ดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานเพื่อบ่งชี้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานผลิตผ้าเบรก

Energy performance index to indicate the energy efficiency of brake fabric factory.

วิจิตร ไสยาศรี พงศกร คชาพงศ์กุล* และ ชานนท์ บุญมีพิพิธ
วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
E-mail: pkerdchang@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) และสัดส่วนปริมาณพลังงานที่ใช้จริง (EUI) เพื่อเปรียบเทียบค่าดัชนีการใช้พลังงาน พร้อมทั้งพัฒนาสมการเพื่อเป็นแนวทางการบริหารจัดการพลังงานเบื้องต้นของโรงงานควบคุม อุตสาหกรรมการผลิตดิสเบรก ก้ามเบรกหลัง และก้ามเบรกเปล่า ซึ่งการใช้พลังงานที่มีความแตกต่างกัน โดยต้องใช้เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตที่มีความหลากหลายโดยส่วนใหญ่ คือ เครื่องอบร้อนผ้าเบรก ที่มีจำนวนหลากหลายของผลิตภัณฑ์ และขนาดที่มีกำลังผลิตที่แตกต่างกัน ส่งผลให้ความสัมพันธ์ที่เหมาะสมระหว่างการใช้พลังงานกับการผลิต จากการศึกษาการใช้พลังงานจากการใช้พลังงานจำเพาะที่เกิดขึ้นระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้และปริมาณผลผลิตที่ได้ในช่วงเวลาเดียวกันพร้อมทั้งหาค่าดัชนีการใช้พลังงาน จากปริมาณพลังงานที่ใช้จริงและปริมาณพลังงานฐานเพื่อทำการวิเคราะห์ดัชนีการใช้พลังงานจากสมการถดถอยเพื่อให้สมการมีความสมบูรณ์ได้นำโปรแกรมการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ในลักษณะต่างอีกด้วย

ผลจากการศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานพบว่า ชั่วโมงการทำงาน การใช้พลังงานความร้อนมีผลต่อปริมาณการผลิตจากสมการหา EUI มีค่า R^2 เท่า 1.00 จากการวิเคราะห์ค่าพลังงานจำเพาะ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยพิจารณาการกระจายตัวของข้อมูลเส้นกราฟ 2 ปี การผลิตผ้าเบรกโรงงานที่ 1 จะมีการใช้พลังงานต่อหน่วยคือ 2.15 ±10 เปอร์เซ็นต์ (เมกะจูลต่อชิ้น) โรงงานที่ 2 จะมีการใช้พลังงานต่อหน่วยคือ 1.46 ±10 เปอร์เซ็นต์ (เมกะจูลต่อชิ้น)

คำสำคัญ: ดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ กระบวนการผลิตผ้าเบรก

Abstract

This objective of the research for analyze energy efficiency. By finding the specific energy consumption (SEC) and the actual amount of energy used (EUI) to compare the energy consumption index. Along with developing the equation to be a guideline for preliminary energy management of the control factory Industrial production of disk brake, rear brakes and brake shoes. Which use different energy by having to use a variety of production machinery, most of which are heat dryers, brake pads with a variety of products. The size with different production capacity of the resulting in an appropriate relationship between energy consumption and production. From the study of energy consumption from the use of specific energy that occurs between the amount of energy used and the amount of output obtained in the same period as well as finding the energy consumption index. The amount of energy based that is actually used and the amount of base energy to perform the energy consumption index

*Corresponding auther, e-mail: pkerdchang@rmutr.ac.th

analysis from the regression equation so that the equation is complete. To analyze relationships in different ways as well.

The results of the study of energy consumption data showed that working hours. The use of thermal energy affects the amount of production from the EUI equation, with the value of R^2 equal to 1.00 from the analysis of specific energy values. To increase energy efficiency by considering the distribution of the graph data for 2 years. The production of brake pads Factory 1 will have the power consumption per unit of 2.15 ± 10 percent (Mega Joules per piece). The second plant will be used the energy per unit is 1.46 ± 10 percent (Mega Joules per piece)

Keywords: Energy performance index (EnPI), Specific energy consumption, (SEC), Brake fabric production.

1. ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันพบว่าอาคารธุรกิจ และภาคอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีการใช้พลังงานสูงและมีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้นอีกในอนาคต ทำให้ภาคธุรกิจและภาคอุตสาหกรรมหันมาให้ความสนใจในเรื่องการอนุรักษ์พลังงานและการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพตามนโยบายอนุรักษ์พลังงาน สำหรับภาคอุตสาหกรรมที่ได้รับการออกแบบโดยไม่ได้คำนึงถึงเรื่องการอนุรักษ์พลังงานย่อมมีสมรรถนะการประหยัดพลังงานต่ำ แต่ในขณะเดียวกันแม้ว่าภาคอุตสาหกรรมจะมีการนำแนวคิดเรื่องของการอนุรักษ์พลังงานมาใช้ในกระบวนการออกแบบแล้วก็ตามแต่ยัง ลดการบริโภคพลังงานได้ไม่มากนัก สิ่งเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงปัญหาบางประการที่เกิดขึ้นในการออกแบบและการใช้งานในภาคอุตสาหกรรมซึ่งทำให้ไม่ประสบผลสำเร็จในการอนุรักษ์พลังงานตามที่คาดหวังไว้

โรงงานอุตสาหกรรมผลิตผ้าเบรก เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งของชิ้นส่วนยายยนต์ที่มีการใช้เครื่องจักรในการขึ้นรูปและแปรรูปรวมถึงการใช้อุณหภูมิสูงในการอบ ส่งผลให้เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้ปริมาณพลังงานสูง ปัจจุบันเกิดการแข่งขันทางธุรกิจอย่างเข้มข้นและต่อเนื่อง จึงต้องมีการพัฒนาศักยภาพและลดต้นทุน โดยต้นทุนที่เกิดขึ้นย่อยหนีไม่พ้นค่าใช้จ่ายในด้านพลังงาน จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องส่งเสริมและเพิ่มประสิทธิภาพและการอนุรักษ์พลังงาน การหาต้นทุนพลังงานที่ใช้ในการผลิตเป็นการหาประสิทธิภาพของกระบวนการ ในปัจจุบันวิธีการหนึ่งที่นำมาใช้คิดคำนวณหาต้นทุนการใช้พลังงาน คือ การวิเคราะห์การใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption : SEC) หรือดัชนีการใช้พลังงาน สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์และต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน ซึ่งตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550) มาตรา 9 มาตรา 21 และมาตรา 42 กำหนดให้ต้องมีการจัดทำมาตรฐานในการจัดการพลังงานทั้งสำหรับโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม ซึ่งในปัจจุบันยังไม่ได้มีการจัดทำมาตรฐานเพื่อใช้สำหรับการประเมินสมรรถนะของการดำเนินการจัดการพลังงานที่ชัดเจนของโรงงานควบคุมตามที่ พ.ร.บ.ฯได้กำหนดไว้ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการจัดทำมาตรฐานในการจัดการพลังงาน โดยใช้รูปแบบของตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการจัดการพลังงาน (Energy Performance Indicator) เพื่อเป็นค่าอ้างอิงสำหรับประเมินสมรรถนะด้านการจัดการพลังงานของโรงงานและอาคารควบคุมตามกฎหมาย

2. วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption, SEC) และสัดส่วนปริมาณพลังงานที่ใช้จริง (Energy Usage Index, EUI) ของโรงงานควบคุม อุตสาหกรรมการผลิตดิสเบรกก้ามเบรก ด้วยการหาสมการถดถอยเชิงเส้นของการใช้พลังงานและปริมาณผลการผลิต

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การสำรวจข้อมูลภาคสนามการตรวจวิเคราะห์พลังงานต่อเนื่อง และ Energy Audit จำนวน 1 แห่ง นั้นเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องดำเนินการ เนื่องจากการกรอกแบบสอบถามนั้นอาจมีความ คลาดเคลื่อนได้ดังนั้นวิธีการหนึ่งที่จะยืนยันผลที่แน่นอนได้คือการเข้าไปสำรวจและตรวจวัดอุตสาหกรรมแต่ละแห่งที่เข้าร่วมโครงการ โดยทีมงานที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านพลังงาน เข้าไปดำเนินงานอย่างน้อยโรงงานละ 5 ครั้ง หรือมากกว่าเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครบถ้วนสมบูรณ์ของการวิเคราะห์สมรรถนะด้านพลังงานในแต่ละโรงงาน โดยการหาข้อมูลผลิตภัณฑ์และการใช้พลังงานดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานของโรงงานในที่นี้หมายถึง Specific Energy Consumption (SEC) ซึ่งนิยามตามสมการที่ 1ซึ่งค่าการใช้พลังงานเฉพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) [1] เป็นสัดส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้ (Input) และปริมาณผลผลิตที่ได้ (Output) ในช่วงเวลาเดียวกัน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$SEC=(Energy(E))/(Product(Q)) \quad (1)$$

โดยที่ SEC = ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน
E = ปริมาณพลังงานที่โรงงานใช้ในเดือนนั้น
Q = ปริมาณผลผลิตในช่วงเดียวกัน (หน่วยผลิตภัณฑ์)

โดยทั่วไปพลังงานที่ใช้มักจะประกอบด้วยพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า พลังงานที่ป้อนให้กับกระบวนการผลิตอาจเป็นพลังงานความร้อนจากไอน้ำเพื่อใช้ในกระบวนการผลิต จากเตาเผา หรือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ ระยะเวลาที่ใช้เก็บข้อมูลอาจกำหนดเป็นวัน เดือน หรือ ปี ก็ได้ ค่าการใช้พลังงานจำเพาะที่ได้จะเป็นค่าเฉลี่ยในช่วงเวลาดังกล่าว หน่วยของค่าการใช้พลังงานจำเพาะที่ใช้กันมีอย่างอย่าง เช่น ค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) ค่าของความร้อนเป็นเมกกะจูล (MJ) หรือ แคลลอรี่ (Cal) หรือเป็นค่าเทียบเท่าน้ำมันดิบ (TOE) ต่อหนึ่งหน่วยการผลิต เป็นต้น

การคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะ คือค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตของโรงงาน ค่านี้มีประโยชน์ที่จะช่วยบอกว่ามีการใช้พลังงานเฉลี่ยเท่าใดในการผลิตสินค้า 1 หน่วย การติดตามและควบคุมค่าการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงานเป็นวิธีการจัดการการอนุรักษ์พลังงานที่ได้ผลดีที่สุดวิธีหนึ่ง ค่าการใช้พลังงานจำเพาะหาได้โดยเอาพลังงานที่โรงงานใช้ ในช่วงเวลาที่สนใจ ซึ่งมักจะเป็นเดือน หารด้วยผลผลิตในเดือนเดียวกัน สามารถคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะของพลังงานไฟฟ้า (SECE) หรือค่าการใช้พลังงานจำเพาะของพลังงานความร้อน (SECH) หรือค่าการใช้พลังงานจำเพาะของการใช้พลังงานรวม ขึ้นอยู่กับประเภทของพลังงานที่สนใจ โดยทั่วไปเป็นค่าการใช้พลังงานจำเพาะของการใช้พลังงานรวม

$$SEC_{รวม} = SECE + SECH \quad (2)$$

โดยที่ SECE = ค่าการใช้พลังงานจำเพาะของพลังงานความร้อน
SECH = ค่าการใช้พลังงานจำเพาะของการใช้พลังงาน

เนื่องจากการใช้ดัชนีการวัดการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต หรือ ค่า SEC นั้น เป็นการนำค่าการใช้พลังงานทั้งหมดหารด้วยจำนวนผลผลิตทางกายภาพในเดือนนั้น โดยตัวผลผลิตจะต้องเป็นผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวหรือใกล้เคียงกัน เพราะในการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งผลิตภัณฑ์ (หรือหนึ่งชิ้น) ใช้พลังงานในการผลิตจำนวนหนึ่ง ซึ่งเป็นค่าการใช้พลังงานที่จะนำไปใช้ในการหาค่า SEC แต่เนื่องจากในโรงงานบางแห่งอาจจะมีจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายและมีหลายเกิดความคลาดเคลื่อน เช่น โรงงานผลิตผ้าเบรกนั้นมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายชนิดทำให้แต่ละกระบวนการผลิตก็จะใช้เวลาทำการผลิตไม่เท่ากัน บางขั้นตอนก็จะมีความยากง่ายในการผลิตแตกต่างกัน จึ้งต้องมีการเฉลี่ยค่าการใช้พลังงานให้เท่ากับการผลิตในตอนนั้น ๆ กับการผลิตภัณฑ์อื่นให้มีความสอดคล้องกัน จึงมีการคิดค้นเทคนิคในการเทียบหน่วยผลิตภัณฑ์ให้อยู่ในหน่วยเดียวกันการเทียบหน่วยอัตราส่วนการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์หนึ่งหน่วยทำได้โดยการ เก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ ในที่นี่ใช้การเทียบอัตราส่วนการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์หนึ่งชิ้น โดยนำผลิตภัณฑ์ที่มียอดการผลิตเฉลี่ยสูงสุดเป็นฐานตัวตั้งเพื่อเทียบหน่วย

ค่าดัชนีการใช้พลังงาน (Energy Usage Index, EUI) [2] เป็นสัดส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้จริง (Actual Energy Consumption, AEC) และปริมาณพลังงานฐานหรือที่คาดว่าจะใช้ (Baseline Energy Consumption, BEC) ในช่วงเวลาเดียวกัน เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$EUI=(AEC-BEC)/BEC \qquad (3)$$

โดยที่ EUI = ค่าดัชนีวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
AEC = ปริมาณการใช้พลังงานจริงซึ่งได้จากการตรวจวัด
BEC = ปริมาณการใช้พลังงานที่ได้มาจากการคำนวณ

พลังงานในที่นี้เป็นความหมายเดียวกันกับพลังงานในการคำนวณค่า SEC ซึ่ง BEC คือปริมาณการใช้พลังงานจริงซึ่งได้จากการตรวจวัดมิเตอร์ ใบแจ้งหนี้ ฯลฯ ส่วน BEC เป็นปริมาณการใช้พลังงานที่ได้มาจากการคำนวณซึ่งอ้างอิงจากปีใดปีหนึ่งที่ใช้เป็นฐานในการเปรียบเทียบ EUI มีค่าเป็นบวก แสดงว่าในช่วงระยะเวลาที่ประเมิน มีปริมาณการใช้พลังงานสูงกว่าปีฐาน หรือมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานลดลง แต่ถ้า EUI มีค่าเป็นลบ แสดงว่ามีปริมาณการใช้พลังงานต่ำกว่าปีฐาน หรือมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงขึ้นนั่นเอง ทั้งนี้และทั้งนั้น ปริมาณการใช้พลังงานในช่วงใดช่วงหนึ่งมักจะมีการเปลี่ยนแปลงตามปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่ง BEC ที่ใช้เป็นฐานในการเปรียบเทียบก็ควรจะเปลี่ยนไปตามปัจจัยนั้นเช่นเดียวกัน

BEC ในโครงการนี้จะถูกจัดทำขึ้นให้อยู่ในรูปแบบของสมการความสัมพันธ์ระหว่าง BEC กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อให้ได้ค่าที่สอดคล้องกับสภาพการผลิตจริง แทนการใช้ค่าเฉลี่ยหรือค่าคงที่ โดยจะแยกออกเป็นสมการ BEC ของพลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อนและพลังงานรวม การพัฒนาสมการความสัมพันธ์ระหว่าง BEC กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง จะใช้หลักการทางสถิติและการวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression Analysis) เช่นเดียวกับค่า SEC ซึ่งหลักการทางสถิติและการวิเคราะห์สมการถดถอย โดยการพัฒนาสมการ SEC และ BEC ข้างต้นใช้หลักการทางสถิติและการวิเคราะห์สมการถดถอยในการหาความสัมพันธ์ระหว่าง SEC และ BEC กับตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ซึ่งจะต้องมีการกำหนดตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม การตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระและตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กัน หรือตัวแปรอิสระที่คัดเลือกมามีความเป็นอิสระต่อกัน หรือการตรวจวัดสอบความแม่นยำหรือความคลาดเคลื่อนของสมการที่ใช้ในการทำนายความสัมพันธ์ระหว่างตัวแประอิสระและตัวแปรตามซึ่งอาจจะเป็นได้ทั้งความสัมพันธ์เชิงเส้น (Linear) และไม่เชิงเส้น (Nonlinear) ในการจัดทำดัชนีชี้วัดนี้ตัวแปรตามคือค่า SEC หรือ BEC ส่วนตัวแปรอิสระคือตัวแปรที่ส่งผลต่อ SEC และ BEC อาทิจำนวนผลิตภัณฑ์ ปริมาณการผลิตและหรืออัตรา

การผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ ชนิดของเชื้อเพลิง ฯลฯ แตกต่างกันไปในแต่ละอุตสาหกรรม แต่ละโรงงาน เมื่อได้ตัวแปรตามตั้งต้นมาแล้วจึงทำการตรวจสอบทางสถิติดังกล่าวข้างต้นเพื่อสรุปตัวแปรสุดท้ายที่เกี่ยวข้อง พร้อมหาสมการความสัมพันธ์ที่จะนำใช้โดยพิจารณาค่าทางสถิติดังต่อไป

4. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการจัดทำดัชนีชี้วัดมีขั้นตอนในการดำเนินการโดยสรุปดังนี้

การดำเนินงานวิจัยนี้ ภายใต้วัตถุประสงค์ คือ 1.เพื่อประเมินศักยภาพในการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตที่เป็นมาตรฐาน 2.เพื่อเป็นแนวทางในการจัดทำนโยบายการผลักดันการทำดัชนีชีวัดการใช้พลังงานในภาคอุตสาหกรรม 3.เพื่อใช้ในการกำหนดเกณฑ์มาตรฐานหรือแนวทางที่จะใช้ในการประเมินสมรรถนะของระบบการจัดการพลังงานภายใต้มาตรฐานของประเทศไทย โยมีรายละเอียดในการวิจัยดังนี้

1. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นจากรายงานการจัดการพลังงานที่โรงงานนำส่งให้กับ พพ. เพื่อวิเคราะห์ข้อมูล กำหนดขอบเขตและกำหนดตัวแปรเบื้องต้นที่มีผลต่อการใช้พลังงานและหรือสมรรถนะการใช้พลังงานในการผลิตของโรงงาน รวมไปถึงคำถาม ข้อสงสัยและข้อมูลที่ต้องการเพิ่มเติมจากโรงงาน ในที่นี้ ใช้ข้อมูลเบื้องต้นจากรายงานการจัดการพลังงานปี 2560 - 2561

2. นัดหมายและเข้าโรงงาน เพื่อชี้แจง เยี่ยมชมกระบวนการผลิต ตรวจวัดข้อมูล สอบถามความคิดเห็นที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยหรือตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานและหรือสมรรถนะการใช้พลังงานในการผลิตของโรงงาน รวมไปถึงขอข้อมูลเพิ่มเติมเพื่อนำมาใช้การวิเคราะห์ดัชนีชี้วัด

3. วิเคราะห์สมดุลมวลและสมดุลพลังงาน นำข้อมูลโรงงานและข้อมูลตรวจวัดมาวิเคราะห์สมดุลมวลและสมดุลพลังงาน เพื่อกำหนดตัวแปรตั้งต้นสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยจะพยายามใช้ตัวแปรที่โรงงานมีการเก็บรวบรวมข้อมูลไว้อยู่เป็นประจำแล้วก่อน เพื่อลดภาระหรือการลงทุนติดตั้งเครื่องมือเพิ่มเติมของทางโรงงาน ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลหรือไม่สามารถตรวจวัดตัวแปรตั้งต้นตามที่ได้จากการวิเคราะห์ จะทำการวิเคราะห์จากข้อมูลเท่าที่มีก่อน ทั้งนี้ หากจำเป็นจะต้องใช้ข้อมูลของตัวแปรดังกล่าว อาจจะทำการติดตั้งเครื่องมือวัดเพิ่มเติม

4. จัดทำดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน วิเคราะห์และจัดทำสมการถดถอยเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีชี้วัดและตัวแปรที่มีผลต่อดัชนีชี้วัด ซึ่งจะวิเคราะห์ทั้งสมการระหว่าง SEC กับตัวแปรที่มีผล และ BEC กับตัวแปรที่มีผล โดยใช้ตัวแปรตั้งต้นตามที่วิเคราะห์ไว้ตามข้อ 3 หลังจากนั้นจะใช้หลักการทางสถิติในการตรวจสอบและคัดเลือกตัวแปร รวมถึงการตรวจสอบความแม่นยำของสมการความสัมพันธ์ที่จัดทำขึ้น

5. นำเสนอผลการวิเคราะห์และค่าทางสถิติต่างๆที่ใช้ในการจัดทำดัชนีกับโรงงานเพื่อรับฟังความคิดเห็นและปรับปรุงสมการให้มีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้งานได้อย่างเป็นรูปธรรม รวมไปถึงการรับฟังความคิดเห็นด้านอื่นที่เกี่ยวข้อง

การจัดทำดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานในโครงการนี้จัดทำขึ้นทั้งรายแห่งและรายอุตสาหกรรม โดยรายงานของดัชนีชี้วัดรายแห่งได้ถูกจัดทำขึ้นและมอบต่อโรงงานแห่งนั้นโดยตรง ส่วนดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานที่ถูกนำเสนอในรายงานนี้เป็นดัชนีวัดสมรถนะด้านพลังงานรายอุตสาหกรรม ซึ่งได้มาจากการนำข้อมูลรายแห่งของสถานประกอบการที่เข้าร่วมโครงการในกลุ่มอุตสาหกรรมนั้นๆ มาวิเคราะห์ร่วมกัน โดยใช้หลักการทางสถิติเป็นพื้นฐานเช่นเดียวกัน

การจัดทำปริมาณพลังงานฐาน (Baseline Energy Consumption, BEC) [1]

กลุ่มโรงงานผลิตถุงมือยางที่ใช้เชื้อเพลิงแข็ง

BEC เป็นปริมาณการใช้พลังงานฐานที่จะถูกนำไปใช้ในการคำนวณค่า EUI ดังที่กล่าวถึง จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานและการผลิตแต่ละโรงงานมีปริมาณการใช้พลังงานแยกตามชนิดพลังงาน

พลังงานไฟฟ้า (MJ) = ปริมาณการใช้ไฟฟ้าใบแจ้งหนี้ x 3.6 MJ/kWh

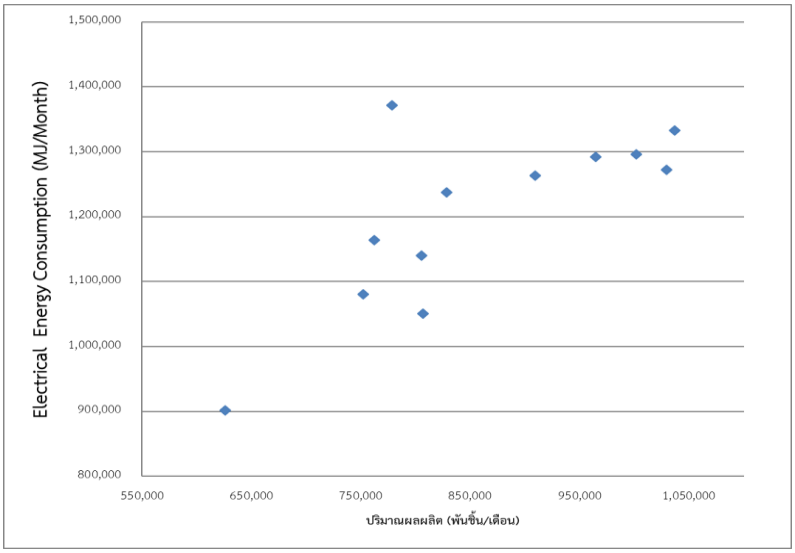
พลังงานความร้อน (MJ) = ปริมาณการใช้เชื้อเพลิง x LHV MJ/หน่วย

พลังงานรวม (MJ) = พลังงานไฟฟ้า (MJ) + พลังงานความร้อน (MJ)

จากแนวคิดการจัดทำดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานโดยหลักการสถิติ ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามซึ่งในที่นี้ก็คือปริมาณการใช้พลังงาน (ไฟฟ้า ความร้อน และรวม) และตัวแปรอิสระจะถูกพัฒนาขึ้นโดยใช้สมการถดถอย จากการวิเคราะห์ขั้นต้นพบว่าตัวแปรอิสระตั้งต้นที่คาดว่าจะมีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานประกอบด้วย

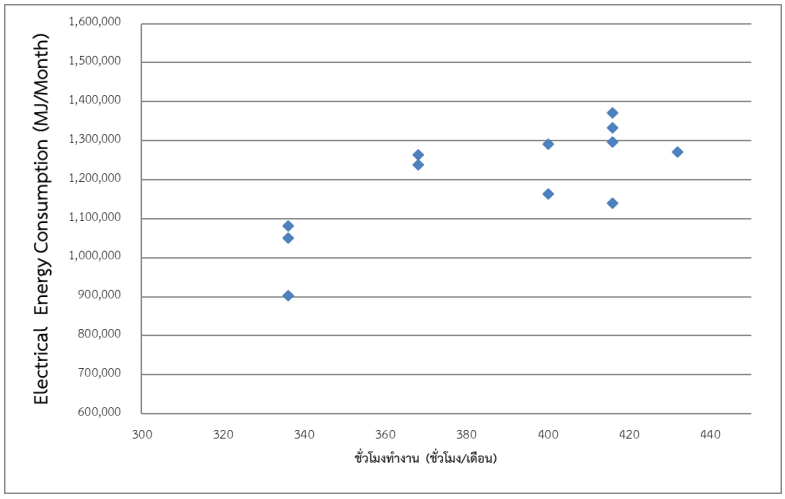
4. ผลและวิจารณ์

การวิเคราะห์สมการถดถอย ของสมการความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับตัวแปรอิสระผลการวิเคราะห์สมการถดถอยไม่เชิงเส้น จะเห็นได้ว่าทั้ง 3 ปัจจัยมีความสัมพันธ์กับพลังงานไฟฟ้าของโรงงานในระดับที่สูงมาก โดยสามารถทำนายพลังงานไฟฟ้าได้ร้อยละ 96.71 สมการความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับตัวแปรอิสระสามารถเขียนได้ดังนี้ โดยที่ x1 คือ ปริมาณผ้าเบรก จะเป็นผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ในโรงงาน (ชิ้น/เดือน) x2 คือ ชั่วโมงการทำงาน จะเป็นเวลาการทำงานในโรงงาน (ชั่วโมง/เดือน) และ x3 คือ อุณหภูมิแวดล้อม (องศาเซลเซียส)



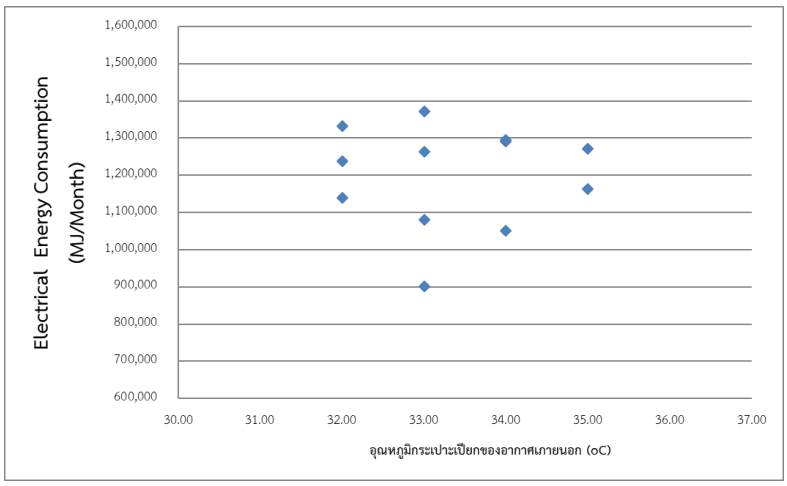
รูปที่ 1 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าและปริมาณการผลิต

จากข้อมูลพบว่าปริมาณการผลิตและการใช้พลังงานมีมีการกระจายตัวของข้อมูลทำให้ทราบถึงเมื่อมีปริมาณการผลิตที่เพิ่มมากขึ้นก็จะส่งผลต่อการใช้ปริมาณไฟฟ้าที่สูงขึ้นตามลำดับ



รูปที่ 2 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงาน

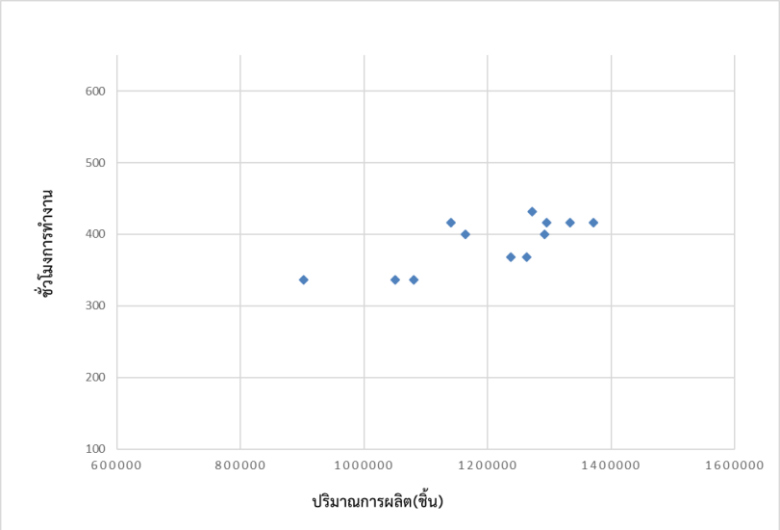
จากข้อมูลพบว่าชั่วโมงการทำงานและการใช้พลังงานมีความสัมพันธ์ลักษณะเชิงเส้น และมีนัยสำคัญพบว่ามีชั่วโมงการทำงาน ที่มากขึ้นจะส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ



รูปที่ 3 การทดสอบความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้าอุณหภูมิ

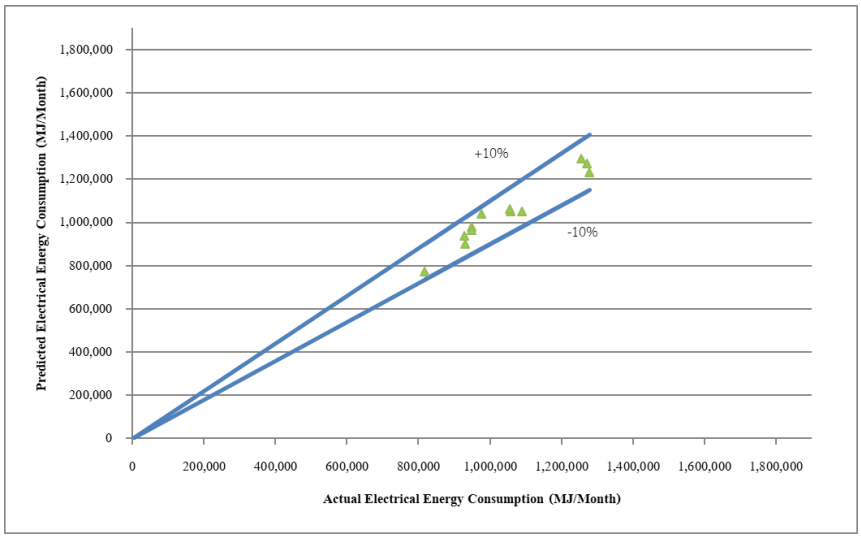
จากข้อมูลพบว่าอุณหภูมิและการใช้พลังงานไม่มีความสัมพันธ์ลักษณะเชิงเส้น และไม่มีนัยสำคัญโดยพบว่าอุณภูมิที่เกิดขึ้นนั้นมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและไม่ได้มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานในภาพรวมมากนัก

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยไม่เชิงเส้น จะเห็นได้ว่าทั้ง 3 ปัจจัยมีความสัมพันธ์กับพลังงานความร้อนของโรงงานในระดับที่สูง โดยสามารถทำนายพลังงานความร้อนได้ร้อยละ 78.21 สมการความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานความร้อนกับตัวแปรอิสระสามารถเขียนได้ดังนี้



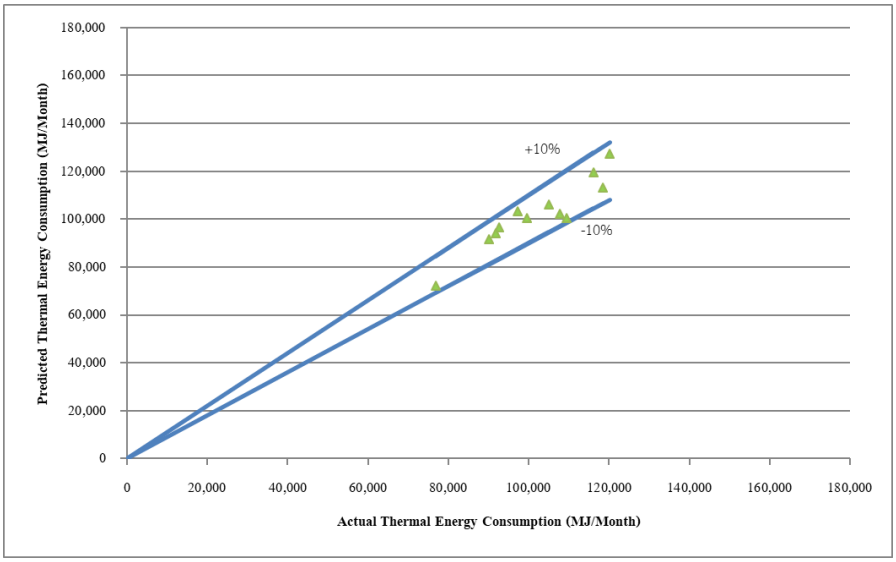
รูปที่ 4 การทดสอบสภาวะร่วมระหว่างตัวแปรอิสระ

ผลการวิเคราะห์สมการถดถอยไม่เชิงเส้น จะเห็นได้ว่าทั้ง 3 ปัจจัยมีความสัมพันธ์กับพลังงานรวมของโรงงานในระดับที่สูง โดยสามารถทำนายพลังงานรวมได้ร้อยละ 95.40 สมการความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานไฟฟ้ารวมกับตัวแปรอิสระสามารถเขียนได้ดังนี้ พลังงานไฟฟ้า = $0.731X_1 + 71.471X_2 + 463109.302$ ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง (แกนนอน) และค่าทำนาย (แกนตั้ง) จากสมการถดถอยที่จัดสร้างขึ้น เรียงลำดับจากพลังงานรวม พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะเห็นได้ว่าการทำนายส่วนใหญ่อยู่ในช่วง ±10% และทุกสมการมีค่า R^2>0.75 ตามที่กำหนดไว้ ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง (แกนนอน) และค่าทำนาย (แกนตั้ง) จากสมการถดถอยที่จัดสร้างขึ้น EUIไฟฟ้า EUIความร้อน และ EUIรวม



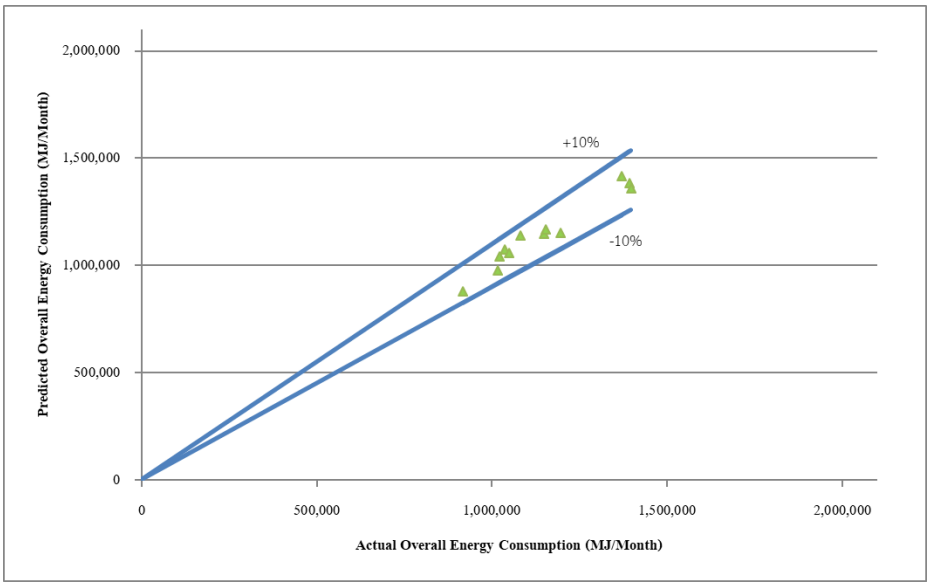
รูปที่ 5 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง (แกนนอน) และค่าทำนายของค่า EUIไฟฟ้า

จากรูปที่ 5 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างค่าพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงและค่าพลังงานจากการคำนวณจะพบว่าการทำนายส่วนใหญ่อยู่ในช่วง ±10% และทุกสมการมีค่า R^2=0.949



รูปที่ 6 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง (แกนนอน) และค่าทำนายของค่า EUIความร้อน

จากรูปที่ 5 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างค่าพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจริงและค่าพลังงานจากการคำนวณจะพบว่าการทำนายส่วนใหญ่อยู่ในช่วง ±10% และทุกสมการมีค่า R^2=0.871



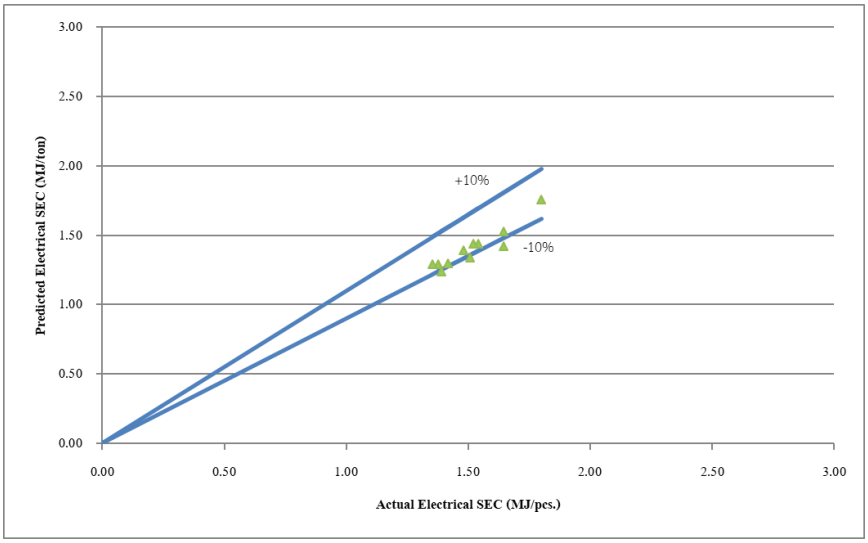
รูปที่ 7 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง (แกนนอน) และค่าทำนายของค่า EUIรวม

จากรูปที่ 7 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างผลการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้นระหว่างค่าพลังงานรวมที่เกิดขึ้นจริงและค่าพลังงานจากการคำนวณจะพบว่าการทำนายส่วนใหญ่อยู่ในช่วง ±10% และทุกสมการมีค่า R^2=0.954

การหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC)

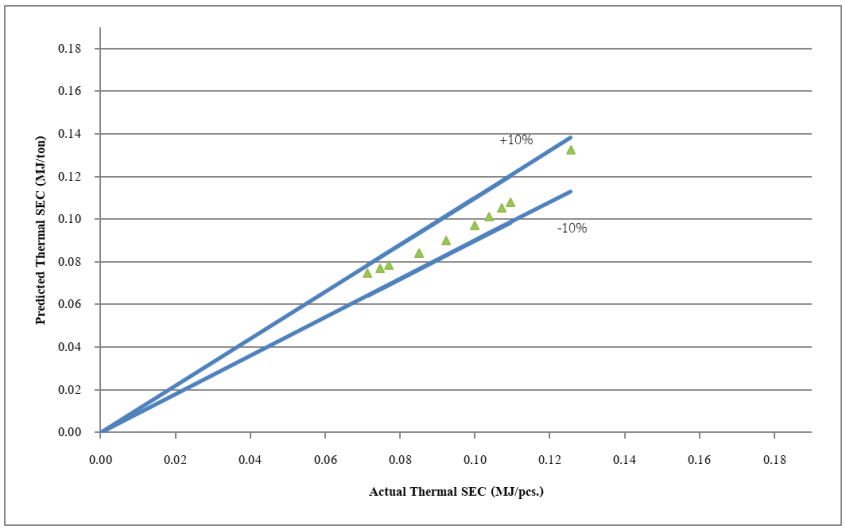
SEC เป็นดัชนีชี้วัดที่สามารถนำมาใช้ในการบ่งบอกถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยปกติจะอยู่ในรูปแบบของสัดส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้ (Input) ต่อผลผลิตที่ได้ (Output) ซึ่งปริมาณการใช้พลังงานจะแบ่งออกเป็นพลังงานไฟฟ้า พลังงานความร้อนและพลังงานรวม โดยใช้วิธีการคิดคำนวณแบบเดียวกับการจัดทำปริมาณพลังงานฐาน (BEC) ดังนั้นปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละรูปแบบ ในส่วนของผลผลิตหรือปริมาณการผลิตนั้น จะอ้างอิงจากผลการวิเคราะห์ของ BEC

ซึ่งเห็นได้ว่าผลผลิตที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานคือปริมาณการผลิต ดังนั้น ผลผลิตที่จะนำมาเป็นตัวหารในการคำนวณ SEC คือปริมาณถุงมือยางรวม ซึ่งจะทำให้ได้ SEC ดังนี้ สมการความสัมพันธ์ระหว่าง SEC กับตัวแปรอิสระ ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง (แกนนอน) และค่าทำนาย(แกนตั้ง) จากสมการถดถอยที่จัดสร้างขึ้นของ SEC ไฟฟ้า SECความร้อน และ SEC รวม



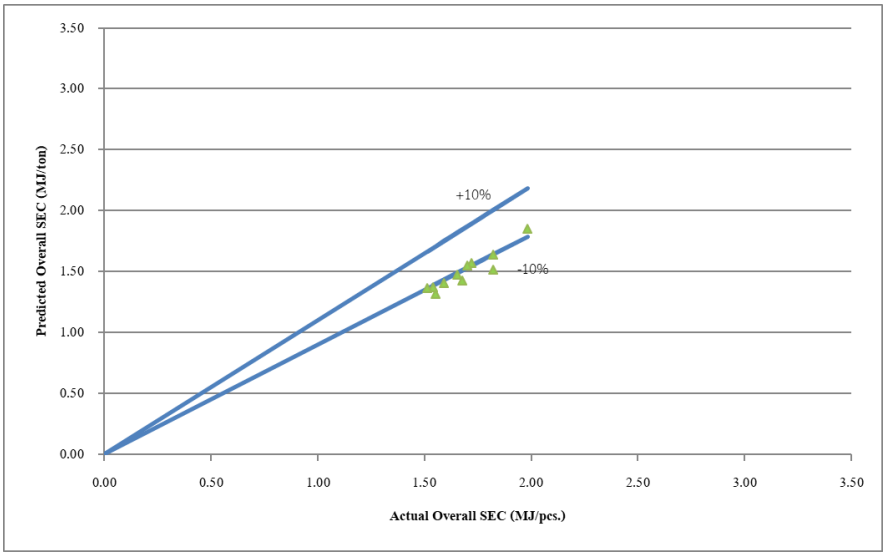
รูปที่ 8 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง (แกนนอน) และค่าทำนายของค่า SECไฟฟ้า

จากรูปที่ 8 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงและค่าทำนายไฟฟ้าระหว่างค่าจริง (แกนนอน) และค่าทำนาย (แกนตั้ง) จากสมการถดถอยที่จัดสร้างขึ้น SEC = 1.362 + (-6.803E-7)X_1+0.002X_2 ค่าพลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริงและค่าพลังงานจากการคำนวณจะพบว่าการทำนายส่วนใหญ่อยู่ในช่วง ±10% และทุกสมการมีค่า R^2=0.879



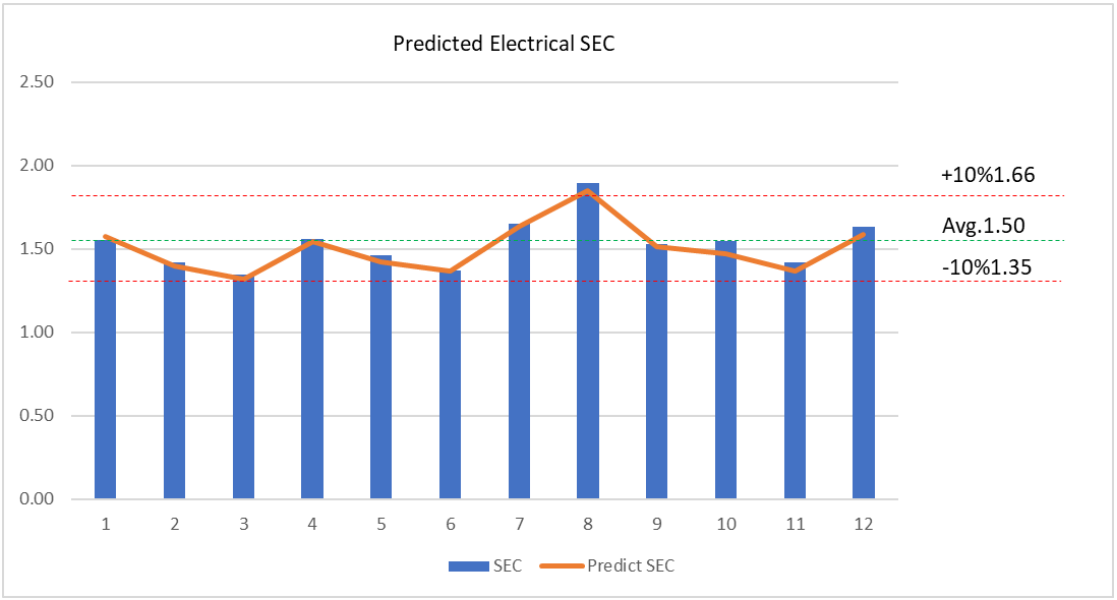
รูปที่ 9 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง (แกนนอน)และค่าทำนายของค่า SECความร้อน

จากรูปที่ 9 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงและค่าทำนายความร้อนระหว่างค่าจริง (แกนนอน) และค่าทำนาย (แกนตั้ง) จากสมการถดถอยที่จัดสร้างขึ้น SEC = 0.195 + (-1.878E-7)X_1+4.177E-6X_2 ค่าพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจริงและค่าพลังงานจากการคำนวณจะพบว่าการทำนายส่วนใหญ่อยู่ในช่วง ±10% และทุกสมการมีค่า R^2=0.963



รูปที่ 10 ผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริง (แกนนอน) และค่าทำนายของค่า SECรวม

จากรูปที่ 10 แสดงผลการเปรียบเทียบระหว่างค่าจริงและค่าทำนายรวมระหว่างค่าจริง (แกนนอน) และค่าทำนาย (แกนตั้ง) จากสมการถดถอยที่จัดสร้างขึ้น SEC = 1.564 + (-7.135E-7)X_1 + 0.002X_2 ค่าพลังงานรวมที่เกิดขึ้นจริงและค่าพลังงานจากการคำนวณจะพบว่าการทำนายส่วนใหญ่อยู่ในช่วง ±10% และทุกสมการมีค่า R^2=0.899



รูปที่ 11 ดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานโรงงานผลิตผ้าเบรก

5. สรุปผล

ดัชนีชี้วัดที่จัดทำขึ้นมีอยู่ 2 รูปแบบด้วยกันคือ 1.ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) และ 2.ค่าดัชนีการใช้พลังงาน (Energy Usage Index, EUI) จากการศึกษาพบว่าตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานโดยรวมในการผลิต เพื่อการจัดทำดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน (Energy performance index) นั้น สามารถสร้างความสัมพันธ์ของสมการเพื่อเป็นตัวบ่งชี้ในการหาค่าพลังงานจำเพาะที่เหมาะสมกับองค์กรแต่ละองค์กรที่มีรูปแบบการผลิตที่แตกต่างกันออกไป การใช้สมการในการพิจารณาค่าพลังงานจำเพาะ และค่าดัชนีการใช้พลังงานจะส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และจากการจัดทำสมการที่ผ่านมาทุกสมการมีค่า R^2>0.75 ซึ่งเป็นที่ยอมรับได้ โดยสมการถดถอยของพลังงานรวมที่จัดสร้างขึ้น คือ SEC = 1.564 + (-7.135E-7)X_1 + 0.002X_2 และได้ค่าพลังงานจำเพาะของการใช้ไฟฟ้าค่า R^2 = 0.879 ค่าดัชนีการใช้พลังงาน ของการใช้ความร้อนค่า R^2 = 0.963 และค่าดัชนีการใช้พลังงานของการใช้พลังงานรวม R^2 = 0.899

ดังนั้นอุตสาหกรรมที่สามารถนำไปใช้ได้คืออุตสาหกรรมการผลิตสิ่งของเครื่องใช้ด้านผ้าเบรก ทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์ ที่มีการใช้พลังงานทั้งด้านไฟฟ้า และความร้อน โดยเชื้อเพลิงที่ใช้ค่อนข้างมีความหลากหลาย ทั้งเชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงเหลว

6. บรรณานุกรม

[1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ดัชนีชี้วัดพลังงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ http://www2.dede.go.th/kmberc/datacenter/factory/paper/chapter3.

[2] พงศกร เกิดช้าง การวิเคราะห์ค่าพลังงานจำเพาะ (SEC) กับการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานน้ำแข็งซองการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 13 วันที่ 31 พฤษภาคม – 2 มิถุนายน 2560

[3] พงศกร เกิดช้าง1, ชานนท์ บุญมีพิพิธ และ ภานุวัฒน์ อุส่าห์เพียร. ดัชนีชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงานเพื่อบ่งชี้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของการผลิตถุงมือยาง. การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ณ มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง 29,30 พ.ย.59 – 1 ธ.ค.60.

[4] วิชาญ นาคทอง (ทีมงาน iEnergyGuru) การกำหนดและบ่งชี้ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน แปลและเรียบเรียง ISO 50006:2014 https://ienergyguru.com

[5] ศิริพรรณ ธงชัยและพิชัย อัษฎมงคล. เทคนิคการอนุรักษพลังงานแบบบูรณาการ. การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2. หนา 45. นครราชสีมา, 2549

[6] อัคราวุฒิ ครองยุติ, พัฒนะ รักความสุข, และ ก. กูบาฮา. การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างและการพัฒนาระบบการจัดการพลังงานในอาคารสาธาระณะ. การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5. 2557 กรุงเทพฯ.

[7] วิจิตร ไสยาศรี, พงศกร คชาพงศ์กุล, ชานนท์ บุญมีพิพิธ. การวิเคราะห์ค่าพลังงานจำเพาะ (SEC) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานผลิตผ้าเบรก. การประชุมสัมมนาวิชาการรูปแบบพลังงานทดแทนสู่ชุมชนแห่งประเทศไทย ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏชัยภูมิ 28 - 30 พ.ย. 61

[8] พงศกร เกิดช้าง. การจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน. เอกสารประกอบการสอน. ภาคการศึกษาที่ 2 / 2558. วิทยาลัยพลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนรัตนโกสินทร์.