



รายงานการวิจัย

การจัดการพลังงานในอาคารเรียนช่างอุตสาหกรรม

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

Energy management in industrial engineering school buildings

at College of Industrial Technology and Management

Rajamangala University of Technology Srivijaya

สันติ การ์สันต์

Santi Karisan

สุพร ฤทธิภักดี

Suporn Rittiphakdee

สันติพงษ์ คงแก้ว

Santipong Kongkaew

วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ได้รับทุนสนับสนุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

งบประมาณเงินรายได้ ประจำปี พ.ศ. ๒๕๖๘

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนอุดหนุนโครงการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ภายใต้งบประมาณรายจ่ายเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๖๘ อันเป็นปัจจัยสำคัญที่เอื้อต่อการดำเนินงานวิจัยเรื่อง การจัดการพลังงานในอาคารเรียนช่างอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ให้สำเร็จลุล่วงตามเป้าหมายที่กำหนด ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา รวมถึงแผนงานวิจัยและพัฒนาที่ได้ให้คำแนะนำและสนับสนุนในทุกขั้นตอนของการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ ด้วยความเอื้ออารีทั้งด้านวิชาการและการประสานงาน ตลอดจนความพร้อมของทรัพยากรที่เอื้อต่อคุณภาพของผลการวิจัย ขอขอบพระคุณคณะผู้บริหาร อาจารย์ เจ้าหน้าที่ และผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านจากวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารเรียนช่างอุตสาหกรรม พร้อมทั้งให้ความร่วมมือและสนับสนุนการทำงานเป็นอย่างดี ทำให้การรวบรวมข้อมูลการวิเคราะห์ และการประเมินผลด้านการจัดการพลังงานสามารถดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอแสดงความขอบพระคุณต่อวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่ได้มอบโอกาสให้ศึกษาและทำวิจัยในหัวข้อ การจัดการพลังงานในอาคารเรียนช่างอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ ซึ่งได้เสริมสร้างประสบการณ์เชิงวิชาชีพและเพิ่มพูนความรู้ที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาแนวทางการจัดการพลังงานภายในอาคารอย่างยั่งยืน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

สันติ การีสันต์และคณะฯ

ธันวาคม 2568

การจัดการพลังงานในอาคารเรียนช่างอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

สันติ การีสันต์¹ สุพร ฤทธิภักดี² และสันติพงษ์ คงแก้ว³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาและประเมินระบบตรวจวัดพลังงานแบบเรียลไทม์บนสถาปัตยกรรม Internet of Things (IoT) และนำข้อมูลมาใช้วิเคราะห์พฤติกรรมโหลด คุณภาพไฟฟ้า การถ่ายเทความร้อนของสายเมน และการเสื่อมสภาพของตัวนำในอาคารเรียนช่างอุตสาหกรรมของวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มทร. ศรีวิชัย โดยเก็บข้อมูลเชิงเวลา (current, voltage, temperature, power, PF และพารามิเตอร์คุณภาพไฟฟ้า) ระหว่าง ธันวาคม 2567-ตุลาคม 2568 การวิเคราะห์ที่ใช้การสอบเทียบกับ Clamp Meter, สถิติเชิงพรรณนา, การถดถอยเชิงเส้น และแบบจำลองการเสื่อมสภาพเชิงประจักษ์ ผลการทดลองแสดงว่าแพลตฟอร์ม IoT ให้ค่าการวัดที่เชื่อถือได้ (ความคลาดเคลื่อนการวัดกระแสต่ำกว่า 1%) ข้อมูลแสดงปัญหาการกระจายโหลดไม่สมดุล โดยเฟส B มีภาระกระแสสูงสุดและแรงดันตกสูงสุด (~1.3-1.5%) ซึ่งสัมพันธ์กับการสะสมความร้อนและการสูญเสียพลังงาน ค่าแฟกเตอร์กำลังแปรผันกว้าง (~0.2-0.8) และพบเหตุการณ์ Crest Factor สูง บ่งชี้การเกิดโหลดไม่เชิงเส้นหรือกระแสกระชาก แบบจำลองเชิงปริมาณระบุว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 1°C จะทำให้ความต้านทานสายเพิ่มขึ้นเฉลี่ย $\approx 0.00112\Omega$ และอัตราการเสื่อมสภาพเชิงประจักษ์อยู่ในช่วง $\approx 0.00038-0.00054/\text{วัน}$ โดยเฉพาะเมื่ออุณหภูมิแวดล้อม $\geq 35-36^\circ\text{C}$ เวลา cooldown ของสายเพิ่มขึ้นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล (ตัวอย่าง $25^\circ\text{C} \approx 20$ นาที; $30^\circ\text{C} \approx 60$ นาที; $35^\circ\text{C} \approx 150$ นาที; $40^\circ\text{C} > 250$ นาที) ข้อเสนอแนะปฏิบัติชี้ให้ดำเนินการมาตรการเร่งด่วน ได้แก่ การตั้งแจ้งเตือนตามเงื่อนไข (อุณหภูมิ สัดส่วนแรงดันตก PF Crest Factor) การปรับสมดุลโหลด การปรับปรุง PF และเพิ่มการระบายความร้อนรอบตู้เมน ทั้งนี้แนะนำการขยายการเก็บข้อมูลเป็นระยะยาว การทดลองมาตรการ PF correction และพัฒนาโมเดล predictive maintenance เพื่อยืนยันผลและลดความเสี่ยงต่อความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้า

คำสำคัญ: IoT, ตรวจวัดพลังงานแบบเรียลไทม์, แรงดันตก, แฟกเตอร์กำลัง, การเสื่อมสภาพของสายเคเบิล, การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์

¹ อาจารย์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช

² อาจารย์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช

³ อาจารย์ วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย อำเภอขนอม จังหวัดนครศรีธรรมราช

Energy management in industrial engineering school buildings at
College of Industrial Technology and Management Rajamangala
University of Technology Srivijaya

Santi Karisan¹ Suporn Rittipakdee² and Santipong Kongkaew³

Abstract

This study developed and evaluated a real-time IoT-based energy monitoring system to analyze load behavior, power quality, thermal transfer, and conductor degradation in an industrial training building at Rajamangala University of Technology Srivijaya. Time-series data (current, voltage, temperature, power, power factor, and power quality) were collected from December 2024 to October 2025. Measurements were validated against a clamp meter, and analyses included descriptive statistics, linear regression, and empirical degradation modeling. Results show the IoT platform provides reliable data (current error <1%). Load distribution was unbalanced, with Phase B experiencing the highest current and voltage drop (~1.3-1.5%), associated with thermal accumulation and energy loss. Power factor ranged widely (~0.2-0.8), and high crest factors indicated nonlinear or inrush loads. Modeling indicated that each 1°C rise increases conductor resistance by $\approx 0.00112\Omega$, with degradation rates of $\approx 0.00038-0.00054\Omega/\text{day}$; cooldown times rose exponentially with ambient temperature (25°C \approx 20min; 40°C > 250min). Recommendations include condition-based alerts, load balancing, PF correction, and improved panel cooling. Long-term monitoring and predictive maintenance modeling are suggested to enhance reliability.

Keywords: IoT, real-time energy monitoring, voltage drop, power factor, cable degradation, predictive maintenance

¹ College of Industrial Technology and Management, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Khanom, Nakhon Si Thammarat, Thailand

² College of Industrial Technology and Management, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Khanom, Nakhon Si Thammarat, Thailand

³ College of Industrial Technology and Management, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Khanom, Nakhon Si Thammarat, Thailand

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อ	ข
Abstract	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย	1
1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินการ	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 กฎหมายส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร	4
2.2 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับพลังงานและการจัดการพลังงาน	5
2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบพลังงานไฟฟ้าในอาคาร	13
2.4 การบริหารจัดการพลังงานในอาคารเรียน	13
2.5 การประเมินประสิทธิภาพการจัดการพลังงาน	14
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14
2.7 การใช้เทคโนโลยีและสร้างจิตสำนึกด้านพลังงาน	16
2.8 Internet of Things	16
2.9 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับพฤติกรรมการประหยัดพลังงาน (Energy-Saving Behavioral)	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	18
3.1 วิเคราะห์ปัญหาและศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง	20
3.2 การออกแบบและติดตั้งฮาร์ดแวร์สำหรับระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า	22
3.3 การมอนิเตอร์และการบันทึกผลการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเรียลไทม์	22
3.4 การทดสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของระบบ	24
3.5 การวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีต่าง ๆ	25
3.6 แผนการบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า	36
3.7 การเสนอแนวทางการปรับปรุง (Recommendations)	37

3.8 การคำนวณค่าไฟฟ้า	38
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานวิจัย	41
4.1 การเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารเรียนช่วงอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย	41
4.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ และแรงดันตกในสายเมนไฟฟ้าอาคารเรียนช่วงอุตสาหกรรม	46
4.3 การวิเคราะห์พฤติกรรมการสวิงของกระแสไฟฟ้าและผลกระทบต่อเสถียรภาพระบบไฟฟ้า	49
4.4 การหาค่าเหมาะสมของเวลาการระบายความร้อนสายเคเบิลหลักเพื่อการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพ	51
4.5 การวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเสื่อมของสายเมนด้วยแบบจำลองถดถอยและแบบจำลองการเสื่อมสภาพรายวันเชิงประจักษ์	55
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	61
5.1 ข้อสรุปตามวัตถุประสงค์งานวิจัย	61
5.2 ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ (Actionable recommendations)	61
5.3 มาตรการระยะสั้น (Weeks–Months)	62
5.4 มาตรการระยะกลางถึงยาว (Months–Year)	62
5.5 เกณฑ์เฝ้าระวังและ KPI ที่แนะนำ	62
5.6 แผนดำเนินงานเชิงข้อเสนอ	63
5.7 ข้อจำกัดของการวิจัย	63
5.8 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อเนื่อง	63
บรรณานุกรม	64
ภาคผนวก	66

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 : ตัวอย่างอุณหภูมิสีและโทนสีของแสงที่ใช้กันทั่วไป	7
ตารางที่ 2.2 : แสดงค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ (EER)	11
ตารางที่ 4.1 : ผลการประเมินความคลาดเคลื่อนของค่ากระแสไฟฟ้ารายเฟสเมื่อเทียบกับ ค่าอ้างอิง	45
ตารางที่ 4.2 : ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละเฟสทั้ง 2 เดือน	47
ตารางที่ 4.3 : ค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเมนไฟฟ้า (ธ.ค. 2567-ม.ค. 2568)	48
ตารางที่ 4.4 : ค่า Crest Factor และ Form Factor (ธ.ค. 2567)	49
ตารางที่ 4.5 : ค่าการแกว่งและอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (ธ.ค. 2567)	50
ตารางที่ 4.6 : ค่า Crest Factor และ Form Factor (ม.ค. 2568)	50
ตารางที่ 4.7 : ค่าการแกว่งและอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (ม.ค. 2568)	51
ตารางที่ 4.8 : ผลการคำนวณ Cooling Time และผลกระทบอื่น ๆ	52
ตารางที่ 4.9 : ค่าเฉลี่ย ΔT_{real} รายช่วง 10 วัน (เฟส A, B, C)	56
ตารางที่ 4.10 : ค่าที่พยากรณ์ได้จากสมการถดถอย	57
ตารางที่ 4.11 : ผลลัพธ์จากแบบจำลองการเสื่อมสภาพเชิงประจักษ์	59

สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 : ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current)	6
ภาพที่ 2.2 : ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current)	6
ภาพที่ 2.3 : หลอดไส้	7
ภาพที่ 2.4 : หลอดฟลูออโรเรสเซนต์	8
ภาพที่ 2.5 : หลอดฮาโลเจน	8
ภาพที่ 2.6 : หลอดแสงจันทร์ หรือ หลอดไฟไอปรอท	9
ภาพที่ 2.7 : หลอดเมทัลฮาไลด์	9
ภาพที่ 2.8 : หลอดหลอดตะเกียบ	10
ภาพที่ 2.9 : หลอดไฟ LED	10
ภาพที่ 2.10 : ลักซ์มิเตอร์ (Lux Meter)	11
ภาพที่ 2.11 : IBM Model for the Internet of Things	17
ภาพที่ 3.1 : ขั้นตอนการดำเนินงาน	19
ภาพที่ 3.2 : อาคารเรียนช่างอุตสาหกรรม	20
ภาพที่ 3.3 : ห้องปฏิบัติการ	20
ภาพที่ 3.4 : ระบบปรับอากาศ	21
ภาพที่ 3.5 : การออกแบบหลักการทำงานและการรับส่งข้อมูล	22
ภาพที่ 3.6 : การแสดงผลหน้าภาพรวมการใช้ไฟฟ้า แบบ Real Time	22
ภาพที่ 3.7 : กราฟแสดงการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในรอบเวลาที่ต้องการทราบ	23
ภาพที่ 3.8 : การแสดงผลในหน้ารายงานประวัติปริมาณการใช้ไฟฟ้าแบบดูข้อมูลย้อนหลัง	23
ภาพที่ 3.9 : รูปแบบตั้งค่าการแจ้งเตือนผ่าน Line ใดแสดงผลในมือถือ	23
ภาพที่ 3.10 : การเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จาก clip Amp meter เปรียบเทียบกับ ค่ากระแสที่ระบบวัดได้	24
ภาพที่ 3.11 : การเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบวัดได้กับค่าจาก Nameplate (Nameplate Values) ของอุปกรณ์ไฟฟ้า	24
ภาพที่ 3.12 : ตัวอย่างการกินพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเฟสไม่เท่ากัน หรือที่เรียกว่า โหลดไม่สมดุล (unbalanced load)	25
ภาพที่ 3.13 : ตัวอย่างกราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่ไม่สม่ำเสมอในสายไฟฟ้า 1 วัน	27
ภาพที่ 3.14 : ลักษณะของสายไฟ PVC (Polyvinyl Chloride)	29
ภาพที่ 3.15 : ลักษณะของสาย Cross-linked Polyethylene (XLPE)	30
ภาพที่ 3.16 : ลักษณะของสายไฟหุ้ม Silicone	30
ภาพที่ 3.17 : ลักษณะของสายไฟหุ้ม Teflon (PTFE/PFA/FEP)	30

ภาพที่ 3.18 : ลักษณะของสายไฟหุ้ม Mica	31
ภาพที่ 3.19 : ลักษณะของสายไฟหุ้มยาง EPR (Ethylene Propylene Rubber)	31
ภาพที่ 3.20 : กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal imaging camera)	32
ภาพที่ 3.21 : ค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสมีความต่างกัน	33
ภาพที่ 3.22 : ระบบประมาณการค่าไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค	40
ภาพที่ 4.1 : การออกแบบหลักการทำงานและการรับส่งข้อมูล	42
ภาพที่ 4.2 : ติดตั้งระบบตรวจวัดพลังงานเวลาจริง	42
ภาพที่ 4.3 : ติดตั้งระบบส่งข้อมูลพลังงานเรียลไทม์	43
ภาพที่ 4.4 : การแสดงผลภาพรวมการใช้ไฟฟ้า แบบ Real Time	43
ภาพที่ 4.5 : การแสดงผลภาพรวมของตัวอุปกรณ์แบบเรียลไทม์	44
ภาพที่ 4.6 : การทดสอบเปรียบเทียบค่ากระแสที่ระบบวัดได้เปรียบเทียบกับการวัดด้วยเครื่องมือวัด Clip Amp Meter	45
ภาพที่ 4.7 : แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Error Percentage)	46
ภาพที่ 4.8 : การวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดและค่าแพกเตอร์กำลัง (ธ.ค. 2567)	47
ภาพที่ 4.9 : การวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดและค่าแพกเตอร์กำลัง (ม.ค. 2568)	48
ภาพที่ 4.10 : การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่า % Voltage Drop ทั้ง 3 เฟส (ธ.ค. 2567-ม.ค. 2568)	49
ภาพที่ 4.11 : กระแสไฟฟ้าและค่าปัจจัยรายวัน (ธ.ค. 2567)	50
ภาพที่ 4.12 : กระแสไฟฟ้าและค่าปัจจัยรายวัน (ม.ค. 2568)	51
ภาพที่ 4.13 : การใช้เวลาในการลดอุณหภูมิเป็น 20°C	52
ภาพที่ 4.14 : อัตราการลดอุณหภูมิ	53
ภาพที่ 4.15 : การถ่ายเทความร้อน	53
ภาพที่ 4.16 : กำลังความร้อนเฉลี่ย	54
ภาพที่ 4.17 : เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิเริ่มต้นให้ถึง 30°C และ 35°C ตามช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นต่าง ๆ	54
ภาพที่ 4.18 : อุณหภูมิที่ลดลงใน 1 ชั่วโมงตามช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นต่าง ๆ	55
ภาพที่ 4.19 : การเปรียบเทียบอุณหภูมิรายวันสำหรับเฟส A, B และ C	56
ภาพที่ 4.20 : แผนที่ความร้อนของค่าเฉลี่ย ΔT_{real} (°C) จำแนกตามช่วงเวลาและเฟส	57
ภาพที่ 4.21 : แนวโน้มค่าความต้านทานจากแบบจำลองถดถอยของสายเมนในแต่ละเฟส	58
ภาพที่ 4.22 : การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการสูญเสียพลังงานของสายเมนหลักในแต่ละเฟส	58
ภาพที่ 4.23 : อุณหภูมิเฟสและการสูญเสียพลังงานตามเวลา	59
ภาพที่ 4.24 : อุณหภูมิและการเสื่อมสภาพสายเคเบิลจำแนกตามเฟส	60

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

การใช้พลังงานในภาคการศึกษาเป็นประเด็นเชิงยุทธศาสตร์ที่มีผลต่อทั้งต้นทุนการดำเนินงาน และคุณภาพสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะในอาคารเรียนข้างอุตสาหกรรมของวิทยาลัยเทคโนโลยี อุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ซึ่งมีภาระโหลดไฟฟ้าและการ ใช้พลังงานจากหลายแหล่งในระดับสูง การใช้พลังงานที่ไม่มีประสิทธิภาพย่อมนำไปสู่ค่าใช้จ่ายที่ เพิ่มขึ้นและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่สูงกว่าจำเป็น

การบริหารจัดการพลังงานจึงมีความสำคัญต่อการยกระดับประสิทธิภาพการใช้พลังงานใน สถาบันการศึกษา ทั้งในมิติของเศรษฐศาสตร์ สิ่งแวดล้อม และคุณภาพการเรียนรู้ สถาบันที่ ดำเนินการจัดการพลังงานอย่างเป็นระบบสามารถลดต้นทุนด้านพลังงาน สร้างสภาพแวดล้อมที่ เหมาะสมต่อการทำงาน รวมทั้งสร้างความตระหนักรู้ให้แก่บุคลากรและนักศึกษาเกี่ยวกับการอนุรักษ์ พลังงาน ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายภาครัฐด้านการอนุรักษ์พลังงานและการพัฒนาพลังงานสะอาด ตัวอย่างมาตรการเชิงปฏิบัติที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ได้แก่ การเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟ LED การติดตั้งระบบเซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบปรับอากาศ การรณรงค์ลดการใช้พลังงานในหมู่บุคลากรและนักศึกษา รวมถึงการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีพลังงาน ทดแทน เช่น ระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ ดังนั้น การจัดการพลังงานในอาคารเรียนข้าง อุตสาหกรรมจึงเป็นกลไกสำคัญที่ช่วยลดต้นทุน ส่งเสริมความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม และเสริม ภาพลักษณ์ของสถาบันในฐานะองค์กรที่มีความรับผิดชอบต่อสังคมและทรัพยากรธรรมชาติ

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารเรียนข้างอุตสาหกรรม วิทยาลัย เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
2. เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารเรียนข้างอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยี อุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
3. เพื่อนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลมากำหนดมาตรการในการอนุรักษ์พลังงานในอาคารเรียน ข้างอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ศรีวิชัย

1.3 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งศึกษาระบบการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเรียนข้างอุตสาหกรรมของวิทยาลัย เทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ผ่านการเก็บข้อมูล ด้วยเครื่องบันทึกพลังงานแบบเรียลไทม์บนเครือข่าย IoT เพื่อวิเคราะห์สถานะการใช้พลังงาน ปัจจัยที่ ก่อให้เกิดการสูญเสีย และระบุมาตรการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างเป็นระบบ

ขอบเขตของการดำเนินงานประกอบด้วย

1. การสำรวจและวิเคราะห์สถานการณ์ปัจจุบัน ศึกษารูปแบบและโครงสร้างการใช้พลังงานของอาคาร วิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานตามส่วนงานและประเภทอุปกรณ์ ระบุอุปกรณ์ที่มีภาระโหลดสูงและพฤติกรรมการใช้งานที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน
2. การพัฒนาระบบการจัดการพลังงาน เก็บและบันทึกข้อมูลโหลดไฟฟ้าแบบเรียลไทม์ วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อระบุจุดสูญเสียพลังงานและโอกาสในการเพิ่มประสิทธิภาพ จัดทำมาตรการและแนวทางปรับปรุงเชิงวิศวกรรมและเชิงพฤติกรรม
3. การนำเสนอแนวทางปรับปรุง เสนอการปรับปรุงระบบไฟฟ้าและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง พัฒนาแนวทางควบคุมการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับรูปแบบการใช้อาคาร ประเมินความเหมาะสมของเทคโนโลยีเสริม เช่น ระบบอัตโนมัติและพลังงานทดแทน
4. การประเมินผล ประเมินผลลัพธ์ของมาตรการที่นำไปใช้ทั้งด้านพลังงานและค่าใช้จ่าย วิเคราะห์ความคุ้มค่าการลงทุน เสนอข้อเสนอแนะสำหรับการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานในระยะยาว

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินการ

การวิจัยดำเนินการตามลำดับขั้นที่มุ่งสำรวจ วิเคราะห์ และประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเรียนช่วงอุตสาหกรรม โดยประกอบด้วย

1. สำรวจพื้นที่และระบบจำหน่ายไฟฟ้า เพื่อกำหนดกรอบการเก็บข้อมูลและแนวทางวิเคราะห์ที่เหมาะสม
2. เก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าผ่านระบบวัดแบบเรียลไทม์บนเครือข่าย IoT และสังเคราะห์ข้อมูลเพื่อประเมินความเหมาะสมของโหลดและพฤติกรรมการใช้งาน
3. ตรวจสอบข้อมูลพลังงานรายเดือน ได้แก่ แรงดัน กระแส กำลังไฟฟ้า และอุณหภูมิ
4. วิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจัดทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริง
5. นำมาตรการที่ผ่านการวิเคราะห์ไปปรับใช้ในอาคาร
6. ตรวจสอบข้อมูลหลังดำเนินการด้วยตัวชี้วัดเดียวกับก่อนการปรับปรุง
7. วิเคราะห์เปรียบเทียบผลการใช้พลังงานก่อนและหลังการดำเนินการ เพื่อประเมินการลดใช้พลังงานและค่าใช้จ่าย
8. สรุปผลและจัดทำข้อเสนอแนะ
9. จัดทำรายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลหลายรูปแบบเพื่อรองรับการประเมินอย่างเป็นระบบ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การจัดการพลังงานในอาคารเรียนช่วงอุตสาหกรรม จะนำมาซึ่งประโยชน์มากมาย ทั้งในด้านเศรษฐกิจ สิ่งแวดล้อม และสังคม ดังนี้

1.5.1 ด้านเศรษฐกิจ

1. ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานผ่านการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าและเชื้อเพลิง ทำให้สถาบันมีงบประมาณสำหรับการพัฒนาอื่นมากขึ้น
2. เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากร โดยลดการสูญเสียของน้ำและไฟฟ้า
3. เสริมความคุ้มค่าการลงทุน เนื่องจากมาตรการจัดการพลังงานให้ผลตอบแทนระยะยาว
4. สนับสนุนการสร้างรายได้เพิ่มเติมในกรณีที่มีการผลิตพลังงาน เช่น ระบบพลังงานแสงอาทิตย์

1.5.2 ด้านสิ่งแวดล้อม

1. ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการลดการใช้พลังงาน
2. อนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติผ่านการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
3. ส่งเสริมแนวคิดการพัฒนาที่ยั่งยืนให้สอดคล้องกับมาตรฐานสากล

1.5.3 ด้านสังคม

1. เป็นต้นแบบด้านการจัดการพลังงานในสถาบันการศึกษา
2. เสริมสร้างความตระหนักรู้ด้านการอนุรักษ์พลังงานผ่านกิจกรรมและการมีส่วนร่วม
3. พัฒนาทักษะบุคลากรจากการเข้าร่วมกระบวนการจัดการพลังงาน

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1. Internet of Things (IoT) เครือข่ายอุปกรณ์ที่มีเซ็นเซอร์และความสามารถในการสื่อสาร เพื่อเก็บและแลกเปลี่ยนข้อมูลแบบเรียลไทม์
2. การตรวจวัดพลังงานแบบเรียลไทม์ การเก็บพารามิเตอร์ไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องเพื่อใช้วิเคราะห์สถานะการใช้พลังงานทันที
3. แรงดันตก (Voltage Drop) การลดลงของแรงดันตามตัวนำเนื่องจากความต้านทานและภาระ ส่งผลต่อประสิทธิภาพระบบไฟฟ้า
4. แฟกเตอร์กำลัง (Power Factor) อัตราส่วนกำลังจริงต่อกำลังปรากฏ ใช้ประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า
5. การเสื่อมสภาพของสายเมนหลัก การเพิ่มความต้านทานของตัวนำจากความร้อน ภาระเกิน หรืออายุการใช้งาน ซึ่งกระทบความน่าเชื่อถือของระบบ
6. การบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ (Predictive Maintenance) การใช้ข้อมูลและการวิเคราะห์ เพื่อคาดการณ์ความล้มเหลวและดำเนินการซ่อมบำรุงก่อนเกิดเหตุเสียหาย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กฎหมายส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร

2.1.1 แนวปฏิบัติตามมาตรการประหยัดพลังงานภาครัฐ

รัฐบาลได้มอบหมายให้กระทรวงพลังงานกำกับการลดใช้พลังงานภาครัฐไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ตามข้อสั่งการในการประชุมคณะรัฐมนตรีเมื่อวันที่ 8 มีนาคม 2565 เพื่อรองรับความผันผวนด้านพลังงานจากสถานการณ์รัสเซีย-ยูเครน กระทรวงพลังงาน โดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน และกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน จึงได้จัดทำแนวทางประหยัดพลังงานในหน่วยงานราชการ ครอบคลุมทั้งมาตรการระยะสั้นและมาตรการระยะยาว ได้แก่

2.1.1.1 แนวทางการลดใช้พลังงานเชิงระบบ

- 1) จัดตั้งคณะทำงานลดใช้พลังงาน โดยมีหัวหน้าส่วนราชการเป็นประธาน เพื่อสร้างกลไกกำกับดูแลภายใน
- 2) ตรวจสอบสภาพการใช้พลังงานของอาคารและอุปกรณ์สำนักงานอย่างเป็นระบบ เพื่อระบุจุดสูญเสียพลังงาน
- 3) จัดทำแผนปฏิบัติการลดใช้พลังงานให้สอดคล้องเป้าหมายลดอย่างน้อยร้อยละ 20 พร้อมระบบติดตามผล
- 4) ดำเนินมาตรการตามแผนอย่างต่อเนื่อง และจัดกิจกรรมสร้างความตระหนักแก่บุคลากร
- 5) ประเมินผลและทบทวนมาตรการเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพหรือปรับลดตามความเหมาะสมของภารกิจ

2.1.1.2 มาตรการที่ปฏิบัติได้ทันที

มาตรการกลุ่มนี้เน้นการปรับพฤติกรรมและวิธีใช้งานอุปกรณ์ โดยไม่ต้องใช้งบประมาณเพิ่มเติม และสามารถดำเนินการได้ทันทีในทุกหน่วยงาน ได้แก่

- 1) ลดการใช้ไฟฟ้าและน้ำมันเชื้อเพลิงลงอย่างน้อยร้อยละ 20 ตามเกณฑ์การประเมินของสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาระบบราชการ
- 2) สำนักงานนโยบายและแผนพลังงานทำหน้าที่ติดตามผลการลดใช้พลังงานของแต่ละหน่วยงาน และจัดทำรายงานเสนอต่อคณะรัฐมนตรีเป็นระยะ เพื่อประเมินความคืบหน้าและกำกับการดำเนินงานให้เป็นไปตามเป้าหมายของภาครัฐ ด้านปรับอากาศ การจำกัดชั่วโมงทำงาน ตั้งอุณหภูมิ 25-26 องศาเซลเซียส ทำความสะอาดคอยล์และอุปกรณ์ทุก 6 เดือน และลดภาระความร้อนเข้าสู่อาคาร ด้านแสงสว่าง ปิดไฟเมื่อไม่ใช้งาน ใช้แสงธรรมชาติ ใช้หลอด LED หรืออุปกรณ์ที่มีฉลากประสิทธิภาพสูง พร้อมบำรุงรักษาคอมไฟฟัก 3-6 เดือน อุปกรณ์สำนักงาน ปิดโหมดประหยัดพลังงาน ปิดเครื่องและถอดปลั๊กหลังเลิกงาน ตั้งระบบพักหน้าจออัตโนมัติ

2.1.1.3 มาตรการระยะยาวด้านการจัดการพลังงาน

- 1) อาคารรัฐที่เข้าข่ายเป็นอาคารควบคุมต้องมีผู้รับผิดชอบด้านพลังงานและดำเนินการตามกฎหมายกระทรวงว่าด้วยมาตรฐานการจัดการพลังงานให้ครบถ้วนภายในปีงบประมาณ 2566
- 2) กำหนดเป้าหมายประหยัดพลังงานอย่างชัดเจนและกำกับเจ้าหน้าที่ให้ปฏิบัติตามมาตรการอย่างเคร่งครัด
- 3) ให้กระทรวงพลังงานสนับสนุนอาคารรัฐในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานตามข้อกำหนดกฎหมาย
- 4) ส่งเสริมการใช้มาตรการ ESCO ในหน่วยงานภาครัฐ โดยเฉพาะการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบ Solar Rooftop ผ่านสัญญามาตรฐานร่วมกับภาคเอกชน
- 5) ปรับปรุงเกณฑ์การจัดซื้ออุปกรณ์ไฟฟ้าและยานพาหนะใหม่ให้เลือกเฉพาะอุปกรณ์ประสิทธิภาพสูง และควบคุมการนำอุปกรณ์เก่ากลับมาใช้งานเพื่อป้องกันการสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มเติม

2.2 แนวคิดพื้นฐานเกี่ยวกับพลังงานและการจัดการพลังงาน

2.2.1 ความหมายของพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้า คือ พลังงานที่เกิดจากการเคลื่อนที่หรือการแยกตัวของประจุไฟฟ้า เมื่อประจุเคลื่อนที่ผ่านตัวนำจะเกิดกระแสไฟฟ้า ซึ่งเป็นพลังงานหลักที่ใช้ในครัวเรือน อุตสาหกรรม และระบบสาธารณสุข โภค พลังงานไฟฟ้ามีบทบาทสำคัญต่อคุณภาพชีวิตและการพัฒนาประเทศ ทำให้ความต้องการไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งในภาคคมนาคม เศรษฐกิจ อุตสาหกรรม เกษตรกรรม และบริการ

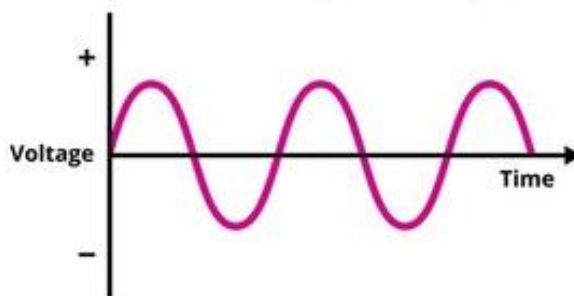
2.2.1.1 ประเภทของพลังงานไฟฟ้า

พลังงานไฟฟ้าแบ่งตามแหล่งกำเนิดได้ 2 ประเภท ได้แก่ พลังงานที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและพลังงานที่มนุษย์ผลิตขึ้น

1) ไฟฟ้าสถิต (Static Electricity) เกิดจากการเสียดสีหรือสัมผัสระหว่างวัตถุ ทำให้ประจุไฟฟ้าบวกและลบเคลื่อนที่ไม่สมดุล จนเกิดแรงดึงดูด แรงผลัก หรือประกายไฟ ตัวอย่างในธรรมชาติ ได้แก่ ไฟแลบและฟ้าผ่า

2) ไฟฟ้ากระแส (Current Electricity) เกิดจากการไหลของประจุไฟฟ้าผ่านตัวนำจากแหล่งกำเนิดไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้า แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

(1) ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current: AC) เป็นกระแสที่เปลี่ยนทิศทางและขนาดตามคาบ มีลักษณะเป็นคลื่นไซน์ โดยมีค่าเฉลี่ยต่อหนึ่งรอบเท่ากับศูนย์ จุดศูนย์โวลต์ในหนึ่งรอบทำหน้าที่เป็นจุดอ้างอิงในการวิเคราะห์พฤติกรรมของสัญญาณไฟฟ้า



ภาพที่ 2.1 ไฟฟ้ากระแสสลับ (Alternating Current)

แหล่งที่มา: เว็บไซต์การศึกษาอิเล็กทรอนิกส์ (วิชาการไฟฟ้า, 2564)

(2) ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current: DC) คือกระแสไฟฟ้าที่ไหลในทิศทางเดียวจากขั้วบวกไปขั้วลบ แหล่งกำเนิดได้จากแบตเตอรี่ ไดนาโม หรือผ่านการแปลงกระแสสลับเป็นกระแสตรงด้วยวงจรเรียงกระแสและวงจรกรอง ลักษณะสำคัญคือความถี่เป็นศูนย์ กระแสไม่กลับทิศทาง และให้แรงดันคงที่ จึงนิยมใช้ในงานอิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์ควบคุม และระบบพลังงานแสงอาทิตย์



ภาพที่ 2.2 ไฟฟ้ากระแสตรง (Direct Current)

แหล่งที่มา: ตำราฟิสิกส์เบื้องต้น (บรรจบ พลังงาน, 2561)

2.2.2 ประเภทของพลังงานที่ใช้ในอาคาร

พลังงานไฟฟ้าในอาคารสามารถจำแนกตามลักษณะการใช้งานได้หลายประเภท โดยหนึ่งในประเภทหลักคือพลังงานสำหรับระบบแสงสว่าง (Lighting Energy) ซึ่งเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติของแสงที่ใช้งานในพื้นที่ ได้แก่ ความส่องสว่าง (Illuminance) คือปริมาณแสงที่ตกกระทบพื้นผิวต่อหน่วยพื้นที่ วัดเป็นลักซ์ (Lux) หรือฟุตแคนเดิล (Footcandle) โดย 1 ฟุตแคนเดิลประมาณ 10.76 ลักซ์ ความสว่างสะท้อน (Luminance) คือปริมาณแสงที่สะท้อนออกจากวัตถุต่อหน่วยพื้นที่ วัดเป็นแคนเดลาต่อตารางเมตร (cd/m^2) ซึ่งขึ้นกับสีและวัสดุของพื้นผิว อุณหภูมิสี (Color Temperature) ใช้บอกลักษณะสีของแสง วัดเป็นเคลวิน (K) เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์คูไลท์ที่มีอุณหภูมิสีประมาณ 6,500 K ให้แสงสีขาวอมฟ้า

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างอุณหภูมิสีและโทนสีของแสงที่ใช้กันทั่วไป

อุณหภูมิของแสง (K)	โทนสีของแสง (Color Group)	ตัวอย่างแหล่งกำเนิดแสง
1900	สีขาวส้ม	เทียนไข
2700	สีขาวส้ม	หลอดอินแคนเดสเซนต์
3000	สีวอร์มไวต์ (ขาวเหลือง)	หลอดฮาโลเจน
3500	สีวอร์มไวต์	หลอดไอปรอทความดันสูง
3500	สีวอร์มไวต์	ฟลูออเรสเซนต์สีวอร์มไวต์
4000	สีคูลไวต์ (ขาวเย็น)	หลอดเมทัลฮาไลด์
4500	สีคูลไวต์	ฟลูออเรสเซนต์สีคูลไวต์
5000-6000	สีเดย์ไลท์ (ขาว)	แสงอาทิตย์กลางวัน
6500	สีคูลเดย์ไลท์ (ขาวน้ำเงินเย็น)	ฟลูออเรสเซนต์สีเดย์ไลท์

2.2.2.1 หลอดไส้ (Incandescent Lamp)

หลอดไส้เป็นหลอดไฟคลาสสิกที่ให้แสงอบอุ่นนุ่มนวลเหมือนแสงเทียน ไส้หลอดทำจากทั้งสแตน กระแสไฟฟ้าผ่านทำให้ร้อนและเปล่งแสง ข้อจำกัดคือประสิทธิภาพต่ำ พลังงานส่วนใหญ่เสียเป็นความร้อน ทำให้อายุการใช้งานสั้น แต่ยังคงมีคุณค่าเชิงประวัติศาสตร์และสร้างบรรยากาศธรรมชาติได้ดี



ภาพที่ 2.3 หลอดไส้

แหล่งที่มา: เว็บไซต์คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในครัวเรือน (ส.อนุรักษ์พลังงาน, 2565)

2.2.2.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp)

หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดประสิทธิภาพสูงและอายุการใช้งานยาวกว่าหลอดไส้ 5-8 เท่า เหมาะกับพื้นที่ที่ต้องการแสงต่อเนื่อง เช่น สำนักงาน โรงเรียน และบ้านพัก หลักการทำงานไส้โลหะทั้งสแตนปลายทั้งสอง มีไอปรอทและสารเรืองแสงบนผิวด้านใน กระแสไฟฟ้าผ่านไส้หลอดทำให้ไอปรอทปล่อยรังสี UV ซึ่งสารเรืองแสงจะแปลงเป็นแสงที่ตามองเห็นได้ ข้อควรระวังการจัดการไอปรอทไม่ถูกวิธีอาจกระทบสิ่งแวดล้อม สรุปลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นตัวเลือกสำคัญของระบบแสงสว่างสมัยใหม่ให้แสงมากและคุ้มค่า



ภาพที่ 2.4 หลอดฟลูออเรสเซนต์

แหล่งที่มา: โครงการฉลากประหยัดไฟเบอร์ 5 (กรมพัฒนาพลังงาน, 2560)

2.2.2.3 หลอดฮาโลเจน

หลอดฮาโลเจนพัฒนาต่อยอดจากหลอดไส้ โดยเติมก๊าซฮาโลเจน (เช่น ไอโอดีนหรือโบรมีน) เพื่อเพิ่มความทนทานและประสิทธิภาพ คุณสมบัติเด่นค่าความถูกต้องของสีสูง (CRI 100%) สีของวัตถุปรากฏเหมือนธรรมชาติ ความสว่างและคมชัดสูง เหมาะกับพื้นที่ที่ต้องการความแม่นยำในการมองเห็น อายุการใช้งานยาวนาน ประมาณ 1,500-3,000 ชั่วโมง เนื่องจากก๊าซฮาโลเจนช่วยยืดอายุไส้หลอด หลักการทำงานกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไส้หลอดทั้งสแตนท์ทำให้เกิดความร้อนและแสง ก๊าซฮาโลเจนทำปฏิกิริยา Halogen Cycle คืนตัวทั้งสแตนท์ ลดการเสื่อมสภาพ ทำให้แสงสว่างเสถียร และประหยัดพลังงานมากขึ้น ข้อจำกัดใช้พลังงานสูงกว่า LED ปล่อยความร้อนมาก ข้อสรุปหลอดฮาโลเจนเหมาะสำหรับงานที่ต้องการ แสงคุณภาพสูงและสีแม่นยำ



ภาพที่ 2.5 หลอดฮาโลเจน

แหล่งที่มา: สื่อการเรียนรู้ไฟฟ้าส่องสว่าง (สมาคมไฟฟ้า, 2563)

2.2.2.4 หลอดแสงจันทร์ หรือ หลอดไฟไอปรอท

หลอดแสงจันทร์เป็นหลอดแรงดันสูงประเภท High-Intensity Discharge (HID) ให้แสงสีขาวเข้ม นวลตา และความสว่างสูง หลักการทำงานหลอดบรรจุไอปรอทและแก๊สเฉื่อย กระแสไฟแรงสูงทำให้เกิดการปล่อยประจุไฟฟ้าผ่านไอปรอท ไอปรอทปล่อยพลังงานในรูปของแสงสว่าง มีปริมาณแสงต่อวัตต์สูง คุณสมบัติเด่นแสงสว่างสูงและส่องไกล เหมาะกับพื้นที่กว้าง อายุการใช้งานยาวนาน ~ 24,000 ชั่วโมง ประสิทธิภาพต่อวัตต์สูงให้แสงมากเมื่อเทียบกับพลังงาน แสงสีขาวนวลให้บรรยากาศสว่างแต่ไม่จ้า ข้อจำกัดค่าความถูกต้องของสีต่ำ มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากไอปรอท ข้อสรุป หลอดแสงจันทร์เหมาะสำหรับงานอุตสาหกรรมและพื้นที่สาธารณะ ที่ต้องการความสว่างสูงและอายุการใช้งานยาวนาน



ภาพที่ 2.6 หลอดแสงจันทร์ หรือ หลอดไฟไอรอท
แหล่งที่มา: คู่มือการเลือกใช้หลอดไฟประสิทธิภาพสูง (สถาบันวิจัยพลังงาน, 2561)

2.2.2.5 หลอดเมทัลฮาไลด์

หลอดเมทัลฮาไลด์เป็นหลอด High-Intensity Discharge (HID) ให้แสงสว่างสูงพร้อมสีที่สดใส เหมาะสำหรับพื้นที่ที่ต้องการความสว่างสูงหรือการตกแต่งเน้นความสวยงาม หลักการทำงานกระแสไฟฟ้าส่งผ่านอาร์กไฟฟ้า (Electric Arc) ผ่านก๊าซและไอรอท ภายในหลอดมีอาร์กอนไอรอท และสารประกอบโลหะฮาไลด์ เมื่อร้อนจะเกิดปฏิกิริยาสร้างแสง ความร้อน และแรงดันสูง เพิ่มความสว่างและความสดของสี คุณสมบัติเด่นแสงสว่างเข้มสูง ส่องไกลและให้แสงมาก สีที่สดใสจากการผสมโลหะฮาไลด์ ประสิทธิภาพสูง (แสงต่อวัตต์มาก) อายุการใช้งานยาวนาน $\approx 24,000$ ชั่วโมง



ภาพที่ 2.7 หลอดเมทัลฮาไลด์
แหล่งที่มา: คู่มือระบบไฟฟ้าแสงสว่างในอาคาร (สถาบันวิจัยพลังงาน, 2561)

2.2.2.6 หลอดหลอดตะเกียบ

หลอดตะเกียบพัฒนาต่อยอดจากหลอดฟลูออเรสเซนต์มีขนาดกะทัดรัดใช้งานสะดวก และให้แสงสว่างประสิทธิภาพสูงกว่าหลอดไส้ หลักการทำงานกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไส้ทั้งสแตนท์ทำให้ไอรอทภายในปล่อยรังสี UV รังสี UV กระทบสารเรืองแสงด้านในหลอดแปลงเป็นแสงสว่างที่มองเห็นได้ คุณสมบัติเด่น ขนาดกะทัดรัด บัลลาสต์ในตัวทำให้ใช้งานง่ายและประหยัดพื้นที่ อายุการใช้งานยาวนาน 6,000-15,000 ชั่วโมง ประหยัดพลังงานใช้พลังงานต่ำกว่าหลอดไส้ $\sim 75\%$ ในการให้แสงเท่ากัน



ภาพที่ 2.8 หลอดหลอดตะเกียบ
แหล่งที่มา: Pixabay เว็บ (2565)

2.2.2.7 หลอดไฟ LED

LED เป็นเทคโนโลยีหลอดไฟสมัยใหม่ที่แสงเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ไม่ใช่ไส้หลอดหรือแก๊ส คุณสมบัติเด่นประหยัดพลังงานสูง ใช้ไฟฟ้าน้อยแต่ให้แสงมาก อายุการใช้งานยาวนานทนทานถึง 50,000 ชั่วโมง ลดความร้อนและถนอมสายตา ไม่มีไส้หลอด ไม่กระพริบ แสงนุ่มสบาย เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ปราศจากปรอทหรือสารเคมีอันตราย คำนึงเลือกใช้ LED ที่ผ่านการรับรองมาตรฐาน มอก. เพื่อความปลอดภัยและประสิทธิภาพสูงสุด



ภาพที่ 2.9 หลอดไฟ LED
แหล่งที่มา: Philips เว็บ (2565)

2.2.2.8 ลักซ์มิเตอร์ (Lux Meter)

ลักซ์มิเตอร์ (Lux Meter) เครื่องมือวัดความส่องสว่างในพื้นที่ต่าง ๆ เช่น ภายในอาคาร โดยค่าที่วัดเป็น “ลักซ์ (Lux)” แสดงความเข้มของแสงบนพื้นผิว วิธีใช้งานวางเซ็นเซอร์หันขึ้นด้านที่แสงตกลงมา ระวังเงาหรือแสงสะท้อนรบกวนการวัด เปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับมาตรฐานพื้นที่การใช้งานทั่วไป ตรวจสอบความสว่างในสำนักงาน โรงงาน หรือห้องเรียน ปรับระดับแสงให้เหมาะสมตามความต้องการ ออกแบบการจัดแสงเพื่อความสะดวกและประสิทธิภาพในการใช้งาน



ภาพที่ 2.10 ลักซ์มิเตอร์ (Lux Meter)
แหล่งที่มา: Comcube เว็บ (2565)

2.2.2 พลังงานสำหรับระบบทำความเย็นและปรับอากาศ (Cooling and Air Conditioning Energy)

EER (Energy Efficiency Ratio) หมายถึง อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศคือ ค่าที่ใช้วัดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศว่าดีหรือไม่อย่างไร มีหน่วยเป็น (Btu/hr.)/W คือ อัตราส่วนของความเย็นที่เครื่องปรับอากาศสามารถกระทำได้จริง (Output) กับกำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศนั้นต้องใช้ในการทำความเย็น (Input) เครื่องปรับอากาศที่มีค่า EER ยิ่งสูง ก็แสดงว่าเครื่องปรับอากาศเครื่องนั้นยังมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานมากขึ้น ดังสมการ

$$EER = \frac{\text{Output}}{\text{Input}} = \frac{\text{Btu / hr}}{P(w)} \quad (2.1)$$

ความเย็นที่เครื่องปรับอากาศสามารถทำได้ (Output) = บีทียู/ชั่วโมง
กำลังไฟฟ้าที่เครื่องปรับอากาศต้องใช้ในการทำความเย็น = กำลังไฟฟ้า มีหน่วยเป็นวัตต์

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าอัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงานของเครื่องปรับอากาศ (EER)

เบอร์	EER	เกณฑ์การประหยัด
5	มากกว่า 10.6	ดีมาก
4	9.6-10.6	ดี
3	8.6-9.6	ปานกลาง
2	7.6-8.6	พอใช้
1	ต่ำกว่า 7.6	ต่ำ

2.2.3 พลังงานสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้าทั่วไป (Plug Loads Energy)

พลังงานที่ใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่เสียบปลั๊กใช้งานในพื้นที่ต่าง ๆ ของอาคาร เช่น ห้องเรียน ห้องปฏิบัติการ ห้องสมุด หรือสำนักงานครูและเจ้าหน้าที่ ไม่รวมระบบหลักของอาคาร (แสงสว่าง, แอร์) ตัวอย่างอุปกรณ์ คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เสริม Desktop, Laptop, Monitor, Printer, Scanner, เครื่องใช้ไฟฟ้าขนาดเล็ก, ชาร์จมือถือ, เครื่องถ่ายเอกสาร, โพรเจคเตอร์, อุปกรณ์เรียนการสอน LED TV, Interactive Whiteboard, ระบบเสียง อุปกรณ์ห้องครัว/พื้นที่ส่วนรวม ตู้เย็น, กาต้มน้ำ, ไมโครเวฟ, เครื่องชงกาแฟ อื่น ๆ พัดลมตั้งโต๊ะ, แอร์เคลื่อนที่ และเครื่องดูดฝุ่น แนวทางการพลังงานใช้อุปกรณ์ประหยัดพลังงาน (Energy Star, เบอร์ 5) ตั้งค่าใช้งานอัตโนมัติ (Auto-Sleep, Smart Plugs) ให้ความรู้และแรงจูงใจเรื่องการประหยัดพลังงาน ใช้ระบบตรวจสอบและควบคุมพลังงานแบบเรียลไทม์ ผลประโยชน์ ลดค่าไฟฟ้า ลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก สนับสนุนความยั่งยืนในสถานศึกษา

2.2.4 พลังงานสำหรับระบบลิฟต์และบันไดเลื่อน (Elevator and Escalator Energy)

ลิฟต์ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าก/ลดตัวลิฟต์ พลังงานขึ้นอยู่กับจำนวนชั้น น้ำหนักบรรทุก และความเร็วใช้งาน ประเภทลิฟต์ Traction Elevator ใช้สายเคเบิลเหมาะกับอาคารสูง สามารถลดพลังงานด้วย Regenerative Braking Hydraulic Elevator ใช้พลังงานสูงกว่า เหมาะสำหรับอาคารไม่สูง (4-5 ชั้น) แนวทางประหยัดพลังงาน ใช้ Smart Control รวมผู้โดยสารไปทิศทางเดียวกัน ติดตั้ง Regenerative Drive เลือกลิฟต์ที่ได้มาตรฐานประหยัดพลังงาน

2.2.5 พลังงานสำหรับระบบน้ำร้อนและน้ำประปา (Hot Water and Water Pump Energy)

พลังงานที่ใช้กับปั๊มน้ำและระบบควบคุม เพื่อจ่ายน้ำให้พื้นที่ต่าง ๆ เช่น ห้องเรียน ห้องน้ำ โรงอาหาร องค์ประกอบระบบน้ำ Water Supply System ปั๊มน้ำจ่ายน้ำจากแหล่งต่าง ๆ Water Circulation System สำหรับน้ำร้อนหรือระบบแรงดันคงที่ Drainage and Water Treatment จัดการน้ำเสียและรีไซเคิล ปัจจัยส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานจำนวนชั้นของอาคาร จำนวนผู้ใช้น้ำ ประสิทธิภาพของปั๊ม การบำรุงรักษาระบบ แนวทางประหยัดพลังงาน ใช้ปั๊มและมอเตอร์ประสิทธิภาพสูง (IE3, IE4) จัดการน้ำ เช่น หัวก๊อกเซ็นเซอร์, ถังเก็บน้ำบนดาดฟ้า ติดตั้ง Smart Water Management และเซ็นเซอร์รั่วไหล บำรุงรักษาอุปกรณ์สม่ำเสมอ รีไซเคิลน้ำฝนหรือน้ำเสียที่ผ่านการบำบัด ผลประโยชน์ลดการใช้พลังงานและค่าใช้จ่าย สนับสนุนการใช้น้ำอย่างยั่งยืน

2.2.6 หลักการจัดการพลังงาน (Energy Management)

การจัดการพลังงานเป็นกระบวนการที่มุ่งเน้นการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและลดการสูญเสียพลังงานให้น้อยที่สุด โดยการทำงานของระบบจัดการพลังงานจะมีการวางแผน ใช้เทคโนโลยีตรวจสอบ และวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานเพื่อพัฒนาแนวทางการประหยัดพลังงานและลดต้นทุน (see frameworks and EMS literature, e.g., Bonilla et al., 2018; Marinakis & Doukas, 2018)

2.2.7 แนวคิดการอนุรักษ์พลังงาน

การอนุรักษ์พลังงานมุ่งเน้นการลดการใช้พลังงานโดยไม่ลดประสิทธิภาพของการทำงาน ตัวอย่างเช่น การปรับปรุงอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น การใช้หลอดไฟ LED ที่ประหยัดพลังงาน การใช้เครื่องปรับอากาศที่มีมาตรฐานประหยัดพลังงาน หรือการปรับปรุงระบบความร้อนและความเย็นในอาคาร การอนุรักษ์พลังงานยังเป็นส่วนหนึ่งของการพัฒนาที่ยั่งยืน โดยการลดการใช้พลังงานสามารถช่วยลดมลพิษและลดการพึ่งพาพลังงานจากฟอสซิล

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับระบบพลังงานไฟฟ้าในอาคาร

2.3.1 การวิเคราะห์โหลดไฟฟ้าในอาคาร การวิเคราะห์โหลดไฟฟ้าเป็นกระบวนการประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละส่วนของอาคาร เพื่อให้สามารถคำนวณและจัดสรรพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่าง การคำนวณความต้องการพลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น แสงสว่าง, เครื่องปรับอากาศ, ระบบทำความร้อน การพิจารณาปริมาณการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่าง ๆ เทคนิคที่ใช้การพิจารณาค่า Power Factor การใช้เครื่องมือวัดการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์

2.3.2 ระบบแสงสว่างและการปรับปรุงประสิทธิภาพ ระบบแสงสว่างเป็นแหล่งการใช้พลังงานหลักในหลายอาคาร การปรับปรุงประสิทธิภาพสามารถทำได้ดังนี้ ใช้หลอดไฟประสิทธิภาพสูง เช่น LED หรือหลอดฟลูออเรสเซนต์ ออกแบบแสงสว่างให้คุ้มค่าและเหมาะสมกับพื้นที่ ใช้ระบบปรับลดความสว่างอัตโนมัติ เช่น เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวหรือแสงธรรมชาติ ผลลัพธ์ ลดการใช้พลังงานและประหยัดค่าใช้จ่าย

2.3.3 ระบบปรับอากาศและผลกระทบต่อการใช้พลังงาน ระบบปรับอากาศมีผลต่อการใช้ไฟฟ้าอย่างมาก โดยเฉพาะในพื้นที่ร้อน แนวทางปรับปรุงประสิทธิภาพ เลือกเครื่องปรับอากาศที่มีประสิทธิภาพสูง (SEER หรือ EER สูง) ติดตั้งระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ ใช้งานเครื่องปรับอากาศในตำแหน่งเหมาะสมและปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมกับเวลาใช้งาน บำรุงรักษาเครื่องปรับอากาศ เช่น ทำความสะอาดฟิลเตอร์ ตรวจสอบระบบระบายความร้อน ผลลัพธ์ ลดการใช้พลังงาน, ยืดอายุการใช้งาน และลดต้นทุนการดำเนินงาน

2.4 การบริหารจัดการพลังงานในอาคารเรียน

2.4.1 การวางแผนการใช้พลังงาน ประเมินโหลดไฟฟ้าและความต้องการพลังงานของอุปกรณ์และระบบต่าง ๆ ตั้งเป้าลดการใช้พลังงาน เช่น 10-20% ใน 1-3 ปี ใช้เทคโนโลยีควบคุมพลังงาน เช่น เซ็นเซอร์แสง/ความเคลื่อนไหว สร้างความตระหนักแก่นักเรียนและเจ้าหน้าที่ (behavioural & technical interventions; see Ashouri et al., 2019; Bäcklund et al., 2023)

2.4.2 มาตรการลดการใช้พลังงาน ใช้หลอดไฟ LED และอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน ตั้งอุณหภูมิแอร์ที่เหมาะสม (25-27 °C) ใช้แสงธรรมชาติและติดตั้งหน้าต่างเพิ่มแสง ปลุกต้นไม้รอบอาคารเพื่อลดความร้อน

2.4.3 การปรับปรุงประสิทธิภาพ ใช้ระบบอัจฉริยะควบคุมไฟและแอร์ ตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าและแอร์สม่ำเสมอ ติดตั้งพลังงานทดแทน เช่น โซลาร์เซลล์ ฝึกอบรมบุคลากร และนักเรียนให้มีส่วนร่วมในการประหยัดพลังงาน (integrated BEMS approaches; see Bonilla et al., 2018; Poyyamozi et al., 2024)

สรุป การบริหารจัดการพลังงานช่วยลดค่าใช้จ่ายและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ด้วยการวางแผนและใช้เทคโนโลยีอย่างเหมาะสม

2.5 การประเมินประสิทธิภาพการจัดการพลังงาน

2.5.1 ตัวชี้วัด (KPIs) ใช้ตัวชี้วัดเพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ได้แก่ การใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ kWh/m² เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานในแต่ละพื้นที่ พลังงานต่อหน่วยผลิต/บริการ เช่น การใช้พลังงานต่อชั่วโมงเรียนหรือการผลิตสินค้า Power Factor (PF) แสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า ค่าใกล้ 1 หมายถึงประสิทธิภาพสูง การลดการใช้พลังงาน เปรียบเทียบการใช้พลังงานก่อนและหลังมาตรการประหยัดพลังงาน

2.5.2 เครื่องมือและวิธีการประเมิน การวิเคราะห์ Power Factor วัดอัตราส่วนพลังงานที่ใช้จริงต่อพลังงานที่ส่งไปยังอุปกรณ์ หาก PF ต่ำ แสดงถึงการสูญเสียพลังงานสูง เครื่องมือวัดพลังงาน (Power Meter) ติดตามการใช้พลังงานระยะยาว เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์หรือระบบที่ใช้ไฟเกินจำเป็น Energy Management System (EMS) ระบบวิเคราะห์และรายงานการใช้พลังงาน ช่วยบริหารจัดการอย่างมีประสิทธิภาพ (EMS & monitoring; see Bonilla et al., 2018; Selvaraj et al., 2023)

สรุป การใช้ KPIs และเครื่องมือวัดช่วยให้ตรวจสอบและปรับปรุงการใช้พลังงาน ลดค่าใช้จ่าย และเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการพลังงานในอาคารหรือโรงงาน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Diego Bonillaa, Margarita Gil Samaniegob, Rogelio Ramosa, Héctor Campbell “Practical and low-cost monitoring tool for building energy management systems using virtual instrumentation” Sustainable Cities and Society 39 (2018) 155–162

บทความนี้เสนอเครื่องมือ Virtual Energy Management System (VMS) สำหรับการจัดการพลังงานอาคาร โดยเป็นโซลูชัน ต้นทุนต่ำ ที่พัฒนาด้วย LabVIEW 2013 เพื่อใช้ตรวจวัดและบริหารพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ระบบถูกออกแบบให้ใช้งานง่าย ไม่ต้องมีความรู้เชิงเทคนิคเฉพาะทาง และผ่านการทดสอบในอาคารจริงของมหาวิทยาลัย UABC ประเทศเม็กซิโก ผลการทดลองพบว่าสามารถ ลดต้นทุนการลงทุนของระบบตรวจสอบพลังงานได้ถึง 40% ในอาคารขนาดเล็กและกลาง พร้อมช่วยยกระดับประสิทธิภาพการจัดการพลังงานโดยรวม

Mukilan Poyyamozi, Balasubramanian Murugesan, Narayanamoorthi Rajamanickam, Mohammad Shorfuzzaman and Yasser Aboelmagd “IoT—A Promising Solution to Energy Management in Smart Buildings: A Systematic Review, Applications, Barriers, and Future Scope” *Buildings* 2024, 14, 3446

บทความนี้ทบทวนบทบาทของ IoT ในการจัดการพลังงานอาคารอัจฉริยะ โดยพบว่า เทคโนโลยี IoT สามารถลดการใช้พลังงานได้สูงถึงประมาณ 30% ผ่านการใช้เซ็นเซอร์ ระบบควบคุมอัตโนมัติ และการวิเคราะห์ข้อมูลแบบเรียลไทม์ ทำให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพขึ้นและเพิ่มความสะดวกสบายแก่ผู้ใช้งาน ทั้งนี้ อุปสรรคสำคัญที่ยังต้องแก้ไข ได้แก่ ความปลอดภัยของข้อมูล ต้นทุนระบบ และการขาดมาตรฐานกลาง เพื่อสนับสนุนการใช้งานในอนาคตอย่างยั่งยืน

Milad Ashouri, Fariborz Haghighat, Benjamin C. M. Fung, Hiroshi Yoshinoc “Development of a ranking procedure for energy performance evaluation of buildings based on occupant behavior” *Energy & Buildings* 183 (2019) 659–671

บทความนี้พัฒนาวิธีจัดอันดับสมรรถนะพลังงานของอาคารโดยอิงพฤติกรรมผู้ใช้งาน เช่น การใช้แอร์ ไฟส่องสว่าง และการเปิด-ปิดหน้าต่าง ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานอย่างมีนัยสำคัญ ระบบจัดอันดับที่พัฒนาขึ้นสามารถระบุพฤติกรรมที่ทำให้สิ้นเปลืองพลังงาน และเสนอแนวทางลดการใช้พลังงานในแต่ละหมวดงาน ผลการวิจัยพบว่า การให้ข้อมูลอันดับแก่ผู้ใช้งานช่วยปรับเปลี่ยนพฤติกรรม และมีศักยภาพลดการใช้พลังงานในระยะยาว

Jennifer King and Christopher Perry “Smart Buildings: Using Smart Technology to Save Energy in Existing Buildings” American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE) 529 14th Street NW, Suite 600, Washington, DC 20045

บทความชี้ให้เห็นว่าอาคารอัจฉริยะสามารถประหยัดพลังงานได้อย่างมีนัยสำคัญด้วยการใช้เทคโนโลยี ICT เชื่อมโยงระบบภายในอาคารและสื่อสารกับโครงข่ายไฟฟ้า ระบบสำคัญ ได้แก่ HVAC อัจฉริยะ, ระบบแสงสว่างปรับตามสภาพจริง, การจัดการพลังงานจากปลั๊กไฟ, ระบบควบคุมแสงแดด หน้าต่าง และซอฟต์แวร์จัดการพลังงานอัตโนมัติ รวมถึงการควบคุมโดยผู้ใช้งานผ่านแอป ทั้งหมดนี้ ช่วยลดการใช้พลังงานได้ราว 30–50% พร้อมเพิ่มความสะดวกสบาย สุขภาพผู้ใช้งาน และลดต้นทุนและการปล่อยคาร์บอน

Katarina Bäcklund, Marco Molinari and Per Lundqvist “In Search for Untapped Energy-Saving Potential in Green and Smart Higher Educational Buildings- An Empirical Case Study Involving the Building Occupants” *Buildings* 2023, 13, 3103

งานวิจัยนี้สำรวจศักยภาพการประหยัดพลังงานที่ยังไม่ได้ใช้ในอาคารการศึกษา ระดับอุดมศึกษาที่เป็นอาคารเขียวและอาคารอัจฉริยะ โดยเน้นบทบาทของผู้ใช้อาคารในการกำหนดรูปแบบการใช้พลังงาน ผลการศึกษาในกรณีจริงชี้ว่า พฤติกรรมของผู้ใช้งานมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพ

พลังงานอย่างชัดเจน และการให้ความรู้ การสร้างแรงจูงใจ และการมีส่วนร่วมของผู้ใช้อาคารสามารถช่วยลดการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพได้ในระยะยาว

2.7 การใช้เทคโนโลยีและสร้างจิตสำนึกด้านพลังงาน

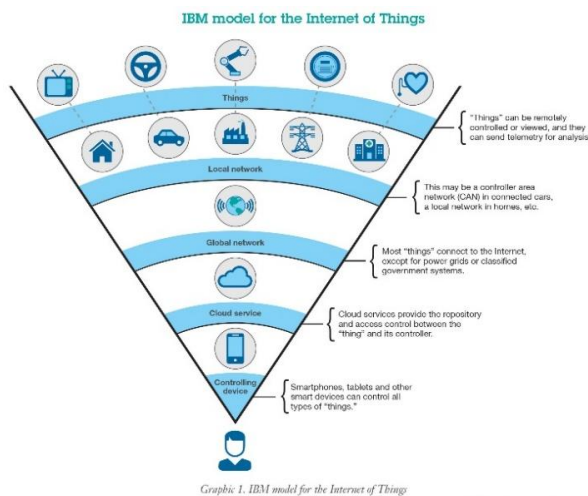
2.7.1 การนำเทคโนโลยีและนวัตกรรมมาใช้ IoT เชื่อมต่อและควบคุมอุปกรณ์ในอาคาร เช่น ไฟฟ้า แสงสว่าง และแอร์ แบบอัตโนมัติ วิเคราะห์ข้อมูลพลังงานเรียลไทม์ ปรับการใช้งานเพื่อลดสิ้นเปลือง เช่น เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวและการใช้ Big Data เพื่อคาดการณ์แนวโน้มการใช้งาน (see Poyyamozi et al., 2024; Marinakis & Doukas, 2018; Nugroho & Sanjaya, 2016)

2.7.2 การสร้างจิตสำนึกด้านการอนุรักษ์พลังงาน จัดกิจกรรมอบรมและรณรงค์ให้นักเรียนและบุคลากรตระหนักถึงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ให้ผู้ใช้งานมีส่วนร่วมในการตัดสินใจ เช่น การแสดงข้อมูลย้อนกลับ (feedback) และการจัดอันดับอาคารเพื่อนำไปสู่การเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม (Ashouri et al., 2019; Bäcklund et al., 2023)

2.8 Internet of Things

IoT คือกรอบแนวคิดของระบบเครือข่ายที่เชื่อมต่ออุปกรณ์หลากหลาย เช่น คอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และเซ็นเซอร์ ให้สามารถสื่อสารและทำงานร่วมกันอัตโนมัติ ช่วยให้มนุษย์เข้าถึงข้อมูลและควบคุมอุปกรณ์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (สำนักงาน กสทช., 2560)

2.8.1 ความเป็นมา เสนอโดย Kevin Ashton, MIT, 1999 จากเทคโนโลยี RFID หลังปี 2000 มีคำว่า “Smart” เช่น Smart Device, Smart Home, Smart Grid อุปกรณ์ฝัง RFID/Sensors เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต แลกเปลี่ยนข้อมูลโดยตรง (M2M-Machine to Machine) องค์ประกอบสำคัญ: RFID & Sensors, การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต ข้อดีการจัดการและควบคุมอุปกรณ์มีประสิทธิภาพ ความเสี่ยง ด้านความปลอดภัย หากระบบไม่มั่นคง อาจถูกโจมตีหรือละเมิดความเป็นส่วนตัว ตัวอย่าง IBM Model for the Internet of Things



ภาพที่ 2.11 IBM Model for the Internet of Things
แหล่งที่มา: โพรซอฟท์ เว็บ (2561)

2.8.2 ทฤษฎีและแนวคิดเกี่ยวกับ Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) เป็นแนวคิดที่เชื่อมต่ออุปกรณ์และวัตถุต่าง ๆ ผ่านอินเทอร์เน็ต เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลและทำงานร่วมกันอัตโนมัติ สร้างระบบนิเวศเทคโนโลยีที่ทำให้สิ่งต่าง ๆ “ฉลาด” ขึ้น (Smart Systems) ชั้นสถาปัตยกรรม IoT (Perception, Network, Application), โพรโตคอลการสื่อสาร (MQTT, CoAP, LoRaWAN), Edge & Cloud computing, Digital Twin และประเด็นความปลอดภัย เป็นองค์ประกอบสำคัญสำหรับการออกแบบระบบ BEMS ที่เชื่อถือได้ และยืดหยุ่น (technical foundations; see Zhao, 2025; Poyyamozhi et al., 2024; Nugroho & Sanjaya, 2016)

2.9 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับพฤติกรรมประหยัดพลังงาน (Energy-Saving Behavioral)

การการศึกษาพฤติกรรมประหยัดพลังงานใช้แนวคิดและทฤษฎีหลากหลายด้าน เพื่ออธิบายและกระตุ้นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของบุคคลและองค์กร (behavioural theories; see Ashouri et al., 2019) แนวคิดเกี่ยวกับพฤติกรรมประหยัดพลังงานครอบคลุมทฤษฎีจากหลายสาขา ได้แก่ จิตวิทยา เศรษฐศาสตร์พฤติกรรม สังคมและวัฒนธรรม ทฤษฎีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรม และการยอมรับเทคโนโลยี ซึ่งช่วยอธิบายปัจจัยที่ทำให้บุคคลตัดสินใจประหยัดพลังงาน เช่น เจตคติ แรงจูงใจ การรับรู้ความสามารถ ต้นทุน-ประโยชน์ บรรทัดฐานทางสังคม และบริบทเทคโนโลยี แนวคิดเหล่านี้ชี้ว่า การส่งเสริมการประหยัดพลังงานต้องผสมผสานมาตรการด้านแรงจูงใจ ความรู้ การออกแบบสิ่งแวดล้อมเอื้ออำนวย และการมีส่วนร่วมของผู้ใช้อาคาร เพื่อให้เกิดพฤติกรรมประหยัดพลังงานอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน

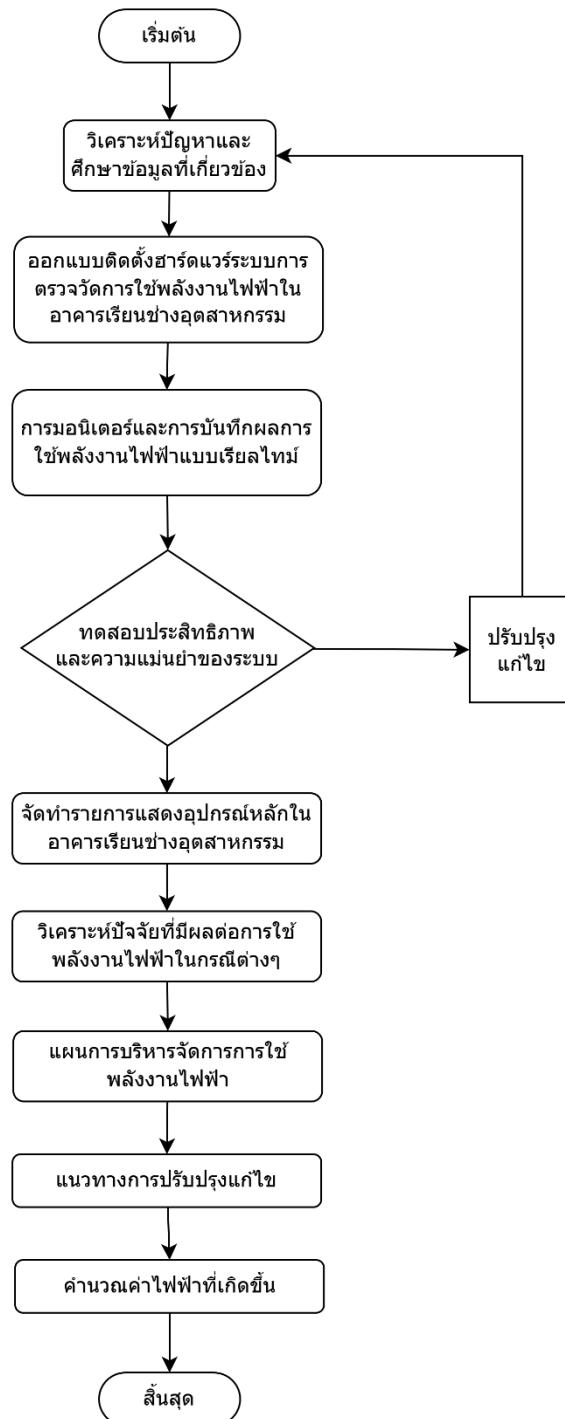
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยสำหรับงานวิจัย การจัดการพลังงานในอาคารเรียนช่วงอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย สามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนหลัก ๆ ดังนี้

- 3.1 วิเคราะห์ปัญหาและศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง
- 3.2 การออกแบบและติดตั้งฮาร์ดแวร์สำหรับระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า
- 3.3 การมอนิเตอร์และการบันทึกผลการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเรียลไทม์
- 3.4 การทดสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า
- 3.5 การวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีต่าง ๆ
- 3.6 แผนการบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า
- 3.7 การเสนอแนวทางการปรับปรุง
- 3.8 การคำนวณค่าไฟฟ้า

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 วิเคราะห์ปัญหาและศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

3.1.1 การศึกษาข้อมูลพื้นที่และอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารเรียน

วัตถุประสงค์ เพื่อเป็นการสำรวจพื้นที่และบันทึกข้อมูลอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารเรียนช่างอุตสาหกรรม เพื่อประเมินการใช้พลังงานของอาคารเรียน



ภาพที่ 3.2 อาคารเรียนช่างอุตสาหกรรม
แหล่งที่มา: <https://cim.rmutsv.ac.th/ruts/>

3.1.1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1) สำรวจพื้นที่โดยใช้แผนผังอาคารระบุห้องเรียน ห้องปฏิบัติการ ห้องพักอาจารย์ และอาคารปฏิบัติการพื้นฐานทางวิศวกรรม



ภาพที่ 3.3 ห้องปฏิบัติการ
แหล่งที่มา: <https://cim.rmutsv.ac.th/ruts/>

2) บันทึกข้อมูลอุปกรณ์ จำแนกชนิดและจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น คอมพิวเตอร์ เครื่องมือปฏิบัติการ ระบบปรับอากาศ และระบบไฟส่องสว่าง จัดหมวดหมู่อุปกรณ์ เช่น อุปกรณ์สำนักงานหรือเครื่องมือเฉพาะทาง



ภาพที่ 3.4 ระบบปรับอากาศ
แหล่งที่มา: Daikin เว็บบ (2565)

3) วิเคราะห์ข้อมูลการใช้งาน ตรวจสอบกำลังไฟฟ้า (Wattage) และอายุการใช้งานของอุปกรณ์เพื่อตรวจสอบการสิ้นเปลืองพลังงาน

3.1.2 พฤติกรรมการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้า เก็บข้อมูลด้วย Energy Meter วิเคราะห์ช่วงเวลาการใช้งาน พฤติกรรมฟีก การใช้โหมดประหยัดพลังงาน ระบุปัจจัยสิ้นเปลือง เช่น การเปิดทิ้งไว้หรืออุปกรณ์ไม่มีฟังก์ชันประหยัดพลังงาน และเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับอุปกรณ์มาตรฐานประหยัดพลังงาน

3.1.3 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทบทวนงานวิจัยด้านการใช้พลังงานในอาคารประเภทต่าง ๆ และเทคโนโลยีควบคุมพลังงาน เพื่อกำหนดแนวทางที่เหมาะสมต่ออาคารเรียนข้างอุตสาหกรรม

3.1.4 ระบบอัจฉริยะ (Smart Building) ประเมินศักยภาพของ IoT และ AI เช่น เซ็นเซอร์ควบคุมไฟ ระบบควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ และระบบบันทึกพลังงานแบบเรียลไทม์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการพลังงาน

3.1.5 ทฤษฎีการใช้พลังงานในอาคาร มุ่งเน้นระบบ HVAC ซึ่งใช้พลังงานสูง วิเคราะห์แนวทางเพิ่มประสิทธิภาพ เช่น ควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ ฉนวนกันความร้อน และการปรับปรุงการไหลเวียนอากาศ

3.2 การออกแบบและติดตั้งฮาร์ดแวร์สำหรับระบบตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า

Internet of Things หรือ IoT เป็นแนวคิดที่ให้อุปกรณ์สามารถเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน และสามารถเพิ่มการควบคุมอุปกรณ์ได้อย่างอัจฉริยะ การออกแบบและพัฒนาระบบ IoT ขึ้นมาจำเป็นจะต้องมีโครงสร้างพื้นฐาน เช่น เครื่องแม่ข่าย และต้องมีการติดตั้งบริการต่าง ๆ ด้วยการติดตั้งอุปกรณ์เซ็นเซอร์ตรวจวัดกระแสไฟฟ้า (Current Sensors) เกตเวย์ (Gateway) และเครื่องมือบันทึกข้อมูล (Data Loggers) ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (Web Browser) โดยภายในแพลตฟอร์มจะมีการออกแบบหลักการทำงานและการรับส่งข้อมูลดังแสดงในรูป

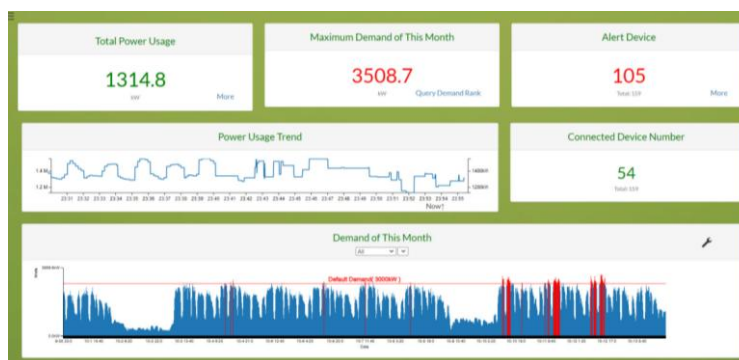


ภาพที่ 3.5 การออกแบบหลักการทำงานและการรับส่งข้อมูล
แหล่งที่มา: Presentation Power Meter Line

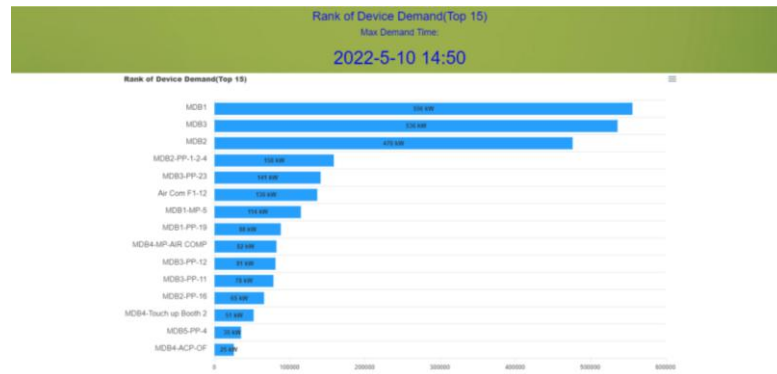
จากภาพที่ 3.5 เป็นการเชื่อมต่ออุปกรณ์แผงควบคุมไฟฟ้า และอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานสูง ทำการติดตั้งฮาร์ดแวร์ตามแบบที่ออกแบบไว้ พร้อมทั้งตรวจสอบความถูกต้องในการเชื่อมต่อเพื่อให้แน่ใจว่าสามารถเก็บข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง

3.3 การมอนิเตอร์และการบันทึกผลการใช้พลังงานไฟฟ้าแบบเรียลไทม์

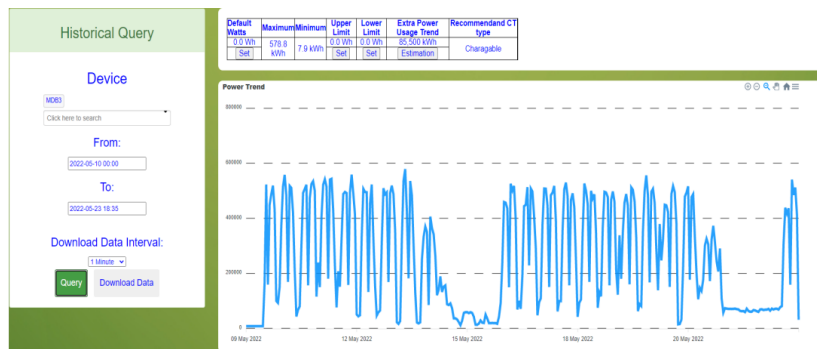
การมอนิเตอร์และการบันทึกผลบนเซิร์ฟเวอร์หรือคอมพิวเตอร์ พร้อมทั้งตั้งค่าการเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์



ภาพที่ 3.6 การแสดงผลหน้าภาพรวมการใช้ไฟฟ้า แบบ Real Time
แหล่งที่มา: Presentation Power Meter Line



ภาพที่ 3.7 กราฟแสดงการใช้ไฟฟ้าสูงสุดในรอบเวลาที่ต้องการทราบ
แหล่งที่มา: Presentation Power Meter Line



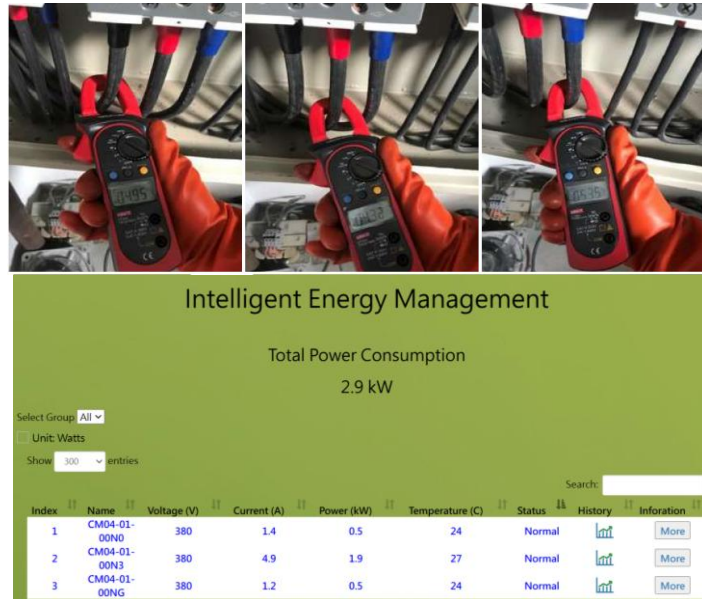
ภาพที่ 3.8 การแสดงผลในหน้ารายงานประวัติปริมาณการใช้ไฟฟ้าแบบดูข้อมูลย้อนหลัง
แหล่งที่มา: Presentation Power Meter Line



ภาพที่ 3.9 รูปแบบตั้งค่าการแจ้งเตือนผ่าน Line ให้แสดงผลในมือถือ
แหล่งที่มา: Presentation Power Meter Line

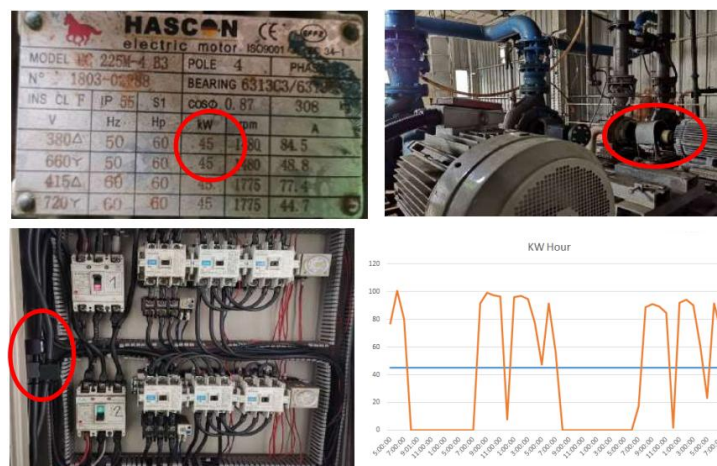
3.4 การทดสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของระบบ

การทดสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของระบบ จะเป็นการทดสอบเปรียบเทียบค่ากระแสที่ระบบวัดได้เปรียบเทียบกับการวัดด้วยเครื่องมือวัด Clip Amp Meter หรือที่รู้จักกันในชื่อ Clamp Meter หรือการเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าระหว่างค่าที่ระบบวัดได้กับค่าจาก Nameplate (Nameplate Values) ของอุปกรณ์ไฟฟ้านั้น ๆ



ภาพที่ 3.10 การเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้จาก clip Amp meter เปรียบเทียบกับค่ากระแสที่ระบบวัดได้

แหล่งที่มา: Presentation Power Meter Line



ภาพที่ 3.11 การเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ระบบวัดได้กับค่าจาก Nameplate (Nameplate Values) ของอุปกรณ์ไฟฟ้า

แหล่งที่มา: Presentation Power Meter Line

เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Error Percentage) เป็นตัวชี้วัดที่ใช้บ่งบอกถึงความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้ (Measured Value) กับค่าจริงหรือค่ามาตรฐาน (Reference Value) โดยคำนวณจากสมการ

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{\text{ค่าจริง(Reference)} - \text{ค่าที่วัดได้}}{\text{ค่าจริง(Reference)}} \right| \times 100 \quad (3.1)$$

รายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบในสูตร

ค่าจริง (Reference Value) คือ ค่าที่ถือว่าเป็นค่ามาตรฐาน ซึ่งอาจมาจากอุปกรณ์ที่มีความน่าเชื่อถือสูง เช่น Clamp Meter หรือ Nameplate Values ของอุปกรณ์

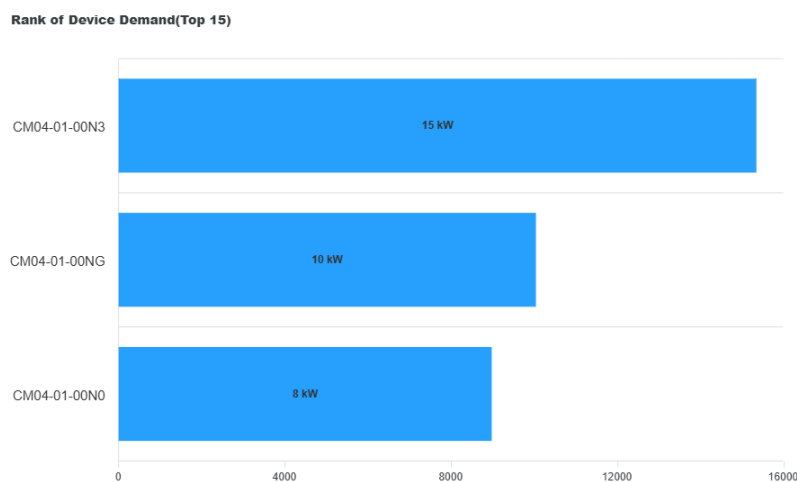
ค่าที่วัดได้ (Measured Value) คือ ค่าที่ระบบของคุณวัดได้

ความแตกต่าง (Difference) คือ ค่าผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่วัดได้

การคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ คูณด้วย 100 เพื่อแปลงผลลัพธ์ให้อยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์

3.5 การวิเคราะห์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและมีผลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีต่าง ๆ

3.5.1 กรณีการกินพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเฟสไม่เท่ากัน หรือที่เรียกว่า โหลดไม่สมดุล (unbalanced load) ในระบบไฟฟ้า 3 เฟส



ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างการกินพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเฟสไม่เท่ากัน หรือที่เรียกว่า โหลดไม่สมดุล (unbalanced load)

การกินพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเฟสไม่เท่ากัน หรือที่เรียกว่า โหลดไม่สมดุล (unbalanced load) ในระบบไฟฟ้า 3 เฟส สามารถส่งผลกระทบต่อระบบและค่าไฟฟ้าได้หลายประการ ดังนี้

3.5.1.1 การเกิดกระแสไหลกลับในสายกลาง (Neutral Current) ในระบบ 3 เฟสที่สมดุล กระแสในสายกลางควรใกล้เคียงกับศูนย์ แต่ถ้าโหลดไม่สมดุล จะเกิดกระแสในสายกลางสูงขึ้น ทำให้สายไฟร้อนและอาจเสียหายได้ การสูญเสียพลังงานในสายกลาง (neutral losses) จะเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้ค่าไฟฟ้าสูงขึ้นเนื่องจากพลังงานสูญเสียเปล่า

3.5.1.2 แรงดันตกคร่อมที่ไม่เท่ากัน (Voltage Imbalance) แรงดันในแต่ละเฟสอาจมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งอาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานผิดปกติหรือเสียหายมอเตอร์หรือเครื่องจักรไฟฟ้าที่ใช้แรงดัน 3 เฟส อาจร้อนเกินไปหรือประสิทธิภาพลดลง ส่งผลให้พลังงานสูญเสียเปล่ามากขึ้น

3.5.1.3 ค่าไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเนื่องจากการใช้พลังงานไม่เต็มประสิทธิภาพ ในบางระบบ ค่าไฟฟ้าจะคิดจากพลังงานที่ใช้ (kWh) และค่าพลังงานรีแอกทีฟ (kVARh) หากโหลดไม่สมดุล จะทำให้ปัจจัยกำลังไฟฟ้า (Power Factor) ลดลง ส่งผลให้ค่าไฟเพิ่มขึ้น หากโหลดบางเฟสใช้งานมากเกินไป อาจทำให้เกิด demand charge สูงขึ้นจากการใช้งานสูงสุด (Maximum Demand) ในช่วงเวลาหนึ่ง

3.5.1.4 ผลต่ออายุการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์ เช่น หม้อแปลงไฟฟ้าจะรับภาระไม่เท่ากันในแต่ละเฟส ซึ่งทำให้อายุการใช้งานลดลง มอเตอร์ที่ได้รับแรงดันไม่สมดุล จะเกิดความร้อนสะสมในขดลวด ส่งผลให้เสี่ยงต่อการไหม้หรือเสียหาย

3.5.1.5 ปัญหาการควบคุมคุณภาพไฟฟ้า (Power Quality) โหลดไม่สมดุลอาจสร้างฮาร์โมนิกส์ในระบบ ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพไฟฟ้าและอาจเพิ่มการสูญเสียพลังงาน วิธีลดผลกระทบ

- 1) ปรับโหลดให้สมดุล จัดการอุปกรณ์หรือโหลดในแต่ละเฟสให้ใกล้เคียงกัน
- 2) ติดตั้งอุปกรณ์ปรับสมดุล เช่น Phase Balancer หรือ Auto Balancing Transformer
- 3) ตรวจสอบและบำรุงรักษาระบบไฟฟ้าอย่างสม่ำเสมอ เพื่อลดปัญหาโหลดไม่สมดุลในระยะยาว

3.5.2 กรณีอุณหภูมิที่ไม่สม่ำเสมอในสายไฟฟ้า

อุณหภูมิที่กระจายไม่สม่ำเสมอตามความยาวของสายไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญที่เร่งให้เกิดการเสื่อมสภาพของฉนวนและตัวนำ โดยเฉพาะในจุดที่มีความร้อนสะสมสูงกว่าบริเวณอื่น เช่น จุดต่อหลวมหรือโหลดไม่สมดุลในแต่ละเฟส ความไม่สม่ำเสมอนี้ส่งผลให้เกิดความเค้นทางความร้อนแบบเฉพาะที่ (localized thermal stress) ซึ่งเพิ่มอัตราการเสื่อมของวัสดุและอาจนำไปสู่การสูญเสียความเป็นฉนวนเร็วกว่าปกติ การวิเคราะห์ข้อมูลอุณหภูมิแบบหลายตำแหน่ง (multi-point thermal

profiling) จึงมีความจำเป็นเพื่อระบุจุดเสี่ยงและประเมินอายุการใช้งานของสายภายใต้สภาวะจริงได้แม่นยำยิ่งขึ้น



ภาพที่ 3.13 ตัวอย่างกราฟแสดงค่าอุณหภูมิที่ไม่สม่ำเสมอในสายไฟฟ้า 1 วัน

กรณีที่อุณหภูมิไม่สม่ำเสมอในสายไฟฟ้า (Non-Uniform Temperature Distribution) เป็นปัญหาที่อาจเกิดจากหลายสาเหตุ และสามารถส่งผลกระทบต่อการทำงานของสายไฟและระบบไฟฟ้าทั้งในด้านความปลอดภัยและประสิทธิภาพ ตัวอย่างปัจจัยที่ทำให้เกิดปัญหานี้ และแนวทางการจัดการ มีดังนี้

3.5.2.1 กระแสไฟฟ้าไม่สมดุล (Current Imbalance) เกิดจากโหลดที่ไม่สมดุลระหว่างเฟสในระบบไฟฟ้าสามเฟส ทำให้กระแสในแต่ละสายไม่เท่ากัน ส่งผลให้อุณหภูมิของสายไฟแต่ละเส้นแตกต่างกันอาจทำให้สายเฟสบางเส้นร้อนเกินกว่าความสามารถในการระบายความร้อน ส่งผลให้สายเสื่อมเร็วขึ้น

3.5.2.2 ลักษณะการวางสายไฟ สายไฟที่ถูกติดตั้งในตำแหน่งที่ระบายความร้อนต่างกัน (เช่น ส่วนหนึ่งอยู่ใต้ดิน อีกส่วนอยู่กลางแจ้ง) ทำให้ส่วนต่าง ๆ ของสายไฟมีอุณหภูมิแตกต่างกันการจัดวางสายไฟในลักษณะไม่สม่ำเสมอ เช่น ใกล้แหล่งความร้อนหรือแสงแดดโดยตรง

3.5.2.3 ความต้านทานของสายไฟที่ไม่สม่ำเสมอ เกิดจากสายไฟที่มีตำหนิ เช่น ข้อต่อที่ไม่สมบูรณ์ สายไฟเก่าหรือเกิดการเสื่อมสภาพในบางส่วน ทำให้ความต้านทานเปลี่ยนแปลงและเกิดความร้อนในบริเวณที่ต้านทานสูงขึ้น

3.5.2.4 ผลกระทบจากสภาพแวดล้อม ความแตกต่างของอุณหภูมิรอบข้าง เช่น การวางสายไฟในพื้นที่ที่มีลมแรงหรือแสงแดดจ้าในบางส่วน การสัมผัสกับความชื้นหรือมลภาวะในบางส่วนของสาย

3.5.3 ผลกระทบ

3.5.3.1 การเสื่อมสภาพของสายไฟ อุณหภูมิที่สูงเกินไปอาจทำให้ฉนวนสายไฟเสียหาย หรือสายไฟเสีयरูปทรงและลดอายุการใช้งาน

3.5.3.2 การสูญเสียพลังงาน เกิดการสูญเสียพลังงานในรูปของความร้อน (I^2R Loss) มากขึ้นในบริเวณที่มีความต้านทานสูง

3.5.3.3 ปัญหาด้านความปลอดภัย อาจเกิดความร้อนสะสมจนทำให้สายไฟเกิดไฟไหม้ หรือเกิดการลัดวงจรในระบบ

3.5.3.4 เสถียรภาพของระบบไฟฟ้าลดลง อุณหภูมิที่ไม่สมดุลอาจกระทบต่อค่าความต้านทานในระบบ ทำให้เกิดปัญหาโหลดโพลาร์หรือแรงดันไฟฟ้าผันผวน

3.5.4 ค่าระดับของการแกว่งของอุณหภูมิที่มีผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า

ค่าระดับของการแกว่งของอุณหภูมิขึ้นอยู่กับประเภทของอุปกรณ์และวัสดุที่ใช้ รวมถึงเงื่อนไขการทำงานของระบบนั้น ๆ อย่างไรก็ตาม โดยทั่วไปมี ค่าระดับที่สำคัญ ที่ควรพิจารณาดังนี้

3.5.4.1 ความต่างของอุณหภูมิ (Temperature Difference) ระดับผลกระทบสูง ความต่างของอุณหภูมิที่มากกว่า 10-15°C ภายในระยะเวลาสั้น เช่น ภายในไม่กี่นาทีหรือชั่วโมง อาจทำให้อุปกรณ์เกิดความเครียดทางความร้อน (Thermal Stress) ตัวอย่าง สายไฟและหม้อแปลงมักจะออกแบบให้รองรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในช่วงที่กำหนด หากเกินขอบเขตนี้ อาจเกิดความล้าของวัสดุหรือการเสื่อมสภาพเร็วขึ้น อุปกรณ์ที่ได้รับผลกระทบ หม้อแปลง, ตัวเก็บประจุ (Capacitor) และระบบระบายความร้อน

3.5.4.2 อุณหภูมิสูงสุด (Maximum Operating Temperature) ระดับวิกฤตระดับอุณหภูมิที่สูงกว่า 90°C สำหรับสายไฟหรือหม้อแปลงทั่วไป จะเริ่มส่งผลเสียอย่างรวดเร็ว เช่น การละลายของฉนวนหรือการลดความจุในการจ่ายพลังงาน ตัวอย่าง หม้อแปลงส่วนใหญ่มีค่าจำกัดอุณหภูมิที่ 80-100°C หากเกินจากนี้ อายุการใช้งานจะลดลงตามลำดับ อุปกรณ์ที่ได้รับผลกระทบ สายไฟ, หม้อแปลง, รีเลย์ และแผงวงจร

3.5.4.3 อุณหภูมิต่ำสุด (Minimum Operating Temperature) ระดับวิกฤต อุณหภูมิที่ต่ำกว่า -20°C ถึง -40°C (ขึ้นอยู่กับมาตรฐานวัสดุ) อาจทำให้วัสดุแข็งตัวหรือเปราะจนแตกหักได้ ตัวอย่าง ในพื้นที่ที่มีสภาพอากาศเย็นจัด สายไฟที่ไม่ได้ออกแบบให้ทนความเย็นอาจสูญเสียความยืดหยุ่นและแตกได้ง่าย

3.5.4.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว (Rapid Temperature Change) หากอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (เช่น จาก 20°C เป็น 50°C ในเวลาไม่กี่นาที) จะเกิดการ

ขยายตัวและหดตัวของวัสดุที่ไม่สม่ำเสมอ ซึ่งอาจนำไปสู่ ความเสียหายทางกลไก เช่น รอยร้าวในฉนวน การลดประสิทธิภาพ เช่น การสูญเสียพลังงานในหม้อแปลง

3.5.4.5 ค่าความร้อนสะสม (Hot Spot Temperature) ในหม้อแปลงไฟฟ้า ค่าความร้อนสะสมที่จุดใดจุดหนึ่ง (Hot Spot) ซึ่งเกินกว่า 10°C - 20°C จากค่าปกติของอุณหภูมิการทำงาน จะเพิ่มความเสี่ยงต่อการลัดวงจรหรือการเสียหายของขดลวด ตัวอย่าง หม้อแปลงที่มีความร้อนสะสมสูงจะมีการเสื่อมสภาพของน้ำมันฉนวนและอายุการใช้งานลดลง

3.5.5 ประเภทของสายไฟ

การเลือกสายไฟสำหรับใช้งานในอาคารเรียน ซึ่งมักเป็นพื้นที่ที่มีการใช้งานเครื่องมือไฟฟ้าอย่างเข้มข้น ต้องคำนึงถึงชนิดสายไฟและระดับอุณหภูมิที่สายไฟรองรับได้ เนื่องจากการใช้งานที่ต้องเผชิญความร้อนจากอุปกรณ์หรือสิ่งแวดล้อม มีข้อมูลที่เกี่ยวข้องดังนี้ ระดับอุณหภูมิในสายไฟชนิดต่าง ๆ

3.5.5.1 สายไฟหุ้ม PVC (Polyvinyl Chloride) ระดับอุณหภูมิใช้งาน -15°C ถึง 70°C (มาตรฐาน) หรือสูงสุด 105°C (PVC ชนิดพิเศษ) การใช้งาน งานทั่วไปในอาคาร เช่น ระบบแสงสว่างและปลั๊กไฟ



ภาพที่ 3.14 ลักษณะของสายไฟ PVC (Polyvinyl Chloride)
แหล่งที่มา: PDCable เว็บ (2565)

3.5.5.2 สายไฟหุ้ม XLPE (Cross-linked Polyethylene) ระดับอุณหภูมิใช้งาน -40°C ถึง 90°C (ใช้งานต่อเนื่อง) หรือสูงสุด 120°C (ในสถานการณ์ฉุกเฉิน) การใช้งาน ระบบไฟฟ้าแรงดันสูง เช่น ระบบจ่ายกำลังไฟในโรงงานหรือห้องปฏิบัติการ



ภาพที่ 3.15 ลักษณะของสาย Cross-linked Polyethylene (XLPE)

แหล่งที่มา: หนังสือการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า

3.5.5.3 สายไฟหุ้ม Silicone ระดับอุณหภูมิใช้งาน -60°C ถึง 200°C (บางรุ่นสูงสุด 250°C) ใช้งาน เครื่องจักรในห้องทดลอง ระบบที่มีความร้อนสูง เช่น เตาหลอม



ภาพที่ 3.16 ลักษณะของสายไฟหุ้ม Silicone

แหล่งที่มา: Thai Electric Cable เว็บบ (2565)

3.5.5.4 สายไฟหุ้ม Teflon (PTFE/PFA/FEP) ระดับอุณหภูมิใช้งาน -60°C ถึง 260°C ใช้งาน อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ต้องการความเสถียรสูง เช่น วงจรอิเล็กทรอนิกส์ หรืออุปกรณ์วัดค่าทางไฟฟ้า



ภาพที่ 3.17 ลักษณะของสายไฟหุ้ม Teflon (PTFE/PFA/FEP)

แหล่งที่มา: Thai Electric Cable เว็บบ (2565)

3.5.5.5 สายไฟหุ้ม Mica ระดับอุณหภูมิใช้งาน สูงกว่า 500°C การใช้งาน ระบบป้องกันไฟฟ้าลัดวงจรในอุณหภูมิสูง เช่น เต้าอูตสาหกรรมหรือโรงไฟฟ้า



ภาพที่ 3.18 ลักษณะของสายไฟหุ้ม Mica
แหล่งที่มา: Thai Electric Cable เว็บบ (2565)

3.5.5.6 สายไฟหุ้มยาง EPR (Ethylene Propylene Rubber) ระดับอุณหภูมิใช้งาน -40°C ถึง 90°C การใช้งาน งานที่ต้องการความยืดหยุ่น เช่น เครื่องมือช่างที่ต้องเคลื่อนย้าย



ภาพที่ 3.19 ลักษณะของสายไฟหุ้มยาง EPR (Ethylene Propylene Rubber)
แหล่งที่มา: Thai Electric Cable เว็บบ (2565)

3.5.5.7 การตรวจสอบความร้อน (Thermal Inspection) ระบบไฟฟ้าในอาคาร โดยใช้เครื่องมือที่เรียกว่า กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal Imaging Camera) เพื่อค้นหาจุดที่มีความร้อนสูงหรือผิดปกติ ความร้อนที่เกิดขึ้นไม่เพียงลดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน แต่ยังสามารถส่งผลต่อความปลอดภัย เช่น การลุกไหม้ของฉนวนสายไฟ หากจุดเชื่อมต่อสายไฟเกิดความเสื่อม เช่น การเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) หรือการหลวมตัว การไหลของกระแสไฟฟ้าจะไม่มีอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดการสูญเสียพลังงานในระบบ การสูญเสียนี้อาจสะสมในระยะยาวและเพิ่มค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน



ภาพที่ 3.20 กล้องถ่ายภาพความร้อน (Thermal imaging camera)
แหล่งที่มา: Fluke เว็บ (2565)

3.5.5.8 การวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าของผู้ใช้งานในอาคารเรียนมีความสำคัญในการบริหารจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน โดยพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปตลอดเวลาเกิดจากหลายปัจจัย เช่น เวลาเรียน การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ และการปรับตัวตามกิจกรรมในอาคาร ซึ่งส่งผลต่อรูปแบบการใช้พลังงาน (Load Profile) อย่างมาก ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อสมดุลของโหลดในแต่ละเฟส

1) พฤติกรรมการใช้งาน การใช้งานอาคารเรียนบางวันหรือบางช่วงเวลา เช่น การเปิดใช้งานเฉพาะบางชั้นหรือบางพื้นที่ การใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในบางชั้นที่ไม่เท่ากัน เช่น เครื่องปรับอากาศ คอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์การเรียน

2) การกระจายการใช้งานพื้นที่ แม้ระบบไฟฟ้าจะออกแบบให้มีการบันลานโหลดอย่างถูกต้อง แต่การใช้งานที่กระจุกตัวเฉพาะบางชั้นหรือบางพื้นที่ ทำให้เกิดความไม่สมดุลในเฟสต่าง ๆ

3) มาตรฐานการวัดและตรวจสอบ ค่ากระแสและพลังงานไฟฟ้าที่ต่างกันเกินมาตรฐานในบางช่วงเวลา บ่งชี้ว่า การใช้ไฟฟ้าไม่สม่ำเสมอและอาจส่งผลต่อประสิทธิภาพ

ผลกระทบของความไม่สมดุลโหลดในเฟส

1) ประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าลดลง การใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างไม่มีประสิทธิภาพ การสูญเสียพลังงานในระบบ เช่น ความร้อนสะสมในสายไฟหรือหม้อแปลง

2) ค่าไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น การใช้งานไฟฟ้าที่ไม่สมดุลทำให้เกิดค่าความสูญเสียและค่าปรับ (Power Factor Penalty) ในบางกรณี

3) อุปกรณ์ไฟฟ้าเสื่อมสภาพ ความไม่สมดุลอาจทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าทำงานหนักขึ้น เช่น หม้อแปลงไฟฟ้า หรือมอเตอร์

แนวทางแก้ไข

- 1) ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้งานไฟฟ้า จัดตารางการใช้งานอาคารเพื่อกระจายการใช้พลังงานให้สมดุลในแต่ละช่วงเวลา ให้ความรู้แก่ผู้ใช้อาคารเกี่ยวกับผลกระทบของความไม่สมดุลโหลด
- 2) ใช้ระบบบริหารจัดการพลังงาน (Energy Management System) ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจสอบโหลดในแต่ละเฟส เช่น เครื่องบันทึกข้อมูลพลังงานไฟฟ้า (Power Meter) วิเคราะห์ข้อมูลการใช้งานไฟฟ้าแบบเรียลไทม์เพื่อปรับปรุงการกระจายโหลด
- 3) ออกแบบระบบไฟฟ้าที่รองรับการใช้งานยืดหยุ่น ปรับการกระจายโหลดของวงจรไฟฟ้าให้เหมาะสมกับการใช้งานที่เปลี่ยนแปลงได้ ติดตั้งหม้อแปลงหลายตัวหรือระบบเสริมเพื่อช่วยกระจายโหลด
- 4) บำรุงรักษาและตรวจสอบระบบอย่างสม่ำเสมอ ตรวจสอบระบบไฟฟ้าเป็นระยะเพื่อตรวจจับปัญหาความไม่สมดุลตั้งแต่เนิ่น ๆ ตรวจวัดค่ากระแสและแรงดันไฟฟ้าในแต่ละเฟส เพื่อวางแผนการปรับปรุง
- 5) เพิ่มอุปกรณ์ช่วยปรับสมดุลโหลด ใช้อุปกรณ์ปรับสมดุลโหลด (Phase Balancer) เพื่อช่วยลดความต่างระหว่างเฟส ติดตั้ง Capacitor Bank หรือ Active Power Filter เพื่อลดผลกระทบจากค่าความเพี้ยนไฟฟ้า

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

- 1) ควรเก็บข้อมูลการใช้งานไฟฟ้าในระยะยาว เพื่อวิเคราะห์แนวโน้มและปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้เหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้งานที่เปลี่ยนแปลงได้
- 2) หากมีการใช้งานไม่เต็มพื้นที่ ควรพิจารณาปิดบางส่วนของระบบไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นในช่วงเวลานั้น เพื่อลดความสูญเสียพลังงาน

3.5.6 กรณีค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสมีความต่างกัน

ในระบบไฟฟ้า 3 เฟส (Three-Phase System) ค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสควรมีความแตกต่างกันให้น้อยที่สุด เพื่อให้ระบบไฟฟ้าทำงานอย่างมีประสิทธิภาพและลดผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น เช่น ความร้อนเกินในสายไฟหรือหม้อแปลง และการเสียดุลในระบบไฟฟ้า

Index	Name	Voltage (V)	Current (A)	Power (kW)	Temperature (C)	Status	History	Information
1	CM04-01-00N0	380	5.2	2.0	24	Normal		More
2	CM04-01-00N3	380	9.8	3.7	28	Normal		More
3	CM04-01-00NG	380	5.6	2.1	24	Normal		More

ภาพที่ 3.21 ค่ากระแสไฟฟ้าในแต่ละเฟสมีความต่างกัน

ระบบไฟฟ้า 3 เฟส เช่น IEC (International Electrotechnical Commission) และ IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) มีการกำหนดค่าความไม่สมดุลของแรงดันและกระแสที่ยอมรับได้ เพื่อความปลอดภัยและประสิทธิภาพของระบบ ดังนี้

3.5.6.1 ความไม่สมดุลของกระแส (Current Unbalance) มาตรฐานที่ยอมรับ IEC และ IEEE ความไม่สมดุลของกระแสควรไม่เกิน 10% ความไม่สมดุลของกระแสเกิดขึ้นเมื่อโหลดในแต่ละเฟสมีค่าแตกต่างกันมาก ทำให้กระแสในแต่ละเฟสไม่เท่ากัน สามารถคำนวณจากสมการ

$$\text{Current Unbalance (\%)} = \frac{\text{Maximum Deviation from Average Current}}{\text{Average Current}} \times 100 \quad (3.2)$$

3.5.6.2 ความไม่สมดุลของแรงดัน (Voltage Unbalance) มาตรฐานที่ยอมรับ IEC 61000-3-13 และ IEEE Std 1159 ระบุว่าความไม่สมดุลของแรงดันในระบบ 3 เฟส ควรอยู่ไม่เกิน 2% ถึง 3% ความไม่สมดุลของแรงดันเกิดขึ้นจากโหลดไม่สมดุล สายไฟที่มีความต้านทานแตกต่างกัน หรือปัญหาจากแหล่งจ่ายพลังงาน สามารถคำนวณจากสมการ

$$\text{Voltage Unbalance (\%)} = \frac{\text{Maximum Deviation from Average Voltage}}{\text{Average Voltage}} \times 100 \quad (3.3)$$

3.5.6 ผลกระทบเมื่อไม่สมดุลเกินมาตรฐาน แรงดันไม่สมดุลลดอายุการใช้งานของมอเตอร์และหม้อแปลง เพิ่มความสูญเสียพลังงานและลดประสิทธิภาพของระบบ กระแสไม่สมดุลทำให้สายไฟและอุปกรณ์ร้อนเกินไป เพิ่มโอกาสเกิดการลัดวงจรและปัญหาด้านความปลอดภัย มาตรฐานเพิ่มเติมที่เกี่ยวข้อง IEC 61000-4-30 ว่าด้วยการวัดและการกำหนดความไม่สมดุลของแรงดันในระบบ IEEE Std 112 ระบุการประเมินผลกระทบของความไม่สมดุลต่อประสิทธิภาพของมอเตอร์ IEC 60909 ใช้สำหรับการคำนวณกระแสลัดวงจรในระบบ 3 เฟส ค่าเฉลี่ยของความแตกต่าง ในการคำนวณความไม่สมดุลในระบบไฟฟ้า เช่น กระแสไฟฟ้าหรือแรงดันไฟฟ้าในระบบ 3 เฟส มีวิธีการคำนวณดังนี้

1) ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ย (Average Current) หาค่าเฉลี่ยของกระแสในแต่ละเฟส (I_a , I_b , I_c) สามารถคำนวณจากสมการ

$$I_{\text{average}} = \frac{I_a + I_b + I_c}{3} \quad (3.4)$$

2) ความแตกต่างของแต่ละเฟสจากค่าเฉลี่ย สำหรับแต่ละเฟส ให้คำนวณค่าความแตกต่าง (Deviation) จากค่าเฉลี่ย สามารถคำนวณจากสมการ

$$\begin{aligned} \text{Deviation for Phase A} &= |I_a - I_{\text{average}}| \\ \text{Deviation for Phase B} &= |I_b - I_{\text{average}}| \\ \text{Deviation for Phase C} &= |I_c - I_{\text{average}}| \end{aligned} \quad (3.5)$$

3) ความแตกต่างสูงสุด (Maximum Deviation) เลือกค่าความแตกต่างที่มากที่สุดจากทั้งสามเฟส สามารถคำนวณจากสมการ

$$\text{Maximum Deviation} = \max(|I_a - I_{\text{average}}|, |I_b - I_{\text{average}}|, |I_c - I_{\text{average}}|) \quad (3.6)$$

4) การคำนวณเปอร์เซ็นต์ความไม่สมดุล (Percentage of Unbalance) หาค่าความไม่สมดุล (%Unbalance) สามารถคำนวณจากสมการ

$$\text{Unbalance (\%)} = \frac{\text{Maximum Deviation}}{I_{\text{average}}} \times 100 \quad (3.7)$$

ตัวอย่างการคำนวณ สมมุติว่ามีกระแสไฟในแต่ละเฟสดังนี้ $I_a = 100\text{A}, I_b = 110\text{A}, I_c = 90\text{A}$

วิธีทำ

1. หาค่าเฉลี่ย

$$I_{\text{average}} = \frac{100 + 110 + 90}{3} = 100\text{A}$$

2. หาค่าความแตกต่าง

$$\text{Deviation for Phase A} = |100 - 100| = 0$$

$$\text{Deviation for Phase B} = |110 - 100| = 10$$

$$\text{Deviation for Phase C} = |90 - 100| = 10$$

3. ความแตกต่างสูงสุด

$$\text{Maximum Deviation} = \max(0, 10, 10) = 10$$

4. คำนวณ % ความไม่สมดุล

$$\text{Unbalance (\%)} = \frac{10}{100} \times 100 = 10\%$$

ค่าเฉลี่ยช่วยให้เราสามารถประเมินได้ว่ากระแสหรือแรงดันในแต่ละเฟส มีความใกล้เคียงกันเพียงใด ความแตกต่างสูงสุดเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ย เป็นตัวชี้วัดความไม่สมดุลของระบบ

3.6 แผนการบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้า

แผนการบริหารจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารเรียนช่วงอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย มีรายละเอียดดังนี้

3.6.1 ระบุรายละเอียดเชิงปฏิบัติการ

3.6.1.1 ระบุขั้นตอนการดำเนินงานที่ละเอียดขึ้น เช่น "กำหนดผู้รับผิดชอบในการบันทึกข้อมูลพลังงานจาก Power Meter" หรือ "กำหนดทีมงานที่ดูแลการสื่อสารแผนผังพฤติกรรมการใช้พลังงาน"

3.6.1.2 อธิบายตัวชี้วัดความสำเร็จ (Key Performance Indicators - KPIs) เช่น "ลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงนอกเวลาทำการลง 15%"

3.6.2 เพิ่มตัวอย่างเครื่องมือหรือเทคโนโลยี

3.6.2.1 อธิบายว่าระบบ IoT Power Meter จะทำงานอย่างไร หรือสามารถใช้อุปกรณ์รุ่นไหนเป็นตัวอย่าง (หากมี) เพื่อสร้างความเข้าใจชัดเจนยิ่งขึ้น

3.6.3 เพิ่มแรงจูงใจและกลยุทธ์สร้างการมีส่วนร่วม

3.6.3.1 เสนอวิธีสร้างแรงจูงใจ เช่น การให้รางวัลหรือเกียรติบัตรสำหรับทีม/บุคคลที่ช่วยลดการใช้พลังงานได้ดี

3.6.3.2 พัฒนากิจกรรมสร้างสรรค์ เช่น การแข่งขันลดการใช้พลังงานในอาคารแต่ละส่วน

3.6.4. การบูรณาการกับหลักสูตรการศึกษา

3.6.4.1 เพิ่มแผนการใช้งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งในกิจกรรมการเรียนการสอน เช่น การศึกษาเกี่ยวกับพลังงานทดแทน หรือ IoT ในอุตสาหกรรม

3.6.5 เน้นความยั่งยืนและการปรับตัว

3.6.5.1 เพิ่มแนวทางสำหรับการบริหารจัดการพลังงานในระยะยาว เช่น การวางแผนบำรุงรักษาอุปกรณ์ IoT หรือการเพิ่มโครงการลดพลังงานในปีถัดไป

3.7 การเสนอแนวทางการปรับปรุง (Recommendations)

การเสนอแนวทางการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร เป็นขั้นตอนที่สำคัญหลังจากการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์ผลการใช้พลังงาน โดยการนำเสนอแนวทางเหล่านี้สามารถช่วยลดการใช้พลังงานได้ทั้งในด้านการควบคุมการใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าและการปรับปรุงพฤติกรรมของผู้ใช้อาคาร ดังนี้

3.7.1 การปรับปรุงการควบคุมการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้า

3.7.1.1 การใช้ระบบควบคุมอัตโนมัติ (Automated Control Systems)

1) ติดตั้งระบบควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าอัตโนมัติ เช่น ระบบสั่งการเปิด-ปิดไฟฟ้าในอาคารตามเวลา หรืออุณหภูมิที่ต้องการ โดยใช้เซ็นเซอร์และเทคโนโลยีเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต (IoT) เพื่อให้การใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

2) ตัวอย่างเช่น การติดตั้งระบบควบคุมเครื่องปรับอากาศให้เปิด-ปิดตามเวลา หรือเมื่อมีการตรวจจับการใช้งานภายในห้อง

3.7.1.2 การติดตั้งอุปกรณ์ประหยัดพลังงาน (Energy-Efficient Devices) เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นหลอด LED ที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงและใช้งานได้นาน ใช้เครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีฉลากประหยัดพลังงาน เช่น เครื่องปรับอากาศ, ตู้เย็น, และเครื่องทำน้ำอุ่นที่ได้รับการรับรองจากมาตรฐานระดับโลก

3.7.1.3 การติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับการเคลื่อนไหว (Motion Sensors) ใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหวในการเปิด-ปิดไฟในพื้นที่ที่มีการใช้งาน เช่น ห้องน้ำ, โถงทางเดิน หรือพื้นที่ส่วนกลางในอาคาร เพื่อป้องกันการเปิดไฟทิ้งไว้โดยไม่จำเป็น

3.7.1.4 การติดตั้งมิเตอร์วัดการใช้พลังงาน (Energy Metering) การติดตั้งมิเตอร์ที่สามารถตรวจวัดการใช้พลังงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ในอาคาร เพื่อให้สามารถติดตามและปรับการใช้งานอุปกรณ์ให้เหมาะสมตามความต้องการ

3.7.2 การใช้พลังงานทดแทน

3.7.2.1 พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Energy) ติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์บนหลังคาของอาคารเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ ซึ่งช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากแหล่งพลังงานหลัก การติดตั้งระบบน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Water Heater) เพื่อใช้งานในกิจกรรมต่าง ๆ เช่น การอาบน้ำหรือการใช้ในห้องครัว

3.7.2.2 พลังงานลม (Wind Energy) หากอาคารตั้งอยู่ในพื้นที่ที่มีลมแรง สามารถพิจารณาติดตั้งกังหันลมขนาดเล็กเพื่อผลิตพลังงานทดแทน

3.7.2.3 การใช้พลังงานจากชีวมวล (Biomass Energy) หากอาคารมีการผลิตขยะจากอาหารหรือวัสดุชีวภาพ สามารถใช้พลังงานชีวมวลในการผลิตพลังงานทดแทน

3.7.3 การปรับปรุงพฤติกรรมของผู้ใช้อาคาร

3.7.3.1 การให้ข้อมูลและการศึกษาแก่ผู้ใช้ (User Education) ให้ความรู้แก่ผู้ใช้อาคารเกี่ยวกับวิธีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น การปิดไฟเมื่อไม่ใช้งาน, การปรับอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศให้เหมาะสม (ไม่เย็นหรือร้อนเกินไป), และการเลือกอุปกรณ์ที่ประหยัดพลังงาน การจัดฝึกอบรมหรือแคมเปญที่ส่งเสริมให้ผู้ปรับปรุงพฤติกรรมการใช้พลังงาน เช่น การตั้งเวลาปิดไฟอัตโนมัติ, การใช้ไฟ LED หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพ

3.7.3.2 การใช้เทคโนโลยีในการติดตามการใช้พลังงาน (Energy Usage Monitoring) แนะนำให้ผู้ติดตั้งแอปพลิเคชันหรืออุปกรณ์ที่สามารถติดตามการใช้พลังงานได้แบบเรียลไทม์ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ใช้สามารถทราบถึงการใช้พลังงานของตนเองและปรับปรุงพฤติกรรมให้ประหยัดพลังงานมากขึ้น

3.7.3.3 การปรับเวลาใช้งานอุปกรณ์ (Shift Equipment Usage) ส่งเสริมให้ผู้ปรับปรุงเวลาใช้งานอุปกรณ์ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความต้องการพลังงานต่ำ เช่น การทำความสะอาดหรือการใช้อุปกรณ์ในตอนเช้าหรือเย็น เพื่อกระจายการใช้พลังงานและลดภาระพลังงานในช่วงเวลาที่มีการใช้งานสูงสุด

3.8 การคำนวณค่าไฟฟ้า

การคำนวณค่าไฟฟ้าของวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ จะใช้การคำนวณของ การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) นั้นสามารถทำได้โดยใช้ โครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้า ที่ประกาศไว้ ซึ่งแตกต่างกันไปตามประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า เช่น บ้านอยู่อาศัย, กิจการขนาดกลาง, หรืออัตราตามช่วงเวลา (TOU) เป็นต้น โครงสร้างการคิดค่าไฟฟ้าของ กฟภ.

1. ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Charge) คำนวณจากหน่วยไฟฟ้าที่ใช้ (kWh) คูณด้วยอัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยตามประเภทผู้ใช้

2. ค่าความต้องการพลังงาน (Demand Charge) (เฉพาะผู้ใช้ที่มีหม้อแปลงไฟฟ้า) คิดจากกำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ตั้งใช้ในรอบเดือน (kW)

3. ค่าบริการรายเดือน (Service Charge) ค่าบริการคงที่ที่คิดตามประเภทผู้ใช้

4. ค่า Ft (Fuel Adjustment Charge) ค่าปรับเปลี่ยนตามต้นทุนเชื้อเพลิงการผลิตไฟฟ้า

5. ภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT) คิด 7% จากยอดรวมค่าไฟฟ้าก่อนภาษี

3.8.1 สมการการคำนวณค่าไฟฟ้า

3.8.1.1 ค่ารวมค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Charge) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Energy Charge} = \text{kWh ที่ใช้} \times \text{อัตราค่าไฟต่อหน่วย (บาท)} \quad (3.8)$$

3.8.1.2 คำนวณค่าความต้องการพลังงาน (Demand Charge) (ถ้ามี) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Demand Charge} = \text{กำลังไฟฟ้าสูงสุด(kW)} \times \text{อัตรา Demand Charge (บาท / kW)} \quad (3.9)$$

3.8.1.3 รวมค่าบริการและค่า Ft สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\begin{aligned} \text{Total Before VAT} = & \text{Energy Charge} + \text{Demand Charge} + \\ & \text{ค่าบริการรายเดือน} + (\text{kWh ที่ใช้} \times \text{Ft}) \end{aligned} \quad (3.10)$$

3.8.1.4 คำนวณภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT) สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{VAT} = \text{Total Before VAT} \times 0.07 \quad (3.11)$$

3.8.1.5 รวมยอดค่าไฟฟ้าสุทธิ สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{ค่าไฟฟ้าสุทธิ} = \text{Total Before VAT} + \text{VAT} \quad (3.12)$$

3.8.2 ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้าและอัตราค่าไฟฟ้า

3.8.2.1 บ้านอยู่อาศัย (Rate1) คิดแบบขั้นบันไดตามการใช้ไฟฟ้า (kWh)

3.8.2.2 กิจการขนาดกลาง (Rate2) คิดตามหน่วยพลังงานและกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Demand)

3.8.2.3 กิจการขนาดใหญ่ (Rate3) มีค่าพลังงานไฟฟ้าและค่าความต้องการพลังงาน

3.8.2.4 อัตรา TOU (Rate4) แบ่งการคิดค่าไฟตามช่วงเวลา On-Peak และ Off-Peak

3.8.3 ค่าไฟตามช่วงเวลา On-Peak และ Off-Peak เป็นแนวคิดที่ใช้ในการคำนวณค่าไฟฟ้า โดยพิจารณาถึงช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าสูง (On-Peak) และช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าต่ำ (Off-Peak) เพื่อจูงใจให้ผู้ใช้ปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้า โดยลดการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่มีความต้องการสูง และเพิ่มการใช้ในช่วงที่มีความต้องการต่ำ ซึ่งช่วยลดภาระของระบบไฟฟ้าได้

3.8.3.1 ช่วงเวลา On-Peak

1) เป็นช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้ามากที่สุดในแต่ละวัน (ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด)

2) ค่าไฟในช่วงนี้จะแพงกว่าช่วงเวลาอื่น เพื่อสะท้อนต้นทุนการผลิตไฟฟ้าที่สูงขึ้น

3) ปกติอยู่ในช่วงเวลา วันจันทร์-ศุกร์ 09:00 - 22:00 น. ยกเว้นวันหยุดราชการและวันหยุดนักขัตฤกษ์

เหมาะสำหรับการเลี่ยงการใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้าที่กินไฟมาก เช่น เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้า

3.8.3.2 ช่วงเวลา Off-Peak

- 1) เป็นช่วงเวลาที่มีการใช้ไฟฟ้าน้อย (ความต้องการต่ำ)
- 2) ค่าไฟในช่วงนี้จะถูกกว่า เพื่อกระตุ้นให้มีการใช้ไฟฟ้าในช่วงนี้
- 3) ปกติอยู่ในช่วงเวลา ทุกวัน 22:00 - 09:00 น. รวมถึงวันหยุดราชการและวันหยุดนักขัตฤกษ์

เหมาะสำหรับการตั้งเวลาใช้งานเครื่องใช้ไฟฟ้า เช่น เครื่องซักผ้า เครื่องทำน้ำอุ่น หรือชาร์จรถยนต์ไฟฟ้า

3.8.3.3 ข้อดีของการใช้ระบบ On-Peak และ Off-Peak

- 1) ลดค่าใช้จ่ายค่าไฟได้ หากปรับการใช้งานไปในช่วง Off-Peak
- 2) ช่วยลดความต้องการไฟฟ้าในช่วงพีค ลดการสร้างโรงไฟฟ้าเพิ่มเติม
- 3) ส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

ผู้ใช้ที่เหมาะสมกับระบบนี้คือ ผู้ใช้ไฟฟ้าประเภทที่ 3 ขึ้นไป (เช่น บ้านเรือนที่ติดตั้ง TOU Meter) ผู้ที่สามารถปรับพฤติกรรมการใช้ไฟฟ้าได้ เช่น สำนักงานที่สามารถเลื่อนการใช้ไฟไปช่วง Off-Peak

3.8.4 ระบบประมาณการค่าไฟฟ้า ของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

การคำนวณที่ได้เป็นเพียงการประมาณการค่าไฟฟ้าเบื้องต้นเท่านั้น สูตรการคำนวณดังกล่าว มีผลตั้งแต่ค่าไฟฟ้าประจำเดือน พฤศจิกายน 2561 จนถึงปัจจุบัน หรือจนกว่าจะมีประกาศเปลี่ยนแปลงโครงสร้างอัตราค่าไฟฟ้าจากคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน

ภาพที่ 3.22 ระบบประมาณการค่าไฟฟ้า การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

แหล่งที่มา: <https://eservice.pea.co.th/EstimateBill/>

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยเรื่อง การจัดการพลังงานในอาคารเรียนช่วงอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย มีวัตถุประสงค์ 1. เพื่อเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารเรียนช่วงอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 2. เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารเรียนช่วงอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 3. เพื่อนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลมากำหนดมาตรการในการอนุรักษ์พลังงานในอาคารเรียนช่วงอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลและนำเสนอผลการวิเคราะห์ ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

4.1 การเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารเรียนช่วงอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

ในการดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้พลังงานในอาคารเรียนช่วงอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย มีขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มต้นดังนี้

4.1.1 การติดตั้งอุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้า

ระบบจัดเก็บข้อมูลพลังงานไฟฟ้าถูกออกแบบและติดตั้งเพื่อรองรับการตรวจวัดการใช้พลังงานภายในอาคารอย่างแม่นยำ โดยใช้อุปกรณ์บันทึกข้อมูลพลังงาน (Power Meter) ที่สามารถส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตภายใต้สถาปัตยกรรม Internet of Things (IoT) การเชื่อมต่อดังกล่าวช่วยให้สามารถติดตามและวิเคราะห์รูปแบบการใช้พลังงานในแต่ละช่วงเวลาได้อย่างต่อเนื่อง งานวิจัยนี้ประยุกต์ใช้เทคโนโลยี IoT ในการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลพลังงานไฟฟ้าของอาคารเรียนผ่านระบบฮาร์ดแวร์ที่ออกแบบเฉพาะ โดยโครงสร้างของระบบประกอบด้วยอุปกรณ์หลักสำหรับการวัด การประมวลผลเบื้องต้น และการส่งต่อข้อมูลสู่แพลตฟอร์มจัดเก็บข้อมูลกลาง เพื่อรองรับการวิเคราะห์เชิงลึกและการบริหารจัดการพลังงานในขั้นต่อไป

4.1.1.1 เซ็นเซอร์กระแสไฟฟ้า (Current Sensors) อุปกรณ์เซ็นเซอร์ถูกเลือกใช้เพื่อวัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านในแต่ละวงจรหรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์จะสะท้อนถึงการ ใช้พลังงานในรูปแบบของกระแสไฟฟ้าแบบเรียลไทม์

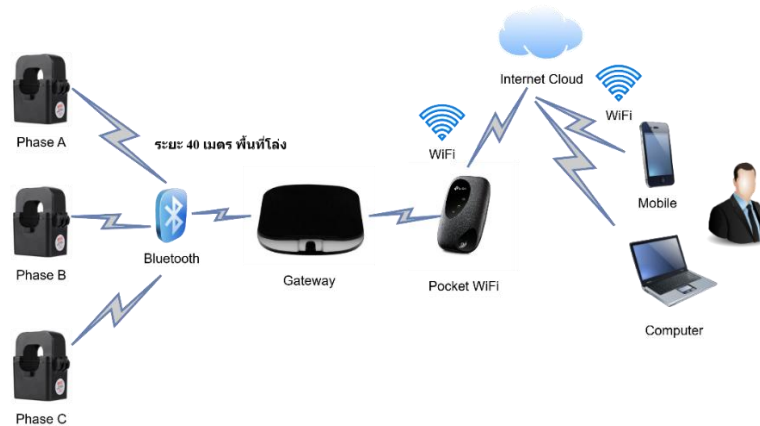
4.1.1.2 เกตเวย์ (Gateway) เกตเวย์ถูกออกแบบให้ทำหน้าที่เป็นตัวกลางระหว่าง เซ็นเซอร์และระบบคลาวด์ (Cloud Server) โดยมีความสามารถในการรับส่งข้อมูลแบบไร้สายผ่าน Wi-Fi หรือเครือข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อเชื่อมต่อกับฐานข้อมูลกลาง

4.1.1.3 ตัวบันทึกข้อมูล (Data Loggers) ตัวบันทึกข้อมูลทำหน้าที่เก็บรวบรวมข้อมูลจากเซ็นเซอร์ก่อนที่จะส่งไปยังเกตเวย์ อุปกรณ์นี้ช่วยจัดการข้อมูลในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการวิเคราะห์และการนำเสนอผลลัพธ์

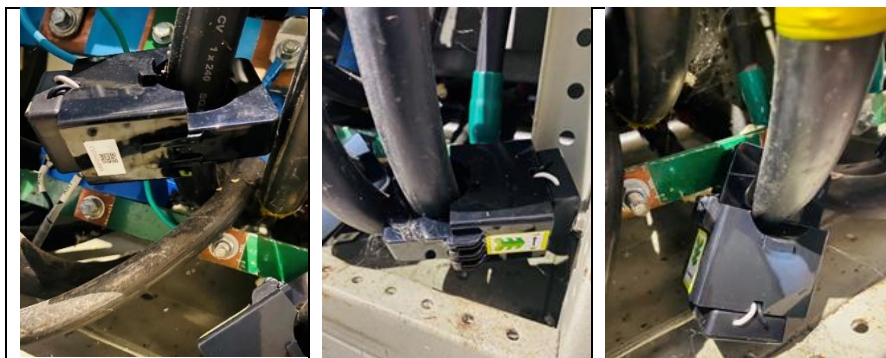
4.1.1.4 โครงสร้างระบบ IoTระบบได้รับการออกแบบให้มีความสามารถในการตรวจสอบและบันทึกข้อมูลแบบเรียลไทม์ โดยมีโครงสร้างดังภาพที่ 4.1 ซึ่งแสดงให้เห็นการเชื่อมต่อระหว่างเซ็นเซอร์ เกตเวย์ และฐานข้อมูล การออกแบบโครงสร้างระบบเน้นประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลและความสามารถในการขยายระบบในอนาคต

4.1.1.5 การแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ ข้อมูลที่ได้รับการประมวลผลและบันทึกจะถูกแสดงผลผ่านเว็บเบราว์เซอร์ในรูปแบบกราฟ แผนภูมิ หรือการแจ้งเตือนแบบเรียลไทม์ผ่าน LINE เพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถวิเคราะห์และตัดสินใจปรับปรุงการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การออกแบบและติดตั้งฮาร์ดแวร์ในส่วนนี้ถือเป็นหัวใจสำคัญที่ช่วยให้ระบบ IoT สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ พร้อมทั้งรองรับการใช้งานในระยะยาวและการเพิ่มขยายในอนาคต



ภาพที่ 4.1 การออกแบบหลักการทำงานและการรับส่งข้อมูล



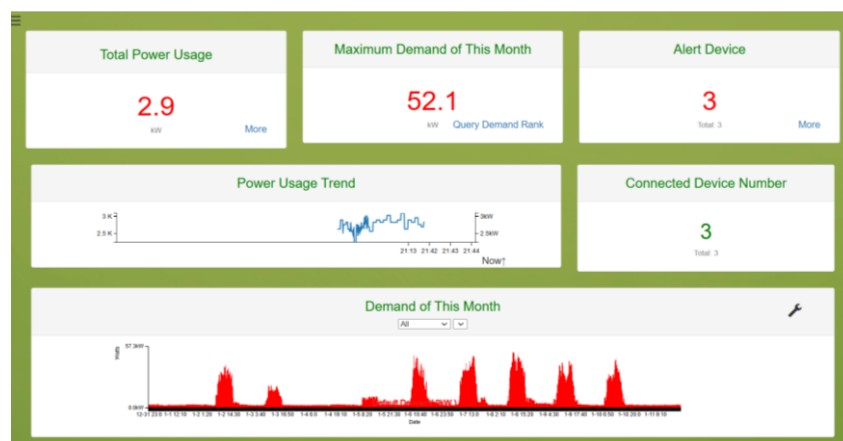
ภาพที่ 4.2 ติดตั้งระบบตรวจวัดพลังงานเวลาจริง



ภาพที่ 4.3 ติดตั้งระบบส่งข้อมูลพลังงานเรียลไทม์

4.1.2 รูปแบบการแสดงผลของหน้าหลักแสดงข้อมูลไฟฟ้า ภาพรวม (Dashboards)

หน้าหลักของระบบแสดงผลข้อมูลไฟฟ้าได้รับการพัฒนาเพื่อเป็นจุดรวมของข้อมูลสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานภายในอาคาร โดยเน้นความเข้าใจง่าย ความต่อเนื่องของข้อมูล และความสามารถในการตรวจสอบสถานะการใช้พลังงานแบบเรียลไทม์ ระบบ Dashboard ถูกออกแบบภายใต้หลักการ Visualization ที่ชัดเจนเพื่อช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถประเมินแนวโน้มการใช้พลังงาน ตรวจสอบความผิดปกติ และสนับสนุนการตัดสินใจเชิงบริหารจัดการพลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ



ภาพที่ 4.4 การแสดงผลภาพรวมการใช้ไฟฟ้า แบบ Real Time

จากภาพที่ 4.4 เมื่อทำการ Sign in เข้าใช้งานระบบ Web Service จะเข้าสู่หน้า Dashboard ก่อนเป็นอันดับแรก ซึ่งจะประกอบไปด้วยหน้าต่างแสดงภาพรวมการใช้ไฟฟ้า ซึ่งจะประกอบไปด้วย 6 ส่วน คือ

4.1.2.1 Total Power Usage คือ ค่ากำลังไฟฟ้าแบบรวมเรียลไทม์ ณ ขณะนั้น ๆ

4.1.2.2 Maximum Demand of This Month คือ ค่ากำลังไฟฟ้า สูงสุดของเดือน

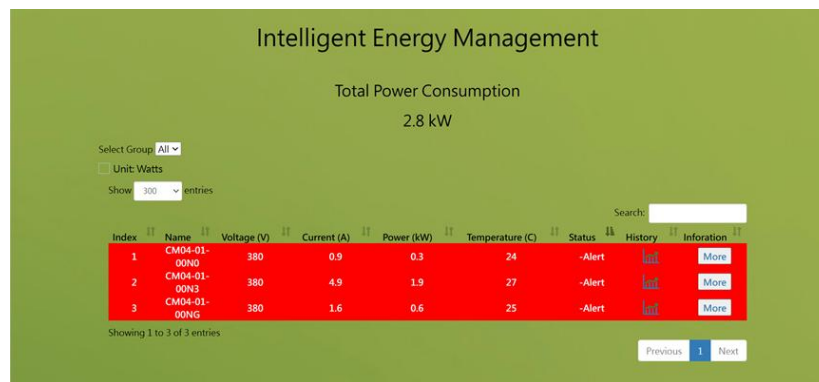
นั้น ๆ

4.1.2.3 Alert Device คือ ส่วนแสดงค่าการแจ้งเตือนต่าง ๆ ในภาพรวมว่ามีเหตุแจ้งเตือน หรือข้อผิดพลาดใด ๆ เกิดขึ้น

4.1.2.4 Power Usage Trend คือ กราฟแสดงการใช้กระแสไฟฟ้า แบบเรียลไทม์

4.1.2.5 Connected Device Number คือ ส่วนแสดงจำนวนอุปกรณ์ CM ที่เชื่อมต่ออยู่ทั้งหมด

4.1.2.6 Demand of This Month คือ ส่วนการแสดงกราฟ การใช้ไฟฟ้า ของเดือนนั้น

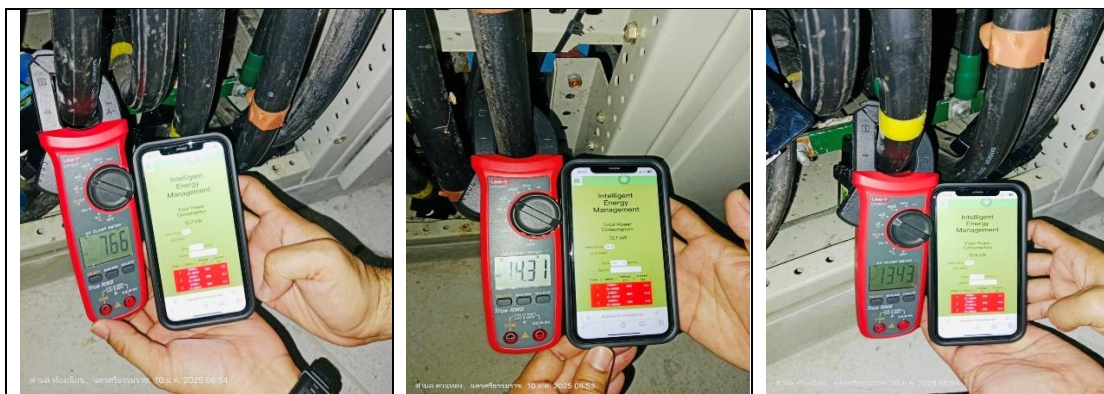


ภาพที่ 4.5 การแสดงผลภาพรวมของตัวอุปกรณ์แบบเรียลไทม์

จากภาพที่ 4.5 จะเป็นส่วนของหน้าต่างนี้จะมีการแสดงตัวอุปกรณ์แบบเรียลไทม์ โดยสามารถดูค่ากระแสไฟฟ้า (Current) กำลังไฟฟ้า (Power) อุณหภูมิ (Temperature) สถานะต่าง ๆ (Status) ในส่วนประวัติย้อนหลัง (History) สามารถคลิกเข้าไปดูประวัติการใช้งานไฟฟ้าได้และรายละเอียดเพิ่มเติม (More)

4.1.3 การวิเคราะห์การทดสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของระบบ

การทดสอบประสิทธิภาพและความแม่นยำของระบบเป็นกระบวนการสำคัญที่ใช้ตรวจสอบว่าอุปกรณ์หรือระบบที่ใช้สำหรับบันทึกค่าข้อมูลพลังงานไฟฟ้าโครงการวิจัย สามารถทำงานได้อย่างถูกต้องและตรงตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยในบริบทของการวัดค่ากระแสไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า การทดสอบดังกล่าวสามารถดำเนินการได้ผ่านกระบวนการเปรียบเทียบค่าที่ระบบวัดได้กับค่าที่ได้จากแหล่งข้อมูลหรือเครื่องมืออ้างอิงที่เชื่อถือได้ โดยการเปรียบเทียบค่ากระแสด้วย Clip Amp Meter (Clamp Meter) ระบบทำการวัดค่ากระแสไฟฟ้าแต่ละเฟส (L1, L2, L3) และนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่วัดจาก Clamp Meter ในช่วงเวลาเดียวกัน เพื่อประเมินความแม่นยำของระบบวัดกระแสและตรวจสอบค่าความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดขึ้นจากการวัดจริง ประโยชน์ของการทดสอบ ยืนยันความแม่นยำของระบบวัดกระแสและพลังงาน ตรวจสอบข้อผิดพลาดหรือความคลาดเคลื่อนที่ต้องปรับปรุง ประเมินสมรรถนะอุปกรณ์เทียบกับค่ามาตรฐาน ตลอดจนเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบในการใช้งานจริง



ภาพที่ 4.6 การทดสอบเปรียบเทียบค่ากระแสที่ระบบวัดได้เปรียบเทียบกับการวัดด้วยเครื่องมือวัด Clip Amp Meter

เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Error Percentage) เป็นตัวชี้วัดที่ใช้บ่งบอกถึงความแตกต่างระหว่างค่าที่วัดได้ (Measured Value) กับค่าจริงหรือค่ามาตรฐาน (Reference Value) สามารถคำนวณจากสมการ

$$\text{Error (\%)} = \left| \frac{\text{ค่าจริง(Reference)} - \text{ค่าที่วัดได้}}{\text{ค่าจริง(Reference)}} \right| \times 100 \quad (4.1)$$

รายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบในสูตร

ค่าจริง (Reference Value) คือ ค่าที่ถือว่าเป็นค่ามาตรฐาน ซึ่งอาจมาจากอุปกรณ์ที่มีความน่าเชื่อถือสูง เช่น Clamp Meter หรือ Nameplate Values ของอุปกรณ์

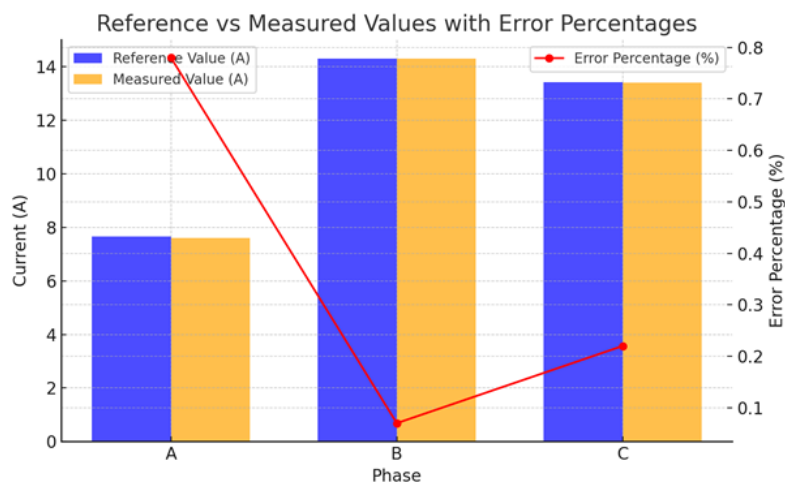
ค่าที่วัดได้ (Measured Value) คือ ค่าที่ระบบของคุณวัดได้

ความแตกต่าง (Difference) คือ ค่าผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าที่วัดได้

การคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ คูณด้วย 100 เพื่อแปลงผลลัพธ์ให้อยู่ในรูปเปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 4.1 ผลการประเมินความคลาดเคลื่อนของค่ากระแสไฟฟ้ารายเฟสเมื่อเทียบกับค่าอ้างอิง

Phase	Reference Value (A)	Measured Value (A)	Error Percentage (%)
A	7.66	7.6	0.78
B	14.31	14.3	0.07
C	13.43	13.4	0.22



ภาพที่ 4.7 แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน (Error Percentage)

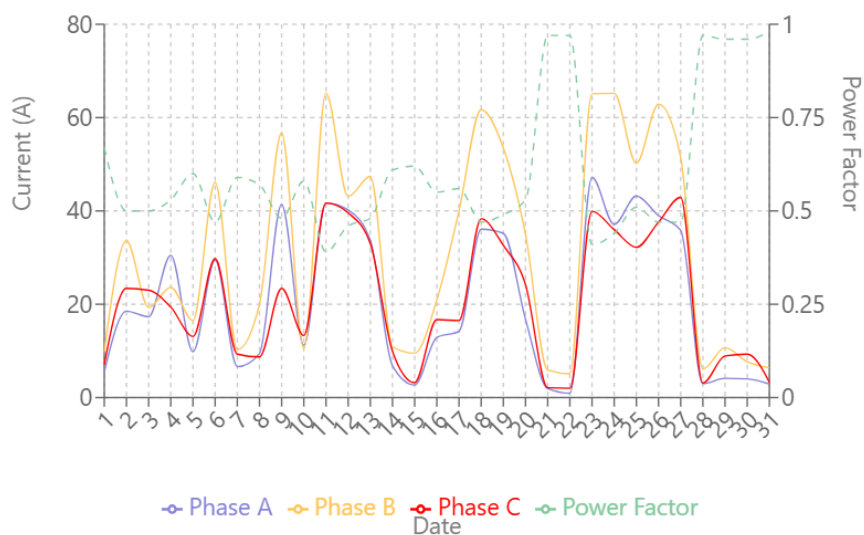
จากภาพที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้าของทั้งสามเฟสพบว่า Phase A, B และ C มีค่าที่วัดได้ใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานอย่างยิ่ง โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเพียง 0.78%, 0.07% และ 0.22% ตามลำดับ ซึ่งล้วนต่ำกว่า 1% และอยู่ในช่วงที่ถือว่ามีความแม่นยำสูงในงานระบบไฟฟ้า การเบี่ยงเบนในระดับนี้ไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพหรือความปลอดภัยของระบบ อย่างไรก็ตาม ควรตรวจสอบอุปกรณ์วัดอย่างสม่ำเสมอและบันทึกค่าการวัดอย่างต่อเนื่องเพื่อรักษาความเสถียรและสนับสนุนการติดตามแนวโน้มของระบบในระยะยาว

4.2 การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิ และแรงดันตกในสายเมนไฟฟ้า อาคารเรียนช่างอุตสาหกรรม

เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า อุณหภูมิของสายเมน และแรงดันตกในระบบจำหน่ายไฟฟ้าภายในอาคารเรียนช่างอุตสาหกรรม มทร.ศรีวิชัย โดยใช้ระบบตรวจวัดพลังงานแบบเรียลไทม์ร่วมกับเทคโนโลยี IoT สำหรับบันทึกข้อมูลการใช้พลังงานและวิเคราะห์ผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ต่อแรงดันตกในสายเมน ผลการศึกษาที่ได้จะช่วยสนับสนุนการกำหนดแนวทางบริหารจัดการโหลดไฟฟ้า การเลือกใช้สายตัวนำที่มีความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริง และการปรับปรุงระบบไฟฟ้าภายในอาคารให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพื่อลดการสูญเสียพลังงานและเพิ่มเสถียรภาพของแรงดันไฟฟ้าในอาคารเรียน

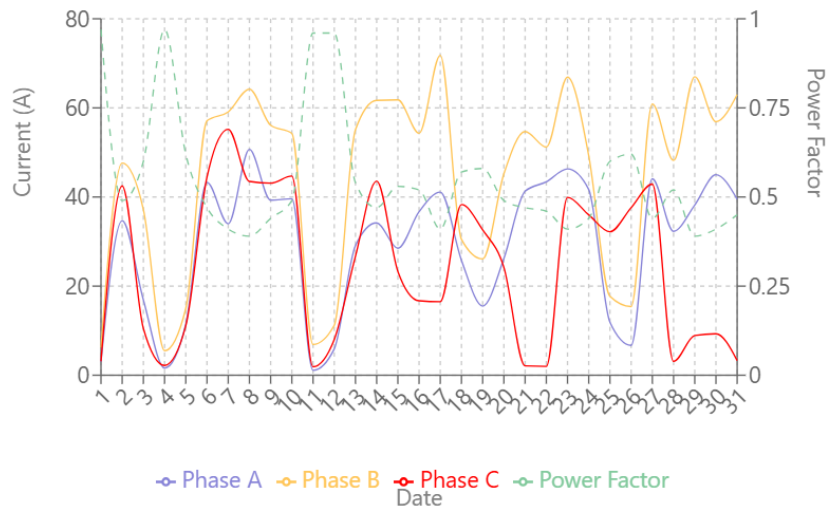
ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยกระแสไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละเฟสทั้ง 2 เดือน

Date	Average Max Current Phase A	Average Max Current Phase B	Average Max Current Phase C	Power Factor (PF)
Dec 1-5	16.32	20.56	17.20	0.56
Dec 6-10	19.62	28.72	16.90	0.54
Dec 11-15	25.02	35.22	25.48	0.51
Dec 16-20	23.04	42.22	25.66	0.52
Dec 21-25	26.06	38.30	22.44	0.66
Dec 26-31	14.80	24.20	17.52	0.80
Jan 1-5	13.54	22.30	13.88	0.73
Jan 6-10	41.38	58.16	46.20	0.44
Jan 11-15	19.76	39.34	20.70	0.70
Jan 16-20	29.06	45.58	28.74	0.51
Jan 21-25	36.92	47.96	39.40	0.48
Jan 26-31	34.30	51.90	34.93	0.47



ภาพที่ 4.8 การวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดและค่าแฟกเตอร์กำลัง (ธ.ค. 2567)

จากกราฟในภาพที่ 4.8 พบว่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดของเฟส A ~40 A, B ~80 A (สูงสุด), C ~70 A และแฟกเตอร์กำลังอยู่ระหว่าง 0.2-1.0 ค่าเฉลี่ย 0.5-0.75 เฟส B กระแสไฟฟ้าสูงอาจส่งผลกระทบต่อแรงดันตกและแฟกเตอร์กำลังต่ำ ควรตรวจสอบโหลดและปรับปรุงแฟกเตอร์กำลังเพื่อลดการสูญเสียพลังงาน

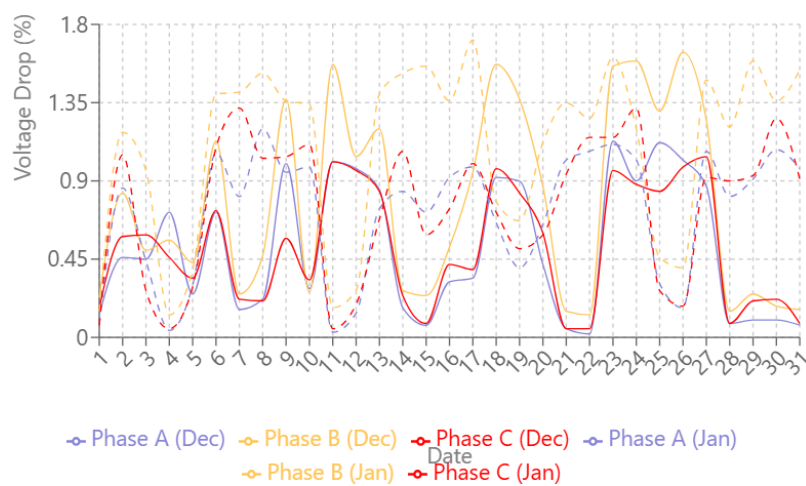


ภาพที่ 4.9 การวิเคราะห์ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดและค่าแฟกเตอร์กำลัง (ม.ค. 2568)

จากกราฟในภาพที่ 4.9 พบว่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด ของเฟส A ~45 A, B ~75 A (สูงสุด), C ~70 A และค่าแฟกเตอร์กำลังอยู่ระหว่าง 0.25-1.0 ค่าเฉลี่ย 0.6-0.8 ซึ่งดีขึ้นจาก ธ.ค. 2567 เฟส B ยังคงมีกระแสไฟฟ้าสูงสุด และแฟกเตอร์กำลังดีขึ้นเล็กน้อย แต่ยังมีช่วงค่าต่ำ ควรตรวจสอบโหลดในเฟส B และปรับปรุงแฟกเตอร์กำลังเพิ่มเติมเพื่อเสถียรภาพของระบบ

ตารางที่ 4.3 ค่าเปอร์เซ็นต์แรงดันตกในสายเมนไฟฟ้า (ธ.ค. 2567-ม.ค. 2568)

Date	% Voltage Drop (ธ.ค. 2567)			% Voltage Drop (ม.ค. 2568)		
	Phase A	Phase B	Phase C	Phase A	Phase B	Phase C
1-5	0.13	0.23	0.17	0.07	0.15	0.07
6-10	0.46	0.83	0.58	0.86	1.18	1.05
11-15	0.45	0.50	0.59	0.44	0.96	0.27
16-20	0.72	0.56	0.46	0.04	0.13	0.05
21-25	0.25	0.43	0.34	0.30	0.39	0.29
26-31	0.72	1.13	0.73	1.06	1.40	1.09



ภาพที่ 4.10 การวิเคราะห์เปรียบเทียบค่า % Voltage Drop ทั้ง 3 เฟส (ธ.ค. 2567-ม.ค. 2568)

จากกราฟในภาพที่ 4.10 พบว่า เฟส B มีแรงดันตกสูงสุดที่ประมาณ 1.5% ทั้ง ธ.ค. 2567 และ ม.ค. 2568 โดยมีความผันผวนชัดเจน เฟส C มีแรงดันตกสูงสุดประมาณ 1.3% ใน ม.ค. 2568 ซึ่งสูงขึ้นเล็กน้อยเมื่อเทียบกับ ธ.ค. 2567 ที่มีแรงดันตกประมาณ 1.0% เฟส A มีแรงดันตกต่ำที่สุดที่ประมาณ 0.8% แรงดันตกมีความผันผวนในแต่ละวัน ซึ่งอาจเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของโหลดไฟฟ้า

4.3 การวิเคราะห์พฤติกรรมกระแสไฟฟ้าและผลกระทบต่อเสถียรภาพระบบไฟฟ้า

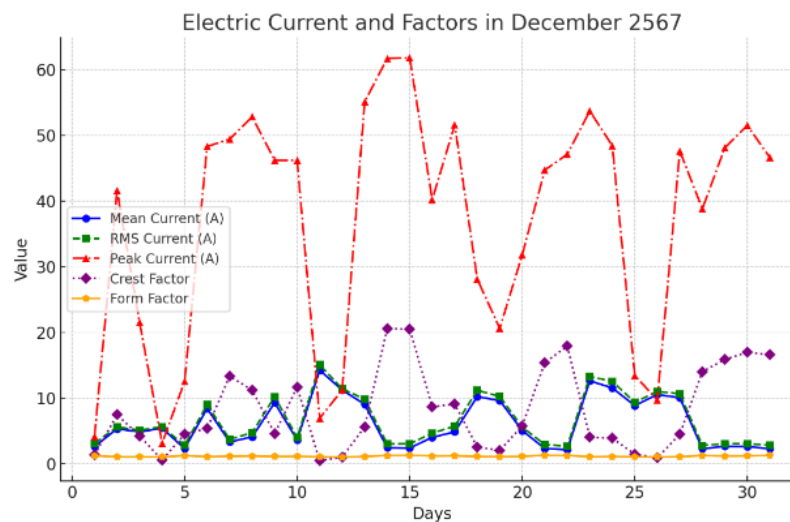
การศึกษานี้วิเคราะห์พฤติกรรมกระแสไฟฟ้าของแต่ละเฟส (A, B, C) โดยใช้ค่าเฉลี่ย (Mean), Crest Factor, Form Factor และอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุด เพื่อประเมินเสถียรภาพของระบบไฟฟ้า ค่า Crest Factor แสดงการเบี่ยงเบนจากรูปคลื่นไซน์มาตรฐาน (~1.414) ขณะที่ Form Factor (~1.11) ชี้วัดความเพี้ยนของสัญญาณ ส่วนอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดใช้ตรวจสอบความเสถียรของกระแส ผลการวิเคราะห์ช่วยให้เข้าใจการสวิตช์ของกระแสและนำไปสู่การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าในวิทยาลัยฯ

ตารางที่ 4.4 ค่า Crest Factor และ Form Factor (ธ.ค. 2567)

Date	Mean Current (A)	RMS Current (A)	Peak Current (A)	Crest Factor	Form Factor
Dec 1-5	4.09	4.43	16.56	3.61	1.11
Dec 6-10	5.73	6.31	48.58	9.22	1.11
Dec 11-15	7.85	8.46	39.34	9.62	1.13
Dec 16-20	6.73	7.46	34.46	5.60	1.12
Dec 21-25	7.48	8.13	41.46	8.52	1.14
Dec 26-31	5.06	5.55	40.38	11.46	1.15

ตารางที่ 4.5 ค่าการแกว่งและอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (ธ.ค. 2567)

รายการผลลัพธ์หมายเหตุ	รายการผลลัพธ์หมายเหตุ	รายการผลลัพธ์หมายเหตุ
จำนวนครั้งของการแกว่ง	23 ครั้ง	พิจารณาจากค่า Crest Factor > 4
อัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุด	61.8A	เกิดขึ้นที่ลำดับที่ 15



ภาพที่ 4.11 กระแสไฟฟ้าและค่าปัจจัยรายวัน (ธ.ค. 2567)

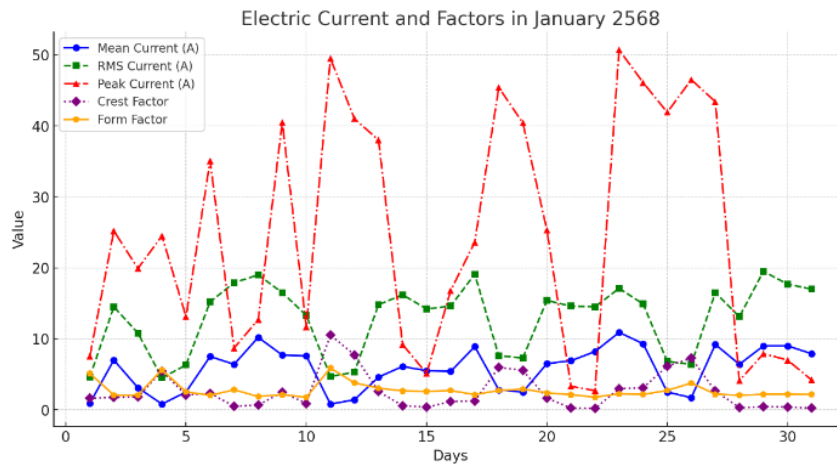
จากกราฟในภาพที่ 4.11 พบว่า Mean และ RMS Current มีแนวโน้มสอดคล้องกัน แต่บางวัน (11, 12, 23, 24) ค่าสูงผิดปกติ อาจเกิดจากโหลดเพิ่มขึ้น ขณะที่ Peak Current มีการเปลี่ยนแปลงชัดเจนและพุ่งสูงในบางวัน (7, 8, 13-15, 30) บ่งชี้ถึงโหลดชั่วคราวหรือโหลดไม่สมดุล Crest Factor สูงในช่วง 14-15 และ 28-31 อาจเกิดจากกระแสกระชากหรือโหลดไม่เป็นเชิงเส้น ส่วน Form Factor ส่วนใหญ่คงที่ (1.05-1.27) แต่สูงขึ้นในบางวัน (14-15, 21-22) อาจสะท้อนความผิดปกติของรูปคลื่น ควรตรวจสอบกระแสสูงสุดที่พุ่งขึ้นเพื่อหาสาเหตุและแนวทางแก้ไข

ตารางที่ 4.6 ค่า Crest Factor และ Form Factor (ม.ค. 2568)

Date	Mean Current (A)	RMS Current (A)	Peak Current (A)	Crest Factor	Form Factor
Jan 1-5	2.86	8.14	18.04	2.54	3.48
Jan 6-10	7.88	16.38	21.74	1.36	2.12
Jan 11-15	3.68	11.04	28.56	4.35	3.59
Jan 16-20	5.22	12.80	30.30	3.11	2.57
Jan 21-25	7.56	13.58	28.94	2.53	2.20
Jan 26-31	7.20	15.03	18.85	1.88	2.42

ตารางที่ 4.7 ค่าการแกว่งและอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุด (ม.ค. 2568)

รายการผลลัพธ์หมายเหตุ	รายการผลลัพธ์หมายเหตุ	รายการผลลัพธ์หมายเหตุ
จำนวนครั้งของการแกว่ง	7 ครั้ง	พิจารณาจากค่า Crest Factor > 4
อัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุด	50.73A	เกิดขึ้นที่ลำดับที่ 23



ภาพที่ 4.12 กระแสไฟฟ้าและค่าปัจจัยรายวัน (ม.ค. 2568)

จากกราฟภาพที่ 4.12 พบว่า Mean Current ผันผวน สูงสุดวันที่ 23 (10.9A) ต่ำสุดวันที่ 4, 11 (0.8A) แนวโน้มเพิ่มกลางเดือน ลดปลายเดือน RMS Current เพิ่มขึ้นช่วง 6-10 และ 17-19 สูงสุดวันที่ 29 (19.5A) ต่ำสุดวันที่ 4 (4.5A) Peak Current ผันผวนสูง สูงสุดวันที่ 23 (50.7A) ต่ำสุดวันที่ 21-22 (2.7-3.3A) Crest Factor ผันผวนสูง โดยพีควันที่ 11 (10.54) และ 12 (7.73) อาจเกิดจากโหลดเปลี่ยนแปลงหรือกระแสกระชาก Form Factor ส่วนใหญ่คงที่ (2-3) แต่พุ่งสูงวันที่ 11 (5.88) และ 4 (5.63) แนวทางปรับปรุง ตรวจสอบโหลดในวันที่ Peak Current สูง (23, 26-27) ตรวจสอบอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อในวันที่ Crest Factor สูง (11-12) วิเคราะห์อุปกรณ์ที่อาจสร้างรูปคลื่นผิดปกติหรือฮาร์มอนิกส์

4.4 การหาค่าเหมาะสมของเวลาการระบายความร้อนสายเคเบิลหลักเพื่อการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพ

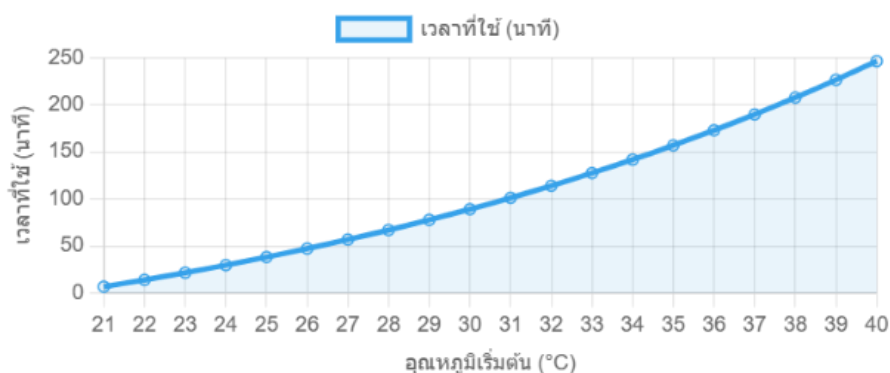
การศึกษานี้วิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิแวดล้อมต่อการลดอุณหภูมิของสายเคเบิลหลักชนิด CV (XLPE) ขนาด 250 mm² ตัวนำทองแดง ระยะทาง 600 เมตร โดยติดตามอุณหภูมิของสายหลังการรับโหลด เพื่อประเมินความสามารถในการระบายความร้อนภายใต้สภาพแวดล้อมจริง การเก็บข้อมูลใช้เซ็นเซอร์วัดอุณหภูมิร่วมกับระบบ IoT โดยตัวแปรที่ศึกษาได้แก่ อุณหภูมิแวดล้อม (°C) เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิ (นาที) และอัตราการลดอุณหภูมิ (°C/นาที) ในช่วงอุณหภูมิ 21°C ถึง 40°C การวิเคราะห์ข้อมูลใช้สถิติและกราฟแนวโน้มควบคู่กับหลักการถ่ายเทความร้อนเพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิแวดล้อมและอัตราการคายความร้อนของสายเคเบิล ผลการศึกษาชี้ว่าเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงขึ้น การระบายความร้อนของสายเคเบิลจะช้าลง ทำให้ต้องใช้เวลาลดอุณหภูมิ

มากขึ้น ข้อเสนอแนะคือควรกำหนดแผนตรวจสอบและบำรุงรักษาสาย ปรับปรุงสภาพการระบายอากาศ และพิจารณาออกแบบระบบควบคุมอุณหภูมิในพื้นที่เดินสายเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในอนาคต

ตารางที่ 4.8 ผลการคำนวณ Cooling Time และผลกระทบอื่น ๆ

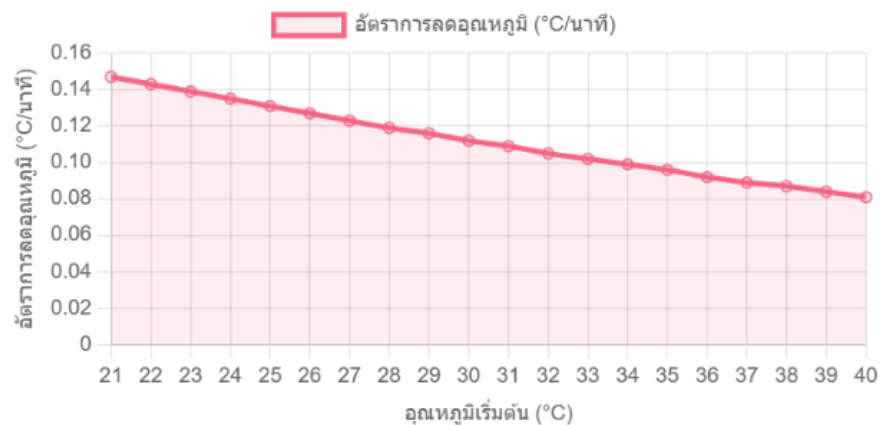
อุณหภูมิเริ่มต้น (T ₀)	เวลาที่ใช้ (นาท.)	เวลาที่ใช้ (ชั่วโมง:นาท.)	อัตราการลดอุณหภูมิ (°C/นาท.)	ความร้อนที่ถ่ายเท (MJ)	กำลังความร้อนเฉลี่ย (W)
21-23°C	14.13	0:01	0.14	1.03	1232.00
24-26°C	38.43	0:03	0.13	2.59	1127.00
27-29°C	67.23	0:05	0.12	4.14	1029.33
30-32°C	101.43	0:07	0.11	5.69	938.00
33-35°C	142.10	0:10	0.10	7.24	851.33
36-38°C	190.23	0:13	0.09	8.80	772.33
39-40°C	236.55	0:16	0.08	10.09	711.50

เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิจาก T₀ เป็น 20°C



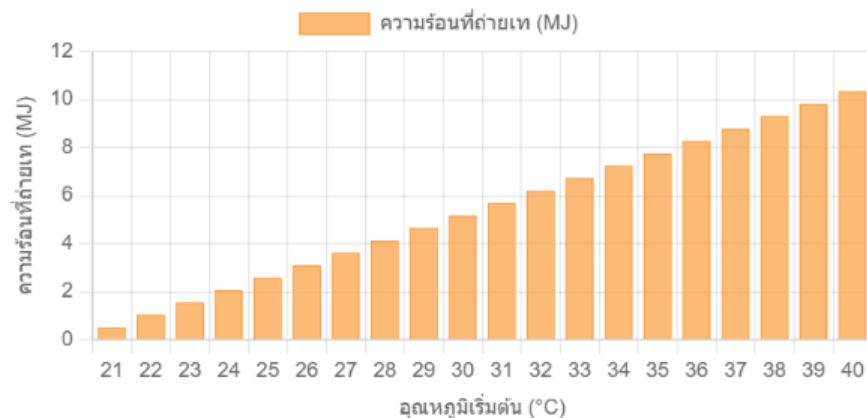
ภาพที่ 4.13 การใช้เวลาในการลดอุณหภูมิเป็น 20°C

จากกราฟภาพที่ 4.13 พบว่าที่อุณหภูมิ 25°C ใช้เวลา 20 นาที, 30°C ใช้เวลา 60 นาที, 35°C ใช้เวลา 150 นาที และ 40°C เกิน 250 นาที กราฟแสดงแนวโน้ม เอ็กซ์โปเนนเชียล เมื่อ เกิน 35°C เวลาระบายความร้อนเพิ่มขึ้นแบบก้าวกระโดด ส่งผลต่อประสิทธิภาพและความปลอดภัยของระบบไฟฟ้า ควรมีการระบายอากาศที่ดี หรือใช้สายไฟที่รองรับอุณหภูมิสูง



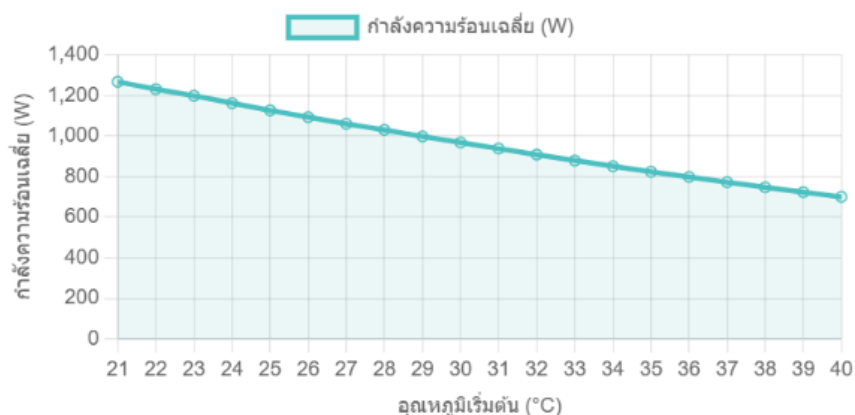
ภาพที่ 4.14 อัตราการลดอุณหภูมิ

จากกราฟภาพที่ 4.14 พบว่าอัตราการลดอุณหภูมิ (°C/นาฬิกา) มีความสัมพันธ์เชิงลบกับอุณหภูมิเฉลี่ย โดยลดลงจาก 0.15°C/นาฬิกา ที่ 21°C เหลือ 0.08°C/นาฬิกา ที่ 40°C แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการทำความเย็นลดลงในสภาพแวดล้อมที่ร้อนขึ้น ตามหลักการถ่ายเทความร้อนที่ลดลงเมื่อความแตกต่างของอุณหภูมิน้อยลง



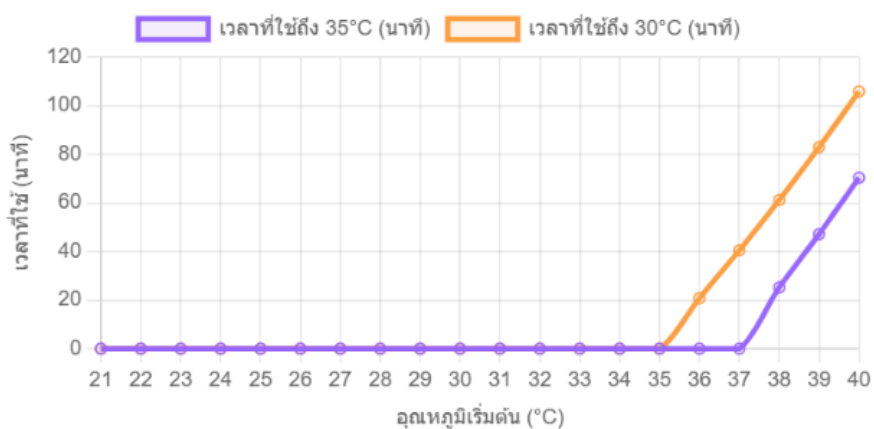
ภาพที่ 4.15 การถ่ายเทความร้อน

จากกราฟภาพที่ 4.15 พบว่าความร้อนที่ถ่ายเท (MJ) ที่เพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิเฉลี่ย (°C) สูงขึ้น จาก 21°C ถึง 40°C ความสัมพันธ์นี้เป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล โดยการถ่ายเทความร้อนเร่งตัวเร็วขึ้นที่อุณหภูมิสูง ที่ 21°C การถ่ายเทความร้อนมีน้อยมาก (ต่ำกว่า 1 MJ) แต่เพิ่มขึ้นถึงประมาณ 10 MJ ที่ 40°C



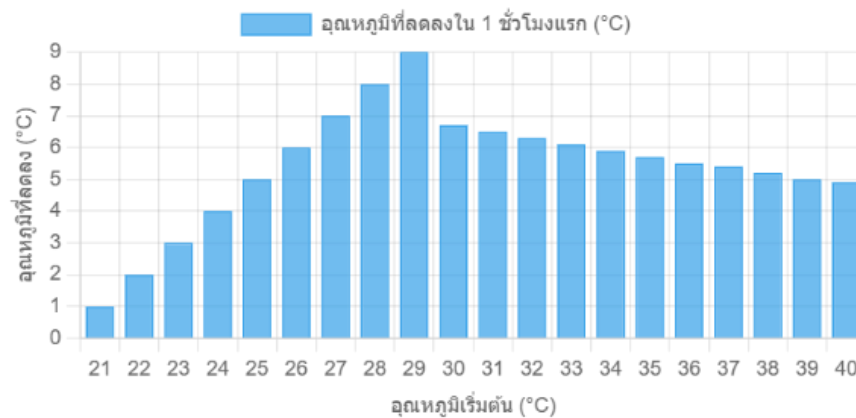
ภาพที่ 4.16 กำลังความร้อนเฉลี่ย

จากกราฟภาพที่ 4.16 พบว่ากำลังความร้อนเฉลี่ย (W) ที่ลดลงแบบเชิงเส้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น กำลังลดลงจากประมาณ 1,300W ที่ 21°C เหลือประมาณ 650W ที่ 40°C บ่งชี้ว่าประสิทธิภาพลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น



ภาพที่ 4.17 เวลาที่ใช้ในการลดอุณหภูมิเริ่มต้นให้ถึง 30°C และ 35°C ตามช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นต่าง ๆ

จากกราฟภาพที่ 4.17 พบว่าเวลาที่ใช้ถึง x°C (นาที) สำหรับสองอุณหภูมิ - 35°C (สีม่วง) และ 30°C (สีส้ม) ทั้งสองเส้นอยู่ใกล้ศูนย์จนถึงประมาณ 36-37°C จากนั้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แสดงถึงจุดเปลี่ยนที่เวลาในการทำความเย็นเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่ออุณหภูมิแวดล้อมสูงกว่าอุณหภูมิเป้าหมาย



ภาพที่ 4.18 อุณหภูมิที่ลดลงใน 1 ชั่วโมงตามช่วงอุณหภูมิเริ่มต้นต่าง ๆ

จากกราฟภาพที่ 4.18 พบว่าอุณหภูมิที่ลดลงใน 1 ชั่วโมงแรก (°C) ประสิทธิภาพการทำความเย็นสูงสุดที่ประมาณ 29°C (ลดลงประมาณ 9°C) และค่อย ๆ ลดลงทั้งที่อุณหภูมิต่ำกว่าและสูงกว่า เป็นรูปโค้งระฆังที่มีประสิทธิภาพการทำความเย็นที่เหมาะสมที่สุดในช่วงกลาง

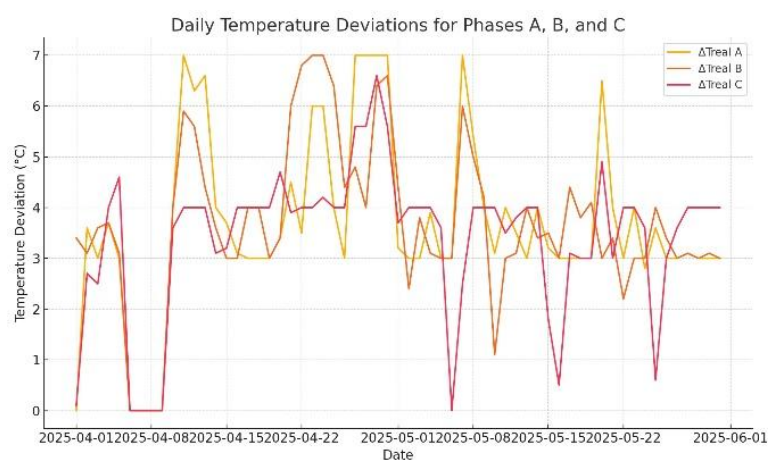
4.5 การวิเคราะห์ผลกระทบของอุณหภูมิต่อการเสื่อมของสายเมนด้วยแบบจำลองถดถอยและแบบจำลองการเสื่อมสภาพรายวันเชิงประจักษ์

การวิเคราะห์นี้มุ่งประเมินผลกระทบของอุณหภูมิสูงที่เกิดจากความไม่สมดุลของโหลดต่อการเสื่อมสภาพของสายเมนหลัก โดยใช้สองแนวทางหลัก ได้แก่ (1) แบบจำลองถดถอย ซึ่งแสดงว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นทุก 1°C ทำให้ค่าความต้านทานของสายเพิ่มขึ้นเฉลี่ย 0.00112Ω และ (2) แบบจำลองการเสื่อมสภาพรายวันเชิงประจักษ์ ซึ่งประเมินอัตราการเสื่อมอยู่ในช่วง 0.00038-0.00054 Ω ต่อวัน โดยเฉพาะในช่วงที่อุณหภูมิแวดล้อมเกิน 36°C การใช้ระบบ IoT และข้อมูลแบบเรียลไทม์ช่วยให้สามารถตรวจวัดสถานะของสายเมนและจัดสมดุลโหลดได้แม่นยำยิ่งขึ้น ลดความร้อนสะสมและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การประยุกต์ Machine Learning ช่วยสนับสนุนการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ โดยคาดการณ์ช่วงเวลาที่ยาวนานที่สายอาจเสื่อมสภาพจนส่งผลกระทบต่อความเสถียรของระบบไฟฟ้า การศึกษาพฤติกรรมโหลดของอาคารเรียนพบว่า การกระจายโหลดระหว่างเฟสอย่างเหมาะสมสามารถลด peak load และลดความร้อนสะสมของสายเมนได้อย่างมีนัยสำคัญ งานวิจัยนี้จึงเป็นฐานข้อมูลสำคัญสำหรับการออกแบบแนวทางบริหารจัดการโหลดและระบบบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ในสภาวะอุณหภูมิสูง เพื่อยืดอายุการใช้งานและเพิ่มความยั่งยืนของระบบไฟฟ้าในอาคารเรียน

การศึกษานี้ใช้ข้อมูลอุณหภูมิรายวันของสายเมนหลักทั้ง 3 เฟส ได้แก่ เฟส A, B และ C ซึ่งวัดโดย Clamp meter เซ็นเซอร์ IoT ที่ติดตั้งในตู้เมนไฟฟ้า โดยเก็บข้อมูลต่อเนื่องในช่วง วันที่ 1 เมษายน ถึง 31 พฤษภาคม 2568 การเตรียมข้อมูล (Data Preprocessing) คำนวณค่า ΔT_{real} รายวัน คำนวณค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ (ΔT_{real}) ของแต่ละวันจาก $\Delta T_{\text{real}} = T_{\text{max}} - T_{\text{min}}$

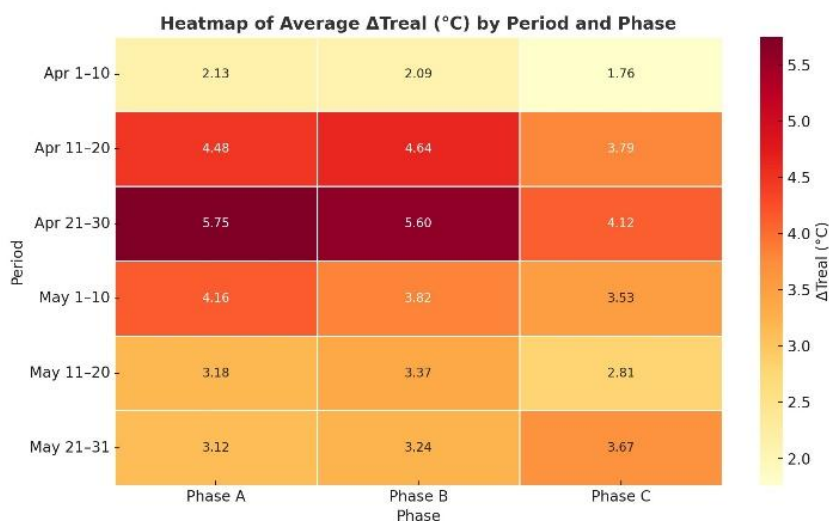
ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ย ΔT_{real} รายช่วง 10 วัน (เฟส A, B, C)

Period	Avg ΔT_{real} A ($^{\circ}\text{C}$)	Avg ΔT_{real} B ($^{\circ}\text{C}$)	Avg ΔT_{real} C ($^{\circ}\text{C}$)
Apr 1–10, 2025	≈ 2.13	≈ 2.09	≈ 1.76
Apr 11–20, 2025	≈ 4.48	≈ 4.64	≈ 3.79
Apr 21–30, 2025	≈ 5.75	≈ 5.60	≈ 4.12
May 1–10, 2025	≈ 4.16	≈ 3.82	≈ 3.53
May 11–20, 2025	≈ 3.18	≈ 3.37	≈ 2.81
May 21–31, 2025	≈ 3.12	≈ 3.24	≈ 3.67



ภาพที่ 4.19 การเบี่ยงเบนอุณหภูมิรายวันสำหรับเฟส A, B และ C

จากกราฟภาพที่ 4.19 พบว่า เฟส A มีความผันผวนของอุณหภูมิสูงสุด โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 7°C โดยเฉพาะในช่วงกลางเดือนเมษายนและกลางเดือนพฤษภาคม เฟส B มีความผันผวนในระดับปานกลาง โดยมีค่าสูงสุดประมาณ $5\text{--}6^{\circ}\text{C}$ ชัดเจนในช่วงต้นเดือนเมษายน เฟส C แสดงความเสถียรสูงสุด โดยมีค่าอุณหภูมิกึ่งที่ใกล้เคียงเส้นฐานที่ประมาณ 3.5°C ตลอดช่วงเวลา ข้อสังเกตเพิ่มเติม แนวโน้มอุณหภูมิของทั้งสามเฟสมีลักษณะลดลงต่อเนื่องจากต้นเดือนเมษายนถึงปลายเดือนพฤษภาคม ในช่วงวันที่ 15–20 เมษายน พบว่าเฟส A และเฟส B มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิอย่างผันผวนในลักษณะตรงกันข้าม เฟส C มีความเสถียรของอุณหภูมิสูงสุด และไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่รุนแรงตลอดระยะเวลาการสังเกต

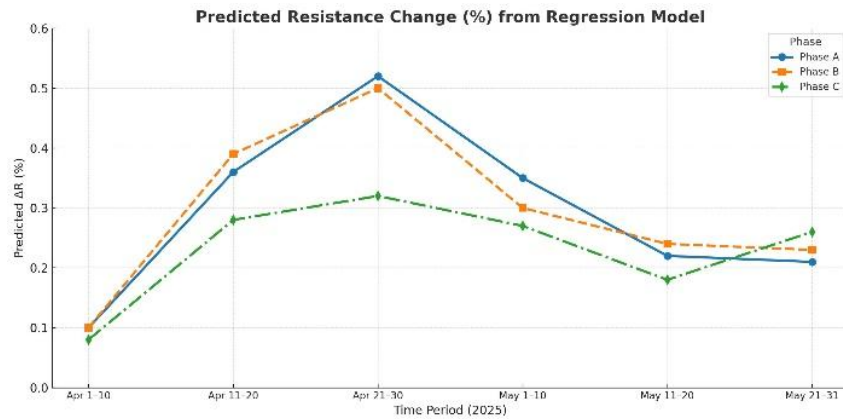


ภาพที่ 4.20 แผนที่ความร้อนของค่าเฉลี่ย ΔT_{real} (°C) จำแนกตามช่วงเวลาและเฟส

จากกราฟภาพที่ 4.20 พบว่า ช่วงวันที่ 11-20 เมษายน 2568 เป็นช่วงที่มีค่า ΔT_{real} เฉลี่ยสูงสุด โดยเฟส A = 4.48°C และเฟส B = 4.64°C 1-10 เมษายน 2568 ค่ามีความผันผวน โดยเฟส A มีค่าสูงสุดที่ 7.13°C ส่วนเฟสอื่นอยู่ในช่วง 1.74-4.08°C เดือนพฤษภาคม 2568 พบแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะช่วง 21-31 พฤษภาคม 2568 ซึ่งเป็นช่วงที่มีค่าต่ำสุด (2.67-3.24°C) เฟส A มีความผันผวนสูงสุดในช่วงเวลาที่ศึกษา โดยค่า ΔT_{real} เฉลี่ยอยู่ในช่วง 2.17-7.13°C เฟส B มีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อเปรียบเทียบกับเฟส A (2.09-4.64°C) เฟส C มีความเสถียรมากที่สุด โดยมีค่า ΔT_{real} อยู่ในช่วง 1.74-4.12°C แนวโน้ม โดยรวม ค่า ΔT_{real} มีแนวโน้มลดลงจากเดือนเมษายนไปสู่เดือนพฤษภาคม โดยเฟส A แสดงการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่เด่นชัดที่สุด เมื่อเทียบกับเฟส B และ C

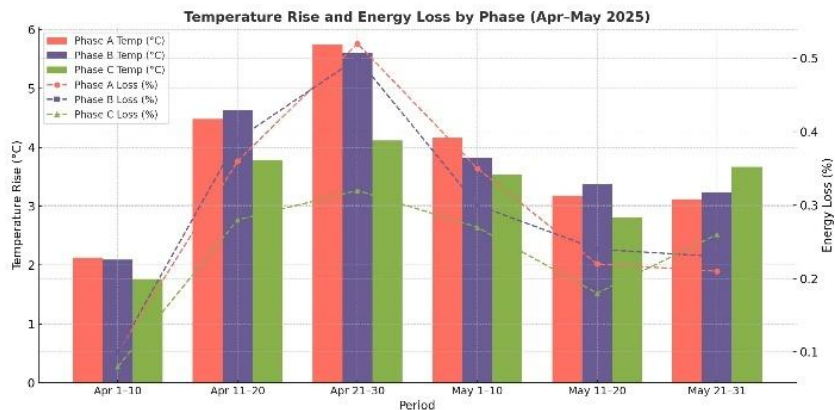
ตารางที่ 4.10 ค่าที่พยากรณ์ได้จากสมการถดถอย

Period	ΔT_{real}	ΔR_{pred}	ΔT_{real}	ΔR_{pred}	ΔT_{real}	ΔR_{pred}
	A (°C)	A (%)	B (°C)	B (%)	C (°C)	C (%)
Apr 1-10, 2025	2.13	0.10	2.09	0.10	1.76	0.08
Apr 11-20, 2025	4.48	0.36	4.64	0.39	3.79	0.28
Apr 21-30, 2025	5.75	0.52	5.60	0.50	4.12	0.32
May 1-10, 2025	4.16	0.35	3.82	0.30	3.53	0.27
May 11-20, 2025	3.18	0.22	3.37	0.24	2.81	0.18
May 21-31, 2025	3.12	0.21	3.24	0.23	3.67	0.26



ภาพที่ 4.21 แนวโน้มค่าความต้านทานจากแบบจำลองถดถอยของสายเมนในแต่ละเฟส

จากกราฟภาพที่ 4.21 พบว่า เฟส A มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุด จากจุดเริ่มต้น 0.1% เพิ่มขึ้นถึงจุดสูงสุด $\sim 0.54\%$ ในช่วง 21-30 เมษายน 2568 จากนั้นลดลงเหลือ $\sim 0.2\%$ เฟส B แนวโน้มคล้ายเฟส A แต่มีค่าต่ำกว่า จุดสูงสุด $\sim 0.45\%$ ในช่วงเดียวกัน เฟส C เสถียรที่สุดและเพิ่มขึ้นค่อย ๆ จาก 0.1% ถึงประมาณ 0.32% และคงที่จุดสำคัญ ช่วง 21-30 เมษายน 2568 ทุกเฟสมีการเปลี่ยนแปลงสูงสุด ช่วง 11-20 พฤษภาคม 2568 เฟส A และ B ลดลงอย่างรวดเร็ว ($\sim 0.2\%$) ขณะที่เฟส C คงที่ Confidence Interval เฟส A มีช่วงความเชื่อมั่นกว้างที่สุด แสดงความไม่แน่นอนในการคาดการณ์ สรุปได้ว่า เฟส A มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด ขณะที่เฟส C มีเสถียรภาพสูงสุด



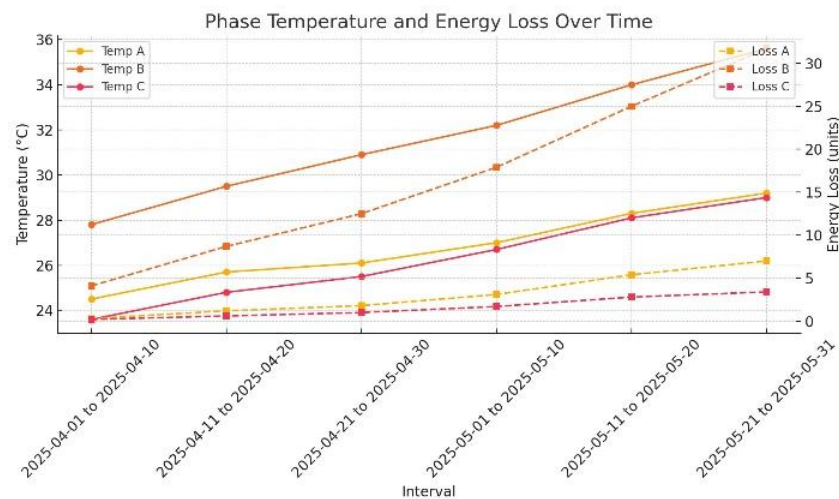
ภาพที่ 4.22 การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิและการสูญเสียพลังงานของสายเมนหลักในแต่ละเฟส

จากกราฟภาพที่ 4.22 พบว่า ช่วงวันที่ 21-30 เมษายน เฟส A มีอุณหภูมิสูงสุดที่ 5.75°C และการสูญเสียพลังงานที่ 0.52% เฟส B มีอุณหภูมิ 5.60°C และสูญเสียพลังงาน 0.50% เฟส C มีอุณหภูมิต่ำกว่าที่ 4.12°C และสูญเสียพลังงาน 0.32% แนวโน้มโดยรวม เฟส B มีค่าการสูญเสียพลังงานเฉลี่ยสูงสุดที่ประมาณ 0.29% เฟส A และ C มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันที่ 0.29% และ 0.23% ตามลำดับ อุณหภูมิในช่วง 11-30 เมษายน สูงกว่าช่วงอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสัมพันธ์กับการสูญเสียพลังงานที่เพิ่มขึ้น ข้อมูลนี้ชี้ให้เห็นว่า เฟส B มักมีอุณหภูมิและการสูญเสียสูงสุดในแต่ละ

ช่วงเวลา ซึ่งอาจเป็นจุดที่ต้องจับตาในการวิเคราะห์โหลดไม่สมดุลและการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ในระบบไฟฟ้าอาคารเรียน

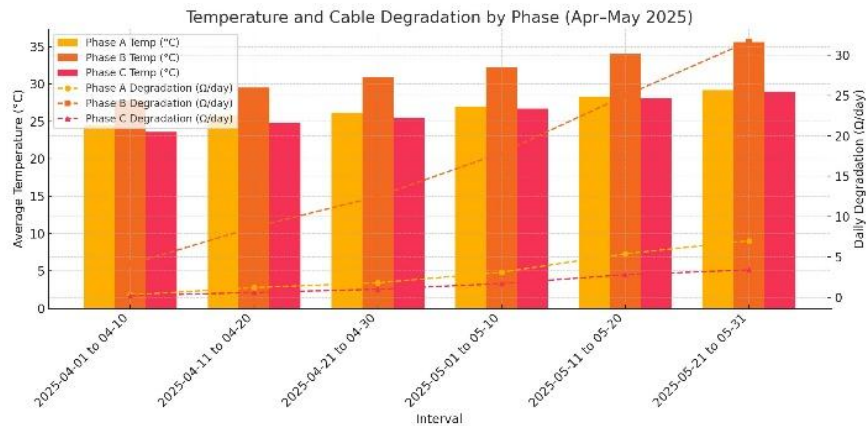
ตารางที่ 4.11 ผลลัพธ์จากแบบจำลองการเสื่อมสภาพเชิงประจักษ์

Interval	ΔT_A (°C)	Deg_A (units)	ΔT_B (°C)	Deg_B (units)	ΔT_C (°C)	Deg_C (units)
2025-04-01 to 2025-04-10	24.5	0.3	27.8	4.1	23.6	0.2
2025-04-11 to 2025-04-20	25.7	1.2	29.5	8.7	24.8	0.6
2025-04-21 to 2025-04-30	26.1	1.8	30.9	12.5	25.5	1.0
2025-05-01 to 2025-05-10	27.0	3.1	32.2	17.9	26.7	1.7
2025-05-11 to 2025-05-20	28.3	5.4	34.0	25.0	28.1	2.8
2025-05-21 to 2025-05-31	29.2	7.0	35.6	31.7	29.0	3.4



ภาพที่ 4.23 อุณหภูมิเฟสและการสูญเสียพลังงานตามเวลา

จากกราฟภาพที่ 4.23 พบว่า เฟส A มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 28°C ถึง 35.5°C (อัตราเพิ่ม 7.5°C) เฟส B เพิ่มขึ้นปานกลางจาก 25°C ถึง 29°C (อัตราเพิ่ม 4°C) เฟส C เพิ่มขึ้นน้อยที่สุดจาก 24°C ถึง 25°C (อัตราเพิ่ม 1°C) ผลการวิเคราะห์การสูญเสียพลังงาน เฟส A สูญเสียสูงสุดเพิ่มจาก ~8 kWh ถึง ~30 kWh เฟส B สูญเสียปานกลางเพิ่มจาก ~3 kWh ถึง ~8 kWh เฟส C สูญเสียต่ำสุดคงที่ที่ ~2-4 kWh ความสัมพันธ์ของการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิมีสหสัมพันธ์เชิงบวกกับการสูญเสียพลังงาน โดยเฟส A แสดงความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสูงสุด ขณะที่เฟส C มีเสถียรภาพดีที่สุดในแนวโน้มทุกเฟสมีการเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้น โดยเฟส A มีความชันสูงสุด



ภาพที่ 4.24 อุณหภูมิและการเสื่อมสภาพสายเคเบิลจำแนกตามเฟส

จากกราฟภาพที่ 4.24 พบว่า อุณหภูมิ เฟส A เพิ่มขึ้นจาก 24°C ถึง 29°C เฟส B เพิ่มขึ้นสูงสุดจาก 24°C ถึง 36°C เฟส C คงที่ประมาณ 23-28°C ผลการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพ เฟส A เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจาก 1 ถึง 7Ω/day เฟส B เพิ่มขึ้นสูงสุดจาก 1 ถึง 32Ω/day เฟส C เพิ่มขึ้นน้อยจาก 0.5 ถึง 3Ω/day ความสัมพันธ์สำคัญ เฟส B มีทั้งอุณหภูมิสูงสุด (36°C) และการเสื่อมสภาพเร็วที่สุด (32Ω/day) เฟส C มีเสถียรภาพสูงสุดทั้งอุณหภูมิและการเสื่อมสภาพ ช่วงวิกฤต พฤษภาคม 21-31 ทุกเฟสมีการเสื่อมสภาพเร่งขึ้นอย่างชัดเจน สรุปได้ว่ามีสหสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างอุณหภูมิและการเสื่อมสภาพ โดยเฟส B มีความเสี่ยงสูงสุด ขณะที่เฟส C มีความน่าเชื่อถือสูงสุด

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยพัฒนาระบบตรวจวัดพลังงานแบบ IoT และนำข้อมูลเรียลไทม์มาวิเคราะห์พฤติกรรมโหลด อุณหภูมิ และการเสื่อมสภาพของสายเมนในอาคารเรียนข้างอุตสาหกรรม ผลสำคัญคือ

1. ระบบฮาร์ดแวร์และแพลตฟอร์ม IoT ทำงานแม่นยำ (เปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนการวัดกระแส < 1%) ทำให้ข้อมูลเพียงพอสำหรับการตัดสินใจเชิงปฏิบัติการ
2. เฟส B มีปัญหาเด่น กระแสสูงสุดและแรงดันตกสูงสุด (แรงดันตกสูงสุด $\approx 1.3-1.5\%$) และการเสื่อมสภาพของตัวนำสูงสุดเมื่อเทียบกับเฟสอื่น
3. แฟกเตอร์กำลัง (Power Factor) อยู่ในช่วงกว้างและมีค่าเฉลี่ยต่ำ (ช่วงตัวอย่าง 0.2-0.8) ซึ่งบ่งชี้ถึงโอกาสในการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน
4. การสวิงของกระแส (Crest Factor) มีค่าผิดปกติโดยช่วงที่มีค่า > 4 บ่งชี้การเกิดกระแสกระชากหรือโหลดไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งเสี่ยงต่ออุปกรณ์และสายเมน
5. อุณหภูมิของสายเมนมีผลโดยตรงต่อเวลา cooling และอัตราการเสื่อมสภาพ เมื่ออุณหภูมิแวดล้อม $\geq 35-36^{\circ}\text{C}$ ระยะเวลาในการลดอุณหภูมิเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและการเสื่อมสภาพเร่งตัว
6. แบบจำลองถดถอยชี้ว่า ทุกการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ 1°C ทำให้ความต้านทานสายเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย $\approx 0.00112\Omega$ และแบบจำลองเชิงประจักษ์พบอัตราการเสื่อมสภาพรายวัน (ช่วงตัวอย่าง) ประมาณ $0.00038-0.00054\Omega/\text{วัน}$ (และในช่วงวิกฤตพบค่าสูงกว่านี้ โดยเฉพาะเฟส B)

5.1 ข้อเสนอแนะตามวัตถุประสงค์งานวิจัย

5.1.1 การเก็บข้อมูล ระบบ IoT ที่ออกแบบสามารถเก็บข้อมูลกระแส แรงดัน อุณหภูมิ และพลังงานได้ต่อเนื่องและมีความแม่นยำเพียงพอ (<1% error) สำหรับการวิเคราะห์เชิงวิศวกรรมและการบริหารจัดการพลังงาน

5.1.2 การวิเคราะห์การใช้พลังงาน พบปัญหาการกระจายโหลดไม่สมดุล (เฟส B เกิน) แฟกเตอร์กำลังต่ำ และช่วงที่เกิด Peak current/crest-factor สูงซึ่งทำให้เกิดแรงดันตกและการสูญเสียพลังงานเพิ่มขึ้น

5.1.3 มาตรการอนุรักษ์พลังงาน ข้อมูลชี้ให้เห็นมาตรการเชิงเทคนิคที่ชัดเจน ได้แก่ การปรับสมดุลโหลด การปรับปรุงแฟกเตอร์กำลัง การระบายอากาศ/ลดอุณหภูมิบริเวณตู้เมน และการบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ ซึ่งคาดว่าจะลดการสูญเสียและยืดอายุสายเมนได้

5.2 ข้อเสนอแนะเชิงปฏิบัติ (Actionable recommendations)

แบ่งตามระดับความสำคัญและเวลาการดำเนินการ กิจกรรมด่วน (Immediate / Low-cost)

5.2.1 ตั้งค่าเกณฑ์แจ้งเตือนอัตโนมัติใน Dashboard แจ้งเตือนเมื่อ: อุณหภูมิสาย $> 36^{\circ}\text{C}$, % Voltage Drop $> 1.0\%$, Crest Factor > 4 , PF < 0.9 , Peak Current ข้ามเกณฑ์ที่กำหนด

5.2.2 ตรวจสอบและปรับสมดุลโหลดทันที ย้ายโหลดบางส่วนจากเฟส B ไปเฟสอื่นหรือกระจายการใช้งานระหว่างเวลาเพื่อลด Peak ของเฟส B

5.2.3 เพิ่มการบันทึก/ตรวจกำหนดเวลา Calibration ตรวจเช็คและ Calibrate เซ็นเซอร์/ Clamp meter ทุก 3-6 เดือน เพื่อรักษาความแม่นยำ (<1% error)

5.3 มาตรการระยะสั้น (Weeks–Months)

5.3.1 ปรับปรุงแฟกเตอร์กำลัง (PF correction) ติดตั้งชุดคาปาซิเตอร์หรือระบบคอนโทรล PF ให้เป้าหมาย PF > 0.95 (อย่างน้อยขึ้นไป ≥ 0.9 เป็นขั้นแรก) เพื่อลดกระแสปฏิริยาและการสูญเสียพลังงาน

5.3.2 จัดตารางการใช้งาน/Shift Load วางนโยบายเลื่อนโหลดที่ไม่จำเป็นออกจากช่วง Peak และจัดตารางการใช้งานอุปกรณ์เครื่องจักรหนักให้ออกช่วงพีค

5.3.3 ปรับปรุงการระบายความร้อนรอบตู้เมนและแนวทางเดินสาย ติดตั้งช่องระบายอากาศพัดลม หรือปรับตำแหน่งการเดินสายให้มีการไหลของอากาศดีขึ้น

5.4 มาตรการระยะกลางถึงยาว (Months–Year)

5.4.1 อัปเกรดหรือ Upsize สายเมน / เปลี่ยนเป็นสายทนอุณหภูมิสูง พิจารณาใช้ตัวนำขนาด/วัสดุที่เหมาะสม (หรือสายที่ทนอุณหภูมิสูงกว่า) ในกรณีที่เฟสใดเฟสหนึ่งมีการใช้งานหนักต่อเนื่อง (โดยเฉพาะเฟส B)

5.4.2 ติดตั้งระบบกรองฮาร์โมนิกส์/องค์ประกอบที่ลดการเกิดโหลดไม่เชิงเส้น สาเหตุของ Crest Factor สูงมักมาจากโหลดไม่เชิงเส้น (อินเวอร์เตอร์ ฯลฯ) การติดตั้งตัวกรองหรือเลือกอุปกรณ์ที่มี THD ต่ำจะช่วยให้

5.4.3 พัฒนาบำรุงรักษาเชิงคาดการณ์ (Predictive Maintenance) นำโมเดล Machine Learning จากข้อมูล IoT มาใช้พยากรณ์ช่วงเวลาที่สายจะเสื่อม/อุณหภูมิจะพุ่งเพื่อจัดการเชื่อมต่อ/ลดโหลดก่อนเกิดความเสียหาย

5.4.4 วางแผนสำรองและปรับปรุงระบบจ่ายไฟ พิจารณาเพิ่ม feeder หรือการแยกระบบเพื่อกระจายโหลดในอนาคตหากอาคารมีแผนขยายการใช้งาน

5.5 เกณฑ์เฝ้าระวังและ KPI ที่แนะนำ

5.5.1 เป้าหมาย PF เฉลี่ยอาคาร ≥ 0.95 (เริ่มต้นตั้งเป้า 0.90 หากต้องใช้ทุนต่ำ)

5.5.2 ลด % Voltage Drop เฉลี่ยของทุกเฟสให้ < 1.0% (เฟส B ต้องนำมาเป็นกรณีพิเศษ)

5.5.3 ลดความถี่เหตุการณ์ Crest Factor > 4 ให้เหลือน้อยที่สุด (เป้าลด 80% ภายในระยะทดลอง)

5.5.4 ลดอุณหภูมิเฉลี่ยของสายเมนช่วงวิกฤต (ตัวอย่าง: ลดอุณหภูมิสูงสุดลง 3–5°C ด้วยการระบาย/การลดโหลด)

5.5.5 ชะลออัตราการเพิ่มความต้านทาน (Ω/day) ให้ต่ำกว่าค่าปัจจุบันตามแบบจำลองเชิงประจักษ์

5.6 แผนดำเนินงานเชิงข้อเสนอ

- 5.6.1 เปิดใช้งาน threshold alerts ใน Dashboard (ทันที)
- 5.6.2 ทำ audit โหลด (load audit) เพื่อหาจุดที่สามารถย้าย/ลดโหลด (1-2 สัปดาห์)
- 5.6.3 ติดตั้งชุด PF correction แบบชั่วคราวเพื่อทดสอบผล (1 เดือน)
- 5.6.4 ปรับปรุงการระบายความร้อนรอบตู้เมนและติดตั้งพัดลม/ช่องระบาย (1-2 เดือน)
- 5.6.5 พัฒนาโมเดล predictive maintenance โดยใช้ข้อมูลที่มี (3-6 เดือน)
- 5.6.6 ประเมินความจำเป็นในการเปลี่ยน/upsized สายและงบประมาณ (6-12 เดือน)

5.7 ข้อจำกัดของการวิจัย

- 5.7.1 ข้อมูลมาจากอาคารเรียนแห่งเดียวในช่วงเวลาจำกัด (เม.ย.-พ.ค. 2568) อาจมีอคติเชิงฤดูกาลหรือพฤติกรรมการใช้งานเฉพาะช่วง
- 5.7.2 แบบจำลองเชิงประจักษ์และการถดถอยขึ้นกับคุณภาพข้อมูลและสมมติฐานที่ใช้ การขยายช่วงข้อมูล (หลายเดือน/หลายฤดูกาล) จะเพิ่มความมั่นใจของโมเดล
- 5.7.3 การคาดการณ์อัตราการเสื่อมสภาพในหน่วย Ω/day ต้องพิจารณาปัจจัยภายนอก เช่น สภาพระบบกราวด์ การสึกกร่อนทางกายภาพ และความร้อนจากภายนอก

5.8 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อเนื่อง

- 5.8.1 ขยายช่วงการเก็บข้อมูลเป็น 12 เดือนขึ้นไปเพื่อศึกษาผลฤดูกาลและสร้างโมเดลที่เสถียรขึ้น
- 5.8.2 ทดสอบมาตรการ PF correction และการเปลี่ยนรูปแบบโหลดจริง (pilot) เพื่อตีค่า ROI และประสิทธิผลก่อนขยายระบบ
- 5.8.3 ศึกษาผลของฮาร์โมนิกส์ในเชิงลึก และทดสอบการติดตั้งตัวกรองฮาร์โมนิกส์
- 5.8.4 ประเมินผลการใช้สายทนอุณหภูมิสูงหรือวัสดุทางเลือกเชิงเศรษฐกิจ (cost-benefit analysis)
- 5.8.5 พัฒนาแอป/อินเตอร์เฟซสำหรับการจัดการงานบำรุงรักษา และรวมข้อมูล IoT เข้ากับระบบจัดการทรัพย์สิน (CMMS)

ระบบ IoT ที่พัฒนาให้ข้อมูลที่แม่นยำเพียงพอสำหรับการตัดสินใจเชิงวิศวกรรม ผลวิเคราะห์ชี้ให้เห็นว่าการกระจายโหลดที่ไม่สมดุล (โดยเฉพาะเฟส B), แพกเตอร์กำลังต่ำ และอุณหภูมิสูงเป็นปัจจัยหลักที่เพิ่มการสูญเสียพลังงานและเร่งการเสื่อมสภาพของสายเมน การดำเนินมาตรการเร่งด่วน (แจ้งเตือน, ปรับสมดุลโหลด, PF correction และปรับปรุงการระบายอากาศ) ร่วมกับแผนระยะกลาง-ยาว (upsized สาย, predictive maintenance, ระบบกรองฮาร์โมนิกส์) จะช่วยลดความเสี่ยง เพิ่มความเสถียร และยืดอายุโครงสร้างพื้นฐานไฟฟ้าของอาคารได้อย่างมีนัยสำคัญ

บรรณานุกรม

- [A] Marinakis V. and Doukas H. 2561. An advanced IoT-based system for intelligent energy management in buildings. *Sensors* 18(2): 610.
- [B] Manzoor NA, Johnson PN and Mark AP. 2566. Energy management for IoT-based smart buildings using a novel deep learning technique. *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering* 12(2s): 303–312.
- [C] Zakka VG and Lee M. 2568. An integrated design of energy and indoor environmental quality monitoring system for effective building performance management. preprint.
- [D] Abdel Sater R and Ben Hamza A. 2563. A federated learning approach to anomaly detection in smart buildings. preprint.
- [E] Himeur Y, Ghanem K, Alsalemi A, Bensaali F and Amira A. 2563. Artificial intelligence-based anomaly detection of energy consumption in buildings: current trends and new perspectives. preprint.
- [F] Selvaraj R, Kuthadi VM and Baskar S. 2566. Smart building energy management and monitoring system based on artificial intelligence in smart city. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 56: 103090.
- [G] Bajwa A, Jahan F, Ahmed I and Siddiqui NA. 2567. A systematic literature review on AI-enabled smart building management systems for energy efficiency and sustainability. *American Journal of Scholarly Research and Innovation* 3(2): 1–27.
- [H] Adhikari S, Nguyen TD and Silverman E. 2568. A review of smart building energy management systems (BEMS) to enhance building sustainability. conference paper / review article.
- [I] Nugroho D and Sanjaya A. 2559. An Internet of Things framework for smart energy in buildings: designs, prototype, and experiments. preprint / conference paper.
- [J] Wibowo F, Suheri S and Yugianus P. 2567. An IoT-enabled smart energy management system to improve energy efficiency in university laboratory. *Sinkron: Jurnal Dan Penelitian Teknik Informatika* 8(2): 1038–1046.
- [K] Is IoT monitoring key to improve building energy efficiency? Case study of a smart campus in Spain. 2566. *Energy and Buildings* 285: 112882.
- [L] Zhao Z. 2568. Design of smart building energy management system based on digital twin technology. conference paper / journal article.
- [M] Dimas Nugroho and Adi Sanjaya. 2559. Design and implementation of an IoT-based electrical energy monitoring system in commercial buildings. *Applied Tech & Engineering Studies*.

[N] Strategies to optimize energy consumption in smart buildings. 2567. Athenea Engineering Sciences Journal 5(18).

ภาคผนวก

**แบบสรุปข้อมูลโครงการวิจัยทุนสนับสนุนเงินรายได้
ปีงบประมาณ พ.ศ. 2568**

<p>ชื่อโครงการ : การจัดการพลังงานในอาคารเรียนช่างอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย</p> <p>หัวหน้าโครงการ : นายสันติ การิสันต์</p> <p>โทรศัพท์ 089-924-1322 อีเมล santi.k@rmutsv.ac.th งบประมาณ 90,000 บาท</p> <p>ระยะเวลาดำเนินการ 1.5 ปี</p> <p>แพลตฟอร์มตามยุทธศาสตร์ อววน.: -</p> <p>โปรแกรมตามยุทธศาสตร์ อววน.: -</p> <p>พื้นที่ทำวิจัย : วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย</p> <p>พื้นที่การใช้ประโยชน์ : วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย</p>
<p>ที่มาและความสำคัญ/หลักการและเหตุผล :</p> <p>พลังงานไฟฟ้าเป็นทรัพยากรสำคัญต่อการดำรงชีวิตและการพัฒนาประเทศ โดยเฉพาะประเทศไทยที่ยังพึ่งพาเชื้อเพลิงฟอสซิลและพลังงานนำเข้าจากต่างประเทศในสัดส่วนสูง หากประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าไม่ดี ย่อมเพิ่มภาระค่าใช้จ่ายและกระทบต่อเศรษฐกิจระดับมหภาคอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ รัฐบาลจึงกำหนดนโยบายและมาตรการด้านการอนุรักษ์พลังงาน เช่น การออกพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และฉบับแก้ไข พ.ศ. 2550 การจัดตั้งกองทุนอนุรักษ์พลังงาน การเปิดให้เอกชนร่วมผลิตไฟฟ้า รวมถึงการกำหนดเกณฑ์ควบคุมการจัดการพลังงานสำหรับอาคารประเภทต่าง ๆ อาทิ อาคารสำนักงาน ห้างสรรพสินค้า และสถานศึกษา อาคารสถานศึกษาเป็นกลุ่มอาคารที่มีการใช้ระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่างตลอดวัน และมีแนวโน้มการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงด้านเทคโนโลยี จึงจำเป็นต้องมีการจัดการพลังงานอย่างเป็นระบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดต้นทุนการดำเนินงาน</p> <p>วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย มีอาคารหลายประเภท แต่ยังไม่มียุทธศาสตร์และแยกบันทึกการใช้พลังงานรายอาคาร ทำให้การบริหารจัดการอาศัยเพียงข้อมูลค่าไฟฟ้าแบบรวม ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงต่อเนื่อง โดยไม่สามารถระบุสาเหตุหรือวิเคราะห์จุดสูญเสียได้อย่างชัดเจน สถานการณ์ดังกล่าวเป็นแรงผลักดันให้ดำเนินการวิจัยการจัดการพลังงานในอาคารเรียนช่างอุตสาหกรรมของวิทยาลัยฯ เพื่อพัฒนากระบวนการตรวจสอบ วิเคราะห์และปรับปรุงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ เป้าหมายสำคัญคือการลดภาระค่าไฟฟ้ารายปี และนำทรัพยากรที่ประหยัดได้ไปสนับสนุนการบริหารจัดการและการพัฒนาวิทยาลัยต่อไป</p>
<p>วัตถุประสงค์ของโครงการ :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. เพื่อเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของอุปกรณ์ไฟฟ้าในอาคารเรียนช่างอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 2. เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารเรียนช่างอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 3. เพื่อนำผลการวิเคราะห์ข้อมูลมากำหนดมาตรการในการอนุรักษ์พลังงานในอาคารเรียนช่างอุตสาหกรรม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
<p>ผลการวิจัย :</p> <p>ระบบตรวจวัดพลังงานแบบเรียลไทม์บนสถาปัตยกรรม IoT สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผลการสอบเทียบกับ Clamp Meter พบความคลาดเคลื่อนของค่ากระแสต่ำกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ ข้อมูลที่เก็บได้ระหว่างเดือนธันวาคม 2567 ถึงตุลาคม 2568 แสดงปัญหาการกระจายโหลดไม่สมดุลอย่างเด่นชัด โดยเฟส B มี</p>

<p>ภาระกระแสและแรงดันตกสูงสุดประมาณ 1.3 ถึง 1.5 เพอร์เซ็นต์ สอดคล้องกับการสะสมความร้อนและการสูญเสียพลังงาน นอกจากนี้ Power Factor มีความแปรผันกว้างในช่วง 0.2 ถึง 0.8 และพบเหตุการณ์ Crest Factor สูง ซึ่งสะท้อนการเกิดโหลดไม่เชิงเส้นหรือกระแสกระชาก แบบจำลองเชิงปริมาณระบุว่า การเพิ่มอุณหภูมิ 1 องศาเซลเซียสทำให้ค่าความต้านทานสายเพิ่มขึ้นเฉลี่ยประมาณ 0.00112 โอห์ม และอัตราการเสื่อมสภาพอยู่ที่ประมาณ 0.00038 ถึง 0.00054 โอห์มต่อวัน ภายใต้อุณหภูมิแวดล้อม 35 องศาเซลเซียสขึ้นไป เวลาการเย็นตัวของสายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตั้งแต่ประมาณ 20 นาทีที่ 25 องศาเซลเซียสเป็นมากกว่า 250 นาทีที่ 40 องศาเซลเซียส</p> <p>ผลการวิเคราะห์นำไปสู่ข้อเสนอเชิงปฏิบัติ ได้แก่ การตั้งระบบแจ้งเตือนเงื่อนไขเสี่ยง การปรับสมดุลโหลด การปรับปรุง Power Factor และเพิ่มการระบายความร้อนรอบตู้เมน พร้อมทั้งแนะนำการเก็บข้อมูลระยะยาวและพัฒนาโมเดลบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าในอนาคต</p>
<p>ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง (output) :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ระบบตรวจวัดพลังงานแบบเรียลไทม์บนสถาปัตยกรรม IoT ที่สามารถวัดกระแส แรงดัน อุณหภูมิ กำลังไฟฟ้า Power Factor และพารามิเตอร์คุณภาพไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง พร้อมฟังก์ชันบันทึกข้อมูลเชิงเวลา 2. ฐานข้อมูลพลังงานเชิงเวลาระดับหลายเดือน (ธันวาคม 2567–ตุลาคม 2568) สำหรับใช้วิเคราะห์ โหลด คุณภาพไฟฟ้า ความร้อนของสายเมน และพฤติกรรมกรรมการเสื่อมสภาพของตัวนำ 3. แบบจำลองเชิงปริมาณสำหรับวิเคราะห์อัตราการเพิ่มความต้านทานตามอุณหภูมิ การเสื่อมสภาพสายเมนเชิงประจักษ์ และความสัมพันธ์ของค่าคุณภาพไฟฟ้ากับสภาวะโหลด 4. รายงานวิเคราะห์ปัญหาที่พบจริงในอาคารเรียนช่วงอุตสาหกรรม เช่น โหลดไม่สมดุล เฟส B ใช้งานสูงผิดปกติ แรงดันตก Power Factor ผันผวน และเหตุการณ์ Crest Factor สูง 5. ข้อเสนอเชิงเทคนิคสำหรับการจัดการพลังงาน เช่น ระบบแจ้งเตือนอัตโนมัติ การปรับสมดุลโหลด การปรับปรุง Power Factor และการเพิ่มการระบายอากาศรอบตู้เมน 6. ชุดข้อมูลและผลวิเคราะห์ที่สามารถนำไปต่อยอดสู่โมเดล predictive maintenance และการบริหารความเสี่ยงด้านระบบไฟฟ้าของอาคารในอนาคต
<p>ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง (outcome) :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ความสามารถในการมองเห็นสถานะพลังงานของอาคารแบบเรียลไทม์ดีขึ้นอย่างมาก ทำให้ผู้ดูแลระบบสามารถตรวจพบพฤติกรรมโหลดผิดปกติและเหตุการณ์ความเสี่ยงได้ทันที 2. การวิเคราะห์ข้อมูลช่วยระบุสาเหตุค่าไฟฟ้าสูงได้อย่างเป็นระบบ โดยพบจุดสูญเสียพลังงานที่เกิดจากโหลดไม่สมดุล แรงดันตก และ PF ต่ำ ซึ่งก่อนหน้านี้ไม่สามารถระบุได้ 3. การจัดการเชิงป้องกันมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยสามารถวางแผนปรับสมดุลโหลด ปรับปรุง Power Factor และบริหารการระบายความร้อนของสายเมนอย่างตรงจุด 4. ความเสี่ยงต่อการเสื่อมสภาพของสายเมนและปัญหาความร้อนสะสมลดลง เนื่องจากมีข้อมูลสนับสนุนการตัดสินใจและการบำรุงรักษาเชิงรุก 5. บุคลากรมีความตระหนักด้านการใช้พลังงานมากขึ้น ผ่านข้อมูลที่นำเสนอในรูปแบบ dashboard และรายงานวิเคราะห์ ทำให้เกิดพฤติกรรมการใช้พลังงานที่รอบคอบกว่าเดิม 6. วิทยาลัยฯ มีศักยภาพสูงขึ้นในการวางแผนลดค่าไฟฟ้าระยะยาว โดยใช้ข้อมูลจริงในการปรับปรุงระบบไฟฟ้าและจัดทำมาตรการอนุรักษ์พลังงาน 7. วางรากฐานสำหรับการพัฒนาระบบ predictive maintenance ของอาคารต่อไป ช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือและความปลอดภัยของระบบไฟฟ้าในระยะยาว
<p>ผลกระทบที่เกิดขึ้นจริง (impact) :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ลดความเสี่ยงต่อความเสียหายของระบบไฟฟ้าในอาคารอย่างเป็นรูปธรรม เนื่องจากสามารถตรวจพบและจัดการโหลดผิดปกติ ความร้อนสะสม และคุณภาพไฟฟ้าต่ำได้ก่อนเกิดเหตุ

2. เพิ่มความเชื่อถือได้ของระบบไฟฟ้าในอาคารเรียนข้างอุตสาหกรรม ช่วยลดโอกาสไฟดับเฉพาะส่วน อุปกรณ์ชำรุด หรือความล้มเหลวของสายเมน
3. ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานมีแนวโน้มลดลงอย่างยั่งยืน จากการปรับสมดุลโหลด การปรับปรุง Power Factor และการบริหารความสูญเสียพลังงานเชิงข้อมูล
4. สนับสนุนการวางแผนงบประมาณของวิทยาลัยฯ อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถคาดการณ์ปัญหา และจัดลำดับความสำคัญของการลงทุนด้านระบบไฟฟ้าได้ชัดเจนขึ้น
5. ยกระดับมาตรฐานการบริหารจัดการพลังงานของสถานศึกษาให้สอดคล้องกับแนวทางของ กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน และกฎหมายอาคารควบคุม ช่วยให้การดำเนินงานมีความโปร่งใส และตรวจสอบได้
6. ทำให้วิทยาลัยฯ กลายเป็นต้นแบบการใช้ IoT เพื่อจัดการพลังงานในสถานศึกษาในภูมิภาค สามารถขยายผลไปยังอาคารอื่นและหน่วยงานอื่นได้
7. ก่อให้เกิดผลกระทบเชิงสังคมด้านความตระหนักรู้เรื่องการอนุรักษ์พลังงาน ทั้งในบุคลากรและ นักศึกษา สร้างวัฒนธรรมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในระยะยาว

การนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์

ด้านนโยบาย โดยใคร: ผู้บริหารวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มทร. ศรีวิชัย

อย่างไร: ใช้ผลการวิจัยเป็นฐานข้อมูลเพื่อกำหนดนโยบายจัดการพลังงานของอาคาร ควบคุมโหลด ปรับสมดุล เฟส และดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานตามกฎหมายอาคารควบคุม รวมถึงวางแผนลงทุนด้านระบบไฟฟ้าอย่าง มีหลักฐานรองรับ

ด้านสังคม โดยใคร: บุคลากรและนักศึกษาในวิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มทร. ศรีวิชัย

อย่างไร: นำข้อมูลจากระบบ IoT และรายงานวิเคราะห์ไปใช้สร้างความตระหนักเรื่องการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ส่งเสริมวัฒนธรรมการประหยัดไฟฟ้า และลดพฤติกรรมการใช้พลังงานที่ก่อให้เกิดภาวะต่อระบบ ไฟฟ้าโดยรวมด้วย

เศรษฐกิจ โดยใคร: หน่วยพัสดุ งานอาคารสถานที่ และฝ่ายบริหาร

อย่างไร: ใช้ข้อมูลเชิงปริมาณในการคาดการณ์ค่าไฟฟ้า วางแผนลดต้นทุนด้านพลังงาน และจัดลำดับความสำคัญ ของการซ่อมบำรุงหรือปรับปรุงระบบไฟฟ้าให้คุ้มค่าที่สุด ส่งผลให้ลดค่าใช้จ่ายระยะยาวของวิทยาลัย

ด้านวิชาการ โดยใคร: นักวิจัย อาจารย์ และนักศึกษาในสาขาไฟฟ้า ควบคุม หรือ IoT

อย่างไร: นำชุดข้อมูลจริง อัลกอริทึมวิเคราะห์ และแบบจำลองเชื่อมสภาพไปใช้ในการเรียนการสอน งานวิจัยต่อยอด เช่น predictive maintenance การพัฒนา dashboard พลังงาน การวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้า และ โครงการงาน IoT เพื่อขยายองค์ความรู้และสร้างนวัตกรรมใหม่ในสาขาที่เกี่ยวข้อง

การเผยแพร่/ประชาสัมพันธ์ :

1. จัดทำรายงานสรุปผลการวิจัยพร้อมชุดข้อมูลตัวอย่างเพื่อเผยแพร่ภายในวิทยาลัยให้ผู้บริหาร บุคลากร และผู้เกี่ยวข้องนำไปใช้ประกอบการตัดสินใจด้านพลังงาน

2. นำเสนอผลงานในการประชุมภายในคณะและมหาวิทยาลัย รวมถึงเวทีสัมมนาด้านระบบไฟฟ้าและการอนุรักษ์พลังงานในระดับภูมิภาค

3. เผยแพร่สาระสำคัญผ่านสื่อออนไลน์ของวิทยาลัย เช่น เว็บไซต์ หน่วยงาน งานอาคารสถานที่ และเพจประชาสัมพันธ์ เพื่อสร้างการรับรู้และกระตุ้นความตระหนักเรื่องการใช้พลังงาน

4. พัฒนาสื่อความรู้ในรูปแบบ infographic หรือ dashboard สาธิตระบบ IoT เพื่อให้บุคลากรและ นักศึกษาสามารถติดตามสถานะพลังงานแบบเข้าใจง่าย

5. เตรียมต้นฉบับบทความวิชาการเพื่อตีพิมพ์ในวารสารที่เกี่ยวข้องกับระบบไฟฟ้า พลังงาน หรือ เทคโนโลยี IoT เพื่อเผยแพร่องค์ความรู้สู่สาธารณะและชุมชนนักวิจัย

TRL/SRL ระดับ : -



ภาคผนวก: ภาพการติดตั้งระบบตรวจวัดพลังงานแบบเรียลไทม์ภายในตู้ MDB ที่สายเมนหลักต่อไปยังอาคารเรียนช่างอุตสาหกรรม พร้อมการเปรียบเทียบความแม่นยำกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน



ภาคผนวก: ภาพการติดตั้งระบบตรวจวัดพลังงานแบบเรียลไทม์ภายในตู้ MDB ที่สายเมนหลักต่อไปยังอาคารเรียนช่างอุตสาหกรรม พร้อมการเปรียบเทียบความแม่นยำกับเครื่องมือวัดมาตรฐาน