การศึกษาประสิทธิภาพและตรวจติดตามการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม

Energy Efficiency Studies and Monitoring of The Designated Factories

พัชรมาศ นุ่มดี[1], จันทนา จันทโร[2] และ ไชยะ แช่มช้อย[3]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานตามแนวทาง การจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมในกลุ่มอุตสาหกรรม 4 กลุ่ม ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม (TSIC 31) อุตสาหกรรมสิ่งทอ (TSIC 32) อุตสาหกรรมกระดาษ (TSIC 34) และ อุตสาหกรรมเคมี (TSIC 35) โดยสร้างสมการเชิงเส้นแบบง่ายแสดงความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตในแต่ละอุตสาหกรรม คำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) และตรวจติดตามการใช้พลังงาน โดยประยุกต์ใช้หลักการทางสถิติ คือ กราฟ CUSUM ซึ่งแสดงให้เห็นช่วงที่มีการใช้พลังงานผิดปกติ ในกระบวนการผลิต ผลที่ได้รับจากงานวิจัยนี้ คือ ได้สมการตัวแทนการใช้พลังงานและค่า SEC ของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมย่อย ซึ่งค่า SEC นี้จะใช้เป็นค่าอ้างอิงเพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีลักษณะการผลิตใกล้เคียงกัน นอกจากนี้จากกราฟ CUSUM แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการใช้พลังงาน ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพต่อไป

คำสำคัญ : ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ, ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน, กราฟ CUSUM, การจัดการพลังงาน

Abstract

The objective of this research is to analyze the energy efficiency of the designated factory in 4 industries; food and beverages industry (TSIC 31), textile industry (TSIC 32), paper industry (TSIC 34) and chemical industry (TSIC 35), according to the energy management. The simple linear regression explained the relation between energy consumption and productivity of each industry. The monitoring of energy consumption applies the statistic, which is cumulative sum of different (CUSUM) chart, showed a time of unusual energy consumption in the process. The results of this research are the energy model and the SEC of each sub-industry sector. These SEC are used to reference for the similar manufacturing industry for evaluating the energy efficiency. Moreover, the CUSUM chart showed the energy consumption behavior that can be approached to improve the efficiency of energy management.

Keywords: specific energy consumption (SEC), energy efficiency, CUSUM chart, Energy management

[1] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

[2] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

[3] ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330

1. บทนำ

ในปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องส่งผลให้ความต้องการพลังงานสำหรับการผลิตสูงขึ้นเรื่อยๆ จึงต้องมีควบคุมและตรวจติดตามการใช้พลังงาน เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายบริหารและจัดการพลังงานให้เหมาะสมต่อความต้องการ ทั้งนี้เพื่อรองรับการขยายตัวทางธุรกิจของแต่ละอุตสาหกรรมในอนาคต เน้นให้เกิดการใช้พลังงานในการผลิตอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยอาศัยข้อมูลพื้นฐานด้านพลังงานร่วมกับการใช้หลักการทางสถิติเข้ามาช่วยวิเคราะห์ข้อมูล

กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยๆ ตามระบบจำแนกประเภทมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย (TSIC) ซึ่งจำแนกตามกิจกรรมทางเศรษฐกิจ เพื่อความสะดวกในการควบคุมและติดตามการใช้พลังงานโดยเริ่มจากเลข TSIC 31 จนถึง TSIC 39 รวมทั้งสิ้น 9 กลุ่ม ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมไม้และเครื่องเรือน อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมอโลหะ อุตสาหกรรมโลหะมูลฐาน อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากโลหะ และ อุตสาหกรรมอื่นๆ ตามลำดับ

โรงงานควบคุม ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (พรบ.) พ.ศ. 2535 คือ โรงงานที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 1 MW ขึ้นไป โรงงานในกลุ่มนี้ถือว่าเป็นผู้ใช้พลังงานรายใหญ่ เพราะมีสัดส่วนการใช้พลังงานสูงมากกว่าร้อยละ 50 ของการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรมทั้งหมด หากมีการศึกษาและวางแผนการใช้พลังงานของโรงงานในกลุ่มนี้ได้อย่างเหมาะสม ก็จะส่งผลทำให้การใช้พลังงานรวมของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมนั้นๆ มีความสิ้นเปลืองลดน้อยลงได้ ตามประกาศของกระทรวงพลังงาน ประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการดำเนินการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พ.ศ. 2552 กำหนดให้เจ้าของโรงงานควบคุมประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อใช้เป็นแนวทาง การกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน [1]

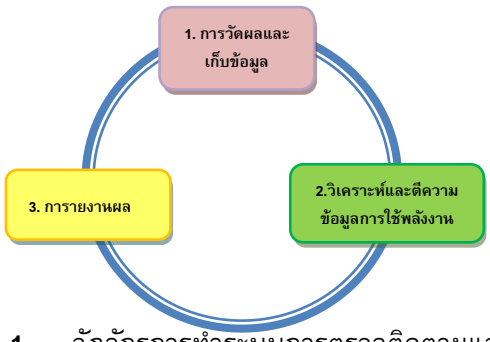
การจัดประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยใช้ดัชนีชี้วัดการบริโภคพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) ซึ่งทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพโดยรวมตลอดช่วงปีของทั้งโรงงาน และใช้ในการเปรียบเทียบด้านประสิทธิภาพการผลิตภายในกลุ่มอุตสาหกรรมย่อยเดียวกันได้อีกด้วย [2] การนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานโดยทั่วไปมักวิเคราะห์ข้อมูลแบบอนุกรมเวลา นำข้อมูลปริมาณการผลิตและการใช้พลังงาน ในช่วงเวลาที่ผ่านมาสร้างเป็นกราฟเส้นตรงซึ่งถือเป็นการวิเคราะห์เบื้องต้น เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลในช่วงเวลาที่สนใจ แต่ทั้งนี้ยังไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลในแต่ละส่วนได้ ไม่สามารถระบุได้ว่าช่วงใดที่มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพดีที่สุดจะส่งผลต่อการกำหนดเป้าหมายในการใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงานในอนาคตที่อาจไม่มีแนวทางที่ถูกต้องชัดเจน จึงมีแนวคิดที่นำวิธีการทางสถิติเข้ามาช่วยในกระบวนการตรวจติดตามการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ และประเมินรูปแบบการใช้พลังงานในแต่ละช่วงเวลา โดยนำหลักการ CUSUM (Cumulative sum of different) มาสร้างกราฟสำหรับระบุการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต กราฟ CUSUM จะสามารถตรวจพบความผิดปกติที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตได้อย่างรวดเร็ว [3]

งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาพฤติกรรมการใช้พลังงานและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุมตัวอย่างในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารเครื่องดื่ม (TSIC 31) กลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ (TSIC 32) กลุ่มอุตสาหกรรมกระดาษ (TSIC 34) และกลุ่มอุตสาหกรรมเคมี (TSIC 35) อีกทั้งนำหลักการทางสถิติมาประยุกต์มาใช้ตรวจติดตามการใช้พลังงานในโรงงาน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการบริหารจัดการพลังงานให้เป็นไปตามเป้าหมายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. การดำเนินงานวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ดำเนินงานตามระบบการจัดการพลังงานเบื้องต้น ใช้เทคนิคการตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (Energy monitoring and targeting system : M&T) ที่อาศัยข้อมูลการใช้พลังงานในอดีตที่ผ่านมาของแต่ละโรงงาน ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับกำหนดการใช้พลังงานในอนาคต ทำให้สามารถลดการสูญเสียพลังงาน ควบคุมระดับ

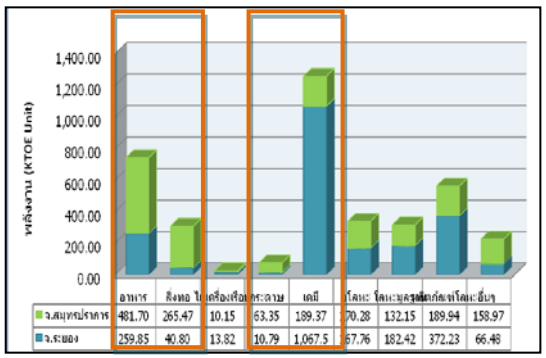
การใช้พลังงานในปัจจุบันให้เป็นไปตามค่าที่เหมาะสม รวมไปถึงใช้ในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการทำงานหรือกระบวนการผลิตเดิมที่มีอยู่ให้ดีขึ้นและสามารถลดต้นทุนด้านพลังงานได้ [4] การจัดทำระบบตรวจติดตามการใช้พลังงาน มีขั้นตอนหลัก 3 ขั้นตอน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 วัฏจักรการทำระบบการตรวจติดตามและกำหนด

2.1 การวัดผลและเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เป็นข้อมูลทุติยภูมิที่รวบรวมจากตัวแทนโรงงานควบคุมที่ตั้งอยู่ในจังหวัดระยองและจังหวัดสมุทรปราการในปี พ.ศ. 2551-2552 ได้แก่ ข้อมูลรายเดือนเกี่ยวกับปริมาณการผลิต ปริมาณการใช้ไฟฟ้าและเชื้อเพลิง สำหรับแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมมีปริมาณพลังงานรวมจากทุกโรงงานในกลุ่มอุตสาหกรรมนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2 โดยจะเน้นศึกษาในกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานสูงหรือมีแนวโน้มการใช้พลังงานสูงขึ้น ได้แก่ โรงงานควบคุมในกลุ่ม TSIC 31, 32, 34 และ 35



รูปที่ 2 การใช้พลังงานรวมของโรงงานควบคุมในจังหวัดระยองและสมุทรปราการ ในปี พ.ศ. 2550

2.2 การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงาน

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานที่ใช้กับตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงาน แสดงในรูปกราฟ เช่น กราฟแท่ง (Bar chart) กราฟเส้น (Line Chart) และกราฟการกระจายตัว (Scatter Chart) เป็นต้น เพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงการใช้พลังงาน และการผลิตอย่างชัดเจน

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสามารถทำได้โดยอาศัยข้อมูลการใช้พลังงานในอดีตที่ผ่านมาของแต่ละโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ปริมาณการผลิตสินค้า ปริมาณพลังงานไฟฟ้าและเชื้อเพลิงที่ใช้ เป็นต้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพและการวางแผนการใช้พลังงานต่อไปในอนาคต โดยเก็บข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานเป็นรายเดือนรวมทั้งสิ้น 24 เดือน

การตรวจติดตามการใช้พลังงานในช่วงเวลาที่สนใจ โดยการสร้างกราฟ CUSUM เพื่อใช้คาดการณ์การใช้พลังงานในอนาคต หากในกรณีที่มีการผลิตในปริมาณใกล้เคียงกับที่ผ่านมา จะทำการใช้พลังงานจะมีแนวโน้มเป็นอย่างไร โดยสร้างเส้นข้อมูลอ้างอิงจากข้อมูลในอดีตของแต่ละโรงงานย้อนหลังกลับไปเป็นเวลา 24 เดือน (Base Line Energy) จากนั้นหาค่าความแตกต่างของปริมาณพลังงานที่ใช้จริงกับปริมาณพลังงานที่คาดคะเนไว้ (Different) และสร้างกราฟผลต่างสะสม (CUSUM chart) เพื่อดูแนวโน้มการใช้พลังงานว่า มีการประหยัดหรือสิ้นเปลืองกว่าที่คาดการณ์ไว้ ค่าผลต่างที่เป็นค่าลบแสดงให้เห็นถึงการใช้พลังงานต่ำกว่าที่คาดการณ์ไว้ล่วงหน้า นั่นคือถือว่ามีการประหยัดพลังงาน ในอีกด้านหนึ่งผลต่างที่มีค่าเป็นบวกก็จะแสดงผลว่ามีการใช้พลังงานสิ้นเปลืองเกินกว่าที่คาดการณ์ไว้

2.3 การรายงานผล

ในขั้นตอนนี้เป็นขั้นต้อนสุดท้ายซึ่งนำเสนอผลการวิเคราะห์จากส่วนต่างๆ รวบรวมเป็นรายงานผลการวิจัย เพื่อเป็นประโยชน์กับผู้ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการดูแลด้านพลังงานของโรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงผู้ที่สนใจต่อไป

3.การวิเคราะห์ผลจากโรงงานตัวอย่าง

งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ข้อมูลของโรงงานควบคุมตัวอย่างในกลุ่มอุตสาหกรรมอาหารและ

เครื่องดื่ม (TSIC 31) จำนวน 15 โรงงาน กลุ่มอุตสาหกรรมสิ่งทอ (TSIC 32) จำนวน 13 โรงงาน กลุ่มอุตสาหกรรมกระดาษ (TSIC 34) จำนวน 4 โรงงาน และ กลุ่มอุตสาหกรรมเคมี (TSIC 35) จำนวน 66 โรงงาน โดยใช้รูปแบบการเก็บข้อมูลเป็นรายเดือน รวมทั้งสิ้น 24 เดือนของโรงงานตัวอย่างในแต่ละกลุ่ม โดยในที่นี้จะยกตัวอย่างการวิเคราะห์ข้อมูลจริงจากโรงงานตัวอย่างแห่งหนึ่งซึ่งมีข้อมูลต่าง ๆ เกี่ยวกับปริมาณการผลิต การใช้พลังงานประเภทต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่าง

เดือน	ปี 51				ปี 52			
	ปริมาณผลผลิต (ตัน)	ปริมาณไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ปริมาณความร้อน (เมกะจูล)	พลังงานรวม (เมกะจูล)	ปริมาณผลผลิต (ตัน)	ปริมาณไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)	ปริมาณความร้อน (เมกะจูล)	พลังงานรวม (เมกะจูล)
ม.ค.	806	99,440	1,085,705	1,443,689	1,001	103,240	991,298	1,362,962
ก.พ.	1,067	113,420	1,188,575	1,596,887	1,065	112,620	1,244,509	1,649,941
มี.ค.	1,216	134,520	1,171,568	1,655,840	1,156	122,360	1,268,741	1,709,237
เม.ย.	1,264	126,540	1,289,051	1,744,595	1,009	105,540	1,050,081	1,430,025
พ.ค.	1,156	123,900	1,218,132	1,664,172	1,067	117,780	1,197,904	1,621,912
มิ.ย.	1,138	127,540	1,137,677	1,596,821	1,055	117,880	1,503,707	1,928,075
ก.ค.	1,005	108,640	930,534	1,321,638	984	113,734	799,883	1,209,325
ส.ค.	1,000	111,100	854,124	1,254,084	1,208	127,220	946,757	1,404,749
ก.ย.	909	107,540	849,584	1,236,728	1,148	119,440	939,203	1,369,187
ต.ค.	295	69,540	257,174	507,518	904	114,040	829,315	1,239,859
พ.ย.	385	68,540	455,195	701,939	866	107,000	720,460	1,105,660
ธ.ค.	362	65,290	340,230	575,274	670	100,240	598,932	959,796
รวม	10,602	1,256,010	10,777,548	15,299,184	12,132	1,361,094	12,090,788	16,990,727
เฉลี่ย	883.50	104,668	898,129	1,274,932	1,011	113,425	1,007,566	1,415,894

โดยนำข้อมูลมาสร้างความสัมพันธ์ในเชิงอนุกรรมเวลา และคำนวณหาสมการตัวแทนการใช้พลังงาน ใช้หลักการวิเคราะห์การถดถอยสร้างสมการเชิงเส้นอย่างง่ายที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม EXCEL เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ รูปแบบสมการที่ได้ คือ

$$y = mx + C \quad (1)$$

เมื่อ y = ปริมาณพลังงานที่ใช้ในแต่ละเดือน (เมกะจูล)

x = ปริมาณผลผลิตในแต่ละเดือน (หน่วยผลิต)

ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานหลายกลุ่ม ในงานวิจัยนี้ได้สนใจศึกษาค่าการใช้พลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption: SEC) ซึ่งเป็นดัชนีวัดประสิทธิภาพพลังงานในระดับรายผลผลิต[5,6] โดยคำนวณได้จากสมการตัวแทนที่หาได้จากแต่ละโรงงานนั้นๆ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$SEC = m + C/x \quad (2)$$

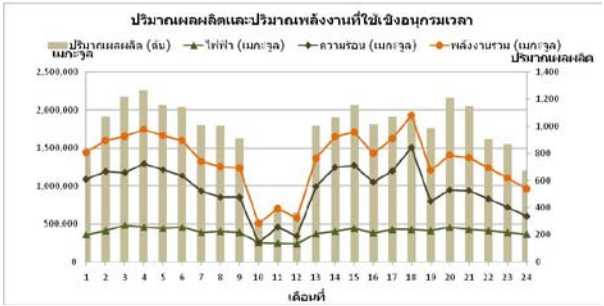
เมื่อ SEC = Specific Energy Consumption (MJ/units)

m = ค่าความชันจากสมการตัวแทนการใช้พลังงาน

C = ค่าจุดตัดแกน y จากสมการตัวแทนการใช้พลังงาน

x = ปริมาณผลผลิตเฉลี่ยในช่วงเวลานั้นๆ

จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้นโดยสร้างกราฟเชิงอนุกรมเวลาของการใช้พลังงานในการผลิตในแต่ละเดือน เพื่อแสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลด้านการใช้พลังงานโดยรวมของโรงงานตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 3

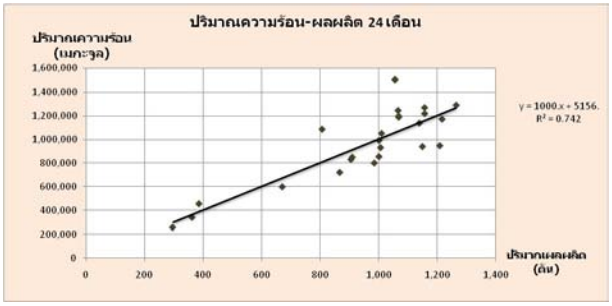


รูปที่ 3 แผนภาพเชิงอนุกรมเวลาของปริมาณผลผลิตและพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลา 24 เดือน

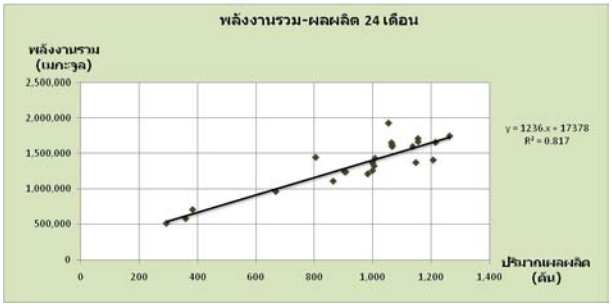
จากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงอนุกรมเวลา (รูปที่ 3) พบว่าโรงงานตัวอย่างมีการใช้พลังงานความร้อนเป็นพลังงานหลักในการผลิต สังเกตได้จากเส้นกราฟของพลังงานความร้อนในแต่ละเดือนที่มีความสอดคล้องกับปริมาณผลผลิต โดยใช้พลังงานไฟฟ้าร่วมด้วยในปริมาณที่สม่ำเสมอ เพื่อให้เห็นความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานประเภทต่างๆ กับปริมาณผลผลิตอย่างชัดเจนมากขึ้น จึงสร้างแผนภาพการกระจายของพลังงานไฟฟ้า(กิโลวัต-ชั่วโมง) พลังงานความร้อน (เมกะจูล) ซึ่งโรงงานตัวอย่างใช้ความร้อนจากน้ำมันเตา และพลังงานรวมทุกประเภท (เมกะจูล) ร่วมกับปริมาณผลผลิตในแต่ละเดือน เนื่องจากปริมาณพลังงานที่ใช้เป็นปัจจัยหลักที่มีความสัมพันธ์โดยตรงกับการผลิต จึงตรวจสอบความสัมพันธ์ในรูปแบบของสมการเส้นตรง นอกจากนี้

ยังสามารถสังเกตความสม่ำเสมอของการใช้พลังงานได้จากค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) ของสมการเส้นตรง ดังรูปที่ 4 – 6

รูปที่ 4 แผนภาพการกระจายของปริมาณผลผลิตและพลังงานไฟฟ้าในช่วงเวลา 24 เดือน



รูปที่ 5 แผนภาพการกระจายของปริมาณผลผลิตและพลังงานความร้อนในช่วงเวลา 24 เดือน



รูปที่ 6 แผนภาพการกระจายของปริมาณผลผลิตและพลังงานรวมในช่วงเวลา 24 เดือน

จากรูปที่ 4 ได้สมการแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของปริมาณการผลิตกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้มีค่า R^2 สูงถึง 0.930 แสดงให้เห็นว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าในการผลิตเป็นไปอย่างสม่ำเสมอตลอดทุกเดือน ในขณะที่ค่า R^2 จากความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของปริมาณการผลิตกับปริมาณพลังงานความร้อนในรูปที่ 5 มีค่าต่ำกว่า คือ มีค่าเท่ากับ 0.742 แสดงว่าในแต่ละเดือนใช้พลังงานความร้อนในการผลิตไม่สม่ำเสมอ พลังงานทั้งสองส่วนนี้ส่งผลต่อความสัมพันธ์ของพลังงานรวมที่ใช้ในการผลิต ทำให้ความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานรวมมีค่า R^2 เท่ากับ 0.817 ซึ่งถือว่ายังอยู่ในเกณฑ์ที่มีค่าสูง (มากกว่า 0.8) ซึ่งสามารถใช้เป็นสมการตัวแทนการใช้พลังงานรวมของโรงงานตัวอย่างนี้ได้

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณการผลิตและการใช้พลังงานทำให้ได้สมการเส้นตรงที่ใช้เป็นตัวแทนของโรงงานตัวอย่างนี้ โดยในกรณีนี้จะใช้สมการจากข้อมูลพลังงานรวมเพื่อนำมาวิเคราะห์ตามหลักการการถดถอยเชิงเส้น เพื่อใช้สมการตัวแทนในการใช้พลังงาน เนื่องจากเป็นข้อมูลการใช้พลังงานที่ใช้จริงโดยรวมจากค่าการใช้พลังงานทุกประเภทนำมาคำนวณค่าความสัมพันธ์ ดังสมการเส้นตรงที่ได้จากรูปที่ 6 ทั้งนี้สังเกตได้ว่าค่า R^2 มีค่าสูง ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ทำให้เป็นสมการที่มีความน่าเชื่อถือ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าข้อมูลพลังงานที่ถูกต้องแม่นยำตามพลังงานที่ใช้จริง ดังนั้นสมการการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายที่ได้คือ

$$y = 1{,}236x + 17{,}3780 \qquad (3)$$

เมื่อ y = ปริมาณพลังงานรวมที่ใช้ในแต่ละเดือน (เมกะจูล)

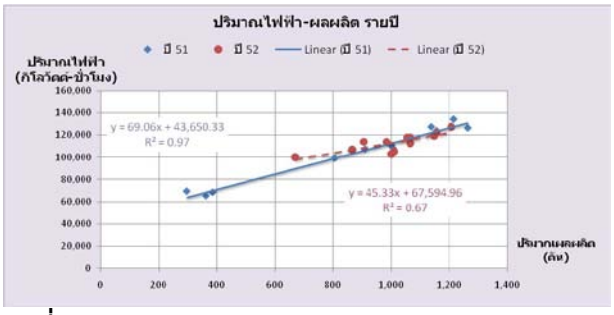
x = ปริมาณผลผลิตในแต่ละเดือน (ตัน)

สมการตัวแทนที่ได้นี้สามารถใช้คาดการการใช้พลังงานในอนาคตสำหรับการผลิตในช่วงปริมาณที่ใกล้เคียงกับที่ผ่านมาได้ ทั้งนี้การพิจารณาค่า R^2 นี้ยังเป็นประโยชน์ในการตรวจสอบความสม่ำเสมอของการใช้พลังงานในแต่ละประเภท เพื่อประกอบการพิจารณาวางแผนปรับปรุงการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

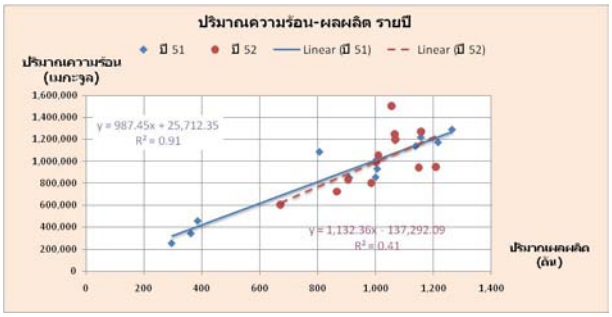
การคำนวณค่าพลังงานจำเพาะใช้พลังงานจำเพาะต่อหน่วยผลผลิต (SEC) เพื่อบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่าง หาได้จากสมการ (2) ทั้งนี้จากตารางที่ 1 ค่าปริมาณผลผลิตเฉลี่ยในช่วง 24 เดือนของโรงงานตัวอย่างนี้มีค่าเท่ากับ 947.27 ตันต่อเดือน เมื่อนำมาแทนค่าในสมการ (2) ได้ว่า1,236+(17,3780/947.27) ดังนั้นค่า SEC ของ

การใช้พลังงานรวมเท่ากับ 1420.31 เมกะจูลต่อตัน เป็นค่าที่ใช้อ้างอิงในช่วงที่มีการผลิต 295 – 1,260 ตันต่อเดือน จากการคิดคำนวณค่า SEC เฉลี่ยในรอบปี สัดส่วนการใช้ปริมาณพลังงานรวมที่ใช้ในแต่ละเดือนต่อปริมาณผลผลิตในแต่ละเดือนพบว่าได้ค่าที่ใกล้เคียงกัน คือเท่ากับ 1,448.23 เมกะจูลต่อตัน แต่การวิเคราะห์ข้อมูลอย่างละเอียดรายเดือนนี้จะเป็นประโยชน์ในการศึกษาพฤติกรรมการผลิต รวมถึงความผิดปกติของข้อมูลในช่วงต่าง ๆ ซึ่งจะมีผลต่อความน่าเชื่อถือของค่า SEC ที่คำนวณได้

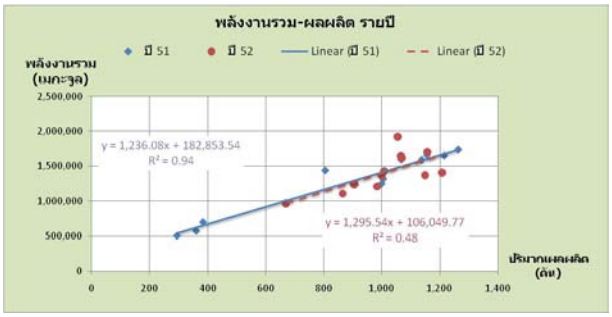
เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการผลิตระหว่างปี พ.ศ. 2551 และ ปีพ.ศ. 2552 ของโรงงานตัวอย่าง โดยสร้างกราฟการกระจายดังแสดงในรูปที่ 7 - 9



รูปที่ 7 แผนภาพการกระจายของปริมาณผลผลิตและปริมาณพลังงานไฟฟ้าของแต่ละปี



รูปที่ 8 แผนภาพการกระจายของปริมาณผลผลิตและปริมาณพลังงานความร้อนของแต่ละปี



รูปที่ 9 แผนภาพการกระจายของปริมาณผลผลิตและปริมาณพลังงานความร้อนของแต่ละปี

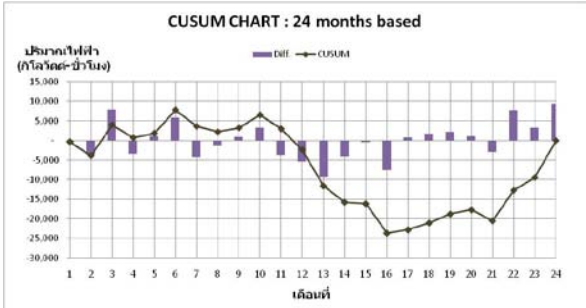
เมื่อพิจารณาข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน และพลังงานรวม แยกเป็นรายปีจะเห็นได้ชัดเจนว่า ในปี 2551 จะมีการใช้พลังงานอย่างสม่ำเสมอกว่าในปี 2552 โดยสังเกตจากค่า R^2 ของข้อมูลที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงในกราฟทั้ง 3 (รูปที่ 7-9) จากกราฟการกระจายและค่า R^2 นี้แสดงให้เห็นถึง ความสม่ำเสมอของการใช้พลังงานในแต่ละรอบปีแต่ไม่สามารถบอกได้ว่าช่วงใดที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงาน และ มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใด

การสร้างกราฟ CUSUM จึงเป็นเครื่องมือที่ช่วยตรวจสอบการพฤติกรรมการใช้พลังงานในการผลิต สามารถสร้างได้โดยใช้ผลต่างสะสม (CUSUM) ของการใช้พลังงานเทียบกับค่าเฉลี่ยของช่วงเวลานั้น ๆ เพื่อสังเกตการเปลี่ยนแปลงของพฤติกรรมการใช้พลังงาน [5] จากข้อมูลของโรงงานตัวอย่างในช่วง 24 เดือนที่ผ่านมา นำมาคำนวณหาสมการที่เป็นค่าฐานอ้างอิง (Baseline equation) โดยเป็นสมการเส้นตรงที่แสดงอยู่ในกราฟรูปที่ 3, 4 และ 5 ตามลำดับ จากนั้นคำนวณและสร้างเป็นกราฟ CUSUM ได้ดังรูปที่ 10 – 12

ในรูปที่ 10 นี้แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่างที่มีการเปลี่ยนแปลงที่เห็นได้ชัดเจน 2 ช่วง นั่นคือ ช่วง 12 เดือนแรก (เดือนที่ 1 – 12) ซึ่งเป็นช่วง ที่ส่วนใหญ่มีค่าผลต่างเป็นบวก และกราฟ CUSUM มีพื้นที่กราฟอยู่เหนือเส้นฐานอ้างอิง แสดงให้เห็นว่ามีการใช้พลังงานสูงกว่าที่คาดการณ์ไว้

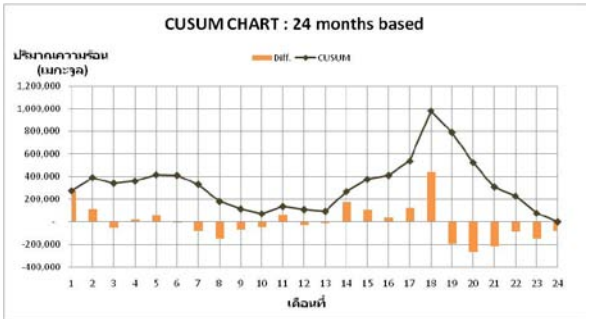
ส่วนช่วง 12 เดือนหลัง (เดือนที่ 13 – 24) ส่วนใหญ่ค่าผลต่างเป็นลบ กราฟ CUSUM และมีพื้นที่อยู่ใต้

เส้นฐานอ้างอิง แสดงถึงการใช้พลังงานต่ำกว่าที่คาดการณ์ไว้ อีกนัยหนึ่งหมายถึงช่วงเดือนที่มีการใช้พลังงานมีประสิทธิภาพ



Baseline equation: Y =		65.67	X	+	46,840.08
เดือนที่	Products (ตัน)	Actual energy (MJ)	Baseline Energy (MJ)	Difference (MJ)	CUSUM (MJ)
1	806	99,440	99,753	- 313	- 313
2	1,067	113,420	116,934	- 3,514	- 3,827
3	1,216	134,520	126,665	7,855	4,028
4	1,264	126,540	129,832	- 3,292	737
5	1,156	123,900	122,753	1,147	1,883
6	1,138	127,540	121,558	5,982	7,865
7	1,005	108,640	112,863	- 4,223	3,642
8	1,000	111,100	112,501	- 1,401	2,241
9	909	107,540	106,515	1,025	3,267
10	295	69,540	66,225	3,315	6,581
11	385	68,540	72,122	- 3,582	3,000
12	362	65,290	70,581	- 5,291	- 2,291
13	1,001	103,240	112,543	- 9,303	- 11,594
14	1,065	112,620	116,790	- 4,170	- 15,764
15	1,156	122,360	122,738	- 378	- 16,142
16	1,009	105,540	113,095	- 7,555	- 23,698
17	1,067	117,780	116,928	852	- 22,845
18	1,055	117,880	116,105	1,775	- 21,070
19	984	113,734	111,464	2,270	- 18,800
20	1,208	127,220	126,141	1,079	- 17,721
21	1,148	119,440	122,255	- 2,815	- 20,536
22	904	114,040	106,228	7,812	- 12,724
23	866	107,000	103,697	3,303	- 9,421
24	670	100,240	90,819	9,421	- 0

รูปที่ 10 CUSUM ของการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยใช้ข้อมูล 24 เดือนเป็นฐานอ้างอิง

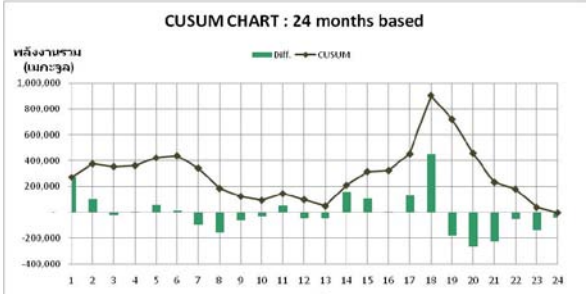


Baseline equation: Y =		1,000.44	X	+	5,156.47
เดือนที่	Products (ตัน)	Actual energy (MJ)	Baseline Energy (MJ)	Difference (MJ)	CUSUM (MJ)
1	806	1,085,705	811,267	274,438	274,438
2	1,067	1,188,575	1,073,022	115,553	389,991
3	1,216	1,171,568	1,221,261	- 49,694	340,297
4	1,264	1,289,051	1,269,514	19,537	359,834
5	1,156	1,218,132	1,161,674	56,458	416,292
6	1,138	1,137,677	1,143,471	- 5,794	410,498
7	1,005	930,534	1,010,996	- 80,462	330,036
8	1,000	854,124	1,005,483	- 151,359	178,677
9	909	849,584	914,281	- 64,697	113,980
10	295	257,174	300,483	- 43,308	70,672
11	385	455,195	390,314	64,880	135,552
12	362	340,230	366,845	- 26,615	108,936
13	1,001	991,298	1,006,121	- 14,823	94,114
14	1,065	1,244,509	1,070,822	173,687	267,801
15	1,156	1,268,741	1,161,448	107,293	375,094
16	1,009	1,050,081	1,014,535	35,545	410,639
17	1,067	1,197,904	1,072,923	124,981	535,620
18	1,055	1,503,707	1,060,386	443,321	978,941
19	984	799,883	989,677	- 189,795	789,146
20	1,208	946,757	1,213,287	- 266,530	522,616
21	1,148	939,203	1,154,090	- 214,888	307,728
22	904	829,315	909,911	- 80,596	227,132
23	866	720,460	871,356	- 150,896	76,236
24	670	598,932	675,168	- 76,236	0

รูปที่ 11 CUSUM ของการใช้พลังงานความร้อน โดยใช้ข้อมูล 24 เดือนเป็นฐานอ้างอิง

กราฟ CUSUM ของการใช้พลังงานความร้อนในรูปที่ 11 พบว่าพื้นที่ส่วนใหญ่ของกราฟจะอยู่ด้านบนเส้นอ้างอิง แสดงให้เห็นว่ามีการใช้พลังงานความร้อนเกินกว่าที่คาดการไว้ สังเกตในช่วงเดือนที่ 1-18 ถึงแม้ว่ามีบางเดือนที่ค่าผลต่างเป็นลบเล็กน้อย เช่น เดือนที่ 3, 7, 9, 10, 12 และ 13 แต่ก็ยังไม่อาจแสดงได้ชัดเจนว่าเป็นการประหยัดเมื่อเปรียบเทียบกับผลของเดือนที่มีการใช้พลังงานเกินกว่าที่คาดการทั้งหมด ส่วนในช่วงเดือนที่ 19 - 24 ซึ่งมีค่าผลต่างเป็นลบแสดงให้เห็นว่ามีการใช้พลังงานลดต่ำลง ทั้งนี้พบว่ามีการใช้พลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นมาผิดปกติในเดือนที่ 18 ซึ่งสังเกตได้ชัดเจนจากกราฟ CUSUM ที่มีผลต่างเป็นค่าบวกสูงขึ้นมาก ทั้งที่มีปริมาณการผลิตใกล้เคียงกับช่วงอื่นๆ จึงต้องสืบหาสาเหตุด้วยข้อมูลเชิงลึกต่อไป

เมื่อพิจารณาจากกราฟ CUSUM ของพลังงานรวมพบว่ามีลักษณะคล้ายกับกราฟที่ได้จากการใช้พลังงานความร้อน และมีพฤติกรรมการใช้พลังงานที่มีลักษณะสูงผิดปกติในเดือนที่ 18 แต่ก็มีการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในทันที โดยสังเกตได้จากค่าพลังงานที่ในเดือนที่ 19 ถึง เดือนที่ 24 มีการใช้พลังงานน้อยลงกว่าที่คาดการณ์ไว้ตลอด 6 เดือน



Baseline equation: Y =	1,236.85	X	+	173,780.76
เดือนที่	Products	Actual energy	Baseline Energy	Difference	CUSUM
	(ตัน)	(MJ)	(MJ)	(MJ)	(MJ)
1	806	1,443,689	1,170,377	273,312	273,312
2	1,067	1,596,887	1,493,986	102,901	376,214
3	1,216	1,655,840	1,677,254	- 21,414	354,800
4	1,264	1,744,595	1,736,908	7,686	362,486
5	1,156	1,664,172	1,603,585	60,586	423,072
6	1,138	1,596,821	1,581,081	15,740	438,812
7	1,005	1,321,638	1,417,302	- 95,664	343,148
8	1,000	1,254,084	1,410,487	- 156,403	186,745
9	909	1,236,728	1,297,733	- 61,006	125,740
10	295	507,518	538,893	- 31,375	94,365
11	385	701,939	649,952	51,986	146,351
12	362	575,274	620,937	- 45,663	100,688
13	1,001	1,362,962	1,411,275	- 48,313	52,375
14	1,065	1,649,941	1,491,266	158,676	211,051
15	1,156	1,709,237	1,603,306	105,931	316,981
16	1,009	1,430,025	1,421,678	8,347	325,328
17	1,067	1,621,912	1,493,863	128,049	453,377
18	1,055	1,928,075	1,478,363	449,712	903,089
19	984	1,209,325	1,390,946	- 181,621	721,468
20	1,208	1,404,749	1,667,395	- 262,646	458,822
21	1,148	1,369,187	1,594,210	- 225,024	233,798
22	904	1,239,859	1,292,331	- 52,471	181,327
23	866	1,105,660	1,244,665	- 139,005	42,322
24	670	959,796	1,002,117	- 42,322	- 0

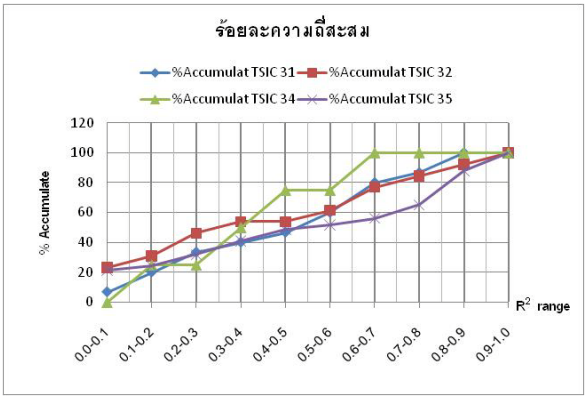
รูปที่ 12 CUSUM ของการใช้พลังงานรวม โดยใช้ข้อมูล 24 เดือนเป็นฐานอ้างอิง

4. การอภิปรายผลการวิจัย

จากข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและการตรวจติดตามพลังงาน คือ ข้อมูลด้านปริมาณการผลิต และข้อมูลด้านการใช้พลังงาน ซึ่งข้อมูลที่ได้รับของโรงงานควบคุมตัวอย่างในแต่ละโรงงานจะสามารถแบ่งกลุ่มโรงงานออกเป็น 2 กลุ่มตามลักษณะการจัดเก็บข้อมูลด้านพลังงานสัมพันธ์กับลักษณะการผลิต เพื่อความแม่นยำในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพและหาแนวทางการใช้พลังงาน กลุ่มแรก คือ โรงงานที่มีการจัดเก็บข้อมูลแยกตามผลิตภัณฑ์ รวมถึงกลุ่มที่มีผลิตภัณฑ์เพียงชนิดเดียว และกลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มที่มีการจัดเก็บข้อมูลรวมทุกผลิตภัณฑ์ เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์เบื้องต้นของปริมาณการผลิตและการใช้พลังงานโดยใช้รูปแบบการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายโดยใช้ข้อมูลรวมทั้ง 24 เดือน พบว่า ค่า R^2 ที่ได้จากแต่ละโรงงาน สามารถแยกโรงงานที่มีการใช้พลังงานสม่ำเสมอ มีค่า R^2 มากกว่าหรือเท่ากับ 0.7 แสดงว่าเป็นเป็นโรงงานที่ปริมาณการผลิตสัมพันธ์กับปริมาณการใช้พลังงานแบบเป็นเส้นตรง มีผลกระทบจากปัจจัยอื่นๆน้อยมาก ซึ่งถือเป็นกลุ่มโรงงานที่มีการใช้พลังงานสม่ำเสมอ ไม่มีความผิดปกติจากการใช้พลังงานในช่วงที่สนใจศึกษา หากมองในแง่ของการอนุรักษ์พลังงาน กลุ่มที่มีการใช้พลังงานสม่ำเสมอนี้อาจสะท้อนให้เห็นว่ามีการใช้พลังงานในปริมาณมากตลอดช่วงเวลานั้นหรือ อาจมีการประหยัดตลอดช่วงเวลานั้นก็เป็นได้ โดยจะทราบว่ามีพฤติกรรมประหยัดพลังงานหรือใช้พลังงานมากในช่วงเวลานั้นๆ ต้องพิจารณาจากรายละเอียดของความสัมพันธ์การใช้พลังงานรายปี ที่มีการเปรียบเทียบให้เห็นแนวโน้มของการใช้พลังงานในแต่ละช่วงเวลา นอกจากนี้อาจจะต้องพิจารณานโยบายด้านการอนุรักษ์พลังงานประกอบกันอีกทางหนึ่งด้วย ในขณะที่โรงงานอีกกลุ่มหนึ่ง มีค่า R^2 น้อยกว่า 0.7 แสดงว่าข้อมูลมีความแปรปรวนมากหรือมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงน้อย ในแง่ของการอนุรักษ์พลังงานถือเป็นโรงงานกลุ่มที่มีการเปลี่ยนแปลงด้านพฤติกรรมการใช้พลังงาน ซึ่งอาจมีที่มาจากหลายสาเหตุ เช่น เป็นช่วงที่มีการดำเนินนโยบายประหยัดพลังงาน ส่งผลให้จากเดิมมีการใช้พลังงานในการผลิตมาก แต่หลังจากดำเนินนโยบายประหยัดพลังงานแล้วมีการใช้พลังงานลดลง ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์การผลิตและการใช้พลังงานไปในทิศทางที่ดีขึ้น หรืออาจเกิดจากสาเหตุที่มีการผลิตมีความผิดปกติทำให้ต้องใช้พลังงานเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ด้อยลง การวิเคราะห์ในรูปแบบนี้ต้องใช้ข้อมูลด้านนโยบายพลังงานและข้อมูลอื่นๆ เข้ามาร่วมพิจารณาด้วย โดยค่า R^2 ที่วิเคราะห์ได้จากโรงงานตัวอย่างในแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม มีการกระจายอยู่ในช่วง 0.1 – 1.0 ซึ่ง

ในที่นี้เป็นโรงงานในกลุ่มแรก คือ โรงงานที่มีการจัดเก็บข้อมูลแยกแต่ละผลิตภัณฑ์หรือมีผลิตภัณฑ์ประเภทเดียว เป็นจำนวนโรงงานในแต่ละช่วง R^2 และคำนวณเป็นความถี่สะสมดังแสดงในรูปที่ 13 และ 14

รูปที่ 13 จำนวนโรงงานอุตสาหกรรมในแต่ละช่วง R^2



รูปที่ 14 ร้อยละความถี่สะสมของโรงงานอุตสาหกรรมในแต่ละช่วง R^2

สมการที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายสามารถใช้ทำนายการใช้พลังงานในแต่และโรงงานควบคุม และใช้สมการที่ได้นี้หาค่า SEC สำหรับการผลิตในแต่ละช่วง โดยจากข้อมูลการผลิตที่ผ่านมาสามารถสรุปค่า SEC ของโรงงานตัวอย่างแต่แห่งได้ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งค่า SEC ที่ได้นี้ใช้เป็นค่าเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับโรงงานในกลุ่มที่มีผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน ในช่วงการผลิตใกล้เคียงกันได้

การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานนั่น คือ ปริมาณผลผลิต แต่ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่อาจส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เช่น ฤดูการผลิต กระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น ซึ่งหากจะนำมาร่วมพิจารณาจะต้องอาศัยข้อมูลและการวิเคราะห์เชิงลึกสำหรับแต่ละโรงงานต่อไป ดังนั้นจึงเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจศึกษาวิจัยต่อยอดเชิงรายละเอียดต่อไปในอนาคตได้

ตารางที่ 2 ค่า SEC ของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม

TSIC No.		ปริมาณการผลิต				SEC เมกกะจูลต่อหน่วย	
		หน่วย	Min	Max	เฉลี่ย	Min	Max
31							
31132	a	(ตัน)	137	201	166	10,367	129,824
31139	a	(ตัน)	246	4,876	2,132	2,318	9,542
31141	a	(ตัน)	364	853	646	7,877	10,532
31149	a	(ตัน)	1,898	3,834	2,836	343	679
31149	b	(ตัน)	258	466	336	4,150	6,605
31149	c	(ตัน)	137	1,007	560	1,187	5,773
31149	d	(ตัน)	273	1,097	683	3,178	10,504
31151	a	(ตัน)	14,236	25,300	20,969	895	1,357
31171	a	(ตัน)	3,479	5,347	4,478	298	396
31171	b	(ตัน)	121	277	206	10,087	18,428
31190	a	(ตัน)	905	3,734	3,065	1,507	3,425
31211	a	(ตัน)	6,459	16,226	10,520	156	686
31220	a	(ตัน)	3,852	7,172	5,719	2,582	3,492
32							
32115	a	(ตัน)	175	235	210	22,087	26,809
32115	b	(ตัน)	208	329	287	13,024	19,507
32115	c	(หลา)	558,992	1,622,584	928,430	1.56	15.74
32115	d	(หลา)	139,039	1,673,041	880,380	2.39	10.04
32117	a	(หลา)	656,294	1,473,284	1,158,214	3.37	12.72
32118	a	(หลา)	1,803,001	2,734,843	2,475,693	2.05	3.52
32118	b	(หลา)	620,909	3,092,072	1,765,018	2.24	34.51
32202	a	(หลา)	1,509,958	2,922,543	2,171,061	7.83	14.66
32202	b	(ชิ้น)	177,858	1,118,016	594,204	1.28	6.28
32209	a	(คู่)	666,120	1,157,628	918,429	0.96	1.56
32190	a	(ตัน)	97	470	204	2,414	7,139
34							
34190	b	(ตัน)	1,091	1,626	1,431	4,934	6,923
34190	c	(ตัน)	1,392	2,195	1,718	12,041	15,900
35							
35111	a	(ตัน)	1,392	22,996	19,747	2,287	5,492
35111	b	(ตัน)	1,644	4,088	2,994	3,510	11,215
35111	c	(ตัน)	614	1,257	1,058	20,435	25,853
35111	d	(ตัน)	218	4,295	2,119	6,255	110,270
35111	e	(ตัน)	28,580	48,285	37,582	657	1,044
35111	f	(ตัน)	729	1,627	1,279	5,896	8,777
35111	g	(ตัน)	695	1,244	992	2,011	3,575
35130	a	(ตัน)	3,632	6,318,040	2,824,357	13	24,820
35130	b	(ตัน)	5,654	10,787	10,070	3,447	3,956
35220	a	(ลอต)	153	280	217	10,558	17,177
35232	a	(ตัน)	614	1,503	1,188	1,779	2,629
35510	a	(เส้น)	10,006	32,120	24,146	201	754
35592	a	(คู่)	201,113	681,994	328,887	4	8
35592	b	(ชิ้น)	8,443	170,539	77,065	3	56
35592	c	(ตัน)	70	205	138	2,991	8,658
35592	d	(แผ่น)	951	3,925	2,242	98	345
35601	a	(ตัน)	272	470	364	12,036	15,766
35601	b	(ตัน)	341	446	396	8,369	10,090
35601	c	(ตัน)	6,125	14,621	13,346	2,768	6,801
35601	d	(ชิ้น)	73,989	332,257	172,124	12	30
35609	a	(ตัน)	68	135	97	35,096	51,317
35609	b	(ตัน)	384	1,140	715	2,687	5,174
35609	c	(ตัน)	2,930	9,824	7,321	957	1,569
35609	e	(ตัน)	160	1,764	1,055	1,414	2,756
35609	f	(ตัน)	295	1,264	947	1,163	1,828
35609	g	(กิโลกรัม)	1,047	35,668	12,018	11	113
35609	h	(ตัน)	295	1,269	952	1,158	1,820
35111	a	(ตัน)	688	3,331	2,515	1,679	3,013
35292	a	(ตัน)	2,617	7,242	5,474	4,720	6,908
35292	b	(ตัน)	1,510	2,960	2,388	1,481	2,412

5. สรุปผลการวิจัย

การนำข้อมูลที่บันทึกไว้ในอดีตมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการผลิตและปริมาณพลังงานที่ใช้ทำให้ได้สมการตัวแทนเพื่อทำนายค่าการใช้พลังงานและค่า SEC ของแต่ละโรงงาน ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในแต่ละโรงงานและในกลุ่มโรงงานที่มีลักษณะการผลิตใกล้เคียงกัน โดยในกลุ่มอุตสาหกรรมเคมี (TSIC 35) มีการใช้พลังงานสม่ำเสมอ แสดงให้เห็นว่าโรงงานส่วนใหญ่มีการจัดการพลังงานที่ดี กลุ่มอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม (TSIC 31) และอุตสาหกรรมสิ่งทอ (TSIC 32) มีความสม่ำเสมอของการใช้พลังงานพอควร ส่วนอุตสาหกรรมกระดาษ (TSIC 34) มีการเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงานมากที่สุดในช่วงเวลาที่ผ่านมา จึงจำเป็นต้องให้ความสนใจในการดำเนินการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานในกลุ่มนี้ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้การตรวจติดตามการใช้พลังงานในกลุ่มอุตสาหกรรมทั้ง 4 กลุ่มโดยใช้กราฟ CUSUM ยังช่วยแสดงถึงการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้พลังงานในแต่ละช่วงเวลา ทำให้ทราบถึงช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานสำหรับผลิตอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการผลิตต่อไปได้ และช่วงเวลาที่มีความผิดปกติเกิดขึ้น ทำให้สามารถแก้ไขความผิดปกติได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งกราฟ CUSUM นี้จะช่วยให้วางแผนการผลิตและการใช้พลังงานได้อย่างเหมาะสม

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเงินอุดหนุนวิจัยจากสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

6. บรรณานุกรม

[1] พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, กรม. 2552. ความหมายการจัดกลุ่มอุตสาหกรรม [ออนไลน์]. แหล่งที่มา:http://www.enconlab.com/fbr/download.asp [9 มีนาคม 2552]

[2] Clara, I.P.M. 2009. Energy efficiency developments in the manufacturing industries of Germany and Colombia, 1998-2005. Energy for Sustainable Development: 189-201.

[3] Puranik, V.S. 2007. CUSUM Quality Control Chart for Monitoring Energy Use Performance. Proceedings of the IEEM: 1231-1237.

[4] ประพันธ์ ธนาปิยะกุล. 2552. การประยุกต์ใช้ระบบตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน(1). เทคนิค ไฟฟ้า เครื่องกล วิศวกรรมอุตสาหการ. 304 (สิงหาคม): 73-84.

[5] Worrell, Cuelenaere, Block, and Turkenburg Energy Consumption by Industrial Processes in The European Union. Energy. 19(1994): 1113-1129.

[6] Wua, L., Chenb, B., Borc, Y., and Wu, Y. Structure model of energy efficiency indicators and applications. Energy Policy. 35(2007): 3768–3777.

[7] ไชยะ แช่มช้อย. 2553. การใช้ข้อมูลเชิงสถิติเพื่อการกำหนดเป้าหมายและการตรวจสอบสัมฤทธิผลการอนุรักษ์พลังงาน(1). เทคนิค ไฟฟ้า เครื่องกล วิศวกรรมอุตสาหการ. 312 (มีนาคม): 91-101.