

การวิเคราะห์ความผิดปกติของโหลดไฟฟ้าในอาคารเรียน

โดยใช้ Isolation Forest และการลดมิติด้วย PCA

สันติ การิสนเทศ¹ และ สิทธิศักดิ์ โรจขะยะ^{2*}

¹ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

^{2*} สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

E-mail: ¹santi.k@rmutsv.ac.th, ^{2*}sittisak.r@rmutsv.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษานี้ใช้ Principal Component Analysis (PCA) และ Isolation Forest เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานจากอาคารเรียนรวมช่างอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย (Phase A, Phase B, Phase C) โดยเริ่มจากการปรับมาตรฐานข้อมูลและทำ PCA เพื่อลดมิติข้อมูลลงเหลือ 2 มิติ ซึ่งช่วยให้เข้าใจโครงสร้างและความแปรผันของข้อมูลได้ดีขึ้น ผลการวิเคราะห์พบว่า Principal Component 1 (PC1) และ Principal Component 2 (PC2) สามารถอธิบายความแปรผันของข้อมูลได้อย่างมีนัยสำคัญ โดย PC1 มีอิทธิพลมากที่สุดในการอธิบายข้อมูลพลังงาน นอกจากนี้ยังใช้ Isolation Forest เพื่อตรวจจับค่า outliers โดยการคำนวณ Anomaly Score พบว่า ในข้อมูลพลังงานมีการกระจายของคะแนน anomaly ที่ช่วยแสดงถึงช่วงเวลาที่มีความผิดปกติในระบบไฟฟ้า การตรวจจับ outliers นี้ช่วยให้สามารถระบุปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในระบบได้เร็วขึ้น ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า Isolation Forest สามารถตรวจจับค่า outliers ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการตรวจหาความผิดปกติและลดความเสี่ยงจากการขัดข้องในระบบไฟฟ้า การใช้ PCA และ Isolation Forest ร่วมกันสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์และจัดการพลังงานในระบบไฟฟ้า โดยช่วยให้สามารถตรวจจับและจัดการกับปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในช่วงเวลาเฉพาะได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ซึ่งมีความสำคัญในการบำรุงรักษาและเพิ่มความมั่นคงให้กับระบบไฟฟ้า

คำสำคัญ: การวิเคราะห์ส่วนประกอบหลัก (PCA) Isolation Forest การตรวจจับความผิดปกติ การตรวจจับค่า outliers การจัดการพลังงาน

* Corresponding author, e-mail: sittisak.r@rmutsv.ac.th

Analysis of Electrical Load Anomalies in Educational Buildings Using Isolation Forest and PCA for Dimensionality Reduction

Santi Karisan¹, Sittisak Rojchaya^{2*}

¹ College of Industrial Technology and Management, Rajamangala University of Technology Srivijaya

^{2*} Faculty of Engineering and Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya

E-mail: ¹santi.k@rmutsv.ac.th, ^{2*}sittisak.r@rmutsv.ac.th

Abstract

This study utilizes Principal Component Analysis (PCA) and Isolation Forest to analyze energy data from the Industrial Technician School Building at the College of Industrial Technology and Management, Rajamangala University of Technology Srivijaya (Phase A, Phase B, Phase C). The analysis begins with data standardization and PCA to reduce the dimensionality of the data to two components, which helps in better understanding the structure and variance of the data. The results show that Principal Component 1 (PC1) and Principal Component 2 (PC2) explain a significant portion of the data variance, with PC1 being the most influential component in explaining the power data. Furthermore, Isolation Forest is used to detect outliers by calculating the Anomaly Score. The distribution of anomaly scores reveals periods in the energy data that may indicate abnormalities in the electrical system. This outlier detection helps in identifying potential issues in the system more quickly. The study demonstrates that Isolation Forest can effectively detect outliers, making it an important tool for identifying anomalies and reducing the risk of system failures. The combination of PCA and Isolation Forest enhances the ability to analyze and manage energy in the electrical system, enabling the detection and resolution of issues during specific time periods efficiently. This is crucial for maintaining and improving the stability of the electrical system.

Keywords: Principal component analysis (PCA), Isolation forest, Anomaly detection, Outlier detection, Energy management

* Corresponding author, e-mail: sittisak.r@rmutsv.ac.th

1. ที่มาและความสำคัญ

การจัดการพลังงานในระบบไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน รักษาเสถียรภาพของระบบและลดต้นทุนในระยะยาว โดยเฉพาะในอาคารที่มีการใช้พลังงานสูงอย่างต่อเนื่อง เช่น อาคารเรียนรวมช่างอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ซึ่งมีการใช้งานระบบไฟฟ้าอย่างเข้มข้นและมีลักษณะโหลดที่แปรผันตลอดวัน (Lam et al., 2008; Zhang et al., 2019) การตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานในระบบไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ช่วยให้สามารถตรวจจับความผิดปกติได้อย่างรวดเร็ว เช่น ความไม่สมดุลระหว่างเฟส หรือพฤติกรรมโหลดที่ผิดปกติ ซึ่งมีผลโดยตรงต่อเสถียรภาพของระบบและอายุการใช้งานของอุปกรณ์ไฟฟ้า (Pang et al., 2021; Cook et al., 2020) เทคนิคการวิเคราะห์ข้อมูลขั้นสูง เช่น Principal Component Analysis (PCA) และ Isolation Forest ได้รับการนำมาใช้ในงานวิจัยหลายด้าน เพื่อช่วยลดมิติข้อมูลพลังงานที่มีหลายตัวแปร เช่น กระแสไฟฟ้า พลังงาน และอุณหภูมิ (Zhu and Chen, 2019; Beretta et al., 2019) โดย PCA ช่วยในการวิเคราะห์โครงสร้างของข้อมูลพลังงานในเชิงสถิติ โดยเน้นองค์ประกอบหลักที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อความแปรผันของระบบไฟฟ้า ขณะที่ Isolation Forest มีความสามารถในการตรวจจับค่าผิดปกติ (anomaly detection) ที่อาจเกิดจากพฤติกรรมโหลดที่ผิดปกติหรืออุปกรณ์ที่เสื่อมสภาพ (Liu et al., 2008; Pang et al., 2021)

นอกจากนี้ แนวโน้มงานวิจัยในระบบพลังงานยังให้ความสำคัญกับการพยากรณ์โหลดไฟฟ้าในระยะสั้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการระบบ (Fan and Hyndman, 2012) รวมถึงการบริหารสมดุลของระบบไฟฟ้าผ่านตลาดไฟฟ้าและการซื้อขายพลังงานในระยะสั้น (Koch and Hirth, 2019) และการกำหนดนโยบายพลังงาน เช่น ระบบ cap-and-trade ที่ช่วยสนับสนุนการวางแผนกำลังการผลิตและลดผลกระทบด้านพลังงานในระดับประเทศ (Amigo et al., 2021) การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นการวิเคราะห์พฤติกรรมโหลดและตรวจจับความผิดปกติในระบบไฟฟ้าของอาคารเรียน โดยใช้เทคนิค PCA และ Isolation Forest ผสานกับข้อมูลพลังงานจริงจากระบบ IoT เพื่อนำไปสู่แนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า ลดพลังงานสูญเสีย และเพิ่มเสถียรภาพของระบบในระยะยาว

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 Principal Component Analysis (PCA)

PCA หรือ การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้ในการลดมิติของข้อมูล (Dimensionality Reduction) โดยการแปลงชุดข้อมูลที่มีตัวแปรจำนวนมากให้อยู่ในรูปขององค์ประกอบหลัก (Principal Components) ซึ่งเป็นชุดของตัวแปรใหม่ที่ไม่สัมพันธ์กัน (uncorrelated) และสามารถอธิบายความแปรปรวนในข้อมูลต้นฉบับได้มากที่สุด หลักการทำงานของ PCA คำนวณค่าความแปรปรวนและความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร หาแกน (axes) ใหม่ที่เรียกว่าองค์ประกอบหลัก โดยแกนแรก (PC1) จะอธิบายความแปรปรวนของข้อมูลได้มากที่สุด ลดจำนวนมิติของข้อมูลโดยการเลือกเฉพาะองค์ประกอบหลักที่มีความสำคัญสูงสุด งานวิจัยนี้ PCA ถูกนำมาใช้เพื่อสกัดคุณลักษณะสำคัญ (Feature Extraction) จากข้อมูลโหลดไฟฟ้า อุณหภูมิ และพลังงานที่มีลักษณะหลากหลายและซับซ้อน เพื่อลดความซ้ำซ้อนของข้อมูล (redundancy) และเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์แนวโน้ม เช่น การจำแนกพฤติกรรม

โหลตหรือระบุช่วงเวลาที่มีโหลตมีลักษณะผิดปกติ อีกทั้งยังช่วยให้การสร้างโมเดล Machine Learning มีความแม่นยำและรวดเร็วมากขึ้น

2.2 Isolation Forest

Isolation Forest เป็นเทคนิคการตรวจจับความผิดปกติ (Anomaly Detection) ที่ใช้หลักการ “การแยกข้อมูล (Isolation)” โดยอาศัยการแบ่งข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อย (partitioning) แบบสุ่มและต่อเนื่อง เพื่อแยกตัวอย่างข้อมูลที่แตกต่างจากกลุ่มหลัก หลักการทำงานของ Isolation Forest สร้างโครงสร้างต้นไม้สุ่ม (Random Trees) ใช้ความลึกของเส้นทางในการแยกข้อมูล (path length) เป็นตัวบ่งชี้ หากข้อมูลสามารถถูกแยกออกได้ง่าย (มีความลึกน้อย) แสดงว่ามีความเป็นไปได้สูงที่จะเป็นข้อมูลผิดปกติ (anomaly) คำนวณค่า anomaly score เพื่อระบุความผิดปกติ งานวิจัยนี้ นำเทคนิค Isolation Forest มาใช้เพื่อตรวจจับพฤติกรรมโหลตไฟฟ้าที่ผิดปกติในช่วงเวลาต่าง ๆ โดยอาศัยข้อมูลที่ผ่านการลดมิติจาก PCA แล้ว การรวมกันของ PCA และ Isolation Forest ช่วยให้สามารถระบุช่วงเวลาที่มีโหลตมีพฤติกรรมแปลกประหลาดได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ช่วงที่โหลตเพิ่มสูงผิดปกติ อุณหภูมิพุ่งสูง หรือพฤติกรรมโหลตไม่สอดคล้องกับช่วงเวลาอื่น ๆ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบระบบบริหารจัดการพลังงานหรือเตือนความเสี่ยงในระบบไฟฟ้าของอาคาร

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานในระบบไฟฟ้า

การวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานในระบบไฟฟ้าเป็นเครื่องมือสำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานและรักษาความเสถียรของระบบ โดยการใช้เทคนิค เช่น Principal Component Analysis (PCA) และ Isolation Forest ช่วยให้สามารถตรวจจับความผิดปกติและวิเคราะห์พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ PCA เป็นเทคนิคลดมิติข้อมูลที่จะช่วยให้เห็นโครงสร้างและความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลพลังงานในช่วงเวลาต่าง ๆ โดยสามารถระบุจุดที่พลังงานสูญเสียหรือใช้งานผิดปกติได้แม่นยำ Isolation Forest ใช้ในการตรวจจับค่าผิดปกติในข้อมูลที่มีมิติสูง โดยสามารถตรวจหาความผิดปกติในระบบไฟฟ้าที่มีความซับซ้อนได้ โดยทั้งสองเทคนิคนี้ช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีความแม่นยำและสามารถจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.4 การใช้ PCA และ Isolation Forest ร่วมกันในการจัดการพลังงาน

การใช้ PCA ร่วมกับ Isolation Forest เป็นการผสมผสานเทคนิคการลดมิติข้อมูลและการตรวจจับความผิดปกติ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานในระบบไฟฟ้า PCA ช่วยลดมิติข้อมูลที่ซับซ้อน โดยแยกแยะส่วนประกอบหลักที่ส่งผลต่อความแปรผันของข้อมูล เช่น การใช้ PCA วิเคราะห์การใช้พลังงานในอาคารพาณิชย์ เพื่อระบุแหล่งที่ใช้พลังงานสูงเกินไป ซึ่งช่วยลดการสูญเสียพลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการพลังงาน Isolation Forest ใช้ในการตรวจจับค่าผิดปกติที่บ่งชี้ถึงการใช้พลังงานผิดปกติ เช่น โหลตเกินหรือความผิดปกติของอุปกรณ์ ซึ่งช่วยระบุจุดปัญหาก่อนที่จะแพร่กระจายไปยังส่วนอื่น ๆ ของระบบ การผสมผสานทั้งสองเทคนิคนี้ช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานมีความแม่นยำ โดยไม่สูญเสียข้อมูลสำคัญและสามารถตรวจจับความผิดปกติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลพลังงานจากสามเฟส (Phase A, Phase B, Phase C) ในอาคารเรียนรวมช่างอุตสาหกรรม โดยเริ่มจากการปรับมาตรฐานข้อมูลเพื่อให้เหมาะสมกับการวิเคราะห์ ต่อจากนั้นทำการลดมิติข้อมูลด้วย PCA และตรวจจับค่าผิดปกติในข้อมูลโดยใช้ Isolation Forest โดยการคำนวณ Anomaly Score เพื่อตรวจหาความผิดปกติที่อาจเกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า

3.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน

เพื่อให้ได้ข้อมูลที่แม่นยำเกี่ยวกับรูปแบบการใช้พลังงานของอาคารเรียนรวมช่างอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย งานวิจัยนี้ได้ใช้ระบบตรวจวัดและเก็บข้อมูลแบบเรียลไทม์ (Real-time Monitoring System) ซึ่งติดตั้งที่สายเมนหลักในตู้ MDB ที่จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอาคารเรียน ระหว่างเดือนธันวาคม 2567 ถึงกุมภาพันธ์ 2568 โดยทำการวัดกระแสไฟฟ้า การใช้พลังงาน และอุณหภูมิที่สายเมนหลัก และบันทึกข้อมูลเพื่อแสดงผลผ่านระบบ IoT แบบเรียลไทม์ เพื่อให้สามารถติดตามและวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างทันเวลาและแม่นยำ



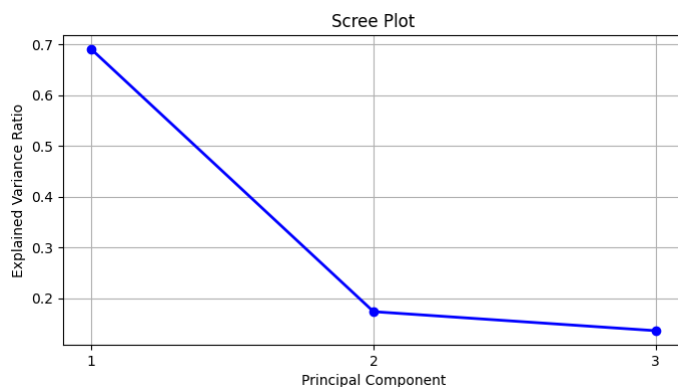
รูปที่ 1 การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานใช้เซ็นเซอร์วัดกระแสไฟฟ้าร่วมกับระบบ IoT

3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการตรวจจับความผิดปกติของกระแสไฟฟ้า

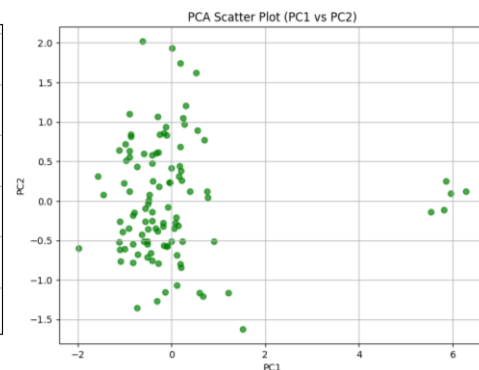
การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ถูกใช้เพื่อลดมิติของข้อมูลกระแสไฟฟ้าและสกัดปัจจัยสำคัญที่อธิบายความแปรปรวนของระบบ ช่วยลดความซับซ้อนของข้อมูลและทำให้สามารถวิเคราะห์พฤติกรรมโหลดไฟฟ้าได้ชัดเจนยิ่งขึ้น การตรวจจับความผิดปกติถูกนำมาใช้เพื่อระบุค่ากระแสไฟฟ้าที่เบี่ยงเบนจากพฤติกรรมปกติ เช่น ความไม่สมดุลของโหลดหรือความผิดปกติของอุปกรณ์ โดยในงานนี้ใช้วิธี Isolation Forest ซึ่งสามารถตรวจจับค่าผิดปกติได้อย่างมีประสิทธิภาพจากข้อมูลแบบไม่มีการกำกับ การผสมผสาน PCA และ Isolation Forest ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการตรวจจับความผิดปกติและเหมาะสำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานที่มีความซับซ้อนและเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าของแต่ละเฟส (1 ธันวาคม 2567-28 กุมภาพันธ์ 2568)

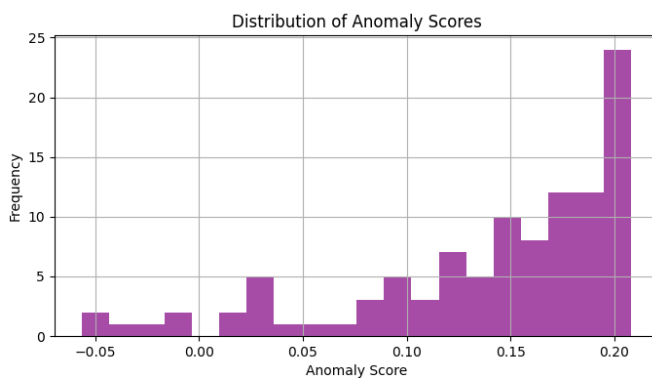
วันที่ เดือน พ.ศ.	Average Current Phase A (A)	Average Current Phase B (A)	Average Current Phase C (A)
1-10 ธ.ค. 67	3.47	7.86	3.39
11-20 ธ.ค. 67	4.73	11.52	5.63
21-31 ธ.ค. 67	3.87	9.75	4.85
1-10 ม.ค. 2568	5.37	12.26	6.79
11-20 ม.ค. 2568	4.45	11.92	5.49
21-31 ม.ค. 2568	7.36	14.37	8.56
1-10 ก.พ. 2568	5.35	12.31	6.30
11-20 ก.พ. 2568	6.41	14.30	8.94
21-28 ก.พ. 2568	6.28	16.04	8.03



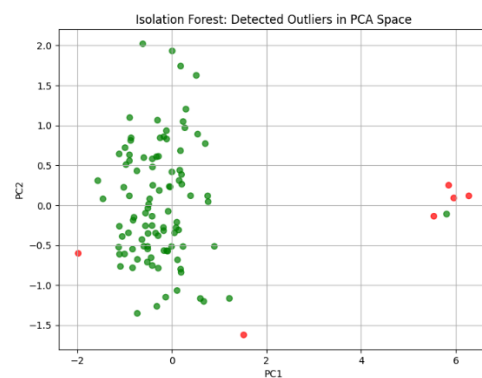
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 2 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการตรวจจับความผิดปกติของกระแสไฟฟ้า

จากกราฟรูปที่ 2 (ก) พบว่า PC1 มีค่าสูงสุด แสดงว่าความแปรปรวนของกระแสไฟฟ้าส่วนใหญ่มาจากปัจจัยหลักเพียงไม่กี่ปัจจัย เช่น โหลดหรือความไม่สมดุลของเฟส ส่วน PC2 และ PC3 มีค่าน้อยกว่า บ่งบอกถึงปัจจัยรอง การใช้ PCA ช่วยลดมิติของข้อมูลและระบุแนวโน้มหลักของระบบ เช่น โหลดที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา รูปที่ 2 (ข) แสดง PCA Scatter Plot (PC1 vs PC2) พบการกระจายตัวของข้อมูลที่อาจแบ่งเป็นกลุ่ม เช่น ช่วงโหลดสูง/ต่ำ และจุดที่อยู่นอกกลุ่มอาจเป็นสัญญาณของโหลดที่เปลี่ยนแปลงฉับพลัน รูปที่ 2 (ค) เป็น Distribution of Anomaly Scores จาก Isolation Forest ซึ่งส่วนใหญ่ค่าปกติ แต่มีบางค่าถูกจัดเป็น outliers แสดงถึงเหตุการณ์ผิดปกติ เช่น ไฟกระชาก หรืออุปกรณ์ขัดข้อง รูปที่ 2 (ง) แสดง Outliers ที่ตรวจพบใน PCA Space โดยจุดสีแดงแสดงข้อมูลผิดปกติ หากพบต่อเนื่องในบางช่วงเวลา อาจสะท้อนปัญหาโหลดหรือระบบไฟฟ้าไม่เสถียร

3.3 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการตรวจจับค่าผิดปกติของกำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิ

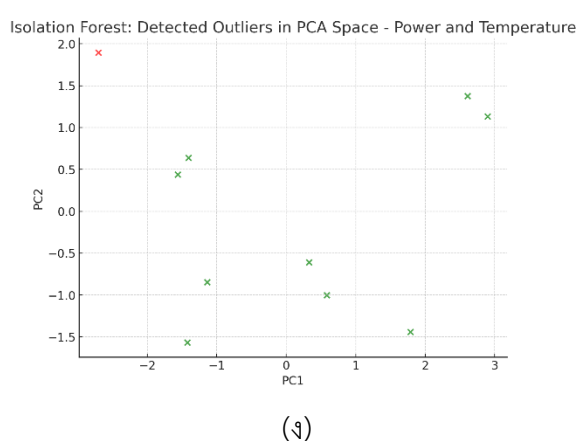
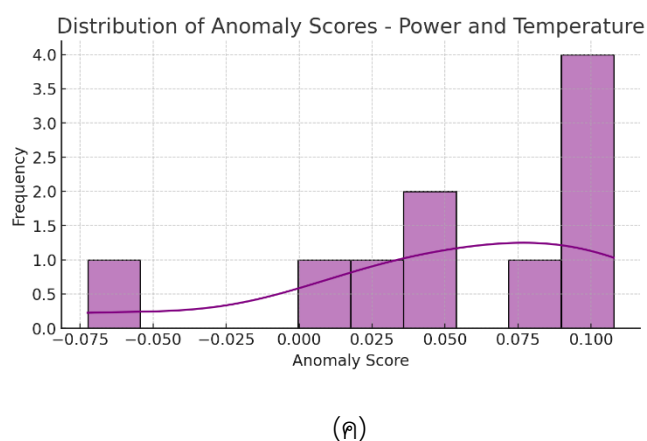
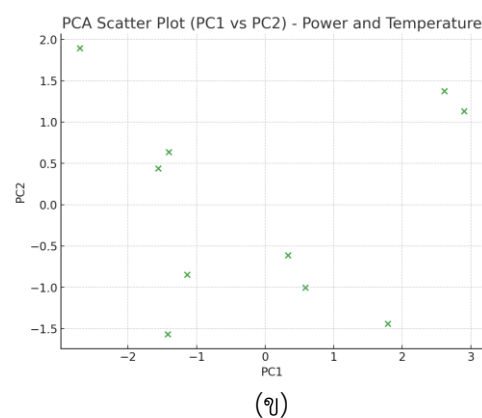
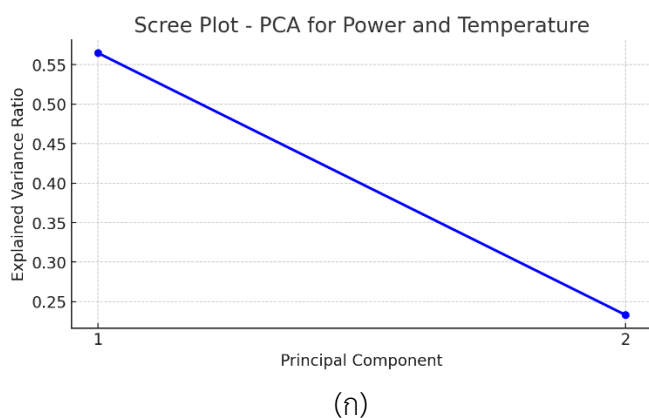
การวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (PCA) ใช้ในการลดมิติของข้อมูลเพื่อสกัดปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของกำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิ ในขณะที่การตรวจจับค่าผิดปกติ (Anomaly Detection) ช่วยระบุเหตุการณ์ที่ผิดปกติหรือความเสี่ยงในระบบไฟฟ้า เช่น การเพิ่มหรือลดของโหลดไฟฟ้าแบบฉับพลัน

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยกำลังไฟฟ้าของแต่ละเฟส (1 ธันวาคม 2567-28 กุมภาพันธ์ 2568)

วันที่ เดือน พ.ศ.	Average Power Phase A (W)	Average Power Phase B (W)	Average Power Phase C (W)
1-10 ธ.ค. 67	32194.72	74225.48	31758.41
11-20 ธ.ค. 67	43150.67	105122.79	51408.71
21-31 ธ.ค. 67	35111.35	87590.07	43785.60
1-10 ม.ค. 2568	48893.31	111701.25	61854.59
11-20 ม.ค. 2568	40528.29	108616.38	50184.63
21-31 ม.ค. 2568	64421.41	118826.65	73838.54
1-10 ก.พ. 2568	2031.65	4679.00	2395.92
11-20 ก.พ. 2568	2435.20	5431.87	3398.73
21-28 ก.พ. 2568	2388.30	6093.49	3051.01

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิของแต่ละเฟส (1 ธันวาคม 2567-28 กุมภาพันธ์ 2568)

วันที่ เดือน พ.ศ.	Average Temp in Phase A (°C)	Average Temp in Phase B (°C)	Average Temp in Phase C (°C)
1-10 ธ.ค. 67	24.35	28.28	24.00
11-20 ธ.ค. 67	23.56	27.63	23.05
21-31 ธ.ค. 67	23.63	27.66	22.83
1-10 ม.ค. 2568	24.07	27.75	23.33
11-20 ม.ค. 2568	23.52	27.53	23.10
21-31 ม.ค. 2568	24.57	28.39	23.91
1-10 ก.พ. 2568	24.08	27.93	23.46
11-20 ก.พ. 2568	25.34	29.35	24.76
21-28 ก.พ. 2568	24.66	28.73	24.29



รูปที่ 3 การวิเคราะห์องค์ประกอบหลักและการตรวจจับค่าผิดปกติของกำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิ

จากกราฟรูปที่ 3 (ก) และ (ข) การลดมิติข้อมูลเหลือเพียง 1-2 องค์ประกอบหลักแสดงให้เห็นว่าข้อมูลกำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิสามารถอธิบายได้ในมิติที่ต่ำลง ซึ่งช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูลมีความง่ายและเข้าใจได้มากขึ้น ข้อมูลที่แปลงผ่าน PCA (PC1 และ PC2) สะท้อนถึงแนวโน้มของพฤติกรรมที่คล้ายกันในช่วงเวลาหนึ่ง โดยเฉพาะในกรณีที่จุดข้อมูลมีการกระจุกตัวแสดงถึงการมีรูปแบบที่ค่อนข้างเสถียร ในรูปที่ 3 (ค) การกระจายของค่าความผิดปกติแสดงให้เห็นถึงช่วงเวลาที่กำลังไฟฟ้าและอุณหภูมิมีพฤติกรรมผิดปกติ ซึ่งอาจเกิดจากปัญหาภายในระบบหรือการควบคุมที่ไม่สมบูรณ์ การระบุช่วงเวลาเหล่านี้ช่วยให้สามารถสังเกตและวิเคราะห์จุดที่มีความผิดปกติได้ โดยการตรวจสอบที่มาของปัญหาหรือความผิดปกติในช่วงเวลาที่สำคัญเหล่านี้ ในรูปที่ 3 (ง) การใช้ Isolation Forest เพื่อตรวจจับ outliers หรือค่าผิดปกติที่อาจบ่งชี้ถึงการเปลี่ยนแปลงที่ผิดปกติ เช่น กำลังไฟฟ้าหรืออุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วหรือไม่เป็นระเบียบ การตรวจจับ outliers ช่วยในการระบุจุดที่มีความเสี่ยงในการเกิดปัญหาหรือประสิทธิภาพลดลง เช่น การโหลดเกินในระบบไฟฟ้า หรือการเกิดความร้อนผิดปกติในอุปกรณ์ไฟฟ้า การระบุจุดเหล่านี้จากผลการตรวจจับช่วยให้สามารถนำไปปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพและเสถียรยิ่งขึ้น ผ่านการควบคุมและจัดการการกระจายพลังงาน หรือการควบคุมอุณหภูมิที่เหมาะสม รวมถึงการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่อาจเกิดขึ้นในอนาคต

4. สรุปผล

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์และเพิ่มประสิทธิภาพของระบบพลังงานโดยใช้เทคนิค Principal Component Analysis (PCA) และ Isolation Forest ซึ่งช่วยลดมิติของข้อมูลและตรวจจับความผิดปกติได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า PCA ช่วยลดความซับซ้อนของข้อมูล และสามารถระบุปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อระบบพลังงานได้ชัดเจน ขณะที่ Isolation Forest มีความสามารถในการตรวจจับค่าผิดปกติที่อาจบ่งชี้ถึงปัญหาของระบบไฟฟ้า การผสาน PCA และ Isolation Forest ช่วยเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ข้อมูลพลังงาน โดย PCA ลดมิติข้อมูลก่อนการตรวจจับความผิดปกติ ทำให้ Isolation Forest สามารถประมวลผลได้รวดเร็วและแม่นยำยิ่งขึ้น การประยุกต์ใช้เทคนิคนี้ช่วยวิเคราะห์แนวโน้มการใช้พลังงานและตรวจจับความผิดปกติได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการศึกษายังแสดงให้เห็นว่าการใช้เทคนิคนี้ในอุตสาหกรรมและอาคารพาณิชย์สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพ ลดการสูญเสียพลังงาน และเสริมสร้างความมั่นคงของระบบไฟฟ้า โดยเฉพาะในสถานการณ์ที่มีความแปรปรวนของโหลดพลังงานสูง ข้อเสนอแนะต่อการวิจัยในอนาคต คือ การพัฒนาโมเดลที่ปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมในเวลาจริง และศึกษาปัจจัยอื่น ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพ เช่น สภาพอากาศ หรือพฤติกรรมการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่าง ๆ การบูรณาการระบบพลังงานอัจฉริยะร่วมกับเทคนิคนี้จะช่วยบริหารจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและยั่งยืน

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Lam, J. C., Wan, K. K. W., Cheung, K. L., & Yang, L. (2008). Principal component analysis of electricity use in office buildings. *Energy and Buildings*, 40(5), 828–836. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.06.001>

- [2] Pang, G., Shen, C., Cao, L., & van den Hengel, A. (2021). Deep learning for anomaly detection: A review. *ACM Computing Surveys*, 54(2), 1–38. <https://doi.org/10.1145/3439950>
- [3] Fan, S., & Hyndman, R. J. (2012). Short-term load forecasting based on a semi-parametric additive model. *IEEE Transactions on Power Systems*. 27(1), 134–141. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2011.2162082>
- [4] Liu, F. T., Ting, K. M., & Zhou, Z.-H. (2008). Isolation forest. *Proceedings of the 2008 Eighth IEEE International Conference on Data Mining (ICDM)*, 413–422. <https://doi.org/10.1109/ICDM.2008.17>
- [5] Koch, C., & Hirth, L. (2019). Short-term electricity trading for system balancing: An empirical analysis of the role of intraday trading in balancing Germany's electricity system, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 113, 109275. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109275>
- [6] Cook, A. A., Mısırlı, G., & Fan, Z. (2020). Anomaly detection for IoT time-series data: A survey. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(7), <https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2958185>.
- [7] Amigo, P., Cea-Echenique, S., & Feijoo, F. (2021). A two stage cap-and-trade model with allowance re-trading and capacity investment: The case of the Chilean NDC targets. *Energy*, 224, 120129. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.120129>
- [8] Zhu, L., & Chen, J. (2019). Development of energy efficiency principal component analysis model for factor extraction and efficiency evaluation in large-scale chemical processes. *International Journal of Energy Research*, 43(2), 814–828. <https://doi.org/10.1002/er.4312>
- [9] Zhang, L., Ge, R., & Chai, J. (2019). Prediction of China's energy consumption based on robust principal component analysis and PSO-LSSVM optimized by the Tabu search algorithm. *Energies*, 12(1), 196. <https://doi.org/10.3390/en12010196>
- [10] Beretta, D., Grillo, S., Pigoli, D., Bionda, E., Bossi, C., & Tornelli, C. (2019). Functional principal component analysis as a versatile technique to understand and predict the electric consumption patterns. *arXiv preprint arXiv:1909.05237*, 1–8. <https://arxiv.org/abs/1909.05237>