

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม : TSIC 33, 36, 37 และ 38 Energy efficiency analysis of the designated factories : TSIC 33, 36, 37 and 38

เป็นธิดา มณีโชติ¹, จันทนา จันทโร² และ ไชยะ แซ่มซ้อย³

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (specific energy consumption, SEC) ของโรงงานควบคุมตัวอย่างใน 4 กลุ่มอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือน (TSIC 33) อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ (TSIC 36) อุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน (TSIC 37) และ อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์ (TSIC 38) ด้วยการทำสมการถดถอยเชิงเส้นแบบง่าย หรือแบบพหุของการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิต และประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ด้วยกราฟค่าผลรวมสะสมของความแตกต่าง (cumulative sum of different, CUSUM) เพื่ออธิบายพฤติกรรมการใช้พลังงาน ทำให้เพิ่มความสามารถในการตรวจติดตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอดีตที่ผ่านมา ซึ่งจะเป็นแนวทางในการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานของโรงงานต่อไป ส่งผลให้เกิดระบบการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพ ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ คือ ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานควบคุมในกลุ่มอุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐานนั้นมีความเสถียร แสดงถึงการจัดการพลังงานที่ดี ขณะที่กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ และอุตสาหกรรมการผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์ ยังมีโรงงานที่ต้องเร่งพัฒนาการจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ได้สมการตัวแทนการใช้พลังงานและค่า SEC ของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานที่มีการผลิตใกล้เคียงกับโรงงานในกลุ่มอุตสาหกรรมนั้น

คำสำคัญ : การจัดการพลังงาน, ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน, ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ, สมการถดถอย, CUSUM

Abstract

The objective of this research is to analyze the energy efficiency by evaluating the specific energy consumption (SEC) of the designated factories for 4 industry sectors ; Wood and furniture (TSIC 33), Non-metallic mineral products (TSIC 36), Primary metal (TSIC 37) and Fabricated metal products, machinery and equipment (TSIC 38). By determined the simple or multiple linear regression equation of energy consumption and production, and also used application of cumulative sum of different (CUSUM) chart to explain the energy consumption behavior. So that it can improve the monitoring energy consumption performance in the past that being approaches to target the energy consumption in the future, lastly effective result in energy management system. The results of this research show the stability of the energy consumption data of the designated factories in Primary metal sectors, due to the good energy management. However, there are some factories in Non-metallic mineral products and Fabricated metal products, machinery and equipment sectors instantly need to develop the energy management. Moreover, the results give the energy consumption model and SEC of each industry sector. These SEC can be used as the reference value of energy consumption per one production unit for the similar production factories to evaluating the energy consumption efficiency.

Keywords: energy management, energy efficiency, specific energy consumption, regression equation,

CUSUM

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

² ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

³ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

1. บทนำ

จากข้อมูลการใช้พลังงานของประเทศไทยในช่วงสิบปีที่ผ่านมา ภาคอุตสาหกรรมการผลิตเป็นหนึ่งในสองสาขาที่ใช้พลังงานขั้นสุดท้ายสูงสุดมาโดยตลอด ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 34-37 ของการใช้พลังงานทั้งประเทศ [1] และยังเป็นภาคเศรษฐกิจที่สำคัญ ภาครัฐจึงกำหนดยุทธศาสตร์การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมการผลิต เพื่อให้การใช้ทรัพยากรพลังงานเกิดประโยชน์สูงสุด

ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการดำเนินการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552 กำหนดให้เจ้าของโรงงานควบคุมประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงาน และปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยรวบรวมข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานของทุกฝ่ายหรือแผนกที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน จัดทำเป็นภาพรวมขององค์กร รวมทั้งตรวจสอบและประเมินการใช้พลังงาน แล้วจัดส่งเป็นรายงานการจัดการพลังงาน [2] ซึ่งจะมีหน่วยงานที่ปรึกษาตรวจสอบที่ได้รับมอบหมายจากกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ดำเนินการตรวจสอบรายงานการจัดการพลังงานนี้ ทั้งนี้ในการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจากรายงานที่ผ่านมาพบว่าข้อมูลการใช้พลังงาน และข้อมูลปริมาณผลผลิตถูกเก็บรวบรวมเป็นสถิติ และนำมาใช้ในการคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (specific energy consumption, SEC) เพื่อหาต้นทุนทางพลังงานของการผลิตสินค้าเพียงเท่านั้น นอกจากนี้แล้วการวิเคราะห์ข้อมูลมักจะเป็นกราฟแบบอนุกรมเวลา ซึ่งเป็นรูปแบบที่เข้าใจได้ง่าย ไม่ซับซ้อน โดยข้อมูลที่นิยมนำมาพล็อต ได้แก่ ข้อมูลการใช้พลังงาน ปริมาณผลผลิต และค่า SEC โดยสามารถเปรียบเทียบให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในช่วงเวลาที่ผ่านมา แต่ยังไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์หรือสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลใดๆได้ จึงไม่สามารถอธิบายหรือหาสาเหตุการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบกระจายตัว (XY scatter) พร้อมกับกราฟวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการถดถอย เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์และเป็นที่ยอมรับใน

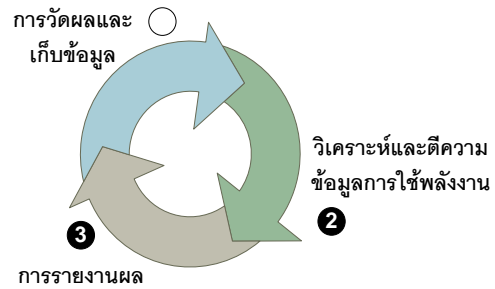
การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ ดังเช่นงานวิจัยของเสรีและทองเกียรติ [3] ได้ศึกษาความสัมพันธ์ของจำนวนสมาชิกและรายได้ของครัวเรือนที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในหมู่บ้าน สำหรับกรณีของโรงงานนั้นปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงาน เช่น ปริมาณผลิต ชนิดผลิตภัณฑ์ สายการผลิต ช่วงเวลาการผลิต เป็นต้น แต่จากรายงานการจัดการพลังงานมีเพียงข้อมูลปริมาณผลผลิตและชนิดผลิตภัณฑ์เท่านั้น จึงมีเพียงสองปัจจัยนี้ที่จะนำมาศึกษาวิเคราะห์ได้ ถ้าหากการใช้พลังงานของโรงงานควบคุมนั้น ๆ ขึ้นกับปัจจัยของปริมาณผลผลิตเป็นหลัก การกระจายตัวของข้อมูลจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง เมื่อวิเคราะห์สหสัมพันธ์จะมีระดับความสัมพันธ์สูงมาก ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) มีค่ามากกว่า 0.7 และเมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) จะพบว่าความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระเป็นเส้นตรงถึง 0.84 จึงสามารถใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression) สำหรับประเมินปริมาณการใช้พลังงานได้อย่างมีนัยสำคัญ และยังบอกถึงค่าพลังงานคงที่และค่าพลังงานที่ต้องใช้เมื่อเพิ่มผลผลิตขึ้นไปหนึ่งหน่วยด้วย อย่างไรก็ตามหากโรงงานมีผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 ชนิดซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดอาจใช้พลังงานในการผลิตต่อหนึ่งหน่วยผลผลิตไม่เท่ากัน เนื่องจากกระบวนการผลิตต่างกัน การใช้พลังงานจึงขึ้นกับปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดแตกต่างกัน ทำให้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายอาจไม่แม่นยำเพียงพอ จึงต้องหาความสัมพันธ์ด้วยการถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (multiple linear regression) นอกจากนี้ยังมีการวิเคราะห์ด้วยกราฟค่าผลรวมสะสมของความแตกต่าง (cumulative sum of different, CUSUM) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สำคัญและมีประสิทธิภาพในการตรวจติดตามพฤติกรรมและแนวโน้มการใช้พลังงานในช่วงเวลาต่างๆ โดยเทียบกับช่วงเวลาที่กำหนดให้เป็นช่วงอ้างอิง สามารถชี้ให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลแม้มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้งานวิจัยของ Puranik [4] ได้เปรียบเทียบการตรวจติดตามการใช้พลังงานด้วยแผนภูมิควบคุม CUSUM กับแผนภูมิควบคุม \bar{X} พบว่าแผนภูมิควบคุม CUSUM แสดงให้

เห็นแนวโน้มพลังงานที่เพิ่มขึ้นเกินขีดควบคุมในวันที่ 14 ขณะที่แผนภูมิควบคุม \bar{X} ไม่พบความผิดปกติของการเปลี่ยนแปลงตลอดทั้งเดือน

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยหาค่า SEC ของโรงงานควบคุมในกลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือน (TSIC 33) ผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ (TSIC 36) โลหะขั้นมูลฐาน (TSIC 37) และผลิตภัณฑ์โลหะเครื่องจักรและอุปกรณ์ (TSIC 38) โดยการตรวจติดตามและวิเคราะห์จากข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิต ซึ่งจะเป็นประโยชน์แก่ที่ปรึกษาตรวจสอบโรงงาน และผู้ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในโรงงานให้มีความเข้าใจพฤติกรรมการใช้พลังงานของโรงงานควบคุมแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมและใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพต่อไป

2. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของระบบการตรวจติดตามและการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (energy monitoring and targeting system) หรือเรียกว่า ระบบ M&T ซึ่งเป็นวิธีหรือเทคนิคในการบริหารจัดการพลังงานเบื้องต้น โดยอาศัยข้อมูลการใช้พลังงานในอดีตที่ผ่านมาของหน่วยงานเป็นพื้นฐานในการกำหนดและคาดการณ์การใช้พลังงานในอนาคตและนำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในการควบคุมระดับการใช้พลังงานในปัจจุบันให้เป็นไปตามค่าที่ควรจะเป็นและเหมาะสม รวมไปถึงใช้ในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการทำงานหรือกระบวนการผลิตเดิมที่มีอยู่ให้ดีขึ้นและมีต้นทุนการใช้พลังงานที่ลดลง [5] ระบบ M&T ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนที่สำคัญ ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 วัฏจักรการทำการระบบการตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (M&T)

2.1 การวัดผลและเก็บข้อมูล

งานวิจัยนี้ใช้ข้อมูลระดับทุติยภูมิ โดยรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานรายเดือนทั้งปริมาณไฟฟ้าและเชื้อเพลิง และปริมาณผลผลิตจากรายงานการจัดการพลังงานในปี 2551 และ 2552 ของโรงงานควบคุมตัวอย่างที่มีรหัส TSIC 33, 36, 37 และ 38 ในเขตจังหวัดระยองและสมุทรปราการ

2.2 การวิเคราะห์และตีความข้อมูลการใช้พลังงาน

วิเคราะห์ข้อมูลด้วย Microsoft excel ดังนี้

1. วิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้น โดยการสร้างแผนภาพกระจาย (scatter diagram) ของข้อมูลปริมาณผลผลิตและพลังงานที่ใช้ทั้ง 24 เดือน และรายปี พร้อมกับหาค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) แบบเชิงเส้นอย่างง่าย
2. วิเคราะห์ความสม่ำเสมอของค่า R^2 ด้วยการหาค่า R^2 ของข้อมูลที่ละ 12 จุด เลื่อนไปเรื่อย ๆ ตั้งแต่เดือนที่ 1-24 รวมทั้งหมด 13 ชุด
3. วิเคราะห์พฤติกรรมเปลี่ยนแปลงของข้อมูลด้วยกราฟ CUSUM โดยใช้ข้อมูลทั้ง 24 เดือนเป็นข้อมูลอ้างอิง
4. วิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายหรือแบบพหุของแต่ละโรงงานที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

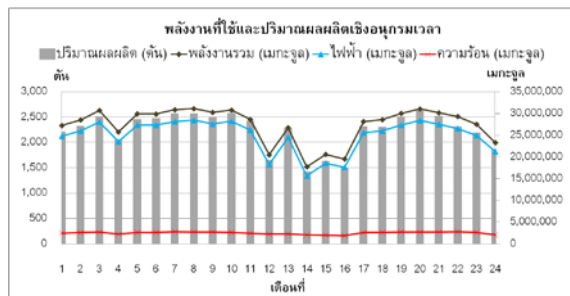
สำหรับขั้นตอนการรายงานผลนั้น เป็นการนำเสนอในรูปแบบผลงานการวิจัย ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานด้านพลังงานได้ศึกษาและนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

2.3 ตัวอย่างการวิเคราะห์

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตในรอบ 2 ปี จากโรงงานแห่งหนึ่ง

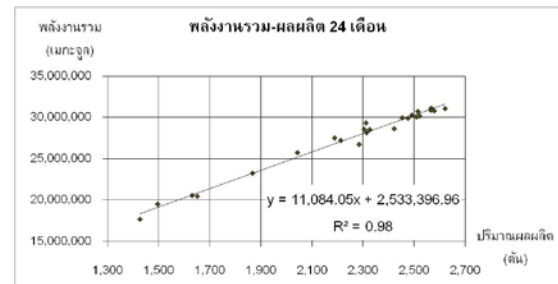
ตารางที่ 1 ข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิต

เดือน	ปี 51				ปี 52			
	ปริมาณผลผลิต (ตัน)	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ความร้อน (เมกะจูล)	พลังงานรวม (เมกะจูล)	ปริมาณผลผลิต (ตัน)	ไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ความร้อน (เมกะจูล)	พลังงานรวม (เมกะจูล)
ม.ค.	2,213	6,880,800	2,446,545	27,217,425	2,284	6,802,000	2,249,260	26,736,460
ก.พ.	2,326	7,215,200	2,550,990	28,525,710	1,427	4,344,400	2,039,315	17,679,155
มี.ค.	2,515	7,795,600	2,656,490	30,720,650	1,631	5,150,800	2,008,720	20,551,600
เม.ย.	2,043	6,537,200	2,203,895	25,737,815	1,496	4,891,600	1,894,780	19,504,540
พ.ค.	2,453	7,600,400	2,591,080	29,952,520	2,314	7,109,200	2,565,780	28,158,880
มิ.ย.	2,476	7,581,600	2,597,410	29,891,170	2,304	7,212,800	2,605,850	28,571,930
ก.ค.	2,565	7,814,160	2,750,385	30,881,361	2,509	7,592,800	2,714,515	30,048,595
ส.ค.	2,567	7,902,400	2,678,645	31,127,285	2,621	7,896,000	2,639,610	31,065,210
ก.ย.	2,491	7,656,400	2,714,515	30,277,555	2,521	7,644,400	2,851,215	30,171,055
ต.ค.	2,578	7,840,800	2,569,980	30,796,860	2,311	7,382,400	2,756,715	29,333,355
พ.ย.	2,422	7,282,000	2,420,170	28,635,370	2,189	6,929,600	2,572,090	27,518,650
ธ.ค.	1,651	5,074,000	2,196,510	20,462,910	1,868	5,887,600	2,057,250	23,252,610
รวม	28,299	87,180,560	30,376,615	344,226,631	25,474	78,843,600	28,755,080	312,592,040
เฉลี่ย	2,358	7,265,047	2,531,385	28,685,553	2,123	6,570,300	2,396,257	26,049,337

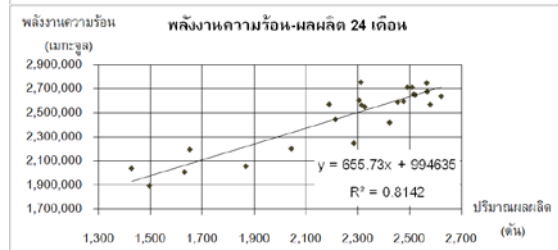
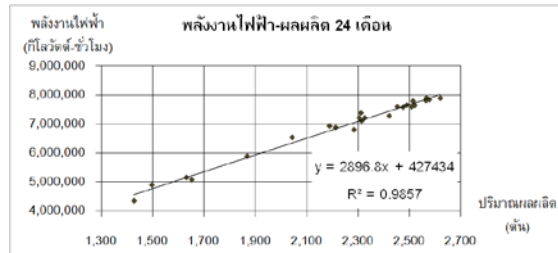


รูปที่ 2 ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลาในแต่ละเดือนของการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิต

จากรูปที่ 2 เป็นการพล็อตกราฟเชิงอนุกรมเวลาเพื่อแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลโดยรวมพบว่าปริมาณพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นพลังงานไฟฟ้าแปรผันตามปริมาณผลผลิตในแต่ละเดือน ขณะที่พลังงานความร้อนใช้ในปริมาณน้อยอย่างสม่ำเสมอ เมื่อสร้างแผนภาพกระจาย เห็นได้ชัดว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงสูง ค่า R^2 เท่ากับ 0.9846 ดังรูปที่ 3 แสดงว่าความแปรปรวนของปริมาณการใช้พลังงานเกิดจากปริมาณการผลิตไม่น้อยกว่า 98% และเกิดจากปัจจัยอื่นไม่ถึง 2% เมื่อพิจารณาแยกพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ซึ่งมาจากกิจกรรมชาติ (รูปที่ 4) พบว่ามีค่า R^2 สูงเช่นกัน (มากกว่า 0.8) โดยพลังงานไฟฟ้ามีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับปริมาณผลผลิตสูงกว่าพลังงานความร้อน



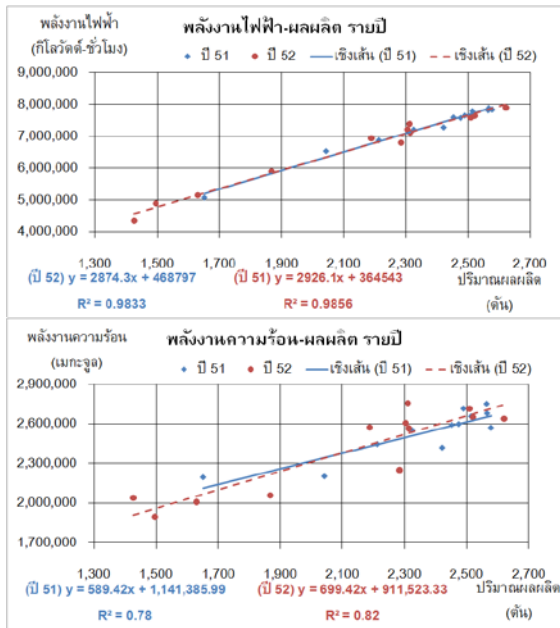
รูปที่ 3 แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานรวมและปริมาณผลผลิตในช่วง 24 เดือน



รูปที่ 4 แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานแยกไฟฟ้า-ความร้อนและปริมาณผลผลิตในช่วง 24 เดือน

และจากการพิจารณาข้อมูลรายปี (รูปที่ 5) เห็นได้ว่าจุดข้อมูลทั้ง 2 ปี กระจายตัวอยู่บนเส้นตรงที่ใกล้เคียงกันมาก แสดงถึงความเสถียรของการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่างในช่วง 2 ปี

ในทำนองเดียวกันกับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของค่า R^2 พบว่าค่า R^2 ของข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิตทั้ง 13 ชุด มีค่าสูงทั้งหมด ดังตารางที่ 2 โดยมีค่า R^2_{max} เท่ากับ 0.9934, R^2_{min} เท่ากับ 0.9787 และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) เท่ากับ 0.0046 แสดงว่ามีความแตกต่างกันน้อยมาก นั่นคือ ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิตทุกจุดมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงสูงมาก สามารถใช้สมการถดถอยเชิงเส้นเป็นสมการตัวแทนได้

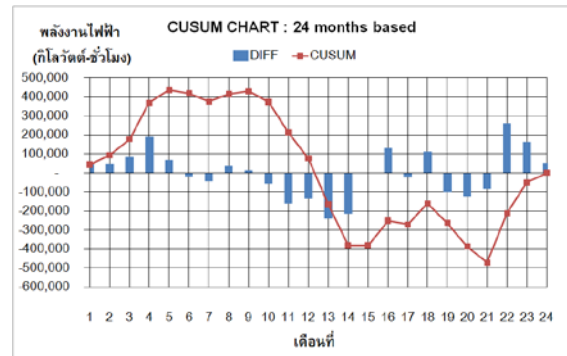


รูปที่ 5 แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานแยกไฟฟ้า-ความร้อนและปริมาณผลผลิตในแต่ละปี

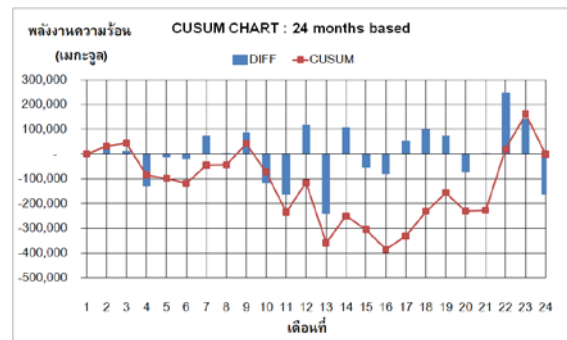
ตารางที่ 2 ค่า R² ของข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิตทั้ง 13 ชุด

ช่วงเดือนที่	1-12	2-13	3-14	4-15	5-16	6-17	7-18
R ²	0.9856	0.9787	0.9896	0.9909	0.9930	0.9934	0.9919
ช่วงเดือนที่	8-19	9-20	10-21	11-22	12-23	13-24	
R ²	0.9915	0.9918	0.9923	0.9860	0.9843	0.9833	

ขณะที่การสร้างกราฟ CUSUM โดยใช้ข้อมูลจาก 24 เดือน เป็นข้อมูลอ้างอิง (ใช้สมการอ้างอิงที่ปรากฏในรูปที่ 4) เห็นได้ว่าเส้นกราฟของพลังงานความร้อน ดังรูปที่ 7 มีการเปลี่ยนแปลงขึ้น - ลง มากกว่าเส้นกราฟของพลังงานไฟฟ้า (รูปที่ 6) ซึ่งสอดคล้องกับค่า R² ที่ได้จากการวิเคราะห์แผนภาพกระจายของการใช้พลังงานความร้อนในช่วง 24 เดือน ที่มีค่าต่ำกว่าการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังแสดงในรูปที่ 4 และเช่นเดียวกับรูปที่ 5 เมื่อวิเคราะห์แยกแต่ละปี เห็นได้ว่าค่า R² ในปี 2551 ของปริมาณไฟฟ้ามีค่าสูง ก็จะมีการเปลี่ยนแปลงของเส้นกราฟ CUSUM น้อย ดังช่วง 12 เดือนแรกในรูปที่ 6



รูปที่ 6 กราฟ CUSUM ของปริมาณผลผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้า ใช้ข้อมูล 24 เดือนเป็นข้อมูลอ้างอิง



รูปที่ 7 กราฟ CUSUM ของปริมาณผลผลิตและการใช้พลังงานความร้อน ใช้ข้อมูล 24 เดือนเป็นข้อมูลอ้างอิง

จากการวิเคราะห์ที่ผ่านมา ทำให้ได้เส้นตรงที่ใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูล ทั้งนี้จะให้ความสำคัญกับกรณีการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิต ดังในรูปที่ 4 เนื่องจากเป็นพลังงานส่วนใหญ่ที่โรงงานใช้ และมีความน่าเชื่อถือของข้อมูลมากกว่า เพราะเก็บข้อมูลปริมาณไฟฟ้าที่ใช้จากใบเสร็จค่าไฟได้โดยตรง ดังนั้นเขียนเป็นสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย คือ

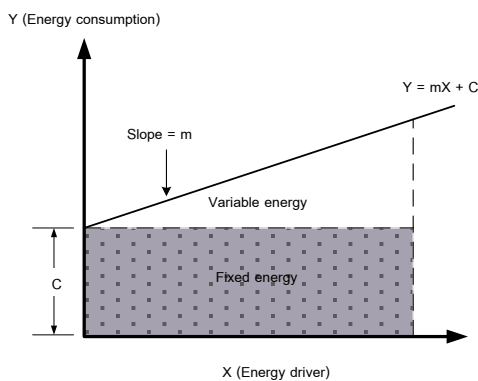
$$Y = 2,896.75X + 427,433.90 \quad \text{---(1)}$$

เมื่อ Y = ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

X = ปริมาณผลผลิตในแต่ละเดือน (ตัน)

เมื่อพิจารณาสมการ (1) เทียบกับรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าค่า C ซึ่งเท่ากับ 427,433.90 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เป็นค่าพลังงานคงที่ หรือ unproductive energy consumption (UEC) กล่าวคือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ถูกใช้ไป โดยไม่ขึ้นกับการผลิต ได้แก่ พลังงานไฟฟ้าที่จำเป็นต้องใช้ เช่น แสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ระบบ

ระบายอากาศ และพลังงานสูญเสียเปล่า เช่น การเดินเครื่องจักรตัวเปล่าทิ้งไว้ ขณะที่ค่า m ซึ่งเท่ากับ 2,896.75 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตันเป็นค่าพลังงานผันแปร หรือ productive dependent energy consumption (PEC) หมายถึงพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้เมื่อเพิ่มผลผลิตขึ้นไปหนึ่งหน่วย [6] ทั้งนี้จากรายการที่ 1 ได้ปริมาณผลผลิตเฉลี่ยรายเดือนเท่ากับ 2,240.52 ตัน เมื่อแทนลงในสมการ (1) จะได้ปริมาณพลังงานรวมเฉลี่ย 6,917,670.36 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ดังนั้น UEC จะมีสัดส่วนประมาณ 6.2% ($427,433.90 \times 100 / 6,917,670.36$) ของพลังงานงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด ซึ่งถือว่าเป็นสัดส่วนที่น้อย



รูปที่ 8 พลังงานผันแปร และพลังงานคงที่ตามสมการ $Y = mX + C$ [7]

สำหรับการหาค่า SEC ซึ่งเป็นดัชนีที่นิยมใช้ในการบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแต่ละโรงงานนั้น สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังต่อไปนี้

$$SEC = m + C/X \quad \text{---(2)}$$

จากสมการ (2) จะได้ SEC ของพลังงานไฟฟ้า (SEC_e) เท่ากับ 3,087.53 ($2,896.75 + 427,433.90 / 2,240.52$) นั่นคือ โรงงานตัวอย่างมีค่า SEC_e เฉลี่ยเท่ากับ 3,087.53 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตัน เมื่อปริมาณผลผลิตอยู่ในช่วง 1,400-2,650 ตัน ทั้งนี้โดยทั่วไปโรงงานจะคำนวณค่า SEC จากปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือนต่อปริมาณผลผลิตในแต่ละเดือน และหา SEC เฉลี่ยในรอบปี ซึ่งโรงงานตัวอย่างนี้มีค่า SEC_e เท่ากับ 3087.91 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อตัน ถือว่าค่าที่ได้ใกล้เคียงกันมาก แต่การวิเคราะห์ข้อมูลทีละเยียดกว่าจะทำให้เห็นพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลง

รวมถึงความผิดปกติของข้อมูล ซึ่งจะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือของค่า SEC ที่ได้

3. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ข้อมูลของโรงงานควบคุมตัวอย่างที่มีรหัสกลุ่มอุตสาหกรรมตามมาตรฐาน TSIC 33 จำนวน 1 โรงงาน, TSIC 36 จำนวน 6 โรงงาน, TSIC 37 จำนวน 18 โรงงาน และ TSIC 38 จำนวน 41 โรงงาน รวมทั้งสิ้น 66 โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 15.49 ของจำนวนโรงงานควบคุมกลุ่มอุตสาหกรรมดังกล่าวในจังหวัดระยองและสมุทรปราการที่มี 426 โรงงาน [8] เนื่องจากโรงงานควบคุมให้ความร่วมมือในการส่งรายงานการจัดการพลังงานเข้ามาไม่มากนัก นอกจากนี้ยังมีข้อมูลที่ขาดความครบถ้วนสมบูรณ์ และความน่าเชื่อถือจึงไม่นำมาวิเคราะห์ ทั้งนี้จากข้อมูลที่ได้มาสามารถแบ่งแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมออกเป็น 2 กลุ่มย่อยตามลักษณะข้อมูล คือ กลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ และกลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นพบว่า ค่า R^2 ของการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิตแบ่งได้ 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่มีการใช้พลังงานสม่ำเสมอ มีค่า R^2 มากกว่าหรือเท่ากับ 0.7 ซึ่งข้อมูลจะกระจายตัวเป็นลักษณะเส้นตรงสูง และกลุ่มที่มีการใช้พลังงานไม่สม่ำเสมอ มีค่า R^2 น้อยกว่า 0.7 ข้อมูลจะมีความแปรปรวนมากจนถึงไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้น ซึ่งได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังตารางที่ 3

ทั้งนี้ผลรวมของข้อมูลจะมากกว่าจำนวนโรงงานเนื่องจากบางโรงงานที่มีผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 ชนิดนั้นมีข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ จากข้อมูลทั้งสิ้น 83 ข้อมูล แสดงให้เห็นว่ากลุ่ม TSIC 37 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่แปรผันตามปริมาณผลผลิต กลุ่มนี้เป็นกลุ่มอุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐานซึ่งโรงงานส่วนใหญ่จะมีการจัดการพลังงานที่ดี จึงมีความเสถียรของการใช้พลังงานค่อนข้างมาก แต่อย่างไรก็ตามยังไม่ควรวางเฉย เพราะอาจสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพให้ดีขึ้นหรือหาทางลดต้นทุนพลังงานได้อีก ขณะที่กลุ่ม TSIC 38 ค่า R^2 ของข้อมูล

มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอตั้งแต่ 0.0052 ไปจนถึง 0.9620 แสดงให้เห็นว่ากลุ่มนี้มีโรงงานที่มีการจัดการพลังงาน ทั้งดีและไม่ดีรวมอยู่ อาจเนื่องจากอุตสาหกรรมกลุ่มผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์นี้มีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายมาก พฤติกรรมการใช้พลังงานจึงมีความแตกต่างกันมาก ส่วนกลุ่ม TSIC 33 และ 36 มีทั้งข้อมูลที่มีค่า R^2 มากและน้อย แต่อย่างไรไม่สามารถสรุปได้ เนื่องจากมีจำนวนข้อมูลน้อย

ตารางที่ 3 จำนวนข้อมูลจำแนกตามลักษณะข้อมูลและค่า R^2 ที่วิเคราะห์ได้

TSIC	แยก		รวม	
	$R^2 \geq 0.7$	$R^2 < 0.7$	$R^2 \geq 0.7$	$R^2 < 0.7$
33	1	0	0	0
36	3	2	1	0
37	19	4	4	1
38	21	20	5	2
รวม	44	26	10	3

หากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายของกลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานแยกตามผลิตภัณฑ์ มีค่า R^2 มากกว่าหรือเท่ากับ 0.7 สามารถใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายที่ได้เป็นสมการตัวแทนของข้อมูลนั้นได้ เนื่องจากเป็นระดับความสัมพันธ์ที่จัดว่าสูงมากในทางปฏิบัติ อย่างไรก็ตามเมื่อวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายสำหรับกลุ่มที่มีข้อมูลการใช้พลังงานรวมทุกผลิตภัณฑ์ แล้วพบว่าค่า R^2 มีค่าน้อย แสดงว่าการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมอาจไม่ได้ขึ้นกับปริมาณผลผลิตที่รวมทุกผลิตภัณฑ์ จึงต้องแยกปริมาณผลผลิตตามแต่ละชนิดผลิตภัณฑ์ เพื่อวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ ทั้งนี้ไม่สามารถวิเคราะห์ปัจจัยอื่นเพิ่มเติมได้อีกเนื่องจากความจำกัดของข้อมูลที่มี

ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายที่มีค่า R^2 มากกว่าหรือเท่ากับ 0.7 จะได้สมการถดถอยที่ใช้เป็นตัวแทนของแต่ละโรงงานควบคุม สำหรับใช้ทำนายปริมาณการใช้พลังงาน และค่า SEC นั้นสามารถสรุปค่า SEC_e ได้ดังตารางที่ 4 ซึ่งสามารถใช้เป็นค่าเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับโรงงานกลุ่มเดียวกันที่มีปริมาณผลผลิตใกล้เคียงกันได้ ขณะที่ผลการวิเคราะห์การถดถอยเชิง

เส้นแบบพหุคูณ มี 8 โรงงานที่ให้ค่า R^2 สูงขึ้นและมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0.7 โดยค่า SEC_e ของแต่ละผลิตภัณฑ์สามารถหาได้จากค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยบางส่วนของตัวแปรนั้นๆ ที่แทนผลิตภัณฑ์นั่นเอง เนื่องจากไม่สามารถกระจายค่า β_0 ให้แต่ละพจน์ได้

4. สรุป

การวิเคราะห์และตีความข้อมูลด้วยรูปแบบกราฟที่เหมาะสม จะสามารถอธิบายและตีความหมายของข้อมูลได้มากขึ้น เป็นการเพิ่มความสามารถในการตรวจติดตามประสิทธิภาพการใช้พลังงาน นอกจากนี้การเก็บบันทึกข้อมูลทางด้านพลังงานที่ดี และมีคุณภาพ จะทำให้การวิเคราะห์และตีความข้อมูลได้ถูกต้อง เกิดประโยชน์ทั้งต่อโรงงานอุตสาหกรรมและประเทศชาติ

ส่วนผลจากการวิเคราะห์นั้นแสดงให้เห็นว่าข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานควบคุมในกลุ่มอุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐานนั้นมีความเสถียร แสดงถึงการจัดการ

ตารางที่ 4 ค่า SEC_e ของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม

TSIC	หน่วย	ช่วงผลผลิต		ช่วง SEC _e (กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อหน่วย)		จำนวน โรงงาน
		min	max	min	max	
33						
33112	(m3)	1,535	6,270	141	307	1
36						
36200	(ตัน)	284	49,789	149	854	3
37						
37110	(ตัน)	3	47,771	13	23,007	10
37120	(ตัน)	12,298	38,460	7	9	1
37200	(ตัน)	66	705	1,262	4,907	2
38						
38120	(ตัน)	239	1,531	266	805	1
38130	(ตัน)	173	408	1,941	2,536	1
38191	(ตัน)	3,420	26,067	117	159	1
38192	(ตัน)	111	452	726	1,363	1
38199	(ตัน)	98	1,097	611	3,880	2
38230	(ตัน)	113	1,114	364	885	1
38292	(ตัน)	452	979	1,723	2,397	1
	(ชิ้น)	11,344	145,264	5	13	1
38320	(ชิ้น)	1,082,307	3,665,261	0.47	1	1
38391	(ตัน)	317	1,194	383	667	1
38431	(ตัน)	2,543	15,850	295	689	2
	(ชิ้น)	3,547,186	10,039,277	0.02	0.04	1
38439	(ตัน)	279,757	4,792,316	0.33	10	2
	(kmh)	1,101	2,337	323	684	1
	(ชิ้น)	23,013	1,454,686	0.12	11	4
38440	(ชิ้น)	80,718	2,542,678	0.02	2	1

พลังงานที่ดี ขณะที่กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตภัณฑ์จากแร่โลหะ และอุตสาหกรรมการผลิตภัณฑ์โลหะเครื่องจักรและอุปกรณ์ ยังมีโรงงานที่ต้องเร่งพัฒนาการจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพ

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2553. การใช้พลังงานจำแนกตามสาขาเศรษฐกิจ ปี 2525-2551 [ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.dede.go.th/dede/images/stories/pdf/001table.pdf> [1 มีนาคม 2554]
- [2] พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2552. คู่มือพัฒนาระบบการจัดการพลังงานสำหรับโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/upload/nov50/oct52/3.pdf> [1 กุมภาพันธ์ 2552]
- [3] เสรี กังวานกิจ และ ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์. 2549. การศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าในชุมชนชนบทระดับหมู่บ้าน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [4] Puranik, V.S. 2007. CUSUM Quality Control Chart for Monitoring Energy Use Performance. Proceedings of the 2007 IEEE IEEM: 1231-1235.
- [5] ประพันธ์ ธนาปียกุล. 2552ก. การประยุกต์ใช้ระบบตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน(1). เทคนิค 304 (สิงหาคม): 73-84.
- [6] ไชยะ แซ่มซ้อย. 2553. การใช้ข้อมูลเชิงสถิติเพื่อกำหนดเป้าหมายและการตรวจสอบสัมฤทธิ์ผลการอนุรักษ์พลังงาน. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. (อัสสาเนา)
- [7] ประพันธ์ ธนาปียกุล. 2552. การประยุกต์ใช้ระบบตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน(2). เทคนิค 305 (กันยายน): 89-95.
- [8] พลังงาน, กระทรวง. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2553. การอนุรักษ์พลังงานตาม พ.ร.บ.[ออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.dede.go.th/dede/index.php?id=34>[12 กุมภาพันธ์ 2553]