



วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. UBU Engineering Journal

บทความวิจัย

แผนภูมิควบคุมสำหรับการตรวจติดตามผลสัมฤทธิ์จากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

Control charts for monitoring the achievement from energy conservation measures

ศุภชัย นาทะพันธ์* อภิชาติ เทอดโยธิน

สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี กรุงเทพฯ 10140

Supphachai Nathaphan* Apichit Therdyothin

Division of Energy Management Technology, School of Energy, Environment and Materials, King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangkok 10140

* Corresponding author.

E-mail: supphachai.nat@mail.kmutt.ac.th; Telephone: 0 81914 6461

วันที่รับบทความ 13 มีนาคม 2563; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 28 เมษายน 2563; วันที่ตอบรับบทความ 15 มิถุนายน 2563

บทคัดย่อ

ระบบการจัดการพลังงานของประเทศไทยในปัจจุบันไม่ได้กำหนดแนวทางให้โรงงานควบคุมตรวจติดตามผลสัมฤทธิ์จากมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่กำหนดในแต่ละปีแต่กฎหมายกำหนดให้คณะทำงานด้านการจัดการพลังงานต้องติดตามความก้าวหน้าในทุกปี วัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือการพัฒนาวិธีการในการตรวจติดตามผลสัมฤทธิ์จากมาตรการอนุรักษ์พลังงานสำหรับการทบทวนผลสัมฤทธิ์ของแผนอนุรักษ์พลังงาน ในงานนี้แผนภูมิควบคุมสำหรับข้อมูลเชิงเดียวและค่าพิสัยเคลื่อนไหวถูกใช้ในการตรวจสอบและวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตจากการปฏิบัติในแต่ละปี เกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณาผลสัมฤทธิ์จากมาตรการฯ คือการเกิดรูปแบบที่แผนภูมิควบคุม ผลการวิเคราะห์แผนภูมิควบคุมพบว่ามาตรการที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานในลักษณะที่ลดลงอย่างมีนัยสำคัญควรจะต้องแสดงรูปแบบการรันหรือรูปแบบแนวโน้ม

คำสำคัญ

มาตรการอนุรักษ์พลังงาน การตรวจติดตามพลังงาน แผนภูมิควบคุม ระบบการจัดการพลังงาน

Abstract

The energy management system in Thailand has not specified guidelines for the designated factory to monitor the results of energy conservation measures determined in each year, but the laws require the energy management working group to monitor progress every year. The objective of the research is to develop methods in monitoring the results from energy conservation measures for reviewing the achievement of energy conservation plan. In this work, the control charts for individual observations and moving ranges (X-MR control charts) were used to examine and analyze the specific energy consumption values from each year. The criterion used in determining the achievement of measures was the occurrence of the patterns in the control charts. The analyzed result of control charts showed that the measures to significantly reduce energy consumption should reveal the run pattern or trend pattern.

Keywords

energy conservation measure; energy monitoring; control chart; energy management system

1. บทนำ

เนื่องจากเจ้าของโรงงานควบคุมและผู้รับผิดชอบด้านพลังงานประจำโรงงานควบคุมภายในประเทศไทยต้องจัดให้มี

ระบบการจัดการพลังงาน (Energy management system: EnMS) ให้สอดคล้องกับข้อกำหนดของวิธีการจัดการพลังงาน แต่ EnMS ของประเทศไทยขาดวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลการ

ปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน [1] ที่สามารถใช้ตรวจติดตามปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยในแต่ละปี ขณะที่ในปัจจุบันใช้วิธีการเปรียบเทียบผลประหยัดจากปริมาณพลังงานที่ใช้ทั้งปีกับเป้าหมายพลังงาน อีกทั้ง กฎหมายกำหนดให้คณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน (โดยมีผู้รับผิดชอบด้านพลังงานเป็นเลขานุการและ/หรือคณะทำงาน) ต้องควบคุมการวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรม จากมูลเหตุดังกล่าวข้างต้น ผู้ตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานในกำกับดูแลของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) แต่ละรอบปีเมื่อตรวจสอบรายงานและเข้าตรวจสอบโรงงานควบคุมตามเกณฑ์ที่กำหนดใน EnMS อาจสรุปผลการตรวจสอบโรงงานควบคุมว่า “ผลการดำเนินการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมเกิดความไม่สอดคล้องเกี่ยวกับการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจากมาตรการที่ปฏิบัติตามแผนอนุรักษ์พลังงาน” ลงในรายงานผลการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน ดังนั้น คณะทำงานด้านการจัดการพลังงานควรกำหนดวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลการปฏิบัติให้ถูกต้องตามหลักวิศวกรรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับ EnMS ให้สอดคล้องกับข้อ 13 ในประกาศกระทรวง เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการดำเนินการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552 เกี่ยวกับการตรวจสอบและวิเคราะห์ผลการดำเนินการตามแผน [2] วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ การพัฒนาวิธีการในการตรวจติดตามผลลัพธ์จากมาตรการอนุรักษ์พลังงานสำหรับการทบทวนผลสัมฤทธิ์ของแผนอนุรักษ์พลังงาน

2. หลักเกณฑ์และวิธีการจัดการพลังงาน

คณะรัฐมนตรีออกพระราชกฤษฎีกา (พ.ร.ฎ.) กำหนดโรงงานควบคุมตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 ที่มีปริมาณการใช้พลังงานตั้งแต่วันที่ 1 มกราคม ถึงวันที่ 31 ธันวาคมของปีที่ผ่านมาต้องดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน [3] นอกจากนั้น พพ. ประกาศให้ผู้ได้รับใบอนุญาตดำเนินการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงาน (ผู้ตรวจสอบ) แทนเจ้าหน้าที่ของ พพ. ตามรอบปีที่กำหนด [4,5] เพื่อทำหน้าที่ตรวจสอบและจัดทำรายงานผลการตรวจสอบ ลำดับปี พ.ศ. ที่กฎหมายบังคับใช้กับโรงงานควบคุมภายใต้เลขที่บ้านเดียวกันที่ติดตั้ง 1) หม้อแปลงหรือ 2)

เครื่องวัดไฟฟ้าหรือ 3) ใช้พลังงานความร้อน (หรือพลังงานสิ้นเปลือง) ตามพิกัดที่ระบุในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปี พ.ศ. ที่กฎหมายบังคับใช้

หม้อแปลงไฟฟ้า (kVA)	เครื่องวัดไฟฟ้า (kW)	พลังงานความร้อน (ล้าน MJ)	ตั้งแต่ปี พ.ศ.	
			โรงงานควบคุม	ผู้ตรวจสอบและรับรอง
≥ 1,175	≥ 1,000	20	2543	2560
≥ 2,350	≥ 2,000	40	2542	2559
≥ 3,530	≥ 3,000	60	2541	2558
≥ 11,750	≥ 10,000	200	2540	2552

อีกทั้ง กฎกระทรวง กำหนดให้เจ้าของโรงงานควบคุมต้องจัดทำระบบการจัดการพลังงาน [6] หลังจากเจ้าของโรงงานควบคุมแต่งตั้งผู้รับผิดชอบด้านพลังงานตามจำนวนที่กฎหมายกำหนดแล้ว ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานประจำโรงงานควบคุมจึงจะมีส่วนร่วมในการกำหนดทิศทางให้กับระบบการจัดการพลังงานในรูปของคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน (ตำแหน่งเลขานุการ) โดยที่กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานพัฒนา EnMS จากการบูรณาการระหว่างวิธีการจัดการพลังงานร่วมกับเทคนิคทางวิศวกรรมเพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างยั่งยืน

2.1 มาตรการอนุรักษ์พลังงาน

เนื่องจากเจ้าของโรงงานควบคุมมอบหมายหน้าที่ให้คณะทำงานฯ ควบคุมให้เกิดการใช้พลังงานที่คุ้มค่าและมีประสิทธิภาพสอดคล้องตามนโยบายและวิธีการที่กำหนด รายงานผลการอนุรักษ์และการจัดการให้เจ้าของโรงงานควบคุมทราบ และการให้ข้อเสนอแนะ นั่นคือการควบคุมของคณะทำงานฯ จึงครอบคลุมไปถึงความรับผิดชอบต่อมาตรการอนุรักษ์พลังงาน ดังนั้น คณะทำงานฯ ควรมีตัวแทนสำคัญจากผู้บริหารระดับสูง ผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน ตัวแทนจากฝ่ายวิศวกรรม และตัวแทนจากฝ่ายซ่อมบำรุง

มาตรการฯ มีแนวโน้มในอนาคตที่มุ่งเน้นที่การประหยัดค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตมากกว่าการมุ่งเน้นที่การประหยัดพลังงานสัมบูรณ์ รวมถึงการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตในระดับองค์กรให้ลดลง [7] รวมถึงความคุ้มค่าในการลงทุน ดังนั้น ปัจจัยที่ใช้ในการกำหนด

มาตรการฯ คือสถานภาพเกี่ยวกับเทคโนโลยีของโรงงานควบคุม เป้าหมายที่ต้องการ และปัจจัยด้านเงินลงทุน ส่วนรายละเอียดที่ต้องมีเพิ่ม ประกอบด้วย ตัวชี้วัดในแต่ละมาตรการฯ เงินลงทุน และระยะเวลาคืนทุน มาตรการฯ สามารถจำแนกได้ 3 ระดับ [8] ดังต่อไปนี้

ระดับ 1: การใช้ระบบปัจจุบันที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เป็นระดับที่ลงทุนน้อยและให้ผลสัมฤทธิ์น้อย (ในระยะยาว หรือ ณ จุดอิมตัว) จากการปรับปรุง อาทิ มาตรการหุ้มฉนวนกันความร้อนสูญเสีย มาตรการปรับลดความดันของอากาศอัด และมาตรการลดปริมาณล่อจากการเปลี่ยนหัวฉีดปืนลม

ระดับ 2: การปรับปรุงอุปกรณ์หรือเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นระดับที่ลงทุนปานกลางและให้ผลสัมฤทธิ์เพิ่มขึ้นปานกลาง อาทิ มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูง (กรณีที่ปรับเปลี่ยนในปริมาณมาก)

ระดับ 3: การปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิตเป็นระดับลงทุนสูงและทำให้ระบบมีผลสัมฤทธิ์เพิ่มขึ้นมาก

2.2 การตรวจติดตามการปฏิบัติ

คณะทำงานฯ ต้องควบคุมการดำเนินการตามมาตรการฯ โดยกำหนดให้ผู้รับผิดชอบมาตรการแต่ละคนต้องรายงานผลเพื่อรวบรวมปริมาณการใช้พลังงานทุกเดือน (ข้อมูลเชิงเดียวจากแต่ละเดือน) มาตรวจสอบสถานภาพปริมาณพลังงานที่ใช้ รวมถึงปริมาณของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ สารสนเทศเกี่ยวกับปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณของผลิตภัณฑ์ในแต่ละเดือนจากการดำเนินการแต่ละรอบปีจะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายเพื่อวิเคราะห์แนวโน้มของผลลัพธ์จากการดำเนินการตามมาตรการ ผลประโยชน์ของการตรวจติดตามมาตรการฯ คือ คณะทำงานด้านการจัดการพลังงานสามารถ 1) ตรวจประเมินผลลัพธ์ของมาตรการที่กำหนด 2) คาดการณ์ผลกระทบได้ในอนาคต และ 3) ประเมินการต้นทุนพลังงาน

2.3 แผนภูมิควบคุม

แผนภูมิควบคุมเป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยกระบวนการผลิต (กล่าวคือ แผนภูมิควบคุมสามารถใช้ตรวจจับระดับความแตกต่างของปริมาณการใช้พลังงานของปีที่ผ่านมาเปรียบเทียบกับปีปัจจุบันได้) ส่งผลให้ผู้รับผิดชอบมาตรการเข้าใจการเกิดความแตกต่างจากมาตรการที่ประยุกต์ (แม้ว่าจุดซึ่งเป็นตัวแทนของผลลัพธ์จะอยู่

ภายในขีดจำกัดควบคุม) จากค่าอ้างอิงของข้อมูล [9] แผนภูมิควบคุม X (Individual control chart) ใช้ตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ที่สนใจ ส่วนแผนภูมิควบคุม MR (Moving range control chart) ใช้ประมาณค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของผลลัพธ์ โดยที่ $\sigma = \frac{\overline{MR}}{d_2}$ รายละเอียดในการคำนวณมีดังต่อไปนี้

1) แผนภูมิควบคุม X สามารถคำนวณขีดจำกัดควบคุมบน (Upper control limit: UCL) เส้นกึ่งกลาง (Center line: CL) และขีดจำกัดควบคุมล่าง (Lower control limit: LCL) ได้ดังสมการ (1) (2) และ (3) ตามลำดับ โดยที่ค่าปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละเดือนไม่มีความสัมพันธ์กัน

$$UCL_X : \quad \bar{x} + 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (1)$$

$$CL_X : \quad \bar{x} \quad (2)$$

$$LCL_X : \quad \bar{x} - 3 \frac{\overline{MR}}{d_2} \quad (3)$$

โดยที่ $\bar{x}$ คือค่าพลังงานเฉลี่ย $\overline{MR}$ คือค่าเฉลี่ยของพิสัยเคลื่อนไหว และ d_2 คือค่าคงที่เท่ากับ 1.128

2) แผนภูมิควบคุม MR สามารถคำนวณขีดจำกัดควบคุมและเส้นกึ่งกลางได้ดังสมการ (4) (5) และ (6)

$$UCL_{MR} : \quad D_4 \overline{MR} \quad (4)$$

$$CL_{MR} : \quad \overline{MR} \quad (5)$$

$$LCL_{MR} : \quad D_3 \overline{MR} \quad (6)$$

โดยที่ D_3 คือค่าคงที่เท่ากับ 0 และ D_4 คือค่าคงที่เท่ากับ 3.267

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลพลังงานที่โรงงานควบคุมใช้ปริมาณพลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อน คณะทำงานฯ ต้องรวบรวมสารสนเทศจากทุกเดือนมาประเมิน ดังนั้นข้อมูลด้านพลังงานในแต่ละเดือนจึงมีค่าเท่ากับ 1 ค่าเท่านั้น กล่าวคือ พิสัยเคลื่อนไหวครั้งละ 2 ค่าทำให้ค่าคงที่ d_2 D_3 และ D_4 มีค่าตามที่ระบุในสมการข้างต้นเสมอ [9] อีกทั้งปริมาณพลังงานโดยรวมที่ใช้จะแปรผันตามปริมาณการผลิตตามแผนการผลิต ดังนั้น ตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานควรใช้ค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตหรือค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption: SEC) [10] การตรวจประเมินปริมาณ

พลังงานที่ลดลงจะเปรียบเทียบกับค่าพลังงานเฉลี่ยหรือค่า SEC เฉลี่ยต่อปีกับค่าเป้าหมาย ดังนั้น การตรวจติดตามการปฏิบัติ สามารถประยุกต์แผนภูมิควบคุม X-MR สำหรับตรวจติดตาม ผลลัพธ์จากมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่กำหนด โดยที่แผนภูมิ ควบคุม X-MR ใช้เพื่อสรุปค่า SEC เฉลี่ยและค่าความเบี่ยงเบน มาตรฐานที่เพิ่มขึ้น/ลดลงในแต่ละปี และสรุปความสอดคล้อง กับข้อกำหนด (Specification) โดยทั่วไปการประยุกต์แผนภูมิ ควบคุมจะใช้ในการพิจารณากระบวนการผลิตว่า “ยังคงอยู่ใน สภาวะควบคุมเมื่อไม่พบรูปแบบ (Patterns) ของข้อมูล” [11] หรือไม่พบข้อมูลออกนอกขีดจำกัดควบคุม แต่งานวิจัยนี้ ต้องการนำเสนอในมุมกลับที่ว่า เมื่อโรงงานควบคุมตั้งใจ กำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานแล้วแผนภูมิควบคุมต้อง สามารถตรวจสอบรูปแบบความคลาดเคลื่อนของค่า SEC ภายในโรงงานควบคุมที่ลดลง นั่นคือ การตรวจติดตาม มาตรการต้องพบรูปแบบของข้อมูลได้อย่างชัดเจน

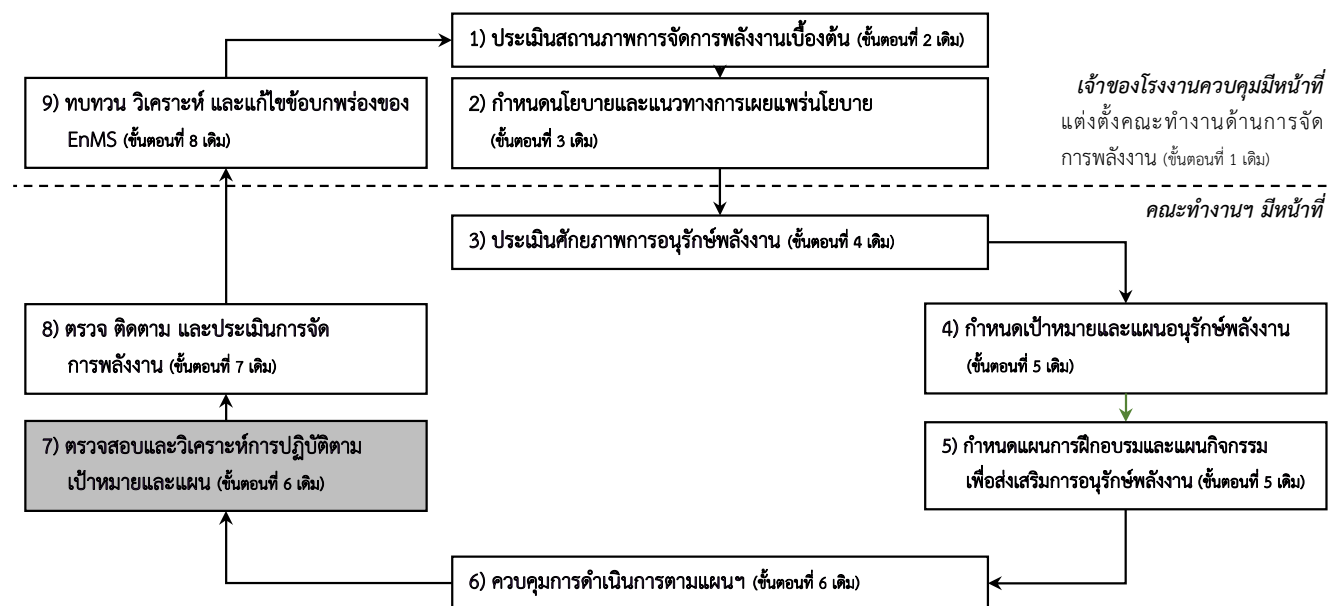
3. วิธีการดำเนินการวิจัย

ระบบการจัดการพลังงาน (EnMS) ตามกฎกระทรวงฯ เดิม สามารถจำแนกรายละเอียดเป็น 1) แผนบุคคลโดยพิจารณา

จากเส้นแบ่งระหว่างขั้นตอนที่ 2 และขั้นตอนที่ 3 ดังแสดงใน รูปที่ 1 เพื่อให้เกิดความชัดเจนในการจัดการพลังงานของ บุคคลที่ต้องรับผิดชอบในขั้นตอนการปฏิบัติงานที่กำหนด และ 2) แผนการปฏิบัติงานซึ่งประกอบด้วย 9 ขั้นตอนอยู่ใน 2 ส่วนประกอบหลักดังต่อไปนี้

1) ส่วนที่มุ่งเน้นที่การจัดการ (เจ้าของโรงงานควบคุมหรือ ฝ่ายบริหารรับผิดชอบ) ซึ่งต้องรับผิดชอบ 3 ขั้นตอน ภายหลัง การแต่งตั้งคณะทำงานฯ เพื่อช่วย 1) ประเมินสถานภาพการ จัดการพลังงานเบื้องต้นก่อน 2) กำหนดนโยบายที่แสดงข้อ ผูกมัดจากการกำหนดแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพ และจัดสรรทรัพยากรตาม EnMS อย่างเพียงพอ และ 3) ทบทวนผลลัพธ์พร้อมทั้งวางแผนแนวทางในการแก้ไขโดยกำหนด นโยบายด้านพลังงานในปีถัดไป

2) ส่วนที่มุ่งเน้นที่เทคโนโลยีการจัดการ (ฝ่ายวิศวกรรม ร่วมกับคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานรับผิดชอบ) ซึ่งต้อง รับผิดชอบ 6 ขั้นตอน พิจารณาขั้นตอนที่ต้องดำเนินการ ทั้งหมดได้เส้นประในรูปที่ 1 โดยมีเป้าหมายของการจัด การพลังงานคือการใช้ปริมาณพลังงานที่ลดลง ภายใต้การ กำหนด ควบคุม และตรวจติดตาม ตามแผนฯ ในระดับองค์กร ซึ่งมีมาตรการอนุรักษ์พลังงานเป็นองค์ประกอบภายในแผน



รูปที่ 1 รายละเอียดขั้นตอนที่สำคัญของระบบการจัดการพลังงานตามกฎกระทรวง

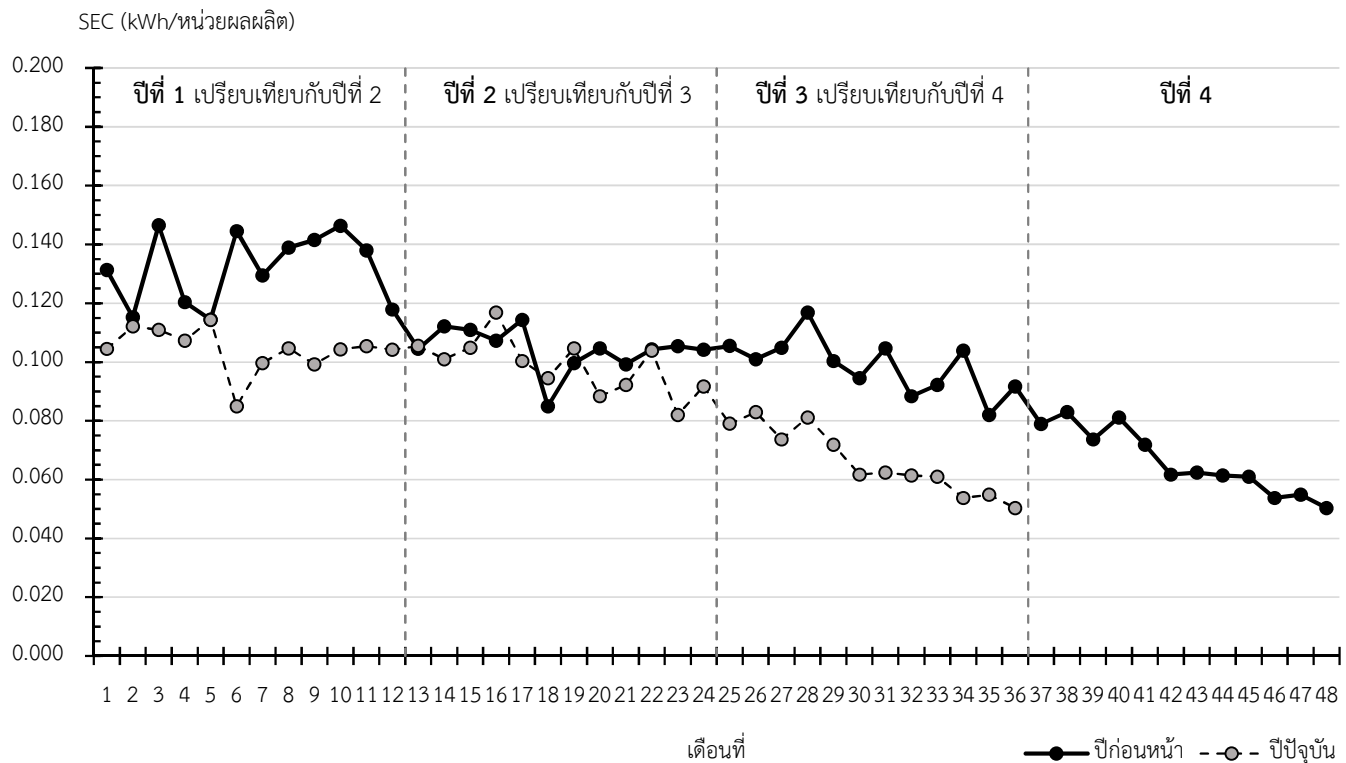
งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางในการประยุกต์แผนภูมิควบคุมเพื่อช่วยสนับสนุนคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานในขั้นตอนการตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติ (ขั้นตอนที่ 7) ภายหลังการดำเนินการตามแผนฯ ของ EnMS ในระดับองค์กร หลักสำคัญในการประยุกต์แผนภูมิควบคุมคือการนำเสนอการลดลงของค่าความแปรผันรอบค่าเฉลี่ยภายหลังการปรับแก้ตัวแปรอิสระ (มาตรการฯ) ที่ส่งผลต่อตัวแปรตาม (ปริมาณการใช้พลังงานหรือค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต) คณะทำงานฯ ต้องใช้แผนภูมิควบคุม X ตรวจสอบติดตามการเปลี่ยนแปลงค่า SEC เฉลี่ยจากมาตรการฯ ที่โรงงานควบคุมประยุกต์ในแต่ละปี (กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยของมาตรการฯ ที่แตกต่างกันควรมีค่า SEC ที่แตกต่างกัน) และใช้แผนภูมิควบคุม MR ตรวจสอบติดตามความเปลี่ยนแปลงระหว่างเดือนของค่า SEC (กล่าวคือ ค่า SEC แต่ละเดือนภายใต้มาตรการฯ เดียวกันควรมีค่าไม่แตกต่างกัน)

3.1 การนำเสนอข้อมูลการใช้พลังงานในระดับองค์กร

คณะทำงานฯ ต้องจัดทำรายงานการตรวจสอบและวิเคราะห์ผลการดำเนินการที่นำเสนอข้อมูลการใช้พลังงานและจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในแต่ละเดือนของโรงงานควบคุมก่อน

นำส่ง พพ. ในปัจจุบันกราฟถูกใช้ในการนำเสนอผลการอนุรักษ์พลังงานเพียง 2 ปีเท่านั้น โดยแสดงข้อมูลการใช้พลังงานของปีที่ทำรายการงานการจัดทำพลังงานเปรียบเทียบกับปีก่อนหน้า ตั้งแต่เดือน มกราคม จนถึงเดือน ธันวาคม ผลวิเคราะห์ที่ได้คือ คณะทำงานฯ ประจำโรงงานควบคุมจะรู้ถึงประเภทพลังงานที่ใช้มากระหว่างพลังงานไฟฟ้าและ/หรือพลังงานความร้อนจากภาพรวมของกราฟเส้นที่ได้ปฏิบัติตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

กรณีศึกษาโรงงานควบคุมที่ผลิตกระสอบพลาสติกแห่งหนึ่ง ซึ่งใช้เฉพาะพลังงานไฟฟ้า ถ้าคณะทำงานฯ เก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิตตั้งแต่ปี พ.ศ. 2559 ถึง พ.ศ. 2562 (มากกว่า 2 ปี) มาวิเคราะห์ด้วยกราฟเส้นจึงจะเห็นภาพรวมได้ชัดเจนกว่ากราฟแท่งเกี่ยวกับปริมาณการใช้พลังงานที่ลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2 อย่างไรก็ตาม เจ้าของโรงงานควบคุมอาจเกิดความไม่มั่นใจในมาตรการฯ ที่เคยดำเนินการเมื่อพิจารณาข้อมูลในปีที่ 2 และปีที่ 3 (นั่นคือ พ.ศ. 2560 และ พ.ศ. 2561) เพราะระดับของค่า SEC (ค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต) ไม่ได้ลดลงอย่างชัดเจน



รูปที่ 2 กราฟเส้นสำหรับการตรวจสอบติดตามปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าย้อนหลัง 4 ปี (พิจารณาภาพรวมทุกปีจากรายงานการจัดการพลังงาน)

ในการนำเสนอข้อมูลการใช้พลังงานในระดับองค์กรควรนำเสนอค่า SEC เฉลี่ยรายปีเพื่อต่อการวิเคราะห์ระดับปริมาณการใช้พลังงานที่ลดลงได้ชัดเจนยิ่งขึ้น นอกจากการเปรียบเทียบค่า SEC ของพลังงานไฟฟ้าทุก 2 ปีภายใต้กราฟเดียวกันและการผลิตต่อหน่วยเท่ากันแล้ว เมื่อพิจารณาเครื่องมือวัดและข้อมูลจากโรงงานควบคุมตัวอย่าง คณะทำงานฯ สามารถจำแนกสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าตามระบบได้ดังตารางที่ 2 นั่นคือ ร้อยละ 80 โดยประมาณของระบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานควบคุมคือ ระบบการผลิตซึ่งมีสัดส่วนการใช้พลังงานมากที่สุด และระบบแสงสว่าง

นอกจากนั้น โรงงานควบคุมควรประยุกต์หลักการทางสถิติมาให้เหตุผลประกอบผลสัมฤทธิ์ของมาตรการฯ ที่กำหนดถึงระดับการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตที่ลดลงได้อย่างมีนัยสำคัญดังแสดงในรูปที่ 3 นั่นคือ การนำเสนอและวิเคราะห์ข้อมูลด้านพลังงานด้วยแผนภูมิควบคุมเพื่อตรวจติดตามผลสัมฤทธิ์จากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

ตารางที่ 2 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยแยกตามระบบ

ระบบ	ร้อยละ
แสงสว่าง	9.05
ปรับอากาศสำนักงาน	5.31
การทำความเย็น	3.79
การผลิต	71.66
อัดอากาศ	7.41
อื่นๆ	2.79

ขั้นตอนการประยุกต์แผนภูมิควบคุมเพื่อนำเสนอข้อมูลการใช้พลังงานในระดับองค์กรภายหลังการปฏิบัติตามแผนด้วยแผนภูมิควบคุม X-MR มีดังต่อไปนี้

- 1) คำนวณเส้นกึ่งกลางของแผนภูมิควบคุม X และแผนภูมิควบคุม MR
- 2) คำนวณขีดจำกัดควบคุมบนและล่าง
- 3) จัดทำแผนภูมิควบคุมและพล็อตจุด (จุดคือตัวแทนของค่า SEC ในแต่ละเดือน) กำหนดให้แกน X แทนลำดับของช่วงเวลาในหน่วยเดือน และแกน Y แทนค่า SEC (พิจารณาค่า SEC จากรายงานการจัดการพลังงาน)

แนวทางในการตัดสินใจข้อมูลในแผนภูมิควบคุมเกิดรูปแบบ [9] การใช้ปริมาณพลังงานภายในโรงงานควบคุมเพิ่มขึ้นหรือลดลง เกณฑ์พิจารณารูปแบบจำแนกออกเป็น 2 ลักษณะดังต่อไปนี้

1) ผลลัพธ์ (จุด) จากการดำเนินการตามมาตรการฯ เรียงตัวต่อเนื่องกันอย่างน้อย 8 จุดโดยที่จุดทั้งหมดอาจพล็อตอยู่เหนือหรือใต้เส้นกึ่งกลางซึ่งเรียกว่าเกิดรูปแบบ “การรัน (Run)” กล่าวคือ ค่าเฉลี่ยเกิดการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงนั่นเอง คณะทำงานฯ ต้องคำนวณปริมาณการใช้พลังงานจากสมการที่ (1) ถึง (6) ใหม่ให้กับปีที่จตุรรวมกันครบ 8 จุดก่อนการสรุปว่ามาตรการฯ ที่ทำให้เกิดจุดครบส่งผลต่อค่า SEC ที่เพิ่มขึ้นหรือลดลงได้อย่างมีนัยสำคัญ

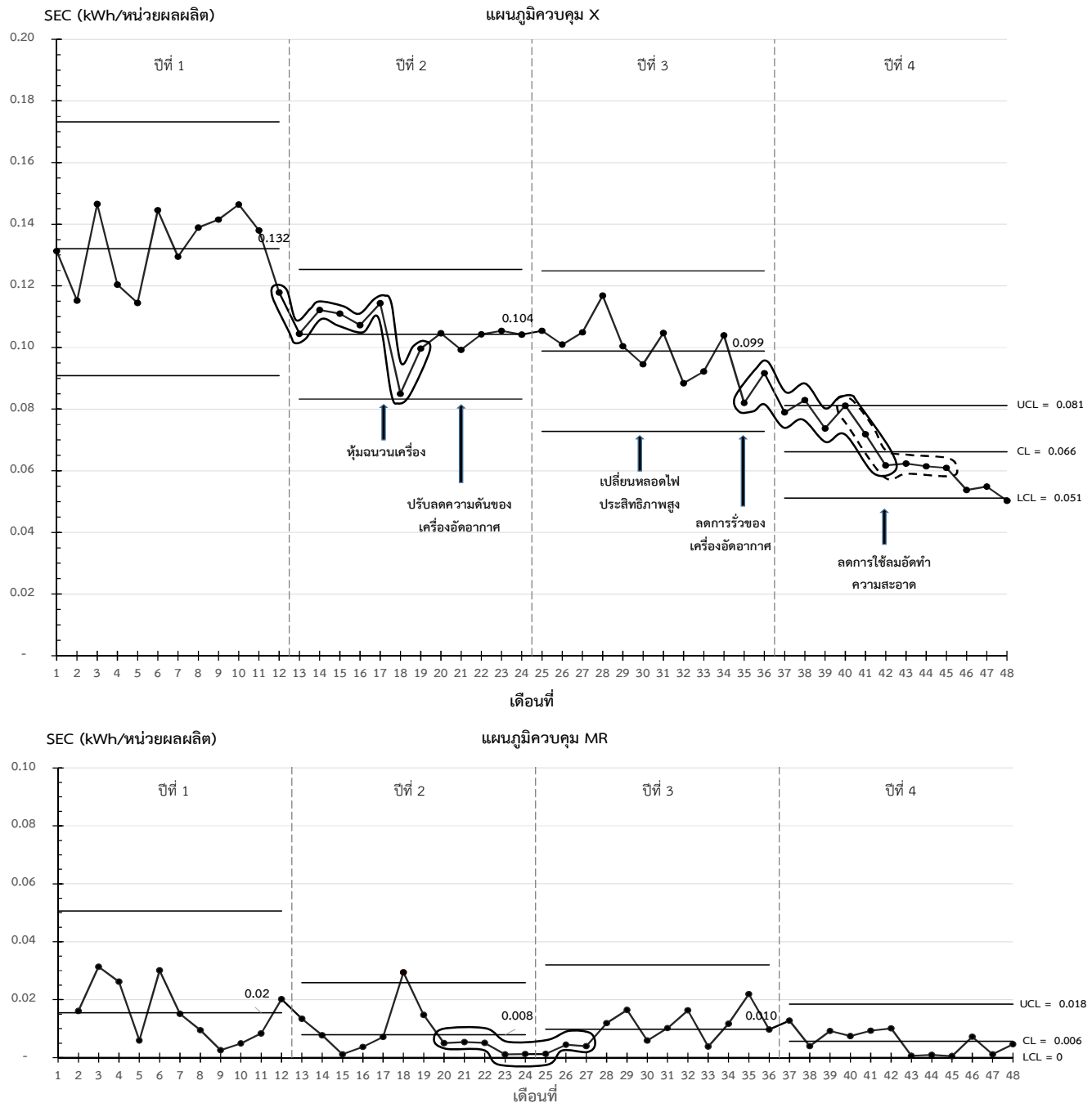
2) มาตรการหุ้มฉนวนเครื่องจักรในสายการผลิตดำเนินการในเดือนพฤษภาคม (เดือนที่ 17) ของปีที่ 2 ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเพราะตรวจพบรูปแบบการรันครบ 8 จุดในเดือนที่ 19 (นั่นคือ เกิดการรันใต้เส้นกึ่งกลางของปีที่ 1 โดยเริ่มการรันตั้งแต่เดือนที่ 12 ของปีที่ 1 พิจารณาแผนภูมิควบคุม X) ส่งผลให้ในปีที่ 2 ต้องคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม X-MR ใหม่โดยใช้ข้อมูลในเดือนที่ 13 ถึงเดือนที่ 24 เพื่อสรุปผลการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตเฉลี่ยกับปีที่ 1 ซึ่งค่า SEC เฉลี่ยลดลงเหลือ 0.104 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อหน่วยผลผลิต ภายใต้ค่าพิสัยเคลื่อนไหวเฉลี่ยเท่ากับ 0.008 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อหน่วยผลผลิต

3) มาตรการปรับลดความดันของเครื่องอัดอากาศดำเนินการในเดือนกันยายน (เดือนที่ 21) ของปีที่ 2 ทำให้ค่าพิสัยเคลื่อนไหวของค่า SEC มีค่าต่ำกว่าเส้นกึ่งกลางอย่างต่อเนื่องจนเกิดรูปแบบการรันครบ 8 จุดในเดือนที่ 27 ของปีที่ 3 (พิจารณาแผนภูมิควบคุม MR) ดังนั้นในปีที่ 3 ต้องคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม X-MR ใหม่เช่นกันเพื่อใช้ตรวจติดตามค่า SEC โดยใช้ข้อมูลในเดือนที่ 25 ถึงเดือนที่ 36

4) มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูง (LED) ดำเนินการในเดือนมิถุนายนของปีที่ 3 แต่ไม่ส่งผลต่อการลดลงของค่า SEC เฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากไม่พบรูปแบบภายในแผนภูมิควบคุม X และแผนภูมิควบคุม MR ในปีที่ 3 กล่าวคือ มาตรการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง (พิจารณาหัวข้อที่ 2.1) ไม่ส่งผลต่อการอนุรักษ์พลังงานใน

ภาพรวมได้อย่างมีนัยสำคัญเมื่ออุปกรณ์ที่ปรับเปลี่ยนมีปริมาณที่ไม่มากพอ ขณะที่มาตรการที่ลงทุนน้อย (มาตรการ 1 และ 2) กลับอนุรักษ์พลังงานได้อย่างมีนัยสำคัญเพราะโรงงานเพิ่งเริ่มดำเนินการตามมาตรการฯ ที่ยังไม่ถึงจุดอิ่มตัว อย่างไรก็ตาม ในปีที่ 3 เมื่อพิจารณามาตรการฯ ก่อนหน้าแล้วคำนวณ

ขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม X-MR ใหม่ พบว่า ค่า SEC เฉลี่ยเท่ากับ 0.099 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อหน่วยผลผลิต ภายใต้ค่าพิสัยเคลื่อนไหวเฉลี่ยเท่ากับ 0.010 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อหน่วยผลผลิต



รูปที่ 3 แผนภูมิควบคุมที่ใช้ตรวจติดตามค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตของโรงงานควบคุม

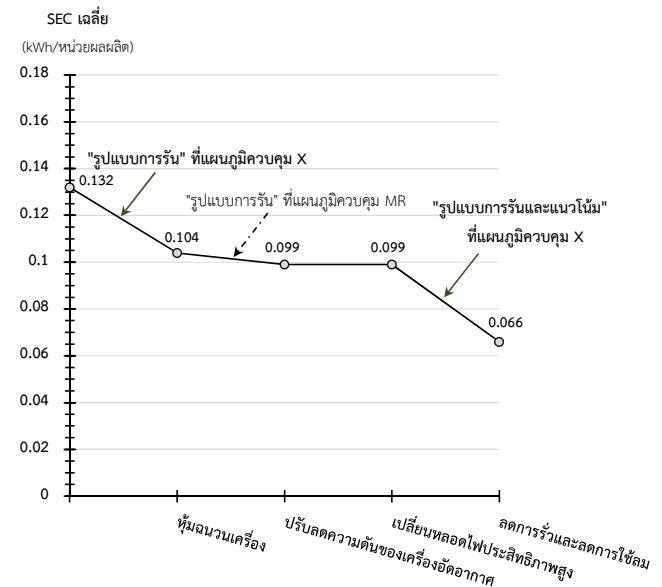
5) มาตรการลดการรั่วของเครื่องอัดอากาศดำเนินการในเดือนพฤศจิกายน (เดือนที่ 35) ของปีที่ 3 ทำให้ค่า SEC เฉลี่ยลดลงอย่างมีนัยสำคัญเพราะตรวจพบรูปแบบการรั้นครบ 8 จุดในเดือนที่ 42 (นั่นคือ เกิดการรั้นใต้เส้นกึ่งกลางของปีที่ 3) ดังนั้น ในปีที่ 4 ต้องคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม X-MR ใหม่ ผลการคำนวณค่า SEC เฉลี่ยพบว่าลดลงเท่ากับ 0.066 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อหน่วยผลผลิต ภายใต้ค่าพิสัยเคลื่อนไหวเฉลี่ยของค่า SEC ระหว่างเดือนลดลงเหลือ 0.006 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อหน่วยผลผลิต

6) มาตรการลดการใช้ลมอัดในการทำความสะดวกในเดือนมิถุนายน (เดือนที่ 42) ของปีที่ 4 ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าลดลงอย่างมีนัยสำคัญเพราะตรวจพบรูปแบบแนวโน้มครบ 6 จุดในเดือนที่ 45 นั่นคือ ในปีที่ 4 ต้องคำนวณขีดจำกัดควบคุมของแผนภูมิควบคุม X-MR ใหม่เช่นกันเพื่อใช้แผนภูมิควบคุมในการตรวจติดตามเพราะพบจุดเริ่มและจุดสิ้นสุดการเกิดรูปแบบในปีเดียวกัน

4. วิธีการตรวจติดตามผลการดำเนินการ

องค์ประกอบสำคัญของแผนอนุรักษ์พลังงานสำหรับการตรวจติดตามปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ผลิตในแต่ละเดือนเพื่อพิจารณาผลลัพธ์ของการจัดการพลังงานตามแผนอนุรักษ์พลังงานประกอบด้วย มาตรการอนุรักษ์พลังงานเป็นองค์ประกอบหลัก และรายละเอียดเพิ่มเติมอื่น (ประกอบด้วย วัตถุประสงค์ กรอบระยะเวลาในการดำเนินการ และผู้รับผิดชอบมาตรการ) ดังนั้น ผู้รับผิดชอบมาตรการต้องสามารถระบุช่วงเวลาในการปฏิบัติแต่ละมาตรการ รวมถึงค่าเป้าหมายของพลังงานที่ต้องการจะลดปริมาณการใช้พลังงานเพื่อการประเมินผลสัมฤทธิ์ของมาตรการที่กำหนดได้อย่างชัดเจนจากการเปรียบเทียบปริมาณพลังงานที่ใช้ระหว่างปีในอดีตและในปัจจุบันและเพื่อการคาดคะเนค่าการใช้ปริมาณพลังงานสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ในวงรอบปีถัดไป ส่งผลให้ผู้รับผิดชอบมาตรการสามารถรายงานผลลัพธ์ได้อย่างสม่ำเสมอให้กับคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานเพื่อการตรวจติดตามในแต่ละไตรมาสหรือรายเดือนตามกรอบระยะเวลาที่กำหนดได้ และใช้เป็นส่วนหนึ่งในการจัดทำรายงานผลการตรวจติดตามแผนอนุรักษ์พลังงาน ภายหลังจากการนำมาตรการฯ ไปปฏิบัติโดยพิจารณาแยกในแต่ละปีเพื่อ

นำเสนอผลลัพธ์จากการประหยัดพลังงานที่โรงงานควบคุมได้นำเสนอไว้ในมาตรการฯ โดยการวิเคราะห์ค่าขีดจำกัดควบคุมของการใช้พลังงานทั้งค่าเฉลี่ย (ประยุกต์แผนภูมิควบคุม X) และค่าการกระจายตัว (ประยุกต์แผนภูมิควบคุม MR) ที่ถูกต้องตัวอย่างกรณีศึกษาในโรงงานควบคุมตัวอย่างซึ่งกำหนด 5 มาตรการฯ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 มาตรการฯ ที่ส่งผลต่อค่า SEC

จากกราฟเส้นในรูปที่ 4 พบว่า มาตรการหุ้มฉนวนเครื่องของระบบการผลิตซึ่งมีสัดส่วนการใช้พลังงานมาก (พิจารณาตารางที่ 2 ระบบฯ ใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยร้อยละ 71.66) และมีรูปแบบการรั้นที่แผนภูมิควบคุม X จะส่งผลต่อค่า SEC เฉลี่ยให้ลดลงมาก ขณะที่มาตรการลดการรั่วและลดการใช้ลมของระบบอัดอากาศซึ่งมีสัดส่วนการใช้พลังงานน้อยกว่า (ระบบฯ ใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยร้อยละ 7.41) แต่ถ้ามีรูปแบบการรั้นที่แผนภูมิควบคุม X ก็จะมีผลต่อค่า SEC เฉลี่ยให้ลดลงได้มากเช่นกัน กล่าวคือ ค่า SEC เฉลี่ยของปริมาณการใช้พลังงานด้านไฟฟ้าภายในช่วงเวลา 4 ปีมีค่าลดลงมากเมื่อพบรูปแบบการรั้นและมีค่าลดลงเมื่อพบรูปแบบแนวโน้มที่แผนภูมิควบคุม X อีกทั้งในการตรวจติดตามมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่คณะทำงานฯ กำหนดตรวจพบ 4 มาตรการฯ เท่านั้น (ยกเว้นมาตรการฯ ที่ 3: มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟประสิทธิภาพสูง เพราะหลอดไฟที่ปรับเปลี่ยนมีปริมาณที่ไม่

มากพอ) ที่มีผลสัมฤทธิ์ในการอนุรักษ์พลังงานเพราะทำให้ขีดจำกัดควบคุมใหม่มีค่าที่ลดลง อีกทั้ง มาตรการอนุรักษ์พลังงานต้องทำให้เกิดความแปรผันที่ไม่ได้เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ (Assignable cause) หรือทำให้เกิดรูปแบบจึงจะทำให้ “ระดับการใช้พลังงานลดลง” อย่างมีนัยสำคัญตามหลักวิศวกรรม

5. การอภิปรายผล

การนำเสนอข้อมูลการใช้พลังงานในระดับองค์กรจะใช้กราฟเส้นแสดงการเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างปีปัจจุบันและปีก่อนหน้า แต่ถ้าโรงงานควบคุมประยุกต์แผนภูมิควบคุม X-MR ในระบบการจัดการพลังงานแล้วแผนภูมิควบคุมจะช่วยวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตในระดับองค์กรที่ลดลงได้ชัดเจนยิ่งขึ้นจากมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ฝ่ายบริหารอนุมัติ ซึ่งเป็นการพัฒนาวิธีการที่ช่วยระบุโอกาสของการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ [7,10] นั่นคือ ในงานวิจัยนี้ได้แสดงความใหม่ในการประยุกต์แผนภูมิควบคุมช่วยตรวจติดตามผลสัมฤทธิ์ของมาตรการฯ จากการเกิดรูปแบบ (Patterns) ภายในแผนภูมิควบคุมหรือการตรวจพบจุดที่ออกนอกขีดจำกัดควบคุม ซึ่งแตกต่างจากการประยุกต์แผนภูมิควบคุมทั่วไปที่ไม่ต้องการให้เกิดรูปแบบ (Patterns) ของข้อมูลจึงจะสรุปได้ว่ากระบวนการผลิตอยู่ในสภาวะควบคุม [9,11] กล่าวคือ เมื่อมาตรการฯ ทำให้เกิดรูปแบบการรันหรือแนวโน้มของค่า SEC ในทิศทางที่ลดลงและต่ำกว่าเส้นกึ่งกลางภายในแผนภูมิควบคุม X-MR แล้วค่า SEC เฉลี่ยจะมีค่าลดลงเนื่องจากมาตรการฯ ที่กำหนดมีนัยสำคัญต่อค่า SEC เฉลี่ย นั่นคือ คณะทำงานฯ พบว่า มาตรการอนุรักษ์พลังงานในระดับ 1 คือ การใช้ระบบปัจจุบันที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด แม้ว่ามาตรการฯ จะดูเหมือนให้ผลสัมฤทธิ์ต่อการอนุรักษ์พลังงานได้น้อยในระบบที่มีการใช้พลังงานไม่สูงมาก แต่ถ้าโรงงานควบคุมมีการประยุกต์แผนภูมิควบคุม X-MR ที่สามารถตรวจพบรูปแบบการรันหรือแนวโน้มภายในแผนภูมิควบคุมได้แล้วก็สามารถสรุปว่ามาตรการฯ ดังกล่าวที่ทำให้เกิดรูปแบบนั้นมีผลสัมฤทธิ์ต่อการอนุรักษ์พลังงานอย่างมีนัยสำคัญนอกจากนั้น ถ้าคณะทำงานฯ วิเคราะห์ช่วงระยะเวลาในการเกิดรูปแบบประกอบการพิจารณาแล้วแผนภูมิควบคุมยังจะช่วยสะท้อนความไวของมาตรการฯ เพิ่มขึ้น

6. สรุปผลการศึกษา

แผนภูมิควบคุมเป็นเครื่องมือที่ใช้หลักการทางสถิติช่วยสนับสนุนการจัดการพลังงานสำหรับคณะทำงานด้านการจัดการพลังงานในการตรวจติดตามสถานภาพของค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (SEC) ทุกเดือนจากผู้รับผิดชอบมาตรการที่รายงานผลการดำเนินงานตามมาตรการอนุรักษ์พลังงานกำหนดในแต่ละปี โดยการพิจารณารูปแบบภายในหลังดำเนินการตามแต่ละมาตรการฯ ที่เกิดขึ้นในแผนภูมิควบคุม X หรือแผนภูมิควบคุม MR ขณะที่การตรวจสอบการจัดการพลังงานแบบเดิมพิจารณาตามมาตรการฯ รวมทั้งหมดที่ส่งผลต่อค่าการใช้พลังงานหรือ SEC ต่อปีเท่านั้น ส่งผลให้คณะทำงานฯ ไม่สามารถประเมินถึงระดับของความแปรผันที่ลดลงว่าเกิดจากมาตรการฯ ไตมากที่สุดหรือน้อยที่สุดจากมาตรการฯ ที่แตกต่างกัน รวมถึงไม่สามารถประเมินว่าผลสัมฤทธิ์ดังกล่าวนี้เกิดขึ้นตั้งแต่เมื่อไหร่หรือเกิดผลสัมฤทธิ์ตั้งแต่เดือนไหน อย่างไรก็ตาม โรงงานควบคุมที่เพิ่มความถี่ในการรวบรวมข้อมูล เช่น รายสัปดาห์ รายวัน รายชั่วโมง เป็นต้นในการตรวจติดตามค่าการใช้พลังงานหรือ SEC มากขึ้นย่อมจะได้รับสารสนเทศของความแปรผันจากแผนภูมิควบคุมได้รวดเร็วกว่าเดิม

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิจัยและพัฒนาขีดความสามารถในการแข่งขันด้านวิศวกรรมและเทคโนโลยี ม.เกษตรศาสตร์ สำหรับข้อมูลการตรวจสอบและรับรองฯ ด้านการอนุรักษ์พลังงาน

เอกสารอ้างอิง

- [1] สิทธิกุล ฉายาภูธร, จิรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์. การเปรียบเทียบระบบการจัดการพลังงานสำหรับโรงงานผลิตวงจรอิเล็กทรอนิกส์. *วารสารวิจัยพลังงาน*. 2555; 9(3): 13-23.
- [2] ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการดำเนินการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552. (2552, 26 ตุลาคม). ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 126, ตอนพิเศษ 157 ง.
- [3] พระราชกฤษฎีกา กำหนดโรงงานควบคุม พ.ศ. 2540. (2540, 19 มีนาคม). ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 114, ตอนที่ 6 ก.

- [4] ประกาศกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน เรื่อง การกำหนดประเภทและขนาดโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมที่ผู้ได้รับใบอนุญาตดำเนินการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานในรอบปี 2558. (2558, 23 ธันวาคม และ 2559, 9 กุมภาพันธ์).
- [5] ประกาศกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน เรื่อง การกำหนดประเภทและขนาดโรงงานควบคุมและอาคารควบคุมที่ผู้ได้รับใบอนุญาตดำเนินการตรวจสอบและรับรองการจัดการพลังงานตั้งแต่วรอบปี 2560. (2560, 1 กันยายน).
- [6] กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552. (2552, 23 กรกฎาคม). ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 126, ตอนที่ 47 ก.
- [7] Tanaka K. Review of policies and measures for energy efficiency in industry sector. *Energy Policy*. 2011; 39(10): 6532-6550.
- [8] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. *เกร็ดความรู้การอนุรักษ์พลังงานสำหรับผู้บริหาร*. พิมพ์ครั้งที่ 1: 2550.
- [9] ศุภชัย นาทะพันธ์. *การควบคุมคุณภาพ*. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดยูเคชั่น; 2551.
- [10] Giaccone E, Mancò S. Energy efficiency measurement in industrial processes. *Energy*. 2012; 38(1): 331-345.
- [11] De la Torre-Gutiérrez H, Pham D. A control chart pattern recognition system for feedback-control processes. *Expert Systems with Applications*. 2019; 138: 112826.