

เทคนิคการคัดเลือกกลุ่มโหนดรายอาคารสำหรับรองรับแผนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาเพื่อเพิ่มค่าดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า

Load Clustering Technique Application to PV Solar Rooftop Installation Planning for Improving Energy Efficiency Index

ธงชัย คล้ายคลึง^{1*} วุฒิชัย สง่างาม¹ กิตติวงศ์ สุธรรมโน¹ และพันธ์พงษ์ อภิชาติกุล¹
Thongchai Klayklung^{1*} Wutthichai Sa-nga-ngam¹ Kittiwong Suthamno¹ and
Phangphong Aphichatkul¹

Received: May 18, 2020; Revised: July 22, 2020; Accepted: August 3, 2020

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้นำเสนอวิธีการคัดเลือกกลุ่มโหนดรายอาคารเพื่อรองรับแผนการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาภายในศูนย์กลางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน โดยพิจารณา กลุ่มโหนดอาคารที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงต่อเนื่องช่วงกลางวันที่สามารถปรับปรุงค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้า ซึ่งเป็นดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าให้สูงขึ้นได้ ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารายอาคารได้จาก เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบดิจิทัล 34 อาคารเป้าหมาย วิเคราะห์การจัดกลุ่มโหนดตามวิธี K-Means Clustering ด้วยโปรแกรม SPSS ผลการวิเคราะห์พบว่า จัดแบ่งกลุ่มโหนดรายอาคารได้จำนวน 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 ใช้ไฟในปริมาณน้อย มีลักษณะกราฟการใช้ไฟเปลี่ยนแปลงสูง มีค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าต่ำ กลุ่มที่ 2 ใช้ไฟปานกลางและต่อเนื่อง กราฟการใช้ไฟเปลี่ยนแปลงน้อย มีค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าสูง และกลุ่มที่ 3 ใช้ไฟในปริมาณมากโดยเฉพาะช่วงเวลากลางวัน มีค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าต่ำ ดังนั้น กลุ่มที่ 3 จำนวน 19 อาคารมีความเหมาะสมและจัดอยู่ในแผนรองรับการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ซึ่งจะช่วยให้ลดค่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดจากระบบของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค และทำให้ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้นได้

คำสำคัญ : การคัดเลือกกลุ่มโหนด; วิธี K-Means Clustering; ดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

¹ Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima

* Corresponding Author E-mail Address: thongchai.ky@rmuti.ac.th

Abstract

This research paper presents to load clustering technique application to PV Solar rooftop installation planning at the center of Rajamangala University of Technology Isan. By considering the building load profile that has high continuous power consumption during the day which can improve the load factor which is the energy efficiency index to be higher. We collect the daily load profile of the 34 target buildings from the digital power meter and analyze of the load clustering by K-Means Clustering technic using the SPSS program. The results showed that load clustering can be divided into 3 groups. The first group, all buildings have low power consumption but high deviations of the load profile, low load factor level. The second group, Medium power consumption and minimize deviations of the load profile, high load factor. The third group, High power consumption, especially during the daytime, low load factor level. Therefore, Group 3 consist of 19 buildings has appropriate and setup to the plan for installation of PV solar rooftop. This will reduce the peak load demand from the Provincial Electricity Authority's system, can improve the energy efficiency index.

Keywords: Load Clustering; K-Means Clustering Method; Energy Efficiency Index

บทนำ

ระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียนได้รับความสนใจและเป็นที่ยอมรับกันทั่วโลก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภูมิภาคยุโรป ตะวันออกกลาง และแอฟริกา (EMEA) ที่มีการลงทุนและนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 2004 [1] ประเทศสหรัฐอเมริกาให้ความสนใจกันอย่างแพร่หลายเช่นกัน ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2008 [2] เป็นต้นมา ส่วนในภูมิภาคเอเชียแปซิฟิก (APAC) ได้รับความนิยมสูงขึ้นเป็นลำดับมาตั้งแต่ปี ค.ศ. 2007 [1] ซึ่งในปัจจุบันนี้พอสรุปได้ว่าประเทศที่ให้ความสนใจและเป็นผู้นำในด้านการติดตั้งระบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้นได้แก่ประเทศจีน เยอรมัน ญี่ปุ่น สหรัฐอเมริกา และอิตาลี ตามลำดับ [2]

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิประเทศที่มีศักยภาพสูงในการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากแสงอาทิตย์ เนื่องจากมีค่าความเข้มพลังงานแสงอาทิตย์สูง ซึ่งมีค่ามากกว่าประเทศเยอรมันถึง 70 เปอร์เซ็นต์ แต่มีการนำมาใช้ผลิตไฟฟ้าน้อยกว่าประเทศเยอรมันอยู่มาก แต่อย่างไรก็ตามประเทศไทยก็ได้ให้ความสนใจและมีการติดตั้งเพิ่มขึ้นเป็นลำดับตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011 เป็นต้นมา โดยปัจจุบันได้มีการติดตั้งไปแล้วถึง 3,000 เมกะวัตต์ ในขณะที่ประเทศเยอรมันติดตั้งไปแล้วถึง 40,000 เมกะวัตต์ [3]

เหตุผลที่นานาประเทศให้ความสนใจการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์นั้น สืบเนื่องจากวิกฤตการณ์ด้านพลังงานฟอสซิลและภาวะโลกร้อน อีกทั้งยังมีข้อดีหลายประการ อาทิเช่น เป็นพลังงานที่สะอาด ลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจก ลดการใช้พลังงานฟอสซิล และต้นทุนที่มีแนวโน้มลดลง ถึงแม้จะยังมีข้อด้อยในด้านความไม่สม่ำเสมอของแสงอาทิตย์และข้อจำกัดที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ในเฉพาะช่วงเวลากลางวันก็ตาม

บทความนี้ต้องการนำเสนอเทคนิควิธีการคัดเลือกกลุ่มโหนดในแต่ละอาคารที่มีความเหมาะสมสำหรับติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์กรณีที่ติดตั้งบนหลังคาของอาคารในศูนย์กลางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา เพื่อให้การใช้พลังงานไฟฟ้าของอาคารที่ผ่านการคัดเลือกการจัดกลุ่มแล้วนั้น มีค่าครองชีพประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงขึ้น ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบการผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีผู้ใช้ไฟในอัตราค่าไฟฟ้าแบบอัตราตามช่วงเวลาของการใช้ (Time of Use Rate; TOU) ดังนำเสนอในบทความนี้

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคา

การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์ติดตั้งบนหลังคา (Solar PV Rooftop) หมายถึงระบบการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งบนหลังคาบ้านพักอาศัย โรงงาน หรืออาคารต่าง ๆ โดยแบ่งรูปแบบการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์สามารถแบ่งออกได้ 3 ระบบ ได้แก่ ระบบผลิตไฟฟ้าแบบอิสระ (Stand Alone or Off Grid System) เป็นระบบที่ผลิตไฟฟ้าแล้วไม่ได้เชื่อมต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้าสามารถจ่ายโหลดได้ทั้งระบบที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรงหรือกระแสสลับ และจะจัดเก็บลงแบตเตอรี่หรือไม่ก็ได้ ระบบผลิตไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบโครงข่ายของการไฟฟ้า (Grid Connected or On Grid System) เป็นระบบผลิตไฟฟ้าที่จะต้องแปลงไฟฟ้าที่ผลิตได้ด้วยอินเวอร์เตอร์ให้เป็นไฟฟ้ากระแสสลับ เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้าเพื่อการจำหน่ายหรือการผลิตเพื่อใช้เอง ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบของการไฟฟ้าก็ได้ และสุดท้ายคือระบบผลิตไฟฟ้าแบบผสม (Hybrid System) เป็นระบบการผลิตไฟฟ้าที่นำเอา ระบบแบบอิสระและแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบโครงข่ายของการไฟฟ้ามารวมกัน ซึ่งจะทำให้สามารถกักเก็บพลังงานไฟฟ้าลงแบตเตอรี่แล้วนำมาแปลงเป็นไฟฟ้ากระแสสลับด้วยอินเวอร์เตอร์ (Hybrid Inverter) เพื่อจ่ายโหลดในอาคารและเชื่อมต่อเข้ากับระบบของการไฟฟ้าด้วย [4] - [5] ซึ่งบทความนี้จะนำเสนอเฉพาะรูปแบบการผลิตไฟฟ้าแบบเชื่อมต่อเข้ากับระบบโครงข่ายของการไฟฟ้าเท่านั้น โดยจะนำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารายวัน (Daily Load Profile) ที่ตรวจวัดได้ในแต่ละอาคารมาคัดแยกและเลือกเฉพาะอาคารที่มีรูปแบบข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ในกลุ่มที่สามารถเพิ่มค่าครองชีพประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าได้เพื่อการวิเคราะห์ต่อไป

2. การจัดกลุ่มโหนด (Load Clustering)

การจัดกลุ่มโหนดในบทความนี้ได้ทำการนำข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารายวันของอาคารทั้งหมดมาทำการจัดแบ่งกลุ่มตามจุดเด่นและลักษณะเฉพาะของข้อมูลที่คล้ายกัน ซึ่งวิธีการจัดกลุ่มนั้นจะมีหลายวิธีการ เช่น K-Means, Fuzzy C-Mean (FCM), Self-Hierarchical, Two-Step Fuzzy Possibility C-Means (FPCM) เป็นต้น [6] - [8] บทความนี้เลือกใช้วิธีการคัดเลือกกลุ่มโหนดด้วยวิธี K-Means Clustering เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกและเหมาะสมกับจำนวนข้อมูลที่น่ามาใช้ในบทความนี้ แต่เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสามารถปรับจำนวนกลุ่มได้ สามารถใช้กับข้อมูลจำนวนมากได้ ถึงแม้จะมีจุดด้อยในประเด็นที่ผู้วิเคราะห์จะต้องช่วยกำหนดจำนวนกลุ่มที่ต้องการเลือกไว้ล่วงหน้าก่อนและประเด็นที่มีความอ่อนไหวในข้อมูลที่แตกต่างไปจากเพื่อนหรือบางข้อมูลที่เป็นขยะ [9]

2.1 วิธีการของ K-Means Clustering

วิธีการจัดกลุ่มนี้จะเริ่มต้นด้วยการจัดแบ่งข้อมูลออกเป็น K กลุ่ม โดยแทนแต่ละกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของกลุ่มซึ่งใช้สำหรับเป็นจุดศูนย์กลางของกลุ่มข้อมูลและจากนั้นจะใช้ในการวัดระยะห่างของแต่ละข้อมูลในกลุ่มเดียวกันในขั้นแรกของการจัดกลุ่ม โดยการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลจะต้องกำหนดจำนวนกลุ่ม (K) ตามที่ต้องการก่อน และกำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้นจำนวน K จุด ขั้นตอนต่อไปคือการสร้างกลุ่มข้อมูลและความสัมพันธ์กับจุดศูนย์กลางที่ใกล้มากที่สุด โดยแต่ละจุดจะถูกกำหนดไปยังจุดศูนย์กลางที่ใกล้เคียงที่สุด โดยกระทำไปจนครบหมดทุกจุด และจากนั้นจึงคำนวณจุดศูนย์กลางใหม่โดยการหาค่าเฉลี่ยทุกข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มนั้น หากจุดศูนย์กลางในแต่ละกลุ่มถูกเปลี่ยนตำแหน่ง จะได้จุดที่มีความสัมพันธ์กับกลุ่มใหม่และใกล้กับจุดศูนย์กลางใหม่นั้น ๆ ซึ่งกระบวนการนี้จะกระทำซ้ำเดิมแบบนี้ไปเรื่อย ๆ โดยผลลัพธ์จากการทำซ้ำนี้จะทำให้จุดศูนย์กลางเปลี่ยนตำแหน่งไปในทุกรอบ จนกระทั่งจุดศูนย์กลางนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงจึงจะถือว่าสิ้นสุดกระบวนการจัดกลุ่มด้วยวิธีการของ K-Means ดังกล่าวนี้

2.2 การจัดการข้อมูลเบื้องต้น (Data Pre-Processing)

ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละอาคาร ได้จากเครื่องวัดที่ติดตั้งในตู้จ่ายไฟหลักของอาคารนั้น ๆ (รายละเอียดในหัวข้อ 3.2) ซึ่งจะบันทึกค่ากำลังไฟฟ้าที่ใช้ทุก ๆ 15 นาที ตลอด 24 ชั่วโมง ดังนั้นก่อนที่จะนำข้อมูลเหล่านั้นเข้าสู่กระบวนการจัดกลุ่มจะต้องตรวจสอบหรือกำจัดข้อมูลที่ผิดพลาดก่อนเสมอ การจัดการข้อมูลที่ยอมรับกันคือการทำบรรทัดฐานข้อมูล (Data Normalization) เพื่อให้ทุกข้อมูลอยู่ในช่วงเดียวกันหรือมีค่าเป็นหนึ่งเปอร์เซ็นต์ดังสมการที่ (1) ซึ่งจะพบว่าค่ากำลังไฟฟ้าที่ผ่านการบรรทัดฐานแล้ว (X_l) จะได้จากการนำค่ากำลังไฟฟ้าที่ช่วงเวลาใด ๆ (X_{li}) ที่พิจารณาหารด้วยค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในวันที่พิจารณาของอาคารนั้น (X_{max})

$$X_l = \frac{X_{li}}{X_{max}} \quad (1)$$

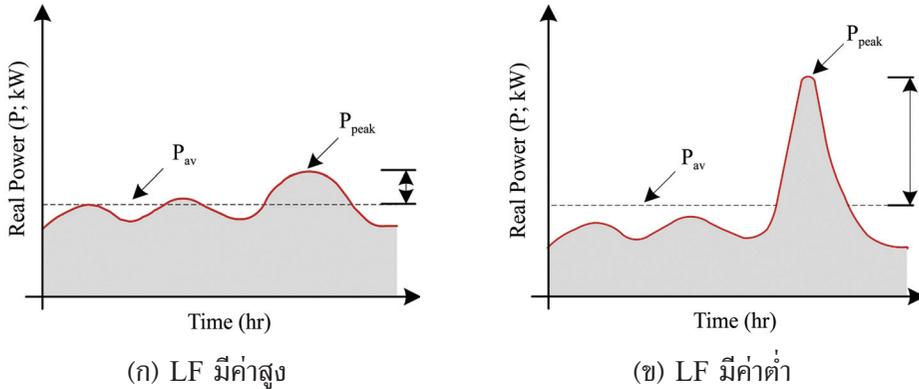
3. ธรรมชาติประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า

เนื่องด้วยบทความนี้ต้องการคัดเลือกกลุ่มโหนดของอาคารที่เหมาะสมเพื่อรองรับแผนงานการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา ดังนั้นธรรมชาติที่แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า จึงได้เลือกใช้ค่าครรชนีตัวประกอบการใช้ไฟฟ้า (Load Factor; LF) ซึ่งเป็นค่าครรชนีที่แสดงถึงความสม่ำเสมอในการใช้ไฟฟ้าในแต่ละอาคารตลอด 24 ชั่วโมง โดยคำนวณได้จากสัดส่วนของกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย (P_{av}) ต่อค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดในวันที่พิจารณา (P_{peak}) ดังสมการที่ (2)

$$LF = \left(\frac{P_{av}}{P_{peak}} \right) \times 100 \quad (2)$$

ความสำคัญของค่าครรชนีตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าที่เลือกมาใช้นั้นจะอธิบายได้ดังนี้ กรณีมีการใช้พลังงานไฟฟ้าในปริมาณที่ใกล้เคียงกันตลอด 24 ชั่วโมง ดังรูปที่ 1(ก) ค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าจะมีค่าสูง ซึ่งจะสะท้อนถึงการที่พลังงานไฟฟ้ามีประสิทธิภาพสูงในอาคารนั้น ๆ ในทางตรงกันข้ามหากมีการใช้

พลังงานไฟฟ้าที่แตกต่างกันมากในแต่ละช่วงเวลาดังรูปที่ 1(ข) จะทำให้ค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้ามีค่าต่ำ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงการใช้ไฟฟ้าที่ขาดประสิทธิภาพ เนื่องจากระบบต้นกำลังการผลิตหรือแหล่งจ่ายไฟฟ้า จะต้องมีการสำรองพลังงานไฟฟ้ามากเพื่อให้ใช้อย่างเพียงพอในกรณีที่มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงมาก



รูปที่ 1 เปรียบเทียบดัชนีตัวประกอบการใช้ไฟฟ้า (LF)

4. กรณีศึกษา

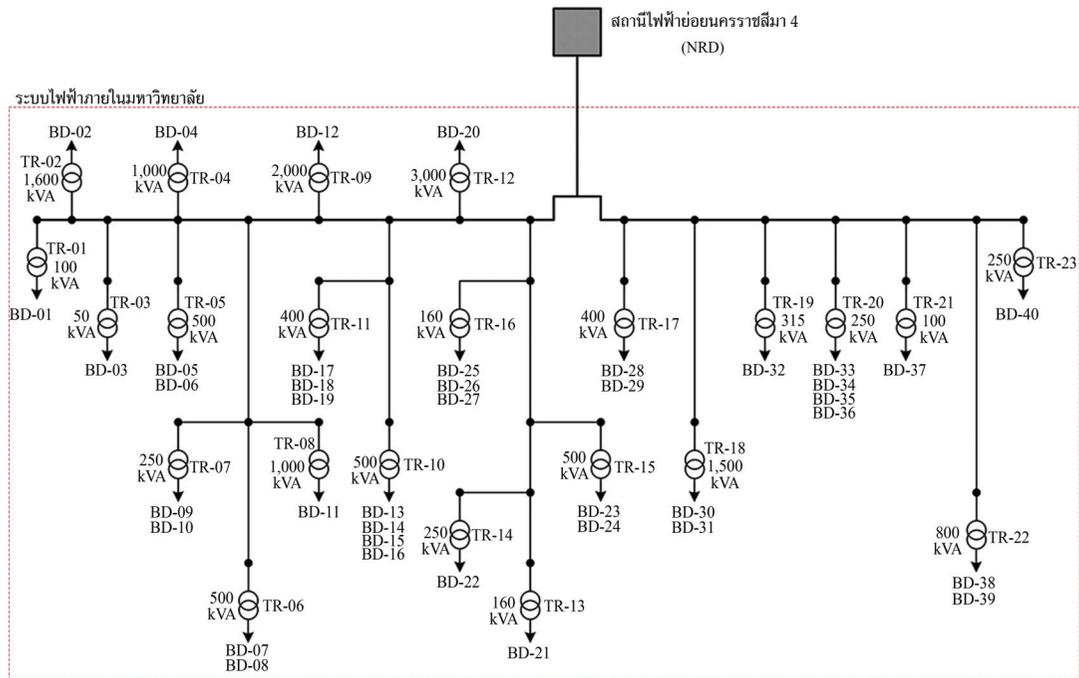
บทความนี้เลือกใช้กรณีศึกษาของอาคารต่าง ๆ ในพื้นที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา เนื่องด้วยมหาวิทยาลัยได้ติดตั้งระบบเครือข่ายการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าและมีข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารายวันของอาคารต่าง ๆ อยู่แล้ว และที่สำคัญมหาวิทยาลัยยังได้มีแนวคิดในการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาเพื่อลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูง (Peak Load) เนื่องจากมีความจำเป็นต้องจัดการเรียนการสอนในช่วงเวลากลางวัน ประกอบกับมหาวิทยาลัยจัดอยู่ในกลุ่มผู้ใช้ไฟในอัตราตามเวลาของการใช้ (Time of Use Rate; TOU) ประเภทกิจการขนาดใหญ่อัตรา 40 ดังนั้น การหาแนวทางการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลากลางวันด้วยระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์จึงมีความจำเป็นและเหมาะสม แต่จะต้องมีขั้นตอนและวิธีการในการคัดเลือกอาคารที่มีข้อมูลพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เหมาะสม เพื่อให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงกลางวันอันจะทำให้ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าให้สูงขึ้นได้

4.1 ข้อมูลการใช้พลังงานและระบบไฟฟ้า

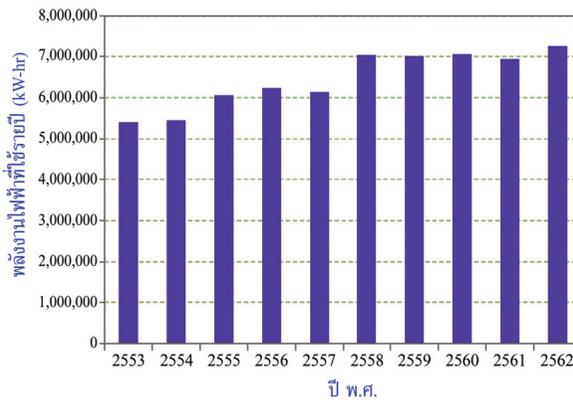
พื้นที่ภายในมหาวิทยาลัยมีทั้งหมด 330 ไร่ หรือประมาณ 0.54 ตารางกิโลเมตร มีอาคารต่าง ๆ กระจายเต็มพื้นที่ตามวัตถุประสงค์การใช้งานของแต่ละอาคาร โดยรับไฟจากการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคในระดับแรงดันปานกลาง 22 กิโลโวลต์ ผ่านมิเตอร์ชนิดอ่านค่าอัตโนมัติ (Automatic Meter Reading; AMR) เพื่อวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในมหาวิทยาลัยจำนวน 1 เครื่อง จากนั้นระบบไฟฟ้าจะถูกจ่ายไปยังอาคารต่าง ๆ ในระบบสายเหนือดิน (Overhead Line) โดยมีหม้อแปลงไฟฟ้า 22,000/400 - 230 โวลต์ รวมทั้งหมดจำนวน 23 เครื่อง และมีกำลังไฟฟ้าติดตั้งรวมทั้งหมดเท่ากับ 15,585 กิโลโวลต์-แอมป์ ดังรูปที่ 2

ศูนย์กลางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา มีสถิติการใช้พลังงานไฟฟ้ารายปี (หน่วย กิโลวัตต์-ชั่วโมง; kW-hr) ย้อนหลังเป็นเวลา 10 ปี พบว่ามีสถิติการใช้พลังงานไฟฟ้ามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ และต่อเนื่องดังรูปที่ 3(ก) เมื่อพิจารณาข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือนของ

แต่ละปีที่พิจารณาทั้งหมด 10 ปีดังกล่าวนั้น จะพบว่าช่วงเดือนตุลาคม - กุมภาพันธ์ของทุกปีจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าค่าที่สูงสุดเนื่องจากเป็นช่วงฤดูหนาว ช่วงของเดือนที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงอย่างต่อเนื่องกันมากที่สุด ได้แก่ ช่วงเดือนมิถุนายน - กันยายน ซึ่งตรงกับช่วงฤดูฝนและเป็นช่วงภาคเรียนที่ 1 ของทุก ๆ ปี ที่พิจารณา ส่วนเดือนที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดได้แก่เดือนมีนาคมซึ่งตรงกับการเริ่มต้นของฤดูร้อน และยังมีภาระการเรียนการสอนในภาคเรียนที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยรวมนั้นมีปัจจัยของฤดูกาลเข้ามาเกี่ยวข้อง รายละเอียดดังรูปที่ 3(ข) โดยหม้อแปลงไฟฟ้าแต่ละเครื่องนั้นจ่ายไฟให้กับแต่ละอาคาร รายละเอียดดังรูปที่ 4

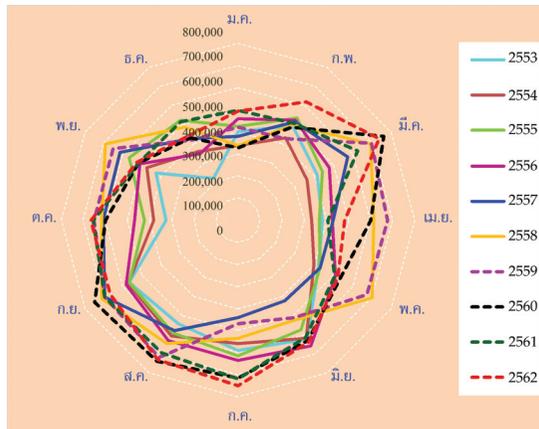


รูปที่ 2 ผังระบบสายจำหน่ายไฟฟ้า ศูนย์กลางมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน



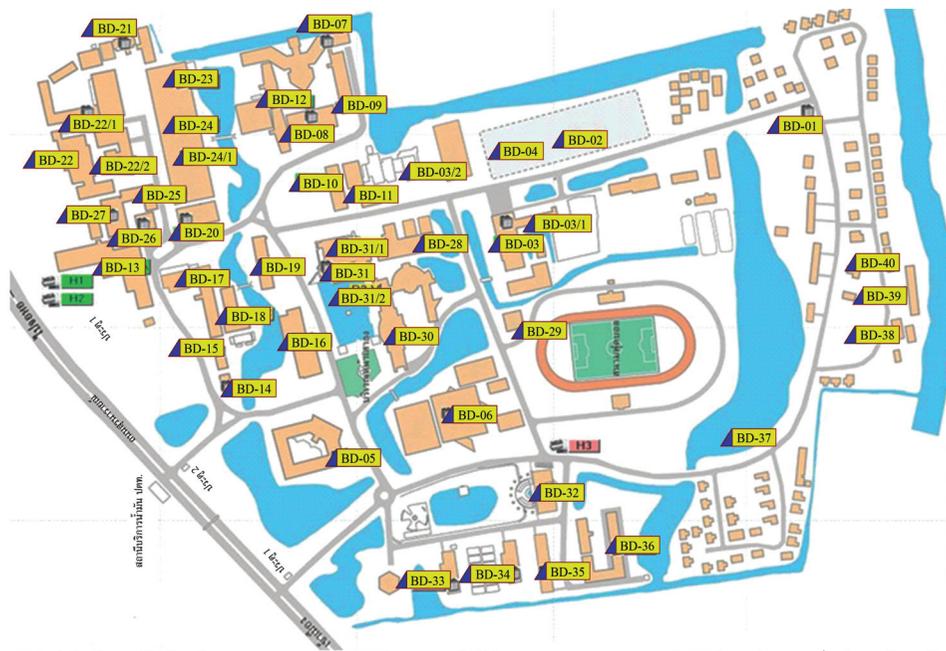
(ก) รายปี

รูปที่ 3 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลัง 10 ปี (หน่วย; กิโลวัตต์-ชั่วโมง)



(ข) รายเดือน

รูปที่ 3 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลัง 10 ปี (หน่วย; กิโลวัตต์-ชั่วโมง) (ต่อ)

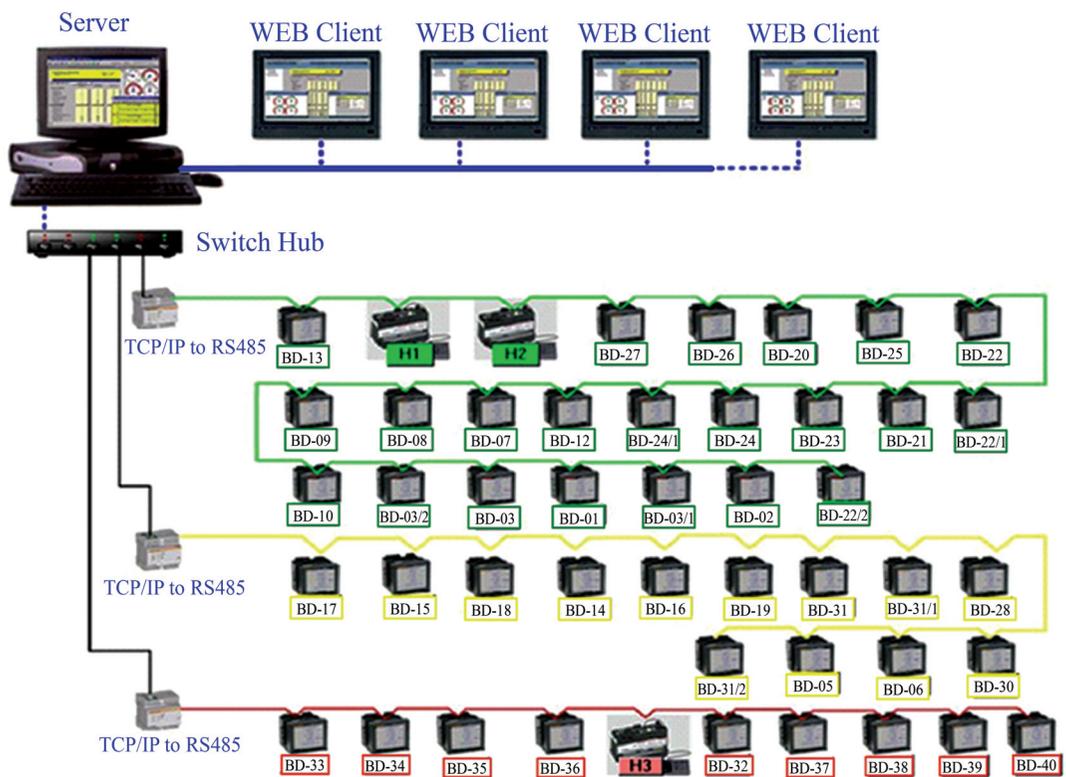


- | | | |
|---|---|--|
| BD-01 กลุ่มบ้านพักอาจารย์ด้านทิศตะวันออก | BD-14 อาคารประชาสัมพันธ์ | BD-27 อาคารวิศวกรรมเครื่องทำความเย็นและปรับอากาศ |
| BD-02 อาคารปฏิบัติการคณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ | BD-15 อาคารปฏิบัติการปรัชญาศาสตร์ | BD-28 อาคารเรียนสาขาออกแบบอุตสาหกรรม |
| BD-03 อาคารวิศวกรรมเครื่องจักรกลการเกษตร | BD-16 อาคารโรงอาหารกลาง | BD-29 สนามฟุตบอลและอิมมูร์รี่ |
| BD-03.1 อาคารวิศวกรรมหลังการเก็บเกี่ยว | BD-17 อาคารเรียนรวมวิศวกรรมโยธา | BD-30 อาคารเรียนรวมคณะบริหารธุรกิจ |
| BD-03.2 อาคารแผนกยานพาหนะ | BD-18 อาคารปฏิบัติการประลอง | BD-31 อาคารห้องสมุด |
| BD-04 อาคารเรียนรวมคณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ | BD-19 อาคารสถานนวิจัยและพัฒนา | BD-31/1 อาคารสำนักวิทยบริการ |
| BD-05 สำนักงานอธิการบดี | BD-20 อาคารเรียนรวมคณะวิศวกรรมศาสตร์ฯ | BD-32 อาคารกองพัฒนานักศึกษา |
| BD-06 อาคารอเนกประสงค์ (โรยืม) | BD-21 อาคารเรียนวิศวกรรมเครื่องกล | BD-33 อาคารหอพักคุณงามวลี |
| BD-07 อาคารเรียนรวมสถาปัตยกรรมศาสตร์ | BD-22 อาคารเรียนวิศวกรรมวัสดุ | BD-34 อาคารหอพักภาคกีฬาวินด์ |
| BD-08 สำนักงานสภและสถานบริการวิชาการ (USI) | BD-22.1 อาคารทดสอบเครื่องจักรกลหนัก | BD-35 อาคารหอพักพัฒนาศรม |
| BD-09 สำนักงานศูนย์แม่พระวิสาขามหาวิทยาลัยฯ (UBI) | BD-22.2 อาคารทดสอบวัสดุ | BD-36 อาคารฟลัดคูลลาร์ 40 หน่วย (เก่า) |
| BD-10 อาคารเรียนและสำนักงานคณะศิลปกรรมศาสตร์ฯ | BD-23 อาคารโรงฝึกงานช่างยนต์ | BD-37 กลุ่มบ้านพักอาจารย์ด้านทิศตะวันตก |
| BD-11 อาคารปฏิบัติการคณะศิลปกรรมศาสตร์ฯ | BD-24 อาคารโรงฝึกงานช่างกลโรงงาน+โรงงานแม่พิมพ์ | BD-38 อาคารหอพักนักศึกษหญิง |
| BD-12 อาคารหอประชุม วัฒนคุณ ๕ ตลง | BD-25 อาคารเรียนวิศวกรรมอุตสาหกรรม | BD-39 อาคารหอพักนักศึกษชาย |
| BD-13 อาคารเรียนรวมวิศวกรรมไฟฟ้า | BD-26 อาคารสำนักงานวิทยาลัยนวัตกรรมการ | BD-40 อาคารฟลัดคูลลาร์ 40 หน่วย (ใหม่) |

รูปที่ 4 ตำแหน่งและรายชื่ออาคารที่ติดตั้งเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบดิจิทัล

4.2 การตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้ารายอาคาร

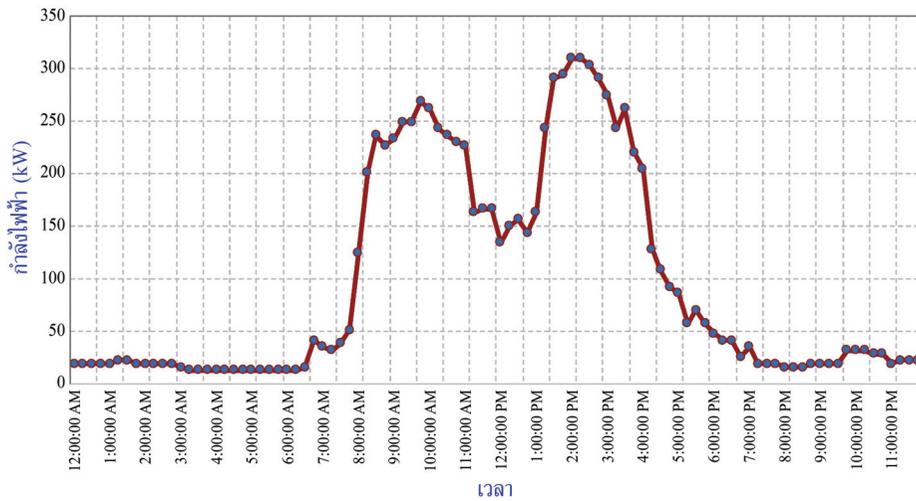
ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละอาคารได้จากศูนย์กลางการตรวจวัดการใช้พลังงานไฟฟ้า มทร.อีสาน ซึ่งได้ติดตั้งเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบดิจิทัลจำนวน 47 เครื่อง แบ่งเป็น ประเภทตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าในระบบ 22 กิโลโวลต์ จำนวน 3 เครื่อง ได้แก่ H1 H2 และ H3 ตามลำดับ และประเภทตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าในระบบแรงดันต่ำ 380/230 โวลต์ของแต่ละอาคาร จำนวน 47 อาคาร โดยมีการกำหนดให้เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้านั้นบันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าทุก 5 นาทีลงในหน่วยความจำของเครื่องวัด จากนั้นโปรแกรมบริหารจัดการระบบการตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าจะดาวน์โหลดข้อมูลจากเครื่องวัดเหล่านั้นผ่านเครือข่ายในระบบมาตรฐานการสื่อสารแบบ RS-485 ซึ่งถูกจัดแบ่งออกเป็น 3 เครือข่ายย่อย ประกอบด้วยสัญลักษณ์เครื่องวัดสีเขียว สีเหลือง และสีชมพู ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 อาคารที่ติดตั้งเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าแบบดิจิทัล (44 อาคาร)

4.3 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารายวัน

จากจำนวนเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่กล่าวในหัวข้อที่ 3.2 นั้น ในบทความนี้จะไม่พิจารณาเครื่องวัดในระบบสายจำหน่าย 22 กิโลโวลต์ ส่วนเครื่องวัดในบางอาคารที่ไม่สามารถส่งข้อมูลพลังงานไฟฟ้าในเครือข่ายได้ เนื่องจากปัจจุบันมีการก่อสร้างอาคารเพิ่มเติมในพื้นที่ของมหาวิทยาลัย ส่งผลให้สายสัญญาณของระบบตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าเกิดความชำรุด ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องใช้วิธีการนำเครื่องคอมพิวเตอร์ไปเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุดกับเครื่องวัดของอาคารดังกล่าวเพื่อดาวน์โหลดข้อมูลมาใช้ในการวิเคราะห์



รูปที่ 6 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาของอาคารเรียนรวมวิศวกรรมไฟฟ้า (BD-13)

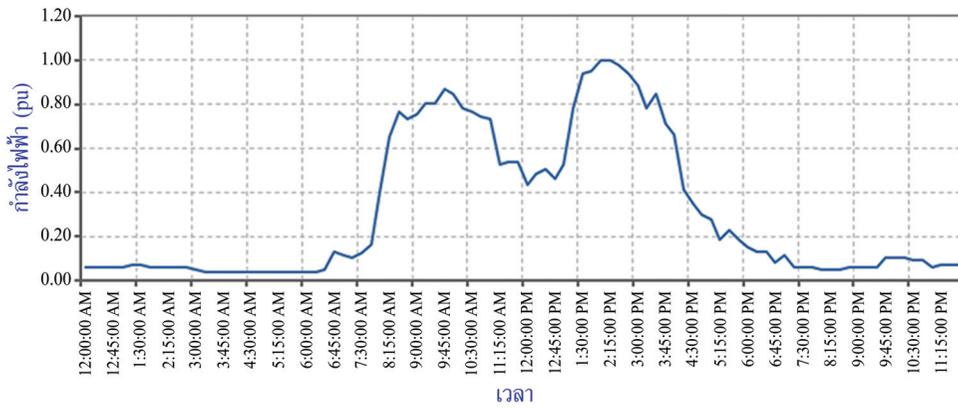
อย่างไรก็ตาม ยังมีเครื่องวัดพลังงานไฟฟ้าจำนวน 13 เครื่อง ที่ไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลได้เนื่องจากเกิดการชำรุด การรื้อถอนเนื่องจากการสร้างอาคารหลังใหม่ ดังนั้นจึงมีข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าที่พร้อมในการวิเคราะห์เพียงจำนวน 34 อาคาร โดยคณะผู้วิจัยได้พิจารณาเลือกใช้ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในวันทำงานที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดของเดือนมีนาคม พ.ศ. 2561 มีรายละเอียดการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาดังรูปที่ 6 ซึ่งเป็นข้อมูลของอาคารเรียนรวมวิศวกรรมไฟฟ้า (BD-13) ส่วนอาคารอื่น ๆ อีกจำนวน 33 อาคาร มีข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละเวลาที่แตกต่างกันไป แต่ไม่ได้นำเสนอไว้ ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลมีเป็นจำนวนมาก

ผลการวิเคราะห์

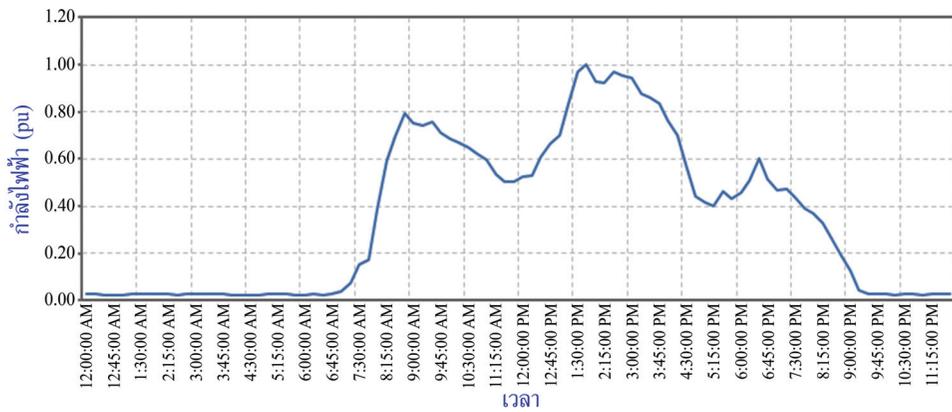
หลังจากได้ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 34 อาคารเป้าหมาย ดังที่ได้นำเสนอไว้ในหัวข้อ 3.3 แล้ว จากนั้นจะนำข้อมูลดังกล่าวมาเข้าสู่กระบวนการทำบรรทัดฐานข้อมูล เพื่อที่จะนำไปเข้าสู่กระบวนการจัดกลุ่มโหนดตามวิธี K-Means หลังจากนั้นจะได้ผลลัพธ์จำนวนกลุ่มของลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้า และพิจารณาเลือกอาคารที่มีความเหมาะสมในการเพิ่มค่าครองชีพประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยประเมินจากค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้า รายละเอียดดังนี้

1. ค่าบรรทัดฐานข้อมูล (Data Normalization)

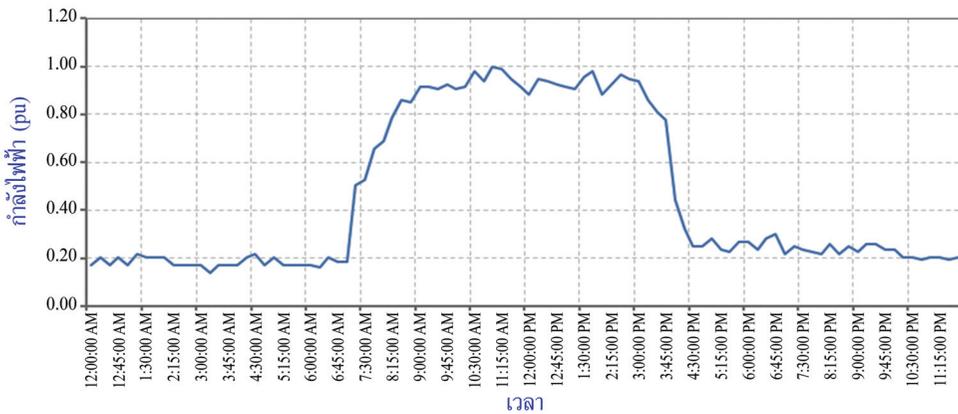
เพื่อต้องการให้ลดความแตกต่างของปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละอาคารที่พิจารณา จึงจำเป็นต้องทำให้ปริมาณการใช้พลังงานนั้นอยู่ในรูปของค่าหนึ่งหน่วย (Per-Unit) ตามสมการที่ (1) ดังนั้นทุกอาคารที่พิจารณาจะมีค่าพลังงานไฟฟ้าสูงสุดเท่ากันแต่จะแตกต่างกันที่ลักษณะรูปร่างของการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละช่วงเวลาในรอบหนึ่งวันดังรูปที่ 7 ส่วนอาคารอื่น ๆ อีกจำนวน 30 อาคาร ที่ผ่านการทำบรรทัดฐานข้อมูลแล้วจะมีลักษณะกราฟที่แตกต่างกันออกไปซึ่งไม่ได้นำเสนอไว้ ทั้งนี้เนื่องจากข้อมูลมีเป็นจำนวนมาก



(ก) BD-13

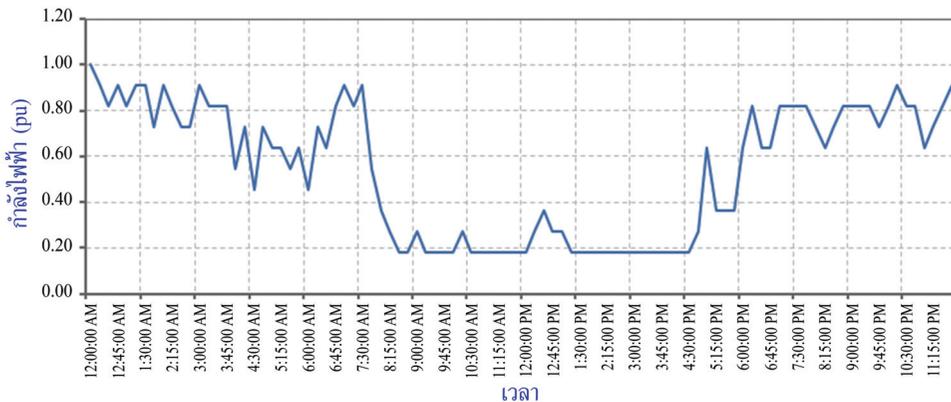


(ข) BD-30



(ค) BD-31

รูปที่ 7 ตัวอย่างข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารายวันของอาคารที่ผ่านการทำค่าบรรทัดฐานข้อมูลแล้ว

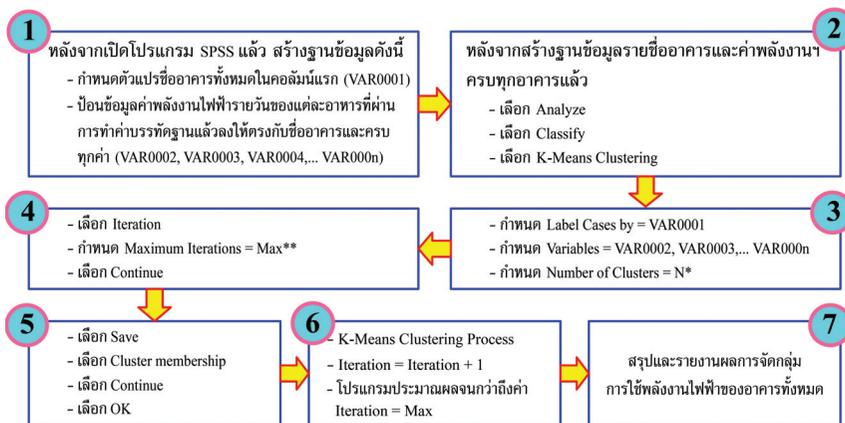


(ง) BD-33

รูปที่ 7 ตัวอย่างข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้ารายวันของอาคารที่ผ่านการทำค่าบรรทัดฐานข้อมูลแล้ว (ต่อ)

2. การจัดกลุ่มโหลครายอาคาร

เทคนิคการจัดกลุ่มด้วยวิธีการ K-Means จะใช้หลักการจัดกลุ่มด้วยวิธีการสร้างจุดศูนย์กลางข้อมูลในลำดับเดียวกันของข้อมูลที่ผ่านการทำบรรทัดฐานแล้ว ข้อมูลที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันจะมีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางที่ใกล้เคียงกัน ส่วนจะสามารถจัดกลุ่มข้อมูลได้จำนวนกี่กลุ่มนั้น ผู้วิเคราะห์จะต้องเป็นผู้กำหนดเองโดยใช้หลักการกำหนดจำนวนกลุ่มให้มีค่าหลายกลุ่มก่อนในขั้นเริ่มต้นและรันโปรแกรมแบบซ้ำ ๆ หลายครั้งแล้วจึงลดจำนวนกลุ่มลง โดยวิธีการจัดกลุ่มนี้เมื่อวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SPSS จะมีลำดับขั้นตอน ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ขั้นตอนการจัดกลุ่มโหลวิธี K-Means Clustering ด้วยโปรแกรม SPSS

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนการกำหนดตัวแปรในแต่ละคอลัมน์ โดยคอลัมน์แรก (VAR0001) กำหนดตัวแปรเป็นรายชื่ออาคาร ส่วนคอลัมน์ถัดไป (VAR0002, VAR0003,... VAR000n) เป็นตัวแปรค่าบรรทัดฐานค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในแต่ละช่วงเวลา

ขั้นตอนที่ 2 เลือกวิธีการวิเคราะห์การจัดกลุ่ม โดยเลือกเป็น Analyze, Classify และ K-Means Clustering

ขั้นตอนที่ 3 นำค่าตัวแปรที่กำหนดไว้เข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ โดยแทนค่า Label Cases เป็นรายชื่ออาคาร (VAR0001) และแทนค่า Variables เป็นค่าบรรทัดฐานค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1 และผู้วิเคราะห์จะต้องกำหนดค่าจำนวนกลุ่ม (Number of Clusters) ด้วย ซึ่งแนะนำให้กำหนดค่ามากไว้ก่อน จากนั้นจึงลดจำนวนกลุ่มลงแล้ววิเคราะห์ซ้ำ (ในบทความนี้ได้ทดลองซ้ำ ๆ จนได้ค่าที่เห็นผลการจัดกลุ่มมีความชัดเจนที่จำนวนกลุ่มเท่ากับ 3 กลุ่ม)

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดจำนวนรอบ (Iteration) ของการคำนวณซ้ำ ๆ เพื่อให้ได้ผลของการจัดกลุ่มด้วยการวิเคราะห์ระยะห่างของจุดศูนย์กลางกับค่าตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งสามารถกำหนดจำนวนรอบสูงสุด (Max) เท่าไรก็ได้ ขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูลตัวแปร แต่ในการวิเคราะห์นั้นถ้าระยะห่างของแต่ละตัวแปรที่อยู่ในกลุ่มเดียวกันมีค่าเข้าใกล้จุดศูนย์กลางแล้ว โปรแกรมจะหยุดการคำนวณทันทีโดยไม่รอให้ครบจำนวนรอบสูงสุด (ซึ่งในบทความนี้ข้อมูลตัวแปรไม่มาก จึงกำหนด Maximum Iteration = 20)

ขั้นตอนที่ 5 เป็นขั้นตอนการกำหนดการรายงานผลการวิเคราะห์ กล่าวคือให้รายงานผลว่าอาคารที่วิเคราะห์นั้นอยู่ในกลุ่มใด โดยการรายงานนั้นโปรแกรมจะระบุค่าตัวเลขกลุ่ม (Cluster Membership)

ขั้นตอนที่ 6 โปรแกรม SPSS จะเริ่มต้นกระบวนการจัดกลุ่มโดยมีเป้าหมายที่การพิจารณาค่าระยะห่างของตัวแปรกับจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่ม ทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกว่าค่าระยะห่างของตัวแปรและจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่มนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือจำนวนรอบ Iteration = Max จึงจะหยุดการทำงาน

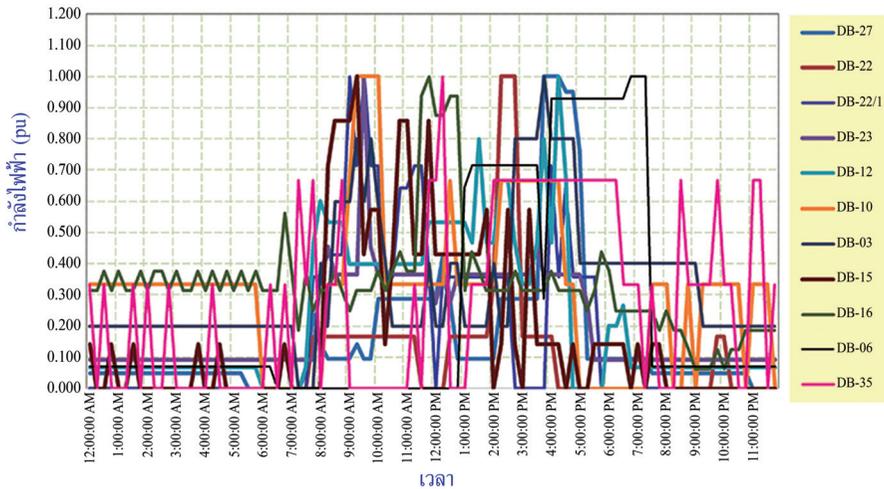
ขั้นตอนที่ 7 ขั้นตอนสุดท้าย ซึ่งโปรแกรมจะสรุปและรายงานรายชื่ออาคาร (ตัวแปร; Variables) พร้อมทั้งระบุว่าตัวแปรดังกล่าวอยู่ในกลุ่มใดบ้าง

ผลการวิเคราะห์เมื่อกำหนดจำนวนกลุ่มเท่ากับ 3 กลุ่ม ($N = 3$) จำนวนรอบการทำงานซ้ำ 20 รอบ (Maximum Iteration = 20) กลุ่มโพลารายอาคารจำนวน 34 อาคาร (Variables = 34) พบว่ากลุ่มที่ 1 มีรูปแบบการใช้พลังงานไฟฟ้าไม่คงที่ ถึงแม้มีการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นในช่วงกลางวันก็ตามแต่พบว่าจะมีการใช้เป็นบางเวลาจำนวน 11 อาคาร กลุ่มที่ 2 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเนื่องมีค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดแตกต่างกันน้อยกว่ากลุ่มอื่นตลอดทั้งวันจำนวน 4 อาคาร และสุดท้ายกลุ่มที่ 3 มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อเนื่องตลอดทั้งวัน โดยมีการใช้ปริมาณน้อยในช่วงเช้าและช่วงเย็น แต่ในช่วงเวลา 08.00 - 16.00 น. มีการใช้พลังงานสูงและต่อเนื่องจำนวน 19 อาคาร ดังรูปที่ 9

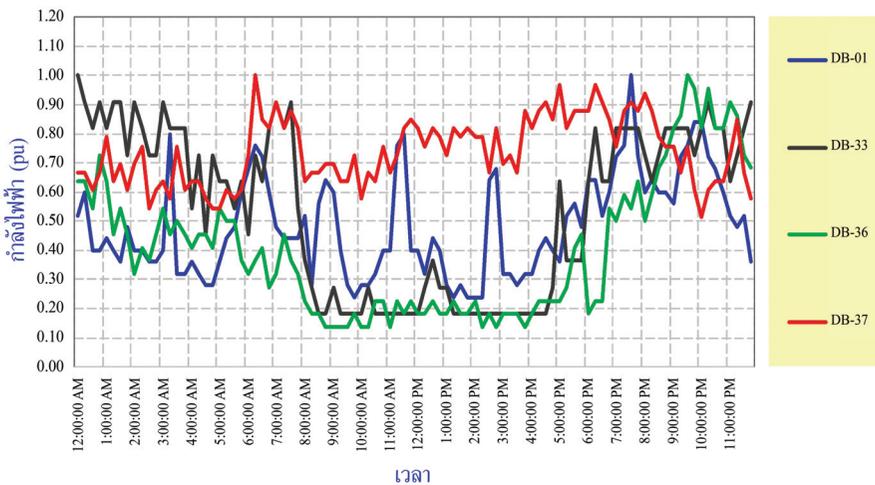
3. การประเมินตรรกษณ์ประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้า

จากผลลัพธ์การจัดกลุ่มแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนั้นในบทความนี้ต้องการคัดเลือกอาคารที่มีพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สอดคล้องและรองรับต่อการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคา เพื่อการปรับปรุงตัวประกอบการใช้ไฟฟ้า (LF) ซึ่งเป็นค่าตรรกษณ์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สำคัญอีกประการ ดังนั้นเมื่อกำหนดตามสมการที่ (2) จะได้ค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าของแต่ละอาคารดังรูปที่ 10 โดยแยกตามกลุ่มที่วิเคราะห์ได้จะพบว่ากลุ่มที่ 2 โดยรวมจะมีค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าสูง ส่วนกลุ่มที่ 1 และ 3 นั้นโดยรวมมีค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้าต่ำ จึงมีความเหมาะสมที่จะปรับปรุงให้มีค่าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อพิจารณาพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้ารายอาคารของกลุ่มที่ 1 และ 3 นั้นพบว่ากลุ่มที่ 3 มีความเหมาะสมมากกว่า เนื่องจากโดยรวมแล้วแต่ละอาคารมีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงต่อเนื่องในช่วงเวลา 08.00 - 16.00 น. ซึ่งเมื่อพิจารณาการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาจะผลิตและช่วยจ่ายไฟในช่วงที่มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงในช่วงเวลาดังกล่าว ส่งผลให้อาคารในกลุ่มที่ 3 ที่พิจารณานั้นรับไฟจากระบบของการไฟฟ้าลดลงเนื่องจากมีแหล่งจ่ายไฟจากพลังงานแสงอาทิตย์

บนหลังคาช่วยผลิตและจ่ายไฟทดแทนบางส่วน ทำให้ลดค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดของแต่ละอาคารลงได้ ส่งผลให้ค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น และยังช่วยเพิ่มค่าดัชนีประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในภาพรวมของมหาวิทยาลัยให้ดีขึ้นได้

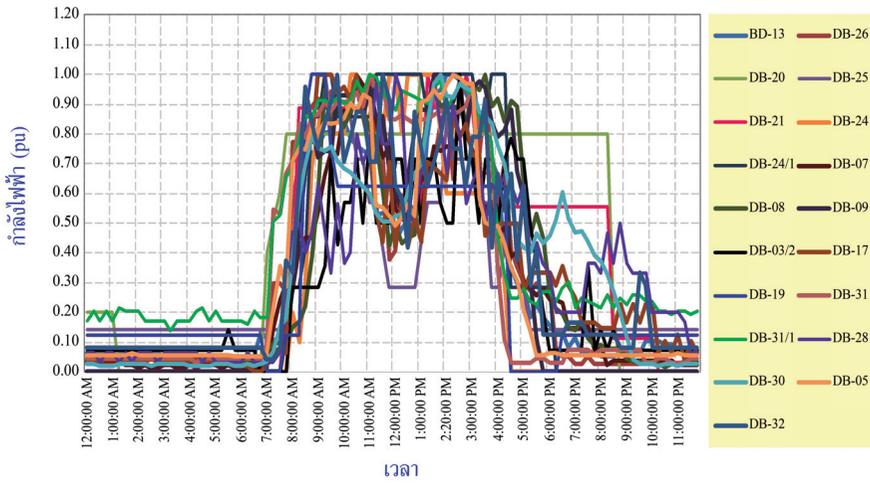


(ก) กลุ่มที่ 1



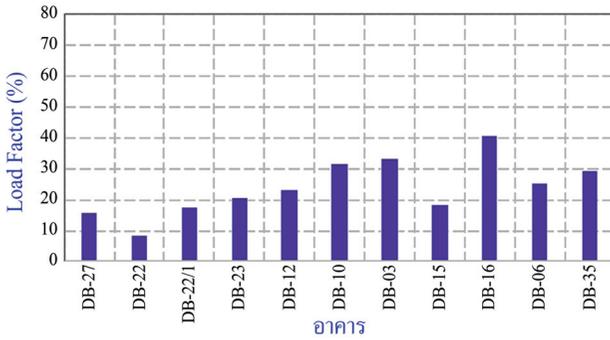
(ข) กลุ่มที่ 2

รูปที่ 9 ผลการจัดกลุ่มการใช้พลังงานไฟฟ้ารายอาคารด้วยวิธี K-Means Clustering

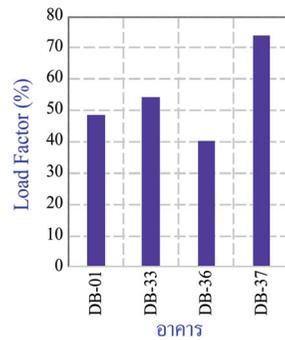


(ค) กลุ่มที่ 3

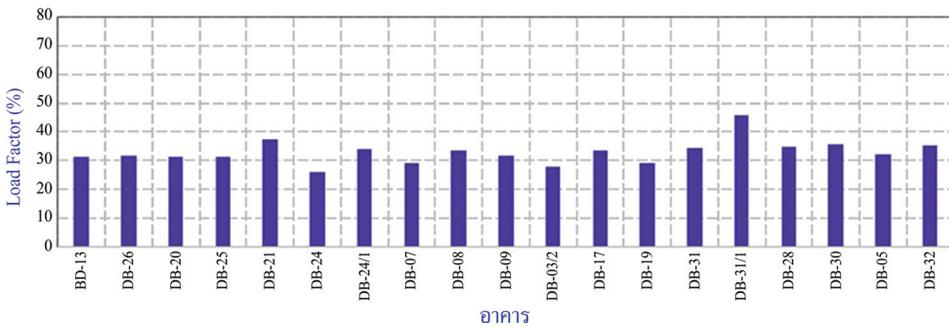
รูปที่ 9 ผลการจัดกลุ่มการใช้พลังงานไฟฟ้ารายอาคารด้วยวิธี K-Means Clustering (ต่อ)



(ก) กลุ่มที่ 1



(ข) กลุ่มที่ 2



(ค) กลุ่มที่ 3

รูปที่ 10 ค่าตัวประกอบการใช้ไฟฟ้า (Load Factor) ของอาคารในแต่ละกลุ่ม

สรุป

จากสถิติข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยย้อนหลัง 10 ปี พบว่ามีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้าของมหาวิทยาลัยมีค่าเพิ่มขึ้นตลอดช่วงกลางวันในเวลาราชการเป็นหลัก แนวทางการลดการใช้และการเพิ่มค่าครองชีพประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้า จำเป็นต้องกำหนดอาคารเป้าหมายโดยใช้วิธีการแยกแยะและจัดกลุ่มอาคาร เพื่อให้สามารถลดค่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดได้ด้วยวิธีการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาของอาคารเป้าหมายนั้น ซึ่งเป็นแนวคิดที่สามารถแก้ปัญหานี้ได้ จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 34 อาคาร ด้วยวิธีการ K-Mean Clustering ทำให้สามารถแยกแยะจัดกลุ่มโหลครายอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งแบ่งได้ 3 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 3 จำนวน 19 อาคารนั้น เป็นกลุ่มอาคารที่มีความเหมาะสมทั้งด้านพฤติกรรมการใช้พลังงานไฟฟ้า และมีพื้นที่รองรับการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาได้ ดังนั้นในอนาคตมหาวิทยาลัยสามารถนำข้อมูลการจัดกลุ่มอาคารที่นำเสนอไว้ในบทความนี้ ไปใช้ประกอบการดำเนินโครงการติดตั้งระบบผลิตไฟฟ้าจากพลังงานแสงอาทิตย์บนหลังคาได้อย่างถูกต้องและส่งผลให้ค่าครองชีพประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงขึ้น ทำให้ค่าพลังงานไฟฟ้ารายเดือนลดลงได้

References

- [1] Moslener, U., McCrone, A., d'Estais, F., Grüning, C., Louw, A., Boyle, R., Strahan, D., Collins, B., and Stopforth, K. (2017). **Global Trends in Renewable Energy Investment 2017**. Global Trends Report 2017, Frankfurt School of Finance and Management. DOI: 10.13140/RG.2.2.19153.84320
- [2] REN21. (2017). **Renewable 2017 Global Status Report**. Access (26 December 2019). Available (<http://www.ren21.net/status-of-renewables/global-status-report>)
- [3] Potisat, T. (2016). Project Development Programmer South-East Asia (GIZ Thailand) Solar PV Business Models for the Public Sector. In **Proceeding of the 2nd Thai-German Community-based Renewable Energy Conference**. October 18, 2016. Century Park Hotel, Bangkok
- [4] Kruangam, D. (2013). Solar PV Rooftop-Energy Production Business that you or Anyone can Own. **Inno Mag**. Vol. 40, No. 231, pp. 7-10 (in Thai)
- [5] Department of Alternative Energy Development and Efficiency Ministry of Energy. (2014). **Solar PV 358 Rooftop Safety**. December, 2014. (in Thai)
- [6] Karun, T. and Pisut, R. (2015). A Novel Clustering Methods (Two-stage Fuzzy-Possibility C-Means) for Load Profile Clustering. **Kasetsart Engineering Journal**. Vol. 28, No. 91, pp. 23-30. (in Thai)
- [7] Damayanti, R., Abdullah, A. G., Purnama, W., and Nandiyanto, A. B. D. (2017). Electrical Load Profile Analysis Using Clustering Techniques. **Materials Science and Engineering**. Vol. 180, Issue 1, pp. 1-7. DOI: 10.1088/1757-899X/180/1/012081

- [8] Rupali, M., Deorankar, A. V., and Chatur, P. N. (2012). Load Pattern Analysis of Electricity Customers based on Clustering Algorithm. **International Journal of Computer Science and Technology**. Vol. 3, No. 4, pp. 702-705
- [9] Ali Al, W., Jianzhong, W., and Nick, J. (2017). K-means Based Load Estimation of Domestic Smart Meter Measurements. **Applied Energy**. Vol. 194, pp. 333-342. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.06.046