ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีต : กรณีศึกษา

น.ส.ญาณพิมพ์พา จำเนียรเจริญสุข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Energy Efficiency in Floor Tile Concrete Manufacturing Process: A Case Study

Miss Yanapimpa Chamniancharoensuk

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

An Independent Study Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Energy Technology and Management
Inter-Department of Energy Technology and Management
GRADUATE SCHOOL
Chulalongkorn University
Academic Year 2019

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อสารนิพนธ์	ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีต : กรณีศึกษา
โดย	น.ส.ญาณพิมพ์พา จำเนียรเจริญสุข
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.อรทัย ชวาลภาฤทธิ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ญาณพิมพ์พา จำเนียรเจริญสุข : ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีต : กรณีศึกษา. (Energy Efficiency in Floor Tile Concrete Manufacturing Process: A Case Study) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในโรงงานผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีต ผลวิเคราะห์การใช้พลังงานปี 2560-2562 ด้วยการวิเคราะห์การถดถอยระหว่างผลผลิตกับการใช้พลังงานไฟฟ้ามีค่า R^2 0.34 เนื่องจากผลผลิตของกระเบื้องปูพื้นคอนกรีตมีหลายกลุ่มสินค้าที่มีการใช้พลังงานต่างกัน จึงแบ่งกลุ่มสินค้าเป็น 2 กลุ่ม คือ Terrazzo Tile และ Other Tiles เมื่อวิเคราะห์การถดถอยระหว่างผลผลิตสินค้ากลุ่ม Terrazzo Tile กับการใช้พลังงานไฟฟ้าเนื่องจากมีอุปกรณ์เครื่องวัดการใช้พลังงานค่า R^2 อยู่ที่ 0.92 เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ค่าพลังงานจำเพาะและกราฟ CUSUM สินค้า Terrazzo Tile พบว่าปี 2561 และ 2562 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำกว่าปี 2560 เนื่องจากค่า SEC สูงกว่า เพื่อกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานเลือกข้อมูลที่มีค่า SEC ต่ำจำนวน 6 เดือนมาเป็นตัวแทนเดือนที่มีศักยภาพการใช้พลังงานสูง โรงงานตัวอย่างจะมีศักยภาพการประหยัดพลังงานจากกลุ่มสินค้า Terrazzo Tile อยู่ที่ 417,488 kWh ต่อปี จากการวิจัยนี้พบว่าเพื่อให้การวิเคราะห์การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพควรติดตั้งอุปกรณ์เครื่องวัดการใช้พลังงานทุกกระบวนการผลิตสำหรับวิเคราะห์การใช้พลังงานทุกกลุ่มสินค้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน	ลายมือชื่อนิสิต .....
ปีการศึกษา	2562	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

6187519620 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT

KEYWORD: Energy Efficiency, Specific Energy Consumption, Floor Tile Concrete Manufacturing

Yanapimpa Chamniancharoensuk : Energy Efficiency in Floor Tile Concrete Manufacturing Process: A Case Study. Advisor: Assoc. Prof. SOMPONG PUTIVISUTISAK, Ph.D.

This study presents an energy consumption analysis for a concrete floor tile factory. Regression analysis between gross products and energy consumption from 2017 to 2019 yielded a very low coefficient of determination, R^2, of 0.34. By separating the products into two groups, i.e., Terrazzo tiles and other tiles, better relation for the Terrazzo tiles and their energy consumption was achieved (R^2 = 0.92). From the specific energy consumption (SEC) and cumulative sum control (CUSUM) plots for the Terrazzo tile production, it was found that energy efficiencies of years 2018 and 2019 were lower than that of the year 2017. To set up an energy-saving target, the data with the lowest SEC values of six months were selected as the representative goal of the most efficient energy consumption months. With this target, the energy conservation potential for the Terrazzo tiles is approximately 417,488 kWh per year. It can also be seen from the results that, energy consumption measuring devices such as kilowatt-hour meters should be installed in all production processes of all product groups to efficiently analyze energy consumption.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Field of Study:	Energy Technology and Management	Student's Signature .....
Academic Year:	2019	Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตฉบับนี้ สำเร็จไปได้ด้วยดีนั้น ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษารองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ และรองศาสตราจารย์ไชยะ แช่มช้อย ที่มีความกรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางการทำวิจัยเป็นอย่างดี และขอขอบพระคุณ ท่านคณะอาจารย์ประจำหลักสูตร เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้แนวคิดและองค์ความรู้ต่างๆจากการสอนในหลักสูตรที่ผู้วิจัยได้ศึกษาอยู่

ขอขอบคุณ คุณดิลก วิเศษธาร ผู้จัดการโรงงาน คุณสวการย์ ศรีแสงเพ็ญ ผู้จัดการแผนกผลิต คุณตรีกิจ เหล็กแก้ว และพี่ๆที่โรงงานตัวอย่างที่ผู้วิจัยได้ทำงานอยู่ ซึ่งให้การสนับสนุนข้อมูลที่จำเป็น มาใช้ในการวิจัย ทั้งยังสละเวลาในการให้คำปรึกษาแก่ผู้วิจัย นอกจากนี้ขอขอบคุณ คุณกุลนันท์ แซ่หลี่ คุณกิตติคุณ สินอุปการ และคุณสิริรัตน์ เนติพัติ เพื่อนในภาควิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ที่คอยให้คำปรึกษาในการจัดทำรูปเล่มสารนิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตฉบับนี้

ญาณพิมพ์พา จำเนียรเจริญสุข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

..... ค

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค

..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง

กิตติกรรมประกาศ ..... จ

สารบัญ ..... ฉ

สารบัญตาราง ..... ซ

สารบัญรูปภาพ ..... ฌ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย 1

1.3 ขอบเขตการวิจัย 2

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency) 3

2.2 ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption หรือ SEC) 3

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อ ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ 4

2.4 กราฟ DIFF & กราฟ CUSUM 5

2.5 การวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression Analysis) 5

2.6 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต 6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.7 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิต 7
2.8 ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8
2.9 ระบบการตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (Energy monitoring and targeting system : M&T) 10
บทที่ 3 วิธีการวิจัยและผลการดำเนินงานวิจัย 16
3.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานตัวอย่าง 16
3.2 กระบวนการผลิต 16
3.3 วิธีการศึกษาวิจัย 17
3.4 ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าในองค์กร 18
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลผลิตรวม (Total Product) ของโรงงานตัวอย่าง 18
3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลผลิต Terrazzo Tile ของโรงงานตัวอย่าง 26
บทที่ 4 สรุปผลการวิจัย 36
บรรณานุกรม 38
ประวัติผู้เขียน 40

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ข้อมูลสถิติปริมาณผลผลิตรวม (Total Product) และการใช้ไฟฟ้าในช่วง 36 เดือน... 19
ตารางที่ 2 ค่าสะสมของปริมาณผลผลิตรวม (Total Product) พลังงานไฟฟ้าและ SEC..... 19
ตารางที่ 3 ข้อมูลสถิติปริมาณผลผลิตTerrazzo Tileและการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง 36 เดือน.... 26
ตารางที่ 4 ค่าสะสมของปริมาณผลผลิตTerrazzo Tileพลังงานไฟฟ้าและ SEC..... 26
ตารางที่ 5 การวิเคราะห์จากข้อมูลรวมทั้งหมด..... 30
ตารางที่ 6 ข้อมูลวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลอ้างอิง..... 34

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 พลังงานผันแปรและพลังงานคงที่ตาม สมการ Y = mX + c..... 6
รูปที่ 2 วัฏจักรการทำระบบการตรวจติดตามกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน..... 11
รูปที่ 3 กระบวนการผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีต..... 17
รูปที่ 4 ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าในองค์กร..... 18
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณผลผลิตรวม(Total Product) แบบรายปี..... 21
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC)กับปริมาณผลผลิตรวม (Total Product) แบบรายปี..... 21
รูปที่ 7 ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร ปี 2560 - ปี 2562..... 22
รูปที่ 8 จำนวนของเสียปี 2560 - ปี 2562..... 22
รูปที่ 9 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลผลผลิตรวม(Total Product) ปี2560 - ปี2562 และเส้นฐานของข้อมูล..... 23
รูปที่ 10 สัดส่วนการผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีตปี 2560 - ปี 2562..... 24
รูปที่ 11 กิโลวัตต์ (kW) ของเครื่องจักรสำหรับใช้ในการผลิตสินค้าจำแนกตามกลุ่มสินค้า..... 24
รูปที่ 12 กลุ่มผลผลิตรวม (Total Product) ที่แบ่งเป็น 2 กลุ่มสินค้าคือ Terrazzo Tile และ Other Tiles..... 25
รูปที่ 13 กราฟการกระจายตัวของปริมาณพลังงานไฟฟ้ากับปริมาณผลผลิตจำแนกตาม กลุ่มสินค้า..... 25
รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณผลผลิตTerrazzo Tileแบบรายปี..... 28
รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) กับปริมาณผลผลิต Terrazzo Tile แบบรายปี..... 28
รูปที่ 16 จำนวนของเสียสินค้า Terrazzo Tile ปี 2561..... 29
รูปที่ 17 สัดส่วนการผลิตสินค้า Terrazzo Tile ปี 2561..... 29
รูปที่ 18 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลผลผลิต Terrazzo Tile ปี 2560–ปี 2562 และเส้นฐานของข้อมูล..... 30

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 19 กราฟ DIFF และ CUSUM ของข้อมูลรวม 36 เดือน..... 32
รูปที่ 20 การวิเคราะห์สมการเส้นฐานของข้อมูลอ้างอิง..... 33
รูปที่ 21 กราฟ CUSUM ที่ใช้ข้อมูลอ้างอิง จำนวน 6 เดือน..... 35

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในโรงงานผลิตกระเบื้องปูพื้นมีแนวโน้มสูงขึ้น ซึ่งค่าพลังงานเป็นต้นทุนการผลิตในอุตสาหกรรม ถ้ามีการใช้พลังงานที่ไม่มีประสิทธิภาพก็จะทำให้ต้นทุนการผลิตของผลิตภัณฑ์สูงขึ้น เมื่อแข่งขันในตลาดก็จะมีความเสียเปรียบต่อคู่แข่ง ซึ่งโรงงานได้มีกลยุทธ์ในการดำเนินการ โดยเน้นให้มีการปรับปรุงกระบวนการหรือการปรับเปลี่ยนกระบวนการให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้น รวมทั้งจัดกิจกรรมสร้างจิตสำนึกการอนุรักษ์พลังงานอย่างยั่งยืนให้แก่พนักงานในโรงงาน สำหรับพลังงานหลักที่ใช้ในโรงงานคือพลังงานไฟฟ้า โดยการใช้พลังงานส่วนใหญ่อยู่ในกระบวนการผลิตเมื่อพิจารณาการใช้พลังงานไฟฟ้าปี 2560 – ปี 2562 พบว่ามีแนวโน้มการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น เพื่อให้การใช้พลังงานเกิดประโยชน์สูงสุดจึงนำค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption : SEC) มาเป็นดัชนีติดตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตพบว่าค่า SEC มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยค่า SEC ของปี 2561 และ ปี 2562 มีค่าสูงกว่าปี 2560 ซึ่งหมายถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานลดลง ถ้ามีการประเมินค่า SEC ในกระบวนการผลิตแต่ละขั้นตอนก็จะสามารถวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้ละเอียดยิ่งขึ้น แต่ค่า SEC ไม่สามารถระบุได้ว่าการใช้พลังงานแต่ละช่วงเวลาเป็นอย่างไร ช่วงที่ดีที่สุดและช่วงที่แย่ที่สุดคือช่วงใด จึงได้นำกราฟค่าผลรวมสะสมของความแตกต่าง (Cumulative Summation of Difference หรือ CUSUM) ซึ่งเป็นหลักการทางสถิติมาประยุกต์ใช้ในการตรวจติดตามการใช้พลังงานเพื่อให้สามารถตรวจสอบความผิดปกติที่เกิดขึ้นและสามารถแก้ไขปัญหาได้ทันที

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีตและอาจใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการพลังงานในอนาคต
2. เพื่อทราบถึงพฤติกรรมการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. กระบวนการผลิตที่นำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้ได้แก่ กระบวนการผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีต ซึ่งจะนำมาพิจารณาเป็นกรณีศึกษาจำนวน 1 โรงงาน
2. ประเภทพลังงานที่นำมาพิจารณา คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตเท่านั้น
3. ข้อมูลปริมาณผลผลิตและการใช้พลังงาน อาศัยข้อมูลที่เก็บจากโรงงานผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีต จำนวน 36 เดือน (ปี 2560 - ปี 2562)

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและดำเนินงาน

1. รวบรวมข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับภาพรวมของอุตสาหกรรมกระเบื้องปูพื้นคอนกรีต
2. ค้นหาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นด้านพลังงาน ในกระบวนการผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีต
3. กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขต
4. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
5. รวบรวมข้อมูลด้านพลังงานในกระบวนการผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีต เช่น ปริมาณผลผลิตในกระบวนการผลิตและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิต
6. วิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานไฟฟ้ากับการผลิต โดยใช้สมการเชิงเส้น วิเคราะห์หาดัชนีวัดประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิต
7. วิเคราะห์หาแนวทางการตรวจติดตามในแต่ละกระบวนการผลิตและวางเป้าหมายการจัดการพลังงาน
8. สรุปและเสนอข้อเสนอแนะ
9. จัดทำรูปเล่มสารนิพนธ์
10. สอบสารนิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบประสิทธิภาพการใช้พลังงานในโรงงานผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีต
2. ทราบพฤติกรรมการใช้พลังงานในโรงงานผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีต สำหรับใช้ในการจัดการพลังงานในอนาคต
3. ได้แนวทางการกำหนดเป้าหมายและการตรวจติดตามการใช้พลังงาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน
4. นำไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมการผลิตที่คล้ายคลึงกัน

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency)

ประสิทธิภาพพลังงาน หมายถึง ความสามารถเชิงพลังงานการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ออกมา วิเคราะห์จากการประเมินตัวชี้วัดด้านพลังงาน โดยตัวชี้วัดส่วนใหญ่อยู่ในรูปสัดส่วนระหว่างปริมาณผลผลิตในกระบวนการกับพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิต ซึ่งตัวชี้วัดด้านพลังงานมี 4 ประเภท ดังนี้

1. ตัวชี้วัดเชิงอุณหพลศาสตร์ (Thermodynamic Indicators) ตัวชี้วัดนี้มักใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของพลังงานในกระบวนการ เช่น พลังงานความร้อนที่ใช้ในกระบวนการผลิต การเปลี่ยนแปลงของเอนทาลปี

2. ตัวชี้วัดแบบกึ่งกายภาพ กึ่งอุณหพลศาสตร์ (Physical – Thermodynamic Indicators) ตัวชี้วัดนี้มักใช้ในกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรม เช่น อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ใช้ในการผลิตและผลผลิตที่ได้ในอุตสาหกรรมนั้นหรือกระบวนการผลิตนั้น เช่น kWh/Ton, MJ/Ton เป็นต้น

3. ตัวชี้วัดแบบกึ่งเศรษฐศาสตร์ กึ่งอุณหพลศาสตร์ (Economic – Thermodynamic Indicators) ตัวชี้วัดนี้มักใช้ในกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรม ใช้อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ใช้ในการผลิตและราคาตลาดของผลิตภัณฑ์นั้นหรือสัดส่วนของ GDP เช่น Energy Intensity (EI), Energy Elasticity (EE) เป็นต้น

4. ตัวชี้วัดเชิงเศรษฐศาสตร์ (Economic Indicators) ตัวชี้วัดนี้ใช้กับการเปรียบเทียบมูลค่าการใช้พลังงานในระดับชาติหรือในเฉพาะภาคเศรษฐกิจ โดยจะมองในลักษณะของมูลค่าการใช้พลังงาน เช่น อัตราส่วนระหว่างมูลค่าการใช้พลังงาน เช่น อัตราส่วนระหว่างมูลค่าการใช้พลังงานรวมในระดับชาติและ GDP เป็นต้น [1]

2.2 ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption หรือ SEC)

ตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ ตัวชี้วัดแบบกึ่งกายภาพ กึ่งอุณหพลศาสตร์ได้จากอัตราส่วนระหว่าง พลังงานที่ใช้ในการผลิต เช่น พลังงานไฟฟ้า (kWh) หารด้วยปริมาณผลผลิตในกระบวนการผลิตนั้น เช่น ตันของผลิตภัณฑ์ จำนวนชิ้น ซึ่งเรียกอัตราส่วนนี้ว่าค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption : SEC) ตัวชี้วัดประเภทนี้นิยมใช้ในภาคอุตสาหกรรม เนื่องจากสามารถใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในอดีตกับปัจจุบันของการใช้

พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิต หรือเปรียบเทียบกับโรงงานอื่นในอุตสาหกรรมเดียวกันได้ สามารถเขียนได้ดังสมการ [1]

$$SEC = E/P \quad (1)$$

โดยที่ SEC คือ ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ

E คือ ปริมาณพลังงานที่โรงงานใช้ในเดือนนั้น

P คือ ปริมาณผลผลิตในช่วงเวลาเดียวกัน

ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะด้านไฟฟ้า (SECe) มีหน่วยเป็น KWh ต่อหน่วยผลผลิต และหน่วยกลางเป็น MJ ต่อผลการผลิต

2. ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะด้านความร้อน (SECf) มีหน่วยเป็น MJ ต่อหน่วยการผลิต

3. ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะปฐมภูมิ (Primary SEC) มีหน่วยเป็น MJ ต่อหน่วยผลผลิต หาได้จากการนำค่า SECf รวมกับค่า SECe ที่แปลงเป็นค่าพลังงานความร้อนแล้ว โดยการนำค่าพลังงานไฟฟ้าหารด้วยปริมาณผลผลิต (หน่วย kWh/Ton) จากนั้นนำไปคูณกับ 0.0036 GJ/Ton แล้วหารด้วย 0.45 (ค่าประสิทธิภาพสูงสุดการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนของประเทศไทยเท่ากับ 45%) [1]

ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ จะมีประโยชน์อย่างมากในการตรวจติดตามและควบคุมการใช้พลังงาน ซึ่งในโรงงานควรจัดทำและวิเคราะห์ค่าดังกล่าวทุกเดือนหรือถี่กว่า เช่น รายสัปดาห์ ค่าที่ได้นี้สามารถนำมาใช้ในการควบคุมและติดตามการใช้พลังงาน ซึ่งยังสามารถสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากอดีตจนถึงปัจจุบันว่ามีการพัฒนาดีขึ้นหรือลดลง ข้อดีที่สำคัญของตัวชี้วัดรูปแบบนี้คือ สามารถชี้วัดในประเด็นที่ต้องการศึกษาโดยเฉพาะได้ นอกจากนี้ตัวชี้วัดดังกล่าวยังสามารถสื่อให้เห็นถึงแนวโน้มของประสิทธิภาพพลังงานของโรงงาน สามารถนำไปใช้ในการวางแผนการใช้พลังงานหรือจัดทำนโยบายระยะยาวได้

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อ ดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่า SEC ในแต่ละเดือนก็คือปริมาณผลผลิต แม้ในบางช่วงของการผลิตจะได้ปริมาณการผลิตที่ใกล้เคียงกัน แต่ค่า SEC มีค่าที่แตกต่างกันเนื่องจากมีอิทธิพลของปัจจัยอื่นๆ เช่น ลักษณะของชิ้นงานที่แตกต่างกัน ประเภทของวัตถุดิบ ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น หรือจำนวนวันหยุดมาก ฯลฯ หากควบคุมปัจจัยเหล่านี้ก็จะทำให้ค่า SEC อยู่ในระดับที่ดีขึ้น [2]

2.4 กราฟ DIFF & กราฟ CUSUM

DIFF ย่อมาจากคำว่า Difference หมายถึง ผลต่างของค่าจริงกับค่าอ้างอิงหรือค่าฐาน เช่น ผลต่างของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประเมินจากเส้นฐานที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยจากชุดข้อมูลดังกล่าว

CUSUM ย่อมาจากคำว่า Cumulative Summation of Difference หมายถึง ค่าผลรวมสะสมของผลต่าง (DIFF)

กราฟ DIFF และ CUSUM เป็นกราฟที่แสดงค่าผลต่างและค่าผลต่างสะสมเชิงอนุกรมเวลา ทำให้เห็นถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลว่าเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใด มีอัตราการเปลี่ยนแปลงมากหรือน้อยและเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องอย่างไร กราฟนี้มีจุดเด่นหลายอย่าง เช่น ไวต่อค่าที่เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แสดงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลได้อย่างชัดเจน แสดงจุดเริ่มเปลี่ยนและช่วงเวลาที่มีการเปลี่ยนแปลงได้

การสร้างกราฟ DIFF และ CUSUM เริ่มจากการรวบรวมข้อมูลค่าจริง กำหนดค่าอ้างอิง หาค่า DIFF (หรือผลต่าง) จากค่าจริงลบด้วยค่าอ้างอิง หาค่า CUSUM (หรือ ผลต่างสะสม) โดยรวมผลต่างแต่ละค่าแบบสะสม [3]

2.5 การวิเคราะห์สมการถดถอย (Regression Analysis)

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพยากรณ์ค่าของตัวแปรอื่นๆหรือตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ต้องการพยากรณ์หรือตัวแปรตาม (Dependent Variable) โดยจะต้องมีการกำหนดหรือทราบค่าตัวแปรอิสระล่วงหน้า จากนั้นจึงอาศัยหลักการวิเคราะห์การถดถอย [4]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

งานวิจัยนี้ใช้หลักการถดถอยในการพิจารณาสมการที่เหมาะสมจากข้อมูลการใช้พลังงานและข้อมูลการผลิตของแต่ละกระบวนการผลิต ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการผลิตสินค้าใช้สัญลักษณ์ Y และปริมาณผลผลิตในกระบวนการใช้สัญลักษณ์ X [1]

2.5.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบง่าย

รูปแบบการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย เป็นรูปแบบที่ตัวแปรตาม Y มีความสัมพันธ์เชิงสถิติกับตัวแปรอิสระ X เพียงตัวแปรเดียว และลักษณะความสัมพันธ์เป็นเส้นตรง สามารถเขียนได้ดังสมการ (2)

$$Yi = \beta_0 + \beta_i X_i + £_i \qquad (2)$$

โดย Y_i เป็นค่าของตัวแปรตามที่ i

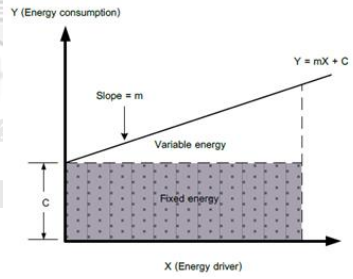
X_i เป็นค่าของตัวแปรอิสระที่ i

β_0 เป็นจุดที่สมการถดถอยตัดแกน Y (Y-intercept)

β_i เป็นอัตราการเพิ่มหรือลดของตัวแปรตาม Y เมื่อค่าของตัวแปรอิสระ X เพิ่มหนึ่งหน่วย

$£_i$ เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ i สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงที่เป็นอิสระกันแบบปกติ ค่านี้จะมีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์ [5]

เมื่อนำข้อมูลสองตัวแปรมาสร้างกราฟการกระจายของข้อมูลแต่ละจุดเวลา โดยให้แกน X เป็นปริมาณผลผลิต และแกน Y เป็นปริมาณพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลาเดียวกัน จากนั้นหาความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปรในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์แบบเชิงเส้นในรูป Y = mX + c ดังแสดงในรูปที่ 1 ถ้าหากสมการแม่นยำ (R^2) สูงก็สามารถนำไปใช้เป็นสมการตัวแทนเพื่อหาค่าพลังงานที่จะต้องใช้ได้ โดยที่ m คือค่าพลังงานส่วนที่แปรผันตามปริมาณผลผลิต (Variable Energy) ซึ่งเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต การจัดวางผังการผลิต ขั้นตอนและเวลาที่ใช้ในการผลิต ค่า c พลังงานคงที่ (Fixed Energy) คือค่าพลังงานที่ต้องใช้แม้ว่าจะไม่มีการผลิตเกิดขึ้นก็ตาม ที่ไม่มีผลต่อการผลิต และค่า R^2 เป็นค่าที่บอกถึงความแม่นยำและน่าเชื่อถือของสมการความสัมพันธ์ในสมการ XY ที่ได้ว่าอยู่ในระดับใด โดยปกติจะมีค่า R^2 ระหว่าง 0 - 1 หากยิ่งมีค่ามาก แสดงว่าข้อมูลด้านการใช้พลังงานและปริมาณการผลิต มีความสัมพันธ์กัน โดยค่า R^2 ที่ยอมรับได้สำหรับการใช้ประเมินผลเกี่ยวกับการวิเคราะห์พลังงาน คือ ต้องมีมากกว่า 0.7 ขึ้นไป [1]



รูปที่ 1 พลังงานผันแปรและพลังงานคงที่ตาม สมการ Y = mX + c [6]

2.6 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต

ในการวางแผนด้านการจัดการพลังงานให้มีการใช้พลังงานอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพนั้น การตรวจวิเคราะห์พลังงานจะทำให้ทราบถึงสภาพการใช้พลังงาน และการสูญเสียพลังงานที่เกิดขึ้น โดยทั่วไปมีการปฏิบัติอยู่ 3 ขั้นตอน คือ

1. การตรวจสอบวิเคราะห์การใช้พลังงานเบื้องต้น (Preliminarily Audit) เป็นการตรวจสอบรวบรวมข้อมูลด้านการผลิต ระบบการใช้พลังงานในปีก่อนๆที่ทางโรงงานจดบันทึกไว้เพื่อ

ทราบปริมาณการใช้พลังงานทุกรูปแบบ ค่าใช้จ่าย ด้านพลังงาน ผลผลิตที่ได้ต่อพลังงานที่ใช้ ตัวแปรของการใช้พลังงานในแต่ละช่วงตลอดจนรายละเอียดที่เกี่ยวข้อง

2. การตรวจวิเคราะห์การใช้พลังงานโดยการสำรวจแผนผังโรงงานเพื่อทราบลักษณะทั่วไปของโรงงาน กระบวนการผลิตและเครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆพิจารณาบริเวณที่มีการใช้พลังงานสูง ระบบการใช้พลังงานในรูปแบบต่างๆและบริเวณที่เกี่ยวข้องและในขั้นตอนต่อมาคือการเข้าสำรวจในโรงงานเพื่อหาสาเหตุการสูญเสียพลังงาน ในช่วงทำการผลิตและช่วงหยุดการผลิต รวมทั้งทำการตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือต่างๆ ทำให้ได้ข้อมูลสภาพการใช้พลังงานของโรงงานนั้น

3. การตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานอย่างละเอียด (Detailed Audit) ผลตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้พลังงานเบื้องต้น นำข้อมูลมาสร้างรูปแบบการใช้พลังงานว่าต้องมีการปรับปรุงแก้ไขส่วนใดบ้าง ซึ่งจะต้องทำการตรวจสอบและวิเคราะห์อย่างละเอียด โดยการตรวจวัดและบันทึกข้อมูลอย่างต่อเนื่องหรือเป็นช่วงเวลาอย่างน้อย 1 สัปดาห์ เพื่อให้ทราบสภาพการทำงานและวิเคราะห์การสูญเสียพลังงานโดยจัดทำสมดุลพลังงาน เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบและอุปกรณ์ที่สำคัญ พร้อมทั้งแนวทางการปรับปรุงแก้ไขซึ่งจะต้องมีการวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ [1]

2.7 ขั้นตอนในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิต

1. ทำความเข้าใจภาพรวมของกระบวนการผลิตและการใช้พลังงานของทั้งโรงงาน ขั้นตอนนี้มีจุดประสงค์เพื่อให้เห็นภาพรวมของกระบวนการผลิตของโรงงาน สามารถที่จะวิเคราะห์บ่งชี้ได้ว่าพลังงานประเภทใดหรือทรัพยากรใดเป็นปัจจัยหลักหรือค่าใช้จ่ายหลักของโรงงาน เพื่อกำหนดเป้าหมายที่คาดว่าจะมีศักยภาพในการประหยัดพลังงาน หรือชี้เป้าหมายได้ว่าควรจะเน้นที่ขั้นตอนการผลิตใด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2. ทำความเข้าใจกระบวนการผลิตเป้าหมาย ขั้นตอนนี้เป็นการนำเสนอวิธีการทำความเข้าใจกระบวนการผลิตเป้าหมายที่ประเมินว่ามีศักยภาพ โดยพิจารณาการทำงานของกระบวนการผลิตในรูปฟังก์ชันของลักษณะการใช้พลังงานในกรรมวิธีการผลิต ลักษณะการรับ - ถ่ายเทพลังงานและวิเคราะห์ระบบปฏิบัติการในกระบวนการผลิตในรูปแบบพื้นฐาน (Unit Process Operation) เพื่อให้สามารถที่จะเข้าใจกระบวนการผลิตเป้าหมายได้ ไม่ว่ารูปแบบของเครื่องจักรที่ใช้งานในแต่ละขั้นตอนการผลิต จะมีลักษณะที่แตกต่างกันอย่างไร ช่วยให้สามารถที่จะเข้าใจกระบวนการทำงานของเครื่องจักรต่างๆ เหล่านั้นได้มากขึ้น สามารถที่จะหาแนวทางการวิเคราะห์ศักยภาพในการปรับปรุงกระบวนการผลิตได้

3. ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานเพื่อกำหนดมาตรการ เมื่อเข้าใจกระบวนการผลิตเป้าหมายแล้ว ก็เป็นขั้นตอนของการพิจารณาจุดที่ควรปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานและจุดที่

มีการสูญเสีย โดยใช้หลักการพิจารณาที่จุดใช้งาน (End Use) ว่าแท้จริงแล้วกระบวนการต้องการพลังงานหรือทรัพยากรการผลิตอื่นๆเท่าใด พิจารณาความสอดคล้องของความต้องการพลังงาน (Demand) และพลังงานที่จ่าย (Energy Supply) จุดสูญเสียพลังงานหลักๆของกระบวนการพิจารณาหรือทรัพยากรการผลิตอื่นๆเท่าใด พิจารณาว่าสภาวะที่ใช้งานอยู่เกินจำเป็นหรือไม่ ลดลงได้หรือไม่ รวมถึงวิธีการบริหารจัดการการใช้พลังงานด้วย ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ที่นำเสนอจะประกอบด้วยแนวทางต่างๆหลักในการพิจารณาคือ นอกจากจะมุ่งประเด็นเพื่อการลดการใช้พลังงานแล้ว ควรให้ความสนใจที่ปัจจัยการผลิตที่มีความสำคัญหรือปัจจัยที่เป็นต้นทุนหลักในการผลิตของโรงงานด้วย ซึ่งในบางครั้งแนวทางในการปรับปรุงเป้าหมายในตอนแรกอาจจะไม่ได้เริ่มจากพลังงานเป็นหลัก แต่อาจแฝงไปด้วยเป้าหมายทางอ้อมเพื่อลดปริมาณการใช้พลังงานก็ได้

4. ทำการวิเคราะห์มาตรการอนุรักษ์พลังงาน หลังจากที่ได้แนวทางที่จะปรับปรุงแล้วก็ทำการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุน ซึ่งแนวทางการวิเคราะห์ปรับปรุง อาจกระทำได้ตั้งแต่การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมที่ใช้ในการผลิต หรือวิธีการใช้งาน หรือดูแลบำรุงรักษาอย่างเป็นระบบ (Systematic Maintenance) ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีการลงทุนหรือลงทุนน้อย (On Low Investment Cost) ไปจนถึงลงทุนปรับปรุงเพิ่มเติมอุปกรณ์ควบคุมบางส่วน ซึ่งเป็นการลงทุนปานกลาง (Medium Investment Cost) หรือจนกระทั่งทำการปรับปรุงปรับเปลี่ยน/ติดตั้งเครื่องจักรใหม่ที่มีเทคโนโลยีที่สูงขึ้น ใช้พลังงานน้อยลง แต่ต้องใช้เงินลงทุนที่สูง (High Investment Cost) ซึ่งควรคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการดำเนินการของโรงงานร่วมด้วย ควรประชุมศึกษาร่วมกับทีมงานของโรงงาน เพื่อให้เกิดการเห็นพ้องร่วมกัน และไม่ก่อให้เกิดความขัดแย้งในทีมงานของโรงงาน เพื่อให้ผู้ตัดสินใจได้พิจารณาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุดกับกิจการของตนเองได้ [1]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.8 ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

คุณจิราพร อัตตะสาระ ศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิต โดยใช้สมการเชิงเส้นแบบง่าย การวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption หรือ SEC) การประยุกต์ใช้กราฟค่าผลรวมสะสมของความแตกต่าง (Cumulative Summation of Difference หรือ CUSUM) มาทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต พบว่า กระบวนการผสมยางและกระบวนการดันยาง เป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงมากกว่ากระบวนการผลิตอื่น นอกจากนี้พบว่าในกระบวนการผสมยาง กระบวนการดันยาง และกระบวนการประกอบยาง มีความผิดปกติในด้านการใช้พลังงาน ในช่วงปี 2556 เกิดการสูญเสียพลังงานมากกว่าปี 2557 โดยมีศักยภาพในการประหยัดพลังงานอยู่ที่ร้อยละ 1.84 3.12 และ 3.36 ตามลำดับ [1]

คุณเป็นธิดา มณีโชติ และคณะ วิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยการหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) การหาสมการถดถอยเชิงเส้นแบบง่ายหรือแบบพหุของการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ด้วยกราฟค่าผลรวมสะสมของความแตกต่าง (Cumulative sum of different, CUSUM) เพื่ออธิบายพฤติกรรมการใช้พลังงาน ใน 4 กลุ่มอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมผลิตไม้และเครื่องเรือน (TSIC 33) อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากแร่อโลหะ (TSIC 36) อุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน (TSIC 37) และอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์ (TSIC 38) ผลที่ได้จากการวิเคราะห์คือ ข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานควบคุมในกลุ่มอุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐานนั้นมีความเถียร แสดงถึงการจัดการพลังงานที่ดี ขณะที่กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตภัณฑ์จากแร่อโลหะ และอุตสาหกรรมการผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์ ยังมีโรงงานที่ต้องเร่งพัฒนาการจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพ [6]

คุณพัชรมาศ นุ่มดี และคณะ วิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานตามแนวทางการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุมในกลุ่มอุตสาหกรรม 4 กลุ่ม ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม (TSIC 31) อุตสาหกรรมสิ่งทอ (TSIC 32) อุตสาหกรรมกระดาษ (TSIC 34) และอุตสาหกรรมเคมี (TSIC 35) โดยสร้างสมการเชิงเส้นแบบง่ายแสดงความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตในแต่ละอุตสาหกรรม คำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) และตรวจติดตามการใช้พลังงานโดยประยุกต์ใช้หลักการทางสถิติ คือกราฟ CUSUM ซึ่งแสดงให้เห็นช่วงที่มีการใช้พลังงานผิดปกติ ในกระบวนการผลิต ผลที่ได้รับจากงานวิจัยนี้ คือ ได้สมการตัวแทนการใช้พลังงานและค่า SEC ของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมย่อย ซึ่งค่า SEC นี้จะใช้เป็นค่าอ้างอิงเพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีลักษณะการผลิตที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนี้กราฟ CUSUM แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการใช้พลังงาน ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพต่อไป [7]

คุณเบญจวรรณ นิรมิตวสุ และคณะ ประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติในการตรวจติดตามการใช้พลังงาน แสดงให้เห็นถึงผลประหยัดที่เกิดจากมาตรการอนุรักษ์พลังงาน และประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม 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 38.42 ที่มีความชันของแผนภูมิควบคุมสะสมเป็นบวกหรือไม่มีผลประหยัดพลังงาน ในจำนวน 21 โรงงานที่มีผลประหยัดมีร้อยละผล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

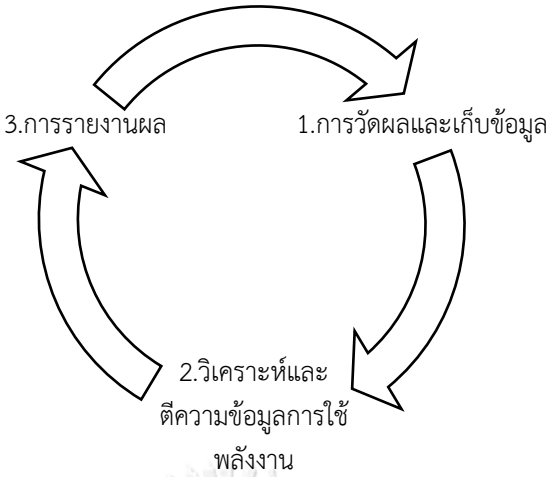
ประหยัดเฉลี่ย 7.52 เมื่อพิจารณาเฉพาะโรงงานที่มีผลประหยัดตั้งแต่ร้อยละ 5 ขึ้นไป พบว่ามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีความถี่ในการจัดทำมากที่สุด 3 อันดับแรกคือ 1.การกำหนดเวลาเปิด - ปิด ที่เหมาะสม 2.การใช้สวิตช์ควบคุมการปิด - เปิด 3.บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ นอกจากนี้แสดงให้เห็นถึงผลประหยัดจากการอนุรักษ์พลังงานแล้ว วิธีการในงานวิจัยนี้ยังสามารถใช้ในการกำหนดเป้าหมายในการอนุรักษ์พลังงานของโรงงานได้ด้วย การจัดการพลังงานที่ดี โดยการตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานอย่างเหมาะสม เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถช่วยประหยัดต้นทุนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมได้ [8]

คุณ Violeta Rasheva และคณะ มีการตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของบริษัทที่ผลิตเครื่องเคลือบดินเผา กระเบื้องปูพื้นและสุขภัณฑ์ พบว่ามีการดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานที่เป็นผลจากการตรวจสอบการใช้พลังงานคือการเปลี่ยนสกรูคอมเพรสเซอร์แบบเดี่ยว เป็นคอมเพรสเซอร์ที่ใช้เทคโนโลยี variable speed drive พบว่าสามารถลดการใช้พลังงานลง 45% ปริมาณการใช้ไฟฟ้า - ลดลง 371 เมกะวัตต์ชั่วโมงและการปล่อย CO_2 จะลดลง 1596 ตันต่อปี ค่าใช้จ่าย O&M ต่อปีจะลดลง 767 ยูโร [9]

2.9 ระบบการตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (Energy monitoring and targeting system : M&T)

ในการดำเนินงานตามระบบการจัดการพลังงานเบื้องต้นสามารถใช้ระบบการตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (Energy monitoring and targeting system : M&T) โดยนำข้อมูลการใช้พลังงานในอดีตของโรงงาน มาเป็นพื้นฐานสำหรับการวางแผนการใช้พลังงานในอนาคต แสดงดังรูปที่ 2 วัฏจักรการทำระบบการตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน โดยระบบ M&T ประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ 1. การวัดผลและเก็บข้อมูล โดยรวบรวมข้อมูลปริมาณผลผลิตและปริมาณการใช้พลังงานในแต่ละเดือน 2. การวิเคราะห์และตีความข้อมูลการใช้พลังงาน เป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการใช้พลังงานที่ใช้กับตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงาน 3. การรายงานผล เป็นการนำเสนอผลการวิเคราะห์จากส่วนต่างๆรวบรวมเป็นรายงานผลการวิจัย [6]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2 วัฏจักรการทำระบบการตรวจติดตามกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน [8]

2.9.1 การตรวจติดตามพฤติกรรมการใช้พลังงาน

การตรวจติดตามพฤติกรรมการใช้พลังงานเป็นเรื่องที่สำคัญมากในด้านการจัดการพลังงาน เมื่อทราบพฤติกรรมการใช้พลังงาน ก็มีโอกาสที่จะตอบคำถามต่างๆเหล่านี้ได้ง่าย และมั่นใจขึ้น ตัวอย่างคำถามเช่น มีการนำมาตรการอนุรักษ์พลังงานไปปฏิบัติจริงทั้งหมดกี่มาตรการในช่วงเวลาหนึ่งๆ หรือในปีที่ผ่านมา แต่ละมาตรการดังกล่าวข้างต้นเริ่มให้ผลประหยัดพลังงานตั้งแต่เมื่อไร แต่ละมาตรการดังกล่าวข้างต้นให้ผลประหยัดพลังงานมากหรือน้อยเพียงใด แต่ละมาตรการดังกล่าวข้างต้นยังคงให้ผลประหยัดพลังงานอย่างต่อเนื่องอยู่หรือไม่ มีปัญหาเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตหรือไม่ ปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นเมื่อใดและได้รับการแก้ไขตั้งแต่เมื่อใด ยังมีศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานอีกมากน้อยเท่าใด การวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงาน และการประเมินผลที่เกิดจากพฤติกรรมการใช้พลังงานประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. รวบรวมข้อมูลปริมาณผลผลิต และปริมาณพลังงานที่ใช้รายเดือน จำนวนอย่างน้อย 24 เดือน เพื่อให้เห็นพฤติกรรมการใช้พลังงานอย่างน้อย 2 รอบ
2. นำข้อมูลจากข้อ1. ไปเขียนกราฟการกระจายตัวของข้อมูล
3. จากกราฟการกระจายตัวของข้อมูลในข้อ 2. ทำการวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นอย่างง่าย เพื่อหาสมการเส้นฐาน (Base line equation) ที่จะนำไปวิเคราะห์หาค่าอ้างอิงต่อไป
4. จากสมการเส้นฐานในข้อ 3. ดำเนินการวิเคราะห์หาค่าอ้างอิงของพลังงาน หาค่า DIFF และค่า CUSUM
5. นำข้อมูล DIFF และ CUSUM ไปสร้างกราฟ DIFF และ CUSUM โดยใช้กราฟแท่งแสดงค่า DIFF และกราฟเส้นแสดงค่า CUSUM

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6. จากกราฟ DIFF และ CUSUM ทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานจากเครื่องหมายบวกหรือลบของค่า DIFF และจากการเปลี่ยนแปลงความชันและความต่อเนื่องของเส้นกราฟ CUSUM

7. เลือกข้อมูลอ้างอิงจากพฤติกรรมที่วิเคราะห์ได้ในข้อ 6. แล้วแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือข้อมูลอ้างอิงและข้อมูลที่เหลือ

8. นำข้อมูลอ้างอิงและข้อมูลที่เหลือไปเขียนกราฟการกระจายตัวของข้อมูล

9. วิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นอย่างง่ายของข้อมูลอ้างอิงแล้วทำซ้ำตามข้อ 4. และ ข้อ 5.

10. ประเมินผลประหยัดพลังงาน การสูญเสียพลังงานของข้อมูลที่เหลือเมื่อเทียบกับข้อมูลอ้างอิง [3]

2.9.2 การวิเคราะห์ และประเมินผลจากพฤติกรรมการใช้พลังงาน

การวิเคราะห์และประเมินผลจะดำเนินการตามขั้นตอนต่างๆตามหัวข้อ 2.9.1 โดยใช้ข้อมูลจริงจำนวน 2 ปี หรือมากกว่าของโรงงานอุตสาหกรรมตัวอย่างต่างๆ สำหรับการเลือกข้อมูลอ้างอิงเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบนั้น จะเลือก 2 แบบคือ เลือกตามพฤติกรรมหรือตามกิจกรรม และเลือกเป็นรายปี

การเลือกข้อมูลอ้างอิงตามพฤติกรรมหรือตามกิจกรรม (เช่น ทำมาตรการอนุรักษ์พลังงาน) จะทำให้มีการแยกพฤติกรรมที่ดีและไม่ดีออกจากกัน ทำให้สามารถประเมินได้อย่างชัดเจนว่าพฤติกรรมที่ไม่ดีนั้นก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานไปมากน้อยเท่าใดเมื่อเทียบกับพฤติกรรมที่ดี หรือในทางกลับกันพฤติกรรมที่ดีก่อให้เกิดการประหยัดพลังงานได้มากน้อยเพียงใดเมื่อเทียบกับพฤติกรรมที่ไม่ดี การเลือกข้อมูลอ้างอิงแบบนี้จะใช้วิเคราะห์เพื่อติดตามพฤติกรรมการใช้พลังงาน เช่น วิเคราะห์การทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานหรือวิเคราะห์ความผิดปกติของการใช้พลังงาน

ส่วนการเลือกข้อมูลอ้างอิงแบบรายปีนั้น เป็นการวิเคราะห์เปรียบเทียบแบบปีต่อปีโดยไม่แยกพฤติกรรมที่ปนกันอยู่ออกมา เช่น การวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อเป็นส่วนหนึ่งของรายงานการจัดการพลังงานรายปี [3]

2.9.3 การเปรียบเทียบพฤติกรรมการใช้พลังงาน

การเปรียบเทียบพฤติกรรมการใช้พลังงานเป็นการนำพฤติกรรมการใช้พลังงานในกรณีต่างๆ และการวิเคราะห์เพิ่มเติมมาเปรียบเทียบกันเพื่อให้เห็นถึงความหลากหลายของพฤติกรรมที่มีทั้งพฤติกรรมปกติ พฤติกรรมที่ก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานและพฤติกรรมที่ก่อให้เกิดการประหยัดพลังงาน

พฤติกรรมต่างๆเหล่านี้แต่ละพฤติกรรมอาจเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องเป็นเวลานานหรือเกิดขึ้นเป็นช่วงเวลาสั้นๆ การเกิดพฤติกรรมการใช้พลังงานจะเกิดขึ้นในลักษณะผสมกัน เช่น ช่วงแรกเกิดการสูญเสียพลังงานแล้วตามด้วยการประหยัดพลังงาน ช่วงแรกเกิดการประหยัดพลังงานแล้วตามด้วยการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สูญเสียพลังงานหรือเกิดพฤติกรรมผสมกันทั้งการประหยัดพลังงานและการสูญเสียพลังงานสลับกันเป็นช่วงๆการเปรียบเทียบจะใช้กราฟ CUSUM ที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลรวมทั้งหมดของชุดข้อมูลนั้นๆเช่น 24 เดือนหรือ 36 เดือน [3]

2.9.4 การวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงาน

จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานกับผลผลิตด้วยการวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นอย่างง่ายจากข้อมูลสถิติการผลิตและการใช้พลังงาน ได้ความสัมพันธ์ออกมาเป็นสมการเส้นตรง ดังสมการ (3)

$$Y = mX + c \quad (3)$$

เมื่อ Y คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้ในแต่ละเดือน (หน่วยพลังงาน kWh, MMBtu, MJ, Litre, etc.)

X คือ ปริมาณผลผลิตแต่ละเดือน (หน่วยผลผลิต เช่น kg., ton, etc.)

m คือ Productive dependent Energy Consumption; PEC เป็นพลังงานที่จำเป็นต้องใช้เมื่อเพิ่มผลผลิต ขึ้นไปหนึ่งหน่วย พลังงานส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเครื่องจักร และสายการผลิตหากใช้เครื่องจักรรุ่นเก่าหรือใช้เทคโนโลยีการผลิตสมัยเก่าจะทำให้มีค่า PEC สูง

c คือ Unproductive Energy Consumption ; UEC เป็นปริมาณพลังงานที่ถูกใช้ไปโดยไม่ขึ้นกับการผลิต แบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ

ก. พลังงานที่จำเป็นต้องใช้ เช่น แสงสว่าง การทำความเย็นหรือความร้อนเพื่อการรักษาคุณภาพของวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์

ข. พลังงานที่สูญเปล่า เช่น การรั่วของอากาศอัด การรั่วของกับดักไอน้ำ การควบคุมอัตราการไหลของน้ำด้วย bypass valve การเดินเครื่องจักรตัวเปล่าทิ้งไว้ ฯลฯ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นอย่างง่ายจะได้ค่า R^2 ที่เป็นดัชนีแสดงความสัมพันธ์ของพลังงานกับผลผลิต หากมีค่าสูงก็สามารถใช้ความสัมพันธ์นี้ในรูปของสมการเส้นฐานแทนกลุ่มข้อมูลได้ดี อย่างไรก็ตามการสร้างสมการถ้าสร้างจากข้อมูลทั้งหมด ค่า R^2 อาจมีค่าต่ำได้ ก็หมายความว่าข้อมูลดังกล่าวมีการกระจายตัวอยู่นอกเส้นฐานมาก แสดงให้เห็นว่ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นบ่อยครั้งและการเปลี่ยนแปลงแต่ละครั้งมีค่ามากด้วย

การวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงาน หมายถึงการวิเคราะห์หาสัดส่วนของ UEC ว่ามีสัดส่วนเป็นเท่าใดเมื่อเทียบกับปริมาณพลังงานที่ใช้ทั้งหมดที่เกิดจาก UEC และ PEC โดยพลังงานในส่วนของ

PEC นั้นจะหาจากปริมาณผลผลิตเฉลี่ยในช่วงเวลาที่ทำการวิเคราะห์ เช่น ในรอบ 1 ปี สัดส่วนการใช้พลังงานจะมีผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน และมีผลต่อการจัดทำมาตรการอนุรักษ์พลังงาน เช่น เป็นมาตรการในกลุ่มเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องจักรและสายการผลิต หรือเป็นมาตรการในกลุ่มลดการสูญเสียในระบบการผลิตและระบบสนับสนุนต่างๆ [3]

2.9.5 การกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน

เรื่องหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากในการปฏิบัติงานด้านการจัดการพลังงานคือการกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน แนวปฏิบัติที่นิยมทำกันอาจเป็นแบบกำหนดจากข้างบนลงสู่ข้างล่าง โดยผู้บริหารระดับสูงกำหนดเป้าหมายแล้วให้บุคลากรระดับกลางถึงระดับล่างทำการอนุรักษ์พลังงานตามที่ตั้งเป้าหมายไว้ หรือเป็นแบบกำหนดจากข้างล่างสู่ข้างบน โดยบุคลากรระดับกลางถึงระดับล่างค้นหามาตรการอนุรักษ์พลังงานต่างๆแล้วกำหนดเป้าหมาย ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบใดก็ตามสิ่งที่มักจะตามมาคือ กำหนดเป้าหมายไว้สูงเกินไปหรือต่ำเกินไปทำให้มีปัญหาในการนำไปปฏิบัติเพื่อให้เกิดสัมฤทธิ์ผลตามที่คาดหวังไว้ สำหรับขั้นตอนการกำหนดเป้าหมาย มีดังนี้

1. รวบรวมข้อมูลปริมาณผลผลิต และปริมาณพลังงานที่ใช้รายเดือน จำนวนอย่างน้อย 24 เดือน เพื่อให้มีข้อมูลเพียงพอที่จะใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงในการวิเคราะห์เป้าหมาย
2. นำข้อมูลจากข้อ 1. ไปเขียนกราฟการกระจายตัวของข้อมูล
3. จากกราฟการกระจายตัวของข้อมูลในข้อ 2. ทำการวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นอย่างง่าย เพื่อหาสมการเส้นฐาน (Base line equation) ที่จะนำไปวิเคราะห์หาค่าอ้างอิงต่อไป
4. จากสมการเส้นฐานในข้อ 3. ดำเนินการวิเคราะห์หาค่าอ้างอิงของพลังงาน หาค่า DIFF และค่า CUSUM
5. นำข้อมูล DIFF และ CUSUM ไปสร้างกราฟ DIFF และ CUSUM โดยใช้กราฟแท่งแสดงค่า DIFF และกราฟเส้นแสดงค่า CUSUM
6. จากกราฟ DIFF และ CUSUM เลือกข้อมูลอ้างอิงจากเดือนที่การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพสูง คือ เดือนที่ค่า DIFF ติดลบมากๆจำนวนหนึ่ง ในขั้นตอนนี้ให้เลือกจำนวน 6 ค่า 9 ค่า หรือ 12 ค่า จากข้อมูลทั้งหมด 24 เดือน แล้วแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือข้อมูลอ้างอิง และข้อมูลที่เหลือ
7. นำข้อมูลอ้างอิงและข้อมูลที่เหลือไปเขียนกราฟการกระจายตัวของข้อมูล
8. วิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบอย่างง่ายของข้อมูลอ้างอิง แล้วทำซ้ำตามข้อ 4. และข้อ 5.
9. ประเมินปริมาณพลังงานที่ใช้มากกว่าข้อมูลอ้างอิงเพื่อกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน [3]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.9.6 การสร้างเส้นควบคุมการใช้พลังงาน

เมื่อทำการกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน และจัดทำแผนอนุรักษ์พลังงาน (ตามขั้นตอนที่ 5 การจัดการพลังงาน ในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน) แล้วตามด้วยการดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน การตรวจสอบและวิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงาน (ตามขั้นตอนที่ 6 ของการจัดการพลังงงาน) จนได้ผลเป็นที่น่าพอใจแล้ว เรื่องต่อมาที่จำเป็นต้องดำเนินการคือการสร้างเส้นควบคุม (Control line) การใช้พลังงาน เพื่อใช้ติดตามตรวจสอบและควบคุมประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้อยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดอย่างต่อเนื่อง หากมีความผิดปกติเกิดขึ้นก็สามารถตรวจสอบวิเคราะห์หาสาเหตุผิดปกติได้อย่างรวดเร็วแก้ไขปัญหาได้ทันเหตุการณ์ ซึ่งการสร้างเส้นควบคุมการใช้พลังงาน มีขั้นตอนดังนี้

1. จากตารางการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลอ้างอิงแต่ละชุด (ชุด 6 เดือน ชุด 9 เดือน ชุด 12 เดือนและชุดเพิ่มเติม (ถ้ามี) ให้หาค่าเฉลี่ยของค่า DIFF ของเดือนที่ถูกเลือกใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงโดยไม่ต้องคิดเครื่องหมายลบ (ถ้าคิดเครื่องหมายลบด้วย จะได้ค่าเฉลี่ยของ DIFF เป็นศูนย์)
2. กำหนดค่าขีดจำกัด (Limit Value) โดยให้มีค่าเป็น 1.5 เท่าหรือ 2.0 เท่าของค่าเฉลี่ยของค่า DIFF ที่หาได้
3. นำข้อมูล DIFF ที่อยู่ในตารางข้อมูลการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลอ้างอิง (ตารางการวิเคราะห์ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน) และค่าขีดจำกัด ไปเขียนกราฟเส้นเชิงอนุกรมเวลา

หากวิเคราะห์ข้อมูล 2 ปีหรือ 24 เดือน Control Chart จะเริ่มใช้งานได้ตั้งแต่เดือนที่ 25 เป็นต้นไป [3]

2.9.7 ประโยชน์ที่ได้รับจากระบบการตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน

1. ช่วยในการทวนสอบความถูกต้องของระบบการจัดเก็บข้อมูลและการใช้พลังงานของแต่ละโรงงาน
2. ใช้กำหนดสัดส่วนต้นทุนพลังงานที่เหมาะสมสำหรับสินค้า
3. สามารถประเมินสมรรถนะหรือเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานไม่ว่าจะเป็นการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานมาตรฐาน (Energy Baseline) กับการใช้พลังงานในปัจจุบัน
4. ช่วยในการวิเคราะห์ให้เห็นถึงปัญหาของการใช้พลังงานหรือประสิทธิภาพของระบบหรืออุปกรณ์ที่ใช้อยู่เพื่อหาแนวทางป้องกัน
5. เป็นเครื่องมือสำหรับติดตามผลการใช้พลังงาน ว่ามีการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานตามที่ได้วางแผนไว้หรือไม่ [1]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีการวิจัยและผลการดำเนินงานวิจัย

3.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานตัวอย่าง

ปีที่ก่อตั้ง	2534
ผลิตภัณฑ์หลัก	กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น
กำลังการผลิต	1,000,000 ตร.ม. ต่อเดือน คิดเป็น 7,800 ตันต่อเดือน (ข้อมูล ณ ธันวาคม 2562)
จำนวนพนักงาน	180 คน (ข้อมูล ณ ธันวาคม 2562)
เวลาทำงาน	24 ชั่วโมง/วัน
ขายภายในประเทศ	100%
มาตรฐาน	ISO 9001 : 2015, ISO14001 : 2015, ISO 45001 : 2018

3.2 กระบวนการผลิต

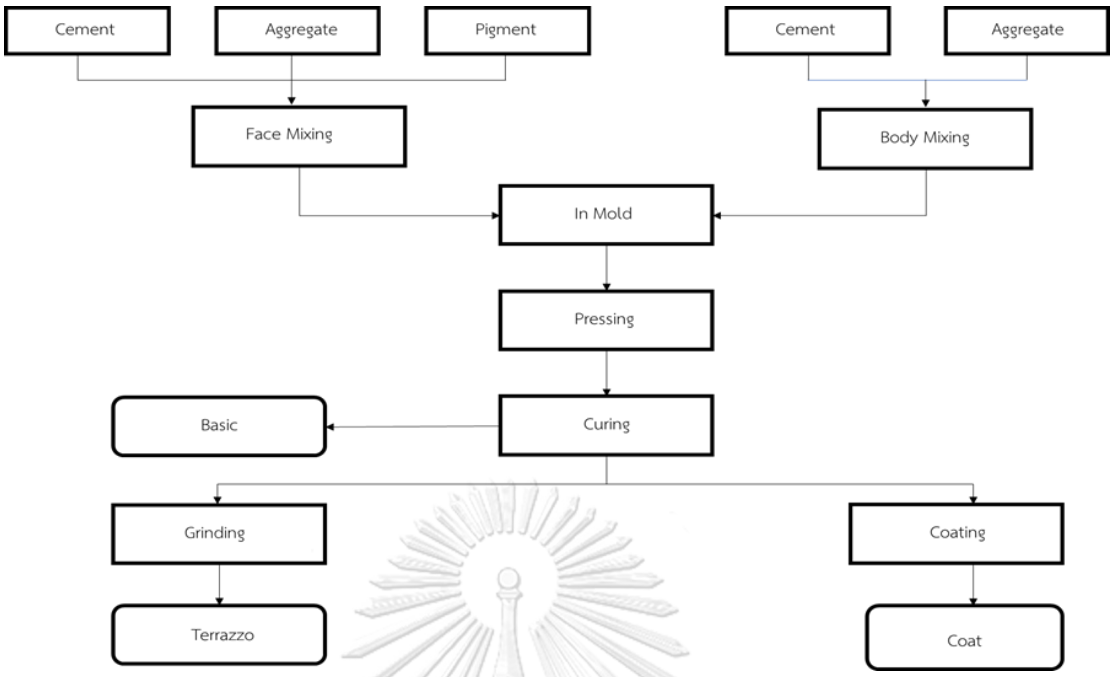
1. ตรวจสอบแผนผลิต เพื่อเตรียมแบบผลิตสินค้าและวัตถุดิบให้พร้อมสำหรับการผลิตสินค้า วัตถุดิบที่ใช้ประกอบด้วย ปูนซิเมนต์ หิน ทราย น้ำ ผงสี

2. ผสมคอนกรีต สามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี คือ ผสมคอนกรีตชั้นตัวก้อน ประกอบด้วย ปูนซิเมนต์ (Cement) หิน (Aggregate) ผสมคอนกรีตชั้นผิวหน้า ผสมคอนกรีตผิวหน้า ประกอบด้วย ปูนซิเมนต์ (Cement) หิน (Aggregate) ผงสี (Pigment)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3. ผลิตสินค้า หลังจากผสมคอนกรีตชั้นตัวก้อนและผิวหน้าได้ตามที่ต้องการแล้ว เครื่องจักรจะลำเลียงคอนกรีตไปที่ชุดสะสมคอนกรีตชั้นตัวก้อนและชั้นผิวหน้าที่ผลิตกระเบื้องปูพื้น โดยป้อนคอนกรีตผิวหน้าลงในแบบผลิต จากนั้นป้อนคอนกรีตตัวก้อนลงในแบบผลิต แล้วกดอัดคอนกรีตเพื่อให้ได้รูปเป็นก้อนสินค้า

4. ลำเลียงคอนกรีตที่ขึ้นรูปแล้วไปยังห้องบ่มสินค้า จากนั้นนำออกมาจากห้องบ่มไปเข้าสู่กระบวนการตกแต่งผลิตภัณฑ์ตามแต่ละประเภท สินค้าที่ออกมาจากห้องบ่มแล้วสามารถบรรจุหีบห่อและส่งเข้าคลังได้ทันทีคือสินค้ากลุ่ม Basic สำหรับสินค้าที่ออกมาจากห้องบ่มแล้วต้องเข้าสู่กระบวนการขัด (Grinding) ก่อนคือสินค้ากลุ่ม Terrazzo และสินค้าที่ออกจากห้องบ่มแล้วต้องเข้าสู่กระบวนการเคลือบผิวหน้า (Coating) คือสินค้ากลุ่ม Coat ดังแสดงในรูปที่ 3 กระบวนการผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีต



รูปที่ 3 กระบวนการผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีต

3.3 วิธีการศึกษาวิจัย

1. รวบรวมข้อมูลปริมาณผลผลิต และปริมาณพลังงานที่ใช้รายเดือน จำนวน 36 เดือน เพื่อให้เห็นพฤติกรรมการใช้พลังงาน

2. นำข้อมูลจากข้อ1. ไปเขียนกราฟการกระจายตัวของข้อมูล

3. จากกราฟการกระจายตัวของข้อมูลในข้อ 2. ทำการวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นอย่างง่าย เพื่อหาสมการเส้นฐาน (Base line equation) ที่จะนำไปวิเคราะห์หาค่าอ้างอิงต่อไป

4. จากสมการเส้นฐานในข้อ 3. ดำเนินการวิเคราะห์หาค่าอ้างอิงของพลังงาน หาค่า DIFF และค่า CUSUM

5. นำข้อมูล DIFF และ CUSUM ไปสร้างกราฟ DIFF และ CUSUM โดยใช้กราฟแท่งแสดงค่า DIFF และกราฟเส้นแสดงค่า CUSUM

6. จากกราฟ DIFF และ CUSUM ทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานจากเครื่องหมายบวกหรือลบของค่า DIFF และจากการเปลี่ยนแปลงความชันและความต่อเนื่องของเส้นกราฟ CUSUM

7. เลือกข้อมูลอ้างอิงจากพฤติกรรมที่วิเคราะห์ได้ในข้อ 6. แล้วแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ชุด คือข้อมูลอ้างอิงและข้อมูลที่เหลือ

8. นำข้อมูลอ้างอิงและข้อมูลที่เหลือไปเขียนกราฟการกระจายตัวของข้อมูล

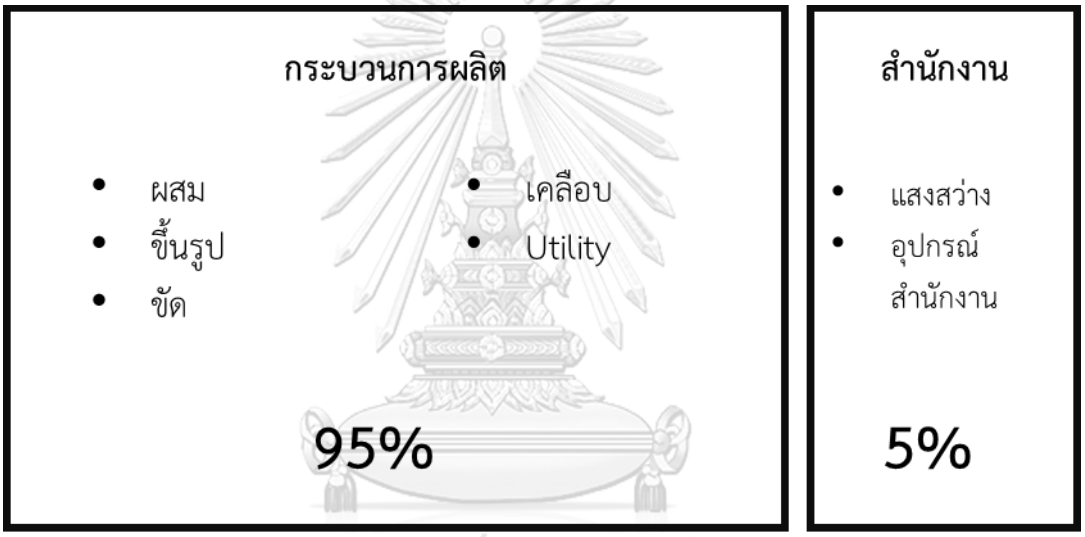
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

9. วิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นอย่างง่ายของข้อมูลอ้างอิงแล้วทำซ้ำตามข้อ 4. และ ข้อ 5.

10. ประเมินผลประหยัดพลังงาน หรือการสูญเสียพลังงานของข้อมูลที่เหลือเมื่อเทียบกับข้อมูลอ้างอิง

3.4 ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าในองค์กร

จากการวิจัยได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานของกระบวนการผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีต ในโรงงานตัวอย่าง ได้เก็บข้อมูลการใช้พลังงานรวมในองค์กร ในช่วง 36 เดือน ตั้งแต่ปี 2560 – ปี 2562 ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า เมื่อพิจารณาโรงงานตัวอย่างพบว่า มีการใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานหลัก ซึ่งส่วนใหญ่จะใช้ในกิจกรรมการผลิต โดยมีสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในองค์กร ดังแสดงในรูปที่ 4 ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าในองค์กร



รูปที่ 4 ลักษณะการใช้พลังงานไฟฟ้าในองค์กร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลผลิตรวม (Total Product) ของโรงงานตัวอย่าง

เพื่อให้เข้าใจถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่างจึงทำการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลด้านพลังงาน จำนวน 36 เดือน ช่วงปี 2560 – ปี 2562 โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. ข้อมูลสถิติปริมาณผลผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้า แสดงในตารางที่ 1 ข้อมูลสถิติปริมาณผลผลิตรวม (Total Product) และการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง 36 เดือน

ตารางที่ 1 ข้อมูลสถิติปริมาณผลผลิตรวม (Total Product)และการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง 36 เดือน

Year 1	Products	Energy	Year 2	Products	Energy	Year 3	Products	Energy
Month no.	(ton)	(kWh)	Month no.	(ton)	(kWh)	Month no.	(ton)	(kWh)
1	7,695	274,300	13	7,261	284,400	25	6,032	279,620
2	6,296	259,080	14	6,263	282,040	26	5,667	248,180
3	6,910	270,420	15	5,638	283,480	27	6,026	300,360
4	6,560	254,140	16	5,818	245,740	28	5,398	237,820
5	6,984	277,720	17	4,401	240,780	29	6,063	282,620
6	7,123	306,380	18	6,042	307,700	30	5,174	282,632
7	7,211	292,140	19	4,809	236,900	31	4,945	266,580
8	6,362	311,080	20	4,579	236,940	32	5,498	286,380
9	7,008	327,120	21	5,772	290,980	33	6,285	285,100
10	7,091	327,340	22	6,424	303,040	34	5,786	266,441
11	6,741	296,320	23	5,747	306,940	35	6,332	268,041
12	7,086	302,160	24	5,208	266,380	36	5,406	238,080

การวิเคราะห์เปรียบทียบแบบรายปีในเบื้องต้น สามารถทำได้ง่ายๆโดยการใช้ข้อมูลค่าสะสม (Cumulative value) ของปริมาณผลผลิตรวม (Total Product) ปริมาณพลังงาน และค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ร่วมกับกราฟการกระจายตัวของข้อมูล ดังรายละเอียดในตารางที่ 2 ค่าสะสมของปริมาณผลผลิตรวม (Total Product) พลังงานไฟฟ้าและ SEC และรูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณผลผลิตรวม (Total Product) แบบรายปี และ รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) กับปริมาณผลผลิตรวม (Total Product) รายปี

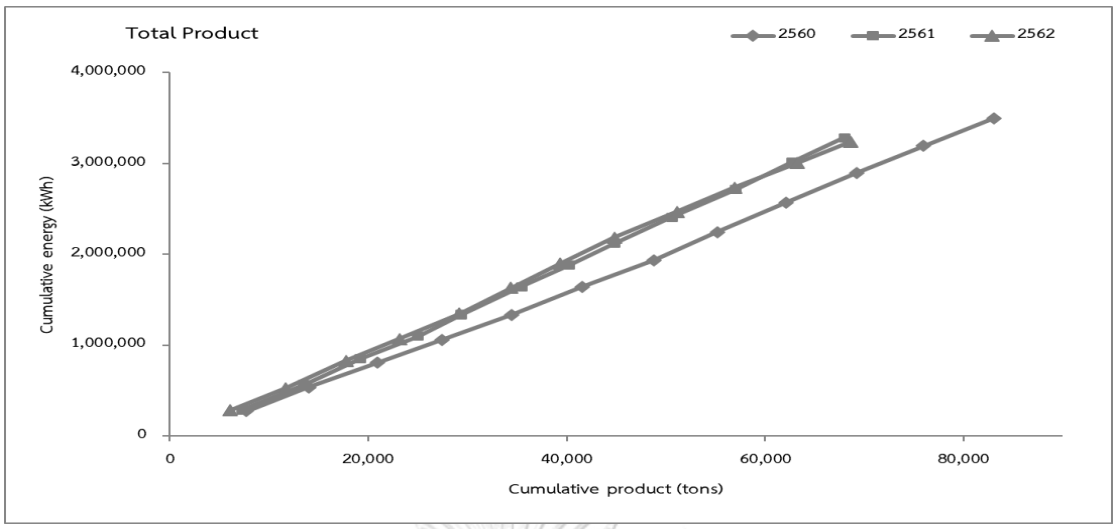
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 2 ค่าสะสมของปริมาณผลผลิตรวม (Total Product) พลังงานไฟฟ้าและ SEC

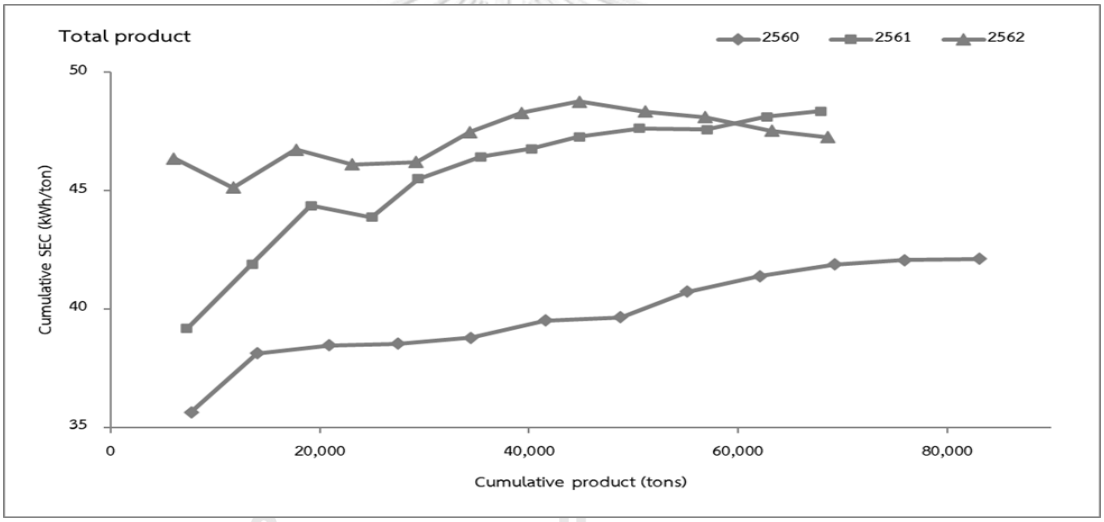
Year 1+2+3	Products (ton)		Elec. Energy (kWh)		SEC (kWh/ton)	
Month no.	Actual	Cumulative	Actual	Cumulative	Actual	Cumulative
1	7,695	7,695	274,300	274,300	35.65	35.65
2	6,296	13,991	259,080	533,380	41.15	38.12
3	6,910	20,901	270,420	803,800	39.14	38.46
4	6,560	27,461	254,140	1,057,940	38.74	38.53
5	6,984	34,444	277,720	1,335,660	39.77	38.78

6	7,123	41,567	306,380	1,642,040	43.01	39.50
7	7,211	48,778	292,140	1,934,180	40.51	39.65
8	6,362	55,141	311,080	2,245,260	48.89	40.72
9	7,008	62,148	327,120	2,572,380	46.68	41.39
10	7,091	69,239	327,340	2,899,720	46.17	41.88
11	6,741	75,980	296,320	3,196,040	43.96	42.06
12	7,086	83,066	302,160	3,498,200	42.64	42.11
13	7,261	7,261	284,400	284,400	39.17	39.17
14	6,263	13,524	282,040	566,440	45.04	41.89
15	5,638	19,161	283,480	849,920	50.28	44.36
16	5,818	24,979	245,740	1,095,660	42.24	43.86
17	4,401	29,380	240,780	1,336,440	54.71	45.49
18	6,042	35,442	307,700	1,644,140	50.93	46.42
19	4,809	40,231	236,900	1,881,040	49.26	46.76
20	4,579	44,810	236,940	2,117,980	51.74	47.27
21	5,772	50,583	290,980	2,408,960	50.41	47.62
22	6,424	57,007	303,040	2,712,000	47.17	47.57
23	5,747	62,754	306,940	3,018,940	53.41	48.11
24	5,208	67,962	266,380	3,285,320	51.15	48.34
25	6,032	6,032	279,620	279,620	46.36	46.36
26	5,667	11,699	248,180	527,800	43.80	45.12
27	6,026	17,724	300,360	828,160	49.85	46.72
28	5,398	23,122	237,820	1,065,980	44.06	46.10
29	6,063	29,185	282,620	1,348,600	46.62	46.21
30	5,174	34,359	282,632	1,631,232	54.63	47.48
31	4,945	39,304	266,580	1,897,812	53.91	48.29
32	5,498	44,802	286,380	2,184,192	52.09	48.75
33	6,285	51,087	285,100	2,469,292	45.36	48.34
34	5,786	56,873	266,441	2,735,733	46.05	48.10
35	6,332	63,205	268,041	3,003,774	42.33	47.52
36	5,406	68,611	238,080	3,241,854	44.04	47.25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



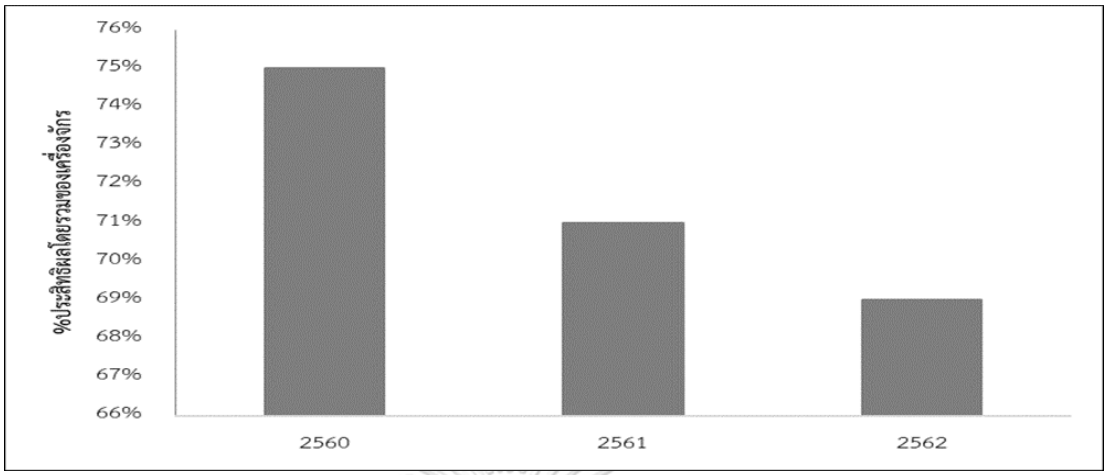
รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณผลผลิตรวม (Total Product) แบบรายปี



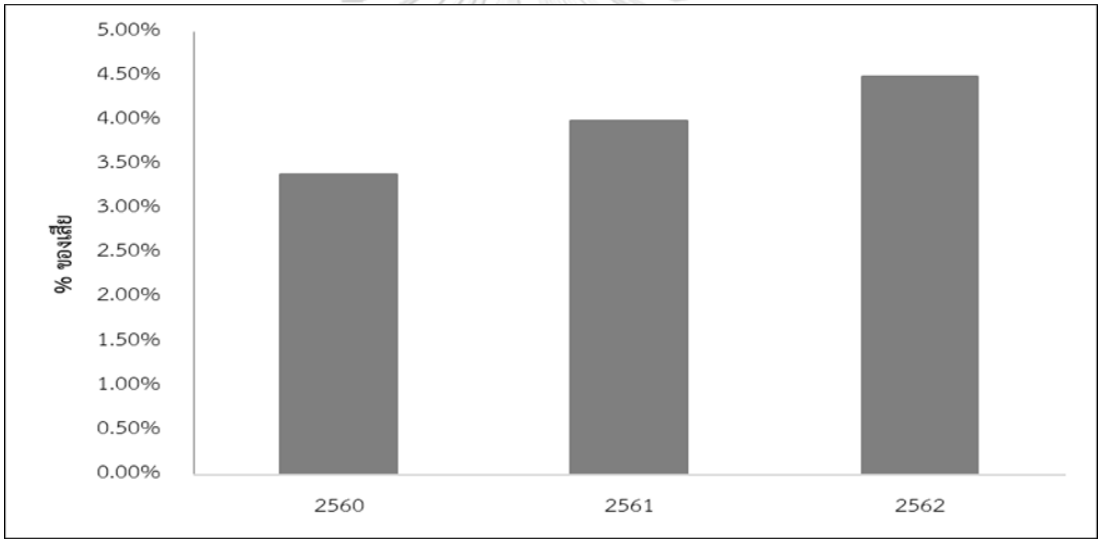
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) กับปริมาณผลผลิตรวม (Total Product) แบบรายปี

จากรูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณผลผลิตรวม (Total Product) แบบรายปี และรูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) กับปริมาณผลผลิตรวม (Total Product) แบบรายปี แสดงให้เห็นว่าปี 2561 และปี 2562 มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำกว่าปี 2560 สาเหตุมาจากประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรปี 2561 และปี 2562 มีประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรต่ำกว่าปี 2560 ดังรูปที่ 7 ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร ปี 2560 - ปี 2562 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงจำนวนของเสียจะพบว่าปี 2561 และปี 2562 มีจำนวนของเสียที่เพิ่มขึ้นจากปี 2560 ดังรูปที่ 8 จำนวนของเสียปี 2560 - ปี 2562



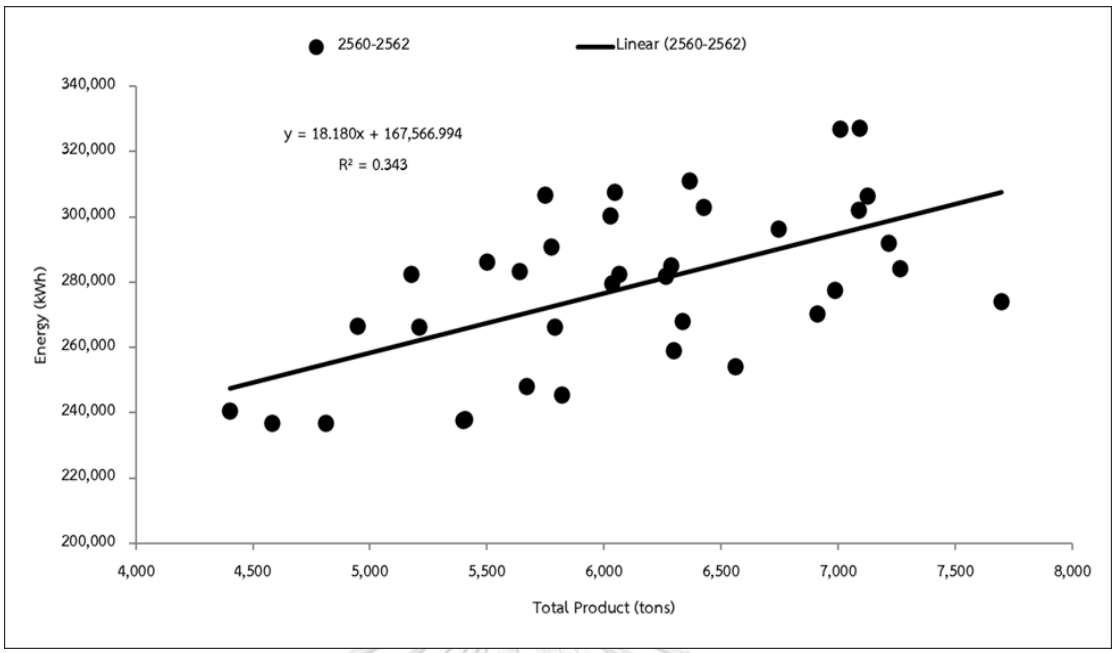
รูปที่ 7 ประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร ปี 2560 - ปี 2562



รูปที่ 8 จำนวนของเสียปี 2560 - ปี 2562

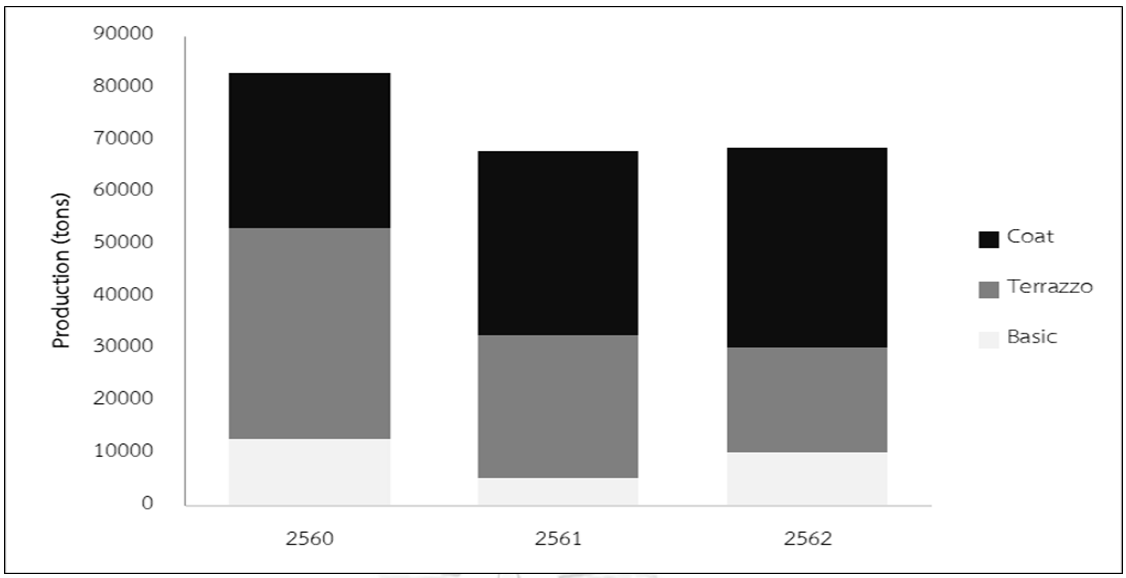
2. จากข้อมูลตารางที่ 1 ข้อมูลสถิติปริมาณผลผลิตรวม (Total Product) และการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง 36 เดือน นำไปสร้างกราฟการกระจายตัวของข้อมูลรวมทั้ง 3 ปี ดังรูปที่ 9 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลผลผลิตรวม (Total Product) ปี 2560 - ปี 2562 และเส้นฐานของข้อมูล

3. วิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นอย่างง่ายเพื่อหาสมการเส้นฐานของข้อมูลรวมดังรูปที่ 9 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลผลผลิตรวม (Total Product) ปี 2560 - ปี 2562 และเส้นฐานของข้อมูล

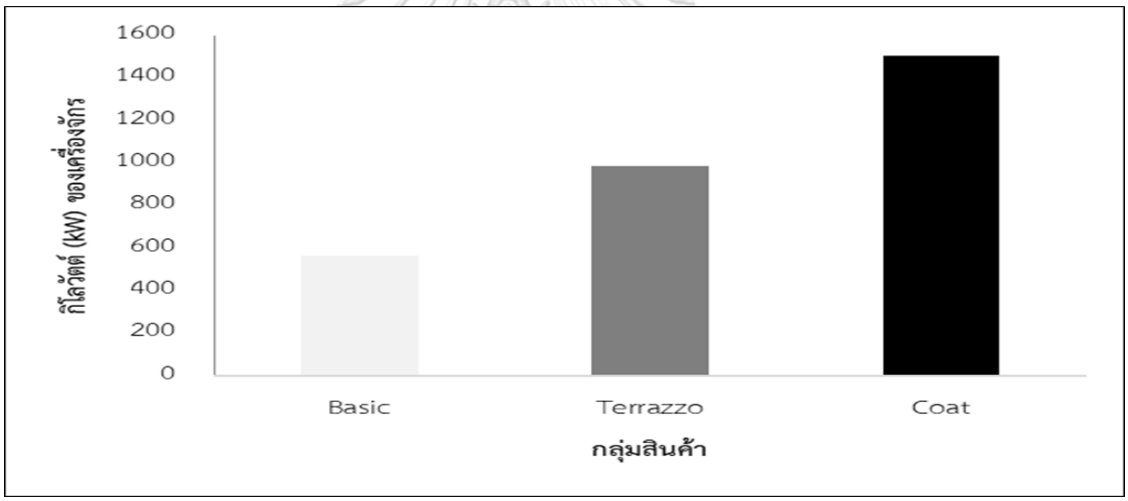


รูปที่ 9 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลผลผลิตรวม (Total Product) ปี 2560 - ปี 2562 และเส้นฐานของข้อมูล

จากรูปที่ 9 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลผลผลิตรวม (Total Product) ปี 2560 - ปี 2562 และเส้นฐานข้อมูล พบว่า ปี 2560 มีการผลิตเดือนละประมาณ 6,300 ตัน – 7,700 ตัน ปี 2561 มีการผลิตเดือนละ 4,400 ตัน – 7,260 ตัน และปี 2562 มีการผลิตเดือนละ 4,950 ตัน – 6,300 ตัน โดยเมื่อพิจารณาค่า R^2 ของข้อมูลรวม พบว่า มีค่า 0.343 แสดงว่าข้อมูลระหว่างการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลผลิตรวม (Total Product) มีความสัมพันธ์กันน้อยมาก เนื่องจากในการผลิตกระเบื้องปูพื้นตอนกรีตมีผลิตภัณฑ์ 3 กลุ่มสินค้า คือ Basic Terrazzo และ Coat ซึ่งในแต่ละปีก็จะมีสัดส่วนการผลิตที่แตกต่างกันตามความต้องการของลูกค้า ดังรูปที่ 10 สัดส่วนการผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีต ปี 2560 - ปี 2562 และแต่ละผลิตภัณฑ์จะมีวิธีการผลิตที่แตกต่างกัน มีการใช้เครื่องจักรที่แตกต่างกันทำให้มีการใช้พลังงานที่แตกต่างกันในแต่ละผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 11 กิโลวัตต์ (kW) ของเครื่องจักรสำหรับใช้ในการผลิตสินค้าจำแนกตามกลุ่มสินค้า

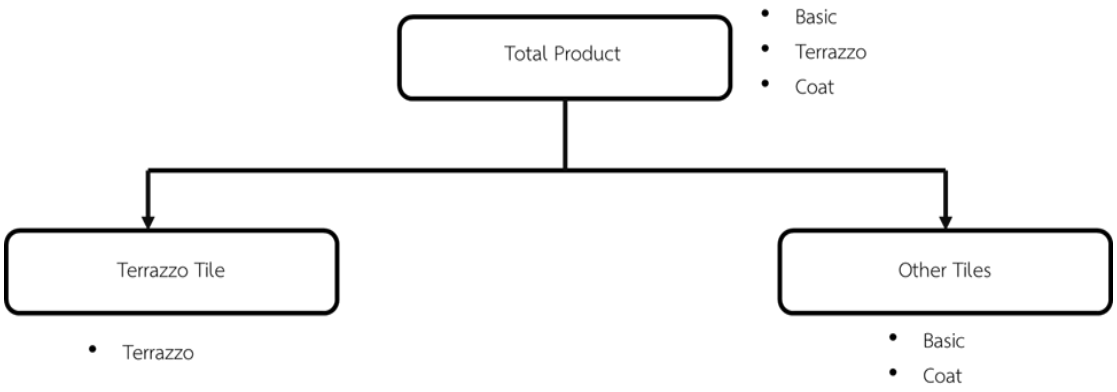


รูปที่ 10 สัดส่วนการผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีต ปี 2560 - ปี 2562



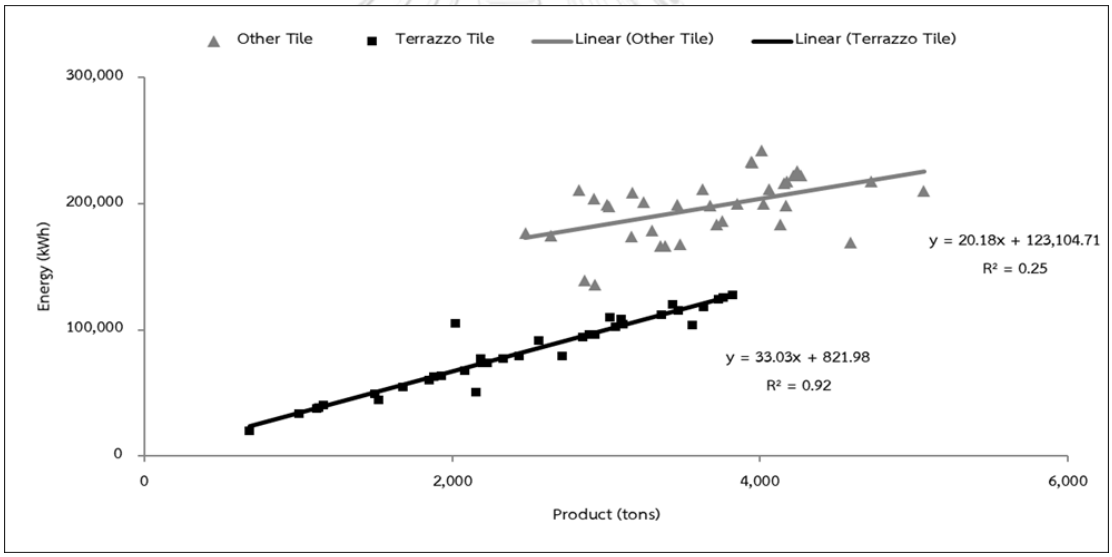
รูปที่ 11 กิโลวัตต์ (kW) ของเครื่องจักรสำหรับใช้ในการผลิตสินค้าจำแนกตามกลุ่มสินค้า

จากค่า R^2 มีค่า 0.343 ที่ค่อนข้างต่ำเพื่อให้การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานมีการวิเคราะห์ได้ชัดเจน จึงมีการแบ่งกลุ่มสินค้าจากผลผลิตรวม (Total Product) ที่มี 3 ผลิตภัณฑ์คือ Basic Terrazzo และ Coat เป็น 2 กลุ่มย่อย คือ Terrazzo Tile ที่ประกอบด้วยสินค้า Terrazzo และ Other Tiles ที่ประกอบด้วยสินค้า Basic และ Coat สาเหตุที่มีการแบ่งแบบนี้เนื่องจากในกระบวนการผลิตสินค้า Terrazzo Tile มีเครื่องวัดการใช้พลังงานที่ชัดเจน ส่วนกลุ่ม Other Tiles ยังไม่มีเครื่องวัดการใช้พลังงาน ดังรูปที่ 12 กลุ่มผลผลิตรวม (Total Product) ที่แบ่งเป็น 2 กลุ่มสินค้า คือ Terrazzo Tile และ Other Tiles



รูปที่ 12 กลุ่มผลผลิตรวม(Total Product)ที่แบ่งเป็น2กลุ่มสินค้าคือTerrazzo TileและOther Tiles

4. วิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นอย่างง่ายเพื่อหาสมการเส้นฐานของข้อมูลตามกลุ่มสินค้า Terrazzo Tile และ Other Tiles ดังรูปที่ 13 กราฟการกระจายตัวของปริมาณพลังงานไฟฟ้ากับปริมาณผลผลิตจำแนกตามกลุ่มสินค้า



รูปที่ 13 กราฟการกระจายตัวของปริมาณพลังงานไฟฟ้ากับปริมาณผลผลิตจำแนกตามกลุ่มสินค้า

จากรูปที่ 13 กราฟการกระจายตัวของปริมาณพลังงานไฟฟ้ากับปริมาณผลผลิตจำแนกตามกลุ่มสินค้า พบว่าข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลผลิต Terrazzo Tile มีความสัมพันธ์กัน โดยพิจารณาจากค่า R^2 พบว่ามีค่า 0.92 แต่ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลผลิต Other Tiles มีความสัมพันธ์กันน้อยมากโดยพิจารณาจากค่า R^2 พบว่ามีค่า 0.25 ดังนั้นจึงใช้กลุ่มสินค้า Terrazzo Tile เป็นตัวอย่างในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

3.6 การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลผลิต Terrazzo Tile ของโรงงานตัวอย่าง

1. ข้อมูลสถิติปริมาณผลผลิตและการใช้พลังงานไฟฟ้า แสดงในตารางที่ 3 ข้อมูลสถิติปริมาณผลผลิต Terrazzo Tile และการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง 36 เดือน

ตารางที่ 3 ข้อมูลสถิติปริมาณผลผลิต Terrazzo Tile และการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง 36 เดือน

Year 1 Month no.	Products (ton)	Energy (kWh)	Year 2 Month no.	Products (ton)	Energy (kWh)	Year 3 Month no.	Products (ton)	Energy (kWh)
1	3,107	104,703	13	2,196	74,025	25	1,878	62,978
2	3,435	119,931	14	3,100	108,250	26	1,499	49,416
3	3,558	103,965	15	2,715	79,353	27	2,079	67,876
4	3,634	118,259	16	2,436	79,280	28	1,679	54,334
5	2,850	94,274	17	1,927	63,747	29	1,848	60,185
6	3,823	127,443	18	3,023	109,721	30	1,164	40,454
7	3,728	124,293	19	1,133	38,175	31	1,003	33,387
8	3,357	112,029	20	1,118	37,667	32	2,330	77,224
9	3,763	125,450	21	2,018	104,839	33	2,228	73,502
10	3,466	115,620	22	2,185	77,037	34	1,519	44,134
11	2,888	96,511	23	2,925	96,274	35	2,156	50,644
12	3,061	102,248	24	2,565	91,411	36	683	20,190

การวิเคราะห์เปรียบทียบแบบรายปีในเบื้องต้น สามารถทำได้ง่ายๆโดยการใช้ข้อมูลค่าสะสม (Cumulative value) ของปริมาณผลผลิต Terrazzo Tile ปริมาณพลังงาน และค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ร่วมกับกราฟการกระจายตัวของข้อมูล ดังรายละเอียดในตารางที่ 4 ค่าสะสมของปริมาณผลผลิต Terrazzo Tile พลังงานไฟฟ้าและ SEC และรูปที่ 14 ความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณผลผลิต Terrazzo Tile แบบรายปี และ รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) กับปริมาณผลผลิต Terrazzo Tile แบบรายปี

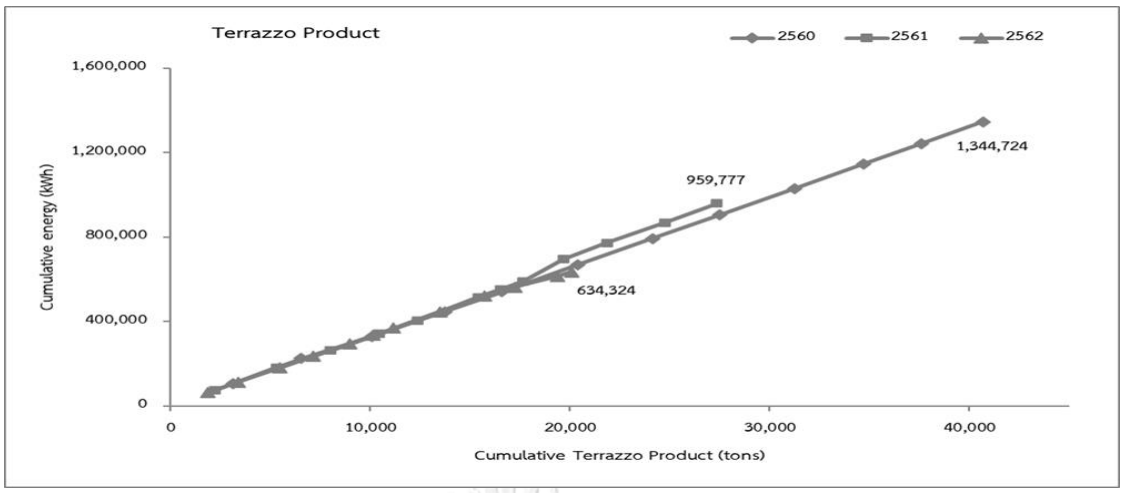
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 4 ค่าสะสมของปริมาณผลผลิต Terrazzo Tile พลังงานไฟฟ้าและ SEC

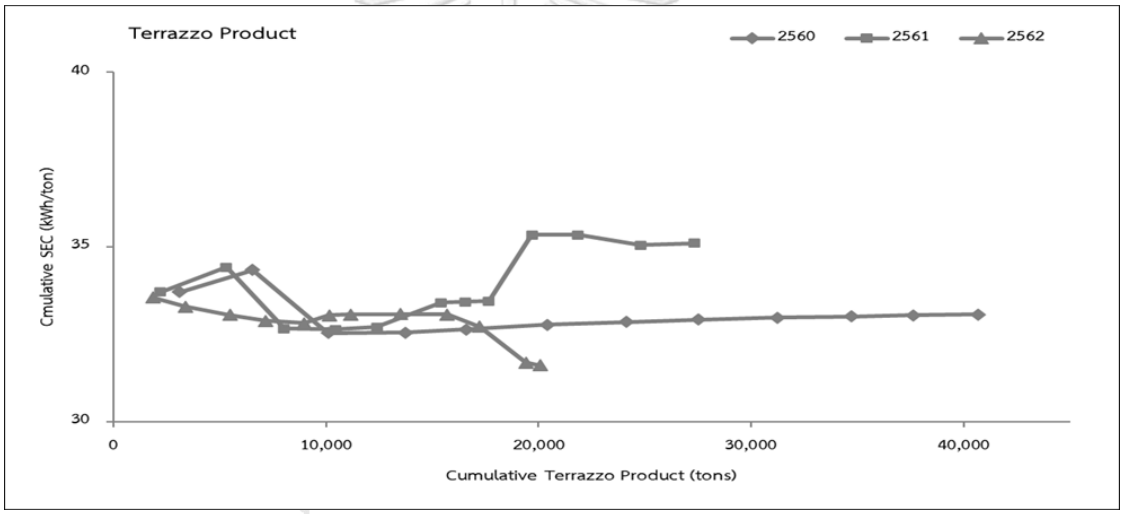
Year 1+2+3	Products (ton)		Elec. Energy (kWh)		SEC (kWh/ton)	
Month no.	Actual	Cumulative	Actual	Cumulative	Actual	Cumulative
1	3,107	3,107	104,703	104,703	33.70	33.70
2	3,435	6,541	119,931	224,634	34.92	34.34

3	3,558	10,099	103,965	328,599	29.22	32.54
4	3,634	13,733	118,259	446,858	32.55	32.54
5	2,850	16,583	94,274	541,132	33.07	32.63
6	3,823	20,406	127,443	668,574	33.34	32.76
7	3,728	24,134	124,293	792,867	33.34	32.85
8	3,357	27,491	112,029	904,896	33.37	32.92
9	3,763	31,253	125,450	1,030,346	33.34	32.97
10	3,466	34,719	115,620	1,145,966	33.36	33.01
11	2,888	37,607	96,511	1,242,477	33.42	33.04
12	3,061	40,668	102,248	1,344,724	33.40	33.07
13	2,196	2,196	74,025	74,025	33.70	33.70
14	3,100	5,297	108,250	182,274	34.92	34.41
15	2,715	8,012	79,353	261,627	29.22	32.65
16	2,436	10,448	79,280	340,908	32.55	32.63
17	1,927	12,375	63,747	404,655	33.07	32.70
18	3,023	15,398	109,721	514,375	36.30	33.40
19	1,133	16,531	38,175	552,550	33.70	33.43
20	1,118	17,649	37,667	590,216	33.70	33.44
21	2,018	19,666	104,839	695,056	51.96	35.34
22	2,185	21,852	77,037	772,092	35.25	35.33
23	2,925	24,776	96,274	868,367	32.92	35.05
24	2,565	27,341	91,411	959,777	35.64	35.10
25	1,878	1,878	62,978	62,978	33.54	33.54
26	1,499	3,376	49,416	112,394	32.97	33.29
27	2,079	5,455	67,876	180,270	32.65	33.05
28	1,679	7,134	54,334	234,604	32.36	32.89
29	1,848	8,982	60,185	294,789	32.56	32.82
30	1,164	10,146	40,454	335,243	34.76	33.04
31	1,003	11,149	33,387	368,630	33.30	33.07
32	2,330	13,479	77,224	445,854	33.14	33.08
33	2,228	15,707	73,502	519,356	32.98	33.07
34	1,519	17,226	44,134	563,490	29.05	32.71
35	2,156	19,382	50,644	614,134	23.49	31.69
36	683	20,065	20,190	634,324	29.56	31.61

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



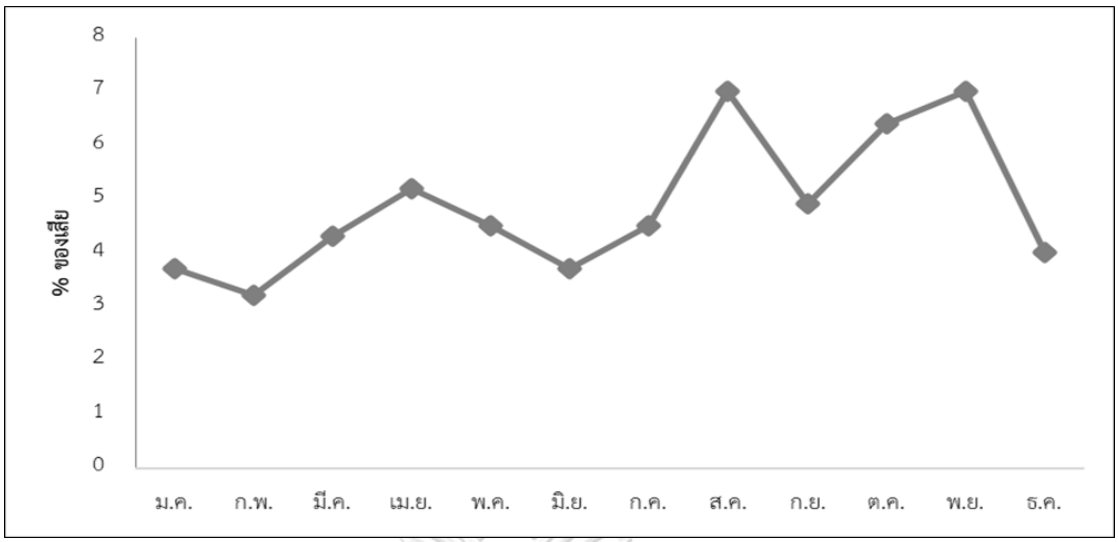
รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณผลผลิต Terrazzo Tile แบบรายปี



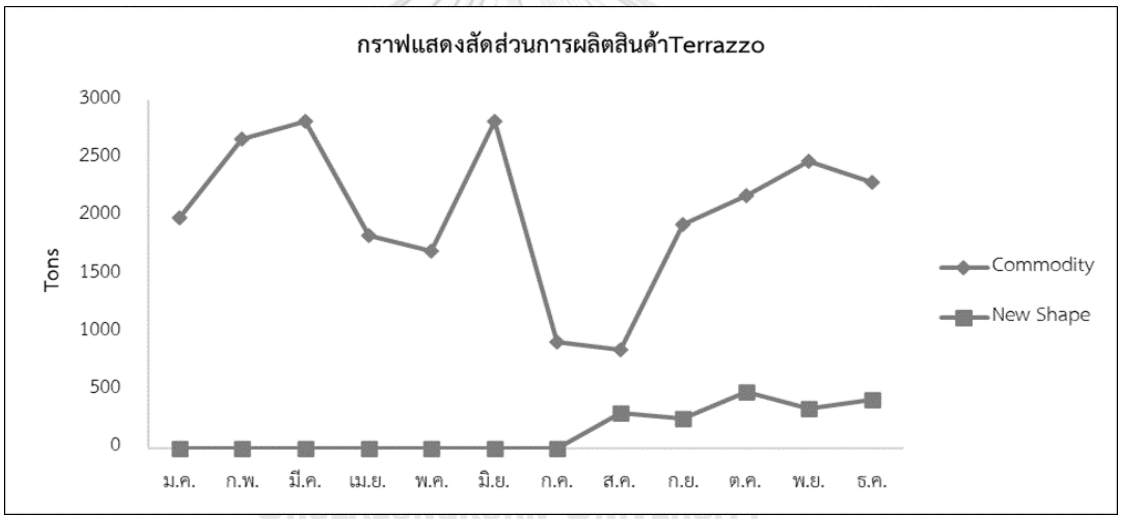
Chulalongkorn University

รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) กับปริมาณผลผลิต Terrazzo Tile แบบรายปี

จากรูปที่ 14 ความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานไฟฟ้ากับปริมาณผลผลิต Terrazzo Tile แบบรายปี และรูปที่ 15 ความสัมพันธ์ของค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) กับปริมาณผลผลิต Terrazzo Tile แบบรายปี แสดงให้เห็นว่าปี 2561 ช่วง 4 เดือนสุดท้าย มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำกว่าปี 2560 และ ปี 2562 สาเหตุมาจากจำนวนของเสียสินค้า Terrazzo Tile ในเดือนสิงหาคม - ธันวาคม 2561 เพิ่มขึ้นจากการผลิตสินค้าในกลุ่ม New Shape ดังรูปที่ 16 จำนวนของเสียสินค้า Terrazzo Tile ปี 2561 เมื่อพิจารณาสัดส่วนการผลิตสินค้า Terrazzo Tile พบว่าช่วงเดือนสิงหาคม - ธันวาคม 2561 มีการผลิตสินค้ากลุ่ม New Shape เพิ่มขึ้นจากเดิมที่ผลิตเฉพาะสินค้ากลุ่ม Commodity ดังรูปที่ 17 สัดส่วนการผลิตสินค้า Terrazzo Tile ปี 2561



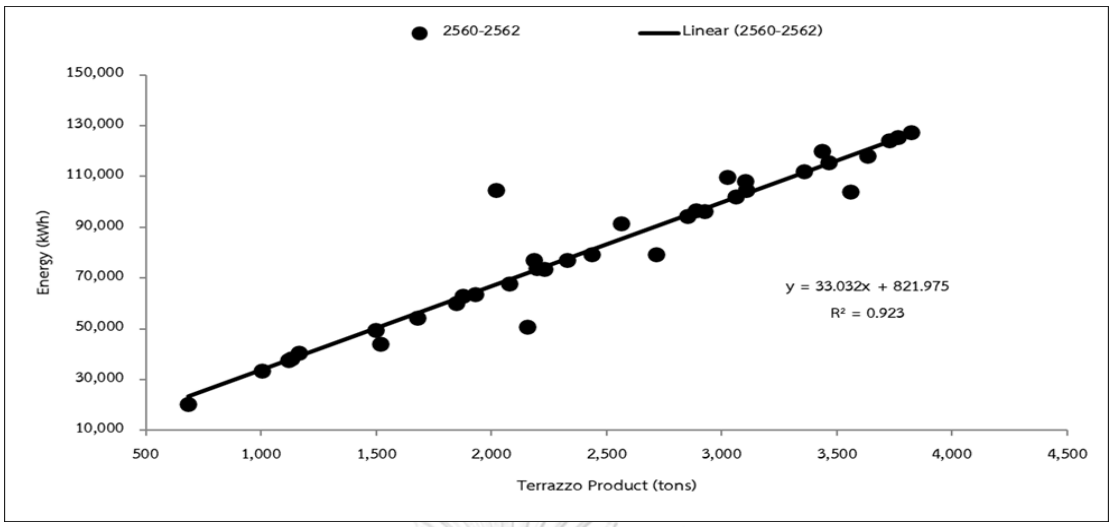
รูปที่ 16 จำนวนของเสียสินค้า Terrazzo Tile ปี 2561



รูปที่ 17 สัดส่วนการผลิตสินค้า Terrazzo Tile ปี 2561

2. จากข้อมูลตารางที่ 3 ข้อมูลสถิติปริมาณผลผลิต Terrazzo Tile และการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วง 36 เดือนสร้างกราฟการกระจายตัวของข้อมูลรวมทั้ง 3 ปี ดังรูปที่ 18 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลผลผลิต Terrazzo Tile ปี 2560 - ปี 2562 และเส้นฐานของข้อมูล

3. วิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นอย่างง่ายเพื่อหาสมการเส้นฐานของข้อมูลรวมดังรูปที่ 18 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลผลผลิต Terrazzo Tile ปี 2560 - ปี 2562 และเส้นฐานของข้อมูล



รูปที่ 18 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลผลผลิต Terrazzo Tile ปี 2560 - ปี 2562 และเส้นฐานของข้อมูล

จากรูปที่ 18 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลผลผลิต Terrazzo Tile ปี 2560 - ปี 2562 และเส้นฐานของข้อมูลพบว่า ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลผลิต Terrazzo Tile มีความสัมพันธ์กัน โดยพิจารณาจากค่า R^2 มีค่า 0.923 ทำให้ได้สมการตัวแทนของพลังงานไฟฟ้าคือ Y = 33.032 X + 821.975 เพื่อนำไปใช้ในการคาดการณ์การใช้พลังงานในอนาคตสำหรับการผลิตในช่วงปริมาณที่ใกล้เคียงกัน

4. จากเส้นฐานของข้อมูลรวมในรูปที่ 18 กราฟการกระจายตัวของข้อมูลผลผลิต Terrazzo Tile ปี 2560 - ปี 2562 และเส้นฐานของข้อมูลนำไปวิเคราะห์หาค่าอ้างอิง (Base kWh) ค่า DIFF และ CUSUM ได้ดังตารางที่ 5 การวิเคราะห์จากข้อมูลรวมทั้งหมด

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์จากข้อมูลรวมทั้งหมด

Year 1+2+3	Products	Actual Energy	Base Energy	DIFF	CUSUM
Month no.	(ton)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
1	3,107	104,703	103,440	1,263	1,263
2	3,435	119,931	114,279	5,652	6,916
3	3,558	103,965	118,340	-14,376	-7,460
4	3,634	118,259	120,844	-2,585	-10,045
5	2,850	94,274	94,976	-702	-10,747
6	3,823	127,443	127,104	339	-10,408
7	3,728	124,293	123,958	335	-10,073

8	3,357	112,029	111,709	320	-9,753
9	3,763	125,450	125,113	337	-9,416
10	3,466	115,620	115,296	324	-9,092
11	2,888	96,511	96,211	300	-8,793
12	3,061	102,248	101,940	307	-8,486
13	2,196	74,025	73,372	652	-7,833
14	3,100	108,250	103,228	5,022	-2,811
15	2,715	79,353	90,520	-11,167	-13,978
16	2,436	79,280	81,284	-2,004	-15,982
17	1,927	63,747	64,488	-741	-16,723
18	3,023	109,721	100,676	9,045	-7,679
19	1,133	38,175	38,236	-62	-7,740
20	1,118	37,667	37,738	-72	-7,812
21	2,018	104,839	67,473	37,366	29,554
22	2,185	77,037	73,007	4,029	33,583
23	2,925	96,274	97,428	-1,154	32,429
24	2,565	91,411	85,533	5,878	38,307
25	1,878	62,978	62,843	135	38,442
26	1,499	49,416	50,324	-908	37,535
27	2,079	67,876	69,483	-1,607	35,928
28	1,679	54,334	56,283	-1,949	33,979
29	1,848	60,185	61,874	-1,689	32,290
30	1,164	40,454	39,267	1,187	33,477
31	1,003	33,387	33,939	-552	32,925
32	2,330	77,224	77,792	-568	32,356
33	2,228	73,502	74,429	-927	31,429
34	1,519	44,134	50,998	-6,864	24,566
35	2,156	50,644	72,039	-21,395	3,171
36	683	20,190	23,383	-3,193	-22
Sum.	88,074	2,938,826	2,938,848	-22	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายละเอียดการคำนวณ

Month no.1

Products = 3,107 tons

Actual Energy = 104,703 kWh

Base Energy = 33.032 x 3,107 + 821.975 = 103,440 kWh

DIFF = 104,703 – 103,440 = 1,263 kWh

CUSUM = 1,263 kWh

Month no.2

Products = 3,435 tons

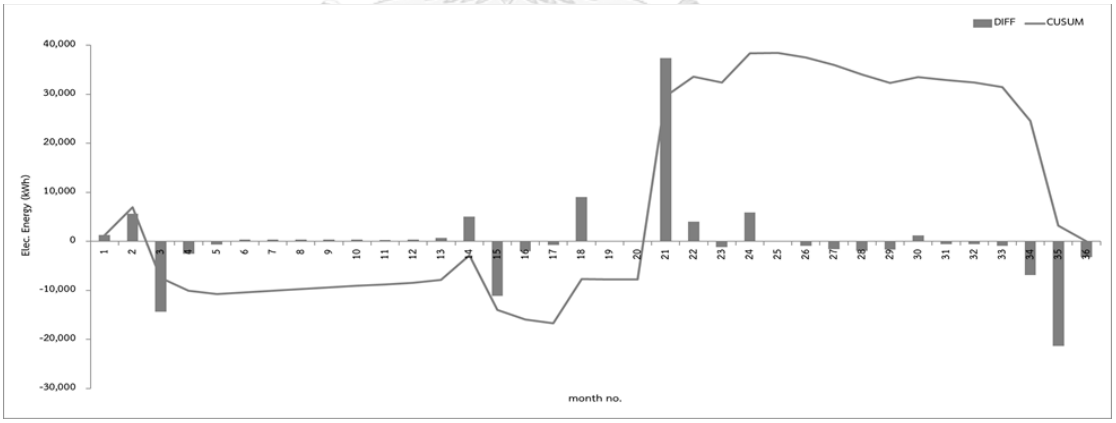
Actual Energy = 119,931kWh

Base Energy = 33.032 x 3,435 + 821.975 = 114,279 kWh

DIFF = 119,931 – 114,279 = 5,652 kWh

CUSUM = 1,263 + 5,652 = 6,916 kWh

5.นำข้อมูลค่า DIFF และ CUSUM ไปสร้างกราฟ DIFF และกราฟ CUSUM ได้ดังรูปที่ 19 กราฟ DIFF และ CUSUM ของข้อมูลรวม 36 เดือน



รูปที่ 19 กราฟ DIFF และ CUSUM ของข้อมูลรวม 36 เดือน

6. วิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานจากรูปที่ 19 กราฟ DIFF และ CUSUM ของข้อมูลรวม 36 เดือน ได้ผลดังนี้

ช่วงที่ 1 (เดือนที่ 1 – 20) เส้นกราฟ CUSUM มีความชันเป็นลบ หมายถึง มีการใช้พลังงานต่ำกว่าเส้นฐานหรือค่าอ้างอิง (ค่า DIFF เป็นลบ) และกราฟ CUSUM มีพื้นที่กราฟอยู่ใต้เส้นฐานอ้างอิง

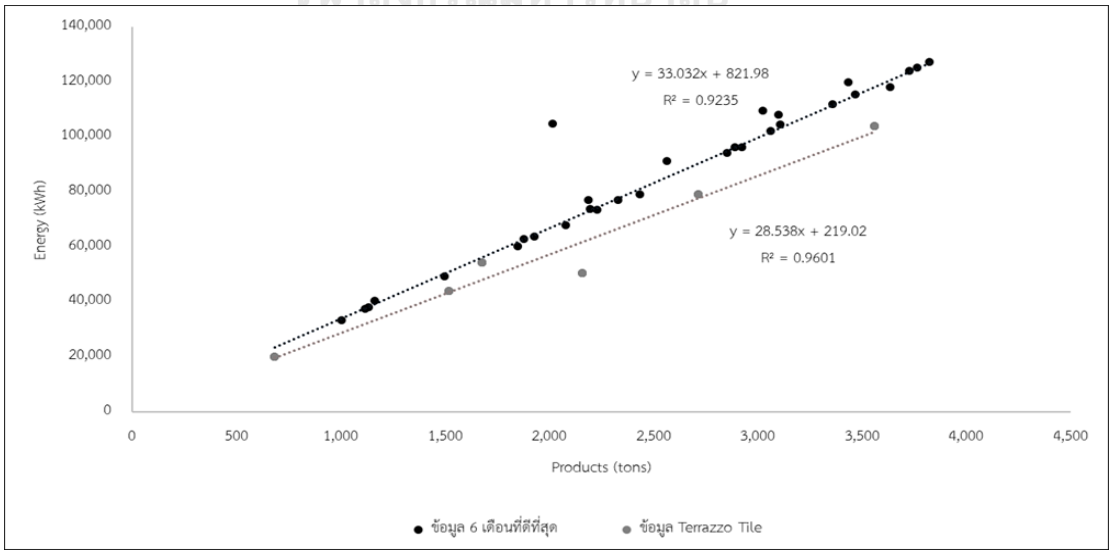
ช่วงที่ 2 (เดือนที่ 21 – 36) เส้นกราฟ CUSUM มีความชันเป็นบวก หมายถึง มีการใช้พลังงานสูงกว่าเส้นฐานหรือค่าอ้างอิง (ค่า DIFF เป็นบวก) และกราฟ CUSUM มีพื้นที่กราฟอยู่เหนือเส้นฐานอ้างอิง โดยในเดือนที่ 21 ที่มีการใช้พลังงานสูงกว่าเส้นฐานอ้างอิงเนื่องจากมีการทดลองผลิตสินค้า New Shape ทำให้มีการใช้พลังงานสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณของเสียที่เกิดเพิ่มขึ้น และในเดือนที่ 22 มีการใช้พลังงานลดลงเนื่องจากลดการทดลองผลิตสินค้า New Shape และปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นลดลงจากเดือนที่ 21 จากลักษณะของเส้นกราฟ CUSUM แสดงว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในช่วงที่ 1 มีประสิทธิภาพสูงกว่าช่วงที่ 2

7. การเลือกข้อมูลอ้างอิงเพื่อประเมินผล จะใช้ข้อมูลอ้างอิงตามพฤติกรรม โดยเลือกข้อมูลเดือนที่มีค่า SEC ต่ำจำนวน 6 เดือนในระหว่างผลผลิตน้อย-มาก เพื่อเป็นตัวแทนเดือนที่มีศักยภาพในการใช้พลังงานสูง

8. นำข้อมูลอ้างอิงและข้อมูลที่เหลือไปสร้างกราฟการกระจายตัวของข้อมูล ดังรูปที่ 20 การวิเคราะห์หาสมการเส้นฐานของข้อมูลอ้างอิง

9. วิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นอย่างง่ายเพื่อหาสมการเส้นฐานของข้อมูลอ้างอิง ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 20 การวิเคราะห์หาสมการเส้นฐานของข้อมูลอ้างอิง พบว่ามีค่า R^2 อยู่ที่ 0.9601 และได้สมการเส้นฐานอ้างอิงของข้อมูลคือ y = 28.538 + 219.02

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 20 การวิเคราะห์หาสมการเส้นฐานของข้อมูลอ้างอิง

10. (ทำซ้ำ) จากเส้นฐานในรูปที่ 20 การวิเคราะห์หาสมการเส้นฐานของข้อมูลอ้างอิง นำไปวิเคราะห์หาค่าอ้างอิง (Base kWh) ค่า DIFF และ CUSUM ได้ดังตารางที่ 6 ข้อมูลการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลอ้างอิง

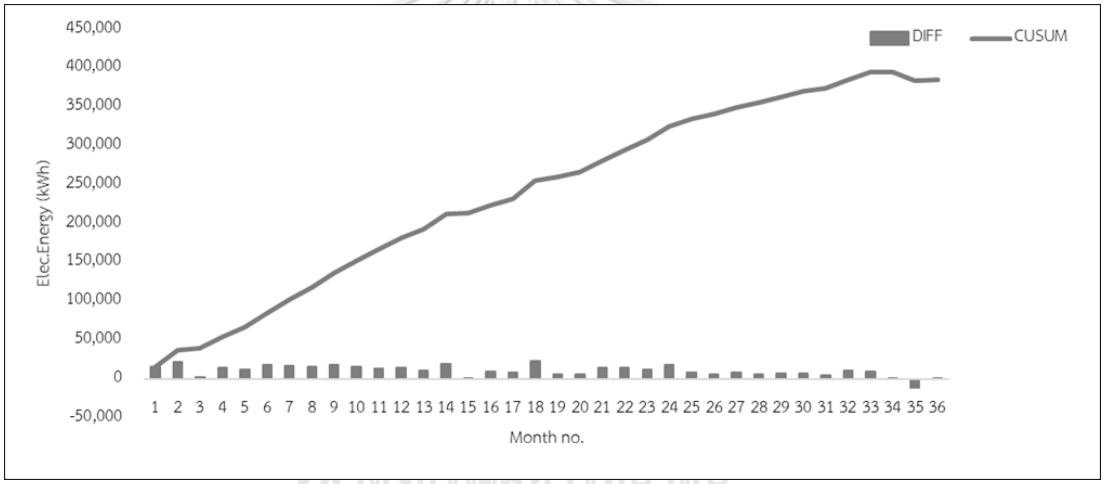
ตารางที่ 6 ข้อมูลการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลอ้างอิง

Year 1+2+3	Products	Actual Energy	Base Energy	DIFF	CUSUM
Month no.	(ton)	(kWh)	(kWh)	(kWh)	(kWh)
1	3,107	104,703	88,876	15,828	15,828
2	3,435	119,931	98,240	21,691	37,518
3	3,558	103,965	101,749	2,216	39,734
4	3,634	118,259	103,912	14,347	54,081
5	2,850	94,274	81,563	12,711	66,792
6	3,823	127,443	109,320	18,123	84,914
7	3,728	124,293	106,602	17,691	102,605
8	3,357	112,029	96,020	16,009	118,614
9	3,763	125,450	107,601	17,849	136,463
10	3,466	115,620	99,119	16,501	152,964
11	2,888	96,511	82,631	13,880	166,845
12	3,061	102,248	87,580	14,667	181,512
13	2,196	74,025	62,899	11,126	192,638
14	3,100	108,250	88,693	19,557	212,195
15	2,715	79,353	77,713	1,639	213,834
16	2,436	79,280	69,735	9,546	223,380
17	1,927	63,747	55,223	8,524	231,904
18	3,023	109,721	86,488	23,233	255,137
19	1,133	38,175	32,543	5,632	260,768
20	1,118	37,667	32,113	5,554	266,322
21	2,018	104,839	57,803	47,037	313,358
22	2,185	77,037	62,584	14,453	327,811
23	2,925	96,274	83,682	12,593	340,404
24	2,565	91,411	73,405	18,006	358,410
25	1,878	62,978	53,802	9,176	367,586
26	1,499	49,416	42,986	6,430	374,016
27	2,079	67,876	59,538	8,338	382,353

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

28	1,679	54,334	48,134	6,200	388,553
29	1,848	60,185	52,965	7,220	395,773
30	1,164	40,454	33,434	7,020	402,793
31	1,003	33,387	28,831	4,556	407,349
32	2,330	77,224	66,718	10,506	417,856
33	2,228	73,502	63,812	9,690	427,546
34	1,519	44,134	43,568	566	428,112
35	2,156	50,644	61,747	-11,103	417,009
36	683	20,190	19,710	480	417,488

11. (ทำซ้ำ) นำข้อมูล CUSUM ไปสร้างกราฟ CUSUM ได้ดังรูปที่ 21 กราฟ CUSUM ที่ใช้ข้อมูลอ้างอิง จำนวน 6 เดือน



รูปที่ 21 กราฟ CUSUM ที่ใช้ข้อมูลอ้างอิง จำนวน 6 เดือน

12. การประเมินผล

จากรูปที่ 21 กราฟ CUSUM ที่ใช้ข้อมูลอ้างอิงจำนวน 6 เดือน ในการเลือกข้อมูลเดือนที่มีค่า SEC ต่ำจำนวน 6 เดือนมาเป็นข้อมูลอ้างอิง พบว่า พฤติกรรมการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่างมีพฤติดรรมที่ก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง ในช่วงแรกมีการสูญเสียพลังงานมาก จากนั้นการสูญเสียพลังงานจะลดลงซึ่งถือว่าเป็นพลังงานไฟฟ้าที่จะประหยัดได้ ถ้าจัดการการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างเหมาะสม พบว่าโรงงานตัวอย่างจะมีศักยภาพในการประหยัดพลังงาน 417,488 kWh

บทที่ 4
สรุปผลการวิจัย

4.1 สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานและข้อมูลปริมาณผลผลิตในกระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่างซึ่งเป็นโรงงานผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีต นำข้อมูลมาวิเคราะห์รวมถึงตีความข้อมูลด้วยรูปแบบกราฟที่เหมาะสมทำให้สามารถใช้ประโยชน์จากข้อมูลได้มากยิ่งขึ้น เมื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีต โดยนำข้อมูลปริมาณผลผลิตและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตมาวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Diagram) การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) การใช้ค่าพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) การสร้างกราฟ DIFF และ CUSUM เพื่อนำมากำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน ผลการวิเคราะห์พบว่าข้อมูลการใช้พลังงานในปี 2560 - ปี 2562 โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย ระหว่างผลผลิตรวม (Total Product) (ตัน) กับการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) มีค่า R^2 อยู่ที่ 0.343 ซึ่งมีค่าน้อยมากสาเหตุมาจากผลผลิตของกระเบื้องปูพื้นคอนกรีตมีหลายกลุ่มสินค้า ซึ่งแต่ละกลุ่มสินค้ามีการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน จึงได้ทำการแบ่งกลุ่มสินค้าจากผลผลิตรวม (Total Product) เป็น 2 กลุ่ม คือ 1.Terrazzo Tile และ 2.Other Tiles จากนั้นวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอย ระหว่างผลผลิตสินค้ากลุ่ม Terrazzo Tile (ตัน) กับ การใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh) เนื่องจากเป็นกลุ่มสินค้าที่มีอุปกรณ์เครื่องวัดการใช้พลังงานที่ชัดเจน ซึ่งพบว่าสมการมีค่า R^2 0.92 นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ค่าพลังงานจำเพาะ (SEC) ในสินค้า Terrazzo Tile พบว่าในปี 2561 และปี 2562 มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำกว่าปี 2560 เนื่องจากมีค่า SEC ที่สูงกว่า เมื่อพิจารณาจากกราฟ CUSUM พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี 2561 และ ปี 2562 มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำกว่าปี 2560 เช่นกัน และในการกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานเลือกข้อมูลที่มีค่า SEC ต่ำในระหว่างผลผลิตน้อย-มาก จำนวน 6 เดือน เพื่อเป็นตัวแทนเดือนที่มีศักยภาพในการใช้พลังงานสูง ถ้าโรงงานตัวอย่างสามารถดำเนินการควบคุมประสิทธิภาพการใช้พลังงานให้เป็นไปตามเป้าหมาย จะมีศักยภาพในการประหยัดพลังงานจากกลุ่มสินค้า Terrazzo Tile อยู่ที่ 417,488 kWh ดังนั้นเพื่อให้การวิเคราะห์การใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถนำไปสู่การปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ดียิ่งขึ้น บริษัทควรมีการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องวัดการใช้พลังงานในทุกกระบวนการผลิตเพื่อให้สามารถวิเคราะห์การใช้พลังงานได้ทุกกลุ่มประเภทสินค้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

1. ในโรงงานที่กระบวนการผลิตมีหลายผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตมีความซับซ้อน ควรมีการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานแยกตามกลุ่มของผลิตภัณฑ์

2. เพื่อให้การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานมีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือของข้อมูล ควรมีการติดตั้งเครื่องวัดการใช้พลังงานในทุกๆกระบวนการผลิต

3.สำหรับสินค้า Terrazzo Tile จากกราฟ CUSUM จะได้ศักยภาพในการประหยัดพลังงาน ซึ่งโรงงานตัวอย่างสามารถนำมาตรการหรือพฤติกรรมในช่วงที่ประหยัดพลังงานมาพิจารณาในการทำกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บรรณานุกรม

1. จิราพร อัตตะสาระ, ประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิตยางรถยนต์ : กรณีศึกษา. 2558, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. : กรุงเทพมหานคร.
2. บุญญารัตน์ แสงปิยะ, การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในโรงงานควบคุม. 2553, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพมหานคร.
3. ไชยะ แช่มช้อย, การใช้เทคนิค *SPC* กับงานการจัดการพลังงาน. พิมพ์ครั้งที่ 1 ed. 2554, กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
4. Montgomery, C.D., *Introduction to Statistical Quality Control*. Sixth Edition ed. 2009, Jefferson City: R. Donnelley
5. Stephan, F.D., *Statistics for Managers Using Microsoft® Excel*. 8 th Edition ed. 2017, London: Ltd, Saffron House, 6–10 Kirby Street.
6. เป็นธิดา มณีโชติ, จันทนา จันทโร, and ไชยะ แช่มช้อย, การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม : *TSIC 33, 36, 37* และ *38.* วารสารวิจัยพลังงาน, 2554. **2554/2** p. 13 – 14.
7. พัชรมาศ นุ่มดี, จันทนา จันทโร, and ไชยะ แช่มช้อย, การศึกษาประสิทธิภาพและตรวจติดตามการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม. วารสารวิจัยพลังงาน, 2554. **2554/2** p. 2 – 7.
8. เบญจวรรณ นิรมิตวสุ, จันทนา จันทโร, and ไชยะ แช่มช้อย, การประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติเพื่อการตรวจติดตามผลการอนุรักษ์พลังงาน. วารสารวิจัยพลังงาน, 2554. **2554/2** p. 36 – 37.
9. Rasheva, V., et al., *ENERGY EFFICIENCY AUDIT OF A COMPANY PRODUCING FAIENCE AND FLOOR TILES AND SANITARY PRODUCTS*. 2016, University of Food Technologies: United States of America.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวญาณพิมพ์พา จำเนียรเจริญสุข
วัน เดือน ปี เกิด	8 เมษายน 2536
สถานที่เกิด	จังหวัดสระบุรี
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต อาชีวอนามัยและความปลอดภัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	63/1 หมู่ 1 ตำบลมิตรภาพ อำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี
ผลงานตีพิมพ์	“การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในโรงงานผลิตกระเบื้องปูพื้นคอนกรีตด้วยเทคนิคการควบคุมกระบวนการทางสถิติ”

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY