

การจัดลำดับความเร่งด่วนในการดูแลระบบไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้กับลูกค้ารายสำคัญของ กฟผ. ด้วยกระบวนการ Data Analytics โดยแสดงผลผ่านระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS)

นายภัทรวิทย์ กิจวรวิทย์¹, นายกฤษฎา กลีบเมฆ²

¹กองวิศวกรรมและวางแผน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 ภาคใต้ จ.เพชรบุรี micpqc1@gmail.com

²กองวิศวกรรมและวางแผน การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 ภาคใต้ จ.เพชรบุรี kkm005@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเทคนิคการจัดลำดับความเร่งด่วนในการดูแลระบบไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้กับลูกค้ารายสำคัญของ กฟผ. ด้วยกระบวนการ Data Analytics โดยแสดงผลผ่านระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) ของ กฟผ. ด้วยการนำข้อมูลต่างๆ ได้แก่ ข้อมูลสารสนเทศระบบไฟฟ้าทางภูมิศาสตร์ (GIS) ของ กฟผ., ระบบบริหารจัดการไฟฟ้าขัดข้อง (OMS) [1], ข้อมูลลูกค้ารายสำคัญ เป็นต้น นำมาวิเคราะห์ด้วยหลักการ Risk Assessment ที่กำหนดค่า Critical Factor ในเบื้องต้นจำนวน 2 ปัจจัย ได้แก่ 1) สถิติไฟฟ้าดับ (Interruption), 2) ค่าปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ไม่สามารถจ่ายไฟได้ (Energy Not Supplied: ENS) [2] แล้วนำมาผ่านกระบวนการ Data Analytic ด้วยกระบวนการ Data Analytics ด้วยวิธี K-mean Clustering [3] เพื่อจัดลำดับความเร่งด่วนในการดูแลระบบไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้กับลูกค้ารายสำคัญของ กฟผ. จากนั้นแสดงผลในรูปแบบแผนที่ ผ่านระบบ PEA GIS PORTAL ผลการวิเคราะห์พบว่าสามารถจัดความเร่งด่วนได้ออกเป็น 4 กลุ่ม (4 Cluster) ซึ่ง กฟผ. ในพื้นที่รับผิดชอบ สามารถนำไปใช้วางแผนการตรวจสอบ หรือบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า เพื่อเพิ่มความมั่นคงของระบบไฟฟ้าของ กฟผ. สร้างความพึงพอใจกับลูกค้ารายสำคัญ และลดโอกาสที่ผู้ใช้ไฟฟ้ารายสำคัญอาจเปลี่ยนไปรับซื้อกระแสไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (Small Power Producer: SPP) แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ของบทความจะประเมินเฉพาะมิติด้านความมั่นคงของระบบไฟฟ้าเท่านั้น จึงควรพิจารณาพร้อมกับปัจจัยอื่นๆ เช่น ข้อร้องเรียน หรือปัญหาการให้บริการด้านอื่นๆ เป็นต้น

คำสำคัญ: ไฟดับ, GIS, ENS, K-mean Clustering

1. บทนำ

กฟผ. มีหน้าที่ในการจัดหาและให้จำหน่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับลูกค้าใน 74 จังหวัด คิดเป็นร้อยละ 99 ของพื้นที่ประเทศไทย จากเดิมส่วนใหญ่จะเป็นรูปแบบผูกขาด

(Monopoly) [4] ยกเว้นผู้ใช้ไฟฟ้าบางรายที่รับซื้อกระแสไฟฟ้าจากผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (SPP) เช่น กลุ่มโรงงานที่อยู่ในพื้นที่นิคมอุตสาหกรรม เป็นต้น แต่ในอนาคตประเทศไทยมีแนวโน้มสูงที่จะมีการปฏิรูปด้านพลังงาน อาจเกิดผู้ผลิตไฟฟ้ารายอื่นๆ เข้ามาร่วมแข่งขันด้านการผลิต, การส่ง และการจำหน่ายพลังงานไฟฟ้า รวมถึงเกิดการซื้อขายไฟฟ้าเสรี ซึ่งส่งผลกระทบต่อการทำงานของ กฟผ. อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ โดย กฟผ. มีความจำเป็นที่จะต้องปรับตัวและรองรับผลกระทบดังกล่าว รวมถึงการปรับปรุงกระบวนการภายในของ กฟผ. ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น รวมถึงการรักษาฐานลูกค้าโดยเฉพาะลูกค้ารายสำคัญ (Key Account) ในแต่ละพื้นที่ให้บริการ โดยปัจจัยหลักที่ทำให้ลูกค้ารายสำคัญยังคงตัดสินใจรับไฟจาก กฟผ. ได้แก่ ความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้า และคุณภาพไฟฟ้า

ปัจจุบัน กฟผ. มีฐานข้อมูลของระบบงานหลักสำคัญๆ เช่น ข้อมูลสารสนเทศระบบไฟฟ้าทางภูมิศาสตร์ (GIS), ข้อมูลระบบบริหารจัดการไฟฟ้าขัดข้อง (OMS), ข้อมูลลูกค้ารายสำคัญ เป็นต้น หากนำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์ร่วมกันด้วยกระบวนการ Data Analytics เพื่อใช้วางแผนการตรวจสอบ หรือบำรุงรักษาระบบไฟฟ้า เพิ่มความมั่นคงของระบบไฟฟ้าของ กฟผ. สร้างบริการหรือกระบวนการเชิงรุก สร้างความบริการที่เหนือความคาดหวังให้กับลูกค้ารายสำคัญ จะช่วยให้ช่วยลดปัญหาไฟฟ้าขัดข้อง ส่งผลให้ลดปัญหาข้อร้องเรียน เป็นการสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้ารายสำคัญได้ และสร้าง Band Royalty ให้กับ กฟผ.

กลุ่ม JIPATHA-S1 สังกัดการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 1 (ภาคใต้) จ.เพชรบุรี จึงได้จัดทำระบบดูแลลูกค้ารายสำคัญ (PEA Key Account care System: PEA-KAcare) ซึ่งเป็นระบบที่จะรวบรวมข้อมูลต่างๆ ข้างต้น มาวิเคราะห์ผ่านกระบวนการ Data Analytics ด้วยวิธี K-mean Clustering เพื่อจัดลำดับความเร่งด่วนในการดูแลระบบไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้กับลูกค้ารายสำคัญของ กฟผ. จากนั้นแสดงผลในรูปแบบแผนที่ผ่านระบบ PEA GIS PORTAL กฟผ. มีใช้งานอยู่แล้ว

2. ขอบเขตที่ใช้ในการศึกษา

การจัดลำดับความเร่งด่วนในการดูแลระบบไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้กับลูกค้ารายสำคัญในพื้นที่การไฟฟ้าส่วนภูมิภาคเขต 1 (ภาคใต้) จ.เพชรบุรี โดยการวิเคราะห์ผ่านกระบวนการ Data Analytics ด้วยการใช้ข้อมูลสารสนเทศระบบไฟฟ้าทางภูมิศาสตร์ (GIS), ระบบบริหารจัดการไฟฟ้าขัดข้อง (OMS) และข้อมูลลูกค้ารายสำคัญ จากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาจัดลำดับความเร่งด่วนในการดูแลระบบไฟฟ้า ที่จ่ายไฟให้กับลูกค้ารายสำคัญของ กฟภ. โดยใช้หลักการ Risk Assessment [5] เริ่มจากการกำหนดค่า Critical Factor ในเบื้องต้นไว้ 2 ปัจจัย ได้แก่

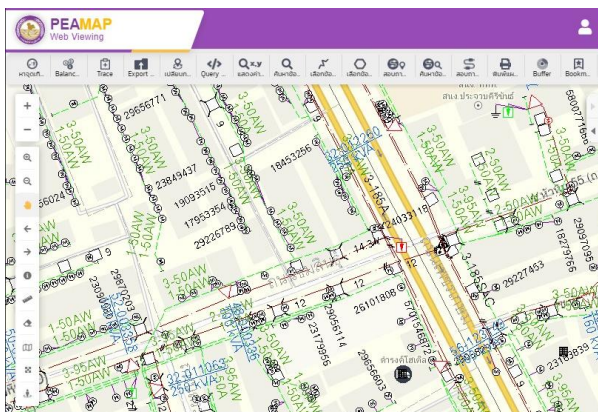
- 1) Interruption คือ สถิติไฟฟ้าดับย้อนหลัง 1 ปี
- 2) ENS คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ไม่สามารถจ่ายไฟได้

จากนั้นนำปัจจัยทั้ง 2 ข้างต้น มาเข้ากระบวนการ Data Analytics เพื่อจัดลำดับความเร่งด่วนในการดูแลระบบไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้กับลูกค้ารายสำคัญ ด้วยวิธี K-means Clustering ที่เป็นเทคนิคการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน (Unsupervised Classification) ในการวิเคราะห์จัดลำดับความเร่งด่วนในการดูแลระบบไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้กับลูกค้ารายสำคัญของ กฟภ. เพื่อเพิ่มความมั่นคงของระบบไฟฟ้าของ กฟภ. สร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้ารายสำคัญ และลดโอกาสที่ผู้ใช้ไฟฟ้ารายสำคัญอาจเปลี่ยนไปรับซื้อกระแสไฟฟ้าจากคู่แข่ง เช่น ผู้ผลิตไฟฟ้าขนาดเล็ก (SPP) เป็นต้น

3. การเตรียมข้อมูลประกอบการวิเคราะห์

3.1 ข้อมูลสารสนเทศระบบไฟฟ้าทางภูมิศาสตร์ (GIS)

กฟภ. มีการสำรวจและจัดเก็บข้อมูลรายละเอียดของอุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ในระบบไฟฟ้าในฐานข้อมูลสารสนเทศระบบไฟฟ้าทางภูมิศาสตร์ (GIS) ได้แก่ หมายเลขมิเตอร์ผู้ใช้ไฟ (Customer Account Number), ขนาดหม้อแปลง, ตำแหน่งของผู้ใช้ไฟฟ้า, พื้นที่การให้บริการของแต่ละการไฟฟ้า (Area Of Jurisdiction : AOJ) เป็นต้น โดยนำข้อมูลข้างต้นมาใช้สำหรับเป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์จัดลำดับความเร่งด่วนในการดูแลระบบไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้กับลูกค้ารายสำคัญของ กฟภ.



รูปที่ 1 ฐานข้อมูลระบบไฟฟ้าใน GIS [6]

CA_NUMBER	ชื่อลูกค้า	ถนน	รหัสเขต	รหัสพื้นที่	KVA	LAT	Lon
20003789267	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	10,130	13.124414	101.674040
20003789203	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	4,130	13.124414	101.674040
20003789499	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	2,500	13.124414	101.674040
20003789203	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	2,500	13.124414	101.674040
20003789490	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	2,500	13.124414	101.674040
20003789945	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	2,000	13.124414	101.674040
20003787093	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	1,250	13.124414	101.674040
20003779980	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	2,500	13.124414	101.674040
20003789950	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	1,800	13.124414	101.674040
20020880548	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	7,300	13.124414	101.674040
20003789994	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	2,500	13.124414	101.674040
20003789909	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	4,100	13.124414	101.674040
20003783252	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	4,000	13.124414	101.674040
20003779475	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	3,500	13.124414	101.674040
20003776255	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	8,000	13.124414	101.674040
20003788549	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	1,500	13.124414	101.674040
20020880550	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	4,800	13.124414	101.674040
20003797992	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	5,500	13.124414	101.674040
20004287414	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	1,300	13.124414	101.674040
20004259505	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	4,000	13.124414	101.674040
20003674956	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	1,800	13.124414	101.674040
20004350841	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	2,500	13.124414	101.674040
20011473565	บริษัท ไทยพาณิชย์ จำกัด	ถนน 1	รหัส เขต	รหัส พื้นที่	630	13.124414	101.674040

รูปที่ 2 ตัวอย่างฐานข้อมูลที่ได้จากระบบ GIS ของ กฟภ.

3.2 ข้อมูลระบบบริหารจัดการไฟฟ้าขัดข้อง (OMS)

กฟภ. มีระบบสำหรับการบริหารจัดการไฟฟ้าขัดข้อง (OMS) แบบครบวงจร ซึ่งมีการจัดเก็บข้อมูลต่างๆ ได้แก่ วันที่/เวลาไฟดับ, ระยะเวลาไฟดับ, รหัสอุปกรณ์ป้องกัน, สาเหตุไฟดับ เป็นต้น โดยนำข้อมูลข้างต้นมาใช้สำหรับเป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์จัดลำดับความเร่งด่วนในการดูแลระบบไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้กับลูกค้ารายสำคัญของ กฟภ.

รูปที่ 3 ฐานข้อมูลในระบบ OMS

รูปที่ 4 ตัวอย่างฐานข้อมูลที่ได้จากระบบ OMS ของ กฟภ.

4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

4.1 K-means Clustering

1) การเลือกค่า k ที่เหมาะสมด้วยวิธี Elbow method และกำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้น k จุด เรียกว่า Cluster centers หรือ centroid โดยค่า k ที่เหมาะสมสามารถหาได้ด้วยวิธี Elbow method [6]

2) นำข้อมูลทั้งหมดจัดเข้ากลุ่ม ด้วยการหาระยะห่างระหว่างข้อมูลกับจุดศูนย์กลาง ซึ่งข้อมูลไหนที่อยู่ใกล้กับจุดศูนย์กลางที่สุดจะถูกจัดเข้ากลุ่มนั้น ตามสมการที่ (1)

$$D = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (1)$$

โดยที่ D = ระยะห่างระหว่างจุด x_1 และ x_2

[Euclidean Distance] [7]

x_1 = ขนาดจุดที่ 1 ตามแนวแกน X

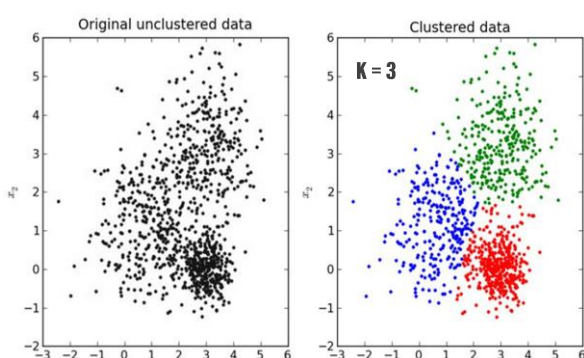
x_2 = ขนาดจุดที่ 2 ตามแนวแกน X

y_1 = ขนาดจุดที่ 1 ตามแนวแกน Y

y_2 = ขนาดจุดที่ 2 ตามแนวแกน Y

3) คำนวณหาค่าเฉลี่ยของแต่ละกลุ่มให้เป็นค่าจุดศูนย์กลาง ตำแหน่งใหม่

4) ดำเนินการทำซ้ำเหมือนข้อที่ 2) จนกระทั่งจุดศูนย์กลางแต่ละกลุ่มไม่เปลี่ยนแปลง จึงจะถือว่าการจัดกลุ่มสิ้นสุดกระบวนการ



รูปที่ 5 ตัวอย่างการแบ่งกลุ่ม ด้วยวิธี K-Means Clustering [8]

4.2 Energy Not Supplied (ENS)

การคำนวณปริมาณพลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้ารายสำคัญของ กฟภ. ที่ไม่สามารถจ่ายไฟได้ จะพิจารณาจากกรณีเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ และระยะเวลาของเหตุการณ์ไฟฟ้าดับ ซึ่งจะทำให้ กฟภ. สูญเสียรายได้จากการจำหน่ายไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้ารายสำคัญของ กฟภ. ในช่วงเกิดเหตุการณ์ไฟฟ้าดับตามสมการ (2)

$$ENS_C = \sum [P_{AVG} \times \lambda_{Event} \times r_{Event}] \quad (2)$$

โดยที่ ENS_C = ผลรวมของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ไม่สามารถจ่ายไฟได้/ราย/ปี

P_{AVG} = กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยของผู้ใช้ไฟฟ้า/ราย/ปี

λ_{Event} = จำนวนครั้งของไฟดับสะสมของผู้ใช้ไฟ

r_{Event} = ระยะเวลาของไฟดับ/ครั้ง

5. ขั้นตอนการศึกษา

1) นำข้อมูลรายละเอียดของผู้ใช้ไฟฟ้ารายสำคัญของ กฟภ. จากข้อมูลสารสนเทศระบบไฟฟ้าทางภูมิศาสตร์ (GIS) ได้แก่ หมายเลขมิเตอร์ผู้ใช้ไฟ (Customer Account

Number), ขนาดหม้อแปลง, ตำแหน่งของผู้ใช้ไฟฟ้า, พื้นที่การให้บริการของแต่ละการไฟฟ้า (Area of Jurisdiction: AOJ) เป็นต้น จากนั้นใช้ฟังก์ชัน Trace up เก็บข้อมูลอุปกรณ์ป้องกันเริ่มตั้งแต่ผู้ใช้ไฟฟ้ารายสำคัญไปจนถึงเบรกเกอร์ของสถานีไฟฟ้า จากนั้นกำหนดเงื่อนไขดังนี้

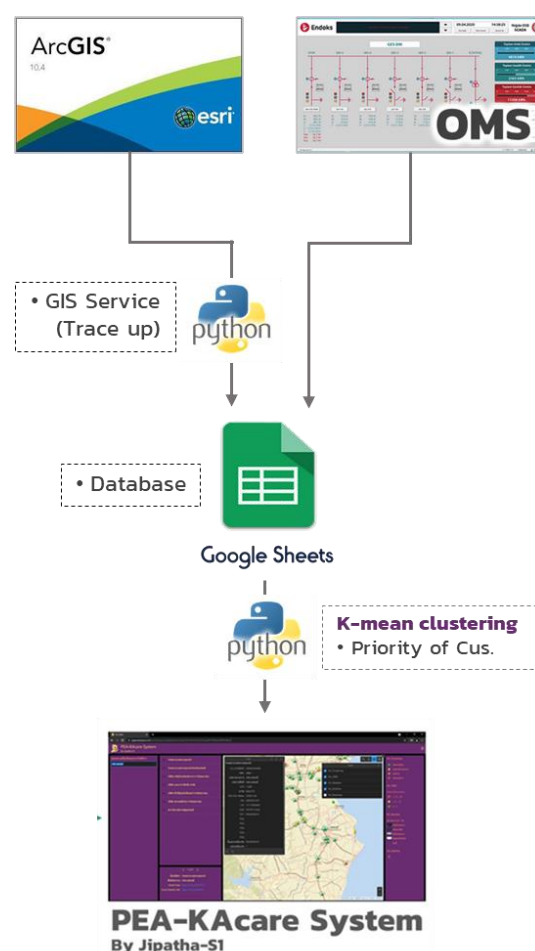
- กรณีที่ 1: อุปกรณ์ป้องกันที่จ่ายให้กับผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตรง จะกำหนดเงื่อนไขให้เป็น “เหตุการณ์ไฟดับ (Interruption)”

- กรณีที่ 2: อุปกรณ์ป้องกันที่อยู่วงจรข้างเคียงที่จ่ายให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า โดยที่รับไฟจากหม้อแปลงเครื่องเดียวกันกับวงจรที่เกิดเหตุการณ์ไฟดับ จะกำหนดเงื่อนไขให้เป็น “เหตุการณ์ไฟตกชั่วขณะ (Voltage Dip) [9]”

2) นำข้อมูลระบบบริหารจัดการไฟฟ้าขัดข้อง (OMS) ได้แก่ วันที่/เวลาไฟดับ, ระยะเวลาไฟดับ, รหัสอุปกรณ์ป้องกัน, สาเหตุไฟดับ เป็นต้น

3) จัดเก็บข้อมูลตามข้อที่ 1) และ 2) ไว้ใน Google Sheet [10] จากนั้นนำข้อมูลข้างต้นนำมาผ่านกระบวนการ Data Analytic ด้วยวิธี K-means Clustering เพื่อจัดกลุ่ม

4) วิเคราะห์กลุ่มของข้อมูลข้างต้น เพื่อจัดลำดับความเร่งด่วนในการดูแลระบบไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้กับลูกค้ารายสำคัญของ กฟภ. โดยเลือกกลุ่มที่มีค่า Critical Factor เป็นกลุ่มที่มีความเร่งด่วนสูงสุด จากนั้นแสดงผลการวิเคราะห์แบบแผนที่



รูปที่ 6 แสดงขั้นตอนการทำงาน

ของระบบไฟฟ้า และคุณภาพไฟฟ้า บทความนี้จึงนำเสนอเทคนิคการวางแผนบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าให้ลูกค้ารายสำคัญของ กฟภ. โดยใช้หลักการ Risk Assessment เริ่มจากการกำหนดค่า Critical Factor ในเบื้องต้นไว้ 2 ปัจจัย ได้แก่ สถิติไฟฟ้าดับ และปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ไม่สามารถจ่ายไฟได้นำมาผ่านกระบวนการ Data Analytics ด้วยวิธีการ K-Mean Clustering เพื่อจัดลำดับของความเร่งด่วนในการดูแลระบบไฟฟ้าที่จ่ายไฟให้กับลูกค้ารายสำคัญของ กฟภ. พร้อมแสดงผลการวิเคราะห์ผ่านระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) ในรูปแบบแผนที่ ส่งผลให้ กฟภ. ในแต่ละพื้นที่สามารถจัดแผนดูแลและบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม ทำให้ระบบไฟฟ้าของ กฟภ. มีความมั่นคงเพิ่มขึ้น รวมถึงลดโอกาสในการที่ลูกค้ารายสำคัญของ กฟภ. อาจเปลี่ยนไปรับไฟจากคู่แข่งอีกด้วย แต่อย่างไรก็ตามหากนำแนวคิดนี้เป็นการพิจารณาในมิติด้านความมั่นคงระบบไฟฟ้าและรายได้จากการขายไฟเท่านั้น หากดำเนินการจริงควรเพิ่มปัจจัยอื่นๆ เช่น ปัญหา ร้องเรียน หรือปัญหาการให้บริการด้านอื่นๆ เป็นต้น เพื่อประกอบการพิจารณาให้มีความเหมาะสมในแต่ละพื้นที่

เอกสารอ้างอิง

- [1] ข้อมูลระบบบริหารจัดการไฟฟ้าขัดข้องของ กฟภ. (Outage Management System: OMS) Website: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrljoiMDAwYjI4ZDYtMDI4Ni00MWFjLWVhZDYtNjZkZGVlYmZmYjc4IiwidCI6ImEyMzM5ZjZkLWJmNGEtNDRkYi04OGVjLWNiOGYyN2RhNGFiYiIsImMiOiJlEwQ%3D%3D>
- [2] Rahmatallah Poudineh and Tooraj Jamsb, "Electricity Supply Interruptions: Sectoral Interdependencies and the Cost of Energy Not Served for the Scottish Economy". In Proceedings of the 2017 Elsevier ScienceDirect, Copyright 2017, IAEE, pp. 51-76
- [3] Jake VanderPlas, "Python Data Science Handbook, Essential Tools for Working with Data", Copyright 2017, pp. 462-470
- [4] United States Government Printing Office Washington, "Study of Monopoly Power", Copyright 1951
- [5] Yu Shiwen, Hou Hui, Wang Cheng Zhi Geng Hao and Fan Hao, "Review on Risk Assessment of Power System". In Proceedings of the 2017 Elsevier ScienceDirect, pp. 1200-1205.
- [5] ข้อมูลสารสนเทศระบบไฟฟ้าทางภูมิศาสตร์ (GIS) ของ กฟภ. จาก Website: giss1.pea.co.th/peawebsite/web-viewing
- [6] Chunhui Yuan and Haitao Yang, "Research on K-Value Selection Method of K-Means Clustering Algorithm". In Proceedings of the 2019 J Multidisciplinary Scientific Journal, Basel, Switzerland., Published September 2005, pp. 1-26.
- [7] Paul Barrett, "Euclidean Distance raw, normalized, and double-scaled coefficients". Coupler.IO by Railsware, 13 April 2021.
- [8] ข้อมูลจาก Website: <https://mubaris.com/posts/kmeans-clustering/>
- [9] ข้อมูลจาก Website: <https://www.fluke.com/en-us/learn/blog/power-quality/voltage-sags-dips-transients>
- [10] Dimitris Vogiatzis, "How to Use Google Sheets as a Database for Your Business". Coupler.IO by Railsware, 13 April 2021.