

การพยากรณ์ต้นทุนการใช้พลังงานและดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ ในกระบวนการผลิตด้วยสมการถดถอยแบบพหุคูณเชิงเส้น และค่าหน่วยเทียบเท่า

Prediction of Energy Cost and Specific Energy Consumption in Manufacturing Process
with Multiple Linear Regression Equation and Equivalent Unit

สกนธ์ คล่องบุญจิต¹

Sakon Klongboonjit¹

Received July 20, 2020 & Retrieved October 31, 2020 & Accepted December 30, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เกี่ยวกับการทำนายต้นทุนด้านพลังงานและค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ในกระบวนการผลิตด้วยสมการถดถอยแบบพหุคูณเชิงเส้นและค่าหน่วยเทียบเท่า ในกรณีศึกษาจะเป็นโรงงานอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ 4 ประเภท เพื่อทำการวิเคราะห์ปัญหาจึงได้นำค่าหน่วยเทียบเท่าเข้ามาใช้เปลี่ยนค่าปริมาณการผลิตของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แต่ละประเภทให้เป็นค่าปริมาณการผลิตเทียบเท่าเสียก่อน ต่อจากนั้นด้วยข้อมูลของปริมาณการใช้ไฟฟ้า เชื้อเพลิง LPG และค่าปริมาณการผลิตเทียบเท่าของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ 4 ประเภท ย้อนหลัง 12 เดือน เมื่อนำเอาเทคนิคการหาสมการถดถอยแบบพหุคูณเชิงเส้นมาทำการคำนวณข้อมูลเหล่านี้ทำให้สามารถสร้างเป็นสมการทำนายต้นทุนการใช้พลังงานทางไฟฟ้า เชื้อเพลิง LPG และพลังรวม ได้ดังสมการ 1) $E_{Ele} \text{ (kWh)} = (3.926 \times 10^6) - (9.112 \times 10^5) EQ_1 + (8.287 \times 10^5) EQ_2 - (1.020 \times 10^5) EQ_3 + (5.461 \times 10^5) EQ_4$ สำหรับต้นทุนการใช้พลังงานทางไฟฟ้า 2) $E_{Ther} \text{ (Liters)} = (4.239 \times 10^4) - (1.185 \times 10^4) EQ_1 + (2.868 \times 10^4) EQ_2 - (3.023 \times 10^4) EQ_3 + (1.722 \times 10^4) EQ_4$ สำหรับต้นทุนการใช้พลังงานทางเชื้อเพลิง LPG และ 3) $E_{Total} \text{ (MJ)} = (1.526 \times 10^7) - (3.596 \times 10^6) EQ_1 + (3.747 \times 10^6) EQ_2 - (1.172 \times 10^6) EQ_3 + (2.425 \times 10^6) EQ_4$ สำหรับต้นทุนการใช้พลังงานทางพลังงาน และเมื่อนำเอาข้อมูลปริมาณการผลิตเทียบเท่ารวมทั้งหมดของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้ง 4 ประเภท มาคำนวณร่วมด้วยในที่สุดจะสามารถสร้างเป็นสมการ SEC ทางไฟฟ้า เชื้อเพลิง LPG และพลังรวม ได้ดังสมการ 1) $SEC_{Ele} \text{ (kWh/1000 ft}^2\text{)} = 0.007 EQ_{Total}^2 - 17.696 EQ_{Total} + 17,492$ สำหรับไฟฟ้า 2) $SEC_{Ther} \text{ (liters/1000 ft}^2\text{)} = 0.0005 EQ_{Total}^2 - 0.9861 EQ_{Total} + 549.88$ สำหรับเชื้อเพลิง LPG และ 3) $SEC_{Total} \text{ (MJ/1000 ft}^2\text{)} = 0.0389 EQ_{Total}^2 - 89.953 EQ_{Total} + 77,610$ สำหรับพลังรวม

คำสำคัญ: ต้นทุนพลังงาน ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ สมการถดถอยแบบพหุคูณเชิงเส้น ค่าหน่วยเทียบเท่า

¹ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

¹ Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

E-mail : sakonklong@hotmail.com

Abstract

This research is about how to predict the energy cost and specific energy consumption (SEC) in manufacturing process with multiple linear regression equation and equivalent unit. The case study is the electronic factory that produces 4 types of electronic print circuit board. To analyze this problem, the equivalent unit is applied to transfer production quantities of each type of electronic print circuit board into the equivalent production quantities. With data of quantities of electricity consumption, LPG consumption and the equivalent production quantities for 4 types of electronic print circuit board for 12 months in the past, the multiple linear regression technique is applied to develop the prediction equations for energy consumption cost of electricity, LPG and total energy as 1) E_{Ele} (kWh) = $(3.926 \times 10^6) - (9.112 \times 10^5) EQ_1 + (8.287 \times 10^5) EQ_2 - (1.020 \times 10^5) EQ_3 + (5.461 \times 10^5) EQ_4$ for energy consumption cost of electricity, 2) E_{Ther} (Liters) = $(4.239 \times 10^4) - (1.185 \times 10^4) EQ_1 + (2.868 \times 10^4) EQ_2 - (3.023 \times 10^4) EQ_3 + (1.722 \times 10^4) EQ_4$ for energy consumption cost of LPG and 3) E_{Total} (MJ) = $(1.526 \times 10^7) - (3.596 \times 10^6) EQ_1 + (3.747 \times 10^6) EQ_2 - (1.172 \times 10^6) EQ_3 + (2.425 \times 10^6) EQ_4$ for energy consumption cost of total energy. Finally, with the additional data of total equivalent production quantities for 4 types of electronic print circuit board, SEC equations of electricity, LPG and total energy are developed as 1) SEC_{Ele} (kWh/1000 ft²) = $0.007 EQ_{Total}^2 - 17.696 EQ_{Total} + 17,492$ for electricity, 2) SEC_{Ther} (liters/1000 ft²) = $0.0005 EQ_{Total}^2 - 0.9861 EQ_{Total} + 549.88$ for LPG and 3) SEC_{Total} (MJ/1000 ft²) = $0.0389 EQ_{Total}^2 - 89.953 EQ_{Total} + 77,610$ for total energy.

Keywords: Energy Cost, Specific Energy Consumption, Multiple Linear Regression, Equivalent Unit

ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

พลังงานเป็นสิ่งสำคัญต่อชีวิตความเป็นอยู่ของมนุษย์เป็นอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นภาคธุรกิจ ภาคอุตสาหกรรมการผลิต ภาคการขนส่ง หรือภาคที่อยู่อาศัย ล้วนแล้วแต่ต้องการพลังงานไปใช้งานทั้งสิ้น ถ้าพิจารณาถึงแหล่งพลังงานที่นำมาใช้งานแล้วพบว่าจะมีแหล่งพลังงานหลักอยู่หลายรูปแบบ ได้แก่ น้ำมันสำเร็จรูป พลังงานไฟฟ้า พลังงานหมุนเวียน ก๊าซธรรมชาติ พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม และถ่านหินหรือลิกไนต์ สำหรับประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศที่มีการเติบโตทางเศรษฐกิจอย่างต่อเนื่องมาตลอดระยะเวลาหลายปีทำให้การใช้พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นและมีความต้องการพลังงานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในทุกๆปี ดังจะเห็นได้จากข้อมูลการใช้พลังงานปี พ.ศ. 2562 (สถิติข้อมูลพลังงาน ศูนย์สารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน) พบว่า น้ำมันสำเร็จรูปเป็นพลังงานที่ใช้มากที่สุดถึง 50.8% รองลงมาเป็นพลังงานไฟฟ้า 21.0% แล้วจึงเป็นการใช้พลังงานจาก พลังงานหมุนเวียน ก๊าซธรรมชาติ พลังงานหมุนเวียนดั้งเดิม และถ่านหินหรือลิกไนต์ คิดเป็น 9.0% 7.3% 6.0% และ 5.9% ตามลำดับ การที่ใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นอย่างมากนี้เป็นผลมาจากการบริโภคภาคเอกชนและการลงทุนภาคเอกชนที่ขยายตัวอย่างต่อเนื่องทำให้การผลิตในภาคอุตสาหกรรมของประเทศกลับมาขยายตัวอีกครั้งหนึ่ง และในช่วงปี พ.ศ. 2560 -2562 การใช้พลังงานในสาขาอุตสาหกรรม และสาขาการขนส่งมีปริมาณการใช้พลังงานที่สูงมาก 2 อันดับแรกของประเทศ รองลงมาจึงเป็น สาขาบ้านอยู่อาศัย สาขารัฐกิจการค้า และสาขาเกษตรกรรม เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของประเทศจึงจำเป็นต้องหาวิธีที่ต้องทราบถึงต้นทุนการใช้พลังงานในสาขาต่างๆ เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์

ความเป็นไปได้ในการลดการใช้พลังงานต่อไปในอนาคต

งานวิจัยนี้จึงทำการนำเสนอวิธีการสร้างสมการที่ใช้ในการพยากรณ์ต้นทุนการใช้พลังงานในการผลิตสำหรับสาขาอุตสาหกรรม โดยใช้ข้อมูลจากโรงงานกรณีศึกษาคือโรงงานผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แห่งหนึ่ง ผ่านขั้นตอนการทบทวนการใช้พลังงานตามระบบมาตรฐานการจัดการพลังงาน ISO 50001 ร่วมกับการประยุกต์ใช้เทคนิคหน่วยเทียบเท่าเพื่อให้ได้ค่าพยากรณ์ที่ดียิ่งขึ้น ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับทุกโรงงานในหลายประเภทสาขาอุตสาหกรรม

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ต้นทุนการใช้พลังงานสำหรับโรงงานในกรณีศึกษาด้วยวิธีการทบทวนการใช้พลังงานตามระบบมาตรฐานการจัดการพลังงาน ISO 50001 ร่วมกับเทคนิคหน่วยเทียบเท่า
2. เพื่อสร้างสมการพยากรณ์ต้นทุนการใช้พลังงานสำหรับโรงงานในกรณีศึกษาด้วยพื้นฐานของสมการถดถอยแบบพหุคูณเชิงเส้น

บททวนวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เพื่อเป็นการบริหารและใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล จึงจำเป็นต้องทราบถึงต้นทุนการใช้พลังงานเสียก่อนเพื่อให้ทราบถึงสภาพปัจจุบันในการใช้พลังงานขององค์กรนั้นๆ ซึ่งนักวิจัยต่างๆ ได้พยายามพัฒนาและประยุกต์ใช้ทฤษฎีต่างๆ เพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการพยากรณ์ หรือประมาณ ค่าต้นทุนการใช้พลังงาน โดยมีงานวิจัยต่างประเทศที่เกี่ยวข้องอยู่มาก ดังเช่น งานวิจัยของ Pedro A. และคณะ (2005) ได้นำวิธีเครือข่ายประสาทเทียมแบบย้อนกลับมาใช้ในการทำนายภาระการใช้พลังงานของอาคาร โดยอาศัยข้อมูลต่างๆ ในการคำนวณ เช่น ข้อมูลการพยากรณ์อุณหภูมิอากาศ ภาระการใช้พลังงานในเวลาปัจจุบัน จำนวนชั่วโมงที่ดวงอาทิตย์อยู่บนฟ้าในวันนั้น และอื่นๆ งานวิจัยของ L.Ekonomou (2010) ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีเครือข่ายประสาทเทียมในการทำนายปริมาณการใช้พลังงานในระยะยาว ตั้งแต่ปี ค.ศ. 2005 – 2008, 2010, 2012 และ 2015 ของประเทศกรีซ ในงานวิจัยของ Hai-xiang Zhao (2012) เป็นการทำนายประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารโดยการใช้ค่าตัวแปรต่างๆ เช่น อุณหภูมิอากาศภายนอก โครงสร้างอาคาร คุณสมบัติวัสดุที่นำมาสร้างอาคาร ระบบการใช้ไฟฟ้า และอื่นๆ ในการคำนวณด้วยวิธีการที่สถิติที่ง่ายไม่ซับซ้อนร่วมกับระบบปัญญาประดิษฐ์ งานวิจัยของ S.T.Newman (2012) ได้ทำการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานของเครื่องจักร CNC ในกระบวนการผลิต แล้วนำมาใช้วางแผนการใช้งานเครื่องจักร CNC เพื่อลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตโดยรวม

ส่วนในประเทศไทยงานวิจัยทางด้านนี้เริ่มเป็นที่แพร่หลายเช่นกัน ดังเช่น งานวิจัยของพิรพงษ์ และสุทัศน์ (2553) ได้ใช้วิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณในการพัฒนาสมการแสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในการผลิตผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์หลายๆ ผลิตภัณฑ์ จากอิทธิพลของชั่วโมงการทำงาน จำนวนของผลิตภัณฑ์ และผลต่างของอุณหภูมิ งานวิจัยของเป็นธิดาและคณะ (2554) ได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของตัวอย่างโรงงานควบคุมใน 4 กลุ่มอุตสาหกรรมด้วยการใช้ค่าพลังงานจำเพาะเพื่อทำการหาสมการถดถอยเชิงเส้นสำหรับการใช้พลังงาน และใช้สมการนี้ในการจัดการพลังงานรวมถึงการตั้งเป้าหมายการใช้พลังงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

เพื่อให้ได้ข้อมูลเพียงพอต่อการสร้างสมการพยากรณ์ต้นทุนการใช้พลังงานและดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะด้วยสมการถดถอยแบบพหุคูณเชิงเส้น ตามขั้นตอนการทบทวนการใช้พลังงานตามมาตรฐานการจัดการพลังงาน ISO 50001 ร่วมกับเทคนิคหน่วยเทียบเท่า ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาระบวนการผลิตของโรงงานผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในกรณีศึกษาตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นที่ 1 รวบรวมข้อมูลประเภทของพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ย้อนหลัง 12 เดือนว่าในแต่ละเดือนใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนในปริมาณเท่าไร

ขั้นที่ 2 วิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำการผลิตย้อนหลัง 12 เดือน โดยทำการเก็บข้อมูลปริมาณการผลิต (Q) และเวลามาตรฐานในการผลิต (ST) ของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ แล้วทำการแบ่งแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ออกเป็นกลุ่มย่อยๆตามเวลามาตรฐานในการผลิตของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แต่ละกลุ่ม ต่อจากนั้นให้หาคำนวนค่าหน่วยเทียบเท่า (Equivalent Unit, EU) ให้แก่แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แต่ละกลุ่ม เพื่อแสดงถึงความแตกต่างด้านความยากง่ายในการผลิตที่ต่างกันไปตามกลุ่มของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ขั้นที่ 3 คำนวนค่าปริมาณการผลิตเทียบเท่า (Equivalent Quantity, EQ) ของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แต่ละกลุ่ม โดยให้คำนวนตามสมการที่ 1

$$EQ_i = EU_i \times Q_i \quad (1)$$

เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ตามจำนวนกลุ่มของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์

ขั้นที่ 4 ทำการคำนวณหาต้นทุนการใช้พลังงานโดยใช้ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ร่วมกับข้อมูลค่าปริมาณการผลิตเทียบเท่าของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แต่ละกลุ่มย้อนหลัง 12 เดือน ด้วยวิธีการหาสมการถดถอยแบบพหุคูณเชิงเส้นตามสมการที่ 2 ถึง 4

$$E_{Ele} = a_0 + a_1 \times EQ_1 + a_2 \times EQ_2 + \dots + a_i \times EQ_i \quad (2)$$

$$E_{Ther} = b_0 + b_1 \times EQ_1 + b_2 \times EQ_2 + \dots + b_i \times EQ_i \quad (3)$$

$$E_{Total} = c_0 + c_1 \times EQ_1 + c_2 \times EQ_2 + \dots + c_i \times EQ_i \quad (4)$$

เมื่อ $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ตามจำนวนกลุ่มของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์

โดยที่ E_{Ele} คือ ต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้า E_{Ther} คือ ต้นทุนการใช้พลังงานความร้อน

E_{Total} คือ ต้นทุนการใช้พลังงานรวมทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน

ค่าคงที่ $a_0, a_1, a_2, \dots, a_i$ ค่าคงที่ $b_0, b_1, b_2, \dots, b_i$ และ ค่าคงที่ $c_0, c_1, c_2, \dots, c_i$ คือ ส.ป.ส.การคูณของผลิตภัณฑ์แต่ละกลุ่มในการคำนวณค่าต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อน และพลังงานรวม ตามลำดับ

ขั้นที่ 5 นำสมการพยากรณ์ต้นทุนการใช้พลังงานที่ได้มาทำการสร้างสมการพยากรณ์ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) ทางไฟฟ้า ทางความร้อน และพลังงานรวม โดยทำการหารค่าการใช้พลังงานทางไฟฟ้า ทางความร้อน และพลังงานรวม ในแต่ละเดือน 12 เดือน ย้อนหลัง ด้วยค่า $EQ_{รวม}$ ในแต่ละเดือน ซึ่งคำนวนได้ดังสมการที่ 5

$$EQ_{Total} = EQ_1 + EQ_2 + EQ_3 + \dots + EQ_i \quad (5)$$

ผลการวิเคราะห์

สำหรับโรงงานผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในกรณีศึกษานี้เป็นโรงงานที่ใช้แหล่งพลังงานหลักอยู่ 2 แหล่งคือ

1) พลังงานไฟฟ้า โดยมีหม้อแปลงไฟฟ้ารวม 7 ตัว แบ่งเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 2,500 kVA 5 ตัว และ

หม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 3,000 kVA 2 ตัว เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าหลักป้อนให้แก่กระบวนการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์

2) พลังงานความร้อน ใช้เชื้อเพลิงปิโตรเลียมเหลว (LPG) เป็นเชื้อเพลิงหลักในการสร้างความร้อนป้อนให้แก่กระบวนการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์

โรงงานผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์นี้ทำการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์อยู่หลายประเภทแต่เมื่อใช้ค่าเวลามาตรฐานเพื่อแบ่งกลุ่มแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์จะสามารถแบ่งแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำการผลิตออกได้เป็น 4 กลุ่ม (ไม่ได้แสดงรายละเอียดในที่นี้) ได้แก่ 1) กลุ่ม X_1 มีค่าเวลามาตรฐานเฉลี่ยในการผลิตประมาณ 10.53 นาที 2) กลุ่ม X_2 มีค่าเวลามาตรฐานเฉลี่ยในการผลิตประมาณ 13.25 นาที 3) กลุ่ม X_3 มีค่าเวลามาตรฐานเฉลี่ยในการผลิตประมาณ 15.13 นาที และ 4) กลุ่ม X_4 มีค่าเวลามาตรฐานเฉลี่ยในการผลิตประมาณ 16.25 นาที โดยเวลามาตรฐานในการผลิตที่นานขึ้นจะบ่งชี้ถึงพลังงานไฟฟ้าและความร้อนที่จำเป็นต้องใช้ในการผลิตที่มากขึ้นด้วย และจากข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตย้อนหลัง 12 เดือน สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ย้อนหลัง 12 เดือน

เดือนที่	ไฟฟ้า (kWh)	LPG (ลิตร)	ปริมาณการผลิต ($Q \times 1000 \text{ ft}^2$)			
			กลุ่ม X_1	กลุ่ม X_2	กลุ่ม X_3	กลุ่ม X_4
1	6,265,740	64,786	293.04	219.78	146.52	73.26
2	6,343,020	73,326	305.36	229.02	152.68	76.34
3	7,081,680	93,710	369.08	276.81	184.54	92.27
4	6,261,840	57,646	298.68	224.01	149.34	74.67
5	6,216,480	65,116	308.16	231.12	154.08	77.04
6	6,967,560	94,702	351.60	263.70	175.80	87.90
7	7,256,820	93,604	338.96	254.22	169.48	84.74
8	7,263,900	78,592	325.72	244.29	162.86	81.43
9	6,792,720	80,500	280.08	210.06	140.04	70.02
10	6,614,940	76,792	264.76	198.57	132.38	66.19
11	6,221,700	83,022	222.36	166.77	111.18	55.59
12	5,470,440	71,228	231.64	173.73	115.82	57.91

ต่อจากนั้นให้ทำการคำนวณหาค่าหน่วยเทียบเท่า (EU) ของแต่ละกลุ่มผลิตภัณฑ์แผงอิเล็กทรอนิกส์ จากข้อมูลเวลามาตรฐานเฉลี่ยในการผลิต (ST) ทำให้ทราบว่า แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์กลุ่มที่ 1 มีค่า $ST_1 = 10.53$ นาที แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์กลุ่มที่ 2 มีค่า $ST_2 = 13.25$ นาที แผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์กลุ่มที่ 3 มีค่า $ST_3 = 15.13$ นาที และแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์กลุ่มที่ 4 มีค่า $ST_4 = 16.25$ นาที โดยจะใช้ค่า ST ที่น้อยที่สุดนั่นคือ $ST_1 = 10.53$ นาที เป็นตัวหารเพื่อหาค่า EU ของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แต่ละกลุ่ม ทำให้ได้ค่า

$$EU_1 = EU_1 / EU_1 = 1.00$$

$$EU_2 = EU_2 / EU_1 = 1.26$$

$$EU_3 = EU_3 / EU_1 = 1.44$$

$$EU_4 = EU_4 / EU_1 = 1.54$$

เมื่อนำเอาค่า EU_1 , EU_2 , EU_3 และ EU_4 ไปคูณค่าปริมาณการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แต่ละกลุ่ม หรือ Q_1 , Q_2 , Q_3 และ Q_4 ในตารางที่ 1 จะทำให้ได้ค่าปริมาณการผลิตเทียบเท่าแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แต่ละกลุ่ม หรือ EQ_1 , EQ_2 , EQ_3 และ EQ_4 ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตเทียบเท่าของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ย้อนหลัง 12 เดือน

เดือนที่	ไฟฟ้า (kWh)	LPG (ลิตร)	ปริมาณการผลิตเทียบเท่า (EQ x 1000 ft ²)				
			กลุ่ม X ₁	กลุ่ม X ₂	กลุ่ม X ₃	กลุ่ม X ₄	EQ _{Total}
1	6,265,740	64,786	293.04	276.92	210.99	112.82	893.77
2	6,343,020	73,326	305.36	288.57	219.86	117.56	931.35
3	7,081,680	93,710	369.08	348.78	265.74	142.10	1,125.70
4	6,261,840	57,646	298.68	282.25	215.05	114.99	910.97
5	6,216,480	65,116	308.16	291.21	221.88	118.64	939.89
6	6,967,560	94,702	351.60	332.26	253.15	135.37	1,072.38
7	7,256,820	93,604	338.96	320.32	244.05	130.50	1,033.83
8	7,263,900	78,592	325.72	307.81	234.52	125.40	993.45
9	6,792,720	80,500	280.08	264.68	201.66	107.83	854.25
10	6,614,940	76,792	264.76	250.20	190.63	101.93	807.52
11	6,221,700	83,022	222.36	210.13	160.10	85.61	678.20
12	5,470,440	71,228	231.64	218.90	166.78	89.18	706.50

ต่อจากนั้นให้ทำการคำนวณค่าพลังงานรวมของพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน โดยทำการเปลี่ยนหน่วยของพลังงานไฟฟ้าที่มีหน่วยเป็น kWh ให้เป็นหน่วยพลังงานในหน่วย MJ ด้วยการคูณด้วยค่าคงที่ 3.6 MJ/kWh ส่วนการเปลี่ยนหน่วยของเชื้อเพลิงปิโตรเลียมเหลว LPG ที่มีหน่วยเป็น ลิตร ให้เป็นหน่วย MJ ด้วยการคูณด้วยค่าความร้อนของเชื้อเพลิงปิโตรเลียมเหลว LPG ซึ่งเท่ากับ 26.62 MJ/ลิตร ทำให้ได้ค่าพลังงานรวมในการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ย้อนหลัง 12 เดือน ออกมาดังแสดงในตารางที่ 3

เมื่อใช้ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า (หน่วย kWh) การใช้พลังงานความร้อน LPG (หน่วย ลิตร) และ การใช้พลังงานรวม (หน่วย MJ) ในตารางที่ 3 ร่วมกับข้อมูลปริมาณการผลิตเทียบเท่าของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แต่ละกลุ่ม (EQ) ในตารางที่ 2 จะสามารถคำนวณหาค่าต้นทุนพลังงานต่างๆตามสมการที่ 2 - 4 ดังนี้

1) สมการพยากรณ์การใช้พลังงานไฟฟ้า (E_{Ele}) ในหน่วย kWh

$$E_{Ele} = (3.926 \times 10^6) - (9.112 \times 10^5) EQ_1 + (8.287 \times 10^5) EQ_2 - (1.020 \times 10^5) EQ_3 + (5.461 \times 10^5) EQ_4$$

2) สมการพยากรณ์การใช้พลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง LPG (E_{Ther}) ในหน่วย ลิตร

$$E_{Ther} = (4.239 \times 10^4) - (1.185 \times 10^4) EQ_1 + (2.868 \times 10^4) EQ_2 - (3.023 \times 10^4) EQ_3 + (1.722 \times 10^4) EQ_4$$

ตารางที่ 3 ค่าพลังงานรวมในการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ย้อนหลัง 12 เดือน

เดือนที่	ไฟฟ้า		LPG		พลังงานรวม (MJ)
	(kWh)	(MJ)	(ลิตร)	(MJ)	
1	6,265,740	22,556,664	64,786	1,724,603.32	24,281,267.32
2	6,343,020	22,834,872	73,326	1,951,938.12	24,786,810.12
3	7,081,680	25,494,048	93,710	2,494,560.20	27,988,608.20
4	6,261,840	22,542,624	57,646	1,534,536.52	24,077,160.52
5	6,216,480	22,379,328	65,116	1,733,387.92	24,112,715.92
6	6,967,560	25,083,216	94,702	2,520,967.24	27,604,183.24
7	7,256,820	26,124,552	93,604	2,491,738.48	28,616,290.48
8	7,263,900	26,150,040	78,592	2,092,119.04	28,242,159.04
9	6,792,720	24,453,792	80,500	2,142,910.00	26,596,702.00
10	6,614,940	23,813,784	76,792	2,044,203.04	25,857,987.04
11	6,221,700	22,398,120	83,022	2,210,045.64	24,608,165.64
12	5,470,440	19,693,584	71,228	1,896,089.36	21,589,673.36

3) สมการพยากรณ์การใช้พลังงานรวม (E_{Total}) ในหน่วย MJ

$$E_{Total} = (1.526 \times 10^7) - (3.596 \times 10^6) EQ_1 + (3.747 \times 10^6) EQ_2 - (1.172 \times 10^6) EQ_3 + (2.425 \times 10^6) EQ_4$$

หลังจากนั้น ทำการคำนวณหาค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะทางพลังงานไฟฟ้า (SEC_{Ele}) ทางพลังงานความร้อน (SEC_{Ther}) และพลังงานรวม (SEC_{Total}) ย้อนหลัง 12 เดือน ดังในตารางที่ 4 – 6 พร้อมสมการพยากรณ์ค่า SEC

ตารางที่ 4 แสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะทางพลังงานไฟฟ้า

เดือนที่	ไฟฟ้า (kWh)	EQ _{รวม} (x1000 ft ²)	SEC _{Ele} (kWh/1000 ft ²)
1	6,265,740	893.77	7,010.46
2	6,343,020	931.35	6,810.57
3	7,081,680	1,125.70	6,290.91
4	6,261,840	910.97	6,873.82
5	6,216,480	939.89	6,614.05
6	6,967,560	1,072.38	6,497.29
7	7,256,820	1,033.83	7,019.36
8	7,263,900	993.45	7,311.79
9	6,792,720	854.25	7,951.68
10	6,614,940	807.52	8,191.67
11	6,221,700	678.20	9,173.84
12	5,470,440	706.50	7,743.01

$$SEC_{Ele} = 0.007 EQ_{Total}^2 - 17.696 EQ_{Total} + 17,492$$

ตารางที่ 5 แสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะทางพลังงานความร้อนจากเชื้อเพลิง LPG

เดือนที่	ไฟฟ้า (kWh)	EQ _{รวม} (x1000 ft ²)	SEC _{Ele} (kWh/1000 ft ²)
1	64,786	893.77	72.49
2	73,326	931.35	78.73
3	93,710	1,125.70	83.25
4	57,646	910.97	63.28
5	65,116	939.89	69.28
6	94,702	1,072.38	88.31
7	93,604	1,033.83	90.54
8	78,592	993.45	79.11
9	80,500	854.25	94.23
10	76,792	807.52	95.10
11	83,022	678.20	122.42
12	71,228	706.50	100.82

$$SEC_{Ther} = 0.0005 EQ_{Total}^2 - 0.9861 EQ_{Total} + 549.88$$

ตารางที่ 6 แสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะพลังงานรวม

เดือนที่	ไฟฟ้า (kWh)	EQ _{รวม} (x1000 ft ²)	SEC _{Ele} (kWh/1000 ft ²)
1	24,281,267.32	893.77	27,167.24
2	24,786,810.12	931.35	26,613.85
3	27,988,608.20	1,125.70	24,863.29
4	24,077,160.52	910.97	26,430.25
5	24,112,715.92	939.89	25,654.83
6	27,604,183.24	1,072.38	25,741.05
7	28,616,290.48	1,033.83	27,679.88
8	28,242,159.04	993.45	28,428.36
9	26,596,702.00	854.25	31,134.56
10	25,857,987.04	807.52	32,021.48
11	24,608,165.64	678.20	36,284.53
12	21,589,673.36	706.50	30,558.63

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

จากผลการวิจัยพบว่าเป็นการยากในการคำนวณหาต้นทุนการใช้พลังงานและดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะสำหรับกระบวนการผลิตที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์หลายๆประเภทในกระบวนการผลิตเดียวกัน เนื่องจากไม่ทราบว่าจะใช้เกณฑ์ใดอ้างอิงเพื่อทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่ต่างกัน ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการเสนอแนวคิดการใช้หน่วยเทียบเท่าสำหรับปริมาณการผลิตเพื่อทำการแปลงปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ที่ต่างกันให้มาอยู่ในหน่วยเดียวกันเสียก่อนทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ต้นทุนด้านพลังงาน ดังเช่นในโรงงานผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในกรณีศึกษาซึ่งทำการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์หลายประเภท ในการวิเคราะห์ข้อมูลจึงจำเป็นต้องแบ่งกลุ่มแผงวงจรออกเป็นกลุ่มๆเสียก่อนโดยในที่นี้ได้แบ่งกลุ่มโดยใช้ค่าเวลามาตรฐานในการผลิตเป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่มทำให้สามารถแบ่งแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ออกได้ 4 กลุ่มหลัก แล้วจึงทำการคำนวณค่าหน่วยเทียบเท่าของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แต่ละกลุ่มเพื่อใช้ในการแปลงปริมาณการผลิตของแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์แต่ละกลุ่มให้อยู่ในหน่วยเดียวกันที่เรียกว่าปริมาณการผลิตเทียบเท่า เมื่อปริมาณการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทุกกลุ่มถูกแปลงมาให้อยู่ในหน่วยเดียวกันแล้วทำให้สามารถคำนวณหาต้นทุนการใช้พลังงานได้ด้วยการประยุกต์ใช้สมการถดถอยแบบพหุคูณเชิงเส้นเข้าช่วย ทำให้ได้สมการพยากรณ์ต้นทุนการใช้พลังงานทางไฟฟ้า ทางความร้อน และพลังงานรวมดังสมการ

$$E_{Ele} = (3.926 \times 10^6) + (-9.112 \times 10^5) EQ_1 + (8.287 \times 10^5) EQ_2 + (-1.020 \times 10^5) EQ_3 + (5.461 \times 10^5) EQ_4$$

$$E_{Ther} = (4.239 \times 10^4) + (-1.185 \times 10^4) EQ_1 + (2.868 \times 10^4) EQ_2 + (-3.023 \times 10^4) EQ_3 + (1.722 \times 10^4) EQ_4$$

$$E_{\text{Total}} = (1.526 \times 10^7) + (-3.596 \times 10^6) EQ_1 + (3.747 \times 10^6) EQ_2 + (-1.172 \times 10^6) EQ_3 + (2.425 \times 10^6) EQ_4$$

และเนื่องจากปริมาณการผลิตแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทุกกลุ่มถูกแปลงมาให้อยู่ในหน่วยเดียวกันแล้ว ทำให้สามารถนำมารวมกันได้เป็นปริมาณการผลิตเทียบเท่ารวม (EQ_{Total}) ทำให้สามารถคำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะทางไฟฟ้า ทางความร้อน และพลังงานรวมตั้งสมการ

$$SEC_{\text{Ele}} = 0.007 EQ_{\text{Total}}^2 - 17.696 EQ_{\text{Total}} + 17,492$$

$$SEC_{\text{Ther}} = 0.0005 EQ_{\text{Total}}^2 - 0.9861 EQ_{\text{Total}} + 549.88$$

$$SEC_{\text{Total}} = 0.0389 EQ_{\text{Total}}^2 - 89.953 EQ_{\text{Total}} + 77,610$$

ซึ่งสามารถใช้เป็นสมการอ้างอิงสำหรับใช้ในการบริหารงานพลังงานเพื่อลดการใช้พลังงานในการผลิตได้ต่อไปในอนาคต

อย่างไรก็ดี การนำวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้ในกระบวนการผลิตที่แตกต่างไปจากกรณีศึกษาในที่นี้ก็สามารถทำได้ แต่เพื่อให้ได้ค่าการวิเคราะห์ต้นทุนที่เหมาะสมแก่กระบวนการผลิตนั้นๆ ต้องระลึกร่วมกันว่า ข้อมูลพลังงานย้อนหลังที่นำมาวิเคราะห์ต้องใช้อย่างน้อย 12 เดือนย้อนหลัง การคำนวณหาค่าหน่วยเทียบเท่า (EU) จากอาจะจะใช้ข้อมูลอื่นที่ไม่ใช่เวลามาตรฐานเฉลี่ยในการผลิตก็ได้ โดยข้อมูลที่เลือกมาใช้ต้องพิจารณาแล้วว่าเหมาะสมต่อกระบวนการผลิตนั้นๆ และการสร้างสมการพยากรณ์ต้นทุนการผลิตด้วยสมการถดถอยเชิงพหุคูณในบางครั้งจำเป็นต้องสร้างด้วยสมการถดถอยแบบพหุคูณไม่เชิงเส้นเพื่อให้ได้ค่าการพยากรณ์ต้นทุนการผลิตที่ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- สถิติข้อมูลพลังงาน ศูนย์สารสนเทศข้อมูลพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, สถานการณ์พลังงานของประเทศไทย มกราคม – ตุลาคม 2562 จาก HYPERLINK “https://www.dede.go.th/download/stat62/frontpage_jan_oct_62.pdf”
- พีรพงษ์ แก้ววิมลรัตน์ และ รศ.สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน (2553). การพัฒนาแบบจำลองดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะด้วยเทคนิคหน่วยเทียบเท่าในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์. วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 7 (2), หน้า 54-65
- เป็นธิดา มณีโชติ จันทนา จันทโร และไชยะ แซ่มซ้อย (2554). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม : TSIC 33, 36, 37 และ 38. วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 8 (2), หน้า 12-19
- Pedro A.Gonzalez and Jess M.Zamarreo (2005). Prediction of Hourly Energy Consumption in Buildings Based on a feedback artificial neural network. Energy and Buildings, Vol. 37, pp. 595-601.
- L.Ekonomou (2010). Greek Long-Term Energy Consumption Prediction Using Artificial Neural Networks. Energy, Vol. 35, pp. 512-517.
- Hai-xiang Zhao and Frederic Magoules (2012). A Review on The Prediction Of Building Energy Consumption. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 16, pp. 3586-3592.
- S.T.Newman, A.Nassehi and et.al. (2012). Energy Efficient Process Planning for CNC Machining. CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, Vol. 5, pp. 127-136.

Translated Thai References

Energy Statistics Data. Information Center of Renewable Energy Data and Energy Conservation, Thailand Energy Situation January – October 2019 from https://www.dede.go.th/download/stat62/frontpage_jan_oct_62.pdf

Perapong Kaewwimon and Assoc. Prof. Suthat Rattanakueakangwal (2010). A Model Development of Specific Energy Consumption by Using Equivalent Unit Technique in Electronic Industry. Journal of Energy Research, Vol. 7 (2), pp.54-65.

Penthida Maneechod, Jantana Jantaro and Chaiya Chamchoy (2011). Energy Efficiency Analysis Of The Designated Factories: TSIC 33, 36, 37 and 38. Journal of Energy Research, Vol. 8 (2), pp.12-19.