การประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติเพื่อการตรวจติดตามผลการอนุรักษ์พลังงาน

AN APPLICATION OF STATISTIC TOOLS FOR ENERGY SAVINGS MONITORING

เบญจวรรณ นิรมิตวสุ[1], จันทนา จันทโร[2] และ ไชยะ แซ่มซ้อย[3]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติในการตรวจติดตามการใช้พลังงาน แสดงให้เห็นถึงผลประหยัดที่เกิดจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน และประเมินประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม เครื่องมือทางสถิติที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ แผนภูมิการกระจาย (scatter diagram) และแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (cumulative sum control chart หรือ CUSUM control chart) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า และปริมาณผลผลิตของโรงงานควบคุมตัวอย่างจำนวน 34 โรงงาน คือ มีจำนวนโรงงานที่มีผลประหยัดหรือมีความชันของแผนภูมิควบคุมสะสมเป็นลบทั้งสิ้น 21 โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 61.76 ของจำนวนโรงงานตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ และอีก 13 โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 38.24 ที่มีความชันของแผนภูมิควบคุมสะสมเป็นบวกหรือไม่มีผลประหยัดพลังงาน ในจำนวน 21 โรงงานที่มีผลประหยัดมีร้อยละผลประหยัดเฉลี่ย 7.52 เมื่อพิจารณาเฉพาะโรงงานที่มีร้อยละผลประหยัดตั้งแต่ร้อยละ 5 ขึ้นไป พบว่ามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีความถี่ในการจัดทำมากที่สุด 3 อันดับแรก คือ 1) การกำหนดเวลาเปิด – ปิดที่เหมาะสม 2) การใช้สวิตช์ควบคุมการปิด – เปิด 3) บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์

นอกจากแสดงให้เห็นถึงผลประหยัดจากการอนุรักษ์พลังงานแล้ว วิธีการในงานวิจัยนี้ยังสามารถใช้ในการกำหนดเป้าหมายในการอนุรักษ์พลังงานของโรงงานได้ด้วย การจัดการพลังงานที่ดี โดยการตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานอย่างเหมาะสม เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมได้

คำสำคัญ : การตรวจติดตามการใช้พลังงาน, แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม, การใช้สถิติเพื่อควบคุมกระบวนการผลิต, การจัดการพลังงาน

Abstract

The objective of this paper is to show how to apply statistic tools for monitoring energy used, represent energy savings from energy conservation plan and evaluate energy performance in designated factories. The statistic tools that used in this paper are scatter diagram and cumulative sum control chart (CUSUM control chart). After analyzed electric energy and production from 34 factories found that there are 21 factories or 61.76 percent that CUSUM control charts have negative slopes which mean they have energy-saving. The others 13 factories or 38.42 percent have positive slopes on CUSUM control charts which mean they lack energy-saving. The amounts of 21 factories that have energy-saving, have average percentage of savings 7.52. When considering specific factories that have percentage of saving five or more, there are three conservation plans mostly used 1) determination of proper opening – closing times 2) using switch to control opening – closing times 3) using electronic ballast with fluorescent lamp.

More over, the approach in this paper also can be used for targeting energy use in designated factories. Good energy management by energy monitoring and targeting is one of techniques to reduce energy cost in factories.

Keywords: energy monitoring, CUSUM chart, Statistical Process Control, energy management

---

[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[2] วิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[3] ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. บทนำ

พลังงานเป็นหนึ่งในทรัพยากรที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิต ซึ่งในปัจจุบันแหล่งพลังงานส่วนมากเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้แล้วหมดสิ้นไป การอนุรักษ์พลังงานจึงเป็นที่สนใจและมีความสำคัญต่อทุกองค์กร เพราะนอกจากเป็นการรักษาทรัพยากรธรรมชาติแล้วยังถือเป็นการลดต้นทุนด้านพลังงานและเพิ่มกำไรให้กับองค์กรด้วย

การตรวจติดตามการใช้พลังงาน (energy monitoring) เป็นเทคนิคในการบริหารจัดการพลังงานเบื้องต้น โดยอาศัยข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานเพื่อควบคุมระดับการใช้พลังงานให้เป็นไปตามความเหมาะสม [1] รวมไปถึงใช้ในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการผลิตเดิมที่มีอยู่ให้ดีขึ้น หน่วยงานที่มีระบบการจัดการพลังงานที่ดีจะทำให้สามารถลดต้นทุนการใช้พลังงานได้ประมาณร้อยละ 5-20 ของปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมด [1,2]

แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (cumulative sum control chart: CUSUM chart) เป็นเครื่องมือทางสถิติที่แสดงผลรวมสะสมของความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยข้อมูลกับค่าพิกัดเป้าหมายที่กำหนด ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจติดตามการใช้พลังงาน เนื่องจาก CUSUM chart มีความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลง แม้มีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้พลังงานเพียงเล็กน้อย [3,4] และสามารถบอกถึงปริมาณพลังงานที่ประหยัดหรือสูญเสียได้ด้วย [1]

งานวิจัยนี้ได้นำเอา CUSUM chart มาประยุกต์ใช้ในการตรวจติดตามการใช้พลังงาน โดยอาศัยข้อมูลการใช้พลังงานจริงของโรงงาน ซึ่งผู้รับผิดชอบทางด้านพลังงานในโรงงานสามารถนำไปใช้ตรวจติดตามการใช้พลังงาน เพื่อใช้กำหนดเป้าหมายและดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล

2. วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนในการตรวจติดตามผลการอนุรักษ์พลังงาน มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 รวมรวมข้อมูลปริมาณผลผลิตและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือน

ขั้นตอนที่ 2 สร้างแผนภาพการกระจายระหว่างปริมาณการผลิตและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 3 หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการผลิตและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในรูปแบบสมการเส้นตรง

ขั้นตอนที่ 4 นำสมการเส้นตรงในขั้นตอน 3 ใช้เป็นสมการฐานอ้างอิง และคำนวณปริมาณพลังงานที่ควรจะเป็นจากสมการฐานอ้างอิง

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณผลต่างระหว่างพลังงานที่ควรจะเป็น และพลังงานที่ใช้จริง

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณผลต่างสะสม

ขั้นตอนที่ 7 สร้างแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม

ขั้นตอนที่ 8 วิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงาน และผลประหยัดจากการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานจากแผนภูมิ

โดยรายละเอียดในแต่ละขั้นตอน แสดงในตัวอย่างต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 รวมรวมข้อมูลปริมาณผลผลิตและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือน โดยมีเกณฑ์ในการคัดเลือกข้อมูลเพื่อใช้ในการวิจัย ดังนี้

ก) มีข้อมูลปริมาณผลผลิต และปริมาณพลังงานไฟฟ้ารายเดือน ติดต่อกันตั้งแต่ 18 เดือนขึ้นไป

ข) มีการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

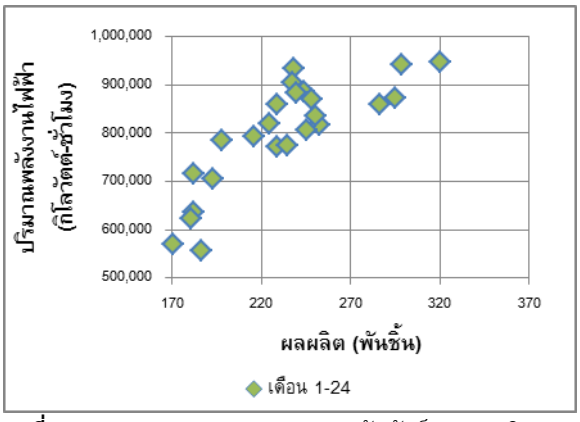
โดยมากข้อมูลปริมาณผลผลิตและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จะนิยมจัดเรียงไว้ในรูปแบบตาราง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลปริมาณการผลิต และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในรอบ 24 เดือนต่อเนื่อง ของโรงงานควบคุมแห่งหนึ่ง

เดือน	ผลผลิต (พันชิ้น)	ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	เดือน	ผลผลิต (พันชิ้น)	ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
1	228.65	859,000	13	170.88	570,000
2	197.70	785,000	14	180.61	623,000
3	244.03	886,000	15	181.81	716,000
4	192.57	705,000	16	186.63	556,000
5	248.29	870,000	17	234.46	775,000
6	238.50	934,000	18	252.28	816,000
7	237.34	906,000	19	245.22	807,000

เดือน	ผลผลิต (พันชิ้น)	ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	เดือน	ผลผลิต (พันชิ้น)	ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
8	239.40	885,000	20	250.52	835,000
9	224.61	819,000	21	286.63	860,000
10	216.05	792,000	22	320.37	949,000
11	229.01	771,000	23	298.78	942,000
12	182.22	635,000	24	295.05	874,000

ขั้นตอนที่ 2 นำข้อมูลจากขั้นตอนที่ 1 มาสร้างเป็นแผนภาพการกระจายระหว่างปริมาณการผลิตและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณการผลิต

ขั้นตอนที่ 3 หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการผลิตและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในรูปแบบสมการเส้นตรง

สมการเส้นตรงมีรูปแบบทั่วไป [5] ดังสมการที่ 1

$$y = mx + c \qquad (1)$$

เมื่อ y: ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ – ชั่วโมง)

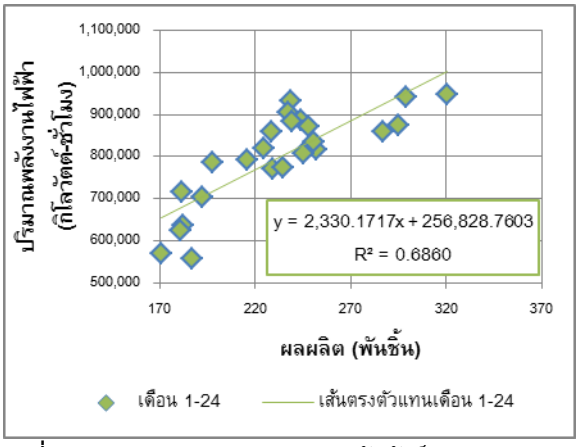
x: ปริมาณผลผลิตรายเดือน (หน่วย)

m: ความชันของเส้นตรง (พลังงานที่ต้องใช้เมื่อทำการผลิตหนึ่งหน่วย หรือ productive dependent energy consumption: PEC)

c: ค่าคงที่และจุดตัดแกน y (พลังงานที่ใช้ในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการผลิต หรือ unproductive energy consumption: UEC)

ค่า R^2 (สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ) ที่ได้จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ มีค่าระหว่าง 0-1 แสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของข้อมูล ถ้า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 สมการเส้นตรงที่ได้ จะนำไปใช้ในการควบคุม การตั้งค่าเป้าหมาย และประเมินผลลัพธ์ได้แม่นยำมากขึ้น

ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการผลิตและปริมาณการใช้พลังงานแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณการผลิตและสมการความสัมพันธ์

สมการที่ปรากฏในรูปที่ 2 เป็นสมการเส้นตรงที่ใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูล คือ

$$y = 2{,}330.1717x + 256{,}828.7603 \qquad (2)$$

เมื่อ y คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ซึ่งแปรตามผลผลิต (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

x คือ ปริมาณผลผลิตรายเดือน (พันชิ้น)

สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร x หมายถึง พลังงานที่ต้องใช้เมื่อทำการผลิตหนึ่งหน่วย (Productive dependent Energy Consumption: PEC) ซึ่งสำหรับสมการนี้ ค่าสัมประสิทธิ์มีค่า 2,330.17 แสดงว่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้เมื่อทำการผลิตหนึ่งหน่วยเท่ากับ 2,330.17 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

ส่วนค่าคงที่ หมายถึง ปริมาณพลังงานที่ใช้ในส่วนที่ไม่ขึ้นกับปริมาณการผลิต (Unproductive Energy Consumption: UEC) ซึ่งอาจหมายถึงพลังงานที่

จำเป็นต้องใช้ เช่น แสงสว่าง ระบบทำความเย็นในคลังสินค้า ฯลฯ และพลังงานที่สูญเปล่าโดยไม่มีความจำเป็น เช่น การรั่วของเครื่องอัดอากาศ การเดินเครื่องจักรเปล่า ฯลฯ ซึ่งสำหรับสมการนี้ ค่าคงที่เท่ากับ 256,828.76 หมายถึงค่าพลังงานในส่วนที่ไม่เกี่ยวข้องกับการผลิตมีค่าคงที่ 256,828.76 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

จากข้อมูลในตารางที่ 1 พบว่าปริมาณผลผลิตเฉลี่ยทั้ง 24 เดือน คือ 232.57 พันชิ้น เมื่อนำมาแทนค่าในสมการที่ 2 จะได้พลังงานไฟฟ้าหรือค่า y เท่ากับ 798,750.00 กิโลวัตต์-ชั่วโมง เปรียบเทียบกับ UEC แล้ว UEC หรือพลังงานที่ใช้ในส่วนที่ไม่ขึ้นกับปริมาณการผลิต คิดเป็นร้อยละ 32.15 ของการใช้พลังงานทั้งหมด

จากการหาความสัมพันธ์เชิงเส้น ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจหรือ $R^2 = 0.686$ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวอยู่นอกเส้นแนวโน้มมาก เป็นสัญญาณบ่งบอกว่า ภายในเวลา 24 เดือนที่ผ่านมานั้นมีการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงานในการผลิต

ขั้นตอนที่ 4 ถึงขั้นตอนที่ 6 นำสมการเส้นตรงในขั้นตอน 3 ใช้เป็นสมการฐานอ้างอิง คำนวณปริมาณพลังงานที่ควรจะเป็นจากสมการฐานอ้างอิง (y_i), ผลต่างระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงกับพลังงานที่คำนวณได้ (D_i) ค่าผลต่างสะสมของแต่ละเดือน (Q_i) ทั้งหมดไปไปสร้างเป็นแผนภูมิเชิงเส้น โดยให้แกน x เป็นแกนเวลา (เดือน) แกน y เป็นแกนของ CUSUM (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) มีสูตรที่ใช้ในการคำนวณ [6] ดังนี้

$$D_i = A_i - y_i \quad (3)$$

$$Q_i = \sum_{i=1}^{j} D_i \quad (4)$$

เมื่อ A_i: พลังงานในเดือนที่ i (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

y_i: พลังงานไฟฟ้าที่ได้จากสมการเส้นตรงที่ใช้เป็นฐานอ้างอิงในเดือนที่ i (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

D_i: ผลต่างระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงกับพลังงานที่คำนวณได้จากสมการเส้นตรงในเดือนที่ i (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

Q_i: ผลต่างสะสม (CUSUM) ตั้งแต่เดือนที่ 1 ถึงเดือนที่ i (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

x_i: ปริมาณผลผลิตในเดือนที่ i (หน่วย)

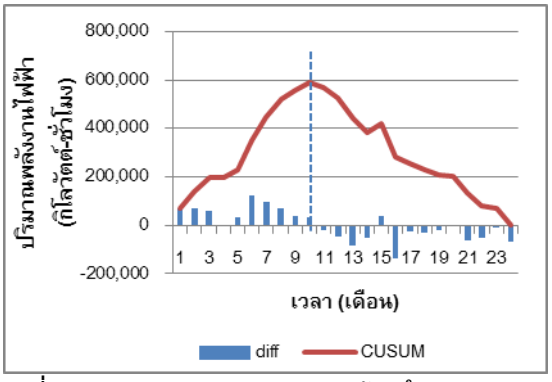
i: เดือนที่ต้องการวิเคราะห์การใช้พลังงาน (i = 1, 2, …, j)

การคำนวณแสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์ผลต่าง และผลต่างสะสมจากข้อมูล 24 เดือน

เดือน i	ผลผลิต (พันชิ้น) x_i	ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) A_i	ปริมาณพลังงานที่คำนวณจากเส้นฐาน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) y_i	ผลต่าง diff (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) D_i	ผลต่างสะสม CUSUM (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) Q_i
1	228.65	859,000	789,622.52	69,377.48	69,377.48
2	197.70	785,000	717,503.71	67,496.29	136,873.78
3	244.03	886,000	825,460.56	60,539.44	197,413.21
4	192.57	705,000	705,549.92	-549.92	196,863.29
5	248.29	870,000	835,387.09	34,612.91	231,476.20
6	238.50	934,000	812,574.71	121,425.29	352,901.49
7	237.34	906,000	809,871.71	96,128.29	449,029.78
8	239.40	885,000	814,671.87	70,328.13	519,357.91
9	224.61	819,000	780,208.63	38,791.37	558,149.29
10	216.05	792,000	760,262.36	31,737.64	589,886.93
11	229.01	771,000	790,461.38	-19,461.38	570,425.55
12	182.22	635,000	681,432.65	-46,432.65	523,992.90
13	170.88	570,000	655,008.50	-85,008.50	438,984.40
14	180.61	623,000	677,681.07	-54,681.07	384,303.33
15	181.81	716,000	680,477.28	35,522.72	419,826.05
16	186.63	556,000	691,708.70	-135,708.70	284,117.35
17	234.46	775,000	803,160.82	-28,160.82	255,956.53
18	252.28	816,000	844,684.48	-28,684.48	227,272.05
19	245.22	807,000	828,233.46	-21,233.46	206,038.59
20	250.52	835,000	840,583.37	-5,583.37	200,455.21
21	286.63	860,000	924,725.87	-64,725.87	135,729.34
22	320.37	949,000	1,003,345.87	-54,345.87	81,383.47
23	298.78	942,000	953,037.46	-11,037.46	70,346.01
24	295.05	874,000	944,345.92	-70,345.92	0.09

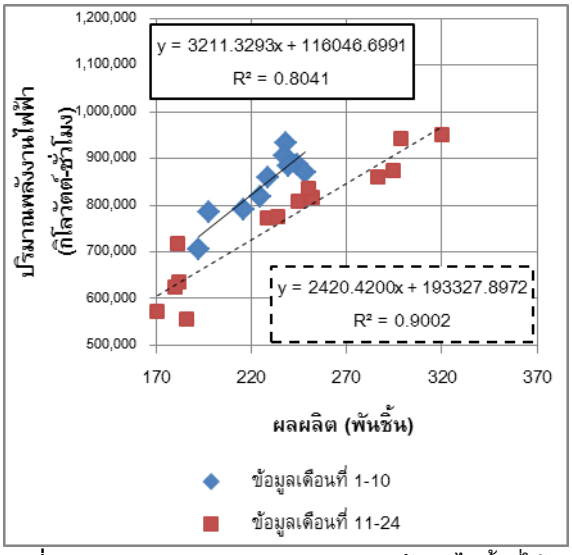
ขั้นตอนที่ 7 สร้างแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมจากข้อมูลผลต่าง และผลต่างสะสมในตารางที่ 2 ได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมของข้อมูลในช่วงเวลาต่อเนื่องกัน 24 เดือน

ขั้นตอนที่ 8 ทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานและผลประหยัดจากการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานจากแผนภูมิ จากรูปที่ 3 จะเห็นได้ชัดว่ามีการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่เกิดขึ้น ในช่วงเดือนที่ 11-12 สังเกตได้จากความชันของแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมในช่วงเดือนที่ 1-10 ความชันของกราฟเป็นบวก แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำกว่าค่าฐานอ้างอิง และตั้งแต่เดือนที่ 11 เป็นต้นไปเส้นกราฟจะมีความชันเป็นลบ แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีขึ้นเมื่อเทียบกับเส้นฐานอ้างอิง โดยในระหว่างช่วงเดือน 11 ถึง 24 มีความผิดปกติเกิดขึ้นในเดือนที่ 15 เพราะมีปริมาณการใช้พลังงานมากขึ้นอย่างผิดปกติ ซึ่งต้องติดตามหาสาเหตุต่อไป

จากผลการวิเคราะห์เบื้องต้นที่เกิดขึ้นทำให้สามารถวิเคราะห์ต่อได้โดยใช้การวิเคราะห์แบบเทียบพฤติกรรม (activity based) เป็นการวิเคราะห์เพื่อให้เห็นถึงผลกระทบที่แท้จริงว่ามีปริมาณการใช้พลังงานในช่วงที่ดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานเป็นอย่างไร ซึ่งจะทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 - 8 ข้างต้น ต่างกันเพียงข้อมูลที่จะนำมาคิดเป็นสมการฐานอ้างอิง โดยจะทำการเลือกข้อมูลในช่วงก่อนทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานอย่างน้อย 6 เดือนมาใช้ในการคำนวณสมการฐานอ้างอิง โดยในที่นี้ใช้ข้อมูลเดือนที่ 1-10 เพื่อสร้างแผนภาพการกระจายและสมการเส้นฐานอ้างอิง เนื่องจากมีการจัดทำมาตรการในเดือนที่ 10 ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 แผนภูมิการกระจายระหว่างปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้และปริมาณผลผลิต โดยแยกข้อมูลเป็นเดือนที่ 1-10 และเดือนที่ 11-24

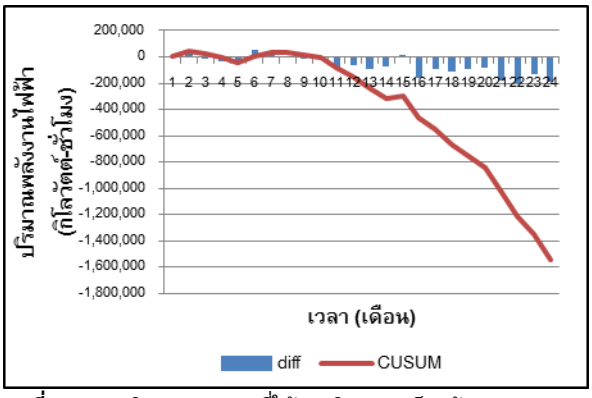
จากรูปที่ 4 จะได้สมการความสัมพันธ์ของข้อมูลเดือนที่ 1-10 ดังสมการที่ 5 โดยที่มีสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ $R^2 = 0.8041$

$$y = 3211.3293x + 116046.6991 \quad (5)$$

นำสมการที่ 5 ไปเป็นสมการเส้นฐานอ้างอิงเพื่อสร้างเป็นแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม โดยรายละเอียดการวิเคราะห์ข้อมูล และแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมแสดงดังตารางที่ 3 และรูปที่ 5

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ผลต่าง และผลต่างสะสมแบบฐานกิจกรรม (activity based)

เดือน i	ผลผลิต (พันชิ้น) x_i	ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) A_i	ปริมาณพลังงานที่คำนวณจากเส้นฐาน (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) y_i	ผลต่าง diff (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) D_i	ผลต่างสะสม CUSUM (กิโลวัตต์-ชั่วโมง) Q_i
1	228.65	859,000.00	850,317.14	8,682.86	8,682.86
2	197.70	785,000.00	750,926.50	34,073.50	42,756.35
3	244.03	886,000.00	899,707.39	-13,707.39	29,048.97
4	192.57	705,000.00	734,452.38	-29,452.38	-403.42
5	248.29	870,000.00	913,387.65	-43,387.65	-43,791.07
6	238.50	934,000.00	881,948.74	52,051.26	8,260.20
7	237.34	906,000.00	878,223.60	27,776.40	36,036.60
8	239.40	885,000.00	884,838.93	161.07	36,197.67
9	224.61	819,000.00	837,343.37	-18,343.37	17,854.29
10	216.05	792,000.00	809,854.39	-17,854.39	-0.10
11	229.01	771,000.00	851,473.22	-80,473.22	-80,473.32
12	182.22	635,000.00	701,215.12	-66,215.12	-146,688.45
13	170.88	570,000.00	664,798.65	-94,798.65	-241,487.10
14	180.61	623,000.00	696,044.88	-73,044.88	-314,531.98
15	181.81	716,000.00	699,898.48	16,101.52	-298,430.46
16	186.63	556,000.00	715,377.09	-159,377.09	-457,807.55
17	234.46	775,000.00	868,974.97	-93,974.97	-551,782.51
18	252.28	816,000.00	926,200.85	-110,200.85	-661,983.37
19	245.22	807,000.00	903,528.87	-96,528.87	-758,512.24
20	250.52	835,000.00	920,548.92	-85,548.92	-844,061.15
21	286.63	860,000.00	1,036,510.02	-176,510.02	-1,020,571.17
22	320.37	949,000.00	1,144,860.27	-195,860.27	-1,216,431.44
23	298.78	942,000.00	1,075,527.67	-133,527.67	-1,349,959.10
24	295.05	874,000.00	1,063,549.41	-189,549.41	-1,539,508.51



รูปที่ 5 แผนภูมิควบคุมสะสมที่ใช้ฐานกิจกรรมเป็นเส้นฐานอ้างอิง (activity based)

จากรูปที่ 5 จะแสดงให้เห็นถึงผลประหยัดสะสมตั้งแต่เริ่มทำกิจกรรมอนุรักษ์พลังงาน โดยเริ่มตั้งแต่เดือนที่ 11 เป็นต้นมา มีผลประหยัดพลังงานไฟฟ้ารวมถึงมากกว่า 1,5000,000 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

จากนั้นทำการคำนวณร้อยละของผลประหยัดเมื่อเทียบกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ ซึ่งจะบอกได้ว่าเกิดการประหยัดพลังงานไปเท่าไรเมื่อเทียบกับปริมาณการใช้พลังงานก่อนการจัดทำมาตรการ โดยคำนวณจากสูตรในสมการที่ 6

$$\%saving = \frac{C_y}{E_y} \times 100 \qquad (6)$$

เมื่อ *%saving* : ร้อยละผลประหยัด

C_y : ผลต่างสะสมรายปี (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

E_y : ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้รายปี (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)

ในตัวอย่างโรงงานนี้ทำการคำนวณร้อยละผลประหยัดได้เท่ากับ 10.25

3. ผลการวิจัย

ในเบื้องต้นมีข้อมูลโรงงานทั้งสิ้น 100 โรงงาน เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์การคัดเลือกข้อมูลในขั้นตอนที่ 1 พบว่ามีโรงงานที่ผ่านเกณฑ์ทั้งสิ้น 34 โรงงาน และโรงงานส่วนมากจะมีข้อมูลการอนุรักษ์พลังงาน 1-2 มาตรการ รายละเอียดดังตารางที่ 4 และตารางที่ 5

ตาราง 4 การพิจารณาข้อมูลด้วยเกณฑ์การคัดเลือกข้อมูลเบื้องต้น

ข้อมูล	จำนวน (โรงงาน)	
ข้อมูลทั้งหมด	100	
มีข้อมูล 18 เดือนติดต่อกันขึ้นไป	49	
มีข้อมูล 18 เดือนติดต่อกันขึ้นไปและมีมาตรการ		**34**
มีข้อมูล 18 เดือนติดต่อกันขึ้นไปแต่ไม่มีมาตรการ		15
มีข้อมูลน้อยกว่า 18 เดือนต่อเนื่อง	51	

ตาราง 5 พิจารณาโรงงานที่มีข้อมูล 18 เดือนขึ้นไปและมีการจัดทำมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

จำนวนข้อมูล (เดือน)	จำนวนมาตรการ (มาตรการ)							รวม (โรงงาน)
	1	2	3	4	5	6	7	
18	3	1	3	2	-	-	1	10
24	5	7	2	-	1	-	-	15
30	1	2	-	-	-	-	-	3
36	2	3	1	-	-	-	-	6
รวม (โรงงาน)	11	13	6	2	1	0	1	34

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของโรงงานตัวอย่างทั้งสิ้นจำนวน 34 โรงงาน พบว่ามีโรงงานที่มีผลการประหยัดพลังงานหรือแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมมีความชันเป็นลบ (-) ทั้งสิ้น 21 โรงงาน และอีก 13 โรงงาน แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมมีความชันเป็นบวก (+) หรือไม่มีผลการประหยัดพลังงาน จำนวนมาตรการอนุรักษ์พลังงานเฉลี่ยที่ทั้ง 34 โรงงานได้มีการจัดทำคือ 2 มาตรการ ข้อมูลปริมาณพลังงานและปริมาณผลผลิตเฉลี่ยที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ของแต่ละโรงงานคือ 24 เดือน ดังแสดงในตารางที่ 6 และจำนวนโรงงานในแต่ละช่วงของร้อยละผลประหยัดแสดงในตารางที่ 7

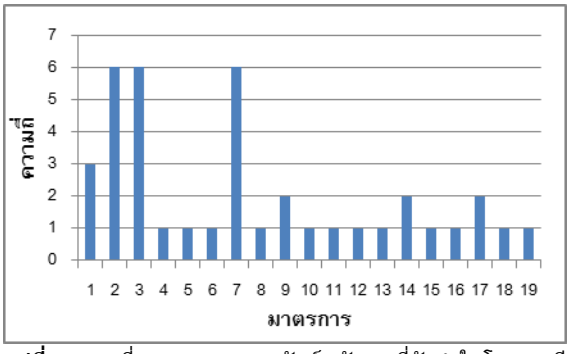
ตารางที่ 6 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

โรงงานที่ทำการวิเคราะห์ทั้งหมด (โรงงาน)	34
โรงงานที่มีผลการประหยัด (โรงงาน)	21
โรงงานที่ไม่มีผลการประหยัด (โรงงาน)	13
จำนวนมาตรการอนุรักษ์พลังงานเฉลี่ย (มาตรการ)	2
จำนวนช่วงข้อมูลเฉลี่ย (เดือน)	24

ตารางที่ 7 จำนวนโรงงานในแต่ละช่วงของร้อยละผลประหยัด

ร้อยละผลประหยัด	จำนวน	
	โรงงาน	%
0.00-3.00	5	23.81
3.01-5.00	4	19.04
5.01-10.00	5	23.81
10.01 ขึ้นไป	7	33.34
รวม	21	100.00

ในจำนวน 21 โรงงานเมื่อทำการพิจารณาเฉพาะโรงงานที่มีร้อยละผลประหยัดเฉลี่ยตั้งแต่ร้อยละ 5 ขึ้นไปจำนวน 12 โรงงาน พบว่ามีรายการมาตรการที่จัดทำทั้งสิ้น 19 มาตรการ มาตรการที่มีความถี่ในการจัดทำสูงสุด 3 มาตรการคือ การกำหนดเวลาเปิด-ปิดที่เหมาะสม, การใช้สวิตช์ควบคุมการปิด-เปิด และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ความถี่ของมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่จัดทำในโรงงานที่มีร้อยละของผลประหยัดตั้งแต่ร้อยละ 5 ขึ้นไป

โดยที่มาตรการที่ 1 – มาตรการที่ 19 ในรูปที่ 6 หมายถึง

มาตรการ 1 การลดการรั่วไหลของอากาศอัด
มาตรการ 2 บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์
มาตรการ 3 การกำหนดเวลาเปิด-ปิดที่เหมาะสม
มาตรการ 4 การดัดแปลงระบบท่อส่งจ่ายลมอัด
มาตรการ 5 มาตรการที่เกี่ยวข้องกับหลังคา และช่องเปิดบนหลังคา (หลังคาโปร่งแสง)
มาตรการ 6 การบำรุงรักษาที่เหมาะสม
มาตรการ 7 การใช้สวิตช์ควบคุมการปิด-เปิด
มาตรการ 8 ลดจำนวนวัตต์ของหลอดไฟฟ้า
มาตรการ 9 การใช้เครื่องปรับอากาศชุดใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง (High EER) ทดแทนชุดเดิม
มาตรการ 10 มาตรการเพิ่มประสิทธิภาพในการให้ความร้อนด้วยไฟฟ้าในรูปแบบอื่น ๆ
มาตรการ 11 การใช้ระบบปรับความเร็วรอบ (VVF) กับมอเตอร์พัดลมระบายอากาศ
มาตรการ 12 การใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ประสิทธิภาพสูง
มาตรการ 13 มาตรการการใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์ประสิทธิภาพสูงอื่นๆที่ไม่สามารถจัดอยู่ในกลุ่มอื่นได้
มาตรการ 14 การยกเลิกการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่จำเป็น
มาตรการ 15 ลดจำนวนหลอดไฟฟ้า
มาตรการ 16 มาตรการด้านการจัดการ
มาตรการ 17 การปรับความเร็วรอบของอุปกรณ์ให้เหมาะสม
มาตรการ 18 การใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์แทนหลอด HID
มาตรการ 19 มาตรการการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)

4. สรุปผลงานวิจัย

ภายหลังการนำเอาเครื่องมือทางสถิติคือแผนภาพการกระจาย และแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมมาใช้ในการตรวจติดตามผลการอนุรักษ์พลังงานของโรงงานแล้ว พบว่ามีจำนวนโรงงานที่มีผลประหยัดหรือมีความชันของแผนภูมิควบคุมสะสมเป็นลบทั้งสิ้น 21 โรงงาน คิดเป็นร้อยละ 61.76 ของจำนวนโรงงานตัวอย่างที่นำมาวิเคราะห์ และอีกร้อยละ 38.24 หรือ 13 โรงงานมีความชันของแผนภูมิควบคุมสะสมเป็นลบหรือไม่มีผลประหยัดพลังงาน

เมื่อพิจารณาเฉพาะโรงงานที่มีร้อยละผลประหยัดตั้งแต่ร้อยละ 5 ขึ้นไปพบว่ามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีความถี่ในการจัดทำมากที่สุด 3 อันดับแรก คือ มาตรการการกำหนดเวลาเปิด – ปิดที่เหมาะสม, มาตรการการใช้สวิตช์ควบคุมการปิด – เปิด และมาตรการบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์

ในการใช้งานแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมเพื่อการติดตามผลการอนุรักษ์พลังงานนั้น สมการอ้างอิงที่ใช้ควรทำการเปลี่ยนแปลงตามสถานการณ์ตลอดเวลา เช่น เมื่อมีการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานมาตรการใหม่ควรใช้ฐานอ้างอิงเป็นช่วงเวลาก่อนที่จะเริ่มดำเนินการตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อที่จะทำให้ทราบว่ามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการไปนั้น สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานได้เท่าไร หากช่วงแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมมีการเปลี่ยนแปลงความชันจากเดิมไปมาก ทั้งที่มีพฤติกรรมการใช้พลังงานปกติ และไม่มีการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงาน หรือติดตั้งเครื่องจักรใหม่แล้ว ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานควรทำการตรวจสอบหาสาเหตุ และทำการแก้ไขอย่างเร่งด่วน

นอกจากแสดงให้เห็นถึงผลประหยัดจากการอนุรักษ์พลังงานแล้ว วิธีการในงานวิจัยนี้ยังสามารถใช้ในการกำหนดเป้าหมายในการอนุรักษ์พลังงานของโรงงานได้อีกด้วย โดยการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานจากสมการฐานอ้างอิง เช่น ต้องการลดการใช้พลังงานลงร้อยละ 5 ในปีถัดไป

การจัดการพลังงานที่ดี โดยการตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานอย่างเหมาะสม เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ช่วยให้โรงงานอุตสาหกรรมสามารถประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บรรณานุกรม

[1].Bureau of Energy Efficiency (BEE). 2005. “Chapter 8 Energy Monitoring and Targeting” in General Aspects of Energy Management and Energy Audit. pp. 172-183. India.

[2].Paul K. Martin. 1993. Energy and Environment Management Information Systems. Applied Energy. 44: 175-183.

[3].ไชยะ แซ่มช้อย. 2553. การใช้ข้อมูลเชิงสถิติเพื่อการกำหนดเป้าหมายและการตรวจสอบสัมฤทธิ์ผลการอนุรักษ์พลังงาน. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[4].Vinod. S. Puranik. 2007. CUSUM Quality Control Chart for Monitoring Energy Use Performance. Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. pp. 1231-1235. Singapore.

[5].อภิวันท์ พัฒนสุขเกษม. *2548.* แผนภูมิควบคุมคุณภาพสำหรับการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงค่าของกระบวนการ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.