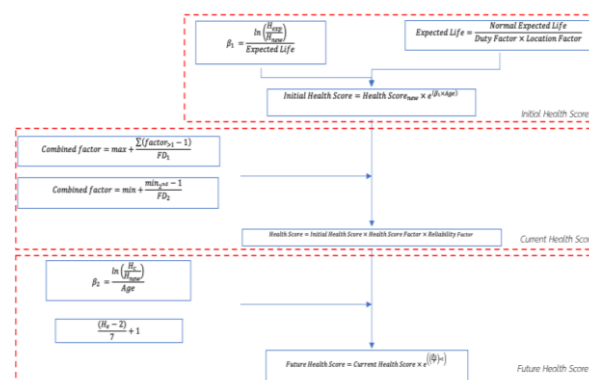


รูปที่ 5 Boundary สำหรับการเฝ้าระวังจากการวิเคราะห์ Correlation Analysis

รูปที่ 5 แสดงการเฝ้าระวังแนวโน้มการชำรุดของอุปกรณ์ จากความสัมพันธ์ที่เปลี่ยนแปลงไปของชุดข้อมูลที่นำมา วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ ดังนั้น ถ้าสามารถกำหนดขอบเขตที่เหมาะสมของความสัมพันธ์ที่ระบุถึงสภาพที่ดีของอุปกรณ์ได้ จะทำให้ กฟภ. สามารถระบุอุปกรณ์ที่ไม่ชำรุด (สภาพดี) อุปกรณ์ที่ชำรุด และอุปกรณ์ที่มีแนวโน้มว่าจะชำรุด และสามารถกำหนดแนวทางในการจัดกิจกรรมบำรุงรักษาได้อย่างเหมาะสม

3.3 CNAIM Analysis

การประเมินสภาพอุปกรณ์ ป้องกันและตัดตอนในระบบจำหน่ายของ กฟภ. งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์แนวทางการประเมิน CNAIM ของสหราชอาณาจักร ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ขั้นตอนและสมการในการคำนวณค่าบ่งชี้สภาพตามแนวทาง CNAIM

รูปที่ 6 แสดงขั้นตอนและสมการในการคำนวณค่าบ่งชี้สภาพตามแนวทาง CNAIM ตั้งแต่การคำนวณเพื่อให้ทราบถึงค่าบ่งชี้สภาพของอุปกรณ์เบื้องต้นที่อยู่บนพื้นฐานของอายุ (Initial Health Score) การคำนวณค่าบ่งชี้สภาพของอุปกรณ์ที่สะท้อนถึงลักษณะการติดตั้งใช้งานจริง (Current Health Score) โดยการปรับตามค่าตัวแปร Observed and Measured Condition และจากนั้นคำนวณค่าบ่งชี้สภาพของอุปกรณ์ในอนาคต (Future Health Score) ที่สะท้อนถึงการเสื่อมสภาพจากการติดตั้งใช้งาน

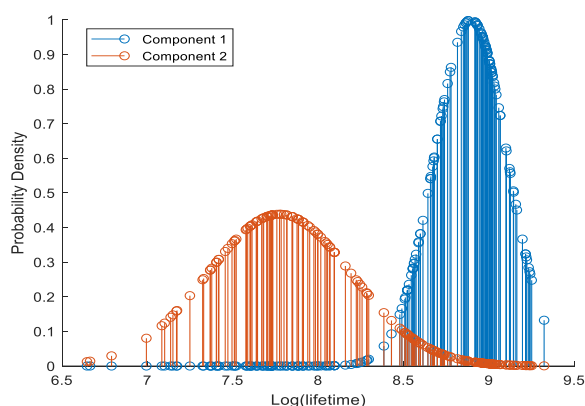
4. ผลลัพธ์การประเมินสภาพอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอนในระบบไฟฟ้าของ กฟภ.

ในส่วนที่ผ่านมา (ส่วนที่ 3) ได้อธิบายถึงแนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลอุปกรณ์ที่ถูกออกแบบมาสำหรับงานวิจัยนี้เพื่อให้ กฟภ. สามารถยกระดับกลยุทธ์การบำรุงรักษาอุปกรณ์เป็น การบำรุงรักษาเชิงสภาพได้ ดังนั้นในส่วนนี้ คณะผู้วิจัยจะได้นำเสนอผลลัพธ์การประเมินตามกรอบดังกล่าวข้างต้น

4.1 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ Lifetime Analysis

จากแนวทางการประเมินอายุการใช้งานอุปกรณ์ Recloser ที่ได้อธิบายไว้ในส่วนที่แล้วที่พัฒนาขึ้นด้วยการประยุกต์ใช้ Gaussian Mixture Model (GMM) ที่แสดงด้วย

สมการ (1) และ (2) ทำให้ได้ผลลัพธ์การประเมินอายุการใช้งานของอุปกรณ์ Recloser ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 Estimated Probability Density Distribution of Individual Recloser ด้วย GMM

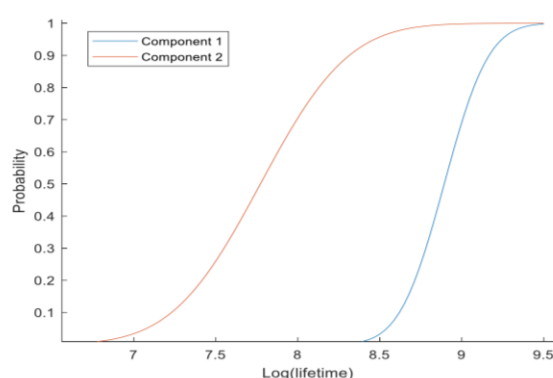
รูปที่ 7 แสดงผลการประเมินอายุการใช้งานอุปกรณ์ด้วยสมการ (1) และ (2) กับข้อมูลอุปกรณ์ Recloser ของ กฟภ. ที่ผ่านการดำเนินการ Data Cleansing and Preprocessing ที่ได้แสดงไว้ในขั้นตอนที่ผ่านมา จากรูปที่ 7 จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์การวิเคราะห์แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัว (Distribution) ของข้อมูลอยู่ 2 ชุดข้อมูล โดย Component 1 คือสาเหตุชำรุดจากชิ้นส่วนอุปกรณ์หลัก (ค่ากลาง $d_m = 8.8933$) และ Component 2 อาการชำรุดจากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (ค่ากลาง $d_m = 7.7723$) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่าชุดข้อมูลอุปกรณ์ Recloser แสดงให้เห็นถึงอายุการใช้งานของอุปกรณ์ Recloser อยู่ 2 ช่วงเวลา เมื่อทำการแปลงค่าให้ได้ Mean-Time-To-Failure (MTTF) ด้วยสมการ (3)

$$MTTF = \frac{e^{d_m}}{365} \quad (3)$$

จากสมการ (3) ที่แสดงข้างต้น เมื่อทำการแปลง Estimated Probability Density Distribution ในรูปที่ 7 ที่แสดงอายุการใช้งานอุปกรณ์ในรูปแบบของ Logarithm ให้เป็น MTTF ที่แสดงในอายุการใช้งานของอุปกรณ์ในรูปแบบของวันด้วยสมการที่ (3) ทำให้ได้ค่าประมาณ 2,374 วัน และ

7,283 วัน ตามลำดับ จากนั้นเมื่อทำการแปลงเป็นจำนวนปีก็จะได้อยู่ที่ประมาณ 6.5 ปี และ 19.95 ปี อย่างที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น

จากนั้น เพื่อให้สามารถคาดการณ์การชำรุดของกลุ่มอุปกรณ์ Recloser ได้ดีขึ้น คณะนักวิจัยได้นำข้อมูลชุดเดียวกันกับที่แสดงไว้ในรูปที่ 7 ผ่านมาแสดงในรูปแบบของ Cumulative Distribution Function (CDF) ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้และสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 Estimated Cumulative Distribution Function ของแต่ละกลุ่มอุปกรณ์ Recloser ตาม GMM

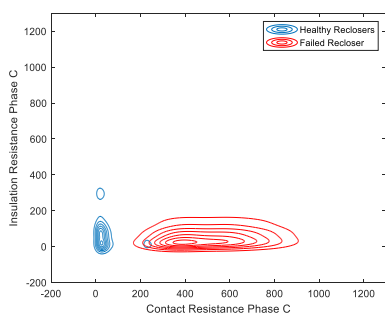
รูปที่ 8 แสดงผลลัพธ์การประเมิน Estimated Cumulative Distribution Function ของกลุ่มอุปกรณ์ Recloser จำนวน 2 กลุ่มอุปกรณ์ที่ได้จากการประเมินด้วย Gaussian Distribution ในขั้นตอนก่อนหน้านี้ จากรูปจะเห็นได้ว่าโอกาสในการชำรุด (Failure Probability) ของกลุ่มอุปกรณ์ Recloser (Component 2) จะเพิ่มขึ้นเร็วกว่ากลุ่มอุปกรณ์ Recloser (Component 1) โดยเมื่อแบ่งระดับเป็น 5% และ 95% การชำรุดสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงช่วงเวลา (ปี) ที่จำนวนอุปกรณ์ Recloser จะชำรุด 5% และ 95% ของจำนวนอุปกรณ์ด้วย GMM

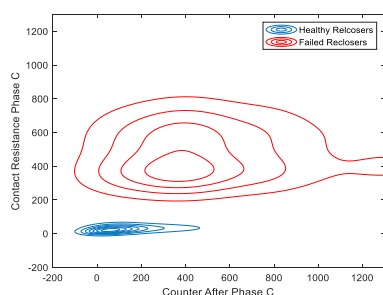
Confidence (Years)	Component 1	Component 2
5% Failure Time	3.24	14.05
95% Failure Time	13.04	28.34

4.2 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ Correlation Analysis

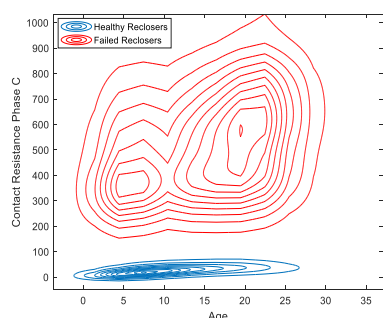
เมื่อนำแนวคิดการวิเคราะห์ Correlation Analysis ที่ได้อธิบายไว้ข้างต้นมาแปลงให้อยู่ในรูปของ Contour เพื่อดูความเป็นไปได้ในการกำหนดตัวแปรเพื่อใช้ในการเฝ้าระวังสภาพของอุปกรณ์ Recloser ของ กฟภ. จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 9



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 9 Contour ข้อมูลอุปกรณ์ Recloser ที่ไม่ชำรุดและชำรุด สำหรับแต่ละคู่ตัวแปร

จากรูปที่ 9 แสดง Contour หรือความหนาแน่นของข้อมูลอุปกรณ์ Recloser ที่ชำรุดและไม่ชำรุดของ กฟภ. สำหรับแต่ละคู่ตัวแปร (จากการทำ Correlation Analysis) ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าสำหรับอุปกรณ์ Recloser ของ กฟภ.

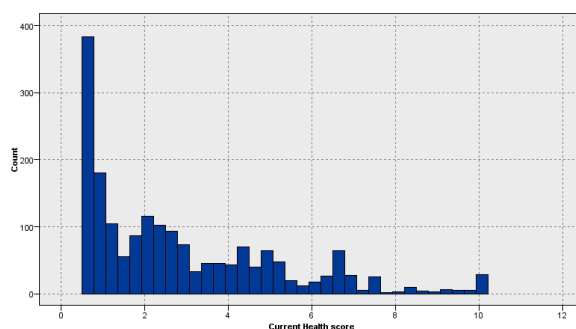
แล้วนั้น ค่า Contact Resistance นับได้ว่าเป็นตัวแปรที่สำคัญมากที่สุดที่สามารถนำมาใช้ในการเฝ้าระวังสภาพและบ่งชี้แนวโน้มการชำรุด ซึ่งจากการวิเคราะห์ในรูปที่ 9 เบื้องต้นสามารถระบุได้ถึงเงื่อนไขการชำรุดได้ 3 เงื่อนไข ได้แก่

- เงื่อนไขที่ 1: ถ้า Contact Resistance มีค่ามากกว่า $200\ \mu\Omega$ และ Insulation Resistance มีค่าประมาณ $10\ k\Omega$ อุปกรณ์ Recloser อาจจะมีแนวโน้มทำงานผิดปกติ
- เงื่อนไขที่ 2: ถ้า Contact Resistance มีค่ามากกว่า $200\ \mu\Omega$ และจำนวน Counter มากกว่า 400 ครั้ง อุปกรณ์ Recloser อาจจะมีแนวโน้มทำงานผิดปกติ
- เงื่อนไขที่ 3: ถ้า Contact Resistance มีค่ามากกว่า $200\ \mu\Omega$ และ อายุของอุปกรณ์ Recloser อยู่ที่ประมาณ 6 ปี หรือประมาณ 20 ปี อุปกรณ์ Recloser อาจจะมีแนวโน้มทำงานผิดปกติ

จากผลลัพธ์ข้างต้น ทำให้สามารถประยุกต์นำเงื่อนไขดังกล่าวมาประเมินการคำนวณสภาพรีโคลเซอร์ของ กฟภ. ในรูปแบบการประเมินของ CNAIM ได้

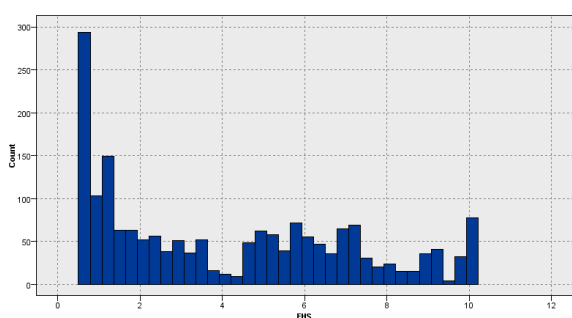
4.3 ผลลัพธ์การวิเคราะห์ CNAIM Analysis

เมื่อทำการประมวลผล CNAIM Analysis ตามแบบจำลองที่ได้อธิบายไว้ในส่วนที่ผ่านมา ทำให้ได้ค่าบ่งชี้สภาพของกลุ่มอุปกรณ์ Recloser ของ กฟภ. ในปัจจุบันและในอนาคต (ในกรณีนี้คือ 10 ปีข้างหน้า) ได้ดังแสดงในรูปที่ 10 และ 11 ตามลำดับ



รูปที่ 10 ข้อมูลค่าบ่งชี้สภาพของอุปกรณ์ Recloser ของ กฟภ. ในปัจจุบัน

จากรูปจะเห็นได้ว่าจากชุดข้อมูลอุปกรณ์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน สามารถแสดงให้เห็นได้ว่าสภาพของอุปกรณ์ Recloser ของ กฟภ. ในปัจจุบัน (Current Health Score) ยังนับได้ว่าส่วนใหญ่ยังมีสภาพการใช้งานที่ยังดีอยู่ (ช่วง 0.5-5) และมีบางส่วนที่เริ่มจะเสื่อมสภาพและมีแนวโน้มที่จะเกิดการชำรุด (ช่วง 5-10) ที่ กฟภ. จำเป็นต้องเฝ้าระวังและตัดสินใจในการจัดกิจกรรมบำรุงรักษาหรือเปลี่ยนทดแทนในบางส่วน หลังจากมีการนำแบบจำลองการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์จากการติดตั้งใช้งานเข้ามาเพื่อปรับค่าบ่งชี้สภาพตามช่วงระยะเวลาที่ต้องการคาดการณ์ไปในอนาคต (Prognostic)



รูปที่ 11 ข้อมูลค่าบ่งชี้สภาพของอุปกรณ์ Recloser ของ กฟภ. ในอนาคต (10 ปีข้างหน้า)

จากรูปที่ 11 จะเห็นได้ว่าจำนวนอุปกรณ์จะเริ่มทยอยเสื่อมสภาพมากขึ้น แสดงให้เห็นจำนวนของอุปกรณ์ Recloser ของ กฟภ. ที่จำเป็นต้องเพิ่มกิจกรรมการเฝ้าระวังการบำรุงรักษา และการเปลี่ยนทดแทนมากขึ้นในอีก 10 ปีข้างหน้า

5. สรุป

งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการนำหลักการบริหารจัดการสินทรัพย์ระบบไฟฟ้าเข้ามาใช้กับอุปกรณ์ป้องกันและตัดตอนในระบบจำหน่ายของ กฟภ. โดยประยุกต์ใช้กรอบการประเมินเทียบเท่าสากล CNAIM ร่วมกับการใช้เทคนิค Data Analytics และ Big Data กับชุดข้อมูลของอุปกรณ์ดังกล่าว ซึ่งจากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าเทคนิคที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถประเมินสภาพ รวมไปถึงความเสี่ยงที่เกิดจากการชำรุดของอุปกรณ์ นอกจากนั้นผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นว่า กฟภ. สามารถยกระดับกลยุทธ์ในการบำรุงรักษาจากการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขและเชิงป้องกันที่

เป็นอยู่ในปัจจุบัน ให้เป็นการบำรุงรักษาเชิงสภาพได้ ดังที่แสดงให้เห็นในการวิเคราะห์ Anomaly Detection อย่างไรก็ดีเพื่อให้ กฟภ. สามารถยกระดับกลยุทธ์การบำรุงรักษาได้อย่างต่อเนื่องและมีการบริหารจัดการสินทรัพย์ระบบไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ กฟภ. จำเป็นต้องมีการจัดการชุดข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ให้มีความครบถ้วนและถูกต้อง

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. L. Myer, "Parametric oscillators and nonlinear materials," in *Nonlinear Optics*, vol. 4, P. G. Harper S. and B. Wherret, Eds. San Francisco, CA: Academic, 1977, pp. 47-160.
- [2] A Nesbitt et al. (2012), "Substation surveillance using RFI and complementary EMI detection methods", IEEE Transmission and Distribution Conference and Exposition, Orlando, US, 2012
- [3] British Columbia Transmission Corporation, "Introduction and Context for the Baseline Study", April, 2005
- [4] C Walton et al., "Avoidance of MV Switchgear failure case studies of on-line condition monitoring", 20th International Conference on Electricity Distribution (CIRED), Paper 0442, Prague, 2009
- [5] Erie Thames Powerlines, "Asset Condition Assessment and Asset Management Plan", November, 2011
- [6] S Alaswad and Y Xiang, "A Review on Condition-Based Maintenance Optimization Models for Stochastically Deteriorating System", Journal of Reliability Engineering and System Safety, pp. 54-63, 2017
- [7] S Khan and T Yairi, "A Review on the Application of Deep Learning in System Health Management", Journal of Mechanical System and Signal Processing, pp. 241-265, 2018