การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับโรงงานระเหยน้ำกากส่า

น.ส.สิริรัตน์ เนติพัติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Energy Efficiency Improvement for Vinasse Evaporation Plant

Miss Sirirat Netiphat

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	การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับโรงงานระเหยน้ำกากส่า
โดย	น.ส.สิริรัตน์ เนติพัติ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับสารนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบสารนิพนธ์

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

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

---------- กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สิริรัตน์ เนติพัติ : การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับโรงงานระเหยน้ำกากส่า. (Energy Efficiency Improvement for Vinasse Evaporation Plant) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในโรงงานระเหยน้ำกากส่า โดยใช้ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) และเครื่องมือทางสถิติ ได้แก่ แผนภูมิการกระจาย, การวิเคราะห์การถดถอย และการสร้างกราฟผลต่างของค่าจริงกับค่าอ้างอิงหรือค่าฐาน (Difference, DIFF) และค่าผลรวมสะสมของผลต่าง (Cumulative Summation of Difference, CUSUM) ในการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานที่ผ่านมา เพื่อใช้กำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่อไป ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิตในช่วงปี 2560-2561 พบว่าปี 2561 มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำกว่าปี 2560 เนื่องจากมีค่า SEC ที่สูงกว่า โดยปี 2560 มีค่า SEC เท่ากับ 250.37 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ลูกบาศก์เมตร ส่วนปี 2561 มีค่า SEC เท่ากับ 269.04 กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ลูกบาศก์เมตร และการใช้กราฟ CUSUM พบว่าปี 2560 มีศักยภาพในการประหยัดพลังงานร้อยละ 21.82-31.14 ในขณะที่ปี 2561 มีศักยภาพในการประหยัดพลังงานสูงถึงร้อยละ 68.86-78.17 เป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจึงประเมินจากศักยภาพของการประหยัดพลังงานรวมปี 2560-2561 มีร้อยละผลประหยัดเฉลี่ย 8.64 โดยมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่เลือกมานำเสนอได้แก่ มาตรการลดความเร็วรอบของปั๊ม Effect 1-4, Finisher A และ B และพัดลม MVR 1 และ MVR 2 ด้วย VSD และมาตรการลดขนาดปั๊มน้ำหอหล่อเย็น (Cooling Tower Pump) A และ B

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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

6187555120 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT
KEYWORD: Energy Efficiency, Energy Conservation, Energy Saving Potential, Specific Energy Consumption, CUSUM

Sirirat Netiphat : Energy Efficiency Improvement for Vinasse Evaporation Plant. Advisor: Assoc. Prof. SOMPONG PUTIVISUTISAK, Ph.D.

The objective of this research is to analyze the energy efficiency of a vinasse evaporation plant by using SEC and the statistical process control tools such as Scatter Diagram, Regression Analysis and DIFF & CUSUM. From the past data, it is found that the energy efficiency of year 2017 is better than that of year 2018 due to the lower SEC of 250.37 kWh/m^3 comparing with that of 269.04 kWh/m^3 in 2018. In addition, from CUSUM plot, it can be seen that the energy saving potential in 2017 is in the range 21.82-31.14%, while the value in 2018 is 68.86-78.17%. The energy driving plans are evaluated from the potential of energy saving score of year 2017-2018 which is 8.64% average. Some proposed measures to achieve the energy saving target include using the VSD to reduce the pumping speed effect 1-4, finisher A and B and the MVR 1 fan and MVR 2 fan and reducing the size of the cooling tower pump A and B.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

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

กิตติกรรมประกาศ

สารนิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษารองศาสตราจารย์ ดร.สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์ ที่มีความกรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำแนวทางการทำวิจัยเป็นอย่างดี และขอขอบพระคุณ ท่านคณะอาจารย์และเจ้าหน้าที่ประจำหลักสูตรเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้แนวคิด องค์ความรู้ต่างๆ และอำนวยความสะดวก ในการเรียนการสอนหลักสูตรที่ผู้วิจัยได้ศึกษาอยู่

ขอขอบพระคุณ คุณปราโมทย์ สมชัยยานนท์ กรรมการผู้จัดการ คุณปรีชา ด้วงเขียว ผู้ช่วยกรรมการผู้จัดการฝ่ายปฏิบัติการ คุณเมธาวี ธรรมรักษ์ หัวหน้าแผนกระบบ Evaporation และเพื่อนพนักงานทุกท่าน ซึ่งสละเวลาให้คำปรึกษาและให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลที่จำเป็น มาใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ นอกจากนี้ขอขอบคุณ คุณญาณพิมพ์พา จำเนียรเจริญสุข คุณกิตติคุณ สินอุปการ และคุณสุกฤตา แก้วกลม พร้อมด้วยเพื่อนในสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ที่คอยให้คำปรึกษาในการจัดทำรูปเล่มสารนิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิตฉบับนี้

ท้ายที่สุดนี้ขอขอบคุณสมาชิกในครอบครัวทุกคน ที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุนและส่งเสริมด้านการศึกษาแก่ผู้วิจัยมาด้วยดีเสมอมา

สิริรัตน์ เนติพัติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ง
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญรูปภาพ ..... ญ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา 2
1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 ความหมายน้ำกากส่าและการนำไปใช้ประโยชน์ 4
2.2 ประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency) 5
2.3 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption) หรือ SEC 5
2.4 การจัดการด้านพลังงาน 7
2.4.1 ขั้นตอนการจัดการพลังงาน 7
2.4.2 เทคนิคด้านการจัดการพลังงาน 11
2.5 การกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน 16
2.6 การประยุกต์ใช้งานระบบการจัดการพลังงาน 17

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง....18
2.7.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านเครื่องมือทางสถิติ....18
2.7.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านการจัดการพลังงาน....20
บทที่ 3 ข้อมูล กระบวนการผลิต และข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่าง....21
3.1 ข้อมูลของโรงงานตัวอย่าง....21
3.2 กระบวนการผลิตสุราและกระบวนการระเหยน้ำกากส่า....22
3.3 ข้อมูลด้านพลังงานของโรงงานตัวอย่าง....24
บทที่ 4 การวิเคราะห์และตีความข้อมูลด้านพลังงาน....27
4.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน จากค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC)....27
4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลด้านพลังงาน....29
4.3 การตีความข้อมูลด้านพลังงาน....39
4.4 มาตรการลดความเร็วรอบของปั๊ม Effect 1-4, Finisher A และ B และพัดลม MVR 1 และ MVR 2 ด้วย VSD....43
4.5 มาตรการลดขนาดปั๊มน้ำหอหล่อเย็น Cooling Tower A และ B....53
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ....56
5.1 สรุปผลการศึกษา....56
5.2 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ....56
บรรณานุกรม....57
ภาคผนวก ก....60
ภาคผนวก ข....65
ประวัติผู้เขียน....71

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้พลังงานในช่วง 24 เดือน ของโรงงานตัวอย่าง 24

ตารางที่ 2 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแยกตามระบบ 25

ตารางที่ 3 สัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนแยกตามระบบ 26

ตารางที่ 4 ข้อมูลค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ปี 2560-2561 28

ตารางที่ 5 ข้อมูลปริมาณผลผลิต และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในรอบ 24 เดือนต่อเนื่อง (ปี 2560-2561) 30

ตารางที่ 6 การเรียงลำดับค่า DIFF จากต่ำสุดไปสูงสุด 35

ตารางที่ 7 ข้อมูลสมการเส้นฐาน 37

ตารางที่ 8 สรุปผลปริมาณพลังงานที่มีศักยภาพที่จะประหยัดได้ 40

ตารางที่ 9 การประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องจักรและอุปกรณ์หลักที่ใช้ในระบบระเหยน้ำกากส่า 42

ตารางที่ 10 ขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานเฉลี่ยต่อปี ของปั๊ม Effect 1-4 และ Finisher A และ B 45

ตารางที่ 11 รายการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการลดความเร็วรอบของปั๊ม Effect 1 ด้วย VSD 46

ตารางที่ 12 รายการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการลดความเร็วรอบของปั๊ม Effect 2 ด้วย VSD 46

ตารางที่ 13 รายการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการลดความเร็วรอบของปั๊ม Effect 3 ด้วย VSD 47

ตารางที่ 14 รายการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการลดความเร็วรอบของปั๊ม Effect 4 ด้วย VSD 47

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 15 รายการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการลดความเร็วรอบของปั๊ม Finisher A ด้วย VSD....48

ตารางที่ 16 รายการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการลดความเร็วรอบของปั๊ม Finisher B ด้วย VSD....48

ตารางที่ 17 การคำนวณหาผลประหยัดและระยะเวลาคืนทุน....49

ตารางที่ 18 ผลการดำเนินมาตรการที่เกิดขึ้นจริง....50

ตารางที่ 19 ขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานเฉลี่ยต่อปี ของพัดลม MVR 1 และ MVR 2..51

ตารางที่ 20 รายการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการลดความเร็วรอบของพัดลม MVR 1 ด้วย VSD....52

ตารางที่ 21 รายการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการลดความเร็วรอบของพัดลม MVR 2 ด้วย VSD....53

ตารางที่ 22 ขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานเฉลี่ยต่อปี ของปั๊มน้ำ Cooling Tower A และ B....54

ตารางที่ 23 รายการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการลดขนาดปั๊มน้ำ Cooling Tower A....55

ตารางที่ 24 รายการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการลดขนาดปั๊มน้ำ Cooling Tower B....55

ตารางที่ ก. 1 การวิเคราะห์ผลต่าง และผลต่างสะสม....61

ตารางที่ ก. 2 ข้อมูลการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลอ้างอิง 6 เดือน....62

ตารางที่ ก. 3 ข้อมูลการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลอ้างอิง 9 เดือน....63

ตารางที่ ก. 4 ข้อมูลการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลอ้างอิง 12 เดือน....64

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1 ขั้นตอนการจัดการพลังงาน 7
รูปที่ 2 Energy Management Matrix (EMM) 9
รูปที่ 3 แผนภาพการกระจายแสดงรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปร X และ Y 12
รูปที่ 4 พลังงานผันแปรและพลังงานคงที่ตามสมการ Y = mX + c 14
รูปที่ 5 ตัวอย่างกราฟ DIFF และ CUSUM ของข้อมูล 24 เดือน 16
รูปที่ 6 กระบวนการผลิตสุราและการระเหยน้ำกากส่า 22
รูปที่ 7 กระบวนการระเหยน้ำกากส่า 23
รูปที่ 8 สัดส่วนการใช้พลังงานระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนในช่วง 24 เดือน 25
รูปที่ 9 สัดส่วนการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่าง 26
รูปที่ 10 แผนภาพเปรียบเทียบข้อมูลค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) รายปี 28
รูปที่ 11 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าและปริมาณการผลิต 31
รูปที่ 12 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณการผลิตและสมการความสัมพันธ์ 32
รูปที่ 13 แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมของข้อมูลในช่วงเวลาต่อเนื่องกัน 24 เดือน 33
รูปที่ 14 การวิเคราะห์หาสมการเส้นฐานของข้อมูลอ้างอิง 6 เดือน 36
รูปที่ 15 การวิเคราะห์หาสมการเส้นฐานของข้อมูลอ้างอิง 9 เดือน 36
รูปที่ 16 การวิเคราะห์หาสมการเส้นฐานของข้อมูลอ้างอิง 12 เดือน 37
รูปที่ 17 กราฟ DIFF และ CUSUM เมื่อใช้ข้อมูลอ้างอิง 6 เดือน 38
รูปที่ 18 กราฟ DIFF และ CUSUM เมื่อใช้ข้อมูลอ้างอิง 9 เดือน 38
รูปที่ 19 กราฟ DIFF และ CUSUM เมื่อใช้ข้อมูลอ้างอิง 12 เดือน 39

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 20 กราฟ CUSUM แบบเปรียบเทียบผลจากการใช้ข้อมูลอ้างอิง 6 เดือน 9 เดือน และ 12 เดือน 39
รูปที่ 21 สัดส่วนการประหยัดพลังงานในแต่ละคาบเวลา 6 เดือน.....40
รูปที่ 22 ปั๊ม Effect 1-4 และ Finisher A และ B 44
รูปที่ 23 รูปก่อนดำเนินการปรับปรุง (ก่อนติดตั้ง VSD) 49
รูปที่ 24 รูปหลังดำเนินการปรับปรุง (หลังติดตั้ง VSD) 50
รูปที่ 25 พัดลม MVR 1 และ MVR 2.....51
รูปที่ 26 ปั๊มน้ำ Cooling Tower A และ B 53

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมยังคงเป็นภาคธุรกิจที่มีการใช้พลังงานในสัดส่วนที่สูงกว่าสาขาอื่นๆ เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนาที่อยู่ในช่วงการขยายตัวทางเศรษฐกิจมาอย่างต่อเนื่อง ภาครัฐได้เล็งเห็นประโยชน์ของการจัดการพลังงาน ให้องค์กรมีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเป็นรูปธรรมและเป็นไปอย่างต่อเนื่อง จึงมีนโยบายให้โรงงานควบคุมและอาคารควบคุมดำเนินการจัดการพลังงานขึ้นภายในองค์กร ตาม พรบ.การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 (แก้ไขเพิ่มเติม พ.ศ. 2550)

โรงงานระเหยน้ำกากส่าจัดเป็นโรงงานควบคุมที่ต้องดำเนินการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยการรวบรวมข้อมูลการผลิตและการใช้พลังงานจากทุกแผนกที่เกี่ยวข้อง มาจัดทำรายงานการจัดการพลังงาน ส่งให้กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ภายในเดือนมีนาคมของทุกปี ทั้งนี้ในการตรวจสอบและวิเคราะห์ข้อมูลจากรายงานที่ผ่านมาพบว่าข้อมูลการใช้พลังงานและข้อมูลปริมาณผลผลิตถูกเก็บรวบรวมเป็นสถิติ และนำมาใช้ในการคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานเท่านั้น โดยสามารถเปรียบเทียบให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่ผ่านมา แต่ยังไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์หรือสัดส่วนการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลใดๆ ได้ ไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นได้

หากนำเครื่องมือทางสถิติอื่นๆ มาใช้ เช่น แผนภูมิการกระจาย (Scatter Diagram), การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) และการสร้างกราฟผลต่างของค่าจริงกับค่าอ้างอิงหรือค่าฐาน (Difference, DIFF) และค่าผลรวมสะสมของผลต่าง (Cumulative Summation of Difference, CUSUM) โดยเฉพาะ CUSUM ที่มีความสามารถในการตรวจจับการเปลี่ยนแปลง แม้มีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้พลังงานเพียงเล็กน้อย และสามารถบอกถึงปริมาณพลังงานที่ประหยัดหรือสูญเสียได้

งานวิจัยนี้ได้นำเอา CUSUM chart ซึ่งเป็นเทคนิคด้าน SPC (Statistical Process Control) มาประยุกต์ใช้ในการตรวจติดตามการใช้พลังงาน โดยอาศัยข้อมูลการใช้พลังงานจริงของโรงงาน ซึ่งผู้รับผิดชอบทางด้านพลังงานในโรงงานสามารถนำไปใช้ตรวจติดตามการใช้พลังงาน และประเมินศักยภาพของการประหยัดพลังงาน เพื่อใช้กำหนดเป้าหมายและดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน จากค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ของโรงงานระเหยน้ำกากส่า และนำเครื่องมือทางสถิติอื่นๆ มาใช้สร้างข้อมูลอ้างอิงการใช้พลังงาน
2. กำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ของโรงงานระเหยน้ำกากส่า

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. การศึกษาครั้งนี้ มุ่งศึกษาเฉพาะโรงงานระเหยน้ำกากส่าจำนวน 1 โรงงาน (ตั้งอยู่ในจังหวัดปทุมธานี)
2. ประเภทพลังงานที่นำมาพิจารณา คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการระเหยน้ำกากส่าเท่านั้น
3. ทำการศึกษาและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานระเหยน้ำกากส่ารายเดือน 2 ปีย้อนหลัง (ปี 2560-2561)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4 ระเบียบวิธีการศึกษา

1. ค้นหาและวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นด้านพลังงาน ในกระบวนการระเหยน้ำกากส่า
2. กำหนดวัตถุประสงค์และขอบเขต
3. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง
4. รวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานระเหยน้ำกากส่า
5. วิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน จากค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC)
6. ใช้เครื่องมือทางสถิติ เช่น แผนภูมิการกระจาย (Scatter Diagram), การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) และการสร้างกราฟ DIFF และ CUSUM ในการตรวจติดตามและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตต่างๆ

7. นำการวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงาน มากำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

8. สรุปและเสนอข้อเสนอแนะ

9. จัดทำรูปเล่มสารนิพนธ์

10. สอบสารนิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการระเหยน้ำกากส่า

2. มีมาตรการสำหรับการลดใช้พลังงานของโรงงานระเหยน้ำกากส่า

3. การบริหารจัดการด้านพลังงานของโรงงานระเหยน้ำกากส่ามีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

4. สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโรงงานควบคุมประเภทอื่นๆ ได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
งานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายน้ำกากส่าและการนำไปใช้ประโยชน์

น้ำกากส่า (Vinasse หรือ Distillery Slop) คือ น้ำเสียหลักจากกระบวนหมักและกลั่นในการผลิตสุราที่ใช้กากน้ำตาล (Molasses) เป็นวัตถุดิบ มีสีน้ำตาลเข้ม ลักษณะขุ่นข้น จัดเป็นน้ำเสียเข้มข้นที่มีอินทรีย์สารสูง มีสารประกอบไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพรแทสเซียม แต่ไม่สามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ จึงมีการนำน้ำกากส่ากลับมาใช้ประโยชน์ด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้

1. ใช้ทำปุ๋ยหมัก
2. ใช้เลี้ยงจุลินทรีย์เพื่อผลิตเป็นโปรตีนเซลล์เดียว
3. ใช้ลาดถนนลูกรังเพื่อลดฝุ่น (Road Spray)
4. ใช้ในการเลี้ยงปลา (Fish Farming)
5. ใช้ในการเลี้ยงกุ้งเพื่อปรับสภาพน้ำ
6. ใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันเตา สำหรับผลิตไอน้ำ ด้วยระบบบำบัดน้ำกากส่า 2 ระบบที่สำคัญดังนี้

    6.1 ระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ร่วมกับระบบบ่อหมัก ได้ก๊าซชีวภาพ (Biogas) นำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในหม้อไอน้ำ ผลิตไอน้ำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป แต่น้ำเสียที่ออกจากระบบบำบัดแบบไม่ใช้ออกซิเจน ยังคงมีความสกปรกสูงมากจึงต้องบำบัดต่อด้วยระบบบ่อหมัก ซึ่งน้ำเสียในบ่อสุดท้ายยังคงมีสีดำเข้มและมีความสกปรกสูงอยู่ ทำให้ไม่สามารถระบายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ จึงต้องกักเก็บในบ่อบำบัดและนำน้ำเสียบางส่วนไปใช้ในการทำปุ๋ยหมักและนำไปแจกจ่ายให้เกษตรกรใช้เพื่อการเกษตร

    6.2 ระบบระเหยและกำจัดโดยเตาเผา นำน้ำกากส่าจากหอกลั่นมาทำให้ข้นขึ้นโดยการระเหยน้ำออก ได้เชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass) ส่งเข้าเตาเผา เพื่อผลิตไอน้ำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป น้ำที่ระเหยได้สามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตได้อีก และการเผาไหม้น้ำกากส่าในเตาเผาได้ผลพลอยได้เป็นเถ้าลอยและเถ้าหนักที่ก้นเตา ซึ่งเถ้าทั้งสองประเภทสามารถขายเพื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ยในพื้นที่เกษตรกรรมต่อไป (วรรณวิจิตร พนมเชิง, 2555)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2 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 (จิราพร อัตตะสาระ, 2558)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.3 ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption) หรือ SEC

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

พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิต หรือเปรียบเทียบกับโรงงานอื่นในอุตสาหกรรมเดียวกันได้ สามารถเขียนได้ดังสมการ (1)

$$SEC = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{P}} \quad (1)$$

โดยที่ SEC คือ ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ

E คือ ปริมาณพลังงานที่โรงงานใช้ในเดือน

P คือ ปริมาณผลผลิตในช่วงเวลาเดียวกัน

ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. ค่าการใช้พลังงานจำเพาะด้านไฟฟ้า (SECe) มีหน่วยเป็น kWh ต่อหน่วยผลผลิต และหน่วยกลางเป็น MJ ต่อผลการผลิต

2. ค่าการใช้พลังงานจำเพาะด้านความร้อน (SECf) มีหน่วยเป็น MJ ต่อหน่วยการผลิต

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

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ จะมีประโยชน์อย่างมากในการตรวจติดตามและควบคุมการใช้พลังงาน ซึ่งในโรงงานควรจัดทำและวิเคราะห์ค่าดังกล่าวทุกเดือนหรือถี่กว่า เช่น รายสัปดาห์ ค่าที่ได้นี้สามารถนำมาใช้ในการควบคุมและติดตามการใช้พลังงาน ซึ่งยังสามารถสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากอดีตจนถึงปัจจุบันว่ามีการพัฒนาดีขึ้นหรือลดลง ข้อดีที่สำคัญของตัวชี้วัดรูปแบบนี้คือ สามารถชี้วัดในประเด็นที่ต้องการศึกษาโดยเฉพาะได้ นอกจากนี้ตัวชี้วัดดังกล่าวยังสามารถสื่อให้เห็นถึงแนวโน้มของประสิทธิภาพพลังงานของโรงงาน สามารถนำไปใช้ในการวางแผนการใช้พลังงานหรือจัดทำนโยบายระยะยาวได้

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่า SEC ในแต่ละเดือนก็คือปริมาณผลผลิต แม้ในบางช่วงของการผลิตจะได้ปริมาณการผลิตที่ใกล้เคียงกัน แต่ค่า SEC มีค่าที่แตกต่างกันเนื่องจากมีอิทธิพลของปัจจัยอื่นๆ เช่น

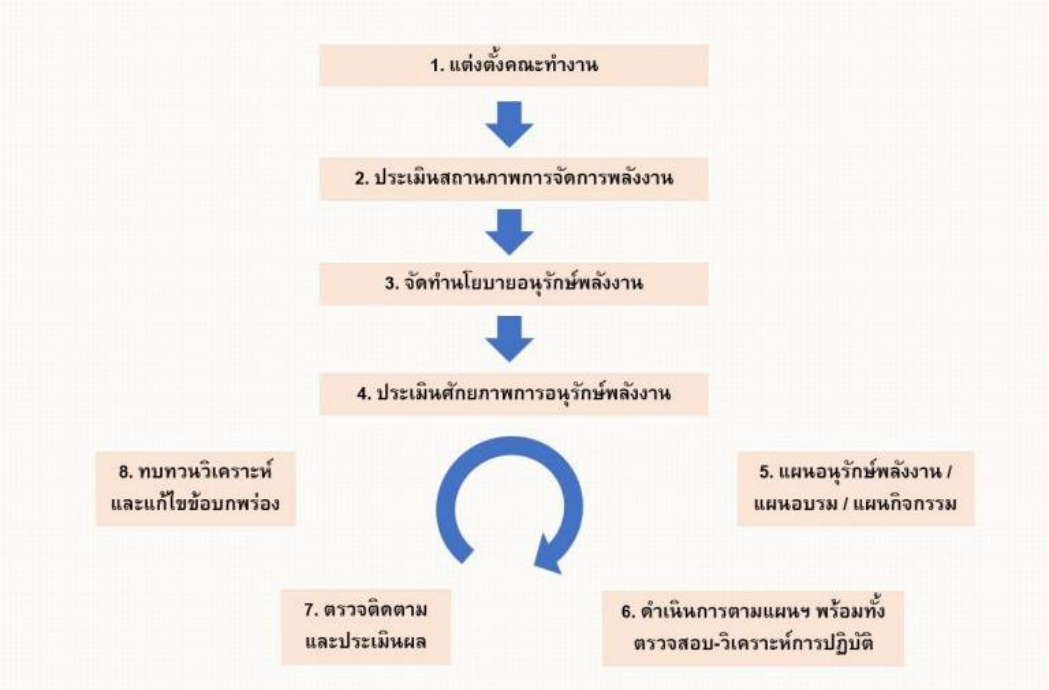
ลักษณะของชิ้นงานที่แตกต่างกัน ประเภทของวัตถุดิบ ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น หรือจำนวนวันหยุดมาก ฯลฯ หากควบคุมปัจจัยเหล่านี้ก็จะทำให้ค่า SEC อยู่ในระดับที่ดีขึ้น (จิราพร อัตตะสาระ, 2558)

2.4 การจัดการด้านพลังงาน

2.4.1 ขั้นตอนการจัดการพลังงาน

นับตั้งแต่พระราชบัญญัติการส่งเสริมอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 มีผลบังคับใช้เมื่อวันที่ 3 เมษายน 2535 เป็นต้นมา กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ได้เล็งเห็นความสำคัญของการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน และเพื่อให้เหมาะสมกับสภาวการณ์ที่เปลี่ยนแปลงไป จึงได้มีการแก้ไขเพิ่มเติมพระราชบัญญัติการส่งเสริมอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 ซึ่งมีผลบังคับใช้วันที่ 1 มิถุนายน 2551 กำหนดให้โรงงาน/อาคารควบคุมต้องจัดทำรายงานการจัดการพลังงานเสนอต่อกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานทดแทน (พพ.) กระทรวงพลังงานทุกปี โดยกำหนดส่งรายงานการจัดการพลังงาน ภายในเดือนมีนาคมของทุกปี (พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550, 2550)

กฎกระทรวงกำหนดมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการจัดการพลังงานในโรงงานและอาคารควบคุม พ.ศ.2551 ไว้ 8 ขั้นตอน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการจัดการพลังงาน

ขั้นตอนที่ 1 : แต่งตั้งคณะทำงาน

เจ้าของอาคาร/โรงงานควบคุม จะต้องดำเนินการแต่งตั้งคณะทำงานด้านการจัดการพลังงาน ประกอบด้วยประธานคณะทำงาน เลขานุการ และสมาชิก พร้อมทั้งกำหนดอำนาจหน้าที่ความรับผิดชอบของคณะทำงานอย่างน้อยดังต่อไปนี้

1. ดำเนินการจัดการพลังงานให้สอดคล้องกับนโยบายอนุรักษ์พลังงาน
2. ประสานงานกับหน่วยงานอื่นในการจัดการพลังงาน รวมทั้งจัดฝึกอบรมอนุรักษ์พลังงานและจัดกิจกรรมพลังงานเพื่อสร้างจิตสำนึกอนุรักษ์พลังงานของบุคลากร
3. ควบคุมให้การจัดการพลังงานเป็นไปตามนโยบาย
4. รายงานผลการอนุรักษ์พลังงาน และการจัดการพลังงาน ให้เจ้าของอาคาร/โรงงานควบคุมทราบ เสนอแนะ ทบทวน ระบบการจัดการพลังงาน ให้เจ้าของอาคาร/โรงงานควบคุมพิจารณา
5. สนับสนุนเจ้าของอาคาร/โรงงานควบคุม ในการจัดการพลังงาน

เมื่อเสร็จสิ้นการแต่งตั้งคณะทำงานฯ ให้ประกาศคำสั่งดังกล่าวให้พนักงานทุกคนรับทราบอย่างทั่วถึง

ขั้นตอนที่ 2 : การประเมินสถานการณ์การจัดการพลังงาน

ตามกฎหมายกำหนดให้เจ้าของอาคาร/โรงงานควบคุม ที่เริ่มนำระบบการจัดการพลังงานมาใช้เป็นครั้งแรก ให้ทำการประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้น โดยใช้ Energy Management Matrix (EMM) ดังรูปที่ 2 ซึ่งจะประเมิน 6 ด้านด้วยกัน ได้แก่

1. นโยบายพลังงาน
2. การจัดองค์กร
3. การกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ
4. ระบบข้อมูลข่าวสาร
5. การประชาสัมพันธ์
6. การลงทุน

ข้อมูลที่ได้รับจากการประเมินจะบอกถึงจุดอ่อน/จุดแข็งของการจัดการพลังงานที่ผ่านมา (สำหรับอาคาร/โรงงานควบคุมที่ผ่านการจัดการพลังงานมาแล้ว) และยังใช้เป็นแนวทางในการกำหนดนโยบายอนุรักษ์พลังงาน(สำหรับอาคาร/โรงงานควบคุมที่จะดำเนินการจัดการพลังงานเป็นครั้งแรก)

ระดับ	1. นโยบายการจัดการพลังงาน	2. การจัดองค์กร	3.การกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ	4. ระบบข้อมูลข่าวสาร	5. ประชาสัมพันธ์	6. การลงทุน
4	1.1มีนโยบายการจัดการพลังงานจากฝ่ายบริหารและถือเป็นส่วนหนึ่งของนโยบายของบริษัท	2.1 มีการจัดองค์กรและเป็นโครงสร้างส่วนหนึ่งของฝ่ายบริหาร กำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบไว้ชัดเจน	3.1 มีการประสานงานระหว่างผู้รับผิดชอบด้านพลังงานและทีมงานทุกระดับอย่างสม่ำเสมอ	4.1 กำหนดเป้าหมายที่ครอบคลุม ติดตามผล หาข้อผิดพลาด ประเมินผลและควบคุมการใช้งบประมาณ	5.1 ประชาสัมพันธ์คุณค่าของการประหยัดพลังงานและผลการดำเนินงานของการประหยัดพลังงาน	6.1 จัดสรรงบประมาณโดยพิจารณาถึงความสำคัญของโครงการ
3	1.2 มีนโยบาย และมีการสนับสนุนเป็นครั้งคราวจากฝ่ายบริหาร	2.2 ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานรายงานโดยตรงต่อคณะกรรมการด้านการจัดการพลังงานซึ่งประกอบด้วยหัวหน้าฝ่ายต่างๆ	3.2 คณะกรรมการจัดการพลังงานเป็นช่องทางหลักในการดำเนินงาน	4.2 แจ้งผลการใช้พลังงานจากมิเตอร์ย่อยให้แต่ละฝ่ายทราบ แต่ไม่มีการแจ้งถึงผลการประหยัดที่เกิดขึ้น	5.2 ให้พนักงานรับทราบโครงการอนุรักษ์พลังงานและให้มีการประชาสัมพันธ์อย่างสม่ำเสมอ	6.2 ใช้ระยะเวลาคุ้มทุนเป็นหลักในการพิจารณาการลงทุน
2	1.3 ไม่มีการกำหนดนโยบายที่ชัดเจนโดยผู้บริหาร	2.3 มีผู้รับผิดชอบด้านพลังงานรายงานต่อคณะกรรมการเฉพาะกิจแต่สายงานบังคับบัญชาไม่ชัดเจน	3.3 คณะกรรมการเฉพาะกิจเป็นผู้ดำเนินการ	4.3 ทำรายงานติดตามประเมินผลโดยดูจากมิเตอร์ ให้คณะกรรมการเฉพาะกิจเข้ามาเกี่ยวข้องกับการตั้งงบประมาณ	5.3 จัดฝึกอบรมให้พนักงานรับทราบเป็นครั้งคราว	6.3 ลงทุนโดยดูมาตรการที่มีระยะเวลาคุ้มทุนเร็ว
1	1.4 ไม่มีแนวทางปฏิบัติที่ทำไว้เป็นลายลักษณ์อักษร	2.4 ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานมีขอบเขตน้อยที่ความรับผิดชอบจำกัด	3.4 มีการติดต่ออย่างไม่เป็นทางการระหว่างผู้รับผิดชอบด้านพลังงานกับผู้ใช้พลังงาน (พนักงาน)	4.4 มีการสรุปรายงานด้านค่าใช้จ่ายการใช้พลังงานเพื่อใช้กันภายในฝ่ายวิศวกรรม	5.4 แจ้งให้พนักงานทราบอย่างไม่เป็นทางการเพื่อส่งเสริมการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ	6.4 พิจารณาเฉพาะมาตรการที่ลงทุนต่ำ
0	1.5 ไม่มีนโยบายที่ชัดเจน	2.5 ไม่มีผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน	3.5ไม่มีการติดต่อกับผู้ใช้พลังงาน	4.5 ไม่มีระบบรวบรวมข้อมูลและบัญชีการใช้พลังงาน	5.5 ไม่มีการสนับสนุนการประหยัดพลังงาน	6.5 ไม่มีการลงทุนใดๆ ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

รูปที่ 2 Energy Management Matrix (EMM)

ขั้นตอนที่ 3 : จัดทำนโยบายอนุรักษ์พลังงาน

เจ้าของอาคาร/โรงงานควบคุม จะต้องแสดงเจตจำนงและความมุ่งมั่นในการจัดการพลังงาน โดยจัดทำเป็นเอกสารและลงลายมือชื่อ ทั้งนี้การจัดทำนโยบายอนุรักษ์พลังงานควรมีรายละเอียดอย่างน้อยดังต่อไปนี้

1. การอนุรักษ์พลังงานถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการดำเนินงานขององค์กร และผู้บริหารองค์กรต้องให้ความสำคัญในการปฏิบัติการจัดการพลังงาน
2. สนับสนุนให้พนักงานทุกคนมีส่วนร่วมในการอนุรักษ์พลังงาน โดยการปฏิบัติตามแนวทางการจัดการพลังงาน เพื่อมุ่งเน้นการลดการใช้พลังงานและต้นทุนการผลิต
3. กำหนดให้มีการนำเสนอแผนการอนุรักษ์พลังงานจากแผนกงานต่างๆเพื่อร่วมพิจารณาเป็นเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน โดยมีการทบทวนเป้าหมายตามการใช้พลังงานอย่างเหมาะสม
4. มุ่งเน้นปฏิบัติตามแนวทางการจัดการพลังงานของ พ.ร.บ. ส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับปรับปรุง) พ.ศ.2550 เพื่อให้มีการอนุรักษ์พลังงานภายในองค์กรอย่างมีประสิทธิภาพ
5. กำหนดให้มีการทบทวนนโยบายการจัดการพลังงาน เป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานและแผนปฏิบัติงานการอนุรักษ์พลังงานอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง

6. ส่งเสริมให้มีการจัดฝึกอบรมอนุรักษ์พลังงานเพื่อสร้างให้ความรู้ความเข้าใจแก่พนักงานภายในองค์กรเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานและการจัดการพลังงาน เพื่อปลูกฝังจิตสำนึกอนุรักษ์พลังงานและให้แนวทางปฏิบัติเป็นไปในแนวทางเดียวกัน
7. ทำการพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานขององค์กร เพื่อมุ่งไปสู่การใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า

เมื่อเสร็จสิ้นการจัดทำนโยบาย ให้ประชาสัมพันธ์นโยบายดังกล่าวให้พนักงานทุกคนรับทราบอย่างทั่วถึง

ขั้นตอนที่ 4 : การประเมินศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงาน

เจ้าของอาคาร/โรงงานควบคุมจะต้องทำการประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน โดยตรวจสอบและประเมินการใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ การตรวจสอบและประเมิน มี 3 ระดับ ได้แก่

1. ระดับองค์กร
2. การจัดองค์กร
3. การกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ

การประเมินศักยภาพจะทำให้ทราบถึงต้นทุนทางพลังงาน ได้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานระหว่างผลิตภัณฑ์ และยังใช้เป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานอีกด้วย

ขั้นตอนที่ 5 : กำหนดเป้าหมายและแผนการอนุรักษ์พลังงาน

เจ้าของอาคาร/โรงงานควบคุมต้องจัดให้มีการกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานของพลังงานที่ประสงค์จะให้ลดลง โดยกำหนดเป็นร้อยละของปริมาณพลังงานที่ใช้เดิม หรือกำหนดระดับของการใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption, SEC) นอกจากนี้ยังต้องจัดทำแผนการฝึกอบรมอนุรักษ์พลังงาน และแผนกิจกรรมพลังงาน เพื่อให้ความรู้ด้านอนุรักษ์พลังงานและปลูกจิตสำนึกอนุรักษ์พลังงานแก่พนักงาน การจัดทำแผนให้ระบุ ผู้รับผิดชอบ/ระยะเวลาการดำเนินการ/การลงทุน/ผลที่คาดว่าจะได้รับ จากนั้นให้ดำเนินการประชาสัมพันธ์แผนดังกล่าวให้พนักงานทุกระดับรับทราบอย่างทั่วถึง

ขั้นตอนที่ 6 : ดำเนินการตามแผนขั้นตอนที่ 5 พร้อมทั้งตรวจสอบ-วิเคราะห์การปฏิบัติตามเป้าหมายและแผน

เจ้าของอาคาร/โรงงานควบคุมต้องควบคุมดูแลให้มีการดำเนินการตามแผนอนุรักษ์พลังงาน แผนฝึกอบรมอนุรักษ์พลังงาน และแผนกิจกรรมพลังงาน โดยให้คณะทำงานด้านการจัดการพลังงานดำเนินการประชุมติดตามความคืบหน้าอย่างน้อยสามเดือนต่อครั้ง

ขั้นตอนที่ 7 : ตรวจติดตามและประเมินผลโดยคณะผู้ตรวจสอบการจัดการพลังงานภายในองค์กร

เจ้าของอาคาร/โรงงานควบคุมต้องจัดให้มีการตรวจติดตามและประเมินการจัดการพลังงานอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง โดยทีมตรวจประเมินควรมีอย่างน้อย 2 คน ที่มีความเชี่ยวชาญแตกต่างกันและมีอิสระในการดำเนินการ โดยหน้าที่ของคณะผู้ตรวจประเมิน มีดังนี้

1. ตรวจสอบระบบการจัดการพลังงานภายในองค์กร
2. ตรวจสอบองค์กรให้ดำเนินการบรรลุผลตามนโยบายด้านพลังงาน
3. จัดทำสรุปผลการตรวจประเมินภายใน ส่งให้คณะทำงานด้านการจัดการพลังงานและเจ้าขององค์กรการตรวจสอบพิจารณาจาก รายงาน/เอกสาร/การสัมภาษณ์/แบบสอบถาม

เมื่อการตรวจสอบเสร็จสิ้น ให้เผยแพร่ผลการตรวจสอบให้พนักงานทุกคนได้รับทราบอย่างทั่วถึง

ขั้นตอนที่ 8 : ทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องระบบการจัดการพลังงาน

เจ้าของอาคาร/โรงงานควบคุมต้องจัดให้มีการเพื่อทบทวน วิเคราะห์ และแก้ไขข้อบกพร่องของการจัดการพลังงาน อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง การทบทวนจะเริ่มวิเคราะห์การจัดการพลังงานตั้งแต่ขั้นตอนที่ 1-7 เพื่อวิเคราะห์ว่าควรมีการพัฒนา-ปรับปรุง-แก้ไข ในปีต่อไปอย่างไรบ้าง ("ขั้นตอนการจัดการพลังงาน 2551,")

2.4.2 เทคนิคด้านการจัดการพลังงาน

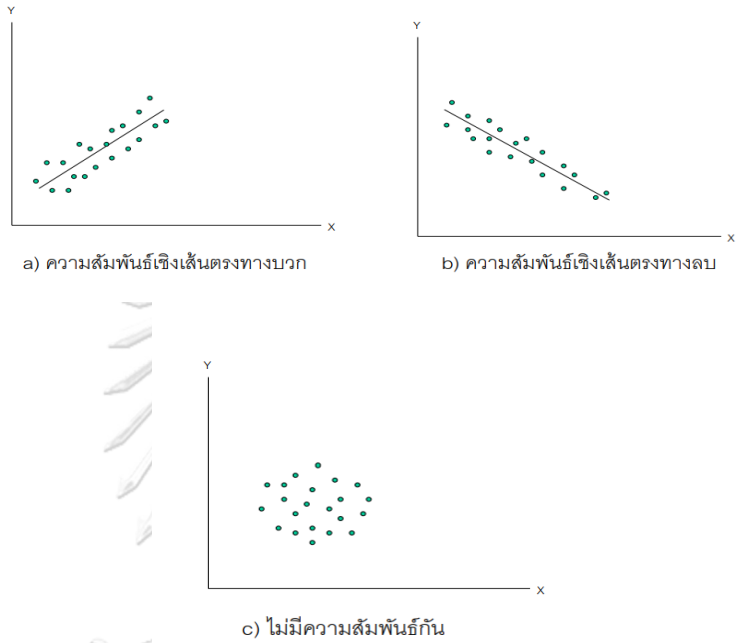
การประยุกต์ใช้เทคนิค SPC (Statistical Process Control) หรือ การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติเป็นเทคนิคที่โรงงานอุตสาหกรรมนำมาประยุกต์ใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตภาคอุตสาหกรรมอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะงานด้านการจัดการพลังงานหรือการอนุรักษ์พลังงานเพื่อใช้ในการตรวจติดตามพฤติกรรมการใช้พลังงาน เพื่อให้สามารถควบคุมการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพสูงอย่างต่อเนื่อง และมีประสิทธิผล (ไชยะ แช่มช้อย, 2554)

เทคนิคดังกล่าวนี้ใช้แนวคิดการเปลี่ยนข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับเรื่องพลังงาน เช่น ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารายเดือน ปริมาณการใช้เชื้อเพลิงชนิดต่างๆ รายเดือน ตลอดจนปริมาณผลผลิตรายเดือน จากข้อมูลเชิงตัวเลขที่อยู่ในรูปแบบตารางข้อมูลต่างๆ ให้เป็นข้อมูลเชิงรูปภาพ เช่น เป็นกราฟในรูปแบบต่างๆ ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการมองเห็นข้อมูลในเชิงเปรียบเทียบ (relative) ได้ง่ายและชัดเจน (รัตนาพร อิทรพาณิชย์, 2560)

เครื่องมือเบื้องต้นด้าน SPC ที่จำเป็นต้องใช้อย่างน้อยต้องประกอบด้วย

1. กราฟการกระจายตัวของข้อมูล (Scatter Diagram)

เป็นกราฟที่ช่วยในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว โดยนำค่าของตัวแปรทั้งสองมาเขียนกราฟ แต่ละจุดในแผนภาพการกระจายคือ ค่า X และ Y เป็นคู่ๆ ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แผนภาพการกระจายแสดงรูปแบบความสัมพันธ์ของตัวแปร X และ Y

ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงหมายถึงค่าของตัวแปร Y มีการเปลี่ยนแปลงเป็นสัดส่วนโดยตรง กับตัวแปร X ส่วนความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้งหมายถึงค่าของตัวแปร Y เปลี่ยนแปลงไม่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับตัวแปร X ความสัมพันธ์ทางบวกหมายถึงค่าของตัวแปร X และ Y มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน โดยเมื่อตัวแปร X มีค่าเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าของตัวแปร Y มีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อตัวแปร X มีค่าลดลงมีผลทำให้ตัวแปร Y มีค่าลดลงด้วย ความสัมพันธ์ทางลบหมายถึงค่าของตัวแปร X และ Y มีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางตรงกันข้ามกัน โดยเมื่อตัวแปร X มีค่าเพิ่มขึ้นมีผลทำให้ค่าของตัวแปร Y มีค่าลดลง และเมื่อตัวแปร X มีค่าลดลงมีผลทำให้ตัวแปร Y มีค่าเพิ่มขึ้น (ศุภนิช เจริญสุข, 2555)

งานวิจัยนี้ใช้กราฟการกระจายตัวของข้อมูล เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการระเหยน้ำกากส่า ใช้สัญลักษณ์ Y และปริมาณผลผลิตในกระบวนการระเหยน้ำกากส่า ใช้สัญลักษณ์ X

2. การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอย (regression analysis) เป็นวิธีการทางสถิติอย่างหนึ่ง ที่ใช้ในการตรวจสอบลักษณะของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป โดยแบ่งเป็นตัวแปรอิสระ (Independent variable) และตัวแปรตาม (Dependent variable) โดยจะต้องมีการกำหนดหรือทราบค่าตัวแปรอิสระล่วงหน้า

งานวิจัยนี้ใช้หลักการถดถอยในการพิจารณาสมการที่เหมาะสมจากข้อมูลการใช้พลังงานและข้อมูลการผลิตในกระบวนการระเหยน้ำกากส่า ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการระเหยน้ำกากส่า ใช้สัญลักษณ์ Y และปริมาณผลผลิตในกระบวนการระเหยน้ำกากส่า ใช้สัญลักษณ์ X

2.1 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Liner Regression Analysis)

รูปแบบการถดถอยเชิงเส้นตรงแบบง่าย เป็นรูปแบบที่ตัวแปรตาม Y มีความสัมพันธ์เชิงสถิติกับตัวแปรอิสระ X เพียงตัวแปรเดียว และลักษณะความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงดังสมการ (2)

$$Y_i = \beta_0 + \beta_i X_i + \varepsilon_i \qquad (2)$$

โดย Y_i เป็นค่าของตัวแปรตามที่ i

X_i เป็นค่าของตัวแปรตามที่ **i**

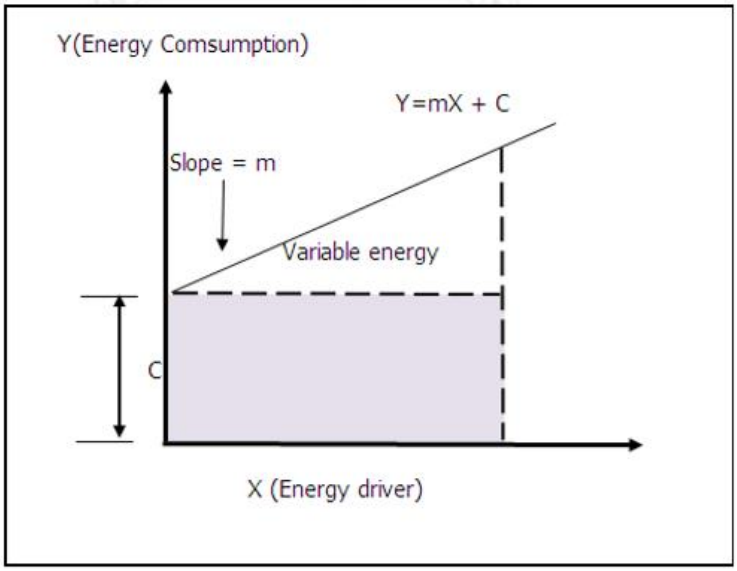
β_0 เป็นจุดที่เส้นการถดถอยตัดแกน Y (Y-intercept)

β_i เป็นอัตราการเพิ่มหรือลดของตัวแปรตาม Y เมื่อค่าของตัวแปรอิสระ X เพิ่มหนึ่งหน่วย

ε_i เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ I สำหรับข้อมูลที่มีการแจกแจงที่อิสระกันแบบปกติ ค่านี้จะมีค่าเฉลี่ยเป็น 0

เมื่อนำข้อมูลของสองตัวแปรมาสร้างกราฟการกระจายของข้อมูลแต่ละจุดเวลา โดยให้แกน X เป็นปริมาณผลผลิต และแกน Y เป็นปริมาณพลังงานที่ใช้ในช่วงเวลาเดียวกัน จากนั้นหาความสัมพันธ์ของทั้งสองตัวแปรในรูปของสมการทางคณิตศาสตร์แบบเชิงเส้นใน

รูป Y = mX+c ดังแสดงในรูปที่ 4 ถ้าหากสมการแม่นยำ (R^2) สูงก็สามารถนำไปใช้เป็นสมการตัวแทนเพื่อหาค่าพลังงานที่ต้องใช้ได้ โดยที่ m คือค่าพลังงานส่วนที่แปรผันตามปริมาณผลผลิต (Variable energy) ซึ่งเกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของเครื่องจักรในกระบวนการผลิต การจัดวางผังการผลิต ขั้นตอนและเวลาที่ใช้ในการผลิต ค่า c พลังงานคงที่ (Fixed energy) หรือค่าพลังงานที่ต้องใช้แม้ว่าจะไม่มีการผลิตเกิดขึ้นก็ตาม ที่ไม่มีผลต่อการผลิต และ R^2 เป็นค่าที่บอกถึงความแม่นยำและน่าเชื่อถือของสมการความสัมพันธ์ในสมการ XY ที่ได้ว่าอยู่ในระดับใด โดยปกติจะมีค่า R^2 ระหว่าง 0 – 1 หากยิ่งมีค่ามาก แสดงว่าข้อมูลด้านการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตมีความสัมพันธ์กัน โดยค่า R^2 ที่ยอมรับได้สำหรับการใช้ประเมินผลเกี่ยวกับการวิเคราะห์พลังงาน คือ ต้องมีมากกว่า 0.7 ขึ้นไป (พัชรมาศ นุ่มดี, 2554)



รูปที่ 4 พลังงานผันแปรและพลังงานคงที่ตามสมการ Y = mX + c

3. กราฟ DIFF และ CUSUM (DIFF and CUSUM Chart)

DIFF ย่อมาจากคำว่า Difference หมายถึง ผลต่างของค่าจริงกับค่าอ้างอิงหรือค่าฐาน เช่น ผลต่างของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริงกับปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ประเมินจากเส้นฐานที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยจากชุดข้อมูลดังกล่าว

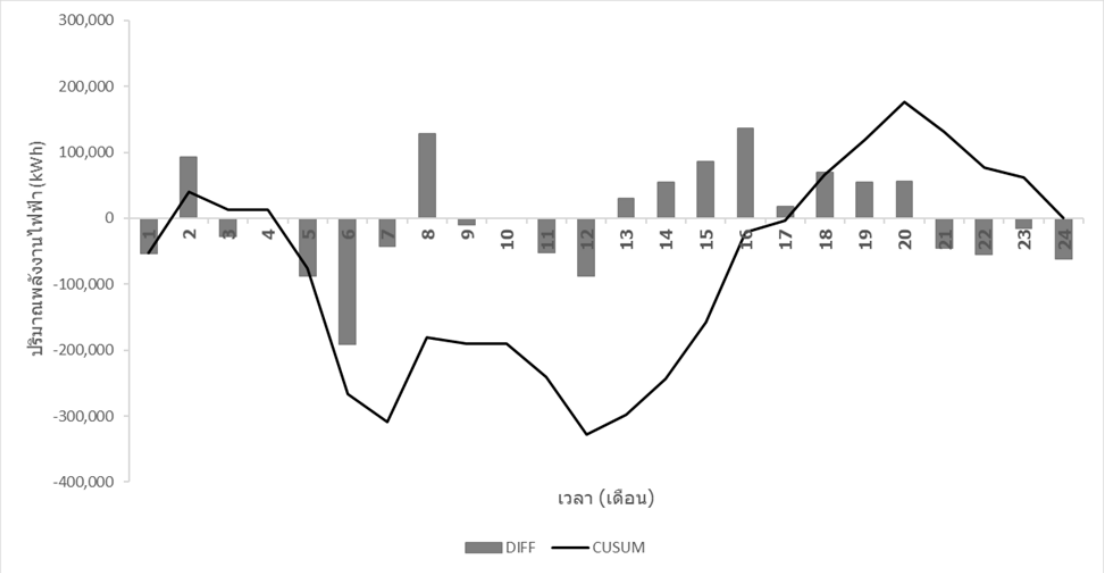
CUSUM ย่อมาจากคำว่า Cumulative Summation of Difference หมายถึง ค่าผลรวมสะสมของผลต่าง (DIFF)

กราฟ DIFF และ CUSUM เป็นกราฟที่แสดงค่าผลต่าง และค่าผลต่างสะสมเชิงอนุกรมเวลา ทำให้เห็นถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลว่าเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใด มีอัตราการเปลี่ยนแปลงมากหรือน้อย และเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องอย่างไร

การสร้างกราฟ DIFF และ CUSUM มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. รวบรวมข้อมูลค่าจริง
2. กำหนดค่าอ้างอิง
3. หาค่า DIFF (หรือ ผลต่าง) จากค่าจริงลบด้วยค่าอ้างอิง
4. หาค่า CUSUM (หรือ ผลต่างสะสม) โดยรวมผลต่างแต่ละค่าแบบสะสม (ไชยะ แช่มช้อย, 2554)

ตัวอย่างกราฟ CUSUM จากโรงงานแห่งหนึ่ง มีลักษณะดังรูปที่ 5 พบว่าพฤติกรรมการใช้พลังงานที่ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานที่สำคัญอยู่ในช่วงเดือน 13-20 ของปี 2561 เนื่องจากใช้พลังงานสูงกว่าค่าอ้างอิง และเส้นกราฟ CUSUM มีความชันเป็นบวก และช่วงที่เกิดการประหยัดพลังงาน อยู่ในช่วงเดือน 5–7 , ช่วงเดือน 11-12 ของปี 2560 และช่วงเดือน 9–12 ของปี 2561 เนื่องจากใช้พลังงานต่ำกว่าค่าอ้างอิง และเส้นกราฟ CUSUM มีความชันเป็นลบ



รูปที่ 5 ตัวอย่างกราฟ DIFF และ CUSUM ของข้อมูล 24 เดือน

2.5 การกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน

เรื่องหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากในการปฏิบัติงานด้านการจัดการพลังงาน คือการกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน แนวปฏิบัติที่นิยมทำกันอาจเป็นแบบกำหนดจากข้างบนลงสู่ข้างล่าง โดยผู้บริหารระดับสูงกำหนดเป้าหมายแล้วให้บุคลากรระดับกลางถึงระดับล่างทำการอนุรักษ์พลังงานตามที่ตั้งเป้าหมายไว้ หรือเป็นแบบกำหนดจากข้างล่างสู่ข้างบน โดยบุคลากรระดับกลางถึงระดับล่างค้นหามาตรการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ แล้วกำหนดเป้าหมาย ไม่ว่าจะเป็นรูปแบบใดก็ตามสิ่งที่มักจะตามมาคือ กำหนดเป้าหมายไว้สูงเกินไป หรือต่ำเกินไป ทำให้มีปัญหาในการนำไปปฏิบัติเพื่อให้เกิดสัมฤทธิ์ผลตามที่คาดหวังไว้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานโดยใช้ข้อมูลเชิงสถิติที่เกี่ยวข้องกับเรื่องพลังงาน เช่น ปริมาณผลผลิต การใช้พลังงานชนิดต่างๆ ทั้งพลังงานไฟฟ้า และเชื้อเพลิง มีขั้นตอนการกำหนดเป้าหมาย 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 คือเดือนที่มีค่า DIFF ติดลบมากๆ จำนวนหนึ่ง 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 (ไชยะ แช่มช้อย, 2554)

2.6 การประยุกต์ใช้งานระบบการจัดการพลังงาน

การตระหนักถึงความสำคัญของการอนุรักษ์พลังงาน และการได้รับคำมั่นจากผู้บริหารระดับสูงถือเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการผลักดันให้การจัดการพลังงานในองค์ประสบผลสำเร็จ

นอกจากนี้ การดำเนินการใดๆ ก็ตามมีความจำเป็นที่ต้องอาศัยข้อมูลข่าวสารเพื่อประกอบการตัดสินใจในการวางแผนกลยุทธ์ และแผนงานปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงาน ดังนั้นการจัดสร้างระบบบริหารจัดการข้อมูลด้านพลังงาน (Energy Management Information System: EMIS) จึงต้องพิจารณาและจัดทำให้แก่ฝ่ายต่างๆ ได้แก่ ฝ่ายบริหาร และฝ่ายปฏิบัติการ เพื่อใช้สำหรับประเมินและวิเคราะห์การตรวจติดตามด้านพลังงานสำหรับพนักงานฝ่ายต่างๆ ในองค์กร โดยใช้การวิเคราะห์โดยคนหรือระบบอัตโนมัติ ตามความเหมาะสมต่อไป (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, 2561)

ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานโดยมีระบบการจัดการพลังงาน มีค่าตั้งแต่ร้อยละ 5-25 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต่อเนื่องของระบบ และศักยภาพของบุคลากรในองค์กร เนื่องจากผลการประหยัดพลังงานจะได้มาจากการบริหารจัดการอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานโดยบุคคลส่วนร่วมจากทุกฝ่าย

ผสมผสานกับการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงโดยใช้เทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงของระบบและอุปกรณ์ (เบญจวรรณ นิรมิตวสุ, 2554)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.7.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านเครื่องมือทางสถิติ

การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในโรงงานควบคุม (จิราพร อัตตะสาระ, 2558) ได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตยางรถยนต์ และพฤติกรรมการใช้พลังงานในแต่ละกระบวนการผลิต โดยใช้สมการเชิงเส้นแบบง่าย การวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ SEC และประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ด้วยกราฟค่าผลรวมสะสมของความแตกต่าง (CUSUM)

พบว่ากระบวนการผสมยางและกระบวนการดันยาง เป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงมากกว่ากระบวนการผลิตอื่นๆ จากการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและวิเคราะห์ข้อมูลในช่วงปี 2556 - 2557 และพบว่าในปี 2557 ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าปี 2556

โดยทั่วไปการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เพื่อนำไปสู่การกำหนดมาตรการการอนุรักษ์พลังงานนั้นมีหลายวิธี แต่การหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) เป็นวิธีที่ได้รับความนิยม โดย (เป็นธิดา มณีโชติ จันทนา จันทโร และไชยะ แช่มช้อย, 2554) ได้ทำการศึกษาหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ SEC ของโรงงานควบคุมตัวอย่าง 4 กลุ่มอุตสาหกรรม ได้แก่

1. อุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือน
2. อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากแร่อโลหะ
3. อุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน
4. อุตสาหกรรมผลิตโลหะเครื่องจักรและและอุปกรณ์

ด้วยการหาสมการถดถอยเชิงเส้นแบบง่าย หรือแบบพหุของการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิต และประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ด้วยกราฟค่าผลรวมสะสมของความแตกต่าง (CUSUM) เพื่ออธิบายพฤติกรรมการใช้พลังงาน

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ คือ โรงงานควบคุมในกลุ่มอุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐานนั้นมีการจัดการพลังงานที่ดี ข้อมูลการใช้พลังงานมีความเสถียร ขณะที่กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตภัณฑ์จากแร่อโลหะ และอุตสาหกรรมการผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์ ยังต้องพัฒนาการจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น เนื่องจากมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายมาก ทำให้พฤติกรรมการใช้พลังงานมีความแตกต่างกันมาก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

นอกจากนี้ยังได้สมการตัวแทนการใช้พลังงานและค่า SEC ของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต ในการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานที่มีการผลิตใกล้เคียงกับกลุ่มอุตสาหกรรมเหล่านี้

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ถือเป็นกลไกที่สำคัญในการจัดการพลังงานของโรงงานควบคุม การนำเสนอข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานโดยทั่วไปมักจะวิเคราะห์ข้อมูลแบบอนุกรมเวลา ไม่สามารถระบุได้ว่าช่วงใดที่มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพดีที่สุดจะส่งผลต่อการกำหนดเป้าหมายในการใช้พลังงานและการอนุรักษ์พลังงานในอนาคตที่อาจไม่มีแนวทางที่ถูกต้องชัดเจน (พัชรมาศ นุ่มดี, 2554) ได้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุมในกลุ่มอุตสาหกรรม 4 กลุ่ม ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม (TSIC 31) อุตสาหกรรมสิ่งทอ (TSIC 32) อุตสาหกรรมกระดาษ (TSIC 34) และ อุตสาหกรรมเคมี (TSIC 35) โดยสร้างสมการเชิงเส้นแบบง่ายแสดงความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตในแต่ละอุตสาหกรรม คำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) และตรวจติดตามการใช้พลังงาน โดยกราฟ CUSUM ซึ่งแสดงให้เห็นช่วงที่มีการใช้พลังงานผิดปกติ ในกระบวนการผลิต

ผลที่ได้รับจากงานวิจัยนี้ คือ ได้สมการตัวแทนการใช้พลังงาน และค่า SEC ของแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรมย่อย ซึ่งค่า SEC นี้จะใช้เป็นค่าอ้างอิงเพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ในกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีลักษณะการผลิตใกล้เคียงกัน นอกจากนี้จากกราฟ CUSUM แสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการใช้พลังงาน ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพต่อไป

และ (เบญจวรรณ นิรมิตวสุ, 2554) ได้ใช้เครื่องมือทางสถิติ คือ แผนภูมิการกระจาย (Scatter Diagram) และแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (CUSUM control chart) ของโรงงานควบคุมตัวอย่างจำนวน 34 โรงงาน เพื่อแสดงให้เห็นถึงผลประหยัดที่เกิดจากมาตการอนุรักษ์พลังงาน และประเมินประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

พบว่ามีโรงงานจำนวน 21 โรงงานที่มีผลประหยัดพลังงาน ซึ่งมีร้อยละผลประหยัดเฉลี่ย 7.52 และมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีความถี่ในการจัดทำมากที่สุด 3 อันดับแรกคือ

1. การกำหนดเวลาเปิด – ปิดที่เหมาะสม
2. การใช้สวิตซ์ควบคุมการปิด – เปิด
3. ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์

2.7.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องด้านการจัดการพลังงาน

การศึกษาการวิเคราะห์การใช้พลังงานของเครื่องจักรกลระบบการระเหยนม ด้วย MVR (Mechanical Vapor Recompression) Technology ที่ Humboldt Creamery Fortuna, California โดย (Pacific Gas and Electric Company, 2008) เป็นการศึกษาผลของอัตราการใช้พลังงานที่ MVR เปรียบเทียบกับการใช้พลังงานจากเทคโนโลยีการระเหยอื่นๆ เช่น ระบบการระเหยแบบ Thermal Vapor Recompression (TVR)

ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการระเหยนมด้วย MVR ใช้พลังงานและต้นทุนการระเหยน้อยกว่าระบบการระเหยแบบ Multiple-Effect Thermal Vapor Recompression (TVR) โดยจากการตรวจตามชั่วโมงการทำงาน 6,000 ชั่วโมง/ปี พบว่าระบบ MVR ใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 1,251,000 kWh/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 150,120 USD/ปี ในขณะที่ระบบ TVR ใช้ก๊าซธรรมชาติประมาณ 1,129,262 therms/ปี คิดเป็นค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสูงถึง 790,484 USD/ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
ข้อมูล กระบวนการผลิต และข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่าง

3.1 ข้อมูลของโรงงานตัวอย่าง

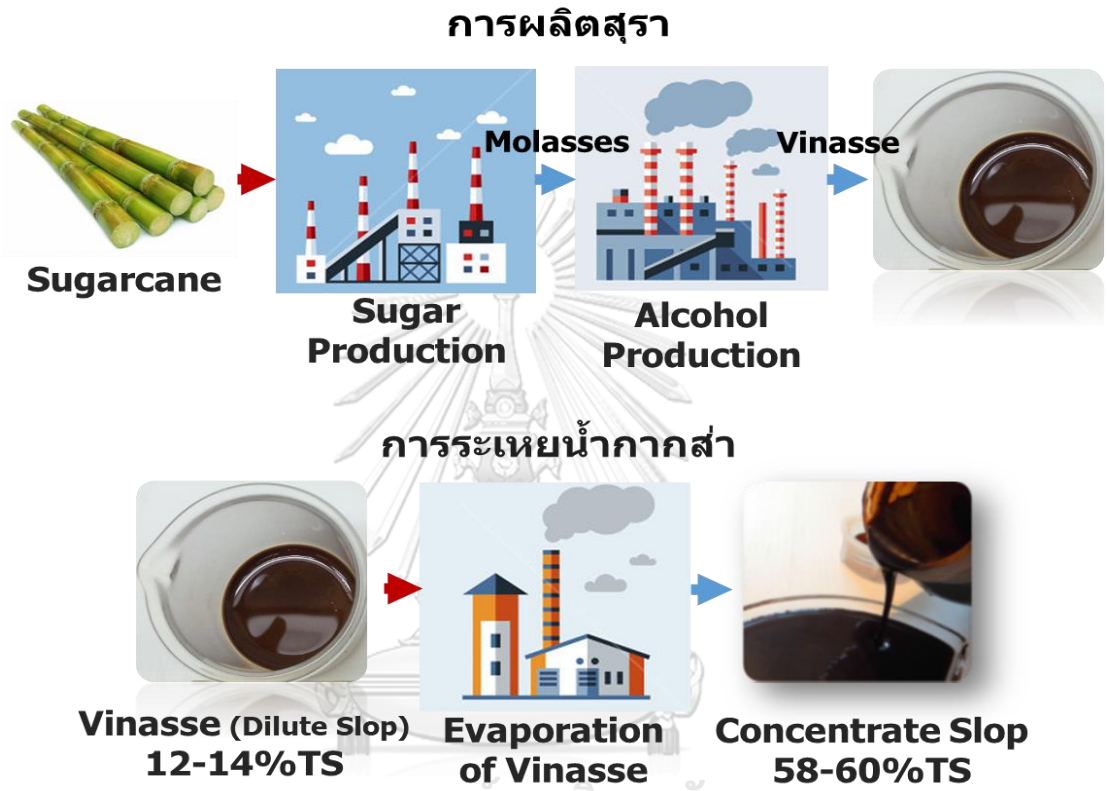
โรงงานตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาในครั้งนี้ คือ บริษัท ไทยเบฟเวอเรจ เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด ซึ่งเป็นบริษัทในเครือ บริษัท ไทยเบฟเวอเรจ จำกัด (มหาชน) จัดตั้งขึ้นเพื่อผลิต และจำหน่ายพลังงานทดแทน ที่ยึดหลักการจัดการของเสียจากกระบวนการผลิตของโรงงานในกลุ่มบริษัทฯ มาสร้างมูลค่าเพิ่ม ซึ่งไม่เพียงเป็นการลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้เป็นอย่างดีเท่านั้น แต่ยังรวมถึงการค้นคว้าวิจัยพัฒนาเทคโนโลยีที่เป็นประโยชน์ต่อส่วนรวมอีกด้วย

ประเภทอุตสาหกรรม	:	ผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล (น้ำกากส่าข้น) จากน้ำกากส่าของโรงงานสุรา
เริ่มดำเนินการผลิต	:	ปี 2554
กำลังการผลิต	:	4,346.18 ลูกบาศก์เมตรต่อเดือน (ข้อมูล ณ ธันวาคม 2562)
จำนวนพนักงาน	:	24 คน ชาย 19 คน หญิง 5 คน (ข้อมูล ณ ธันวาคม 2562)
เวลาทำงาน	:	ส่วนสำนักงาน: จำนวนชั่วโมงทำงาน 8 ชั่วโมง/วัน จำนวนวันทำงาน 300 วัน/ปี รวมจำนวนชั่วโมงทำงาน 2,400 ชั่วโมง/ปี
		ส่วนโรงงาน: จำนวนชั่วโมงทำงาน 24 ชั่วโมง/วัน จำนวนวันทำงาน 300 วัน/ปี รวมจำนวนชั่วโมงทำงาน 7,200 ชั่วโมง/ปี
มาตรฐาน	:	ISO9001:2015

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3.2 กระบวนการผลิตสุราและกระบวนการระเหยน้ำกากส่า

โดยกระบวนการผลิตสุราและการนำน้ำกากส่าเข้ากระบวนระเหยน้ำกากส่าของโรงงานตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 6 ถึงรูปที่ 7



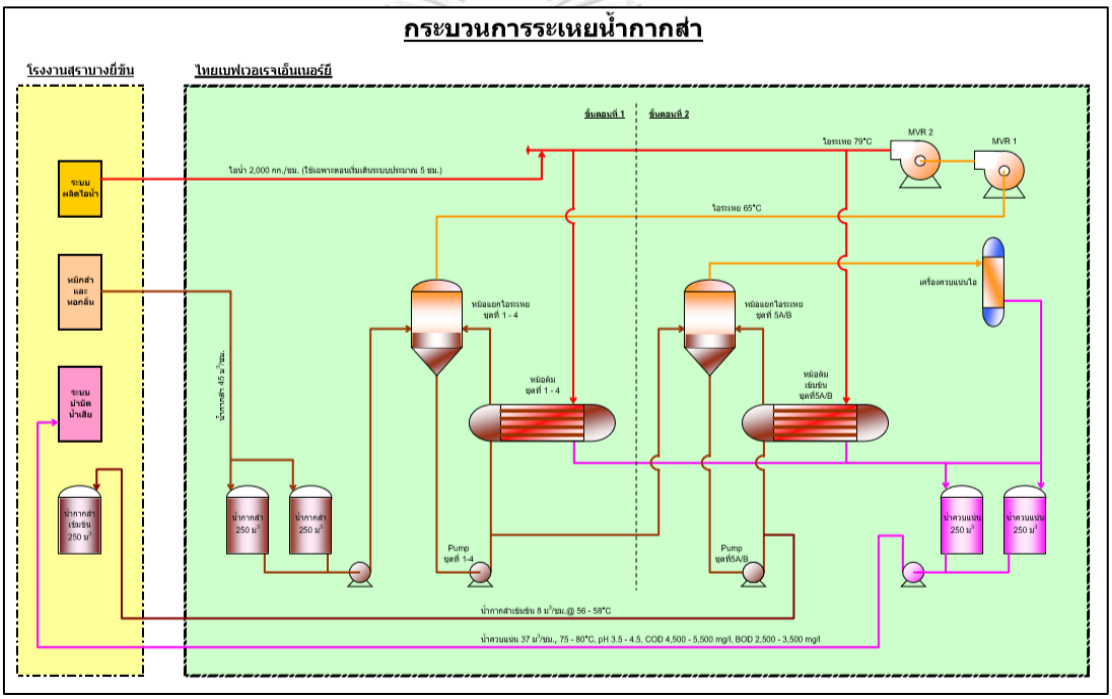
รูปที่ 6 กระบวนการผลิตสุราและการระเหยน้ำกากส่า

กระบวนการผลิตสุราจากกากน้ำตาล

โรงงานน้ำตาลรับอ้อย (Sugarcane) เข้าสู่กระบวนการผลิตน้ำตาล ได้กากน้ำตาล (Molasses) เป็นผลผลิตสุดท้ายหลังจากแยกออกจากผลึกน้ำตาลโดยกลวิธี เช่น แยกด้วยหม้อปั่นในขั้นสุดท้าย ต่อจากนั้นโรงงานสุรารับกากน้ำตาลมาเป็นวัตถุดิบในการหมักและกลั่น ได้เป็นแอลกอฮอล์เพื่อการผลิตสุรา

กระบวนการระเหยน้ำกากส่า

โรงงงานระเหยน้ำกากส่ารับน้ำกากส่า (Vinasse) ซึ่งเป็นน้ำเสียหลักจากกระบวนการผลิตสุราจากกากน้ำตาล มาทำการเคี่ยวระเหยน้ำออกด้วยระบบระเหยแบบ Mechanical Vapor Recompression (MVR) ให้มีความเข้มข้นมากขึ้น จากน้ำกากส่าที่ (Vinasse หรือ Dilute Slop) ที่มีความเข้มข้น 12-14 %Total Solids ได้เป็นน้ำกากส่าเข้มข้น (Concentrate Slop) ที่มีความเข้มข้น 50-60 %Total Solids ส่งเข้าเตาเผา เพื่อผลิตไอน้ำไปใช้กระบวนการผลิตต่อไป



รูปที่ 7 กระบวนการระเหยน้ำกากส่า

คำอธิบายกระบวนการระเหยน้ำกากส่า

1. รับน้ำกากส่าจากหอกลั่นโรงงานสุรามาพักที่ถัง อุณหภูมิ 80-95 °C กรณีที่น้ำกากส่าอุณหภูมิต่ำจะมีการอุ่นความร้อนด้วยไอน้ำ

2. สูบน้ำกากส่าจากถังพักเข้าสู่ถัง VLS (Vapor Liquid Separate) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการเคี่ยวระเหยชุด Effect 1 – 4 และเคี่ยวระเหยชุด Finisher ประกอบด้วยถัง VLS, Recirculation Pump และ Heater
3. ในแต่ละการเคี่ยวระเหยชุด Effect 1 – 4 จะทำการสูบน้ำกากส่าหมุนวนผ่าน Heater และมาลงที่ถัง VLS เพื่อระเหยและแยกไอน้ำขึ้นหัวถัง VLS ภายใต้ความดันสุญญากาศที่ 0.25 bar(a) ไอน้ำดังกล่าวจะไหลรวมกันในท่อ Header และพัดลม MVR 1 จะสูบไอน้ำทั้งหมดผ่านพัดลม MVR 2 อัดตัวจนมีอุณหภูมิจาก 65 °C เป็น 120 °C และทำการปรับอุณหภูมิให้เหมาะสมที่ 79 °C ด้วยน้ำคอนเดนเซต (Desuperheater) จ่ายเข้า Heater เพื่อการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำกากส่าในระบบจนค่าความเข้มข้นของแต่ละ Effect มีค่าตามที่กำหนดไว้ จะส่งถ่ายไป Effect 1 ไป 2, 3 และ 4 ที่ 20, 30, 48, 55 %TS ผ่านเคี่ยวระเหยชุด Finisher เพื่อทำความเข้มข้นให้ได้ที่ 58-60 %TS และส่งไปใช้งานที่แผนกต้นกำลังของโรงงานสุรา ส่วนน้ำ condensate จะไหลรวมมาที่ถังรับและสูบไปยังถังเก็บเพื่อสูบไปบำบัดที่แผนกสิ่งแวดล้อมของโรงงานสุราต่อไป ส่วนไอน้ำจากการระเหยของชุด Finisher จะส่งไปดับไอที่ Condenser และควบแน่นเป็นน้ำคอนเดนเซตไหลรวมมาที่ถังรับ

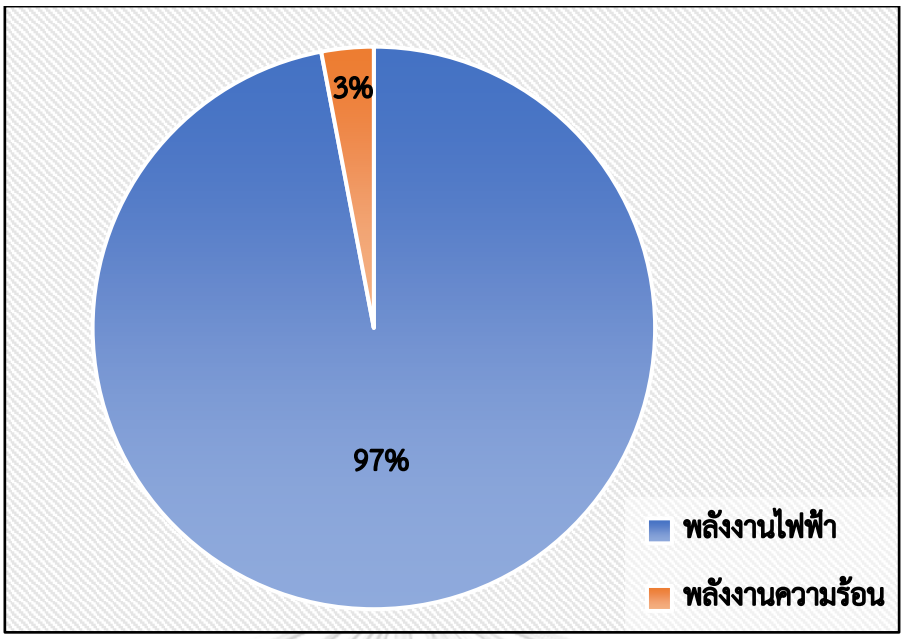
3.3 ข้อมูลด้านพลังงานของโรงงานตัวอย่าง

จากการวิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานของกระบวนการระเหยน้ำกากส่าในโรงงานตัวอย่าง ในช่วง 24 เดือน ตั้งแต่ปี 2560-2561 ได้แก่ พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อน ซึ่งคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 97 และร้อยละ 3 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1 และรูปที่ 8

ตารางที่ 1 ปริมาณการใช้พลังงานในช่วง 24 เดือน ของโรงงานตัวอย่าง

ประเภทพลังงาน	ปริมาณพลังงานในช่วง 24 เดือน	ร้อยละ
พลังงานไฟฟ้า (MJ)*	73,859,616	97
พลังงานความร้อน (MJ)	2,331,462	3
พลังงานรวม (MJ)	**76,191,078**	**100**

*พลังงานไฟฟ้า (MJ) = ปริมาณไฟฟ้า (kWh) x 3.6 (MJ/kWh)



รูปที่ 8 สัดส่วนการใช้พลังงานระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อนในช่วง 24 เดือน

โดยพลังงานไฟฟ้าส่วนใหญ่ถูกใช้ในกระบวนการผลิต และพลังงานความร้อนมาจากการใช้น้ำมันเตาเกรด C ที่ระบบ Heater และ MVR สัดส่วนการใช้พลังงานแยกตามระบบทั้งการใช้พลังงานไฟฟ้า และพลังงานความร้อนในโรงงานตัวอย่าง ดังแสดงในตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ และสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 9

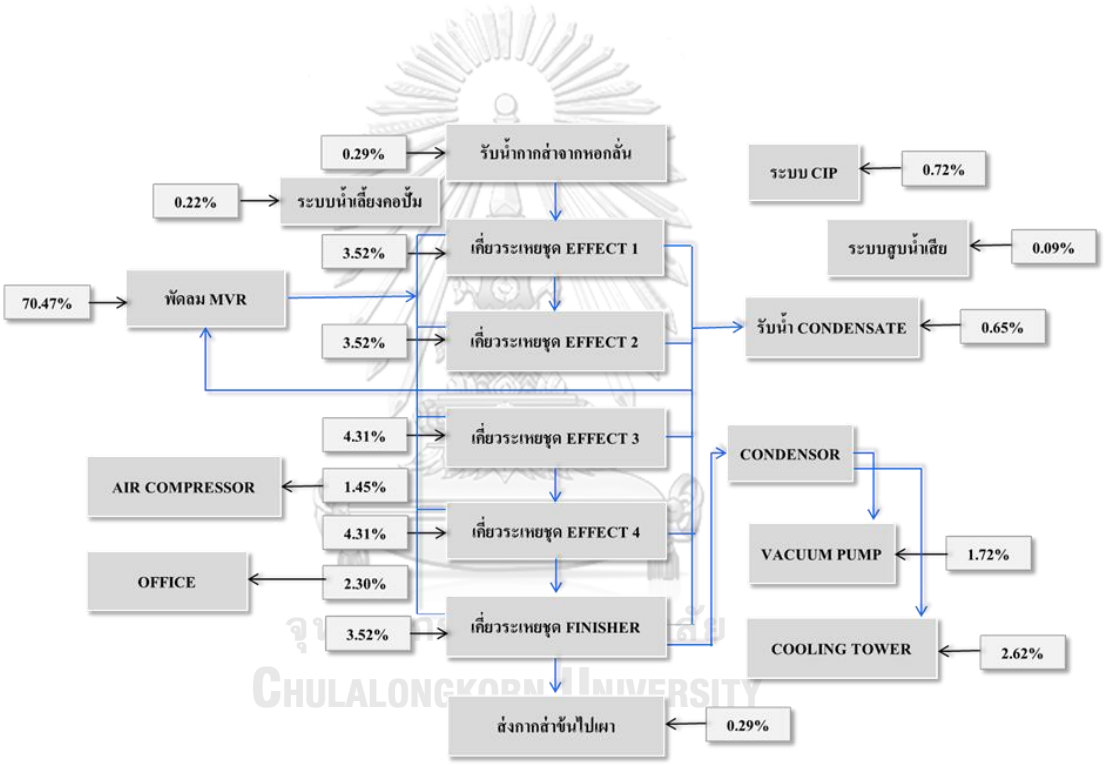
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2 สัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าแยกตามระบบ

ระบบ	ปริมาณพลังงานไฟฟ้าในช่วง 24 เดือน (kWh)	ร้อยละ
แสงสว่าง	74,086	0.36
ปรับอากาศสำนักงาน	750,825	3.66
การผลิต	19,005,456	92.64
อัดอากาศ	264,628	1.29
อื่นๆ	420,535	2.05
รวม	**20,515,530**	**100**

ตารางที่ 3 สัดส่วนการใช้พลังงานความร้อนแยกตามระบบ

ระบบ	ปริมาณพลังงานความร้อนในช่วง 24 เดือน (MJ)	ร้อยละ
Heater	1,541,364	66.11
MVR	790,098	33.89
รวม	**2,331462**	**100**



รูปที่ 9 สัดส่วนการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่าง

(บริษัท ไทยเบฟเวอเรจ เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด สาขาจังหวัดปทุมธานี, 2561)

บทที่ 4
การวิเคราะห์และตีความข้อมูลด้านพลังงาน

4.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน จากค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC)

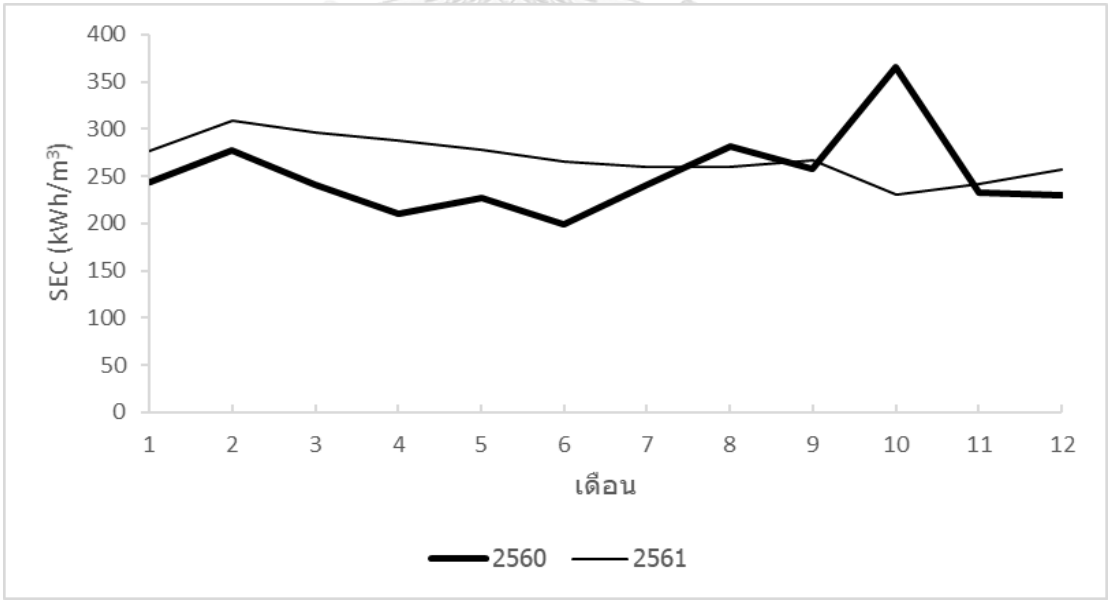
ปัจจุบันโรงงานระเหยน้ำกากส่าแห่งนี้ มีการจัดทำรายงานการจัดการพลังงาน ส่งให้กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ภายในเดือนมีนาคมของทุกปี โดยเป็นการรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานและข้อมูลปริมาณผลผลิตเป็นสถิติ และนำมาใช้ในการคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงาน

สำหรับงานวิจัยนี้ จะพิจารณาเฉพาะพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการระเหยน้ำกากส่าเท่านั้น เนื่องจากข้อมูลด้านพลังงานของโรงงานตัวอย่างในบทที่ 3 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงมากเมื่อเทียบกับสัดส่วนการใช้พลังงานความร้อน โดยสามารถคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ปี 2560-2561 ได้ดังตารางที่ 4 และแผนภาพเปรียบเทียบข้อมูลค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) รายปี ดังรูปที่ 10

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4 ข้อมูลค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) ปี 2560-2561

เดือน (2560)	SEC (kWh/m^3)	เดือน (2561)	SEC (kWh/m^3)
1	243.31	1	276.55
2	276.99	2	308.78
3	240.62	3	295.65
4	210.26	4	287.31
5	226.98	5	278.65
6	198.89	6	265.75
7	240.28	7	259.67
8	281.67	8	259.49
9	257.56	9	267.03
10	365.96	10	230.50
11	232.02	11	241.72
12	229.95	12	257.40



รูปที่ 10 แผนภาพเปรียบเทียบข้อมูลค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) รายปี

จากรูปที่ 10 พบว่าปี 2561 มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ต่ำกว่าปี 2560 เนื่องจากมีค่า SEC เฉลี่ยที่สูงกว่า โดยปี 2560 มีค่า SEC เฉลี่ยเท่ากับ 250.37 kWh/m^3 ส่วนปี 2561 มีค่า SEC เฉลี่ยเท่ากับ 269.04 kWh/m^3

สำหรับกราฟในช่วงเดือนที่ 10 ของปี 2560 ที่เพิ่มสูงขึ้น อันเนื่องมาจากโรงงานระเหยน้ำกากส่าหยุดซ่อมบำรุงครั้งใหญ่ มีการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างการซ่อมบำรุง เช่น งานเชื่อมไฟฟ้า การทดสอบการเดินเครื่องจักรเปล่า เป็นต้น

4.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลด้านพลังงาน

จะแสดงวิธีการในการวิเคราะห์ข้อมูลด้านพลังงาน โดยใช้ข้อมูลปริมาณผลผลิต และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานระเหยน้ำกากส่า โดยสามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 รวบรวมข้อมูลปริมาณผลผลิตและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือน โดยจัดเรียงไว้ในรูปแบบตาราง ดังตารางที่ 5

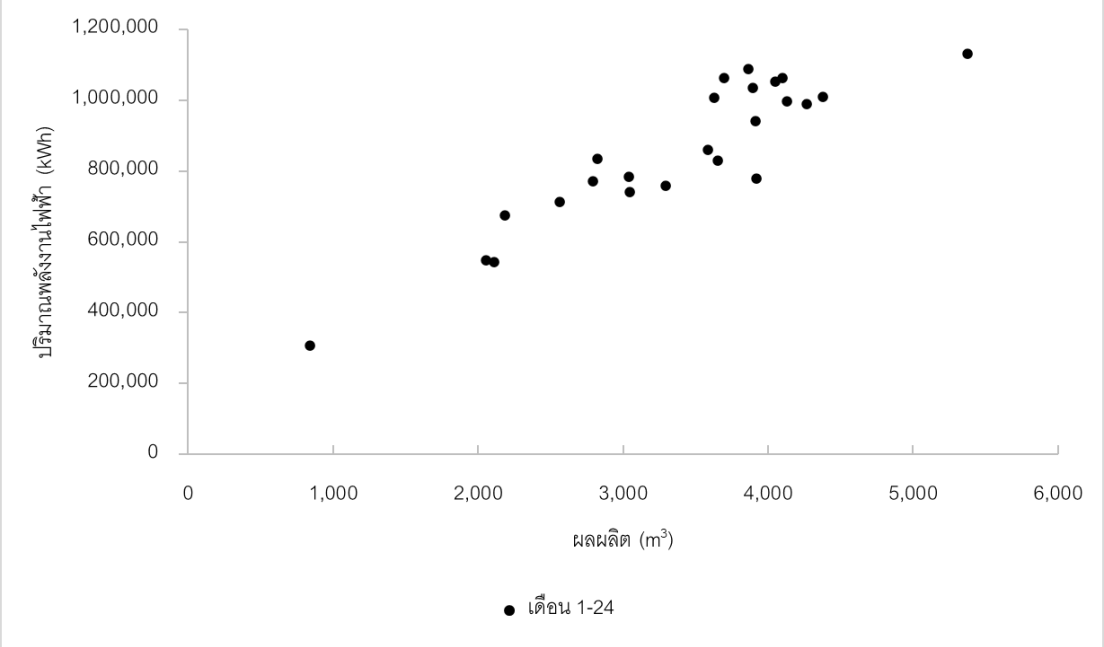
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 5 ข้อมูลปริมาณผลผลิต และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในรอบ 24 เดือนต่อเนื่อง (ปี 2560-2561)

เดือน	ผลผลิต (m^3)	ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh)
1	3,045	740,880
2	3,630	1,005,480
3	3,913	941,560
4	5,376	1,130,360
5	3,653	829,160
6	3,919	779,440
7	3,583	860,920
8	3,861	1,087,520
9	3,041	783,240
10	839	307,040
11	4,265	989,560
12	3,296	757,920
13	2,791	771,880
14	2,182	673,760
15	2,822	834,240
16	3,699	1,062,720
17	2,561	713,560
18	3,894	1,034,880
19	4,049	1,051,360
20	4,098	1,063,280
21	2,057	549,200
22	4,376	1,008,760
23	4,127	997,520
24	2,107	542,320

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนที่ 2 นำข้อมูลจากขั้นตอนที่ 1 มาสร้างเป็นแผนภาพการกระจายระหว่างปริมาณการผลิตและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังรูปที่ 11

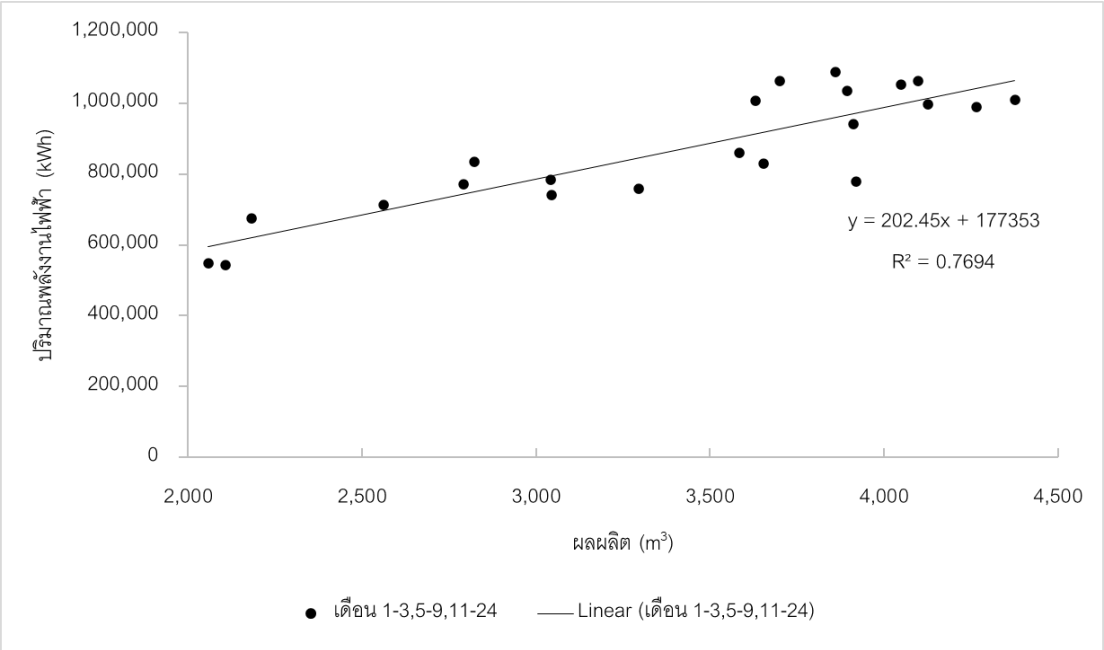


รูปที่ 11 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้าและปริมาณการผลิต

ขั้นตอนที่ 3 หาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการผลิตและปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในรูปแบบสมการเส้นตรง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากรูปที่ 11 จะเห็นว่ามีข้อมูลอยู่สองเดือน ซึ่งเป็นข้อมูลในเดือนที่ 4 และ 10 ที่ไม่ได้อยู่ในกลุ่มข้อมูลส่วนใหญ่ ซึ่งเกิดจากการที่โรงงานหยุดซ่อมบำรุงตามแผน จึงตัดข้อมูลทั้งสองเดือนนี้ทิ้งและสร้างแผนภาพการกระจายของข้อมูลที่เหลือทั้ง 22 เดือน ดังรูปที่ 12



รูปที่ 12 แผนภาพการกระจายแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปริมาณการผลิตและสมการความสัมพันธ์

สมการที่ปรากฏในรูปที่ 12 เป็นสมการเส้นตรงที่ใช้เป็นตัวแทนของกลุ่มข้อมูลแสดงดังสมการ (3)

$$Y = 202.45X + 177{,}353 \quad (3)$$

เมื่อ Y คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ซึ่งแปรตามผลผลิต (kWh)

X คือ ปริมาณผลผลิตรายเดือน (m^3)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร X หมายถึง พลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้เมื่อทำการผลิตหนึ่งหน่วย (Productive dependent Energy Consumption: PEC) ซึ่งสำหรับสมการนี้ ค่าสัมประสิทธิ์มีค่า 202.45 แสดงว่าพลังงานไฟฟ้าที่ต้องใช้เมื่อทำการผลิตหนึ่งหน่วยในช่วงการผลิต 2,057–4,376 m^3 เท่ากับ 202.45 kWh

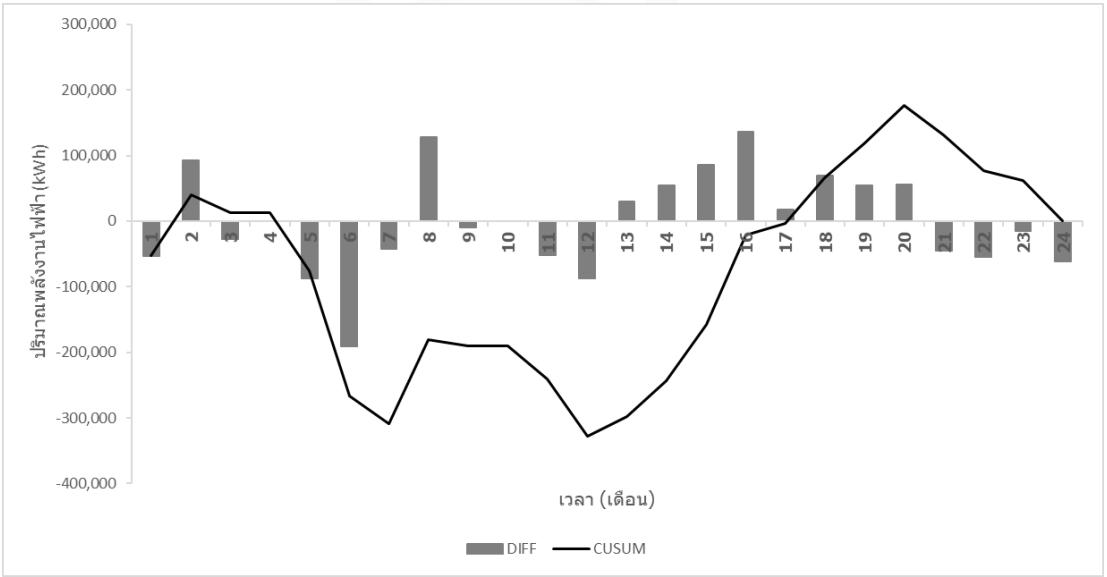
ส่วนค่าคงที่ หมายถึง ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในส่วนที่ไม่ขึ้นกับปริมาณการผลิต (Unproductive Energy Consumption: UEC) ในช่วงการผลิต 2,057–4,376 m^3 ซึ่งอาจหมายถึงพลังงานไฟฟ้าที่จำเป็นต้องใช้ เช่น แสงสว่าง ระบบทำความเย็นในห้อง Control Room ฯลฯ และพลังงานไฟฟ้าที่สูญเปล่าโดยไม่จำเป็น เช่น การเดินเครื่องจักรเปล่า ฯลฯ ซึ่งสำหรับสมการนี้ ค่าคงที่เท่ากับ 177,353 หมายถึง ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ไม่เกี่ยวข้องกับการผลิตมีค่าคงที่ 177,353 kWh

จากข้อมูลในตารางที่ 5 พบว่าปริมาณผลผลิตเฉลี่ยทั้ง 22 เดือน คือ 3,407.68 m^3 เมื่อนำมาแทนค่าในสมการที่ 3 จะได้พลังงานไฟฟ้าหรือค่า Y เท่ากับ 867,237.82 kWh เปรียบเทียบกับ UEC แล้ว UEC หรือพลังงานที่ใช้ในส่วนที่ไม่ขึ้นกับปริมาณการผลิตคิดเป็นร้อยละ 20.45 ของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด

จากการหาความสัมพันธ์เชิงเส้น ได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจหรือ R^2 = 0.7694 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าข้อมูลมีการกระจายตัวอยู่นอกเส้นแนวโน้มมาก เป็นสัญญาณบ่งบอกว่า ภายในเวลา 22 เดือนที่ผ่านมานั้นมีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้พลังงานในการผลิต

ขั้นตอนที่ 4-6 นำสมการเส้นตรงในขั้นตอนที่ 3 ใช้เป็นสมการฐานอ้างอิง คำนวณปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ควรจะเป็นจากสมการฐานอ้างอิง จากนั้นคำนวณผลต่างระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ควรจะเป็น และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จริง และคำนวณผลต่างสะสมดังตาราง (ภาคผนวก ก ตารางที่ ก.1)

ขั้นตอนที่ 7 สร้างแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมจากข้อมูลผลต่าง และผลต่างสะสมจากตาราง (ภาคผนวก ก ตารางที่ ก.1) ได้ดังรูปที่ 13



รูปที่ 13 แผนภูมิควบคุมผลรวมสะสมของข้อมูลในช่วงเวลาต่อเนื่องกัน 24 เดือน

ขั้นตอนที่ 8 ทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงาน และปริมาณพลังงานที่มีศักยภาพที่จะประหยัดได้ เพื่อใช้กำหนดเป้าหมายและดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานจากแผนภูมิสัดส่วนการประหยัดพลังงาน

จากรูปที่ 13 วิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานได้ผลดังนี้ ในภาพรวมเส้นกราฟ CUSUM แบ่งออกเป็น 5 ช่วง ช่วงที่ 1 (เดือนที่ 1-7) เส้นกราฟ CUSUM มีความชันเป็นลบ โดยเริ่มเป็นบวกก่อนในเดือนที่ 2 หมายถึงมีการใช้พลังงานต่ำกว่าเส้นฐานหรือค่าอ้างอิง (ค่า DIFF เป็นลบ 5 เดือนใน 7 เดือน) ช่วงที่ 2 (เดือนที่ 8-10) เส้นกราฟ CUSUM อยู่ในแนวนอน โดยลอยตัวขึ้นจากช่วงที่ 1 ในเดือนที่ 8 หมายถึง มีการใช้พลังงานใกล้เคียงเส้นฐานหรือค่าอ้างอิง ช่วงที่ 3 (เดือนที่ 11-12) เส้นกราฟ CUSUM มีความชันเป็นลบ หมายถึง มีการใช้พลังงานต่ำกว่าเส้นฐานหรือค่าอ้างอิง ช่วงที่ 4 (เดือนที่ 13-20) เส้นกราฟ CUSUM มีความชันเป็นบวกอย่างต่อเนื่อง หมายถึง การใช้พลังงานสูงกว่าเส้นฐานหรือค่าอ้างอิง ช่วงที่ 5 (เดือนที่ 21-24) เส้นกราฟ CUSUM มีความชันเป็นลบ หมายถึง มีการใช้พลังงานต่ำกว่าเส้นฐานหรือค่าอ้างอิง จากลักษณะของเส้นกราฟ CUSUM แสดงว่าการใช้พลังงานไฟฟ้ามีทั้งประสิทธิภาพสูง และต่ำสลับกันไปเป็นช่วงๆ

จากกราฟ DIFF และ CUSUM เลือกข้อมูลอ้างอิงจากเดือนที่การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพสูง คือเดือนที่มีค่า DIFF ติดลบมากๆ จำนวนหนึ่ง โดยเลือกจำนวน 6 ค่า 9 ค่า หรือ 12 ค่า จากข้อมูลทั้งหมด 22 เดือน แล้วแบ่งข้อมูลออกเป็นสองชุด คือ ข้อมูลอ้างอิง และข้อมูลที่เหลือ

จากค่า DIFF ใน (ภาคผนวก ก ตารางที่ ก.1) และรูปที่ 13 ทำการเรียงลำดับค่า DIFF จากค่าต่ำสุด (ติดลบมากที่สุด) ไปหาค่าสูงสุด (เป็นบวกมากที่สุด) ได้ดังตารางที่ 6 แล้วเลือกข้อมูลอ้างอิงจำนวน 3 ชุด จากเดือนที่มีค่า DIFF ติดลบ 6 อันดับแรก 9 อันดับแรก และ 12 อันดับแรก

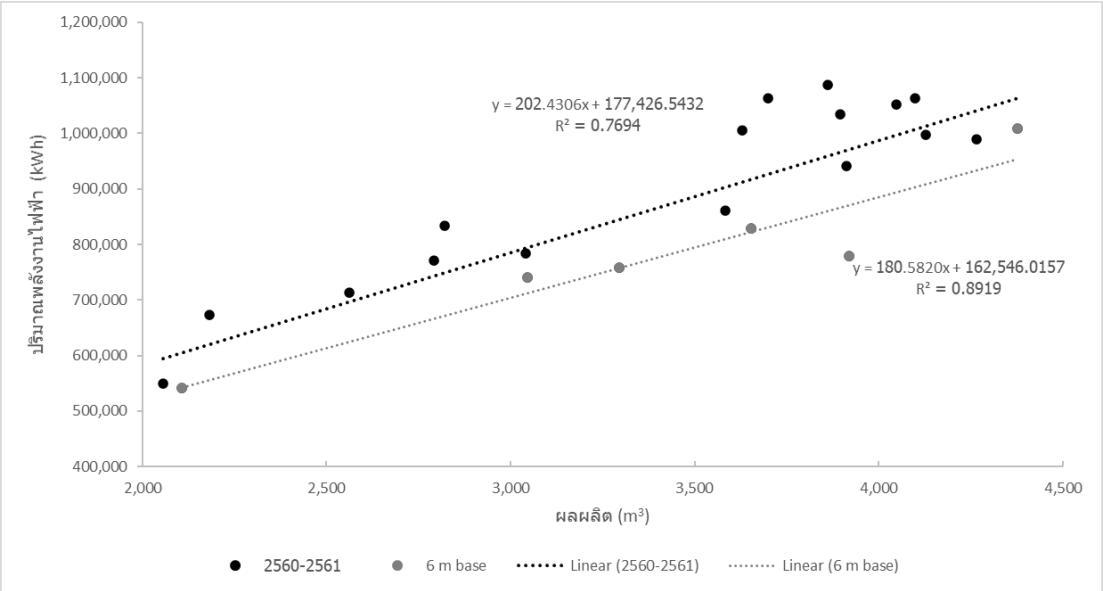
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6 การเรียงลำดับค่า DIFF จากต่ำสุดไปสูงสุด

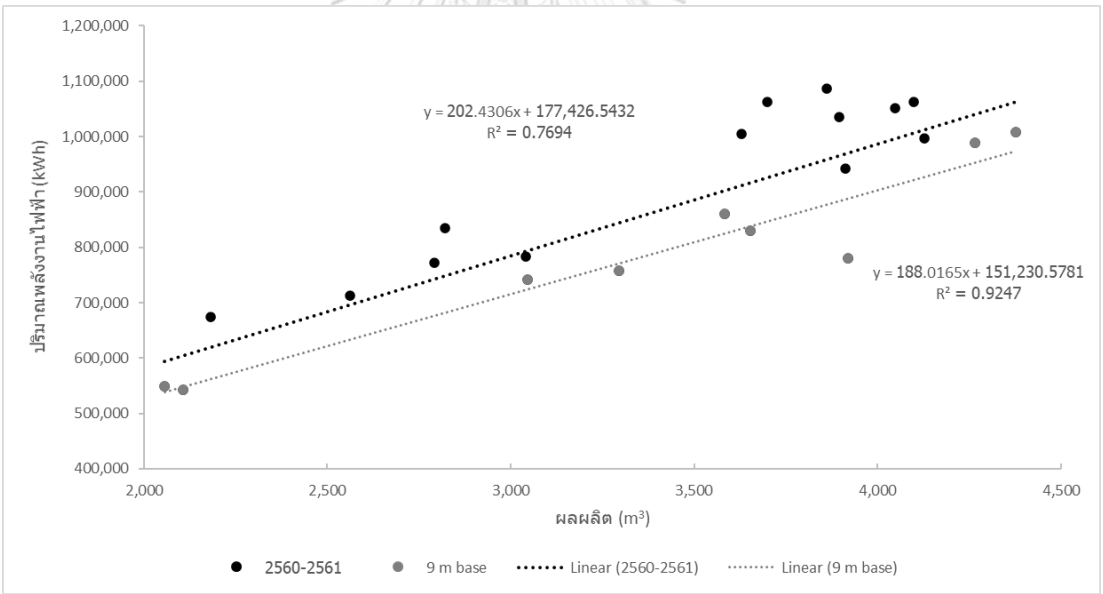
ลำดับ	DIFF (kWh)	เดือน (ปี 2560-2561)
1	-191,312	6
2	-87,746	5
3	-86,718	12
4	-61,608	24
5	-54,584	22
6	-52,948	1
7	-51,233	11
8	-44,564	21
9	-41,815	7
10	-27,977	3
11	-15,301	23
12	-9,778	9
	17,747	17
	29,451	13
	54,332	19
	54,630	14
	56,394	20
	69,148	18
	85,613	15
	93,230	2
	128,509	8
	136,525	16

นำข้อมูลอ้างอิง และข้อมูลที่เหลือ ไปสร้างกราฟการกระจายตัวของข้อมูล และวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นอย่างง่ายเพื่อหาสมการเส้นฐานของข้อมูลอ้างอิง ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 14 ถึงรูปที่ 16 และตารางที่ 7

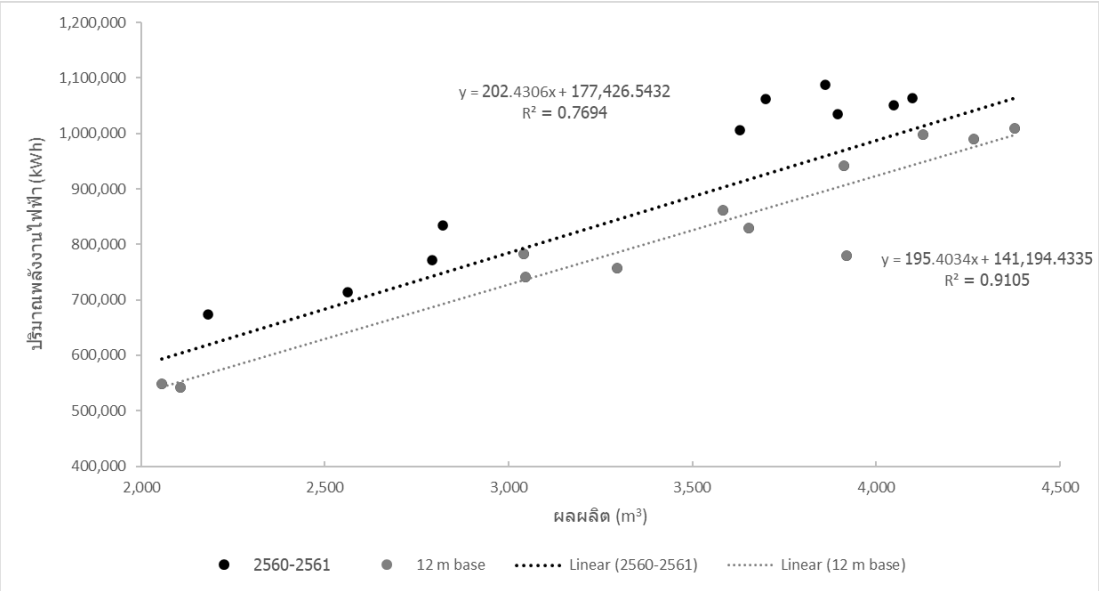
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 14 การวิเคราะห์หาสมการเส้นฐานของข้อมูลอ้างอิง 6 เดือน



รูปที่ 15 การวิเคราะห์หาสมการเส้นฐานของข้อมูลอ้างอิง 9 เดือน



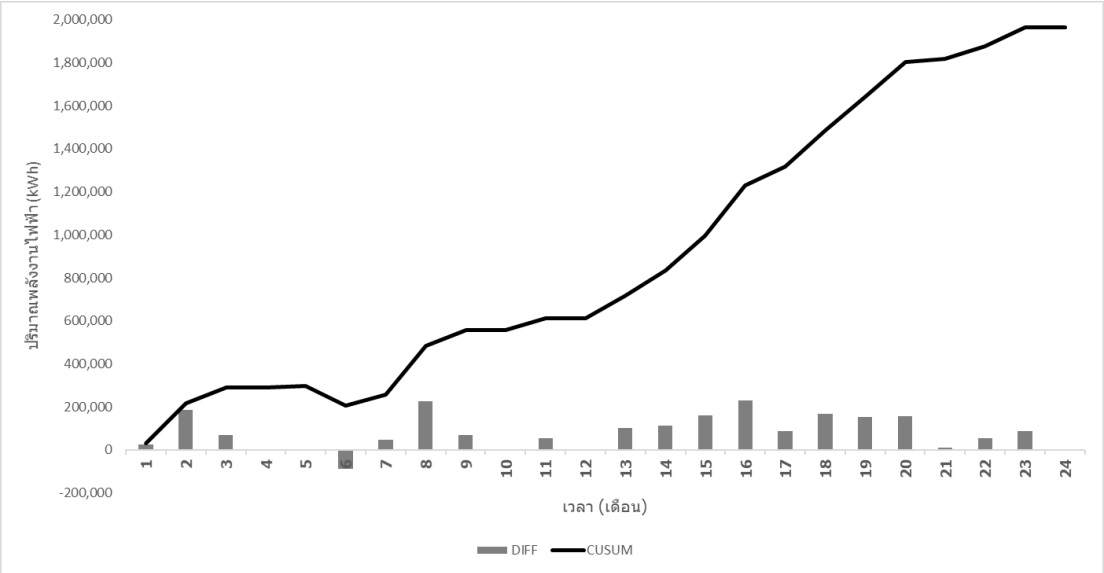
รูปที่ 16 การวิเคราะห์หาสมการเส้นฐานของข้อมูลอ้างอิง 12 เดือน

ตารางที่ 7 ข้อมูลสมการเส้นฐาน

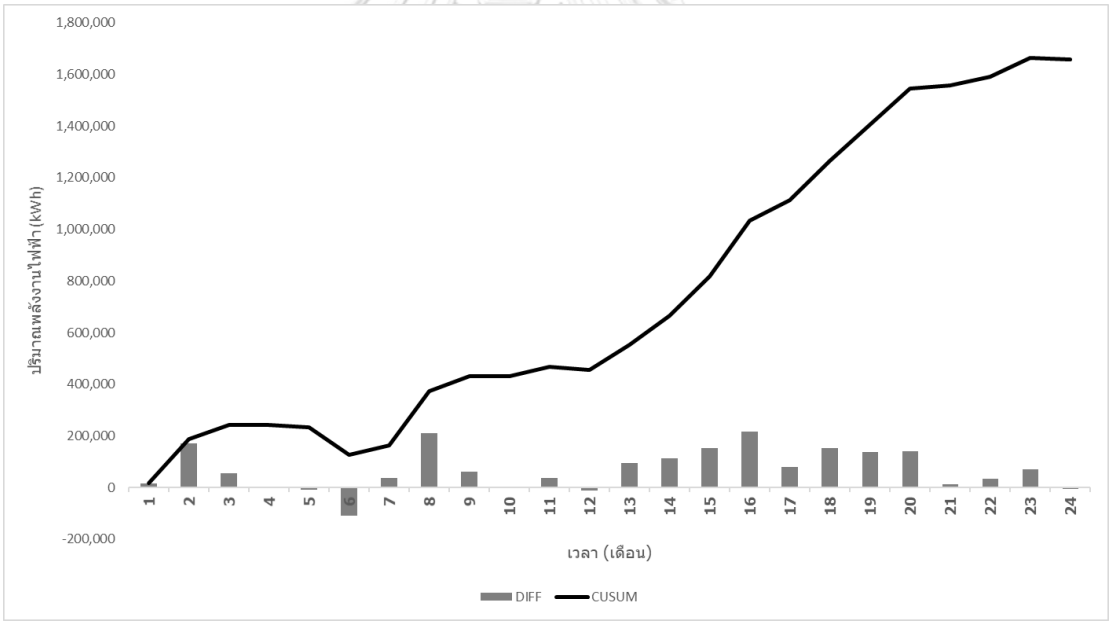
ชุดข้อมูล	สมการเส้นฐานของข้อมูลแต่ละชุด	ค่า R^2
ข้อมูลทั้งหมด	y = 202.4306 x + 177,426.5432	0.7694
ข้อมูลอ้างอิง 6 เดือน	y = 180.5820 x + 162,546.0157	0.8919
ข้อมูลอ้างอิง 9 เดือน	y = 188.0165 x + 151,230.5781	0.9247
ข้อมูลอ้างอิง 12 เดือน	y = 195.4034 x + 141,194.4335	0.9105

Chulalongkorn University

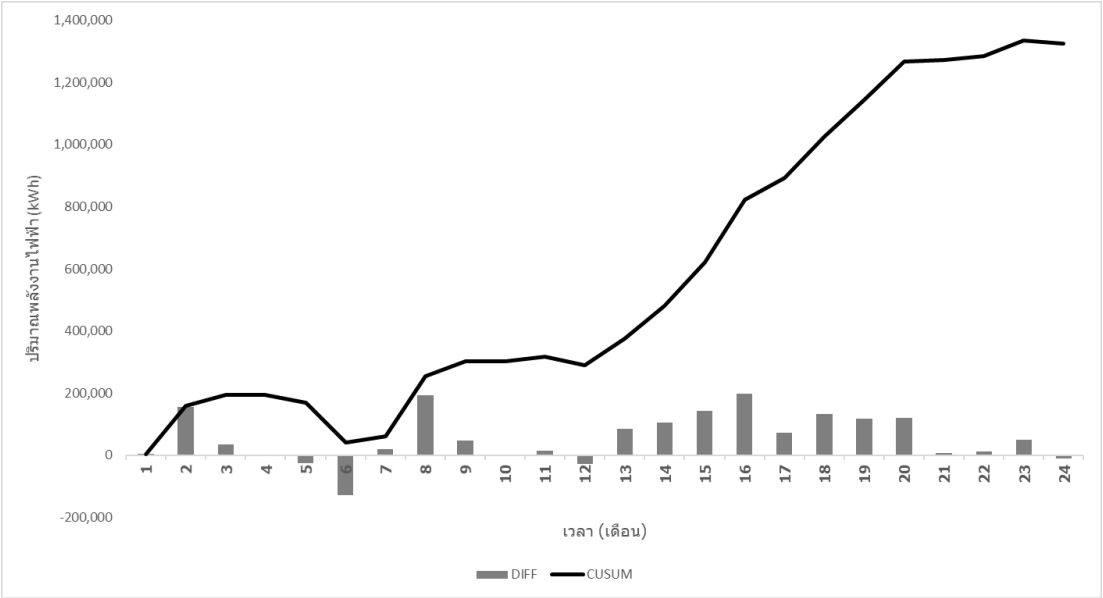
จากสมการเส้นฐานในตารางที่ 7 ทำการวิเคราะห์หาค่า Base Energy, ค่า DIFF และค่า CUSUM ได้ดังตาราง (ภาคผนวก ก ตารางที่ ก.2–ก.4) และสร้างกราฟ DIFF และ CUSUM ได้ดังรูปที่ 17 ถึงรูปที่ 20 ตามลำดับ



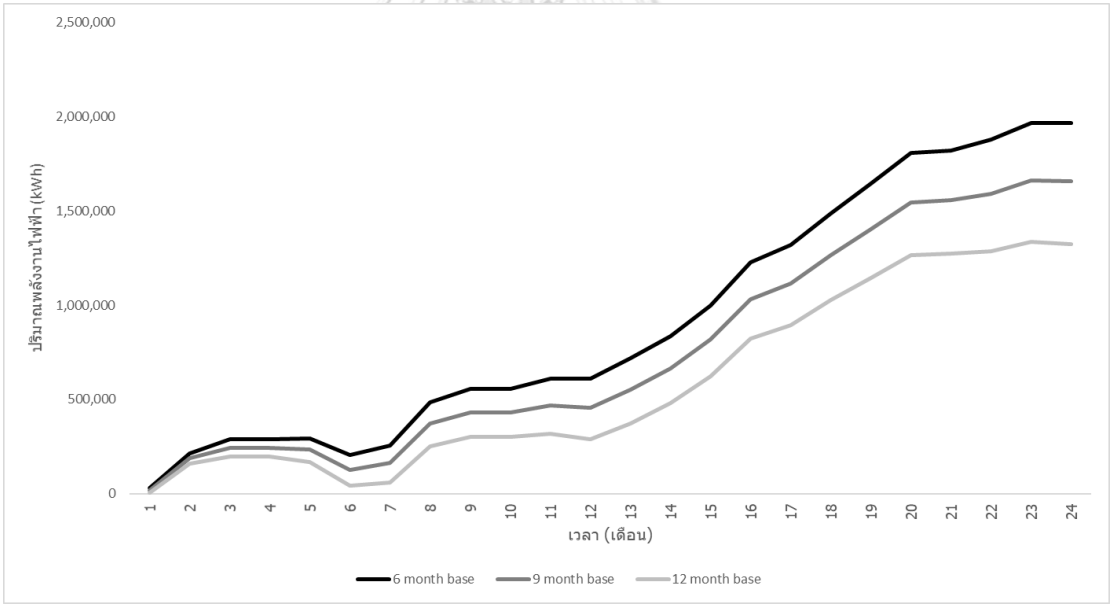
รูปที่ 17 กราฟ DIFF และ CUSUM เมื่อใช้ข้อมูลอ้างอิง 6 เดือน



รูปที่ 18 กราฟ DIFF และ CUSUM เมื่อใช้ข้อมูลอ้างอิง 9 เดือน



รูปที่ 19 กราฟ DIFF และ CUSUM เมื่อใช้ข้อมูลอ้างอิง 12 เดือน



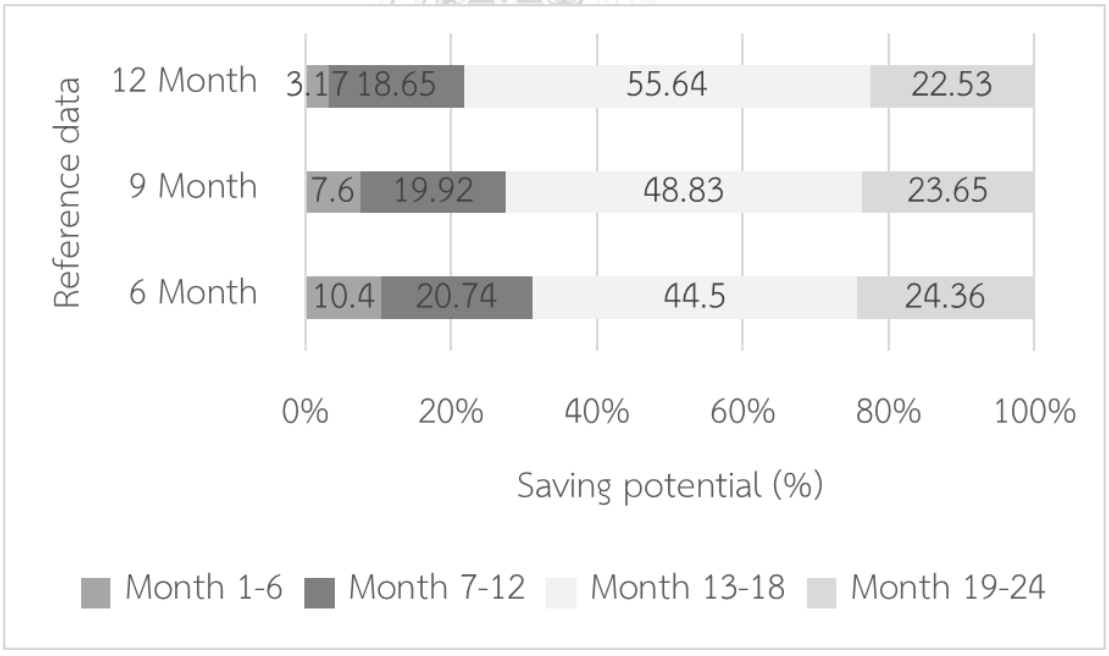
รูปที่ 20 กราฟ CUSUM แบบเปรียบเทียบผลจากการใช้ข้อมูลอ้างอิง 6 เดือน 9 เดือน และ 12 เดือน

4.3 การตีความข้อมูลด้านพลังงาน

ประเมินปริมาณพลังงานที่ใช้มากกว่าข้อมูลอ้างอิง และปริมาณพลังงานที่มีศักยภาพที่จะประหยัดได้ ดังตารางที่ 8 เพื่อใช้กำหนดเป้าหมายและดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานจากแผนภูมิสัดส่วนการประหยัดพลังงาน ดังรูปที่ 21

ตารางที่ 8 สรุปผลปริมาณพลังงานที่มีศักยภาพที่จะประหยัดได้

Reference data		6 Month	9 Month	12 Month
Month 1-6	kWh	204,421	125,987	42,022
	%	10.40	7.60	3.17
Month 7-12	kWh	407,647	330,061	246,938
	%	20.74	19.92	18.65
Month 13-18	kWh	874,552	809,005	736,636
	%	44.50	48.83	55.64
Month 19-24	kWh	478,691	391,848	298,321
	%	24.36	23.65	22.53
24 Month	kWh	1,965,311	1,656,902	1,323,917
	%	100.00	100.00	100.00



รูปที่ 21 สัดส่วนการประหยัดพลังงานในแต่ละคาบเวลา 6 เดือน

จากรูปที่ 21 พบว่า ศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานมีสัดส่วนอยู่ในปีที่ 1 ประมาณ 21.82%-31.14% ศักยภาพส่วนใหญ่จะอยู่ในปีที่ 2 ประมาณ 68.86-78.17% โดยเฉพาะในช่วง 6 เดือนแรก

ของปีที่ 2 ที่มีศักยภาพสูงถึง 44.50%-55.64% ของศักยภาพทั้งหมด ข้อมูลของปีที่ 2 ถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง ประมาณ 1 ใน 4 ถึง 1 ใน 3 ของข้อมูลอ้างอิงแต่ละชุด (2 เดือนในชุด 6 เดือน 2 เดือนในชุด 9 เดือน และ 5 เดือนในชุด 12 เดือน) ในกรณีนี้ถือว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในปีที่ 2 มีประสิทธิภาพต่ำกว่าปีที่ 1 ดังนั้นเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจึงประเมินจากศักยภาพของการอนุรักษ์พลังงานรวมจากปีที่ 1 และ 2 ได้ โดยใช้ยอดรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าของแต่ละชุดข้อมูลอ้างอิง ซึ่งเมื่อคิดเป็นร้อยละที่เทียบกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้ง 2 ปี เมื่อใช้ข้อมูลอ้างอิง 6 เดือน 9 เดือน และ 12 เดือน จะมีค่าเป็นร้อยละ 10.30, 8.68 และ 6.94 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์และตีความข้อมูลด้านพลังงานของโรงงานระเหยน้ำกากส่า โดยใช้แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram), การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis), การสร้างกราฟ DIFF และ CUSUM และทำการประเมินศักยภาพของการอนุรักษ์พลังงาน พบว่าโรงงานระเหยน้ำกากส่ายังมีศักยภาพที่จะประหยัดพลังงานได้อีกคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 8.64 และใช้การประเมินศักยภาพของเครื่องจักรและอุปกรณ์หลักที่ใช้ในระบบระเหยน้ำกากส่าแสดงดังตารางที่ 9

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 9 การประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้าในเครื่องจักรและอุปกรณ์หลักที่ใช้ในระบบระเหยน้ำกากส่า

เครื่องจักร/อุปกรณ์หลัก	(1) ขนาดการใช้พลังงาน					(2) ชั่วโมงการใช้งาน					(3) ค่ายภาพการปรับปรุง				คะแนนรวม (1) x (2) x (3)	ลำดับความสำคัญ
	น้อยที่สุด (1 คะแนน)	น้อย (2 คะแนน)	ปานกลาง (3 คะแนน)	มาก (4 คะแนน)	มากที่สุด (5 คะแนน)	น้อยที่สุด (1 คะแนน)	น้อย (2 คะแนน)	ปานกลาง (3 คะแนน)	มาก (4 คะแนน)	มากที่สุด (5 คะแนน)	น้อย (1 คะแนน)	ปานกลาง (2 คะแนน)	มาก (3 คะแนน)	มากที่สุด (4 คะแนน)		
ปั๊ม Effect 1				√						√				√	80	1
ปั๊ม Effect 2				√						√				√	80	1
ปั๊ม Effect 3				√						√				√	80	1
ปั๊ม Effect 4				√						√				√	80	1
ปั๊ม Finisher A				√					√					√	64	3
ปั๊ม Finisher B				√					√					√	64	3
พัดลม MVR 1					√					√			√		75	2
พัดลม MVR 2					√					√			√		75	2
ปั๊มน้ำ Cooling Tower A			√						√				√		36	4
ปั๊มน้ำ Cooling Tower B			√						√				√		36	4

จึงได้นำเสนอมาตรการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลในครั้งนี้ โดยคัดเลือกมาตรการที่โรงงานระเหยน้ำกากส่าสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานให้บรรลุเป้าหมายจากการประเมินศักยภาพที่จะประหยัดได้ มา 2 มาตรการ ได้แก่

1. มาตรการลดความเร็วรอบของปั๊ม Effect 1-4, Finisher A และ B และพัดลม MVR 1 (Mechanical Vapor Recompression 1) และ MVR 2 (Mechanical Vapor Recompression 2) ด้วย VSD (Variable Speed Drive)
2. มาตรการลดขนาดปั๊มน้ำหอหล่อเย็น Cooling Tower A และ B

โดยหลักการพิจารณาคัดเลือกนำเสนอทั้งสองมาตรการ คือ การพิจารณาจากขนาดของมอเตอร์ไฟฟ้า ชั่วโมงการทำงาน และศักยภาพในการปรับปรุง ซึ่งประเมินจากระยะเวลาคืนทุน ทั้งที่สองมาตรการเป็นการปรับปรุงในส่วนของปั๊มและมอเตอร์ไฟฟ้าเช่นเดียวกัน แต่เหตุผลที่เลือกใช้การลดความเร็วรอบด้วย VSD ในมาตรการที่ 1 นั้น เนื่องจากมอเตอร์ไฟฟ้ามีขนาดใหญ่ เป็นเครื่องจักรหลักสำหรับกระบวนการผลิต และมีการใช้งานอย่างต่อเนื่อง การเลือกใช้การติดตั้ง VSD จึงเหมาะสมมากกกว่าการลดขนาดปั๊มซึ่งใช้ระยะเวลาคืนทุนและมีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตมากกว่า ดังเช่นมาตรการที่ 2 ที่มีขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าที่เล็กกว่า และปัจจุบันมีการใช้งานที่น้อยกว่าประสิทธิภาพที่ได้ออกแบบและติดตั้งไว้ สำหรับข้อมูลอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (VSD) สามารถดูรายละเอียดเพิ่มเติมได้ที่ภาคผนวก ข

หลังจากนั้นจึงทำการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน จากการคำนวณหาร้อยละของผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าด้วยสมการ (4)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

$$\text{ร้อยละของผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า} = \frac{\text{ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า } (\mathbf{kWh/ปี})}{\text{ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวม } (\mathbf{kWh/ปี})} \times 100 \qquad (4)$$

4.4 มาตรการลดความเร็วรอบของปั๊ม Effect 1-4, Finisher A และ B และพัดลม MVR 1 และ MVR 2 ด้วย VSD

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งานของปั๊ม Effect 1-4, Finisher A และ B

หน่วยผลิตที่สำคัญของโรงงานระเหยน้ำกากส่าคือ เคี่ยวระเหยชุด Effect 1 – 4 และเคี่ยวระเหยชุด Finisher A และ B สำหรับระเหยน้ำออกจากน้ำกากส่า ให้ได้น้ำกากส่าเข้มข้น โดยมีปั๊ม

และมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นเครื่องจักรหลักในการทำหน้าที่สูบน้ำกากส่าหมุนวนเข้าสู่ Heater เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอน้ำจนได้ค่าความเข้มข้นน้ำกากส่าของแต่ละ Effect ตามต้องการ รูปการติดตั้งปั๊มในแต่ละชุด ดังรูปที่ 22 โดยมีขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานเฉลี่ยต่อปี แสดงดังตารางที่ 10

รูปที่ 22 ปั๊ม Effect 1-4 และ Finisher A และ B

ตารางที่ 10 ขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานเฉลี่ยต่อปี ของปั๊ม Effect 1-4 และ Finisher A และ B

ชื่อเครื่องจักร	ขนาด (kW)	ชั่วโมงการทำงานเฉลี่ย/ปี
ปั๊ม Effect 1	90	7,200
ปั๊ม Effect 2	90	7,200
ปั๊ม Effect 3	110	7,200
ปั๊ม Effect 4	110	7,200
ปั๊ม Finisher A	90	3,600
ปั๊ม Finisher B	90	3,600

ปัญหาของเครื่องจักรก่อนการปรับปรุง

ในระบบระเหยน้ำกากส่า (Evaporation) มีการใช้งานมอเตอร์ไฟฟ้าที่ปั๊ม Effect 1-4 และ Finisher A และ B และใช้งานต่อเนื่องมาเป็นระยะเวลากว่า 5 ปี ปัจจุบันมอเตอร์ทุกตัวทำงานตามความเร็วรอบปกติที่ความถี่ไฟฟ้า 50Hz ขณะที่ความเร็วของมอเตอร์สามารถปรับให้เหมาะสมกับภาระโหลดได้ หากสามารถปรับความถี่ไฟฟ้าให้ลดลงจะส่งผลให้มอเตอร์ไฟฟ้าใช้พลังงานลดลง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

1. สำรวจและตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้า เก็บข้อมูลการทำงาน ก่อนการปรับปรุง
2. ทำการติดตั้ง VSD เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า
3. ทำการลดความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อให้เหมาะสมกับภาระโหลด เก็บข้อมูลการทำงาน หลังการปรับปรุง

การคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน

โดยก่อนการเริ่มดำเนินการตามมาตรการที่ได้นำเสนอไว้ ต้องกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานของพลังงานที่ต้องการให้ลดลง โดยกำหนดเป็นร้อยละเทียบกับปริมาณพลังงานที่ใช้ในปี 2560 แสดงดังตารางที่ 11-ตารางที่ 16

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 11 รายการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการลดความเร็วรอบของปั๊ม Effect 1 ด้วย VSD

รอบของมอเตอร์ Effect 1 ก่อนติดตั้ง VSD	960 rpm
รอบของมอเตอร์ Effect 1 หลังติดตั้ง VSD	853 rpm
คำนวณกำลังไฟฟ้าจากรอบมอเตอร์	จากสูตร $P1/P2 = (N1/N2)^3$
กำลังไฟฟ้า ก่อน ติดตั้ง VSD	90.00 kW
กำลังไฟฟ้า หลัง ติดตั้ง VSD	63.21 kW
กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	26.79 kW
ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า	192,889 kWh/Year
ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมปี 2560	10,213,080 kWh/Year
ร้อยละของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จะประหยัดได้เทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมปี 2560	1.89

ตารางที่ 12 รายการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการลดความเร็วรอบของปั๊ม Effect 2 ด้วย VSD

รอบของมอเตอร์ Effect 2 ก่อนติดตั้ง VSD	960 rpm
รอบของมอเตอร์ Effect 2 หลังติดตั้ง VSD	853 rpm
คำนวณกำลังไฟฟ้าจากรอบมอเตอร์	จากสูตร $P1/P2 = (N1/N2)^3$
กำลังไฟฟ้า ก่อน ติดตั้ง VSD	90.00 kW
กำลังไฟฟ้า หลัง ติดตั้ง VSD	63.21 kW
กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	26.79 kW
ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า	192,889 kWh/Year
ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมปี 2560	10,213,080 kWh/Year
ร้อยละของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จะประหยัดได้เทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมปี 2560	1.89

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 13 รายการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการลดความเร็วรอบของปั๊ม Effect 3 ด้วย VSD

รอบของมอเตอร์ Effect 3 ก่อนติดตั้ง VSD	960 rpm
รอบของมอเตอร์ Effect 3 หลังติดตั้ง VSD	853 rpm
คำนวณกำลังไฟฟ้าจากรอบมอเตอร์	จากสูตร $P1/P2 = (N1/N2)^3$
กำลังไฟฟ้า ก่อน ติดตั้ง VSD	110.00 kW
กำลังไฟฟ้า หลัง ติดตั้ง VSD	77.19 kW
กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	32.81 kW
ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า	236,232 kWh/Year
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมปี 2560	10,213,080 kWh/Year
ร้อยละของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จะประหยัดได้เทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมปี 2560	2.31

ตารางที่ 14 รายการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการลดความเร็วรอบของปั๊ม Effect 4 ด้วย VSD

รอบของมอเตอร์ Effect 4 ก่อนติดตั้ง VSD	960 rpm
รอบของมอเตอร์ Effect 4 หลังติดตั้ง VSD	853 rpm
คำนวณกำลังไฟฟ้าจากรอบมอเตอร์	จากสูตร $P1/P2 = (N1/N2)^3$
กำลังไฟฟ้า ก่อน ติดตั้ง VSD	110.00 kW
กำลังไฟฟ้า หลัง ติดตั้ง VSD	77.19 kW
กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	32.81 kW
ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า	236,232 kWh/Year
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมปี 2560	10,213,080 kWh/Year
ร้อยละของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จะประหยัดได้เทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมปี 2560	2.31

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 15 รายการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการลดความเร็วรอบของปั๊ม Finisher A ด้วย VSD

รอบของมอเตอร์ Finisher A ก่อนติดตั้ง VSD	1,470 rpm
รอบของมอเตอร์ Finisher A หลังติดตั้ง VSD	1,250 rpm
คำนวณกำลังไฟฟ้าจากรอบมอเตอร์	จากสูตร $P1/P2 = (N1/N2)^3$
กำลังไฟฟ้า ก่อน ติดตั้ง VSD	90.00 kW
กำลังไฟฟ้า หลัง ติดตั้ง VSD	55.35 kW
กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	34.65 kW
ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า	249,480 kWh/Year
ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมปี 2560	10,213,080 kWh/Year
ร้อยละของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จะประหยัดได้เทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมปี 2560	2.44

ตารางที่ 16 รายการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการลดความเร็วรอบของปั๊ม Finisher B ด้วย VSD

รอบของมอเตอร์ Finisher B ก่อนติดตั้ง VSD	1,470 rpm
รอบของมอเตอร์ Finisher B หลังติดตั้ง VSD	1,250 rpm
คำนวณกำลังไฟฟ้าจากรอบมอเตอร์	จากสูตร $P1/P2 = (N1/N2)^3$
กำลังไฟฟ้า ก่อน ติดตั้ง VSD	90.00 kW
กำลังไฟฟ้า หลัง ติดตั้ง VSD	55.35 kW
กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	34.65 kW
ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า	249,480 kWh/Year
ปริมาณการใช้ไฟฟ้ารวมปี 2560	10,213,080 kWh/Year
ร้อยละของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จะประหยัดได้เทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมปี 2560	2.44

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

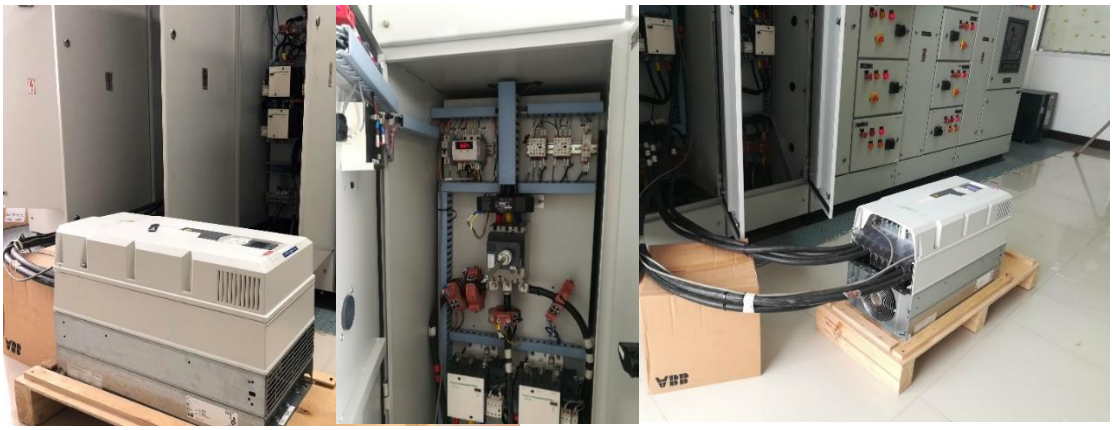
ตัวอย่างมาตรการที่ได้ดำเนินการแล้ว

เพื่อทำให้เกิดความเข้าใจมากยิ่งขึ้น จึงขอยกตัวอย่างที่ทางโรงงานระเหยน้ำกากส่าได้เสนอมาตรการลดความเร็วรอบของปั๊ม Effect 2 ด้วย VSD ในรายงานจัดการพลังงาน ประจำปี 2561 ที่ได้ดำเนินการตั้งแต่เดือน มกราคม 2561–ธันวาคม 2561 ด้วยเงินลงทุน 500,000 บาท รูปก่อนดำเนินการปรับปรุง (ก่อนติดตั้ง VSD) แสดงดังรูปที่ 23 และการคำนวณหาผลประหยัดและระยะเวลาคืนทุน แสดงดังตารางที่ 17 และรูปหลังดำเนินการปรับปรุง (หลังติดตั้ง VSD) แสดงดังรูปที่ 24

รูปที่ 23 รูปก่อนดำเนินการปรับปรุง (ก่อนติดตั้ง VSD)

ตารางที่ 17 การคำนวณหาผลประหยัดและระยะเวลาคืนทุน

	kW	kWh/Year	บาท/ปี
การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง	90.00	648,000	2,235,600
การใช้พลังงานหลังการปรับปรุง	63.21	455,112	1,570,136
ผลประหยัด	26.79	192,888	665,464
เงินลงทุนทั้งหมด		500,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน		0.75	ปี
ร้อยละผลประหยัด		1.89	



รูปที่ 24 รูปหลังดำเนินการปรับปรุง (หลังติดตั้ง VSD)

จากนั้นจึงทำการตรวจสอบการใช้พลังงานไฟฟ้าหลังดำเนินการติดตั้ง VSD ที่เกิดขึ้นจริง แสดงผลดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ผลการดำเนินมาตรการที่เกิดขึ้นจริง

พลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจริง			เงินลงทุนทั้งหมด	ระยะวลาคืนทุน	ร้อยละผลประหยัด
kW	kWh/Year	บาท/ปี	บาท	ปี	
53.12	265,536	945,308	392,073	0.41	2.60

CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางที่ 18 แสดงให้เห็นว่าร้อยละผลประหยัดที่เกิดขึ้นจริงมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน การกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจึงควรใช้แนวทางการวิเคราะห์และตีความข้อมูลด้านพลังงานมาช่วยให้การกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานไม่ให้สูงหรือต่ำจนเกินไป ทำให้การจัดการพลังงานมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งานพัดลม MVR 1 และ MVR 2

พัดลม MVR เป็นเครื่องจักรที่สำคัญ สำหรับระบบระเหยน้ำกากส่า มีหน้าที่ในการรวมไอน้ำทั้งหมดและทำการอัดไอน้ำจ่ายเข้า Heater เพื่อใช้สำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำกากส่าในระบบจนได้ค่าความเข้มข้นน้ำกากส่าของแต่ละ Effect ตามต้องการ จึงมีขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าที่ใหญ่และใช้

พลังงานไฟฟ้าสูงสุด รูปการติดตั้ง ดังรูปที่ 25 โดยมีขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานเฉลี่ยต่อปี แสดงดังตารางที่ 19

รูปที่ 25 พัดลม MVR 1 และ MVR 2

ตารางที่ 19 ขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานเฉลี่ยต่อปี ของพัดลม MVR 1 และ MVR 2

ชื่อเครื่องจักร	ขนาด (kW)	ชั่วโมงการทำงานเฉลี่ย/ปี
พัดลม MVR 1	900	7,200
พัดลม MVR 2	900	7,200

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ปัญหาของเครื่องจักรก่อนการปรับปรุง

มอเตอร์ไฟฟ้าของพัดลม MVR 1 และ MVR 2 มีขนาดใหญ่ และใช้งานต่อเนื่องมาเป็นระยะเวลากว่า 5 ปี ปัจจุบันมอเตอร์ทุกตัวทำงานตามความเร็วรอบปกติที่ความถี่ไฟฟ้า 50Hz ขณะที่ความเร็วของมอเตอร์สามารถปรับให้เหมาะสมกับภาระโหลดได้ หากสามารถปรับความถี่ไฟฟ้าให้ลดลงจะส่งผลให้มอเตอร์ไฟฟ้าใช้พลังงานลดลง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

1. สำรวจและตรวจวัดกำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ไฟฟ้า เก็บข้อมูลการทำงาน ก่อนการปรับปรุง
2. ทำการติดตั้ง VSD เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า
3. ทำการลดความเร็วรอบของมอเตอร์ไฟฟ้า เพื่อให้เหมาะสมกับภาระโหลด เก็บข้อมูลการทำงาน หลังการปรับปรุง

การคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน

โดยก่อนการเริ่มดำเนินการตามมาตรการที่ได้นำเสนอไว้ ต้องกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานของพลังงานที่ต้องการให้ลดลง โดยกำหนดเป็นร้อยละเทียบกับปริมาณพลังงานที่ใช้ในปี 2560 แสดงดังตารางที่ 20-ตารางที่ 21

ตารางที่ 20 รายการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการลดความเร็วรอบของพัดลม MVR 1 ด้วย VSD

รอบของมอเตอร์ พัดลม MVR 1 ก่อนติดตั้ง VSD	2,980 rpm
รอบของมอเตอร์ พัดลม MVR 1 หลังติดตั้ง VSD	2,650 rpm
คำนวณกำลังไฟฟ้าจากรอบมอเตอร์	จากสูตร $P1/P2 = (N1/N2)^3$
กำลังไฟฟ้า ก่อน ติดตั้ง VSD	635.00 kW
กำลังไฟฟ้า หลัง ติดตั้ง VSD	446.55 kW
กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	32.81 kW
ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า	1,356,840 kWh/Year
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมปี 2560	10,213,080 kWh/Year
ร้อยละของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จะประหยัดได้เทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมปี 2560	13.29

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 21 รายการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการลดความเร็วรอบของพัดลม MVR 2 ด้วย VSD

รอบของมอเตอร์ พัดลม MVR 2 ก่อนติดตั้ง VSD	2,980 rpm
รอบของมอเตอร์ พัดลม MVR 2 หลังติดตั้ง VSD	2,650 rpm
คำนวณกำลังไฟฟ้าจากรอบมอเตอร์	จากสูตร $P1/P2 = (N1/N2)^3$
กำลังไฟฟ้า ก่อน ติดตั้ง VSD	635.00 kW
กำลังไฟฟ้า หลัง ติดตั้ง VSD	446.55 kW
กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	32.81 kW
ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า	1,356,840 kWh/Year
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมปี 2560	10,213,080 kWh/Year
ร้อยละของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จะประหยัดได้เทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมปี 2560	13.29

4.5 มาตรการลดขนาดปั๊มน้ำหอหล่อเย็น Cooling Tower A และ B

ความเป็นมาและลักษณะการใช้งานปั๊มน้ำหอหล่อเย็น Cooling Tower A และ B

ปั๊มน้ำ Cooling Tower A และ B ทำหน้าที่ปั๊มน้ำระบายความร้อนในหอหล่อเย็น (Cooling Tower) รูปการติดตั้ง ดังรูปที่ 26 โดยมีขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานเฉลี่ยต่อปี แสดงดังตารางที่ 22

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 26 ปั๊มน้ำ Cooling Tower A และ B

ตารางที่ 22 ขนาดมอเตอร์ไฟฟ้าและชั่วโมงการทำงานเฉลี่ยต่อปี ของปั๊มน้ำ Cooling Tower A และ B

ชื่อเครื่องจักร	ขนาด (kW)	ชั่วโมงการทำงานเฉลี่ย/ปี
ปั๊มน้ำ Cooling Tower A	37	3,600
ปั๊มน้ำ Cooling Tower B	37	3,600

ปัญหาของเครื่องจักรก่อนการปรับปรุง

จากการสำรวจปั๊มน้ำ Cooling Tower A และ B ได้ตั้งระบบควบคุมการทำงานของปั๊มให้ทำงานเพียง 1 ตัว ที่มีอัตราการไหล 150 m^3/h และระยะส่ง 40 m ต่อพัดลม Cooling Tower 2 ตัว ซึ่ง ณ ปัจจุบัน มีการใช้งานปั๊ม Cooling Tower A เพียงตัวเดียว เนื่องจากปั๊ม Cooling Tower B ชำรุด แสดงให้เห็นว่าขนาดของปั๊มที่ใช้ในปัจจุบันเพียงพอสำหรับระบายความร้อนให้ Cooling Tower ได้ แต่เนื่องจากเดิมติดตั้งปั๊มเผื่อไว้ 2 ชุด เพื่อรองรับโหลดการใช้งานที่คาดการณ์ว่าจะเพิ่มในอนาคตเท่านั้น

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

1. สำรวจและเก็บข้อมูลการทำงาน ก่อนการปรับปรุง
2. เลือกขนาดปั๊มน้ำให้เหมาะสมต่อความต้องการใช้งานสำหรับ Cooling Tower โดยนำข้อมูลอัตราการไหลที่ 150 m^3/h และระยะส่ง 40 m ของปั๊มชุดเดิมไปเทียบกับตารางสเปคปั๊มชนิดและยี่ห้อเดียวกันที่มีจำหน่ายในท้องตลาดโดยพิจารณาเลือกขนาดปั๊มที่มีขนาดเล็กลง 1 ขนาด พบว่ามีปั๊มขนาด 30 kW ที่อัตราการไหลอยู่ระหว่าง 40-160 m^3/h และระยะส่งอยู่ระหว่าง 50-65 m ซึ่งเหมาะสมนำมาใช้งานทดแทนปั๊ม Cooling Tower ชุดเดิมได้
3. ดำเนินการเปลี่ยนปั๊มที่มีขนาดกำลังไฟฟ้าน้อยลงจาก 37 kW เป็น 30 kW
4. เก็บข้อมูลการทำงาน หลังการปรับปรุง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

การคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน

โดยก่อนการเริ่มดำเนินการตามมาตรการที่ได้นำเสนอไว้ ต้องกำหนดเป้าหมายและแผนอนุรักษ์พลังงานของพลังงานที่ต้องการให้ลดลง โดยกำหนดเป็นร้อยละเทียบกับปริมาณพลังงานที่ใช้ในปี 2560 แสดงดังตารางที่ 23-ตารางที่ 24

ตารางที่ 23 รายการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการลดขนาดปั๊มน้ำ Cooling Tower A

กำลังไฟฟ้า ก่อน ลดขนาดปั๊ม A	37.00 kW
กำลังไฟฟ้า หลัง ลดขนาดปั๊ม A	30.00 kW
กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	7.00 kW
ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า	25,200 kWh/Year
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมปี 2560	10,213,080 kWh/Year
ร้อยละของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จะประหยัดได้เทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมปี 2560	0.25

ตารางที่ 24 รายการคำนวณเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการลดขนาดปั๊มน้ำ Cooling Tower B

กำลังไฟฟ้า ก่อน ลดขนาดปั๊ม B	37.00 kW
กำลังไฟฟ้า หลัง ลดขนาดปั๊ม B	30.00 kW
กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	7.00 kW
ผลประหยัดพลังงานไฟฟ้า	25,200 kWh/Year
ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมปี 2560	10,213,080 kWh/Year
ร้อยละของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่จะประหยัดได้เทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้ารวมปี 2560	0.25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
สรุปผลการศึกษา ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

งานศึกษานี้ได้ประยุกต์ใช้เทคนิค SPC ซึ่งเป็นการนำเอาเครื่องมือทางสถิติมาช่วยวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานระเหยน้ำกากส่า เป็นการนำเอาข้อมูลปริมาณผลผลิตและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในกระบวนการผลิตมาวิเคราะห์โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Diagram), การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis), การสร้างกราฟ DIFF และ CUSUM เพื่อนำมากำหนดเป้าหมายและมาตรการอนุรักษ์พลังงานได้อย่างเหมาะสมสามารถนำไปปฏิบัติได้จริง พบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี 2561 มีประสิทธิภาพต่ำกว่าปี 2560 ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับการวิเคราะห์โดยค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) การกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานจึงถูกประเมินจากศักยภาพของการอนุรักษ์พลังงานรวมทั้ง 2 ปี เทียบกับยอดรวมการใช้พลังงานไฟฟ้าของข้อมูลอ้างอิง 6 เดือน 9 เดือน และ 12 เดือน พบว่าโรงงานระเหยน้ำกากส่ายังมีศักยภาพที่จะประหยัดพลังงานได้อีกคิดเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละ 8.64 และเมื่อทำการคำนวณหาร้อยละของผลประหยัดพลังงานไฟฟ้าของมาตรการอนุรักษ์พลังงานทั้งหมดที่นำเสนอมา ได้แก่ มาตรการลดความเร็วรอบของปั๊ม Effect 1–4, Finisher A และ B และพัดลม MVR 1 และ MVR 2 ด้วย VSD และมาตรการลดขนาดปั๊มน้ำ Cooling Tower A และ B พบว่ามีเพียงมาตรการเดียว คือ มาตรการลดความเร็วรอบของพัดลม MVR 1 และ MVR 2 ที่มีร้อยละผลประหยัดมากกว่าร้อยละ 5 แต่ในการนำไปปฏิบัติจริงสามารถเลือกมาตรการได้หลายมาตรการ และใช้วิธีรวมร้อยละผลประหยัดของแต่ละมาตรการที่เลือกไว้ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานที่กำหนดไว้ได้ ซึ่งโรงงานระเหยน้ำกากส่าสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดเป้าหมายและมาตรการอนุรักษ์พลังงาน สำหรับการจัดการพลังงานที่กำลังดำเนินการในปัจจุบันให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นในปีต่อๆ ไป

5.2 ข้อจำกัดและข้อเสนอแนะ

1. ข้อมูลจากโรงงานศึกษานี้ใช้ข้อมูลทุติยภูมิในการวิเคราะห์ ทำให้ไม่สามารถกลับไปตรวจสอบถึงสาเหตุของความคาดเคลื่อนของข้อมูลได้
2. ในการใช้งานแผนภูมิควบคุมรวมสะสม (CUSUM Chart) เพื่อการติดตามผลการอนุรักษ์พลังงานนั้น สมการอ้างอิงที่ใช้ควรทำการเปลี่ยนแปลงตามสถานการณ์ตลอดเวลา เช่น เมื่อมีการดำเนินมาตรการอนุรักษ์พลังงานมาตรการใหม่ ควรใช้ฐาน

อ้างอิงเป็นช่วงเวลาก่อนที่จะเริ่มดำเนินการตามมาตรการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อที่จะทำให้ทราบว่ามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ดำเนินการไปนั้น สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานได้เท่าไหร่

3. งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้พัฒนาและแก้ไขปัญหาในการกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานที่สูงหรือต่ำเกินไป ทำให้มีปัญหาในการนำไปปฏิบัติและดำเนินการมาตรการอนุรักษ์พลังงานในรูปแบบต่างๆ ของงานด้านการจัดการพลังงาน ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะมีประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องและผู้ที่สนใจ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บรรณานุกรม

1. Pacific Gas and Electric Company. (2008). Emerging Technologies Program Application Assessment Report #0705 Creamery MVR Energy Analysis Humboldt Creamery Fortuna California.
2. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. (2561). รายงานการจัดการพลังงานสำหรับโรงงานควบคุม.
3. ขั้นตอนการจัดการพลังงาน 2551. Retrieved from https://www.zeroenergy.co.th/energy-management-system-article/
4. จิราพร อัตตะสาระ. (2558). ประสิทธิภาพพลังงานในกระบวนการผลิตยางรถยนต์ : กรณีศึกษา. (ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
5. ไชยะ แช่มช้อย. (2554). การใช้เทคนิค SPC กับงานการจัดการพลังงาน. . โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
6. บริษัท ไทยเบฟเวอเรจ เอ็นเนอร์ยี่ จำกัด สาขาจังหวัดปทุมธานี. (2561). รายงานการจัดการพลังงาน ประจำปี 2561.
7. เบญจวรรณ นิรมิตวสุ. (2554). การพัฒนาระบบตรวจติดตามผลการอนุรักษ์พลังงานจากมาตรการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานควบคุม. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
8. เป็นธิดา มณีโชติ จันทนา จันทโร และไชยะ แช่มช้อย. (2554). การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม : TSIC 33, 36, 37 และ 38. วารสารวิจัยพลังงาน(ฉบับที่ 2554/2), หน้า 12-13.
9. พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550. (2550). ราชกิจจานุเบกษา
10. พัชรมาศ นุ่มดี. (2554). การศึกษาประสิทธิภาพและตรวจติดตามการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม : TSIC 31, 32, 34 และ 35. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
11. รัตนาพร อิทรพาณิชย์. (2560). การสร้างสมการพยากรณ์การใช้พลังงานด้วยการวิเคราะห์การควบคุมกระบวนการเชิงสถิติ (SPC) กรณีศึกษาโรงงานผลิตเครื่องเสียงติดรถยนต์. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์,

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

12. วรรณวิจิตร พนมเชิง. (2555). การศึกษาเทคโนโลยีบำบัดน้ำกากส่าเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมผลิตสุรา. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต). จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
13. ศุภนิช เจริญสุข. (2555). เอกสารประกอบการสอนวิชาหลักสถิติ. In (pp. หน้า 144 -145). สาขาวิชาคณิตศาสตร์และสถิติ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จังหวัดพิษณุโลก
14. อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ Variable Speed Drive : VSD Retrieved from http://www2.dede.go.th/bhrd/old/dataenergy/DocEnergy/energy%20saving%20Technogy3.htm

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก. 1 การวิเคราะห์ผลต่าง และผลต่างสะสม

เดือน	ผลผลิต (m^3)	ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh)	ปริมาณพลังงานที่ใช้คำนวณจากเส้นฐาน (kWh)	ผลต่าง DIFF (kWh)	ผลต่างสะสม CUSUM (kWh)
1	3,045	740,880	793,828	-52,948	-52,948
2	3,630	1,005,480	912,250	93,230	40,283
3	3,913	941,560	969,537	-27,977	12,305
4	-	-	-	-	12,305
5	3,653	829,160	916,906	-87,746	-75,440
6	3,919	779,440	970,752	-191,312	-266,752
7	3,583	860,920	902,735	-41,815	-308,568
8	3,861	1,087,520	959,011	128,509	-180,059
9	3,041	783,240	793,018	-9,778	-189,837
10	-	-	-	-	-189,837
11	4,265	989,560	1,040,793	-51,233	-241,070
12	3,296	757,920	844,638	-86,718	-327,788
13	2,791	771,880	742,429	29,451	-298,336
14	2,182	673,760	619,130	54,630	-243,706
15	2,822	834,240	748,627	85,613	-158,093
16	3,699	1,062,720	926,195	136,525	-21,568
17	2,561	713,560	695,813	17,747	-3,821
18	3,894	1,034,880	965,732	69,148	65,327
19	4,049	1,051,360	997,028	54,332	119,659
20	4,098	1,063,280	1,006,886	56,394	176,053
21	2,057	549,200	593,764	-44,564	131,490
22	4,376	1,008,760	1,063,344	-54,584	76,906
23	4,127	997,520	1,012,821	-15,301	61,605
24	2,107	542,320	603,928	-61,608	-3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก. 2 ข้อมูลการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลอ้างอิง 6 เดือน

เดือน	ผลผลิต (m^3)	ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh)	ปริมาณพลังงานที่ใช้คำนวณจากเส้นฐาน (kWh)	ผลต่าง DIFF (kWh)	ผลต่างสะสม CUSUM (kWh)
1	3,045	740,880	712,418	28,462	28,462
2	3,630	1,005,480	818,05	187,421	215,883
3	3,913	941,560	869,163	72,397	288,280
4	-	-	-	-	288,280
5	3,653	829,160	822,212	6,948	295,228
6	3,919	779,440	870,247	-90,807	204,421
7	3,583	860,920	809,571	51,349	255,769
8	3,861	1,087,520	859,773	227,747	483,516
9	3,041	783,240	711,696	71,544	555,060
10	-	-	-	-	555,060
11	4,265	989,560	932,728	56,832	611,892
12	3,296	757,920	757,744	176	612,068
13	2,791	771,880	666,567	105,313	717,381
14	2,182	673,760	556,576	117,184	834,565
15	2,822	834,240	672,096	162,144	996,709
16	3,699	1,062,720	830,499	232,221	1,228,930
17	2,561	713,560	624,982	88,578	1,317,508
18	3,894	1,034,880	865,768	169,112	1,486,620
19	4,049	1,051,360	893,686	157,674	1,644,293
20	4,098	1,063,280	902,481	160,799	1,805,093
21	2,057	549,200	533,947	15,253	1,820,345
22	4,376	1,008,760	952,845	55,915	1,876,260
23	4,127	997,520	907,775	89,745	1,966,005
24	2,107	542,320	543,014	-694	1,965,311

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก. 3 ข้อมูลการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลอ้างอิง 9 เดือน

เดือน	ผลผลิต (m^3)	ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh)	ปริมาณพลังงานที่ใช้คำนวณจากเส้นฐาน (kWh)	ผลต่าง DIFF (kWh)	ผลต่างสะสม CUSUM (kWh)
1	3,045	740,880	723,741	17,139	17,139
2	3,630	1,005,480	833,730	171,750	188,889
3	3,913	941,560	886,939	54,621	243,510
4	-	-	-	-	243,510
5	3,653	829,160	838,055	-8,895	234,615
6	3,919	779,440	888,067	-108,627	125,987
7	3,583	860,920	824,894	36,026	162,014
8	3,861	1,087,520	877,162	210,358	372,371
9	3,041	783,240	722,989	60,251	432,623
10	-	-	-	-	432,623
11	4,265	989,560	953,121	36,439	469,062
12	3,296	757,920	770,933	-13,013	456,049
13	2,791	771,880	676,002	95,878	551,927
14	2,182	673,760	561,483	112,277	664,205
15	2,822	834,240	681,759	152,481	816,686
16	3,699	1,062,720	846,683	216,037	1,032,723
17	2,561	713,560	632,705	80,855	1,113,578
18	3,894	1,034,880	883,404	151,476	1,265,054
19	4,049	1,051,360	912,472	138,888	1,403,942
20	4,098	1,063,280	921,628	141,652	1,545,594
21	2,057	549,200	537,922	11,278	1,556,871
22	4,376	1,008,760	974,066	34,694	1,591,565
23	4,127	997,520	927,141	70,379	1,661,945
24	2,107	542,320	547,363	-5,043	1,656,902

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ ก. 4 ข้อมูลการวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลอ้างอิง 12 เดือน

เดือน	ผลผลิต (m^3)	ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh)	ปริมาณพลังงานที่ใช้คำนวณจากเส้นฐาน (kWh)	ผลต่าง DIFF (kWh)	ผลต่างสะสม CUSUM (kWh)
1	3,045	740,880	736,198	4,682	4,682
2	3,630	1,005,480	850,509	154,971	159,653
3	3,913	941,560	905,808	35,752	195,406
4	-	-	-	-	195,406
5	3,653	829,160	855,003	-25,843	169,562
6	3,919	779,440	906,980	-127,540	42,022
7	3,583	860,920	841,325	19,595	61,617
8	3,861	1,087,520	895,647	191,873	253,490
9	3,041	783,240	735,416	47,824	301,314
10	-	-	-	-	301,314
11	4,265	989,560	974,590	14,970	316,284
12	3,296	757,920	785,244	-27,324	288,960
13	2,791	771,880	686,583	85,297	374,257
14	2,182	673,760	567,565	106,195	480,453
15	2,822	834,240	692,566	141,674	622,126
16	3,699	1,062,720	863,970	198,750	820,876
17	2,561	713,560	641,585	71,975	892,851
18	3,894	1,034,880	902,134	132,746	1,025,597
19	4,049	1,051,360	932,344	119,016	1,144,613
20	4,098	1,063,280	941,860	121,420	1,266,033
21	2,057	549,200	543,079	6,121	1,272,154
22	4,376	1,008,760	996,358	12,402	1,284,556
23	4,127	997,520	947,589	49,931	1,334,487
24	2,107	542,320	552,890	-10,570	1,323,917

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์
Variable Speed Drive : VSD

เนื้อหาในภาคผนวกนี้กล่าวถึงอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive : VSD) โดยข้อมูลทั้งหมดที่ปรากฏในภาคผนวกนี้เป็นส่วนหนึ่งของเอกสารเผยแพร่ความรู้เทคโนโลยีประหยัดพลังงาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ("อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ Variable Speed Drive : VSD ")

อุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ (Variable Speed Drive : VSD) เป็นอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ไฟฟ้าให้เหมาะสมกับสภาวะของโหลด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของมอเตอร์ในชบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม ระบบปั๊มน้ำ พัดลม และระบบปรับอากาศขนาดใหญ่ อุปกรณ์ VSD ใช้เทคโนโลยีแบบ Voltage Vector Control (VVC) ทำให้ประสิทธิภาพการควบคุมไม่ให้มีการสูญเสียพลังงานความร้อนในตัวมอเตอร์ (Derating) และมีอุปกรณ์กำจัดสัญญาณรบกวน (Harmonics Filters) ที่เป็นอุปกรณ์มาตรฐานของเครื่องป้องกันการรบกวนสัญญาณควบคุม และยังส่งผลดีในการประหยัดพลังงานอีกด้วย

VSD นำมาใช้กับงานอะไรบ้าง

VSD ได้นำมาใช้อย่างแพร่หลายในทางอุตสาหกรรม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในกระบวนการผลิต ลดต้นทุนและงานทั่วไปในระบบปั๊มน้ำและระบบปรับอากาศ อาทิ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

งานด้านการผลิตในอุตสาหกรรม

- เครื่องจักรกลในอุตสาหกรรมทุกประเภทที่ใช้มอเตอร์เป็นแรงขับเคลื่อน
- ระบบสายพานลำเลียง
- กระบวนการผลิตที่ต้องการควบคุมประสิทธิภาพและคุณภาพการผลิตให้คงที่
- อื่นๆ

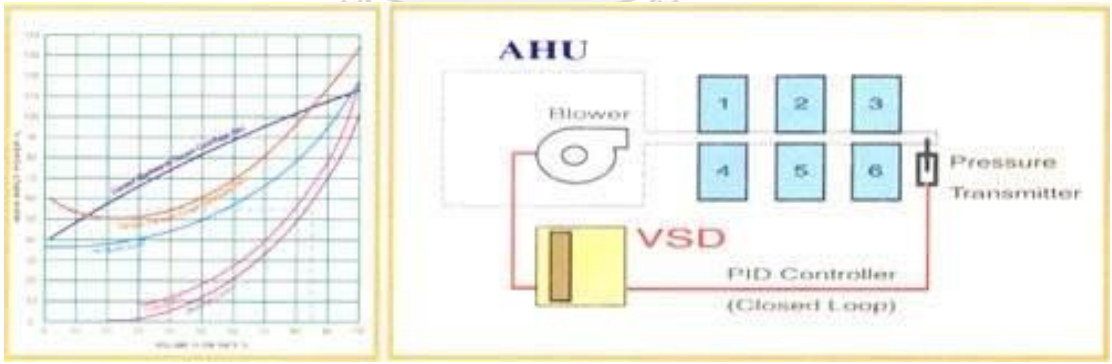
งานทั่วไป ที่มีมอเตอร์เป็นตัวกำเนิดพลังงานกล

- ระบบควบคุมปั๊มน้ำ พัดลม

- ระบบปรับอากาศในโรงงาน และอาคารขนาดใหญ่
- การลำเลียง เช่น ลิฟท์ขนส่ง บรรไดเลื่อน
- ระบบอัดอากาศ ระบบกำจัดคาร์บอนมอนอกไซด์ในที่จอดรถ ฯลฯ
- อื่นๆ

ข้อดีของการใช้ VSD

1. สามารถปรับความเร็วรอบมอเตอร์ได้จากเดิมซึ่งคงที่ ทั้งมอเตอร์ ปั๊มน้ำ และพัดลม ทำให้ได้ ความเร็วรอบที่เหมาะสมตามความต้องการทำงานในแต่ละลักษณะ และยังทำการควบคุมแบบ Closed Loop Control เพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพคงที่อยู่ตลอดเวลา
2. เพิ่มคุณภาพของชิ้นงานให้ถูกต้องตามความต้องการ และลดต้นทุนในการผลิต
3. ช่วยลดการสึกหรอของเครื่องจักร และป้องกันการสูญเสียของมอเตอร์ พัดลม และปั๊มน้ำ
4. ลดการกระชากไฟฟ้าตอนเริ่มต้น ทำให้ลดค่าความต้องการพลังไฟฟ้า โดยเฉพาะมอเตอร์ที่มีขนาดใหญ่
5. ประหยัดพลังงาน โดยใช้พลังงานตามความจำเป็นของโหลด



แผนภูมิแสดงการใช้กำลังงานของพัดลม/ปั๊ม

ความคุ้มค่าการลงทุน

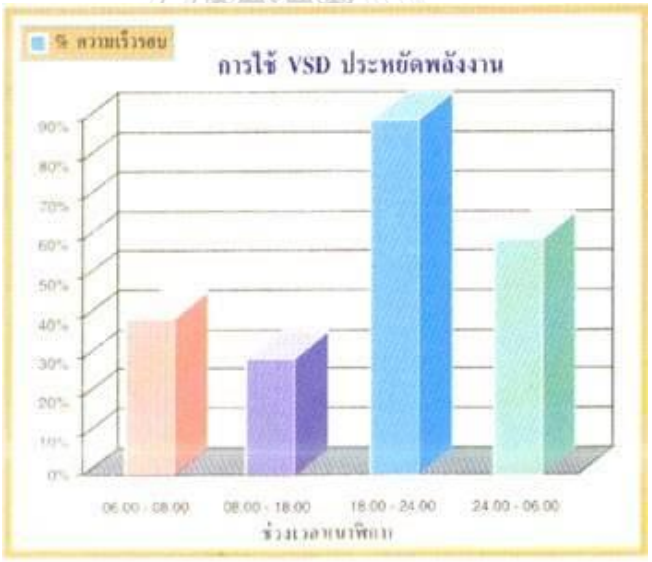
เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ สามารถเปรียบเทียบระหว่างการใช้ VSD และการไม่ใช้ VSD ได้ดังนี้

สมมุติ ในงานระบบปรับอากาศที่มีขนาดใหญ่ เช่น ในโรงแรม ในอาคารขนาดใหญ่ หรือในโรงงานอุตสาหกรรมที่มีมอเตอร์ขนาดใหญ่ในระบบทำความเย็น ซึ่งในที่นี่ยกตัวอย่าง 75 กิโลวัตต์ ปกติทำงาน 24 ชั่วโมงต่อวัน และประมาณการค่าไฟฟ้า และค่าดีมานด์ชาร์จ หน่วยละ 1.70 บาท โดยกรณีศึกษาจะเปรียบเทียบระหว่างกรณีการใช้ VSD และกรณีไม่ใช้ VSD ดังนี้

กรณีที่ไม่ใช้ VSD

ในกรณีนี้จะเห็นว่า มอเตอร์ทำงานเต็มพิกัดตลอดเวลา ดังนั้นการเสียค่าไฟต่อวันจะคำนวณได้จาก ค่าไฟฟ้าต่อวัน = 75 กิโลวัตต์ x 24 ชั่วโมง x 1.7 บาท = 3,060 บาท/วัน
ค่าไฟฟ้าต่อวัน = 3,060 บาท x 360 วัน = 1,101.600 บาท/ปี

ตัวอย่าง จากรูปเป็นข้อมูลที่ได้จากการใช้ VSD ในการทำงาน โดยใช้ Pressure Transmitter เป็นตัวเซ็นเซอร์ให้กับระบบ ทำให้การทำงานของเครื่องปรับความเร็วมอเตอร์ไปตามโหลดจริงที่ต้องการใช้ซึ่งแสดงให้เห็นจากกราฟได้ดังนี้



จากกราฟการทำงานในแต่ละช่วงเวลาที่แตกต่างกัน มอเตอร์ปรับความเร็วไปตามโหลดจริงดังนี้

ช่วงเวลา	จำนวนชั่วโมง	% ของความเร็วรอบที่ใช้จริง
06.00 - 08.00	2	40%
08.00 - 18.00	10	20%
18.00 - 24.00	6	90%
24.00 - 06.00	6	60%

เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ เราต้องรู้ถึงความสัมพันธ์ของพลังงาน (Power), Flow/Speed และ Pressure สัมพันธ์กันได้ดังตารางข้างล่างนี้

อัตราการไหล Flow (n)	แรงดันในท่อ Pressure (n^2)	พลังงานที่ใช้ Power (n^3)
0.0%	0.0%	0.0%
10.0%	1.0%	0.1%
20.0%	4.0%	0.8%
30.0%	9.0%	2.7%
40.0%	16.0%	6.4%
50.0%	25.0%	12.5%
60.0%	36.0%	21.6%
70.0%	49.0%	34.3%
80.0%	64.0%	51.2%
90.0%	81.0%	72.9%
100.0%	100.0%	100.0%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

เห็นได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบกับพลังงาน ดังนี้

* Flow มีค่าแปรผันตามความเร็วรอบ (Speed หรือค่า n) ; $Q_1/Q_2 = N_1 /N_2$

* แรงดัน (Pressure) มีความสัมพันธ์ยกกำลังสองของความเร็วรอบ (n^2) ; $P_1 / P_2 = (N1 / N_2)^2$

* และพลังงาน = ความเร็วรอบยกกำลังสาม (n^3); $HP_1 / HP_2 = (N_1 / N_2)^3$

นั่นคือ Flow / Speed (n) = Pressure (n^2) = Power (n^3)

กรณีที่ใช้ VSD

เราสามารถนำข้อมูลจากตารางข้างต้นมาหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไป โดยความสัมพันธ์ของความเร็วรอบ (Speed :Hz) อัตราการไหลของลม (Flow) และพลังงานไฟฟ้าเป็น % เมื่อเทียบกับมอเตอร์ที่ความเร็วเต็มพิกัดที่ 75 กิโลวัตต์

ความเร็วรอบ (n)	พลังงาน (n^3)	จำนวนกิโลวัตต์เทียบกับมอเตอร์ 75 (100%)	คูณกับจำนวนชั่วโมง
100% = 1	1.0^3 = 1.0 = 100%	100% x 75 = 75 กิโลวัตต์	75 x 0 = 0
90% = 0.9	9.0^3 = 0.729 = 72.9%	72.9% x 75 = 54.7 กิโลวัตต์	54.7 x 2 = 109.4
60% = 0.6	21.6%	= 16.2 กิโลวัตต์	16.2 x 10 = 162.0
40% = 0.4	6.4%	= 4.8 กิโลวัตต์	4.8 x 6 = 28.8
30% = 0.3	2.7%	= 2.0 กิโลวัตต์	2.0 x 6 = 12.0
จะได้จำนวนหน่วยที่ใช้ต่อวัน			= 312.2 หน่วย

จำนวนพลังงานที่ใช้ต่อปี = 312.2 x 360 = 122,392

ค่าไฟฟ้าต่อปีในกรณีที่ใช้ VSD = 112,392 x 1.70 = 191.066 บาทต่อปี

* ความแตกต่างของตัวเงินระหว่างการเลือกใช้ VSD และกรณีไม่ใช้ VSD

= 1,101,600 – 191,066 = 910,534 บาทต่อปี

* ระยะเวลาคืนทุน

= เงินลงทุน / เงินค่าไฟที่ประหยัดได้ต่อปี = 700,000 / 910,534 = 0.77 ปีหรือประมาณ 9 เดือน**

หมายเหตุ ** คำนวณจากตัวเลขตารางข้างต้น ระยะคืนทุนอาจแตกต่างตามการใช้งานจริง

สรุป ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความสำคัญของการใช้ VSD สามารถช่วยลดปัญหาการสูญเสียพลังงานได้และหากคิดในด้านการลงทุนแล้ว สามารถคืนทุนได้ในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งส่งผลดีต่อผู้ใช้งาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวสิริรัตน์ เนติพัติ
วัน เดือน ปี เกิด	12 เมษายน 2528
สถานที่เกิด	จังหวัดสมุทรสงคราม
วุฒิการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต) สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
ที่อยู่ปัจจุบัน	875/475 โครงการรีเจ้นท์โฮมบางซ่อน เฟส 27 อาคาร B ชั้น 13 ซอยกรุงเทพ-นนท์ 23/1 ถนน กรุงเทพ-นนทบุรี แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800
ผลงานตีพิมพ์	สิริรัตน์ เนติพัติ, สมพงษ์ พุทธิวิสุทธิศักดิ์. การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับโรงงานระเหยน้ำกากส่า. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 38 ประจำปี 2563 (IE Network 2020). พ.ศ. 2563 : 128-133.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University