การตั้งเป้าหมายพลังงานและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรการผลิตในโรงงานเคมีภัณฑ์

น.ส.อังคนา สังข์ทองจีน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สหสาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Energy Targeting and Energy Efficiency Improving of Production Machine in Chemical Factory

Miss Aungkna Sungtonggen

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

A Thesis 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

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การตั้งเป้าหมายพลังงานและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรการผลิตในโรงงานเคมีภัณฑ์
โดย	น.ส.อังคนา สังข์ทองจีน
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร.จิตติน แตงเที่ยง

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธรรมนูญ หนูจักร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์ ศรีเจริญชัยกุล)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์ ดร.จิตติน แตงเที่ยง)

.... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ประพันธ์ คูชลธารา)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย

(ดร.ปรางค์ทิพย์ ฤทธิโชติ แก้วเพ็งกรอ)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

อังคนา สังข์ทองจีน : การตั้งเป้าหมายพลังงานและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรการผลิตในโรงงานเคมีภัณฑ์. (Energy Targeting and Energy Efficiency Improving of Production Machine in Chemical Factory) อ.ที่ปรึกษาหลัก : รศ. ดร.วิทยา ยงเจริญ, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ. ดร.จิตติน แตงเที่ยง

งานวิจัยฉบับนี้ศึกษาถึงการใช้พลังงานของโรงงานเคมีภัณฑ์ตัวอย่าง โดยเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา11เดือนของการใช้พลังงานจากระบบการติดตามการใช้พลังงาน (Energy Monitoring System) และ ข้อมูลของปริมาณผลผลิตต่อวันมาวิเคราะห์เพื่อเป้าหมายการใช้พลังงานและเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการพลังงานของโรงงานตัวอย่าง โดยแยกย่อยศึกษาแต่ละระบบในพื้นที่นั้นซึ่งประกอบด้วย ระบบไฟฟ้าสำหรับเครื่องจักรการผลิต ระบบอากาศอัด ระบบไฟส่องสว่าง ระบบระบายอากาศ และ ระบบทำความเย็น เพื่อกำหนดพลังงานฐาน (Energy Baseline) และ กำหนดเป้าหมายพลังงาน (Energy Target) ของพื้นที่การผลิตรายอาทิตย์และรายเดือนด้วยสมการเชิงเส้นแบบง่าย ในการวิเคราะห์ข้อมูลสำหรับการใช้พลังงานของระบบที่ขึ้นอยู่กับปริมาณการผลิต และใช้ค่าที่ดีที่สุดกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานของระบบที่ปริมาณการใช้พลังงานไม่ขึ้นกับปริมาณการผลิต รวมทั้งนำข้อมูลการใช้พลังงานที่ความละเอียดทุก 30 วินาทีเปรียบเทียบกับโปรไฟล์อุณหภูมิของเครื่องจักร CMMP ซึ่งเป็นเครื่องจักรสำหรับสร้างรูปทรงของชิ้นงาน จากการศึกษาพบว่าถ้าไม่มีแผนการผลิตนานกว่า 3 ชั่วโมงควรเปลี่ยนจากสแตนด์บายโหมด (Standby Mode) เป็นการปิดเครื่องเมื่อไม่ใช้งานจะลดปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ได้เฉลี่ย 390 kWh/day และเพื่อการสื่อสารที่ชัดเจนกับผู้เกี่ยวข้อง งานวิจัยฉบับนี้ได้มีการสร้างกระดานสรุปข้อมูลการใช้พลังงาน (Energy Dashboard) ด้วย Microsoft Power Bi เพื่อติดตามการใช้พลังงานรายวันของแต่ละพื้นที่การผลิตและมีกิจกรรม Green day เพื่อเพิ่มความตระหนักต่อการใช้พลังงานของพนักงานในโรงงาน

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

6187569020 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT
KEYWORD: Energy Management, Energy Monitoring System, Energy Target, Energy Saving

Aungkna Sungtonggen : Energy Targeting and Energy Efficiency Improving of Production Machine in Chemical Factory. Advisor: Asst. Prof. Withaya Yongchareon, Ph.D. Co-advisor: Asst. Prof. CHITTIN TANGTHIENG, Ph.D.

This research study energy consumption of chemical plant by analyzing 11 months energy consumption from Energy Monitoring System with production quantity for define energy target and improve energy management foundation of factory which review electricity consumption of each sub system load included production machine, illumination, ventilation, air condition system, and compressed air. From this study provide data for linear regression analysis to define Energy Baseline and Energy Target by weekly and monthly production period. Energy Consumption also was investigated with production machine temperature profile and found that CMMP machine ,which used for product profile creating, when no production longer 3 hours shall be switched off instead of operated in standby mode, With this policy which require no investment can save 390 kwh/day. After define target and implement energy saving policy, this research increased employee awareness by introducing energy dashboard which create by Microsoft PowerBi for daily energy tracking of production shop floor and conducted energy saving day in plant

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

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอใช้โอกาสนี้ขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ วิทยา ยงเจริญ และรองศาสตราจารย์ ดร. จิตติน แตงเที่ยง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม สำหรับคำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบพระคุณครอบครัวที่สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้สำหรับผู้เขียน และขอบคุณบริษัทตัวอย่างสำหรับข้อมูลในการศึกษา รวมถึงพี่และเพื่อนร่วมงานสำหรับความรู้และประสบการณ์ที่แบ่งปันให้ระหว่างที่ผู้เขียนทำวิจัย

อังคนา สังข์ทองจีน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

.... ค

บทคัดย่อภาษาไทย.. ค

.... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.. ง

กิตติกรรมประกาศ... จ

สารบัญ... ฉ

สารบัญตาราง... ฌ

สารบัญรูปภาพ.. ญ

บทที่ 1.. 1

บทนำ.. 1

1.1 ที่มา 1

1.2 วัตุประสงค์งานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตการวิจัย... 2

1.4 ขั้นตอนการวิจัย.. 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.. 3

บทที่ 2 4

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ทฤษฎี4

2.1.1 นิยาม 4

2.1.2 ระบบการจัดการพลังงานมาตรฐานสากล (ISO50001) 5

2.1.3 เทคนิคการจัดการพลังงาน MT&R 6

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.1.4 การวิเคราะห์เชิงสถิติ 6

2.1.5 กำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน 11

2.1.6 ธุรกิจอัจฉริยะ 12

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 13

บทที่ 3 19

วิธีการดำเนินการวิจัย 19

3.1 ข้อมูลด้านพลังงานของโรงงานตัวอย่าง 19

3.2 เทคโนโลยีระบบติดตามการใช้พลังงาน (Energy Monitoring System หรือ EMS) 22

3.3 วิธีการกำหนดสมการการใช้พลังงานฐานและสมการเป้าหมายการการใช้พลังงาน 26

3.4 เป้าหมายการใช้พลังงานระดับโรงงาน 30

3.5 ระดับพื้นที่การผลิต 33

3.5.1 พื้นที่ MX 37

3.5.2 พื้นที่ HP 40

3.5.3 พื้นที่ TB 44

3.5.4 พื้นที่ CU 48

3.5.5 พื้นที่ FF 52

3.6 กรณีศึกษาลดการใช้พลังงานเครื่องจักรของพื้นที่ HP 56

3.6.1 การทำงานของเครื่องจักร CPMM 57

3.6.2 การประยุกต์ใช้เทคนิค MT&R ในการอนุรักษ์พลังงาน 58

3.7 กิจกรรมส่งเสริมความตระหนักการใช้พลังงาน 63

3.7.1 วันพลังงาน 63

3.7.2 การสร้างกระดานสรุปข้อมูลในพื้นที่การผลิต 65

บทที่ 4 66

ผลการดำเนินการ 66

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

4.1 สมการการใช้พลังงานพื้นฐานและสมการเป้าหมายการใช้พลังงาน 66
4.2 ผลประหยัดจากการศึกษาเครื่อง CPMM..... 68
4.3 สร้างความตระหนักต่อเครื่องการอนุรักษ์พลังงาน..... 69
บทที่ 5 71
สรุปผล 71
5.1 สรุปผลการวิจัย..... 71
ภาคผนวก ก..... 74
ภาคผนวก ข..... 86
ภาคผนวก ค..... 93
บรรณานุกรม..... 95
ประวัติผู้เขียน..... 97

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์ของค่าสหสัมพันธ์ 8
ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างค่าพลังงานจำเพาะ 16
ตารางที่ 2.3 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม 16
ตารางที่ 3.1 ปริมาณการใช้พลังไฟฟ้าต่อผลผลิตรายเดือน 20
ตารางที่ 3.2 ข้อมูลการใช้พลังงานระดับโรงงาน เทียบกับสมการพลังงานฐานปี 2020 30
ตารางที่ 3.3 สมการตัวแทนการใช้พลังชุดข้อมูลของปี 2019,2020,และสมการเป้าหมาย 31
ตารางที่ 3.4 สาเหตุและวิธีการแก้ไขของการเปิด TCU เมื่อไม่มีการผลิต 59
ตารางที่ 4.1 สรุปเป้าหมายการใช้พลังงานในพื้นที่การผลิต 67
ตารางที่ 4.2 คะแนนความตระหนักถึงการใช้พลังงานก่อนและหลังทำกิจกรรมอนุรักษ์พลังงาน 69
ตารางที่ ก.1 เปรียบเทียบสมการตัวแทนและค่าพลังงานจำเพาะของพื้นที่ MX 75
ตารางที่ ก.2 ปริมาณการใช้พลังงานระบบไฟส่องสว่าง ระบบทำความเย็น ระบบระบายอากาศ ของพื้นที่ MX 76
ตารางที่ ก.3 เปรียบเทียบสมการตัวแทนและค่าพลังงานจำเพาะของพื้นที่ HP 77
ตารางที่ ก.4 ปริมาณการใช้พลังงานและผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ HP 79
ตารางที่ ก.5 เปรียบเทียบสมการตัวแทนและค่าพลังงานจำเพาะของพื้นที่ TB 80
ตารางที่ ก.6 ปริมาณการใช้พลังงานและผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ TB 81
ตารางที่ ก.7 เปรียบเทียบสมการตัวแทนและค่าพลังงานจำเพาะของพื้นที่ CU 82
ตารางที่ ก.8 ปริมาณการใช้พลังงานและผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ CU 83
ตารางที่ ก.9 เปรียบเทียบสมการตัวแทนและค่าพลังงานจำเพาะของพื้นที่ FF 84
ตารางที่ ก.10 ปริมาณการใช้พลังงานและผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ FF 85

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 การจัดการพลังงานตามกฎหมายของประเทศไทย 5
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของแผนผังการกระจายตัว (ซ้าย) ทางบวก (กลาง)ไม่สัมพันธ์ (ขวา) ทางลบ 7
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแผนผังการกระจายตัว (Scatter Plot Diagram) 8
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างกราฟ CUSUM 11
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน 12
รูปที่ 2.6 แนวคิดของการวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วยสมการพื้นฐาน 12
รูปที่ 2.7 วิเคราะห์ข้อมูลของการใช้พลังงาน 14
รูปที่ 2.8 แบบจำลองการใช้พลังงานด้วย Simple Linear Regression 15
รูปที่ 2.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากแผนผังการกระจายตัว 18
รูปที่ 2.10 แผนผังการกระจายตัวและกำหนดสมการการใช้พลังงาน 18
รูปที่ 3.1 สัดส่วนการใช้พลังงานของไฟฟ้าและก๊าซธรรมชาติของโรงงานตัวอย่าง 19
รูปที่ 3.2 สัดส่วนการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่างโดยแบ่งตามพื้นที่การใช้งาน 21
รูปที่ 3.3 โครงข่ายระบบการติดตามการใช้พลังงาน 23
รูปที่ 3.4 เครื่องมือวัดที่ใช้ในระบบ EMS 23
รูปที่ 3.5 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัด 25
รูปที่ 3.6 หน้าจอแสดงผลของ Energy Monitoring System (EMS) 26
รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการกำหนดสมการอ้างอิง (Energy Baseline) 28
รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน 29
รูปที่ 3.9 แผนผังการกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าและผลผลิตของโรงงาน 31
รูปที่ 3.10 กราฟ CUSUM ของโรงงาน 32
รูปที่ 3.11 โครงสร้างของการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานของพื้นที่การผลิต 33
รูปที่ 3.12 แผนผังการจ่ายไฟฟ้าสู่ระบบต่างๆ 34
รูปที่ 3.13 แผนผังการกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าและผลผลิตรายเดือนของพื้นที่ MX 38
รูปที่ 3.14 ปริมาณไฟฟ้าส่วนแปรผันตามผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ MX 39
รูปที่ 3.15 กราฟกำลังไฟฟ้าของพื้นที่ MX 40
รูปที่ 3.16 แผนผังการกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าและผลผลิตรายเดือนของพื้นที่ HP 41

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.17 ปริมาณพลังงานในส่วนปริมาณแปรผันตามผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ HP 42
รูปที่ 3.18 ปริมาณพลังงานในส่วนปริมาณคงที่ตามผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ HP 43
รูปที่ 3.19 กราฟกำลังไฟฟ้าของพื้นที่ HP 44
รูปที่ 3.20 แผนผังการกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าและผลผลิตของพื้นที่ TB 45
รูปที่ 3.21 ปริมาณพลังงานในส่วนปริมาณแปรผันตามผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ TB.................. 46
รูปที่ 3.22 ปริมาณพลังงานในส่วนปริมาณคงที่ตามผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ TB........................ 47
รูปที่ 3.23 กราฟกำลังไฟฟ้าของพื้นที่ TB... 48
รูปที่ 3.24 แผนผังการกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าและผลผลิตของพื้นที่ CU................................. 49
รูปที่ 3.25 ปริมาณพลังงานในส่วนปริมาณแปรผันตามผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ CU 50
รูปที่ 3.26 ปริมาณพลังงานในส่วนปริมาณคงที่ตามผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ CU 51
รูปที่ 3.27 กราฟกำลังไฟฟ้าของพื้นที่ CU 52
รูปที่ 3.28 แผนผังการกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าและผลผลิตของพื้นที่ FF................................... 53
รูปที่ 3.29 ปริมาณพลังงานในส่วนปริมาณแปรผันตามผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ FF 54
รูปที่ 3.30 ปริมาณพลังงานในส่วนปริมาณคงที่ตามผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ FF 55
รูปที่ 3.31 กราฟกำลังไฟฟ้าของพื้นที่ FF 56
รูปที่ 3.32 การทำงานของเครื่องจักรการผลิต HP 57
รูปที่ 3.33 แผนผังการกระจายตัวของพลังงานและผลผลิตของเครื่องจักร CPMM 58
รูปที่ 3.34 การใช้พลังงานของเครื่องจักร CPMM และ TCU 59
รูปที่ 3.35 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเครื่องจักรและการใช้พลังงานของเครื่องจักร............................. 60
รูปที่ 3.36 ประชาสัมพันธ์กิจกรรมและมอบของรางวัล 64
รูปที่ 3.37 เกม Bike for Watt.. 64
รูปที่ 3.38 QR code แบบสำรวจความตระหนักด้านพลังงาน.. 64
รูปที่ 3.39 รายงานการใช้พลังงานด้วย Power Bi 65
รูปที่ 4.1 ติดตามผลประหยัดด้วยกราฟ CUSUM ของเครื่อง CPMM 68
รูปที่ ก.1 กราฟแท่งเปรียบผลผลิตและพลังงานจำเพาะรายเดือนของพื้นที่ MX 75
รูปที่ ก.2 กราฟ CUSUM รายเดือนของพื้นที่ MX 75
รูปที่ ก.3 กราฟแท่งเปรียบผลผลิตและพลังงานจำเพาะรายเดือนของพื้นที่ HP 77
รูปที่ ก.4 กราฟ CUSUM รายเดือนของพื้นที่ HP 77

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ ก.5 กราฟแท่งเปรียบผลผลิตและพลังงานจำเพาะรายเดือนของพื้นที่ TB 80
รูปที่ ก.6 กราฟ CUSUM รายเดือนของพื้นที่ TB.. 80
รูปที่ ก.7 กราฟแท่งเปรียบผลผลิตและพลังงานจำเพาะรายเดือนของพื้นที่ CU................................ 82
รูปที่ ก.8 กราฟ CUSUM รายเดือนของพื้นที่ CU 82
รูปที่ ก.9 กราฟแท่งเปรียบผลผลิตและพลังงานจำเพาะรายเดือนของพื้นที่ FF................................. 84
รูปที่ ก.10 กราฟ CUSUM รายเดือนของพื้น FF 84
รูปที่ ข.1 แบบสอบถามส่วนที่ 1... 87
รูปที่ ข.2 แบบสอบถามส่วนที่ 1 (ต่อ).. 88
รูปที่ ข.3 แบบสอบถามส่วนที่ 2... 89
รูปที่ ข.4 แบบสอบถามส่วนที่ 3... 90
รูปที่ ข.5 แบบสอบถามส่วนที่ 3 (ต่อ).. 91
รูปที่ ข.6 แบบสอบถามส่วนที่ 4... 92
รูปที่ ค.1 สร้างENERGY DASH BOARD ด้วย MICROSOFT POWER BI 94

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มา

โรงงานตัวอย่างที่นำมาศึกษานั้นอยู่ในช่วงเริ่มต้นผลิต จึงให้ความสำคัญกับจำนวนยอดการผลิตเป็นหลักโดยละเลยการคำนึงถึงการใช้พลังงานให้คุ้มค่า ดังนั้นเพื่อการแข่งขันที่ยั่งยืนในอุตสาหกรรมชิ้นส่วนยานยนต์นั้น ทางบริษัทตัวอย่างจึงต้องการลดสัดส่วนของรายจ่ายจากการใช้พลังงาน โดยวิธีการลดการใช้พลังงานที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ กำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานและหาจุดที่เหมาะสมของเครื่องจักรระหว่างพลังงานที่ใช้และค่าที่ตั้งค่าของเครื่องจักรเช่นระยะเวลาในการเดินเครื่องจักร,แผนการผลิต,อุณหภูมิที่ใช้เป็นต้น

งานวิจัยครั้งนี้จึงจะศึกษาและนำเสนอถึงวิธีการ, แผนการ, โอกาสการอนุรักษ์พลังงาน และวางแบบแผนการจัดการพลังงานของโรงงาน โดยให้ความสำคัญกับเครื่องจักรในส่วนของการผลิตเป็นหลักและผลประหยัดที่ได้จากคนเป็นประเด็นรอง โดยการศึกษาครั้งนี้ใช้ระบบติดตามการใช้พลังงาน (Energy Monitoring System หรือ EMS) เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลการใช้พลังของเครื่องจักรเพื่อกำหนดสมการฐานด้านพลังงาน (Energy Baseline หรือ EnB), เป้าหมายการใช้พลังงาน (Energy Target Line) และคำนวณค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption หรือ SEC)

ปัจจุบันจากการพัฒนาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศในการเก็บข้อมูลทำให้องค์กรต่างๆ สามารถนำข้อมูลขนาดใหญ่หรือเทคโนโลยีข้อมูลขนาดใหญ่ (Big Data) เข้ามาช่วยเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์และตัดสินใจ (Data Driven) โรงงานตัวอย่างจึงนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการพลังงานในโรงงานด้วยเทคโนโลยีระบบบริหารจัดการข้อมูลด้านพลังงาน (Energy Management Information System หรือ EMIS) ที่ส่งเสริมให้โรงงานอุตสาหกรรมสามารถจัดเก็บข้อมูลขนาดใหญ่จากเครื่องมือวัดพลังงาน โดยการนำเทคโนโลยี IoT (Internet of thing) มาประยุกต์ใช้เพื่อเก็บข้อมูลปริมาณพลังงานและปริมาณการผลิตจากแต่ละเครื่องจักรการผลิต โดยพลังงานในที่นี้รวมทั้งพลังงานรูปแบบต่างๆเช่น ไฟฟ้า เชื้อเพลิง ไอน้ำ ความร้อน อากาศอัดเป็นต้น ด้วยเทคโนโลยีสารสนเทศโรงงานตัวอย่างจึงนำข้อมูลจาก EMS มาวิเคราะห์ผลทางสถิติและอนุกรมเวลาเช่น การใช้การวิเคราะห์สมการถดถอยอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ในการศึกษาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆที่มีผลต่อการใช้พลังงานเพื่อกำหนดสมการฐานด้านพลังงาน (Energy Baseline หรือ EnB) และ CUSUM (Cumulative Sum) เพื่อทราบถึงการเปลี่ยนแปลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ปริมาณการใช้พลังงานที่แท้จริงภายหลังจากการอนุรักษ์พลังงาน

โดยงานวิจัยครั้งนี้เลือกใช้ผลประหยัดที่เกิดขึ้น และคะแนนจากแบบสอบถามของพนักงานในโรงงานเป็นตัวชี้วัดถึงความคุ้มค่าของการใช้พลังงานในบริษัท โดยเทียบกับค่ามาตรฐานของโรงงานในปีแรกของการผลิต รวมถึงใช้เป็นเครื่องมือเปรียบเทียบผลลัพธ์ก่อนและหลังการปรับปรุง และสรุปเป้าหมายการใช้พลังงานเพื่อเป็นแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานต่อไป

1.2 วัตุประสงค์งานวิจัย

1. สร้างฐานข้อมูล (Baseline) ของการใช้พลังงานในแต่สายการผลิต เพื่อแสดงโอกาสการลดการใช้พลังงานที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์
2. ลดค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะของเครื่องจักรที่ศึกษา เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานก่อนทำการศึกษา
3. พนักงานตระหนักกับการอนุรักษ์พลังงานมากขึ้นอย่างน้อย 30 % เทียบจากแบบสำรวจก่อนและหลังทำการศึกษา

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. การวิจัยนี้ครอบคลุมพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับเครื่องจักรในส่วนการผลิตในโรงงาน 1 โรงงาน
2. ข้อมูลที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ถูกเก็บที่ค่าความละเอียด (Sampling Rate) 15 นาที เริ่มตั้งแต่เดือนกรกฎาคม 2019 จนถึง พฤษภาคม 2020
3. ความสามารถในการผลิตของโรงงานตัวอย่างอยู่ในระยะเริ่มต้นและเครื่องจักรการผลิตยังไม่ถูกเดินเครื่องเต็มประสิทธิภาพ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.4 ขั้นตอนการวิจัย

1. ติดตั้งระบบติดตามการใช้พลังงานของโรงงาน
2. บันทึกข้อมูลพลังงานที่เครื่องจักรทุกเครื่องในสายการผลิตใช้เช่น ไฟฟ้า ไอน้ำ อากาศอัด น้ำร้อน และน้ำเย็น
3. ทำแบบสำรวจการอนุรักษ์สำหรับพนักงานก่อนการศึกษา
4. บันทึกปริมาณของผลผลิตที่ได้จากแต่ละเครื่องจักร
5. คำนวณสัมประสิทธิค่าพลังงานเฉพาะต่อหน่วยการผลิตเพื่อใช้เลือกเครื่องจักรในการศึกษาเพื่อหาวิธีการลดการใช้พลังงานของเครื่องจักรนั้น
6. วิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานของเครื่องจักรด้วยแบบจำลองพลังงาน (Energy Performance Model) เพื่อกำหนดเป้าหมาย

7. พิจารณากระบวนการ หรือเครื่องจักรที่เกิดการสูญเสียของพลังงาน
8. กิจกรรมอนุรักษ์พลังงาน
9. ศึกษาตัวแปรเพื่อปรับปรุงการสูญเสียพลังงาน
10. นำผลที่ได้จากการศึกษามาปรับปรุงกระบวนการหรือเครื่องจักรและบันทึกผล
11. ทำแบบสำรวจหลังจากเริ่มโครงการการประหยัดพลังงาน
12. พิจารณาผลที่ได้จากการปรับปรุงพลังงานและคนด้านตัวเงิน
13. สรุปผลของการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. โรงงานมีรากฐานการอนุรักษ์พลังงานที่ชัดเจน
2. ลดพลังงานต่อหน่วยของการผลิตพิจารณาจากการลดของค่าค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ
3. พนักงานให้ความร่วมมือกับการลดการใช้พลังงานมากขึ้นอย่างน้อย 30 %

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 นิยาม

- พลังงาน (Energy)

หมายถึงพลังงานไฟฟ้ารวมถึงเชื้อเพลิง ความร้อน อากาศอัดและพลังงานรูปแบบอื่น ๆ

- การจัดการพลังงาน[1]

หมายถึงระบบการดำเนินงานภายในองค์กร ซึ่งประกอบด้วย บุคลากร ทรัพยากร นโยบาย และขั้นตอนการดำเนินการ โดยมีการทำงานประสานกันอย่างมีระเบียบและแบบแผน เพื่อปฏิบัติ งานที่กำหนดไว้หรือเพื่อให้บรรลุหรือรักษาเป้าหมายที่กำหนดไว้

- ข้อมูลฐานด้านพลังงานหรือค่ามาตรฐานด้านพลังงาน (Energy Baseline)

หมายถึงปริมาณเชิงอ้างอิงเพื่อใช้เป็นฐานการเปรียบเทียบสมรรถนะด้านพลังงาน ในช่วงเวลาหนึ่ง โดยเปรียบเทียบกับตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงาน (Energy Driver) เช่น ปริมาณผลผลิต สภาพอากาศ ปริมาณผู้ใช้งาน เป็นต้น

- เป้าหมายพลังงาน (Energy Target)

หมายถึงข้อกำหนดหรือเป้าหมายด้านพลังงานที่กำหนดจากวัตถุประสงค์ด้านพลังงาน

- นโยบายพลังงาน (Energy Policy)

หมายถึง ความตั้งใจและทิศทางการจัดการพลังงานขององค์กร

- ระบบจัดการข้อมูลด้านพลังงาน (Energy Management Information System)

หมายถึงการใช้ประโยชน์จากอุปกรณ์, ซอฟต์แวร์ (Software), ข้อมูลเพื่อให้ผู้ดูแลการใช้พลังงานสามารถนำไปใช้สำหรับจัดการการใช้พลังงาน

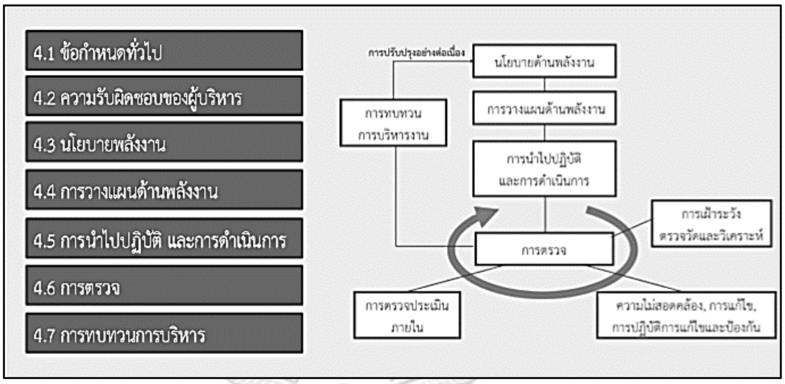
- ระบบธุรกิจอัจฉริยะ (Business Intelligence หรือ BI)

หมายถึง ซอฟต์แวร์ที่นำข้อมูลที่มีอยู่มาวิเคราะห์เพื่อจัดทำรายงานในรูปแบบต่างๆ โดยทำหน้าที่ในการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลและนำเสนอในรูปแบบของรายงานชนิดต่างๆที่เหมาะสมกับมุมมองในการวิเคราะห์และตรงตามความต้องการของผู้ใช้งาน[2] การวิเคราะห์ข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบหลายมิติ (Multidimensional Model) ซึ่งจะทำให้สามารถดูข้อมูลแบบเจาะลึกได้หลากหลาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.2 ระบบการจัดการพลังงานมาตรฐานสากล (ISO50001)

ISO 50001 เป็นมาตรฐานระบบจัดการพลังงานที่ระบุถึงข้อกำหนด ข้อแนะนำสำหรับองค์กรในการจัดทำ นำไปปฏิบัติ คงรักษาไว้และปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานที่มีขั้นตอนดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การจัดการพลังงานตามกฎหมายของประเทศไทย

โดยมีการเปรียบเทียบ ISO50001 และ กฎหมายการจัดการพลังงานตามกฎหมายของประเทศไทย ในหัวข้องานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งทั้ง 2 มาตรฐานนี้ได้อ้างอิงมาจากวงล้อ P-D-C-A (Plan-Do-Check-Act Cycle) โดยอธิบายแต่ละขั้นตอนที่นำมาประยุกต์ใช้กับการอนุรักษ์พลังงานได้ดังนี้

1) การวางแผนพลังงาน (Plan)

วัดและวิเคราะห์ข้อมูลการใช้พลังงาน เช่น การใช้พลังงานที่มีนัยสำคัญ (Significant Energy Usage หรือ SEU), กำหนดข้อมูลฐานด้านพลังงาน (Energy Baseline หรือ EnB) ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน (Energy Performance Indicator หรือ EnPI) และกำหนดวัตถุประสงค์ เป้าหมายและแผนการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2) การปฏิบัติ (Do)

การดำเนินตามแผนปฏิบัติด้านพลังงาน เช่นการฝึกอบรมเพื่อเพิ่มความตระหนักด้านพลังงานของบุคคลากรในองค์กร การสื่อสารภายในและนอกองค์กร การจัดทำเอกสารข้อกำหนดและ ควบคุมเอกสาร

3) การตรวจสอบ (Check)

เป็นกระบวนการตรวจสอบสำหรับติดตามตัวแปรที่สำคัญที่มีผลต่อสมรรถนะด้านพลังงานและติดตามผลเป้าหมายพลังงานโดยการวัดการใช้พลังงานว่าสำเร็จตามที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยเครื่องมือวัดที่ใช้ต้องมีความเที่ยงตรงและหากพบข้อบกพร่องต้องดำเนินการแก้ไข

4) การทบทวน (Act)

ทบทวนโดยผู้บริหารเพื่อให้มั่นใจว่าระบบการจัดการพลังงานมีการปรับปรุงและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

2.1.3 เทคนิคการจัดการพลังงาน MT&R

1) Monitoring เก็บข้อมูลจากเครื่องมือวัดพลังงาน และวิเคราะห์ตัวแปรที่ส่งผลเป็นนัยสำคัญต่อการใช้พลังงานตัวอย่างเช่นผลผลิต, สภาพอากาศ, พื้นที่หรือปริมาณผู้ใช้งาน เพื่อติดตามการใช้พลังงานโดยวิเคราะห์เทียบกับเกณฑ์เป้าหมายที่กำหนด

2) Target กำหนดเป้าหมาย ซึ่งไม่ควรกำหนดด้วยค่าคงที่เพราะปัจจัยหลักของการใช้พลังงานขึ้นกับผลผลิต จึงควรกำหนดด้วยความสัมพันธ์ของผลผลิตต่อปริมาณการใช้พลังงาน คู่มือการใช้พลังงาน[1] ได้เสนอวิธีการกำหนดเป้าหมายไว้ 3 แนวทางคือ

- กำหนดโดยทีมผู้บริหาร วิธีการนี้คือการที่ทีมผู้บริหาร (Top Management) กำหนดเป้าหมายซึ่งเป้าหมายการอนุรักษ์ที่กำหนด โดยมีความเสี่ยงตรงที่ว่าถ้าทีมบริหารขาดข้อมูลสำคัญนั้นจะส่งผลให้เป้าหมายที่ตั้งไม่สะท้อนการใช้พลังงานจริงทำให้ผู้ปฏิบัติทำไม่ได้และเกิดความท้อใจ
- กำหนดจากเกณฑ์เปรียบเทียบสมรรถนะ (Benchmark) เช่นสมรรถนะที่อุปกรณ์ระบุไว้จากผู้ผลิต
- กำหนดโดยเลือกค่าที่ดีที่สุด (Best Performance) จากแบบจำลองการใช้พลังงานกับปริมาณการผลิตเพื่อสร้างผังการควบคุมเป็นวิธีการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน ซึ่งเป็นวิธีที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลาย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3) Report สรุปผลเทียบกับเป้าหมายจากกิจกรรมที่ทำต่อผู้ที่เกี่ยวข้องเช่น ผลประหยัดที่ได้หรือการแสดงผลด้วยตัวชี้วัดสมรรถนะด้านพลังงาน (Energy Performance Indicator หรือ EnPI) ซึ่ง ค่าชี้วัดสามารถแบ่งได้หลายระดับ ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน ตัวอย่างเช่นกระทรวงพลังงาน กำหนดไว้ 3 หัวข้อสำหรับโรงงานควบคุมคือ ระดับองค์กร, ระดับระบบ และ ระดับอุปกรณ์

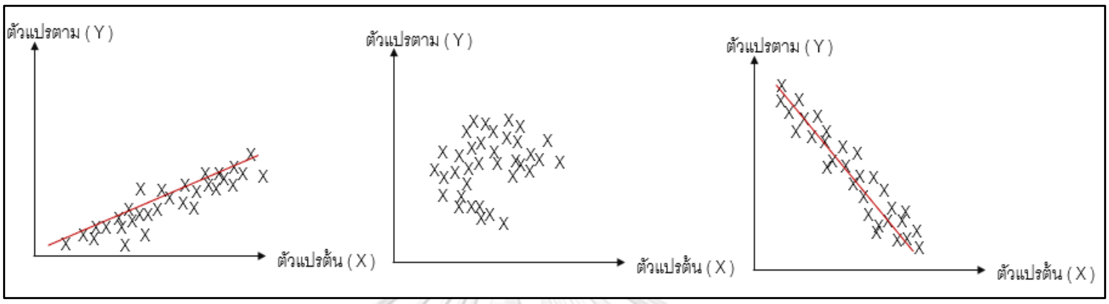
2.1.4 การวิเคราะห์เชิงสถิติ

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานขึ้นอยู่กับตัวแปรที่หลากหลาย เช่น เวลาที่ใช้เตรียมผลิต (Set Up Time), วัฏจักรการผลิต (Cycle Time) ประสิทธิผลรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness), หรือ ปริมาณผลผลิต เป็นต้น ดังนั้นเมื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักรมีการเปลี่ยนแปลงจึงเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรข้างต้น ซึ่งปริมาณผลผลิตเป็นตัวแปรหลักที่

ส่งผลต่อการใช้พลังงานในสายผลิต จึงมีการนำสถิติมาเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและปริมาณผลผลิต

1) แผนผังการกระจายตัว (Scatter Diagram)

คือแผนผังแสดงค่าของข้อมูลที่เกิดจากความสัมพันธ์ของตัวแปร 2 ตัวแปร ที่แสดงด้วยแกน X และแกน Y ว่ามีแนวโน้มไปในทางใด เพื่อที่จะใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ต้องการศึกษา ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของแผนผังการกระจายตัว (ซ้าย) ทางบวก (กลาง)ไม่สัมพันธ์ (ขวา)ทางลบ

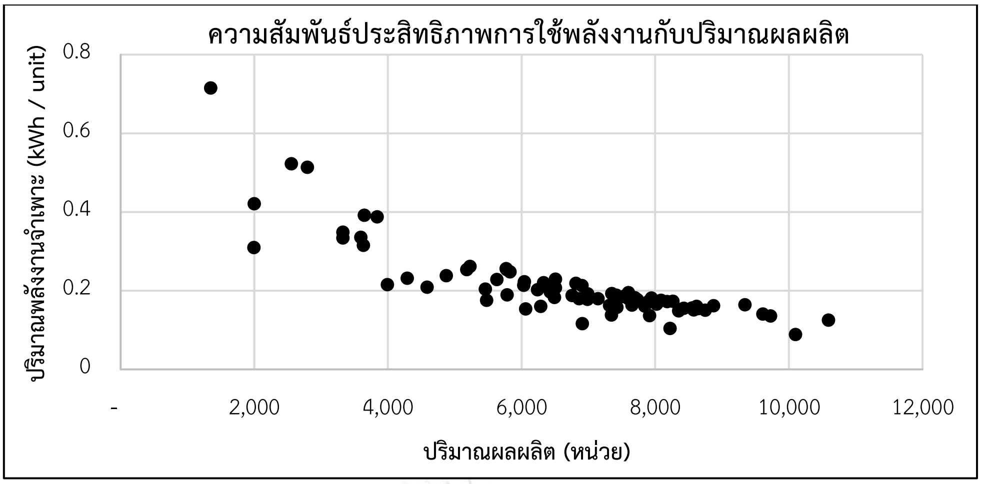
ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของแผนผังการกระจายตัวเป็นความสัมพันธ์ทางบวก ดังรูปที่ 2.2 (ซ้าย) หมายความว่าค่าของตัวแปรตาม (แกน Y) และตัวแปรต้น (แกน X) มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกัน เมื่อค่าของตัวแปรต้นเพิ่มขึ้น ค่าของตัวแปรตามเพิ่มขึ้นด้วย

ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของแผนผังการกระจายตัวเป็นความสัมพันธ์ทางลบ ดังรูปที่ 2.2 (ขวา) หมายความว่าค่าของตัวแปรตาม (แกน Y) และตัวแปรต้น (แกน X) มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางตรงข้ามกัน เมื่อค่าของตัวแปรต้นเพิ่มขึ้น ค่าของตัวแปรตามลดลง

ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของแผนผังการกระจายตัวไม่สัมพันธ์กัน ดังรูปที่ 2.2 (กลาง) หมายความว่าค่าของตัวแปรตาม (แกน Y) ไม่เป็นสัดส่วนกับตัวแปรต้น (แกน X)

เช่นตัวอย่างในรูปที่ 2.3 แผนผังได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว คือปริมาณการใช้พลังงานจำเพาะที่เป็นตัวแปรตามที่แสดงด้วยแกน Y และปริมาณผลผลิตที่เป็นตัวแปรต้นที่แสดงด้วยแกน X ว่ามีการกระจายตัวเป็นความสัมพันธ์ทางลบที่เมื่อปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้นค่าของปริมาณการใช้พลังงานจำเพาะลดลงอย่างมีนัยสำคัญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างแผนผังการกระจายตัว (Scatter Plot Diagram)

2) ค่าสหสัมพันธ์ (Correlation)

ค่าสหสัมพันธ์ใช้สำหรับพิจารณาระดับความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรว่าสัมพันธ์กันมากหรือน้อย โดยคำนวณจากสมการที่ (1)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2}} \qquad \text{สมการที่ (1)}$$

โดยค่าสัมประสิทธิของค่าสหสัมพันธ์จะแสดงถึงความสัมพันธ์ของตัวแปร X ต่อตัวแปร Y [3] มีค่าอยู่ระหว่าง 0 และ 1 บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของ X ที่มีต่อ Y น้อย และ มีความสัมพันธ์มากตามลำดับ ซึ่งเกณฑ์ของการความหมายของค่าสัมประสิทธิ์ของค่าสหสัมพันธ์อธิบายดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 เกณฑ์ค่าสัมประสิทธิ์ของค่าสหสัมพันธ์

ค่าสัมประสิทธิของค่าสหสัมพันธ์	**อิทธิพลของตัวแปรต้นต่อตัวแปรตาม**
น้อยกว่า 0.3	ตัวแปรตามไม่สัมพันธ์กับตัวแปรต้น
ตั้งแต่ 0.3 ถึง 0.5	ตัวแปรตามสัมพันธ์กับตัวแปรต้นเล็กน้อย
มากกว่า 0.5 ถึง 0.7	ตัวแปรตามสัมพันธ์กับตัวแปรต้นปานกลาง
มากกว่า 0.7	ตัวแปรตามมีความพันธ์กับตัวแปรต้นมาก

ตัวอย่างเช่นเพื่อตรวจสอบว่าตัวแปรที่นำมาคำนวณเพื่อคาดการณ์ปริมาณพลังงานฐานส่งผลต่อการใช้พลังงานหรือไม่ หรือเปรียบเทียบตัวแปรต้นว่าตัวแปรต้นใดที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

มากกว่า โดยใช้ค่าสหสัมพันธ์ในตรวจสอบว่าการใช้พลังงานขึ้นกับผลผลิตหรือไม่ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (2)

$$\boldsymbol{r} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i \cdot E_i - n \cdot \bar{P} \cdot \bar{E}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n} P_i^2 - n \cdot \bar{P}^2\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^{n} E_i^2 - n \cdot \bar{E}^2\right)}}$$ สมการที่ (2)

3) การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

ในการเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ส่วนใหญ่เป็นข้อมูลไม่ต่อเนื่อง (Discrete Data) เช่นปริมาณการใช้พลังงาน และผลผลิต หรือค่าใช้จ่ายในการโฆษณากับยอดขายสินค้า เพื่อทราบความสัมพันธ์ระหว่างจุดและสมการตัวแทนชุดข้อมูลที่นำไปอธิบายความสัมพันธ์จึงมีการใช้เทคนิคการหาความสัมพันธ์ระหว่างชุดข้อมูล (Curve Fitting) โดยนำข้อมูลของตัวแปรตามและตัวแปรต้นมาสร้างสมการตัวแทนเพื่อศึกษาว่าตัวแปรสัมพันธ์กันอย่างไรตัวอย่างเช่น จำนวนผลผลิตจากการวางแผนในปีหน้าเพื่อประมาณปริมาณพลังงานที่ใช้ ซึ่งโดยทั่วไปนั้นพลังงานจะแปรผันตามปริมาณผลผลิตในลักษณะเส้นตรงซึ่งอธิบายได้ด้วยสมการที่ (3)

$$Y = mX+C$$ สมการที่ (3)

โดย Y คือ ตัวแปรตาม

X คือ ตัวแปรต้น

m คือ ความชันของกราฟ

C คือ เป็นค่าคงที่ค่าจุดตัดบนแกน Y

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ในคำนวณปริมาณการใช้พลังงานในโรงอุตสาหกรรมจึงนิยมใช้การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple Linear Regression) ซึ่งอธิบายด้วยสมการที่ (4)

$$E' = (a \cdot P) + b$$ สมการที่ (4)

โดย E' คือ ปริมาณพลังงาน (kWh)

a คือ ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ

P คือ ตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน เช่น ปริมาณผลผลิตรายวัน (ชิ้น,เมตร,ตัน)

b คือ ปริมาณการใช้พลังงานเมื่อไม่มีการผลิต (Base Load)

โดยใช้เป็นสมการเพื่อทำนายปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณพลังงานพื้นฐานจากปริมาณผลผลิตเพื่อเทียบกับปริมาณพลังงานที่ใช้จริง

4) เศษเหลือ (Residual)

เศษเหลือ คือผลต่างระหว่างค่าที่เกิดขึ้นกับค่าที่คาดการณ์ไว้หรือค่าอ้างอิง ยกตัวอย่างเช่น ต้องการการติดตามปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าโดยเทียบกับค่าอ้างอิงของโรงงานสาขาอื่นที่มีจำนวนผลผลิตใกล้เคียงกัน เศษเหลือคือผลต่างระหว่างพลังงานใช้จริงและปริมาณพลังงานจากการทำนายดังสมการที่ (5)

$$\varepsilon = E - E' \qquad \text{สมการที่ (5)}$$

โดย E คือ ปริมาณพลังงานที่ใช้จริง (kWh)

E' คือ ปริมาณพลังงานที่ได้จากสมการวิเคราะห์การถดถอย (kWh)

ε คือ ผลต่างหรือเศษเหลือ โดย เครื่องหมายลบ (-) หมายถึง การใช้พลังงานมีค่าน้อยกว่าที่คาดการณ์ไว้ และ เครื่องหมายบวก (+) หมายถึง การใช้พลังงานมีค่ามากกว่าที่คาดการณ์ไว้

5) CUSUM

Cumulative Sum (CUSUM) เป็นแผนผังควบคุม (Process Chart) โดยแสดงตัวแทนผลต่างของปริมาณไฟฟ้าที่ใช้งานจริงกับปริมาณไฟฟ้าจากสมการฐานอ้างอิง ซึ่งเทคนิค CUSUM จะช่วยแสดงแนวโน้มปริมาณการใช้พลังงาน และคำนวณปริมาณพลังงานที่ประหยัดหรือที่สูญเสีย[4] โดยแผนผัง CUSUM จะแสดงผลรวมของผลต่างระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้จริงและปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ทำนายด้วยสมการฐานอ้างอิงจากประวัติการใช้พลังงานย้อนหลัง อธิบายได้โดยสมการที่ (6)

$$S_i = S_{i-1} + (X_i - \overline{X}_l) \qquad \text{สมการที่ (6)}$$

โดย S_i แทนผลรวมของผลต่างของเดือน i

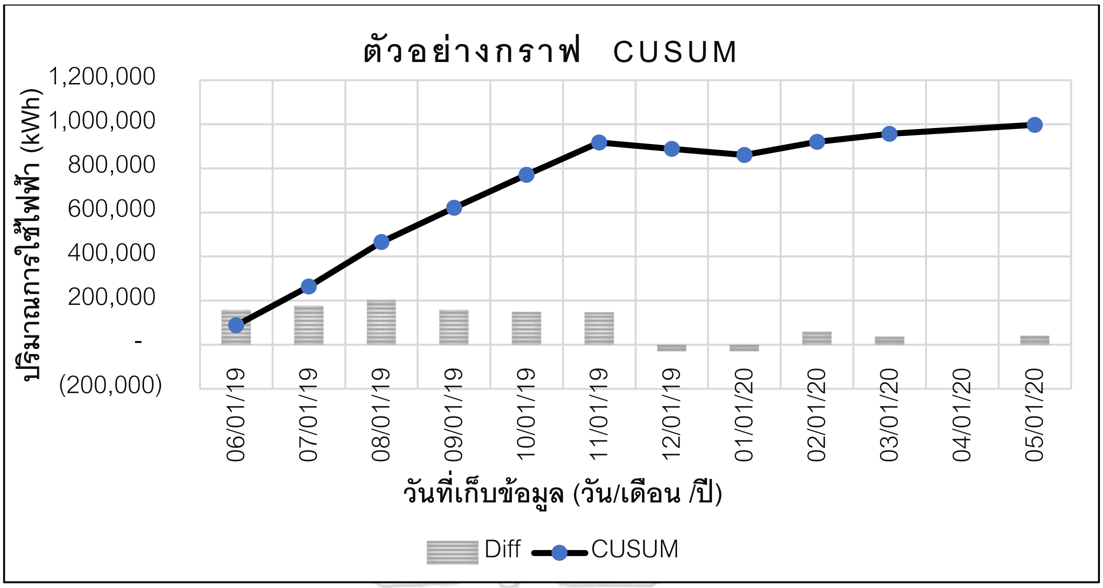
S_{i-1} แทนผลรวมของผลต่างของเดือนก่อนหน้าเดือน i

X_i ปริมาณพลังงานที่ใช้ในเดือนนั้น

$\overline{X}_l$ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้คำนวณจากสมการฐานอ้างอิง

ซึ่งความชันจากกราฟ CUSUM จะบ่งบอกถึงผลเมื่อเทียบกับสมการฐานอ้างอิง[5] ว่าค่าที่ติดตามมีลักษณะอย่างไรเมื่อเทียบกับค่าที่คาดการณ์ไว้ อธิบายด้วยรูปภาพที่ 2.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างกราฟ CUSUM

ความชันของกราฟ เป็นบวก หมายถึงค่าที่สังเกตสูงกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ เช่นปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อเดือนสูงกว่าเป้าหมายที่คาดการณ์ไว้

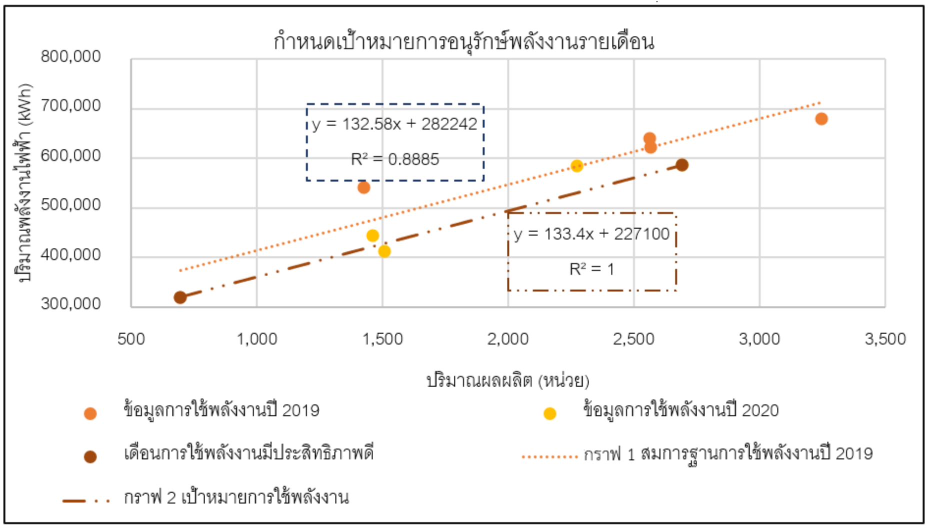
ความชันของกราฟ เป็นลบ หมายถึงค่าที่สังเกตต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ เช่นปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อเดือนต่ำกว่าเป้าหมายที่คาดการณ์ไว้

ความชันของกราฟ เป็นศูนย์ หมายถึงค่าที่สังเกตอยู่เป้าหมายที่กำหนดไว้ เช่น ปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อเดือนอยู่ในเป้าหมายที่คาดการณ์ไว้

2.1.5 กำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน

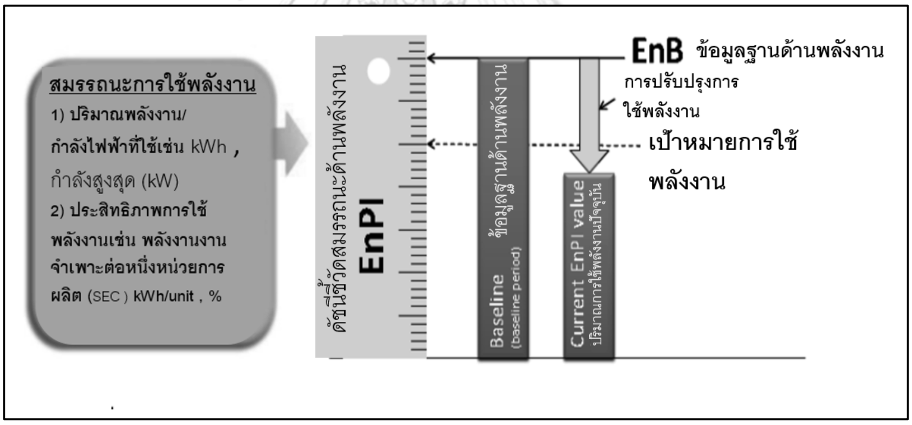
การกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานมี 3 วิธี เพื่อที่จะกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานที่เป็นไปได้และชัดเจน จึงเลือกใช้การกำหนดเป้าหมายโดยบันทึกข้อมูลของปริมาณการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ผ่านมาเทียบกับปริมาณผลผลิต และเลือกช่วงที่มีพฤติกรรมการใช้พลังงานที่ดีที่สุดมาสร้างเป็นชุดข้อมูลและกำหนดเส้นเป้าหมายการใช้พลังงานดังรูปภาพที่ 2.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน

และผลอนุรักษ์จะคำนวณจากผลต่างของพลังงานที่เครื่องจักรใช้ในปัจจุบันกับพลังงานจากข้อมูลฐานด้านพลังงานดังรูปภาพที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แนวคิดของการวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วยสมการพื้นฐาน

2.1.6 ธุรกิจอัจฉริยะ

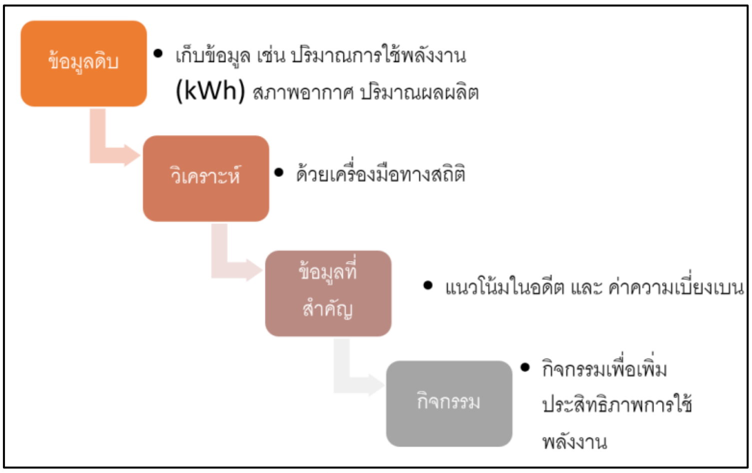
ธุรกิจอัจฉริยะ (Business Intelligence หรือ BI) ระบบที่นำแนวคิดและเทคโนโลยีเพื่อสร้างระบบจัดการข้อมูลในรูปแบบหลายมิติและนำเสนอข้อมูลในรูปแบบตารางหรือกราฟ เพื่อองค์กรสามารถนำข้อมูลมาใช้ในการวางแผน,พยากรณ์,วิเคราะห์ปัญหา โดยตัวอย่างซอฟต์แวร์ที่นิยมใช้เช่น PowerBi, Tableau, Oracle BI เป็นต้น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ต้นปี 2019 Andrea Trianni [6] ได้ตีพิมพ์ในวารสาร Applied Energy เรื่อง Energy management : A practice-based Assessment Model ซึ่งรวบรวมงานวิจัย เอกสารวิชาการกว่า 83 ฉบับ เพื่อรายงานสถานการณ์แนวโน้มล่าสุดของการจัดการพลังงานในโรงงาน ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้เกณฑ์ที่หลากหลายเพื่อแบ่งกลุ่มงานวิจัยทางด้านพลังงานออกเป็นตามหมวดหมู่หลักและหมวดหมู่ย่อยที่ต่างกัน ซึ่งงานวิจัยหมวดที่มีการตีพิมพ์มากที่สุด 3 อันดับแรกคือ กิจกรรมการตรวจวัดการใช้พลังงาน (Energy Audit) การให้ความรู้กับพนักงานเรื่องพลังงาน และการวัดการใช้พลังงานในโรงงานตามลำดับ โดยงานวิจัย 2 หัวข้อแรกนั้นจะมีปัจจัยหลักในส่วนของพนักงานที่ชี้วัดความร่วมมือภายในองค์กร ที่ต่างจากการวัดการใช้พลังงานซึ่งสามารถเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพของอุปกรณ์หรือระบบนั้นได้ เนื่องจากการวัดนั้นสามารถเก็บบันทึกข้อมูลเพื่อติดตาม (Monitoring) การใช้พลังงานของส่วนที่ต้องการศึกษาได้ นั้นสอดคล้องกับหลักการของ MT&R (Monitoring, Targeting and Reporting) ซึ่งเป็นวิธีการทางสถิติเพื่อติดตามและควบคุมการใช้พลังงานที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่าเป็นวิธีการที่ช่วยแสดงถึงจุดที่สามารถปรับปรุงการใช้พลังงานให้ได้ดียิ่งขึ้น โดยงานวิจัยของ Robert และ Prism [7] ได้แนะนำให้เริ่มจากการวิเคราะห์ตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานเพื่อนำไปหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหลักกับการใช้พลังงานโดยเลือกแบบแผนวิธีการใช้พลังงานที่ดีที่สุดสำหรับกำหนดเป็นเป้าหมายในการอนุรักษ์พลังงาน เมื่อปริมาณการใช้พลังงานมากกว่าเป้าหมายที่กำหนดไว้จึงตรวจสอบหาสาเหตุว่ากิจกรรมใดที่ส่งผลให้การใช้พลังงานมากกว่าที่กำหนดไว้

มีงานวิจัยหลายงานที่ได้นำหลักการของ MT&R ไปศึกษาและประยุกต์ใช้กับส่วนการผลิตของโรงงานตัวอย่างเชน Vinay K.S ที่อธิบายถึง MT&R ไว้ว่าเป็นการควบคุมการใช้พลังงานโดยเครื่องมือทางสถิติ ที่สัมพันธ์กับการจัดการข้อมูล (Information Management) แบ่งได้ 4 ส่วนดังรูปที่ 2.7 ซึ่งส่วนแรกคือข้อมูลดิบที่ได้จากเครื่องมือวัดและนำไปประมวลผลในส่วนที่ 2 ด้วยเครื่องมือทางสถิติเพื่อสังเคราะห์ให้ได้ข้อมูลที่สำคัญและกำหนดกิจกรรมเช่นการออกนโยบายหรือกำหนดค่าที่เหมาะสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



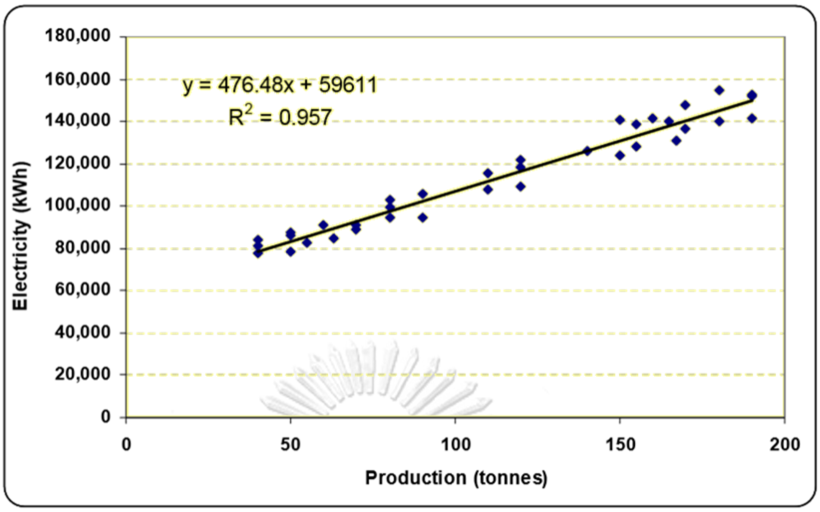
รูปที่ 2.7 วิเคราะห์ข้อมูลของการใช้พลังงาน

ซึ่งข้อมูลจากขั้นตอน Monitoring นั้นจะถูกนำไปสร้างแบบจำลองการใช้พลังงาน (Energy Performance Model) เพื่ออธิบายความสัมพันธ์ของปริมาณการใช้พลังงานกับตัวแปรหลักที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงาน ซึ่งในส่วนใหญ่ความสัมพันธ์การใช้พลังงานจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลัก 2 ปัจจัย คือ ปริมาณการผลิต และ สภาพอากาศ และจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าความสัมพันธ์ของตัวแปรข้างต้นอยู่ในรูปของ Simple Linear Regression ซึ่งเอกสารประกอบการสอน Statistics for Research Projects ของ MIT ได้ให้สมมุติฐานไว้ว่า ความจริงแล้วนั้นโมเดลที่ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่วิเคราะห์ด้วยการถดถอยพหุคูณ (Multiple Linear Regression) หรือสมการพหุนาม (Polynomial) ก็สามารถนำมาอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลได้เช่นกัน แต่ก็มีโอกาสสูงที่จะเจอความเสี่ยงต่อการที่แบบจำลองนั้นจะรวมค่ารบกวนมาในแบบจำลองด้วยเช่นกัน

ซึ่งการถดถอยเชิงเส้น (Linear Regression) จะสามารถพิจารณาอิทธิพลระหว่าง ตัวแปรต้น (Independent Variable) ที่มีต่อตัวแปรตาม (Dependent Variable) ได้จากค่า R^2 (Coefficient of Determination) ซึ่งถ้าค่า R^2 มีค่าเข้าใกล้ 1 หมายความว่า ตัวแปรต้นมีอิทธิพลต่อตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่ง Kelvin และ Robert ได้ระบุไว้ใน [4] ว่าในทั่วไปแล้วข้อมูลที่ยอมรับได้ว่าตัวแปรต้นมีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญโดยพิจารณาจาก R^2 ควรมีค่ามากกว่า 0.7 ซึ่งสำหรับข้อมูลที่มีความซับซ้อนซึ่งมีตัวแปรต้น (Energy Driver) มากกว่า 1 ค่า สามารถพิจารณาถึงการใช้การถดถอยพหุคูณ

การวิเคราะห์ด้วย Cumulative SUM (CUSUM) แบบจำลองการใช้พลังงานที่ได้จากประวัติการใช้พลังงาน สามารถนำไปใช้เพื่อทำนายการใช้พลังงานในอนาคตได้ เพื่อตรวจสอบว่าการใช้พลังงานในอนาคตนั้นมากกว่าหรือน้อยกว่าที่ควรจะเป็น ซึ่งส่วนต่างระหว่างค่าที่ใช้จริงกับค่าที่ได้ทำนายไว้นั้นจะถูกนำมารวมกันทุกคาบเวลาเช่น ทุกเดือน

ซึ่งเมื่อพิจารณาจากตัวอย่างการนำข้อมูลของการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตที่ผ่านการกำหนดแบบจำลองเชิงเส้นแล้วดังรูปที่ 2.8 นั้น จะพบว่าความสัมพันธ์เป็นไปดังสมการ $Y = \beta_0 + \beta_1 X$



รูปที่ 2.8 แบบจำลองการใช้พลังงานด้วย Simple Linear Regression

จากรูปภาพที่ 2.8 พบว่ามีค่าคงที่ 2 ตัวที่น่าสนใจคือ 476.48 ที่เป็นค่าความชันของกราฟจากแบบจำลองการใช้พลังงานซึ่งบ่งบอกถึงปริมาณการใช้พลังงาน (kWh) ที่เพิ่มขึ้นต่อปริมาณการผลิตที่เพิ่มขึ้น 1 ตัน หรือที่เรียกว่า ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption) และ 59,611 kWh เป็นพลังงานที่ใช้คงที่ถึงแม้ไม่มีการผลิตก็จำเป็นต้องใช้

แต่ในโรงงานที่มีปริมาณการใช้พลังงานที่ต่ำ ก็ไม่สามารถระบุได้ว่ามีประสิทธิภาพของการใช้พลังงานที่ดีกว่า ดังนั้นในอุตสาหกรรมจึงใช้ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะซึ่งถูกคำนวณมาจากปริมาณของพลังงานที่ใช้ผลิตหารด้วยปริมาณสินค้าที่ผลิต

ตัวอย่างจากวิทยานิพนธ์ของคุณจิราพร[8] ที่ได้ศึกษาของค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะในแต่ละกระบวนการผลิตยางรถยนต์ได้ข้อมูลดังตารางที่ 2.2

นอกจากนี้การใช้ CUSUM เป็นเครื่องมือที่แบ่งแยกระหว่างกิจกรรมสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานออกจากข้อมูลของกิจกรรมที่ไม่ส่งผลอย่างเป็นนัยยะสำคัญ ซึ่งมีงานวิจัยหลายฉบับที่ได้นำหลักการของ CUSUM ไปใช้เพื่อประเมินการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม เช่น TOLGA[9] ที่ได้นำข้อมูลการใช้พลังงานย้อนหลัง 4 ปี ของโรงงานน้ำตาลในตุรกีมาวิเคราะห์ ด้วย

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างค่าพลังงานจำเพาะ

กระบวนการผลิตยางรถยนต์	ช่วงค่าค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (kWh/Ton)
กระบวนการผสมยาง	739 – 814
กระบวนการดันยาง	218 – 265
กระบวนการฉาบผ้าใบ	78 – 95
กระบวนการขอบลวดยาง	29 – 39
กระบวนการประกอบยาง	91 – 114
กระบวนการอบยาง	81 – 99
กระบวนการตรวจสอบยาง	83 - 97

เทคนิค CUSUM โดยใช้โปรแกรม SPSS พบว่าถึงแม้ราคาต้นทุนที่จ่ายไปกับพลังงานจะลดลงในปีที่ 4 แต่ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะของปีที่ 4 กลับเพิ่มขึ้นมากกว่าปีที่ผ่านมาซึ่งหมายความว่าปีที่4นั้นประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานแย่กว่าปีที่ผ่านมา ทางโรงงานจึงว่าวิธีปรับปรุงการใช้พลังงานต่อไป

ซึ่งจากงานวิจัยและเอกสารวิชาการที่รวบรวมมานั้นได้ชี้ให้เห็นถึงแนวทางในการวัด และวิธีการหาโอกาสการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม รวมถึงมีการศึกษาและงานวิจัยอีกหลายฉบับที่ได้แนะนำถึงแนวทางการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานผลิตยางรถยนต์ซึ่งเป็นเครื่องจักรที่ใกล้เคียงกับเครื่องจักรของโรงงานตัวอย่างที่นำมาศึกษา เช่นวิทยานิพนธ์ของ Mandar Gudadhe and Pranay Lohakare G. H Raisoni [10] ที่อธิบายการอนุรักษ์พลังงานของแต่ละส่วนของโรงงานไว้ดังตารางที่ 2.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 2.3 แนวทางการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม

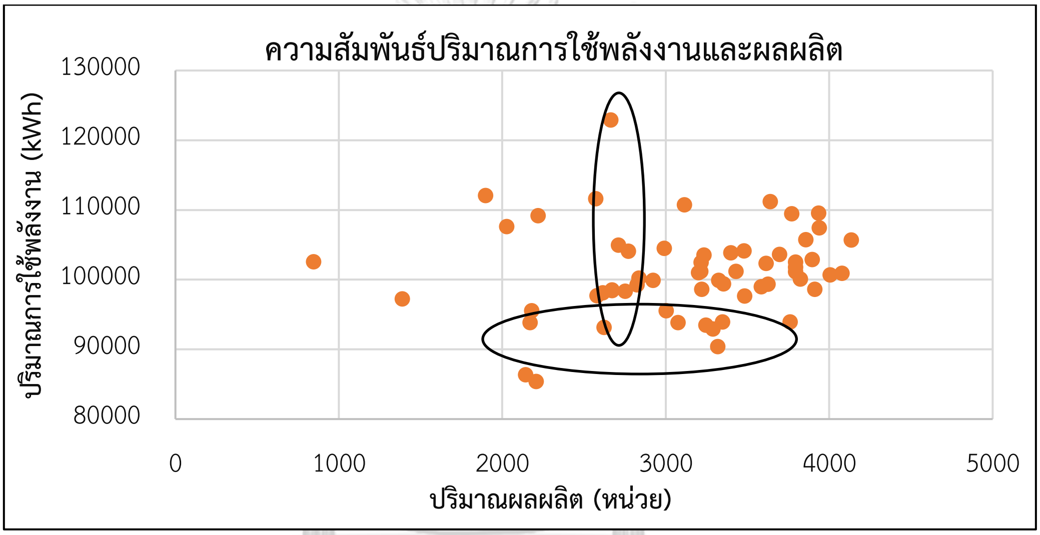
ตัวอย่างพื้นที่การผลิต	แนวทางการอนุรักษ์พลังงาน
กระบวนการการผสมวัตถุดิบ	- การให้ความร้อนของยางดิบก่อนนำเข้า Mixer - การใช้น้ำร้อนซ้ำ - การทำงานของเครื่อง Mixer เหมาะสมกับอุณหภูมิและการพลังงานที่ใช้ไปหรือไม่ - มีตัวแปรใดที่ทำให้การผลิตล่าช้าหรือไม่ เช่น การล่าช้าของการเติมวัตถุดิบในการผลิตความเร็วของสายพานป้อนวัตถุดิบ ความเร็วของ Mixer

	- ปริมาณที่ผลิตในแต่ละรอบ (Batch) สามารถเพิ่มขึ้นได้หรือไม่ - ถ้าในโรงงานมีเครื่องผสม (Mixer) มากกว่า 1 ตัวโรงงานสามารถที่จะสลับการเดินเครื่องโดยเลือกเครื่องที่มีประสิทธิภาพในการผลิตที่เหมาะสมกับงานมากกว่าได้หรือไม่ - ติดตั้ง VSD ได้หรือไม่ - อากาศเสียจากเครื่อง Ram สามารถนำมาใช้ในการขนถ่ายวัสดุโดยลม (Pneumatic Handling System)
กระบวนการอัดรีด	- ตรวจสอบขนาดของ Roll - ใช้ขนาดของอ่างน้ำเย็นที่เหมาะสม - ในกระบวนการผลิตมีอุณหภูมิที่เหมาะสมแล้วหรือไม่ - ในกระบวนการผลิตมีกระบวนการใดที่สามารถนำน้ำร้อน/น้ำเย็นกลับมาใช้ใหม่ได้หรือไม่ - มีความเป็นไปได้หรือไม่ที่จะสลับสายการผลิตที่ไม่มีประสิทธิภาพเพื่อทำการแก้ไข - มีกระบวนการใดที่สามารถลดการใช้อากาศอัดได้หรือไม่ - มีการบำรุงรักษาในกระบวนการผลิตหรือไม่
กระบวนการการให้ความร้อน	- ควบคุมการสูญเสียความร้อน - ให้ความร้อน (Pre-Heating) แบบพิมพ์ก่อนผลิต - ลดเวลาในการเปลี่ยนแบบพิมพ์ - ปรับปรุงระบบระบายอากาศ - มีตัวแปรใดที่ส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการผลิตหรือไม่ เช่น ระบบความปลอดภัยที่ใช้เวลานานในการเปิดแบบพิมพ์ - อุณหภูมิหรือความดันที่ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงเพื่อลดปริมาณพลังงานที่ใช้/ลดเวลาในการผลิต (Cycle Time) - อุปกรณ์ในกระบวนการผลิตถูกตรวจสอบว่าการสูญเสียความร้อนมีค่าต่ำในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ - เครื่องมือวัดถูกติดตั้งอย่างเหมาะสมทั้งคุณภาพและปริมาณของเครื่องมือวัดและมีการสอบเทียบเครื่องมือวัดที่เหมาะสม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

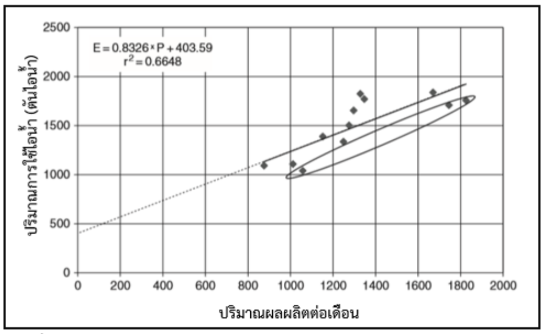
	- ความร้อนที่สูญเสียสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้หรือไม่
ระบบอื่นๆ	- ใช้แสงธรรมชาติในการส่องสว่าง - ลดการรั่วไหลของไอน้ำ และ อากาศอัด - ลดช่วงเวลา Idling Time

Zoran K.Morvey [11] ได้ยกตัวอย่างการนำข้อมูลพลังงานและปริมาณผลผลิตเพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงาน สิ่งที่สำคัญคือการเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานและปริมาณผลผลิตเพื่อหาสิ่งที่ต่างจากแบบแผนหรือรูปแบบเดิม เช่น เปรียบเทียบที่ปริมาณผลผลิตที่เท่ากันแต่ปริมาณพลังงานที่เครื่องจักรใช้กลับแตกต่างกันมากดังรูปภาพที่ 2.9



รูปที่ 2.9 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากแผนผังการกระจายตัว

หนังสือได้ยกตัวอย่างการกำหนดเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงาน โดยใช้วิธีเลือกจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด 3 อันดับแรกดังรูปที่ 2.10 เพื่อกำหนดสมการเส้นตรงเป็นสมการเป้าหมายการใช้พลังงานซึ่งเป็นวิธีเดียวกันกับการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานในโรงงานปูนซีเมนต์ในงานวิจัยของ[12] และ [1] ดังนั้นงานวิจัยฉบับบนี้จึงเลือกใช้วิธีนี้ในการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน



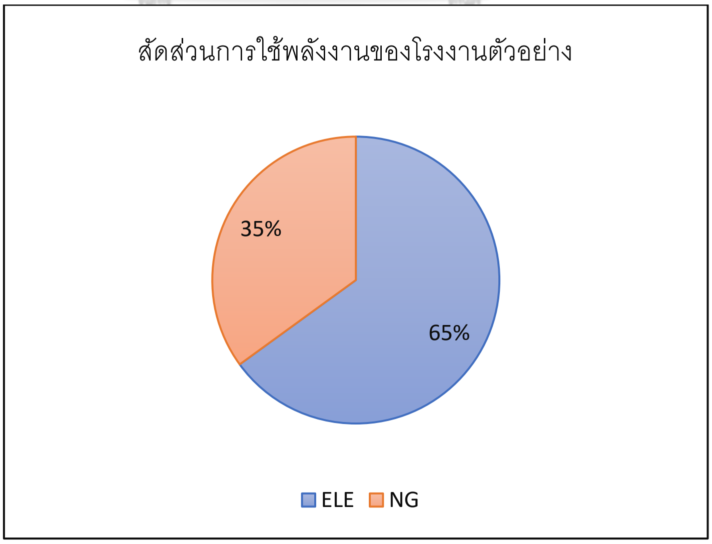
รูปที่ 2.10 แผนผังการกระจายตัวและกำหนดสมการการใช้พลังงาน

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ข้อมูลด้านพลังงานของโรงงานตัวอย่าง

โรงงานตัวอย่างที่นำมาศึกษาในครั้งนี้เป็นโรงงานเคมีภัณฑ์ในกลุ่มยางพารา โรงงานเป็นโรงงานใหม่ที่เพิ่งก่อสร้างและเลือกใช้เทคโนโลยีสำหรับการประหยัดพลังงาน และเริ่มกระบวนการผลิตด้วยเครื่องจักรใหม่ในทุกกระบวนการผลิต ซึ่งเริ่มผลิตในปี2019เดือนมีนาคม โดยมีความสามารถในการผลิตสูงสุดอยู่ที่ 110,000 ชิ้นต่อเดือน เนื่องจากโรงงานเริ่มการผลิตปีที่แล้วทำให้ข้อมูลการใช้พลังงานการที่นำมาวิจัยพร้อมสำหรับวิเคราะห์การใช้พลังงานของโรงงานได้เพียง 11 เดือนโดยเริ่มตั้งแต่เดือน มิถุนายน 2019 ถึง พฤษภาคม 2020 โรงงานตัวอย่างให้ความสำคัญต่อการอนุรักษ์พลังงานตั้งแต่การออกแบบโรงงานและมีกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานเช่น ทีมบริหารให้ความสำคัญกับการอนุรักษ์พลังงาน, เทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานเช่นการติดตั้งอินเวอร์เตอร์ (Inverter) หรือ VSD (Variable Speed Drive) , ระบบอิคอโนไมเซอร์ (Economizer), หุ้มฉนวนท่อจ่ายไอน้ำและน้ำเย็น, ไฟส่องสว่างแบบ LED ที่ทำงานตามการเคลื่อนไหวของผู้ใช้งาน และพิจารณาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการเลือกติดตั้งเครื่องจักร รวมถึงติดตั้งระบบวัดและระบบติดตามการใช้พลังงานในโรงงาน (EMS)

โดยมีพลังงานหลักที่โรงงานใช้คือพลังงานไฟฟ้า (65%) และ ก๊าซธรรมชาติ (35%) โดยภาพรวมของปริมาณการใช้พลังงานและผลผลิตแสดงในตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 สัดส่วนการใช้พลังงานของไฟฟ้าและก๊าซธรรมชาติของโรงงานตัวอย่าง

ตารางที่ 3.1 ปริมาณการใช้พลังไฟฟ้าต่อผลผลิตรายเดือน

ปี	เดือน	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	พลังงานความร้อน (kWh)	ผลผลิต (ชิ้น)
2019	มิถุนายน	2,648,592	135,809	30,584
	กรกฎาคม	2,901,732	186,691	50,827
	สิงหาคม	2,991,295	170,968	74,774
	กันยายน	2,992,484	159,160	85,228
	ตุลาคม	3,071,947	195,937	101,689
	พฤศจิกายน	2,882,988	198,453	86,643
	ธันวาคม	1,566,379	114,059	34,136
2020	มกราคม	2,764,995	155,948	91,815
	กุมภาพันธ์	2,436,648	142,284	91,385
	มีนาคม	1,894,862	108,789	69,236
	เมษายน	325,601	867	-
	พฤษภาคม	1,837,184	95,136	39,083

พลังงานไฟฟ้า

การใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานแบ่งตามการใช้งานได้ 3 ส่วน ดังรูปภาพที่ 3.2

1) พลังงานไฟฟ้าสำหรับการผลิต คิดเป็น 50%

เป็นพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายไปยังเครื่องจักรการผลิต และ โกดังสินค้า โดยพื้นที่การผลิตแบ่ง ออกเป็น 6 ส่วน

CHULALONGKORN UNIVERSITY

- MX เป็นเครื่องจักรผสมวัตถุดิบและสารเคมีตั้งต้นให้เป็นเนื้อเดียวกัน เป็นพื้นที่ที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดเนื่องจากเครื่องจักรที่ใช้เป็นมอเตอร์ขนาด 600 kW จำนวน 2 เครื่องเพื่อขับโรเตอร์เพื่อบดสารตั้งต้น
- HP พื้นที่กระบวนการอัดรีดที่รับสารตั้งต้นจากพื้นที่การผลิต MX และสร้างโปรไฟล์ให้ได้รูปทรงและขนาดที่ต้องการ เป็นพื้นที่ที่ใช้ปริมาณพลังไฟฟ้าเป็นลำดับ 2 ของโรงงาน สำหรับเครื่องจักรที่ใช้ในการอัดรีดสารตั้งต้น และพื้นที่นี้ใช้ความร้อนจากน้ำร้อนเนื่องจากก่อนอัดรีดชิ้นงาน ต้องให้ความร้อนแก่ชิ้นงานเพื่อให้ชิ้นงานอ่อนตัวก่อนผ่านหัวอัดรีด
- CP พื้นที่ตัดชิ้นงาน โดยรับชิ้นงานจากพื้นที่ HP และตัดแต่งเตรียมชิ้นงาน

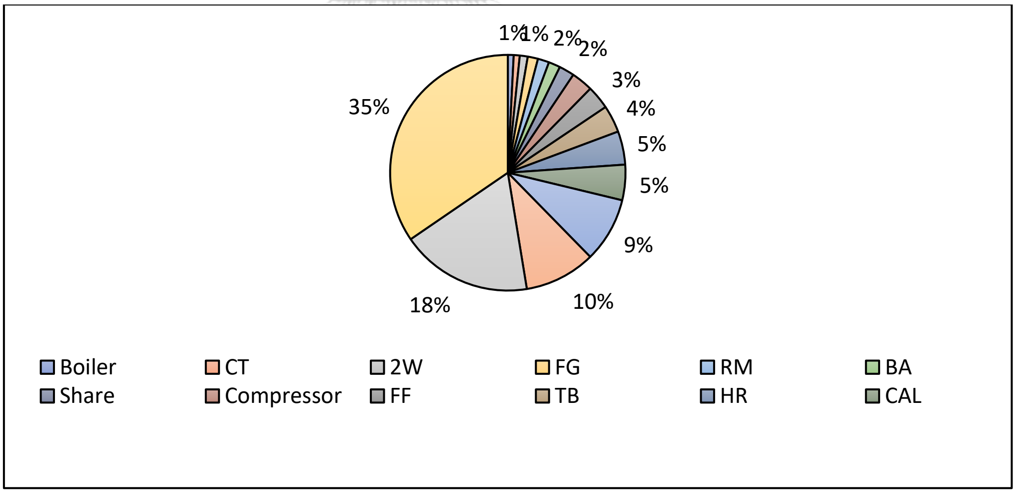
- TB พื้นที่ประกอบชิ้นงาน เป็นพื้นที่การผลิตที่ใช้อากาศอัดปริมาณมากเป็นลำดับแรกของโรงงานเนื่องจากเครื่องจักรในพื้นที่นี้มีอุปกรณ์นิวเมติกส์ที่ใช้อากาศอัดขับเคลื่อนเป็นหลัก
- CU พื้นที่ให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน เป็นพื้นที่ที่ใช้ปริมาณพลังไฟฟ้าเป็นลำดับ 3 ของโรงงานและใช้พลังงานความร้อนเป็นลำดับแรกเนื่องจากพื้นที่นี้ให้ความร้อนแก่ชิ้นงานเพื่ออาศัยความร้อนให้สารเคมีในชิ้นงาน เพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเพื่อสร้างพันธะเชื่อมโยงโมเลกุล ให้ชิ้นงานคงรูป
- FF ตรวจคุณภาพของสินค้า โดยการตรวจด้วยสายตา ผ่านเครื่องวัดขนาดและความเป็นเนื้อเดียวของชิ้นงานว่าอยู่ในรูปทรงที่กำหนดไว้หรือไม่และตรวจความสม่ำเสมอของสินค้าและส่งไปเก็บยังโกดัง

2) พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบสาธารณูปโภค คิดเป็น 45%

เป็นพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายไปยังเครื่องจักรการสาธารณูปโภค เช่น ระบบอากาศอัด ระบบทำน้ำเย็น ระบบสุญญากาศ ระบบป้องกันอัคคีภัย ห้องศูนย์ข้อมูล เป็นต้น

3) พลังงานไฟฟ้าสำหรับสำนักงาน คิดเป็น 5 %

เป็นพลังงานไฟฟ้าจากไฟส่องสว่างระบบระบายอากาศและระบบทำความเย็นของพื้นที่สำนักงาน



รูปที่ 3.2 สัดส่วนการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่างโดยแบ่งตามพื้นที่การใช้งาน

พลังงานความร้อน

พลังงานความร้อนมีจากก๊าซธรรมชาติที่โรงงานนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับหม้อต้มไอน้ำเพื่อผลิตไอน้ำโดยไอน้ำที่ผลิตนำไปใช้ 2 ส่วนคือ

1) ส่วนของการให้ความร้อนแก่ชิ้นงานในพื้นที่การผลิต คิดเป็นร้อยละ 75%

2) ส่วนของแผนกสาธารณูปโภคที่นำไอน้ำไปแลกเปลี่ยนความร้อน คิดเป็นร้อยละ 25 เพื่อผลิตน้ำร้อนสำหรับกระบวนการผลิตและเพื่อรักษาอุณหภูมิและความชื้นในพื้นที่การผลิต,ห้องเก็บวัตถุดิบ,ห้องที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น,และจ่ายเข้าเครื่องจักรที่มีอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิ

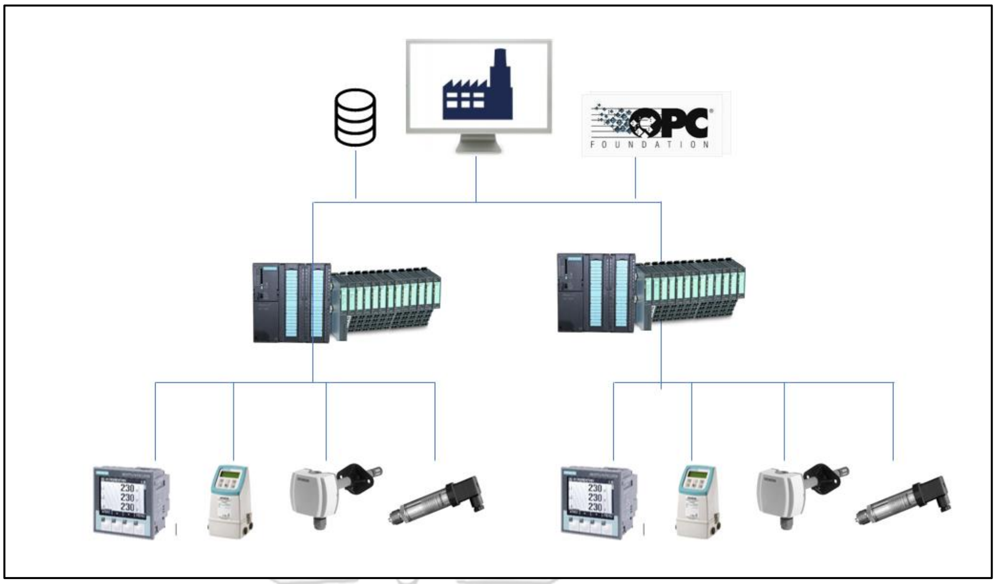
3.2 เทคโนโลยีระบบติดตามการใช้พลังงาน (Energy Monitoring System หรือ EMS)

โรงงานตัวอย่างให้ความใส่ใจต่อแหล่งพลังงานทรัพยากรของประเทศและให้ความสำคัญต่อการใช้พลังงานของโรงงาน จึงติดตั้งระบบติดตามการใช้พลังงาน (Energy Monitoring System หรือ EMS) ระบบ EMS เป็นระบบที่เก็บข้อมูลการใช้พลังงานจากเครื่องมือวัด (Smart Meter), และเซนเซอร์ (Sensor) ส่งสัญญาณผ่านระบบสื่อสารในอุปกรณ์ควบคุม (Controller) เพื่อแปลงค่า 4-10 mA และสัญญาณพัลส์ (Pulse signal) และส่งข้อมูลไปยัง OPC Server เพื่อส่งไปแสดงผลยังผู้ใช้งาน EMS ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถติดตามการใช้พลังงานในขณะนั้นได้อย่างรวดเร็ว และเก็บข้อมูลเพื่อนำไปเปรียบเทียบและวิเคราะห์ร่วมกับตัวแปรอื่นที่ส่งผลกับการใช้พลังงาน โดยการตรวจวัดการใช้พลังงานเพื่อการบริหารการใช้พลังงานให้มีประสิทธิภาพเป็นกิจกรรมหลักที่คู่มือการจัดการพลังงานและ ISO 50001 กำหนดไว้ด้วยวัตถุประสงค์หลัก 2 อย่างทางด้านการจัดการพลังงาน โรงงานตัวอย่างจึงดำเนินการติดตั้งเครื่องมือวัดปริมาณการใช้พลังงานของโรงงาน คือ

1) เพื่อเข้าใจพฤติกรรมการใช้พลังงานของเครื่องจักรในช่วงเวลาต่างๆ

2) เพื่อเก็บข้อมูลและนำไปวิเคราะห์ประกอบกับตัวแปรที่เกี่ยวข้องเช่น ปริมาณผลผลิต ช่วงเวลาที่มีการผลิต การตั้งค่าของเครื่องจักร เช่น อุณหภูมิของเครื่องจักร ความเร็วรอบของเครื่องจักร กิจกรรมของเครื่องจักร เป็นต้น

โครงข่ายระบบของ EMS แบ่งออกได้เป็น 4 ส่วน ดังรูปภาพที่ 3.3



รูปที่ 3.3 โครงข่ายระบบการติดตามการใช้พลังงาน

ระดับที่ 1 เครื่องมือวัด

โดยเครื่องมือวัดที่ติดตั้งในระบบท่อและสายส่งไฟฟ้าของโรงงานที่นำมาศึกษานั้นมีทั้งหมด 400 ตัว โดยเครื่องมือวัดแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มแรกเป็นมิเตอร์สำหรับวัดปริมาณพลังงานไฟฟ้า และกลุ่มที่ 2 เป็นเครื่องมือวัดสำหรับพลังงาน (Energy Media) ที่เป็นของไหลเช่น ไอน้ำ อากาศอัด น้ำเย็น น้ำร้อน ประกอบด้วยมิเตอร์วัดอัตราการไหลของน้ำ (Flow Transmitter), มิเตอร์วัดอัตราการไหลของอากาศอัด, มิเตอร์วัดอัตราการไหลของไอน้ำ, เซนเซอร์อุณหภูมิ (Temperature Transmitter), เซนเซอร์ความดัน (Pressure Transmitter)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 3.4 เครื่องมือวัดที่ใช้ในระบบ EMS

ระบบเครื่องมือวัดพลังงานของโรงงานตัวอย่างแบ่งออกได้ 4 ระดับ

ระดับ 1 ระดับโรงงาน (Factory Consumption) เพื่อวัดปริมาณการใช้พลังงานทั้งหมดของโรงงาน เพื่อทราบถึงปริมาณพลังงานที่โรงงานซื้อมาจากภายนอกเช่น พลังงานไฟฟ้า น้ำ และ ก๊าซธรรมชาติ เพื่อประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานภาพรวมของโรงงานโดยเทียบกับโรงงานสาขาอื่น

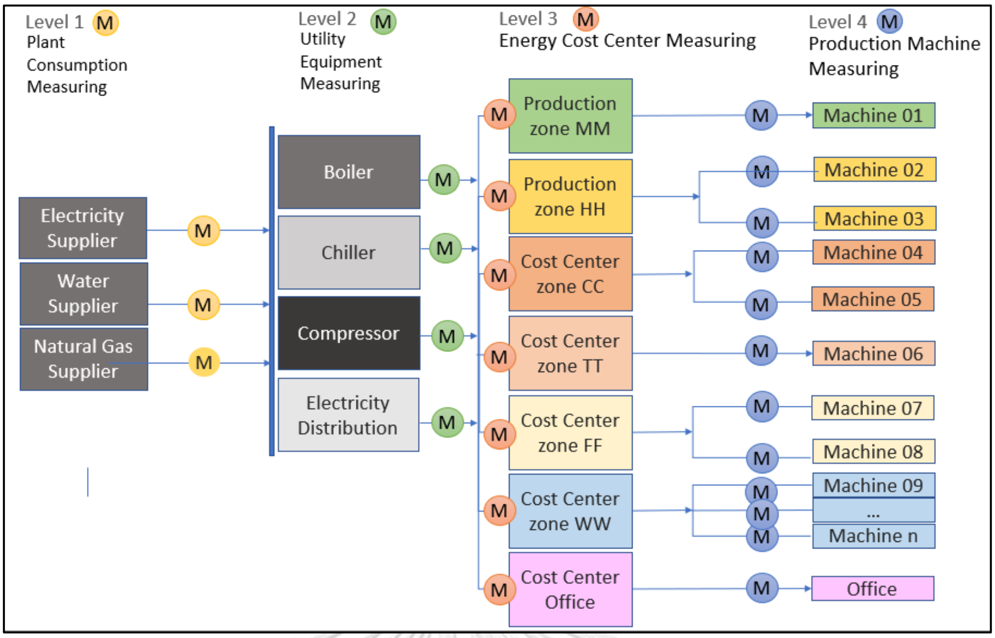
ระดับ 2 ระดับเครื่องจักรสาธารณูปโภค (Utility Equipment) เพื่อวัดปริมาณพลังงานที่ออกจากเครื่องจักรสาธารณูปโภคเพื่อนำไปคำนวณประสิทธิภาพเครื่องจักรสาธารณูปโภค และ เพื่อตรวจสอบการรั่วไหลของพลังงานจากต้นทางไปยังพื้นที่การผลิต ซึ่งพิจารณาจากปริมาณพลังงานที่ออกจากเครื่องจักรของฝ่ายสาธารณูปโภคกับพลังงานงานรวมของระดับพื้นที่ใช้งาน (ระดับ3) เช่น ไอน้ำที่ผลิตจากบอยเลอร์ซึ่งเป็นเครื่องจักรของฝั่งสาธารณูปโภคผลิตไอน้ำที่ 80 ตันไอน้ำต่อวัน แต่ในฝั่งผู้ใช้งานเช่นเครื่องมือวัดฝั่งผลิตในระดับที่ 3 พบว่าอ่านค่าได้น้อยกว่าที่บอยเลอร์ผลิตหมายความว่ามีการรั่วไหลของไอน้ำจำเป็นต้องมีการตรวจสอบ หรือในกรณีที่ฝั่งผลิตพบว่ามีปริมาณไอน้ำถูกใช้งานมากกว่าปริมาณไอน้ำที่บอยเลอร์ผลิตได้ หมายความว่าเครื่องมือวัดมีปัญหาจำเป็นต้องได้รับการสอบเทียบต่อไป

ระดับ 3 ระดับพื้นที่ใช้งาน (Cost Center) เพื่อวัดปริมาณพลังงานไฟฟ้าสำหรับพื้นที่ใช้งาน ซึ่งพื้นที่ใช้งานคือพื้นที่ที่มีวัตถุประสงค์ในการใช้พลังงานงานที่คล้ายกัน เช่น พื้นที่สำนักงานหรือพื้นที่การผลิตที่มีวิธีการการผลิตที่มีเครื่องจักรผลิตชิ้นงานลักษณะใกล้เคียงกันและมีเครื่องจักรการผลิตประเภทเดียวกันเพื่อกำหนด Energy Cost Center (ECC) และกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานในของแต่ละพื้นที่และสร้างความเป็นเจ้าของต่อพลังงานที่ใช้

ระดับ 4 ระดับผู้ใช้สุดท้าย (Final User) ผู้ใช้งานระดับสุดท้ายเช่น เครื่องจักรการผลิตและสำนักงาน เป็นต้น

ซึ่งทั้ง 4 ขั้นตอนสามารถอธิบายได้ด้วยรูปภาพที่ 3-5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือวัด

ระดับที่ 2 ส่วนประมวลผลและส่งสัญญาณ

ส่วนประมวลผล อุปกรณ์ประมวลผล (Controller) ทำหน้าที่รับสัญญาณ 4-2- mA หรือ สัญญาณพัลส์ (Pulse Signal) จากเครื่องมือวัดมาประมวลผลและส่งค่าที่วัดได้ในหน่วยวัดเชิงปริมาณฟิสิกส์ เช่น ลูกบาศก์เมตร, ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง, บาร์ เป็นต้น

ส่วนส่งสัญญาณ OPC Server เป็นซอฟต์แวร์ทำหน้าที่รับจากอุปกรณ์ประมวลผล ส่งข้อมูลไปยังผู้รับ (OPC client) เช่น ฐานข้อมูล หรือ หน้าจอผู้ใช้งาน SCADA

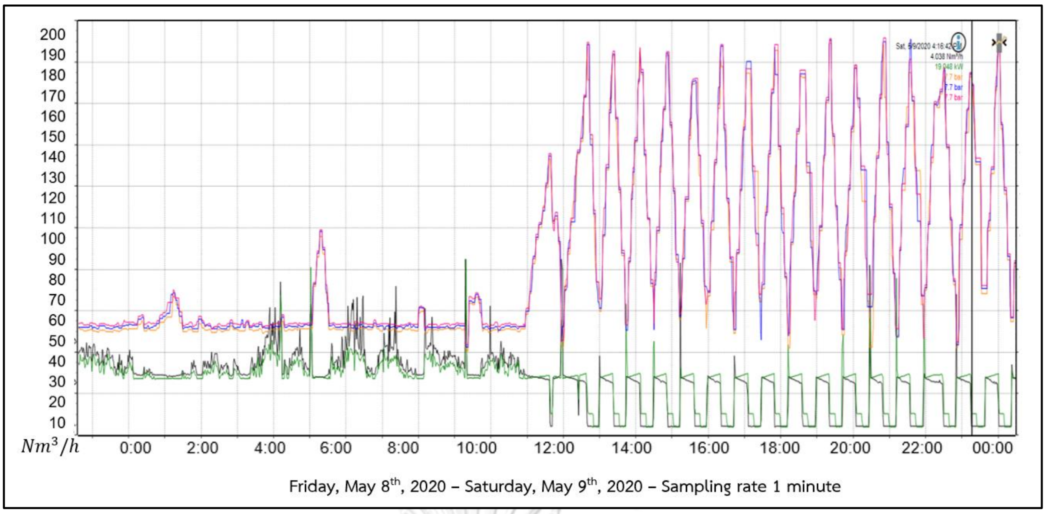
ระดับที่ 3 ส่วนเก็บข้อมูล

SQL ฐานข้อมูล เนื่องจากข้อมูลที่ส่งมาจากเครื่องมือวัดทุก 30 วินาที มีขนาดใหญ่ จึงถูกเก็บไว้ในระบบฐานข้อมูล

ระดับที่ 4 ส่วนแสดงผล

ระบบนำข้อมูล ณ ขณะนั้นมาแสดงผลบนซอฟต์แวร์ SCADA ดังตัวอย่างรูปที่ 3.6 ในรูปแบบของอนุกรมเวลา โดยผู้ใช้งานสามารถเลือกค่า (Tag) ของค่าจากเครื่องมือวัดที่ต้องการ และสามารถนำข้อมูลไปประมวลผลต่อได้ในลักษณะของ CSV file

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 3.6 หน้าจอแสดงผลของ Energy Monitoring System (EMS)

3.3 วิธีการกำหนดสมการการใช้พลังงานฐานและสมการเป้าหมายการการใช้พลังงาน

เพื่อมีเป้าหมายการใช้พลังงานให้พนักงานฝ่ายการผลิต ฝ่ายซ่อมบำรุง และผู้เกี่ยวข้องสามารถประเมินและติดตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานและพื้นที่รับผิดชอบของตนเอง รวมถึงคาดการณ์ปริมาณการใช้พลังงานและต้นทุนด้านพลังงานจากแผนปริมาณผลผลิตในอนาคต จึงมีขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน 2 ระดับคือ ระดับโรงงานและระดับพื้นที่การผลิตโดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1)เก็บข้อมูลปริมาณพลังงานไฟฟ้าและปริมาณผลผลิตรายเดือนทั้ง 12 เดือน โดยเป็นข้อมูลของปี 2019 จำนวน 7 เดือน ตั้งแต่ มิถุนายน ถึง ธันวาคมและเป็นข้อมูลของปี 2020 จำนวน 5 เดือน ตั้งแต่ มกราคม ถึง พฤษภาคม

2)วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณผลผลิตและปริมาณพลังงานไฟฟ้าด้วยแผนผังการกระจายตัวของชุดข้อมูลโดยแบ่งตามปีการผลิตคือปี 2019 และ 2020

3)วิเคราะห์แนวโน้มของชุดข้อมูลแต่ละปีด้วยสมการถดถอย โดยกำหนดชุดข้อมูลปี 2020 เป็นข้อมูลสำหรับสมการพลังงานฐาน (Energy baseline) เพราะในปี 2019 โรงงานอยู่ในช่วงติดตั้งเครื่องจักรจึงทำให้ข้อมูลไม่สามารถสะท้อนพฤติกรรมการใช้พลังงาน และไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานในการผลิตช่วงปกติได้

4)เปรียบเทียบผลประหยัดของปี 2020 ด้วย CUSUM

5)กำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (Energy Target Line) ด้วย การเลือกข้อมูลการใช้พลังงานที่ดีที่สุดของพื้นที่การผลิตและแต่ละระบบของการผลิต มาสร้างชุดข้อมูลเพื่อกำหนดสมการเป้าหมาย

การอนุรักษ์พลังงาน โดยแบ่งตามเป้าหมายเป็น 2 กลุ่มตาม ลักษณะการใช้พลังงานของแต่ละระบบในพื้นที่การผลิต ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือ

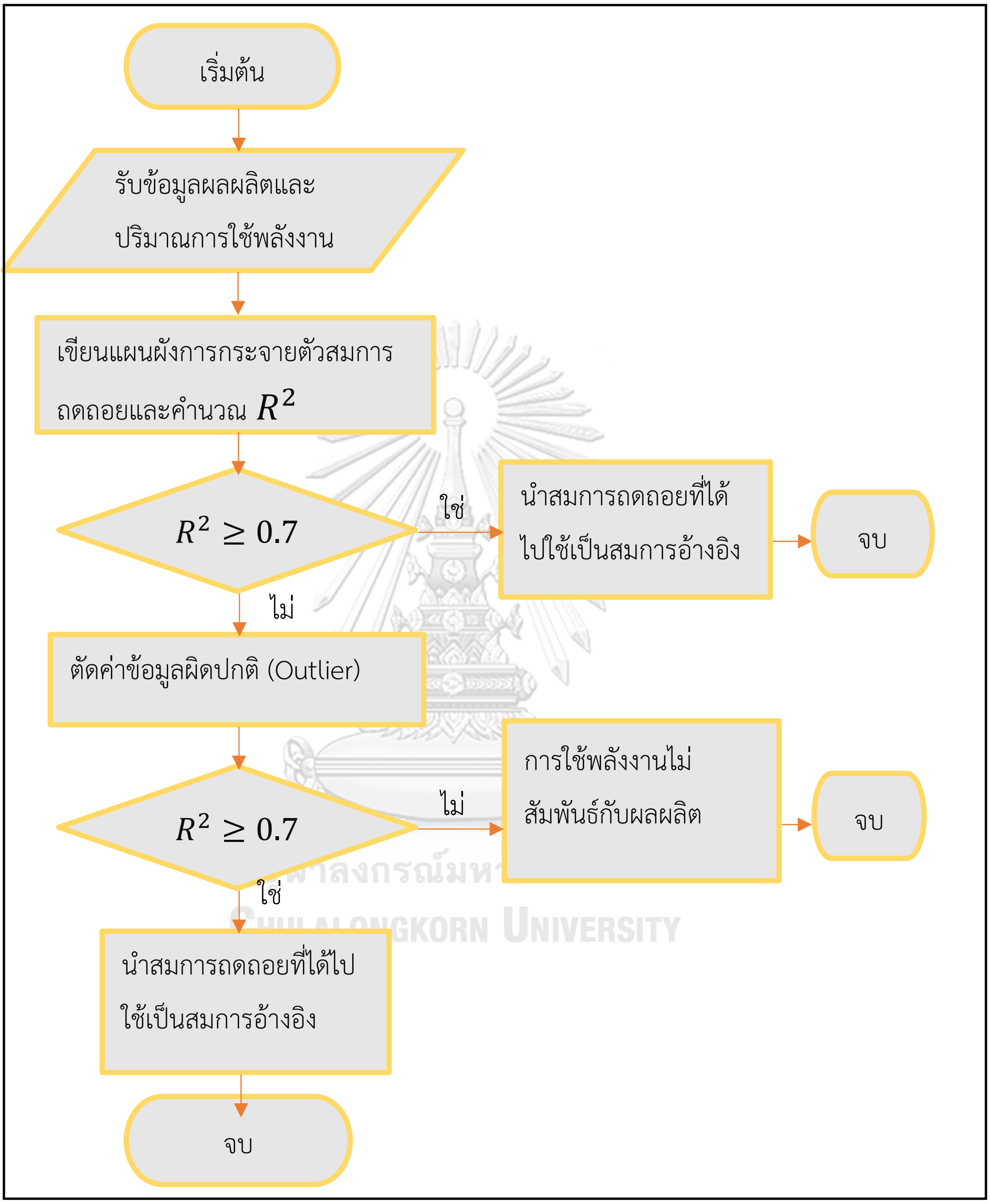
1)ระบบที่มีการใช้พลังงานขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิต เช่นพลังงานที่เครื่องจักรการผลิตใช้ และปริมาณอากาศอัดที่เครื่องจักรการผลิตใช้

2)ระบบที่การใช้พลังงานไม่ขึ้นกับปริมาณผลผลิต เช่น ระบบส่องสว่าง ระบบระบายอากาศ และระบบปรับอากาศ

โดยขั้นตอนการเก็บข้อมูลและบันทึกข้อมูลเพื่อสร้างสมการการใช้พลังงานพื้นฐาน และเป้าหมายการใช้พลังงานเป็นไปตาม รูปภาพที่ 3-7 และ 3-8 ตามลำดับ

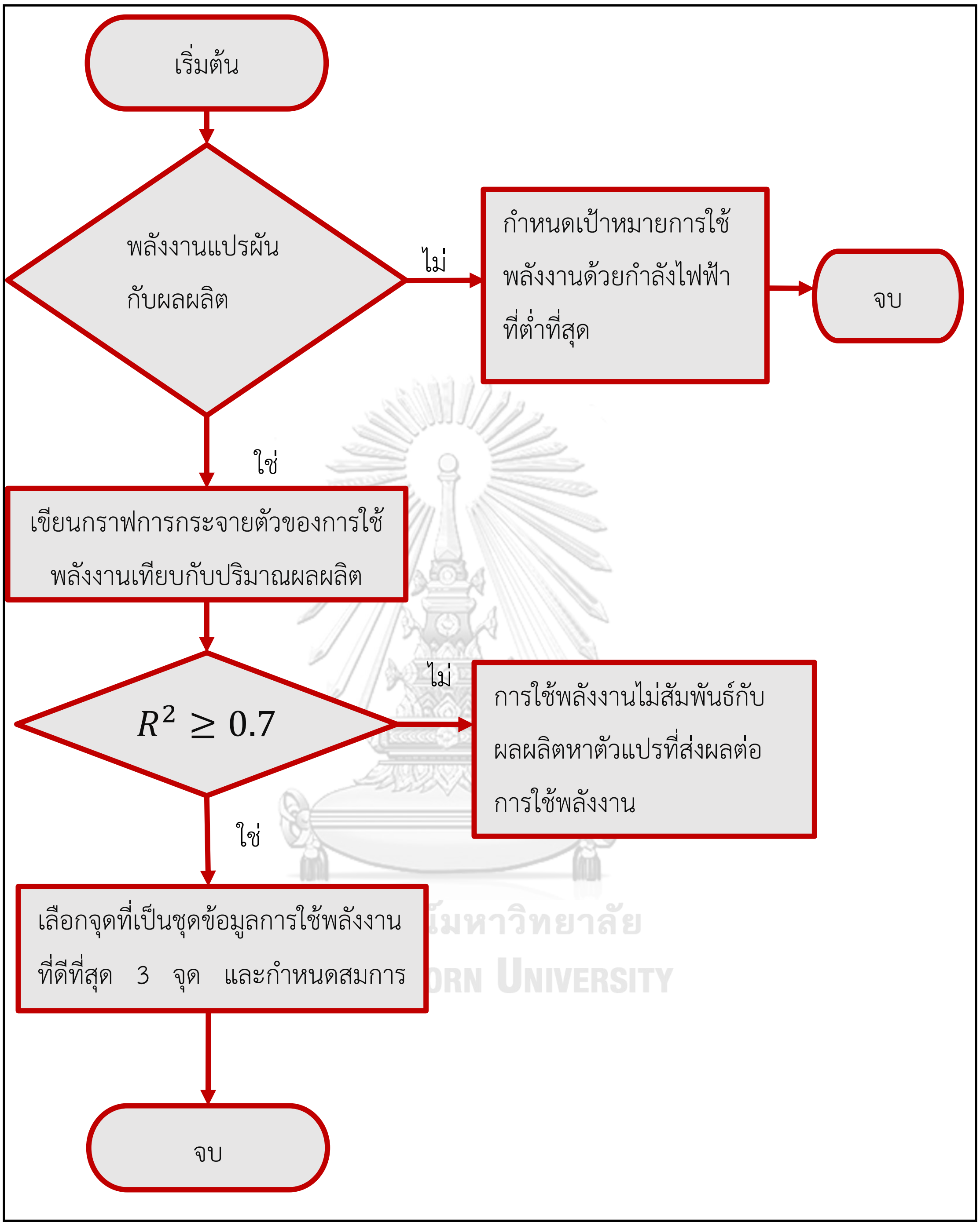
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ขั้นตอนการกำหนดสมการอ้างอิง



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการกำหนดสมการอ้างอิง (Energy Baseline)

ขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน

3.4 เป้าหมายการใช้พลังงานระดับโรงงาน

จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลผลิตรายเดือนของปี 2019 และ 2020 ในตารางที่ 3.2 เมื่อนำมาสร้างแผนภาพการกระจายตัวของข้อมูลรายปีเพื่อแสดงแนวโน้มการใช้พลังงานดังรูปที่ 3.9 พบว่าในปี 2019 ซึ่งเป็นปีแรกของการเริ่มผลิตประสิทธิภาพการใช้พลังงานนั้นไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร แสดงได้จากปริมาณการใช้พลังงานนั้นไม่สัมพันธ์กับปริมาณผลผลิตที่ได้ซึ่งเกิดจากสาเหตุหลักคือการใช้พลังงานสำหรับติดตั้งเครื่องจักรและปริมาณงานเสียที่เกิดขึ้นในช่วงแรกของการเริ่มผลิต

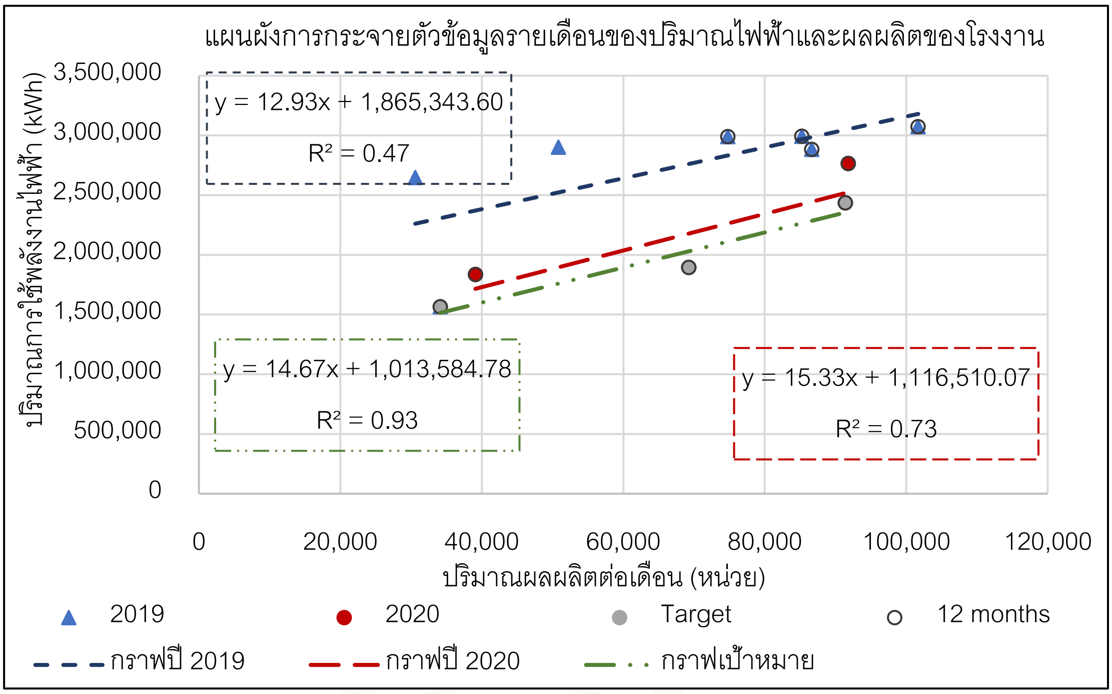
ในปี 2020 ภาพรวมการใช้พลังงานของโรงงานมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นเมื่อเทียบที่ปริมาณผลผลิตที่ส่งไปยังโกดังเก็บสินค้าต่อเดือน พิจารณาจากสมการพลังงานอ้างอิงของปี 2020 ที่เคลื่อนต่ำกว่าสมการอ้างอิงของปี 2019 แต่เนื่องจากความชันของกราฟปี 2020 มากกว่า ปี 2019 หมายความว่า ถ้าผลผลิตรายเดือนเพิ่มขึ้นจนถึงที่เส้นสมการอ้างอิงของปี 2020 ตัดกับสมการอ้างอิงปี 2019 ที่ผลผลิตมากกว่า 374,416 หน่วยการผลิต จะทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของปี 2020 น้อยกว่าปี 2019

ตารางที่ 3.2 ข้อมูลการใช้พลังงานระดับโรงงาน เทียบกับสมการพลังงานฐานปี 2020

ปี	เดือน	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้รายเดือน (kWh)	พลังงานงานจากสมการพลังงานฐาน (kWh)	ผลต่าง (kWh)	ผลรวมของผลต่าง (kWh)
2019	มิถุนายน	2,648,592	1,585,362	1,063,229	1,063,229
	กรกฎาคม	2,901,732	1,895,687	1,006,044	2,069,273
	สิงหาคม	2,991,295	2,262,795	728,500	2,797,773
	กันยายน	2,992,484	2,423,055	569,429	3,367,202
	ตุลาคม	3,071,947	2,675,402	396,545	3,763,747
	พฤศจิกายน	2,882,988	2,444,747	438,241	4,201,988
	ธันวาคม	1,566,379	1,639,814	-73,436	4,128,552
2020	มกราคม	2,764,995	2,524,033	240,961	4,369,513
	กุมภาพันธ์	2,436,648	2,517,442	-80,794	4,288,719
	มีนาคม	1,894,862	2,177,897	-283,036	4,005,683
	เมษายน	325,601	-	-	-
	พฤษภาคม	1,837,184	1,585,362	121,532	-161,504

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เพื่อกำหนดเป้าหมายของการอนุรักษ์พลังงานระดับภาพรวมของโรงงาน จึงเขียนแผนผังการกระจายตัวของปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้เทียบกับจำนวนหน่วยผลผลิตดังรูปภาพที่ 3-9 และเลือกข้อมูลของเดือนที่โรงงานมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีที่สุด เพื่อสร้างชุดข้อมูลสำหรับกำหนดเป็นเป้าหมายการใช้พลังงานด้วยสมการถดถอยเส้นกราฟป้าหมายการใช้พลังงานแสดงผลในรูปภาพที่ 3-9 และคำนวณผลประหยัดที่เกิดขึ้นโดยใช้สมการพลังงานอ้างอิงของข้อมูลปี 2020 เป็นปีฐานได้ผลดังรูปภาพที่ 3-10



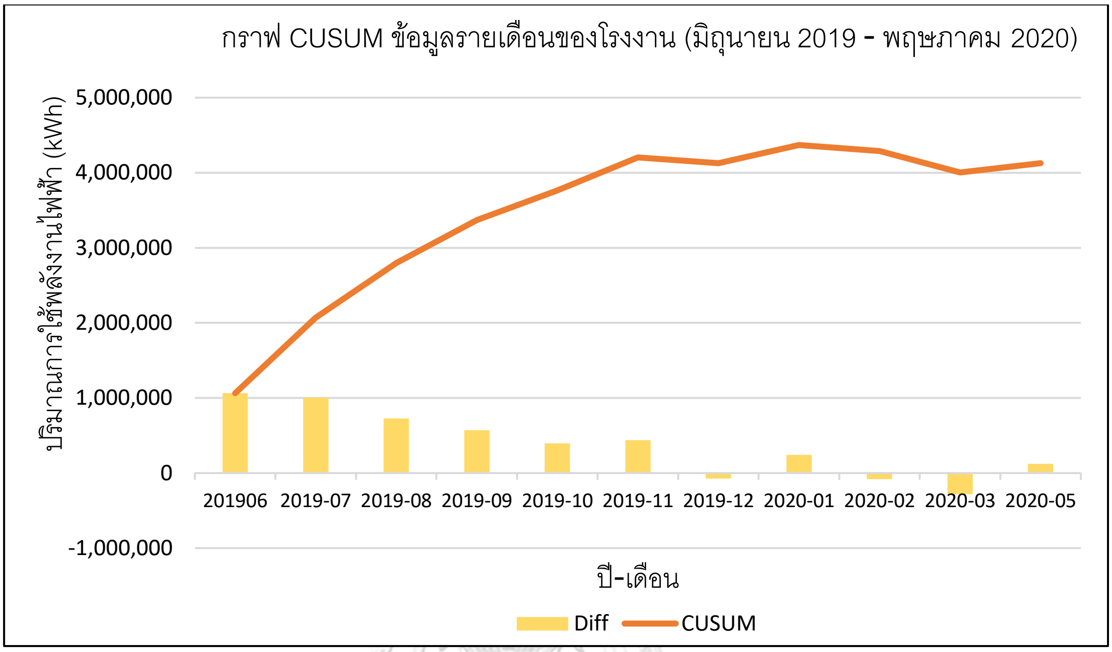
รูปที่ 3.9 แผนผังการกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าและผลผลิตของโรงงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3.3 สมการตัวแทนการใช้พลังชุดข้อมูลของปี 2019,2020,และสมการเป้าหมาย

ชุดข้อมูล	**สมการตัวแทนการใช้พลังงาน**		
	R^2	m	C
ปี 2019	0.47	12.9	1,865,343
ปี 2020	0.73	15.3	1,116,510
12 เดือน	0.72	20.8	935,960
สมการเป้าหมาย	0.93	14.7	1,013,584

ด้วยกำลังการผลิตของโรงงานที่ผ่านมาซึ่งเมื่อเปรียบเทียบผลการอนุรักษ์ที่เกิดขึ้นด้วยชุดข้อมูล 11 เดือน พบว่าพฤติกรรมการใช้พลังงานของโรงงานด้วย CUSUM ดังรูปภาพที่ 3-10 แบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง



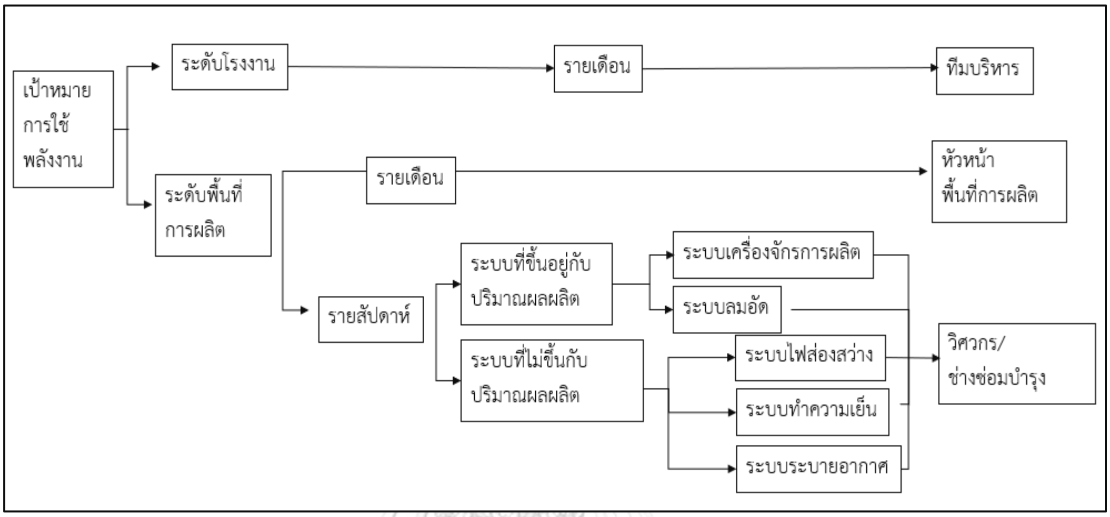
รูปที่ 3.10 กราฟ CUSUM ของโรงงาน

ช่วงที่ 1 เดือน กรกฎาคม 2019 ถึง พฤศจิกายน 2019 เป็นช่วงที่มีการทดสอบการทำงานของเครื่องจักรทำให้มีการใช้พลังงานสูงและผลผลิตต่ำ ทำให้ผลต่าง (Diff) และความชันของกราฟ CUSUM มีค่าเป็นบวก ซึ่งเมื่อผ่านช่วงติดตั้งเครื่องจักรค่าของผลต่างระหว่างพลังงานที่ใช้จริงกับพลังงานฐานจะลดลงเช่นเดียวกับความชันของกราฟ Diff ที่ลดลงในทุกเดือน

ช่วงที่ 2 เดือน ธันวาคม 2019 ถึง มีนาคม 2020 กราฟของ CUSUM คงที่อยู่ในช่วงที่ค่า Diff รายเดือนมีค่าน้อยลงและความชันกราฟลดลง ซึ่งหมายความได้ว่า ในปี 2020 ปริมาณการใช้พลังงานของโรงงานอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ และสมการที่ใช้เป็นตัวแทนซึ่งใช้พยากรณ์การใช้พลังงานเหมาะสม

3.5 ระดับพื้นที่การผลิต

เพื่อกำหนดปริมาณการใช้พลังงานของแต่ละพื้นที่การผลิต จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลผลิตของปี 2019 และ 2020 ด้วยวัตถุประสงค์ของการนำเป้าหมายไปใช้งานที่แตกต่างกันของผู้ใช้งานและระดับของพื้นที่ที่ควบคุม เป้าหมายที่กำหนดจึงแบ่งการใช้พลังงานของแต่ละพื้นที่ออกเป็น2ขอบเขตคือขอบเขตพื้นที่การผลิตและขอบเขตของระดับพื้นที่การผลิตดังรูปที่3.11



รูปที่ 3.11 โครงสร้างของการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานของพื้นที่การผลิต

1) ขอบเขตของพื้นที่การผลิต

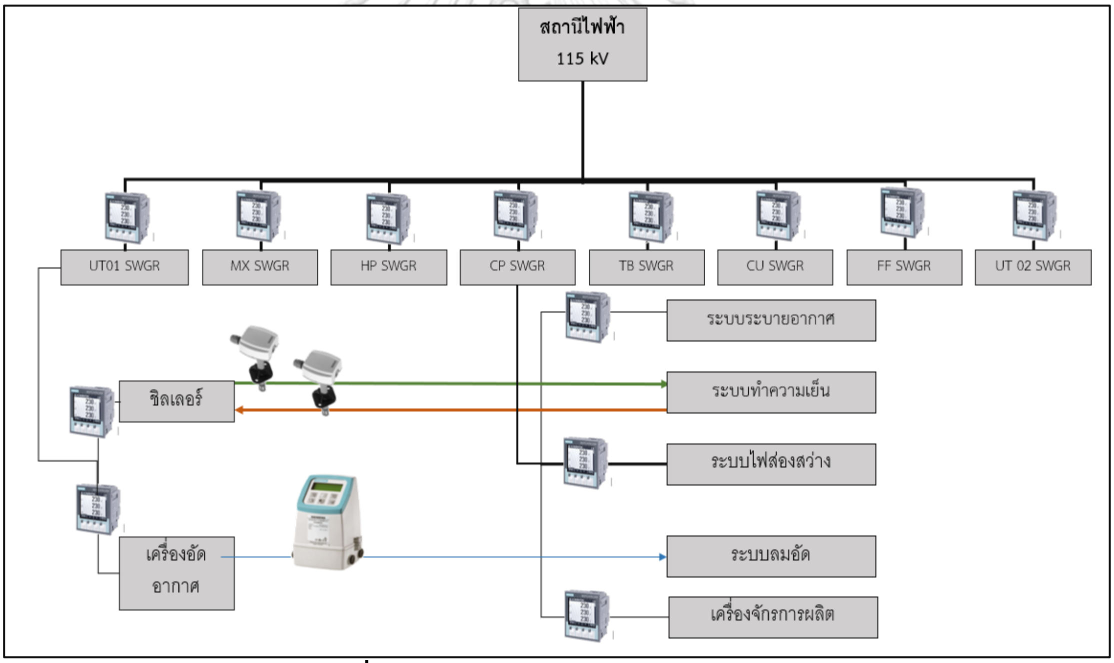
เพื่อกำหนดเป้าหมายภาพรวมของทั้งพื้นที่การผลิตเทียบจากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจากทั้งพื้นที่การผลิตซึ่งวัดจากมิเตอร์ไฟฟ้า (Power Meter) ของตู้ไฟฟ้า 22 kV ตามแผนผังการจ่ายไฟฟ้าที่จ่ายไปยังพื้นที่การผลิต เทียบกับผลผลิตสุดท้ายที่ออกจากพื้นที่การผลิต โดยเป้าหมายนี้สามารถใช้สื่อสารกับฝ่ายต่างๆในพื้นที่การผลิตเช่น ฝ่ายผลิต ฝ่ายวางแผนการผลิต ฝ่ายคุณภาพ ฝ่ายซ่อมบำรุง และผู้เกี่ยวข้องในพื้นที่การผลิตนั้น เพื่อเป็นเป้าหมายในการใช้พลังงานของพื้นที่การผลิตในรายเดือน

2) ขอบเขตระบบในพื้นที่การผลิต

เพื่อกำหนดเป้าหมายของการใช้พลังงานของแต่ละระบบในพื้นที่การผลิต โดยในหนึ่งพื้นที่การผลิตจะประกอบด้วยระบบย่อยๆ โดยแบ่งตามตู้จ่ายไฟฟ้าย่อย (Sub Station) ตามแผนผังการจ่ายไฟฟ้าที่จ่ายไปยังแต่ละระบบ อย่างน้อย 4 ระบบ จาก 5 ระบบดังรูปที่ 3.12 เนื่องจากข้อมูลรายวันมีความแปรผันของปริมาณผลผลิตทำให้ไม่สามารถแสดงความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานกับผลผลิตได้ และข้อมูลรายเดือนมีชุดข้อมูลเพียง 4 ค่า ซึ่งน้อยเกินกว่าที่จะนำเป็นตัวแทนของชุดข้อมูลได้ จึงได้เลือกชุดข้อมูลที่มีมาศึกษาในรายรายสัปดาห์ โดยแบ่งพลังงานออกเป็น 2 ส่วนคือ (1) ส่วนที่

ปริมาณการใช้พลังงานขึ้นกับผลผลิต คือพลังงานส่วนของเครื่องจักรการผลิต และ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่คำนวณจากปริมาณอากาศอัด และ (2) ส่วนที่ปริมาณการใช้พลังงานที่ไม่ขึ้นกับผลผลิต คือพลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบไฟส่องสว่าง พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบระบายอากาศ เช่นพัดลมระบายอากาศของพื้นที่การผลิต พัดลมระบายอากาศของห้องควบคุม และ ระบบดูดอากาศของพื้นที่ที่มีฝุ่นควันจากกระบวนการผลิต และ พลังงานไฟฟ้าของระบบทำความเย็น เมื่อนำมาสร้างแผนภาพการกระจายตัวของข้อมูลรายปีเพื่อแสดงแนวโน้มการใช้พลังงาน ของพื้นที่การผลิตทั้ง 5 พื้นที่

- ระบบไฟฟ้าสำหรับเครื่องจักรการผลิต
- ระบบไฟฟ้าสำหรับอากาศอัด (คำนวณจากปริมาณอากาศอัด)
- ระบบไฟฟ้าสำหรับระบบระบายอากาศ
- ระบบไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็น (คำนวณจากปริมาณภาระความเย็น)
- ระบบไฟฟ้าสำหรับไฟส่องสว่าง



รูปที่ 3.12 แผนผังการจ่ายไฟฟ้าสู่ระบบต่างๆ

โดยแต่ละระบบจะมีรายละเอียดของการใช้งานและการคำนวณค่าดังนี้

ระบบไฟฟ้าสำหรับเครื่องจักรการผลิต

ระบบไฟฟ้าสำหรับเครื่องจักรการผลิต เป็นตู้ไฟที่จ่ายไปยังเครื่องจักรการผลิตทั้งหมดในพื้นที่การผลิตนั้นซึ่งรวมทั้งไฟฟ้า 220 kV สำหรับเครื่องจักร และ 24 Vdc สำหรับจ่ายไปยังส่วนควบคุมคอนโทรลเลอร์ของเครื่องจักร ซึ่งค่าที่นำมาคำนวณเพื่อเป็นตัวแทนของการใช้พลังงานโดยตรง

ระบบไฟฟ้าสำหรับอากาศอัด (คำนวณจากปริมาณอากาศอัด)

ระบบไฟฟ้าสำหรับอากาศอัดเป็นค่าคำนวณเพื่อประมาณปริมาณไฟฟ้าที่เครื่องอัดอากาศใช้เพื่อจ่ายลมไปยังแต่ละพื้นที่การผลิต ซึ่งคำนวณได้จากสมการที่ (7)

$$\text{ปริมาณไฟฟ้าสำหรับอากาศอัด (kWh)} = \text{ค่าการใช้พลังงานจำเพาะของเครื่องอัดอากาศที่สภาวะมาตรฐาน}^{1} \times \text{ปริมาณลมที่พื้นที่ใช้} \qquad \text{สมการที่ (7)}$$

โดยค่าการใช้พลังงานจำเพาะของเครื่องอัดอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร) คำนวณได้ 2 วิธีจากสมการที่ (8) หรือ สมการที่ (9)

(1) คำนวณด้วยค่า ณ ขณะนั้น

ซึ่งเหมาะสมกับระบบที่มีการบันทึกค่าจากเครื่องมือวัด (Data logger) และเครื่องมือวัดอ่านและสามารถบันทึกค่า ณ ขณะนั้น โดยเทียบกำลังไฟฟ้า (kW) ของเครื่องอัดอากาศ ณ จุดเวลาเดียวกันกับอัตราการไหลของอากาศอัด (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร) ที่เครื่องอัดอากาศผลิตได้ และคำนวณด้วยสมการที่ (8)

$$\text{ค่าการใช้พลังงานจำเพาะของ เครื่องอัดอากาศที่สภาวะมาตรฐาน (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อลูกบาศก์เมตร)} = \frac{\text{กำลังไฟฟ้าของปั๊มลม (กิโลวัตต์)}}{\text{อัตราไหลของอากาศอัด (ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง)}} \qquad \text{สมการที่ (8)}$$

(2) คำนวณด้วยปริมาณการใช้งานช่วงเวลาหนึ่ง

คำนวณจากปริมาณพลังงานไฟฟ้าต่อปริมาณลมที่ปั๊มอากาศอัดผลิตในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งโดยบันทึกค่าในช่วงเวลาหนึ่งเป็นค่าเริ่มต้นและสิ้นสุด สมการที่ (9)

---

[1] สภาวะมาตรฐานที่ใช้วัดของโรงงานตัวอย่างกำหนดที่ อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส และ ความดันที่ 101.3 กิโลปาสคัล

ค่าการใช้พลังงานจำเพาะของเครื่องอัดอากาศที่สภาวะมาตรฐาน = $\frac{E_1 - E_0}{V_1 - V_0}$ สมการที่ (9)

โดย E_0 คือค่าพลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้ ณ ขณะเริ่มต้น

E_1 คือค่าพลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้ภายหลังช่วงเวลาหนึ่ง เช่น 1 ชั่วโมง

V_0 คือปริมาตรอากาศอัดที่อ่านได้ ณ ขณะเริ่มต้น

V_1 คือปริมาตรอากาศอัดที่อ่านได้ภายหลังช่วงเวลาหนึ่ง เช่น 1 ชั่วโมง

ระบบไฟฟ้าสำหรับระบบระบายอากาศ

ระบบไฟฟ้าสำหรับระบบระบายอากาศในพื้นที่การผลิตเพื่อถ่ายเทอากาศในสำนักงานและพื้นที่การผลิต โดยวัดปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากตู้ไฟที่จ่ายไปอุปกรณ์ระบายอากาศเช่นพัดลม ระบายอากาศในพื้นที่การผลิต ระบายอากาศในห้องไฟ, ห้องศูนย์ข้อมูลและพัดลมดูดอากาศ เป็นต้น

ระบบไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็น

ระบบทำความเย็นใช้เพื่อควบคุมอุณหภูมิพื้นที่การผลิตเนื่องจากสินค้าเป็นสินค้าควบคุมความชื้นและอุณหภูมิรวมถึงบางพื้นที่การผลิตรักษาอุณหภูมิเพื่อให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทำงานไม่เสียหายเช่นห้องควบคุม (Data Center) โดยระบบทำความเย็นของพื้นที่การผลิตเป็นระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ซึ่งอาศัยน้ำเย็น 8 องศาเซลเซียสจากชิลเลอร์ ซึ่งชิลเลอร์เป็นเครื่องจักรที่ใช้ไฟฟ้าส่วนใหญ่ของโรงงานตัวอย่างจึงจำเป็นต้องติดตามว่าภาระการทำงานของชิลเลอร์มาจากส่วนใดบ้าง โดยการแบ่งปริมาณการใช้ไฟฟ้าของระบบทำความเย็นด้วยปริมาณภาระความเย็นของพื้นที่การผลิตนั้น โดยคำนวณจากปริมาณความร้อนที่น้ำเย็นรับจากสมการที่ 10

ภาระความเย็น = อัตราการไหลเชิงมวลxค่าจำเพาะความร้อนของน้ำ x ผลต่างอุณหภูมิ

โดย ความหนาแน่นของน้ำ เท่ากับ 1,000 (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ เท่ากับ 4.19 (กิโลจูลต่อกิโลกรัมเคลวิน)

ภาระความเย็น = 1.16 x อัตราการไหลเชิงปริมาตร (ลบ.ม/ชม.) x ผลต่างอุณหภูมิ สมการที่ (10)

ดังนั้นภาระความเย็นของพื้นที่การผลิตจะนำค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตรจากเครื่องมือวัดอัตราการไหล (Flow Transmitter) และเซนเซอร์วัดอุณหภูมิเพื่อคำนวณภาระความเย็นจากเพื่อคำนวณกลับเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยประมาณที่ชิลเลอร์ใช้เพื่อทำความเย็นของพื้นที่การผลิตจากสมการที่ (11)

$$W = COP \times \mathbf{Q_e}$$ สมการที่ (11)

โดย Q_e คือ ภาระความเย็น (kW)

W คือ กำลังไฟฟ้าที่ป้อนเข้าเครื่องทำน้ำเย็น (kW)

COP คือ ค่าสมรรถนะของเครื่องทำน้ำเย็น เป็นสัดส่วน หรือ อัตราส่วนพลังงานระหว่างความสามารถในการทำความเย็นสุทธิต่อการใช้พลังงานของเครื่องทำความเย็น

ระบบไฟฟ้าสำหรับไฟส่องสว่าง

ระบบไฟฟ้าสำหรับไฟส่องสว่างในพื้นที่การผลิต เป็นตู้ไฟที่จ่ายไปหลอดไฟส่องสว่าง และปลั๊กเต้าเสียบในแต่ละพื้นที่การผลิต

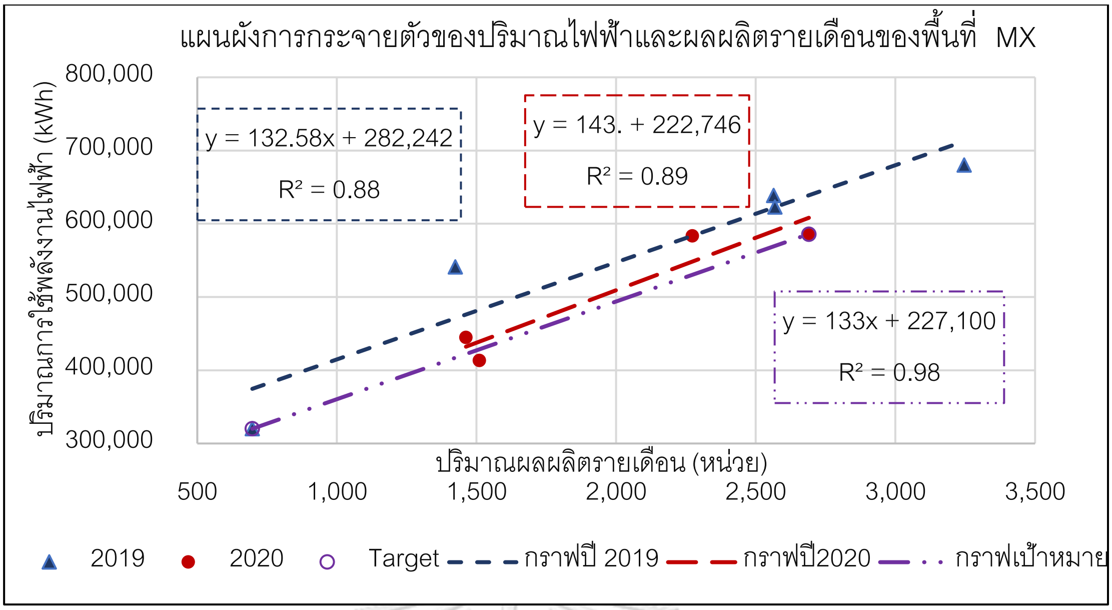
จากข้อมูลการใช้พลังงานข้างต้นและปริมาณผลผลิตรายวัน ทำให้สามารถกำหนดข้อมูลฐานด้านพลังงานและเป้าหมายการใช้พลังงานได้โดยแบ่งตามขอบเขตของพื้นที่การผลิตที่ใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุดของโรงงานตัวอย่าง 5 ลำดับดังนี้

3.5.1 พื้นที่ MX

เป็นกระบวนการที่มีการใช้ไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 18 ของการใช้พลังงานในโรงงาน จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลผลิตรายเดือนของปี 2019 และ 2020 เมื่อนำมาสร้างแผนภาพการกระจายตัวของข้อมูลดังรูปที่ 3.13 โดย Y แทนปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และ X แทนปริมาณผลผลิต เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยพบว่า ค่า R^2 มีค่ามากกว่า 0.7 หมายความว่าปริมาณการใช้พลังงานของพื้นที่ MX แปรผันตามปริมาณการผลิต และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าขึ้นกับปริมาณผลผลิตโดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ ในรูปที่ 3.13

แนวโน้มการใช้พลังงาน เมื่อพิจารณาปี 2019 เป็นข้อมูลอ้างอิงในการเปรียบเทียบ พบว่ากราฟเส้นตรงของปี 2019 มีความชันน้อยกว่าปี 2020 แสดงถึงปริมาณพลังงานงานผกผันตามการผลิต (Variable Energy) เพิ่มขึ้นแต่ปริมาณพลังงานคงที่ (Fix Energy) ของปี 2020 ลดลง

เมื่อพิจารณาจากค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะพบว่าแปรผกผันกับปริมาณผลผลิต หมายความว่าเมื่อปริมาณการผลิตต่อเดือนสูงจะทำให้พลังงานที่ใช้ต่อหน่วยมีค่าต่ำ ดังนั้นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะพบว่าปี 2020 มีค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะที่ต่ำกว่าปี 2019 มีผลมาจากปริมาณผลผลิตที่เพิ่มขึ้นในปี 2020 โดยแสดงรายละเอียดไว้ในภาคผนวก ก



รูปที่ 3.13 แผนผังการกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าและผลผลิตรายเดือนของพื้นที่ MX

สมการเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานรายเดือนของพื้นที่ MX

จากรูปภาพที่ 3.13 กำหนดเป้าหมายด้วยข้อมูลการใช้พลังงานที่ดีที่สุดในแผนผังการกระจายตัว โดยพิจารณาจากชุดข้อมูลที่มีผลผลิตสูงและมีการใช้พลังงานต่ำ จำนวน 3 จุด และกำหนดสมการถดถอยเพื่อเป็นสมการเป้าหมายของการใช้พลังงานรายเดือนของ MX ดังสมการที่ (12)

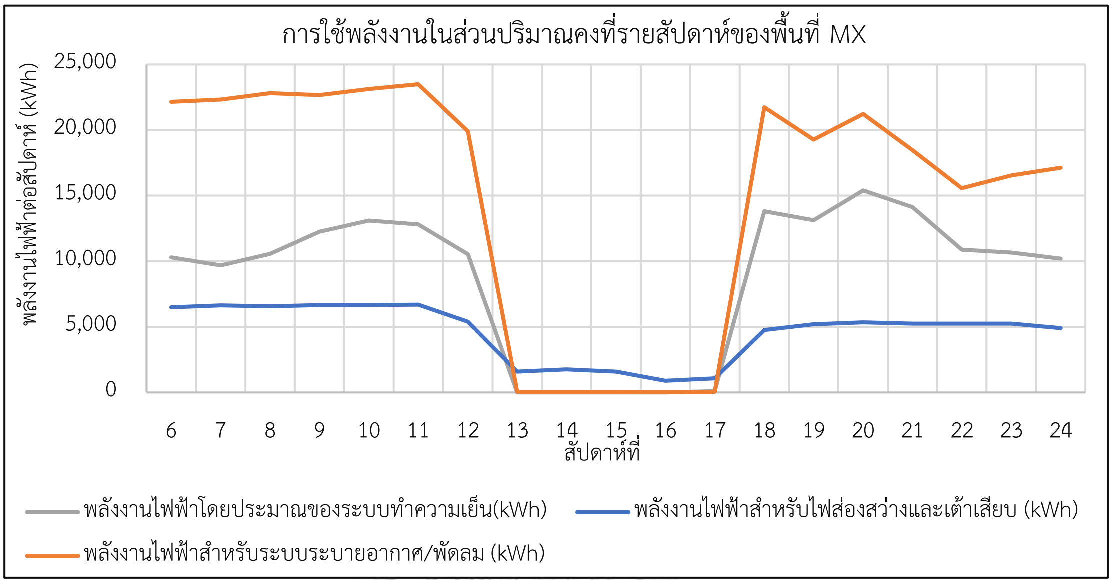
$$Y = (133.4\ X) + 227{,}100 \qquad \text{สมการที่ (12)}$$

สมการเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานรายสัปดาห์ของพื้นที่ MX

เพื่อศึกษาและควบคุมการใช้พลังงานในพื้นที่การผลิต จึงแบ่งเป้าหมายออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ปริมาณพลังงานไฟฟ้าไม่ขึ้นกับผลผลิต และ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าของระบบที่ขึ้นกับจำนวนผลผลิต แต่เนื่องจากระบบเก็บข้อมูลผลผลิตของพื้นที่ MX ไม่สามารถนำข้อมูลผลผลิตมาวิเคราะห์ได้ จึงกำหนดเป้าหมายเฉพาะอุปกรณ์ส่วนที่ไม่ขึ้นกับผลผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1) สมการเป้าหมายของระบบส่วนที่ปริมาณการใช้พลังงานไม่ขึ้นกับผลผลิต



รูปที่ 3.14 ปริมาณไฟฟ้าส่วนแปรผันตามผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ MX

จากรูปที่ 3.14 แบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงโดยใช้เกณฑ์รูปแบบแผนการผลิตเป็นเกณฑ์แบ่ง

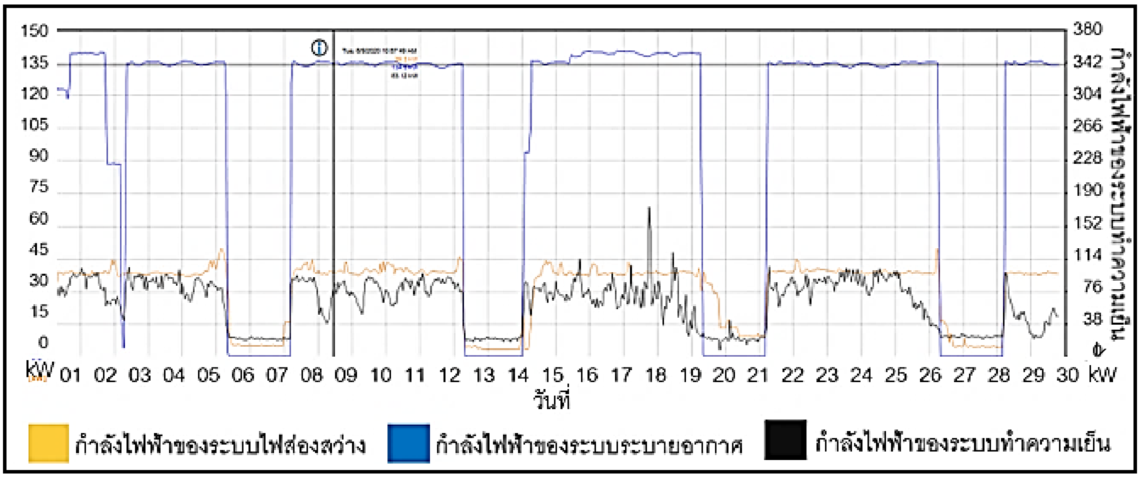
ช่วงที่ 1 สัปดาห์ที่ 6 ถึง 13 แผนการผลิตมีการผลิตทั้งวันและทุกวัน

ช่วงที่ 2 สัปดาห์ที่ 13 ถึง 17 ไม่มีแผนการผลิต

ช่วงที่ 3 สัปดาห์ที่ 18 ถึง 24 แผนการผลิตมีการผลิตวันจันทร์ถึงวันศุกร์ และไม่มีการผลิตในช่วงเสาร์และอาทิตย์แต่ยังจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าสำหรับส่วนควบคุมและไฟส่องสว่างบางส่วน รวมถึงบริเวณที่มีการจัดเก็บสินค้าและวัตถุดิบที่จำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

เมื่อเรียงลำดับตามปริมาณการใช้พลังงานจากมากไปน้อยพบว่า ช่วงที่ 1 ที่มีการใช้พลังงานตลอดทั้งวันจะมีปริมาณการใช้พลังงานที่สูงกว่า ช่วงที่ 3 ที่มีการผลิตช่วงจันทร์ถึงศุกร์ และ ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่มีปริมาณการใช้พลังงานต่ำสุดเนื่องจากไม่มีกิจกรรมการผลิตในช่วงนั้น

เลือกกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานโดยใช้ข้อมูลของช่วงที่ 3 และแบ่งออกเป็นเป้าหมายการใช้พลังงานในช่วงวันทำงานปกติและช่วงเสาร์อาทิตย์ เมื่อพิจารณาอนุกรมเวลาของพลังงานของแต่ละระบบดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 กราฟกำลังไฟฟ้าของพื้นที่ MX

จากข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของพื้นที่ MX มีลักษณะเป็นค่าคงที่และเป็นวัฏจักรในวันจันทร์ถึงศุกร์และเสาร์อาทิตย์ โดยแบ่งเป็น 3 ระบบ พบว่าค่าที่ต่ำที่สุดของกำลังไฟฟ้าแต่ละระบบที่นำมาใช้กำหนดเป็นเป้าหมายมีค่าดังต่อไปนี้

1) ระบบทำความเย็น ในช่วงจันทร์ถึงศุกร์มีการเปิดระบบทำความเย็น โดยมีพฤติกรรมใช้งานเป็นวัฏจักรโดยมีค่าสูงสุด (Peak load) ที่ต่ำที่สุด เฉลี่ยอยู่ที่ 177 kW

โดยมีค่าต่ำสุด (Peak load) ที่ต่ำที่สุด เฉลี่ยอยู่ที่ 7 kW

โดยมีค่าเฉลี่ย (Peak load) ที่ต่ำที่สุด เฉลี่ยอยู่ที่ 63 kW

ในช่วงเสาร์ถึงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยที่ 20 kW

2) ระบบไฟส่องสว่างและเต้าเสียบ

ในช่วงจันทร์ถึงศุกร์มีการใช้ไฟส่องสว่าง กำลังไฟฟ้าคงที่ที่ 39 kW

ในช่วงเสาร์ถึงอาทิตย์มีการใช้ไฟส่องสว่าง กำลังไฟฟ้าคงที่ที่ 3.5 kW

3) ระบบระบายอากาศ

ในช่วงจันทร์ถึงศุกร์มีการเปิดระบบระบายอากาศ กำลังไฟฟ้าคงที่ที่ 134.5 kW

ในช่วงเสาร์ถึงอาทิตย์มีการเปิดระบบระบายอากาศ กำลังไฟฟ้าคงที่ที่ 0.1 kW

3.5.2 พื้นที่ HP

เป็นกระบวนการที่มีการใช้ไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 10 ของการใช้พลังงานในโรงงาน จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลผลิตรายเดือนของปี 2019 และ 2020 เมื่อนำมาสร้างแผนภาพการกระจายตัวของข้อมูลดังรูปที่ 3.16 โดย Y แทนปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และ X แทนปริมาณ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

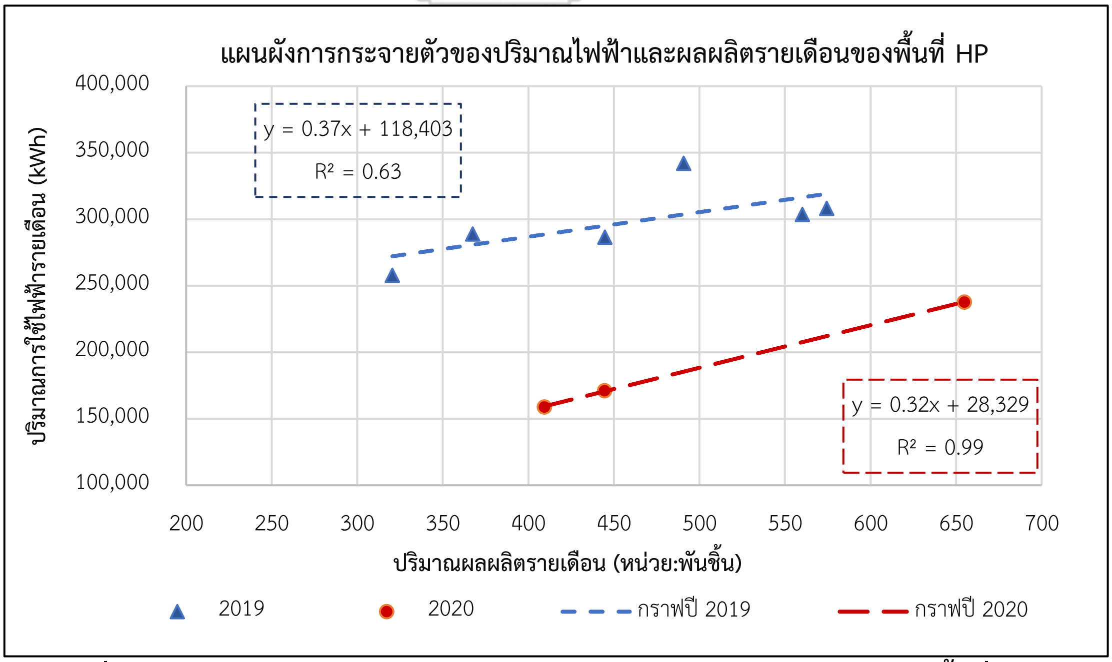
ผลผลิต เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยพบว่า ค่า R^2 มีค่า 0.63 และ 0.99 ตามลำดับซึ่งมากกว่า 0.7 หมายความว่าปริมาณการใช้พลังงานของพื้นที่ HP ปี2020 แปรผันตามปริมาณการผลิตและปริมาณการใช้พลังงานฟ้าขึ้นกับปริมาณผลผลิตโดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ ในรูปที่ 3.16

แนวโน้มการใช้พลังงาน เมื่อพิจารณาปี 2019 เป็นข้อมูลอ้างอิงในการเปรียบเทียบ พบว่ากราฟเส้นตรงของปี 2020 มีความชันน้อยกว่า ปี 2019 แสดงถึงปริมาณพลังงานงานผกผันตามการผลิต (Variable Energy) และปริมาณพลังงานคงที่ (Fix Energy) ของปี 2020 ลดลง

สมการเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานรายเดือนของพื้นที่ HP

จากรูปที่ 3.16 กำหนดเป้าหมายด้วยข้อมูลการใช้พลังงานดีที่ที่สุดในแผนผังการกระจายตัวโดยพิจารณาจากชุดข้อมูลที่มีผลผลิตสูงและมีการใช้พลังงานต่ำจำนวน 3 จุด และกำหนดสมการถดถอยเพื่อเป็นสมการเป้าหมายการใช้พลังงาน พบว่าชุดข้อมูลการใช้พลังงานของปี 2020 เป็นชุดข้อมูลที่ใช้พลังงานน้อยที่สุดเมื่อเทียบปริมาณผลผลิตในระดับเดียวกัน จึงใช้เป็นชุดข้อมูลเพื่อกำหนดสมการเป้าหมายการใช้พลังงานรายเดือนของพื้นที่ HP ดังสมการที่ (13)

$$Y = (0.32X) + 28{,}329 \qquad \text{สมการที่ (13)}$$

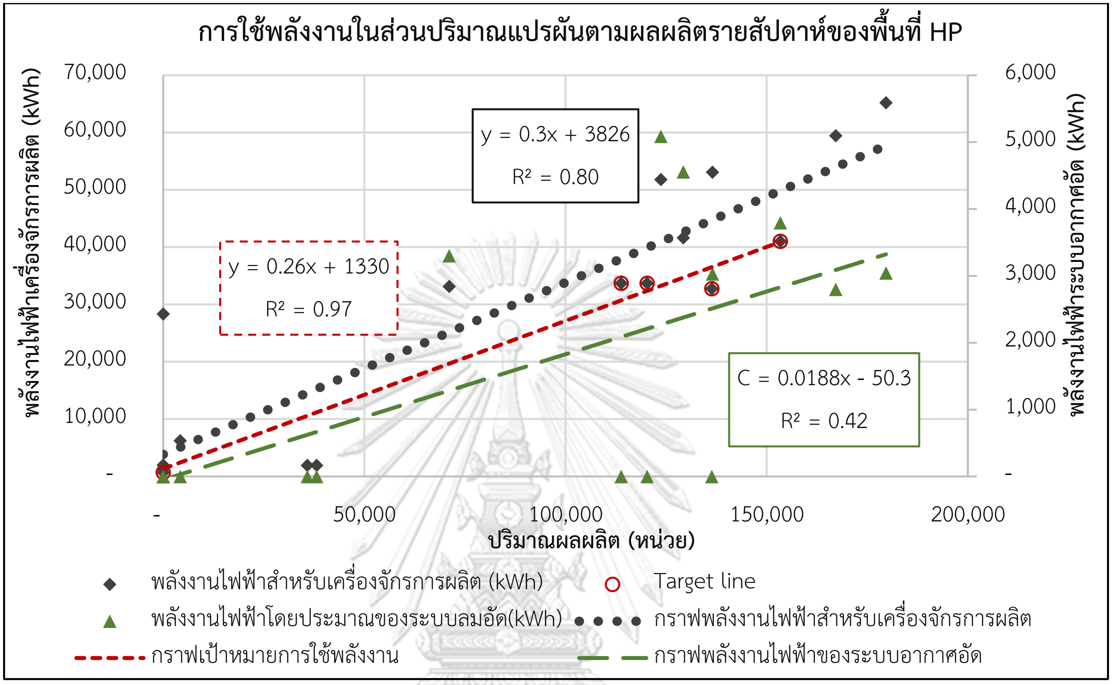


รูปที่ 3.16 แผนผังการกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าและผลผลิตรายเดือนของพื้นที่ HP

สมการเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานรายสัปดาห์ของพื้นที่ HP

เพื่อศึกษาและควบคุมการใช้พลังงานในพื้นที่การผลิต จึงแบ่งเป้าหมายออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ปริมาณไฟฟ้าไม่ขึ้นกับผลผลิต และ ปริมาณไฟฟ้าของระบบที่ขึ้นกับจำนวนผลผลิต

1) สมการเป้าหมายของระบบส่วนที่ปริมาณการใช้พลังงานขึ้นกับผลผลิต



รูปที่ 3.17 ปริมาณพลังงานในส่วนปริมาณแปรผันตามผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ HP

จากข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของพื้นที่ HP เทียบกับผลผลิต โดยแบ่งเป็น 2 ระบบพบว่า

ระบบไฟฟ้าของเครื่องจักรการผลิต

เมื่อนำมาสร้างแผนภาพการกระจายตัวของข้อมูลดังรูปที่ 3.17 โดย Y แทนปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และ X แทนปริมาณผลผลิต เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยพบว่า ค่า R^2 มีค่า 0.97 ซึ่งมีค่าใกล้เคียง 1 ซึ่งเกิดจากข้อมูลที่มีนั้นมีจำนวนน้อยและมีเพียง 3 ชุดข้อมูลในปีที่ 2020 ที่นำมาใช้ ค่าสัมประสิทธิความสัมพันธ์ที่ใกล้เคียง 1 หมายความว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าแปรผันตามปริมาณผลผลิต โดยกำหนดเลือกข้อมูลของสัปดาห์ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดมาเป็นชุดข้อมูลเพื่อสร้างเส้นเป้าหมายการใช้พลังงานของพื้นที่ HP ดังสมการที่ (14)

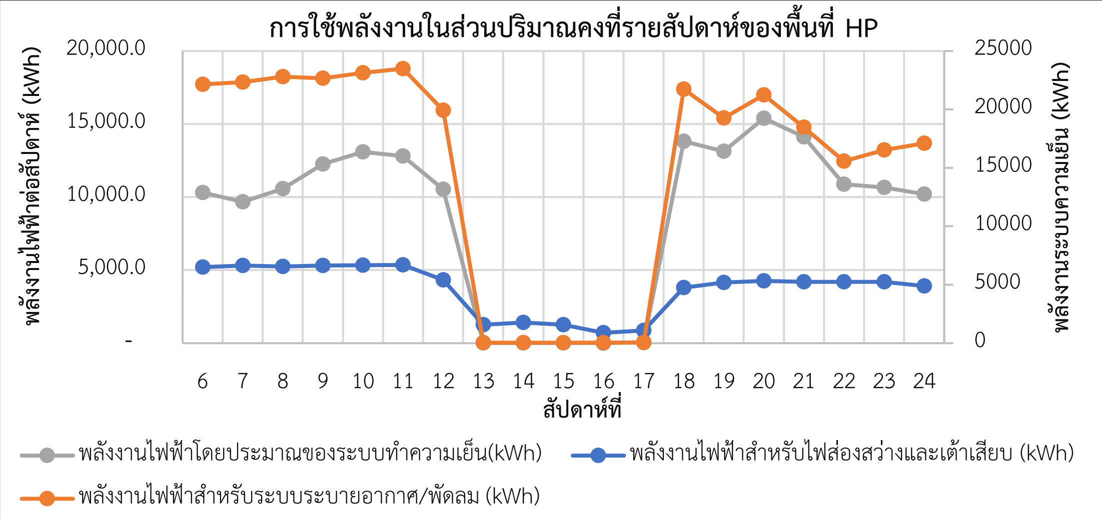
$$Y = (0.26X) + 1{,}330 \qquad \text{สมการที่ (14)}$$

ระบบอากาศอัดของเครื่องจักรการผลิต

เมื่อนำมาสร้างแผนภาพการกระจายตัวของข้อมูลดังรูปที่ 3.17 โดย C แทนปริมาณพลังงานไฟฟ้าจากอากาศอัดที่ใช้ในพื้นที่ และ X แทนปริมาณผลผลิต เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอย

พบว่า ค่า R^2 มีค่า 0.4 หมายความว่าปริมาณการใช้อากาศอัดไม่แปรผันตามปริมาณผลผลิต ฝ่ายซ่อมบำรุงพบเจอรอยรั่วของข้อต่อท่อส่งอากาศอัด จึงทำการแก้ไขและติดตามผลต่อไป

สมการเป้าหมายของระบบส่วนที่ปริมาณการใช้พลังงานไม่ขึ้นกับผลผลิต



รูปที่ 3.18 ปริมาณพลังงานในส่วนปริมาณคงที่ตามผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ HP

จากรูปที่ 3.18 แบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงโดยใช้เกณฑ์รูปแบบแผนการผลิตเป็นเกณฑ์แบ่ง

ช่วงที่ 1 สัปดาห์ที่ 6 ถึง 13 แผนการผลิตมีการผลิตทั้งวันและทุกวัน

ช่วงที่ 2 สัปดาห์ที่ 13 ถึง 17 ไม่มีแผนการผลิต

ช่วงที่ 3 สัปดาห์ที่ 18 ถึง 24 แผนการผลิตมีการผลิตวันจันทร์ถึงวันศุกร์ และไม่มีการผลิตในช่วงเสาร์อาทิตย์แต่ยังจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าสำหรับส่วนควบคุมและไฟส่องสว่างบางส่วน รวมถึงบริเวณที่มีการจัดเก็บสินค้าและวัตถุดิบที่จำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

เมื่อเรียงลำดับตามปริมาณการใช้พลังงานจากมากไปน้อยพบว่า ช่วงที่ 1 ที่มีการใช้พลังงานตลอดทั้งวันจะมีปริมาณการใช้พลังงานที่สูงกว่า ช่วงที่ 3 ที่มีการผลิตช่วงจันทร์ถึงศุกร์ และ ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่มีปริมาณการใช้พลังงานต่ำสุดเนื่องจากไม่มีกิจกรรมการผลิตในช่วงนั้นเพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานโดยใช้ข้อมูลของช่วงที่ 3 และแบ่งออกเป็นเป้าหมายการใช้พลังงานในช่วงวันทำงานปกติ และช่วงเสาร์อาทิตย์ เมื่อพิจารณาอนุกรมเวลาของพลังงานของแต่ละระบบดังรูปที่ 3.19

จากข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของพื้นที่ HP มีลักษณะเป็นค่าคงที่และเป็นวัฏจักรในวันจันทร์ถึงศุกร์และเสาร์อาทิตย์ โดยแบ่งเป็น 3 ระบบ พบว่าค่าที่ต่ำที่สุดของกำลังไฟฟ้าแต่ละระบบที่นำมาใช้กำหนดเป็นเป้าหมายมีค่าดังต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1) ระบบทำความเย็น

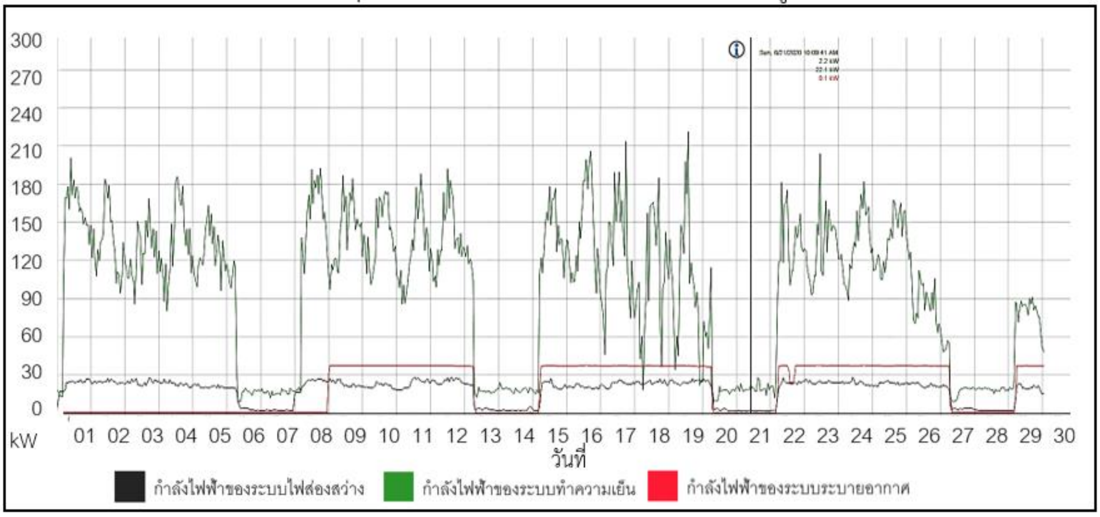
ในช่วงจันทร์ถึงศุกร์มีการเปิดระบบทำความเย็นโดยมีพฤติกรรมการใช้งานเป็นวัฏจักร

โดยมีค่าสูงสุด (Peak Load) ที่ต่ำที่สุด เฉลี่ยอยู่ที่ 143 kW

โดยมีค่าต่ำสุด (Peak Load) ที่ต่ำที่สุด เฉลี่ยอยู่ที่ 60 kW

โดยมีค่าเฉลี่ย (Peak Load) ที่ต่ำที่สุด เฉลี่ยอยู่ที่ 113 kW

ในช่วงเสาร์ถึงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยที่ 16 kW



รูปที่ 3.19 กราฟกำลังไฟฟ้าของพื้นที่ HP

2) ระบบไฟส่องสว่างและเต้าเสียบ

ในช่วงจันทร์ถึงศุกร์มีการใช้ไฟส่องสว่าง กำลังไฟฟ้าคงที่ที่ 19 kW

ในช่วงเสาร์ถึงอาทิตย์มีการใช้ไฟส่องสว่าง กำลังไฟฟ้าคงที่ที่ 2 kW

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

3) ระบบระบายอากาศ

ในช่วงจันทร์ถึงศุกร์มีการเปิดระบบระบายอากาศ กำลังไฟฟ้าคงที่ที่ 37 kW

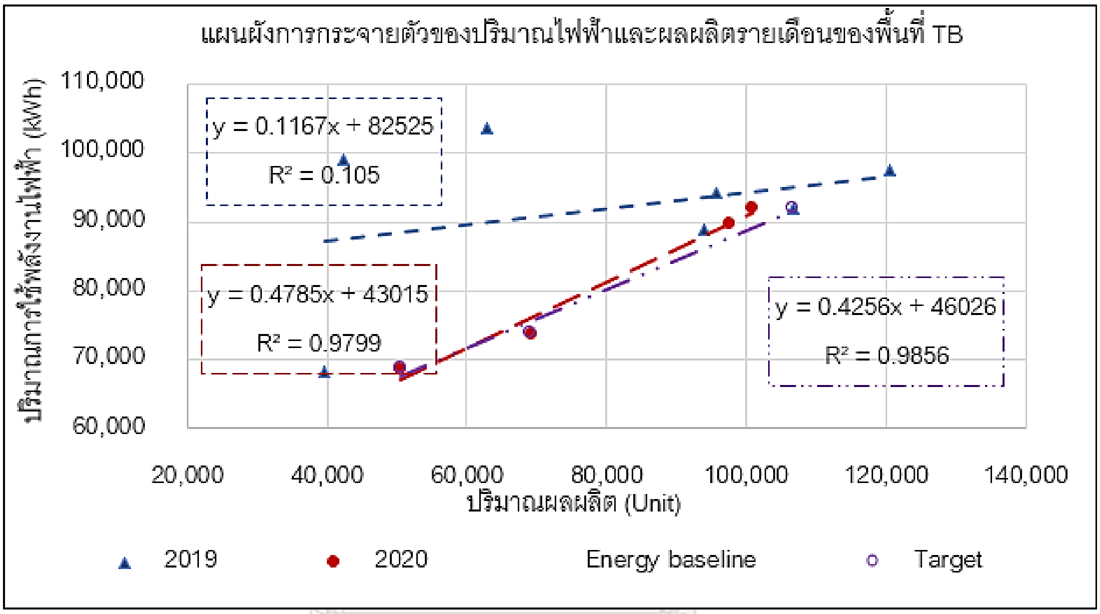
ในช่วงเสาร์ถึงอาทิตย์มีการเปิดระบบระบายอากาศ กำลังไฟฟ้าคงที่ที่ 0.1 kW

3.5.3 พื้นที่ TB

เป็นกระบวนการที่มีการใช้ไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 3.8 ของการใช้พลังงานในโรงงาน จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลผลิตรายเดือนของปี 2019 และ 2020 เมื่อนำมาสร้างแผนภาพการกระจายตัวของข้อมูลดังรูปที่ 3.20 โดย Y แทนปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และ X แทนปริมาณผลผลิต เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยพบว่า ค่า R^2 มีค่า 0.11 และ 0.98 ตามลำดับ ซึ่งชุดข้อมูลปี 2019 น้อยกว่า 0.7 หมายความว่าปริมาณการใช้พลังงานของพื้นที่ TB ไม่แปรผันตาม

ปริมาณการผลิต แต่ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี 2019 และปริมาณการใช้ไฟฟ้าขึ้นกับปริมาณผลผลิตในปี 2020 โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ ในรูปที่ 3.20

แนวโน้มการใช้พลังงาน เมื่อพิจารณาชุดข้อมูลปี 2019 ไม่สามารถนำมากำหนดเป็นสมการอ้างอิง ในการเปรียบเทียบได้ จึงใช้ชุดข้อมูลของทั้งปี 2019 และ 2020 โดยตัดค่าผิดปกติออกเพื่อสร้างสมการอ้างอิงดังรูปที่ 3.20 ซึ่งจากข้อมูลปี 2019 และ 2020 จากแผนผังการกระจายตัวพบว่าที่ปริมาณผลผลิตที่ใกล้กันปี 2020 ใช้พลังงานน้อยกว่าและมีประสิทธิภาพมากกว่าปี 2019



รูปที่ 3.20 แผนผังการกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าและผลผลิตของพื้นที่ TB

สมการเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานรายเดือนของพื้นที่ TB

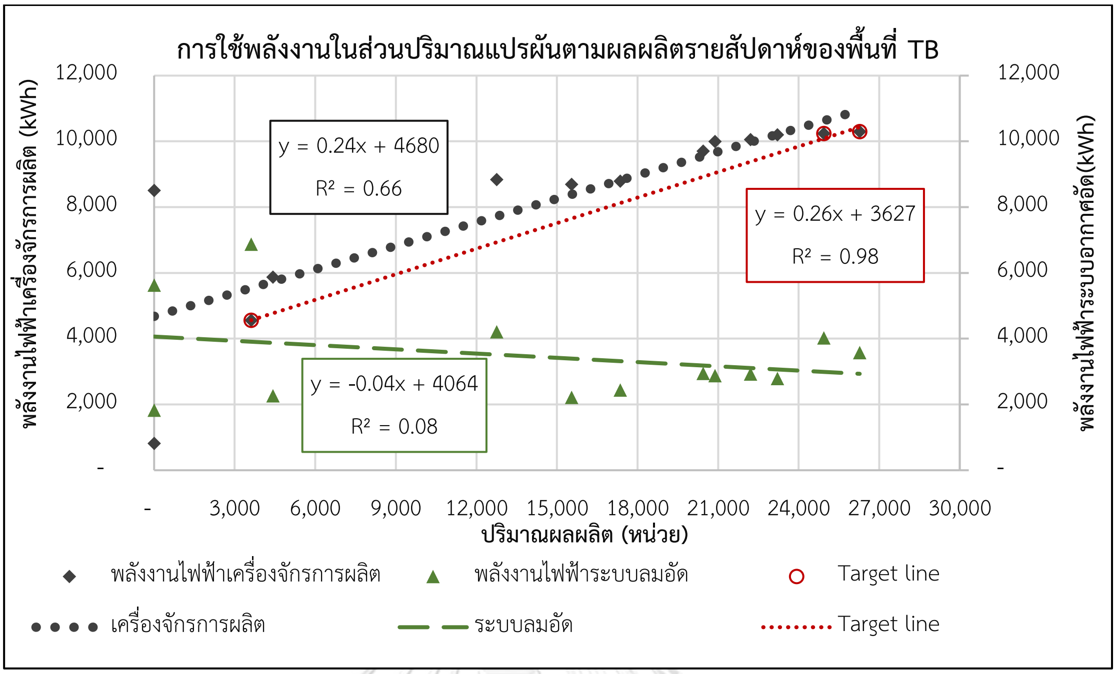
จากรูปภาพที่ 3-20 กำหนดเป้าหมายด้วยข้อมูลการใช้พลังงานดีที่ที่สุดในแผนผังการกระจายตัว โดยพิจารณาจากชุดข้อมูลที่มีผลผลิตสูงและมีการใช้พลังงานต่ำ จำนวน 3 จุด และกำหนดสมการถดถอยเพื่อเป็นสมการเป้าหมายการใช้พลังงาน พบว่าชุดข้อมูลการใช้พลังงานของปี 2020 เป็นชุดข้อมูลที่ใช้พลังงานน้อยที่สุดเมื่อเทียบปริมาณผลผลิตในระดับเดียวกันกับชุดข้อมูลสมการเป้าหมายการใช้พลังงานของ TB ดังสมการที่ (15)

$$Y = (0.4256X) + 46,026 \quad \text{สมการที่ (15)}$$

สมการเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานรายสัปดาห์ของพื้นที่ TB

เพื่อศึกษาและควบคุมการใช้พลังงานในพื้นที่การผลิต จึงแบ่งเป้าหมายออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ปริมาณไฟฟ้าไม่ขึ้นกับผลผลิต และ ปริมาณไฟฟ้าของระบบที่ขึ้นกับจำนวณผลผลิต

1) สมการเป้าหมายของระบบส่วนที่ปริมาณการใช้พลังงานขึ้นกับผลผลิต



รูปที่ 3.21 ปริมาณพลังงานในส่วนปริมาณแปรผันตามผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ TB

จากข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของพื้นที่ TB เทียบกับผลผลิต โดยแบ่งเป็น 2 ระบบพบว่า

1) ระบบไฟฟ้าของเครื่องจักรการผลิต

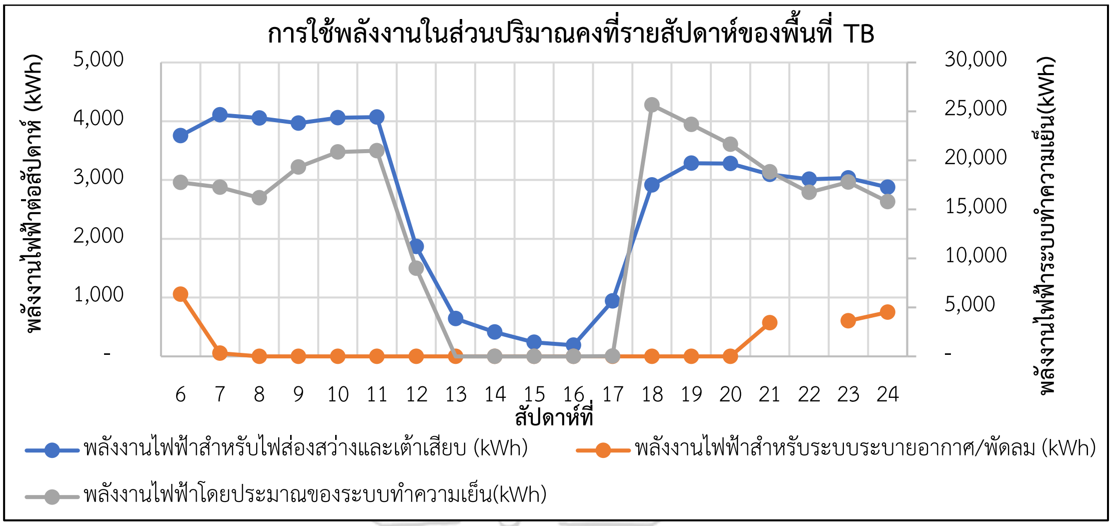
เมื่อนำมาสร้างแผนภาพการกระจายตัวของข้อมูลดังรูปที่ 3.21 โดย Y แทนปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และ X แทนปริมาณผลผลิต เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยพบว่า ค่า R^2 มีค่า 0.99 หมายความว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าค่อนข้างแปรผันตามปริมาณผลผลิต และเมื่อกำหนดเลือกข้อมูลของสัปดาห์ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดมาเป็นชุดข้อมูลเพื่อสร้างเส้นเป้าหมายการใช้พลังงานของพื้นที่ TB ดังสมการที่ (16)

$$Y = (0.26X) + 3627 \qquad \text{สมการที่ (16)}$$

2) ระบบอากาศอัดของเครื่องจักรการผลิต

เมื่อนำมาสร้างแผนภาพการกระจายตัวของข้อมูลดังรูปที่ 3.21 โดย C แทนปริมาณพลังงานไฟฟ้าจากอากาศอัดที่พื้นที่ใช้ และ X แทนปริมาณผลผลิต เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยพบว่า ค่า R^2 มีค่า 0.08 หมายความว่าปริมาณการใช้อากาศอัดไม่แปรผันตามปริมาณผลผลิต

2) สมการเป้าหมายของระบบส่วนที่ปริมาณการใช้พลังงานไม่ขึ้นกับผลผลิต



รูปที่ 3.22 ปริมาณพลังงานในส่วนปริมาณคงที่ตามผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ TB

จากรูปที่ 3.22 แบ่งออกได้เป็น 4 ช่วงโดยใช้เกณฑ์รูปแบบแผนการผลิตเป็นเกณฑ์แบ่ง

ช่วงที่ 1 สัปดาห์ที่ 6 ถึง 11 แผนการผลิตมีการผลิตทั้งวันและทุกวัน

ช่วงที่ 2 สัปดาห์ที่ 11 ถึง 17 ไม่มีแผนการผลิต

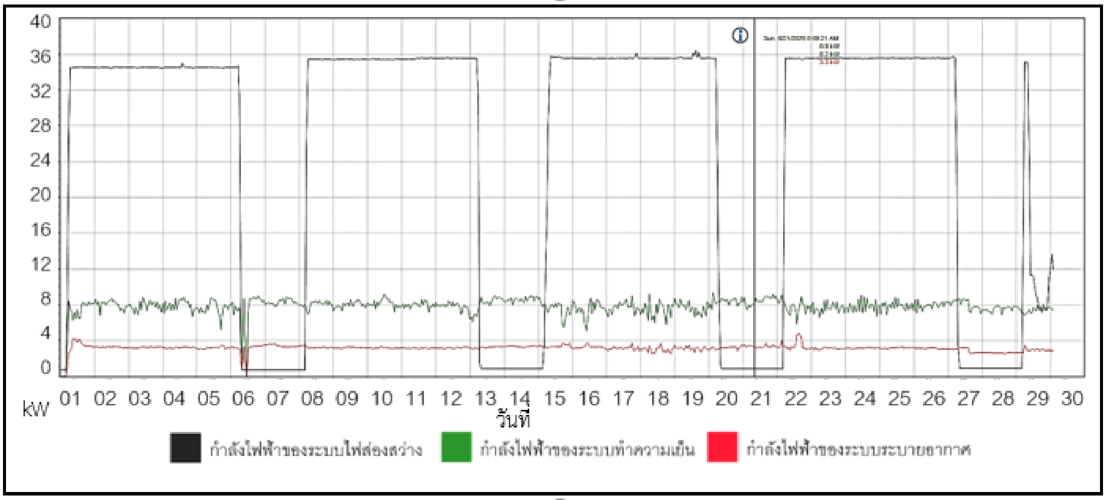
ช่วงที่ 3 สัปดาห์ที่ 18 ถึง 20 และ สัปดาห์ที่ 23 ถึง 24 แผนการผลิตมีการผลิตวันจันทร์ถึงวันศุกร์ และไม่มีการผลิตในช่วงเสาร์และอาทิตย์ แต่ยังจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าสำหรับส่วนควบคุมและไฟส่องสว่างบางส่วน รวมถึงบริเวณที่มีการจัดเก็บสินค้าและวัตถุดิบที่จำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

ช่วงที่ 4 สัปดาห์ที่ 21 ถึง 22 มีการหยุดระบบทำความเย็นและระบบระบายอากาศในช่วงเสาร์อาทิตย์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

เมื่อเรียงลำดับตามปริมาณการใช้พลังงานจากมากไปน้อยพบว่า ช่วงที่ 1 ที่มีการใช้พลังงานตลอดทั้งวันจะมีปริมาณการใช้พลังงานที่สูงกว่า ช่วงที่ 3 ที่มีการผลิตช่วงจันทร์ถึงศุกร์ และ ช่วงที่ 4 มีการผลิตช่วงจันทร์ถึงศุกร์และหยุดระบบทำความเย็นในวันเสาร์อาทิตย์ โดยช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่มีปริมาณการใช้พลังงานต่ำสุดเนื่องจากไม่มีกิจกรรมการผลิตในช่วงนั้น

เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานโดยใช้ข้อมูลของช่วงที่ 3 และแบ่งออกเป็นเป้าหมายการใช้พลังงานในช่วงวันทำงานปกติ และช่วงเสาร์อาทิตย์ เมื่อพิจารณาอนุกรมเวลาของพลังงานของแต่ละระบบดังรูปที่ 3 .23



รูปที่ 3.23 กราฟกำลังไฟฟ้าของพื้นที่ TB

จากข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของพื้นที่ TB มีลักษณะเป็นค่าคงที่และเป็นวัฏจักรในวันจันทร์ถึงศุกร์และเสาร์อาทิตย์ โดยแบ่งเป็น 3 ระบบ พบว่าค่าที่ต่ำที่สุดของกำลังไฟฟ้าแต่ละระบบที่นำมาใช้กำหนดเป็นเป้าหมายมีค่าดังต่อไปนี้

1) ระบบทำความเย็น

เนื่องจากพื้นที่ผลิตนี้จำเป็นต้องควบคุมอุณหภูมิและความชื้นจึงจำเป็นที่จะต้องเปิดใช้ระบบทำความเย็นทุกวัน กำลังไฟฟ้าที่ใช้โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 8 kW

2) ระบบไฟส่องสว่างและเต้าเสียบ

ในช่วงจันทร์ถึงศุกร์มีการใช้ไฟส่องสว่าง กำลังไฟฟ้าคงที่ที่ 36 kW

ในช่วงเสาร์ถึงอาทิตย์มีการใช้ไฟส่องสว่าง กำลังไฟฟ้าคงที่ที่ 0.7 kW

3) ระบบระบายอากาศ

เนื่องจากพื้นที่ผลิตนี้จำเป็นที่จะต้องเปิดระบบระบายอากาศทุกวัน กำลังไฟฟ้าที่ใช้โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 3 kW

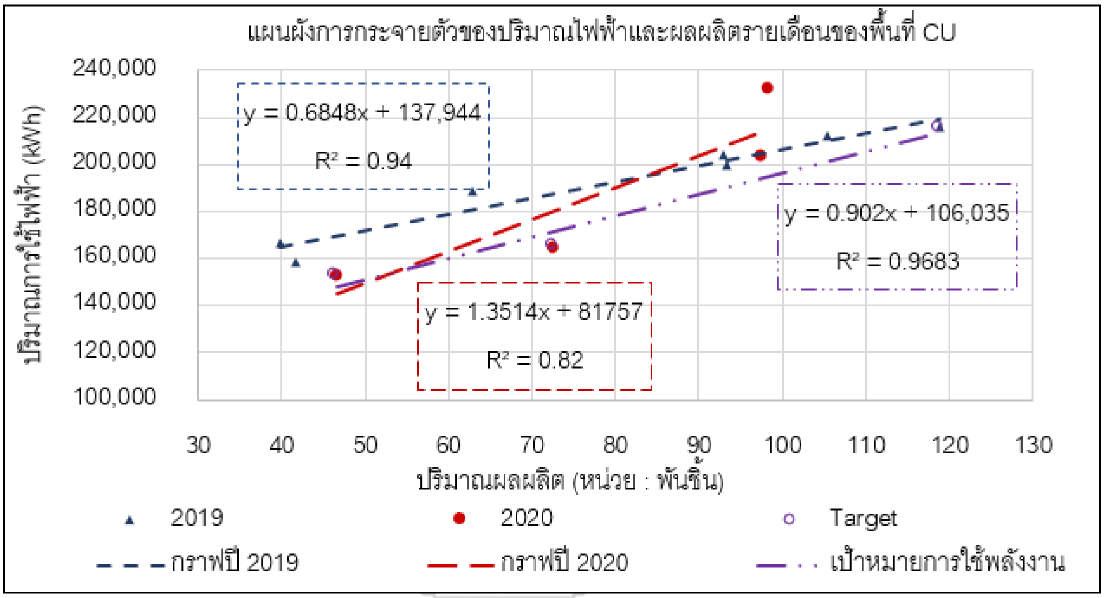
3.5.4 พื้นที่ CU

เป็นกระบวนการที่มีการใช้ไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 8.72 ของการใช้พลังงานในโรงงาน จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลผลิตรายเดือนของปี 2019 และ 2020 เมื่อนำมาสร้างแผนภาพการกระจายตัวของข้อมูลดังรูปที่ 3.24 โดย Y แทนปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และ X แทนปริมาณผลผลิต เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยพบว่า ค่า R^2 มีค่า 0.94 และ 0.82 ตามลำดับ ซึ่ง มากกว่า 0.7 หมายความว่าปริมาณการใช้พลังงานของพื้นที่ TB แปรผันตามปริมาณการผลิต โดย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

มีความสัมพันธ์ดังสมการ ในรูปที่ 3.24

แนวโน้มการใช้พลังงานเมื่อพิจารณาชุดข้อมูลปี 2019 ไม่สามารถนำมากำหนดเป็นสมการอ้างอิง ในการเปรียบเทียบได้ จึงใช้ชุดข้อมูลของปี 2019 และ 2020 โดยตัดค่าผิดปกติออกเพื่อสร้างสมการอ้างอิงดังรูปที่ 3.24 ซึ่งจากข้อมูลปี 2019 และ 2020 จากแผนผังการกระจายพบว่าที่ปริมาณผลผลิตที่ใกล้กัน ปี 2020 ใช้พลังงานได้มีประสิทธิภาพกว่าปี 2019



รูปที่ 3.24 แผนผังการกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าและผลผลิตของพื้นที่ CU

สมการเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานรายเดือนของพื้นที่ CU

จากรูปที่ 3.24 กำหนดเป้าหมายด้วยข้อมูลการใช้พลังงานดีที่ที่สุดในแผนผังการกระจายตัว โดยพิจารณาจากชุดข้อมูลที่มีผลผลิตสูงและมีการใช้พลังงานต่ำ จำนวน 3 จุด และกำหนดสมการถดถอยเพื่อเป็นสมการเป้าหมายการใช้พลังงานพื้นที่ CU ดังสมการที่ (17)

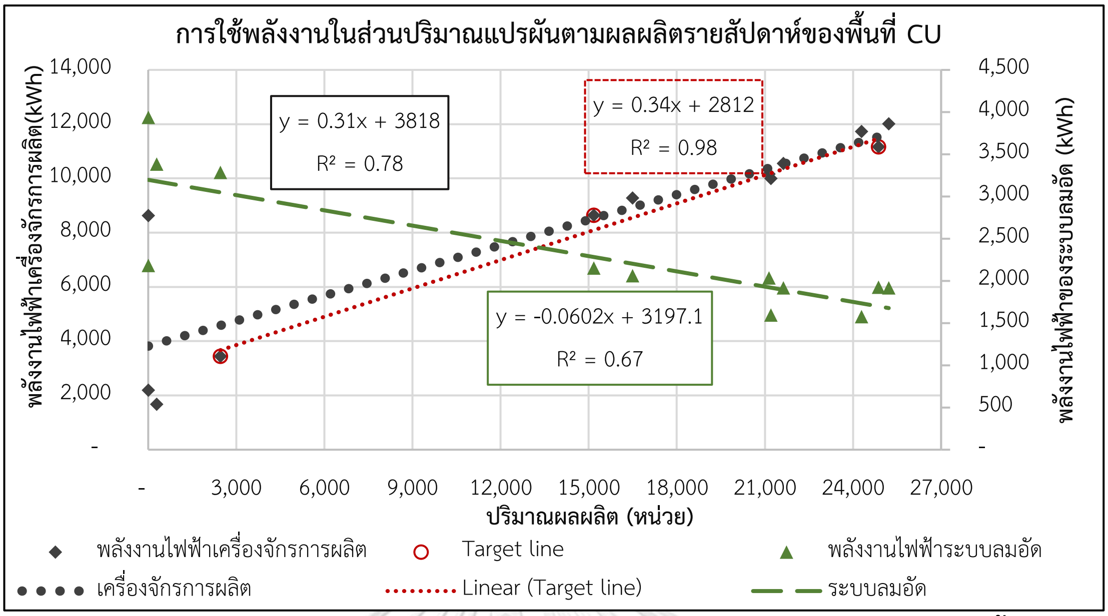
$$Y = (0.9X) + 106{,}035 \qquad \text{สมการที่ (17)}$$

สมการเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานรายสัปดาห์ของพื้นที่ CU

เพื่อศึกษาและควบคุมการใช้พลังงานในพื้นที่การผลิต จึงแบ่งเป้าหมายออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่ปริมาณไฟฟ้าไม่ขึ้นกับผลผลิต และ ปริมาณไฟฟ้าของระบบที่ขึ้นกับจำนวนผลผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1)สมการเป้าหมายของระบบส่วนที่ปริมาณการใช้พลังงานขึ้นกับผลผลิต



รูปที่ 3.25 ปริมาณพลังงานในส่วนปริมาณแปรผันตามผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ CU

จากข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของพื้นที่ HP เทียบกับผลผลิต โดยแบ่งเป็น 2 ระบบพบว่า

1) ระบบไฟฟ้าของเครื่องจักรการผลิต

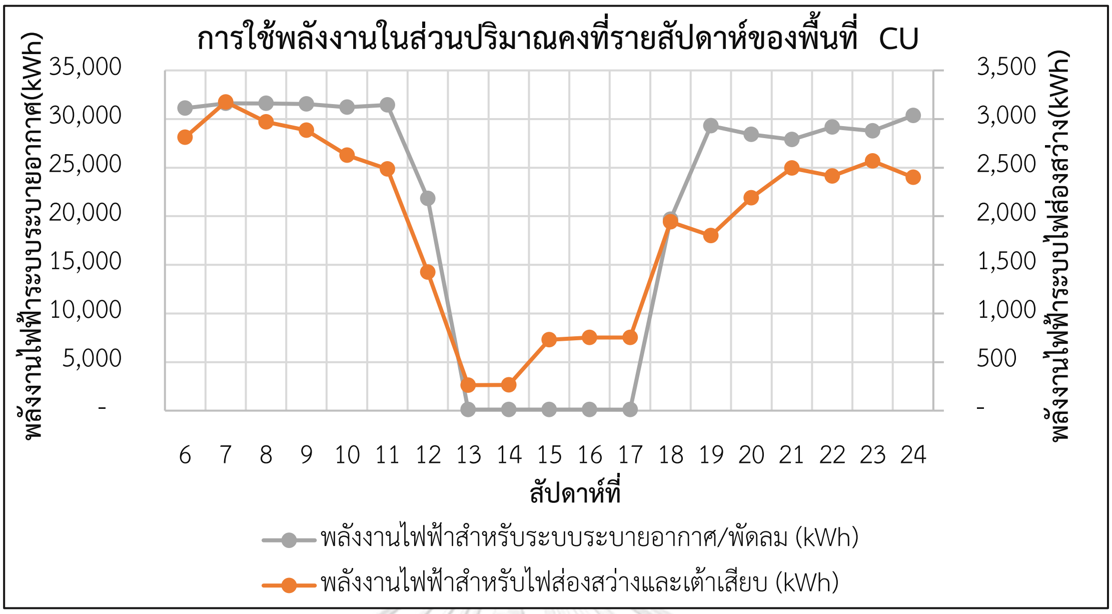
จากข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของพื้นที่ CU เทียบกับผลผลิต โดยแบ่งเป็น 2 ระบบพบว่า ระบบไฟฟ้าของเครื่องจักรการผลิตเมื่อนำมาสร้างแผนภาพการกระจายตัวของข้อมูลดังรูปที่ 3.25 โดย Y แทนปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และ X แทนปริมาณผลผลิต เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยพบว่า ค่า R^2 มีค่า 0.98 หมายความว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าแปรผันตามปริมาณผลผลิต และเมื่อกำหนดเลือกข้อมูลของสัปดาห์ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด 3 ลำดับแรกเพื่อใช้เป็นชุดข้อมูลเพื่อสร้างเส้นเป้าหมายการใช้พลังงานของพื้นที่ CU ดังสมการที่ (18)

$$Y = (0.34X) + 2{,}812 \qquad \text{สมการที่ (18)}$$

2) ระบบอากาศอัดของเครื่องจักรการผลิต

เมื่อนำมาสร้างแผนภาพการกระจายตัวของข้อมูลดังรูปที่ 3.25 โดย C แทนปริมาณพลังงานไฟฟ้าจากอากาศอัดที่พื้นที่ใช้ และ X แทนปริมาณผลผลิต เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยพบว่า ค่า R^2 มีค่า 0.08 หมายความว่าปริมาณการใช้อากาศอัดไม่แปรผันตามปริมาณผลผลิต

2)สมการเป้าหมายของระบบส่วนที่ปริมาณการใช้พลังงานไม่ขึ้นกับผลผลิต



รูปที่ 3.26 ปริมาณพลังงานในส่วนปริมาณคงที่ตามผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ CU

จากรูปที่ 3.26 แบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงโดยใช้เกณฑ์รูปแบบแผนการผลิตเป็นเกณฑ์แบ่ง

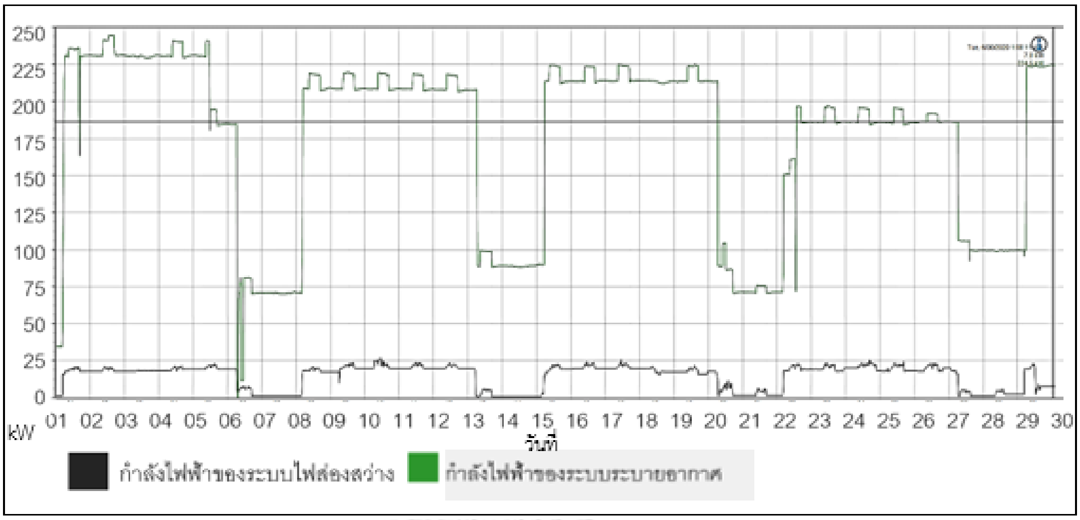
ช่วงที่ 1 สัปดาห์ที่ 6 ถึง 13 แผนการผลิตมีการผลิตทั้งวันและทุกวัน

ช่วงที่ 2 สัปดาห์ที่ 13 ถึง 17 ไม่มีแผนการผลิต

ช่วงที่ 3 สัปดาห์ที่ 18 ถึง 24 แผนการผลิตมีการผลิตวันจันทร์ถึงวันศุกร์ และไม่มีการผลิตในช่วงเสาร์อาทิตย์ แต่ยังจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าสำหรับส่วนควบคุมและไฟส่องสว่างบางส่วน รวมถึงบริเวณที่มีการจัดเก็บสินค้าและวัตถุดิบที่จำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

เมื่อเรียงลำดับตามปริมาณการใช้พลังงานจากมากไปน้อยพบว่า ช่วงที่ 1 ที่มีการใช้พลังงานตลอดทั้งวันจะมีปริมาณการใช้พลังงานที่สูงกว่า ช่วงที่ 3 ที่มีการผลิตช่วงจันทร์ถึงศุกร์ และ ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่มีปริมาณการใช้พลังงานต่ำสุดเนื่องจากไม่มีกิจกรรมการผลิตในช่วงนั้น

เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานโดยใช้ข้อมูลของช่วงที่ 3 และแบ่งออกเป็นเป้าหมายการใช้พลังงานในช่วงวันทำงานปกติ และช่วงเสาร์อาทิตย์ เมื่อพิจารณาอนุกรมเวลาของพลังงานของแต่ละระบบ



รูปที่ 3.27 กราฟกำลังไฟฟ้าของพื้นที่ CU

จากข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของพื้นที่ CU ดังรูปที่ 3.27 เทียบกับผลผลิต โดยแบ่งเป็น 2 ระบบ พบว่า

1) ระบบไฟส่องสว่างและเต้าเสียบ

ในช่วงวันจันทร์ถึงวันศุกร์มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่ำสุดอยู่ที่ 18 kW

และมีโหลดเกิดขึ้นเป็นวัฏจักร 5 kW

ในช่วงวันเสาร์ถึงวันอาทิตย์ มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าคงที่ต่ำสุดอยู่ที่ 1 kW

2) ระบบระบายอากาศ

ในช่วงวันจันทร์ถึงวันศุกร์ มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่ำสุดอยู่ที่ 186 kW

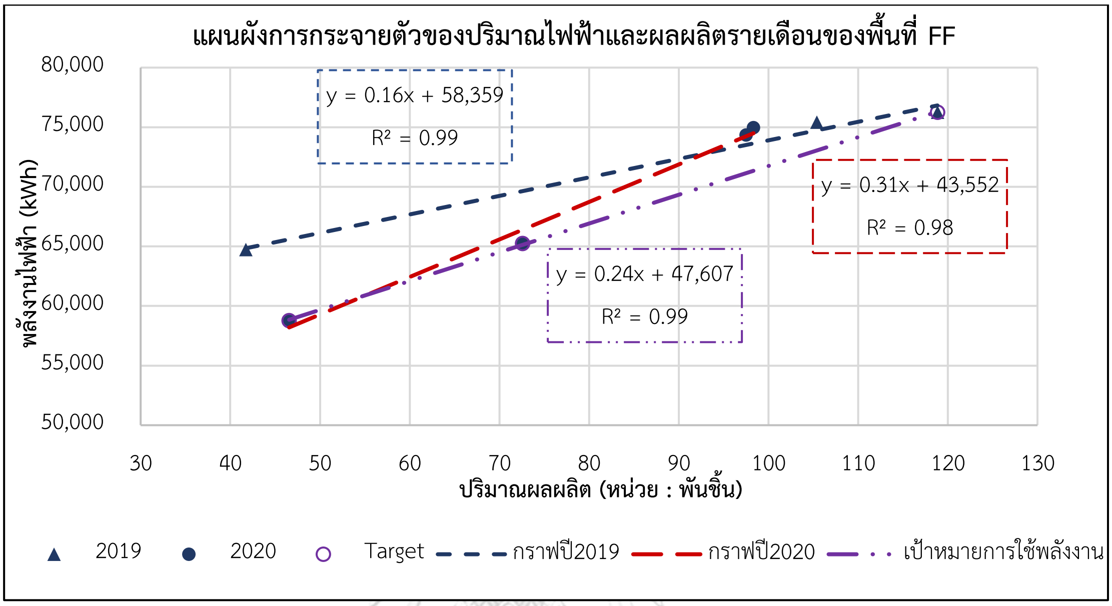
และมีโหลดจาก tr03 ที่เกิดขึ้นเป็นวัฏจักร 10 kW

ในช่วงวันเสาร์ถึงวันอาทิตย์ มีปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่ำสุดอยู่ที่ 71 kW

3.5.5 พื้นที่ FF

เป็นกระบวนการที่มีการใช้ไฟฟ้าคิดเป็นร้อยละ 3 ของการใช้พลังงานในโรงงาน จากข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลผลิตรายเดือนของปี 2019 และ 2020 เมื่อนำมาสร้างแผนภาพการกระจายตัวของข้อมูลดังรูปที่ 40 โดย Y แทนปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และ X แทนปริมาณผลผลิต เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยพบว่า ค่า R^2 มีค่า 0.94 และ 0.82 ตามลำดับซึ่งมากกว่า 0.7 หมายความว่าปริมาณการใช้พลังงานของพื้นที่ TB แปรผันตามปริมาณการผลิต โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ ในรูปที่ 3.28

แนวโน้มการใช้พลังงาน เมื่อพิจารณาชุดข้อมูลปี 2019 ไม่สามารถนำมากำหนดเป็นสมการอ้างอิง ในการเปรียบเทียบได้ จึงใช้ชุดข้อมูลของปี 2019 และ 2020 โดยตัดค่าผิดปกติออกเพื่อสร้างสมการอ้างอิงดังรูปที่ 3.28 ซึ่งจากข้อมูลปี 2019 และ 2020 จากแผนผังการกระจายพบว่า ที่ปริมาณผลผลิตที่ใกล้กัน ปี 2020 ใช้พลังงานน้อยกว่า ปี 2019



รูปที่ 3.28 แผนผังการกระจายตัวของปริมาณไฟฟ้าและผลผลิตของพื้นที่ FF

สมการเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานรายเดือนของพื้นที่ FF

จากรูปที่ 3.28 กำหนดเป้าหมายด้วยข้อมูลการใช้พลังงานดีที่ที่สุดในแผนผังการกระจายตัว โดยพิจารณาจากชุดข้อมูลที่มีผลผลิตสูงและมีการใช้พลังงานต่ำ จำนวน 3 จุด และกำหนดสมการถดถอยเพื่อเป็นสมการเป้าหมายการใช้พลังงานสมการเป้าหมายการใช้พลังงานของ FF ดังสมการที่ (19)

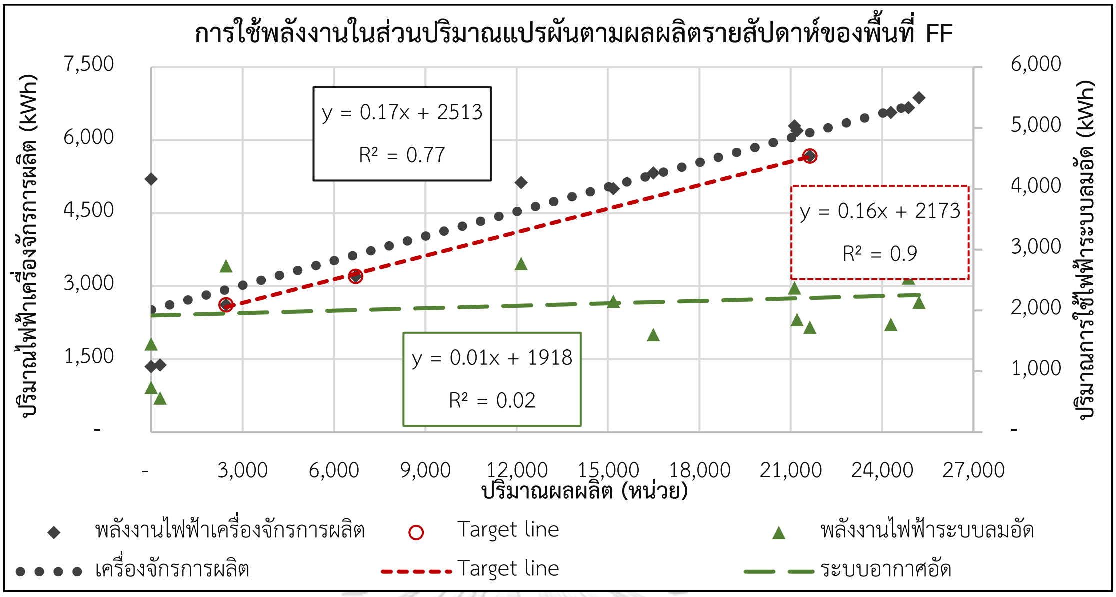
$$Y = (0.24X) + 47,607 \qquad \text{สมการที่ (19)}$$

สมการเป้าหมายการอนุรักษ์พลังงานรายสัปดาห์ของพื้นที่ FF

เพื่อศึกษาและควบคุมการใช้พลังงานในพื้นที่การผลิต จึงแบ่งเป้าหมายออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนที่ปริมาณไฟฟ้าไม่ขึ้นกับผลผลิต และ ปริมาณไฟฟ้าของระบบที่ขึ้นกับจำนวนผลผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1)สมการเป้าหมายของระบบส่วนที่ปริมาณการใช้พลังงานขึ้นกับผลผลิต



รูปที่ 3.29 ปริมาณพลังงานในส่วนปริมาณแปรผันตามผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ FF

จากข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของพื้นที่ FF เทียบกับผลผลิต โดยแบ่งเป็น 2 ระบบพบว่า

1) ระบบไฟฟ้าของเครื่องจักรการผลิต

เมื่อนำมาสร้างแผนภาพการกระจายตัวของข้อมูลดังรูปที่ 3.29 โดย Y แทนปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ และ X แทนปริมาณผลผลิต เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยพบว่า ค่า R^2 มีค่า 0.77 หมายความว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้าแปรผันตามปริมาณผลผลิต และเมื่อกำหนดเลือกข้อมูลของสัปดาห์ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดมาเป็นชุดข้อมูลเพื่อสร้างเส้นสมการเป้าหมายการใช้พลังงานของพื้นที่ CU ดังสมการที่ (20)

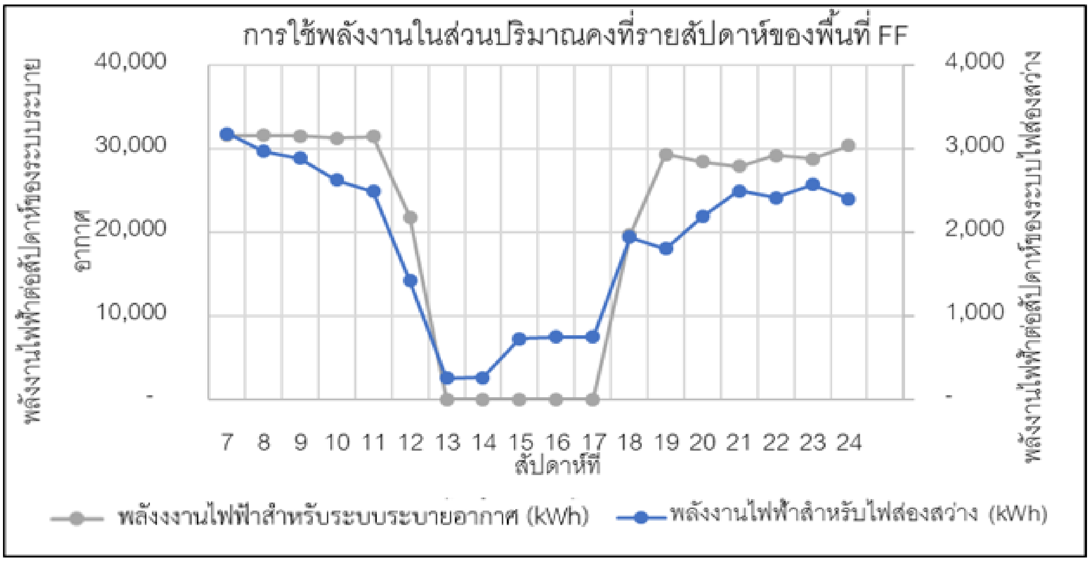
$$Y = (0.16X) + 2,173 \quad \text{สมการที่ (20)}$$

2) ระบบอากาศอัดของเครื่องจักรการผลิต

เมื่อนำมาสร้างแผนภาพการกระจายตัวของข้อมูลดังรูปที่ 3.29 โดย C แทนปริมาณพลังงานไฟฟ้าจากอากาศอัดที่พื้นที่ใช้ และ X แทนปริมาณผลผลิต เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยสมการถดถอยพบว่า ค่า R^2 มีค่า 0.02 หมายความว่าปริมาณการใช้อากาศอัดไม่แปรผันตามปริมาณผลผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2)สมการเป้าหมายของระบบส่วนที่ปริมาณการใช้พลังงานไม่ขึ้นกับผลผลิต



รูปที่ 3.30 ปริมาณพลังงานในส่วนปริมาณคงที่ตามผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ FF

จากรูปที่ 3.31 แบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงโดยใช้เกณฑ์รูปแบบแผนการผลิตเป็นเกณฑ์แบ่ง

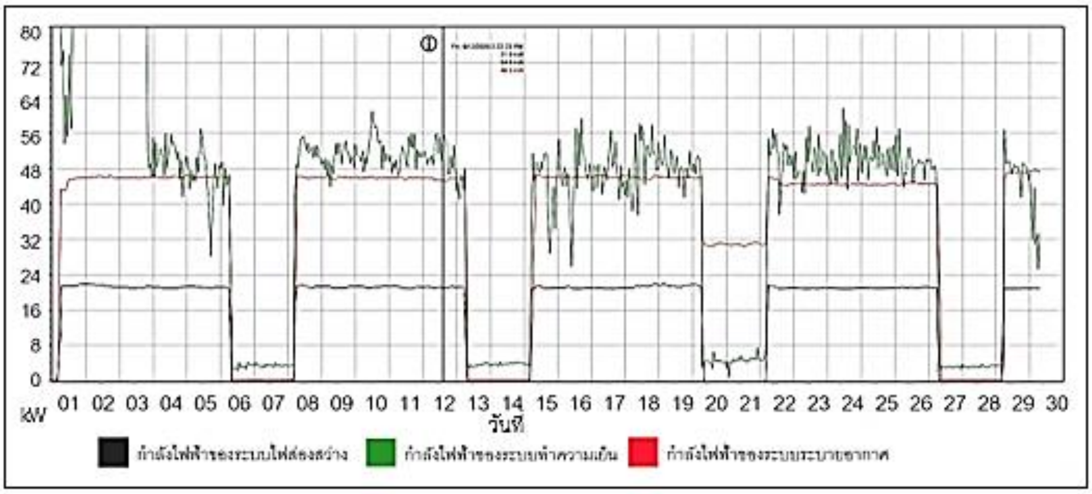
ช่วงที่ 1 สัปดาห์ที่ 6 ถึง 13 แผนการผลิตมีการผลิตทั้งวันและทุกวัน

ช่วงที่ 2 สัปดาห์ที่ 13 ถึง 17 ไม่มีแผนการผลิต

ช่วงที่ 3 สัปดาห์ที่ 18 ถึง 24 แผนการผลิตมีการผลิตวันจันทร์ถึงวันศุกร์ และไม่มีการผลิตในช่วงเสาร์อาทิตย์ แต่ยังจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้าสำหรับส่วนควบคุมและไฟส่องสว่างบางส่วน รวมถึงบริเวณที่มีการจัดเก็บสินค้าและวัตถุดิบที่จำเป็นต้องมีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้น

เมื่อเรียงลำดับตามปริมาณการใช้พลังงานจากมากไปน้อยพบว่า ช่วงที่ 1 ที่มีการใช้พลังงานตลอดทั้งวันจะมีปริมาณการใช้พลังงานที่สูงกว่า ช่วงที่ 3 ที่มีการผลิตช่วงจันทร์ถึงศุกร์ และ ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่มีปริมาณการใช้พลังงานต่ำสุดเนื่องจากไม่มีกิจกรรมการผลิตในช่วงนั้น

เพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานโดยใช้ข้อมูลของช่วงที่ 3 และแบ่งออกเป็นเป้าหมายการใช้พลังงานในช่วงวันทำงานปกติ และช่วงเสาร์อาทิตย์ เมื่อพิจารณาอนุกรมเวลาของพลังงานของแต่ละระบบพบว่า



รูปที่ 3.31 กราฟกำลังไฟฟ้าของพื้นที่ FF

จากข้อมูลปริมาณการใช้ไฟฟ้าของพื้นที่ FF มีลักษณะเป็นค่าคงที่และเป็นวัฏจักรในวันจันทร์ถึงศุกร์และเสาร์อาทิตย์ โดยแบ่งเป็น 3 ระบบ พบว่าค่าที่ต่ำที่สุดของกำลังไฟฟ้าแต่ละระบบที่นำมาใช้กำหนดเป็นเป้าหมายมีค่าดังต่อไปนี้

1) ระบบไฟส่องสว่างและเต้าเสียบ

   ในช่วงจันทร์ถึงศุกร์มีการใช้ไฟส่องสว่าง กำลังไฟฟ้าคงที่ที่ 21 kW

   ในช่วงเสาร์ถึงอาทิตย์มีการใช้ไฟส่องสว่าง กำลังไฟฟ้าคงที่ที่ 0.1 kW

2) ระบบระบายอากาศ

   ในช่วงจันทร์ถึงศุกร์มีการเปิดระบบระบายอากาศ กำลังไฟฟ้าคงที่ที่ 44 kW

   ในช่วงเสาร์ถึงอาทิตย์มีการเปิดระบบระบายอากาศ กำลังไฟฟ้าคงที่ที่ 0.1 kW

3) ระบบทำความเย็น

   ค่าในสัปดาห์ที่ 19 จนถึง 21 ไม่สามารถนำมาใช่ในการอ้างอิงได้เนื่องจากเซนเซอร์วัดอุณหภูมิเสียหายจึงทำให้ค่าที่อ่านได้มีความคลาดเคลื่อน

   ในช่วงจันทร์ถึงศุกร์มีการเปิดระบบทำความเย็นโดยมีค่าเฉลี่ย (Peak Load) ที่ต่ำที่สุด เฉลี่ยอยู่ที่ 47 kW และ ในช่วงเสาร์ถึงอาทิตย์มีค่าเฉลี่ยที่ 16 kW

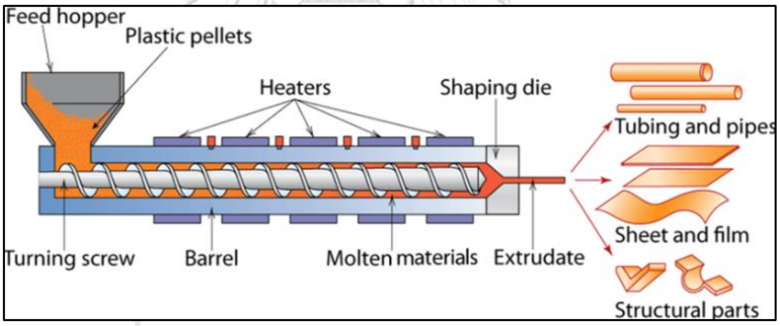
3.6 กรณีศึกษาลดการใช้พลังงานเครื่องจักรของพื้นที่ HP

เครื่องจักรในพื้นที่การผลิต HP ใช้ไฟฟ้าเป็นอันดับ 2 ของพื้นที่การผลิต สำหรับกระบวนการอัดรีดวัตถุดิบ โดยวัตถุดิบจะถูกส่งเข้าสู่เครื่องผ่านทางฮอปเปอร์ (Hopper) และได้รับความร้อนจากการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำจาก TCU ที่อุณหภูมิที่ตั้งไว้ซึ่งแตกต่างกันไปตามแต่ละส่วนของ

CHULALONGKORN UNIVERSITY

เครื่องจักร และเนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อคุณสมบัติของผลผลิต ดังนั้นเครื่องจักรจึงมีอุปกรณ์ที่ควบคุมอุณหภูมิของแต่ละส่วนของเครื่องจักรที่เรียกว่า TCU (Temperature Control Unit) เนื่องจากถ้าเป็นเทคโนโลยีสมัยเก่าการที่จะควบคุมอุณหภูมิของเครื่องจักรจำเป็นที่จะต้องผลิตน้ำร้อนมาจากฝั่งสาธารณูปโภคและส่งมายังส่วนพื้นที่การผลิตและปรับอุณหภูมิลงให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการด้วยน้ำเย็น ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองการใช้พลังงานที่ให้ความร้อนแก่น้ำร้อนและน้ำเย็น รวมถึงการสูญเสียจากการถ่ายเทความร้อนจากท่อส่งจากต้นทางมายังเครื่องจักร ดังนั้น TCU ที่ติดตั้งที่เครื่องจักรจึงสามารถช่วยลดการสูญเสียที่เกิดขึ้นด้วยการรับน้ำร้อนมาและมีเพลตฮีทเตอร์ที่ให้ความร้อนและปั๊มเพื่อส่งน้ำไปยังส่วนต่างๆของเครื่องจักร และนำน้ำที่ยังมีอุณหภูมิสูงอยู่กลับมาวนใช้ใหม่ภายในเครื่องจักร เมื่อวัตถุดิบมีอุณหภูมิที่เท่ากับค่าที่กำหนดไว้จะเปลี่ยนสถานะเป็นของเหลวและดันผ่านหัวอัดรีด (Die) ให้ได้รูปร่างที่ต้องการดังรูปที่ 3.32

โดยเครื่องจักรพื้นที่นี้ประกอบด้วยเครื่องจักรอัดรีด 3 เครื่อง CPMM , HH01, HH02 งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้เลือกเครื่องจักร CPMM มาศึกษาเพื่อหาโอกาสในการอนุรักษ์พลังงานและขยายผลไปยังเครื่องจักรอื่นต่อในอนาคต



รูปที่ 3.32 การทำงานของเครื่องจักรการผลิต HP

3.6.1 การทำงานของเครื่องจักร CPMM

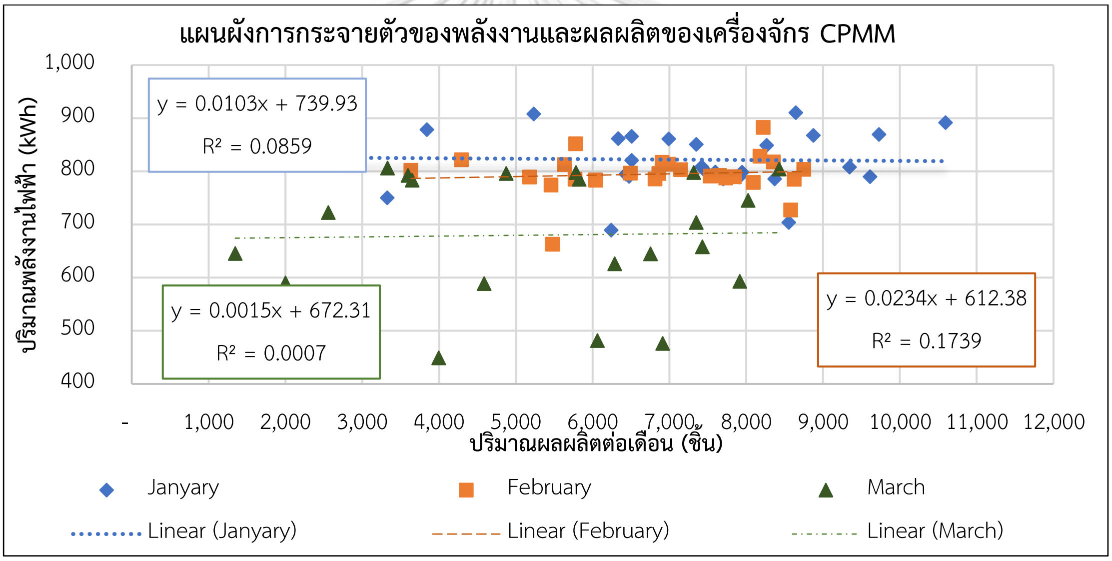
เครื่องจักรการผลิต เป็นเครื่องจักรที่นำมาศึกษาคือเครื่องจักร CPMM (Compound Profile Making Machine) ใช้สำหรับผลิตชิ้นส่วนของยาง หลักการทำงาน ของเครื่องจักรคือนำยางมาบดและให้ความร้อนในกระบอกบด (Barrel) เพื่อให้ยางผสมเป็นเนื้อเดียวและรีดออกมาผ่านหัวรีด (Roll) และเนื่องจากอุณหภูมิของเครื่องจักรนั้นมีผลต่อคุณภาพของผลผลิต จึงมีส่วนของเครื่องจักรที่ใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิให้ได้ค่าที่เหมาะสมคือ TCU (Temperature Control Unit) ซึ่งเป็นฮีทเตอร์ที่ใช้กำลังไฟฟ้าคิดเป็น 89% ของภาระเครื่องจักร แบ่งการควบคุมอุณหภูมิด้วยเกณฑ์ของส่วนที่ควบคุมได้ 4 ส่วน คือ BR, TR, SC และ HZ ที่มีอุณหภูมิที่ตั้ง (Set Point Temperature) อยู่ที่

80°C, 80°C, 75°C, และ 80°C ตามลำดับ การทำงาน ของ TCU แบ่งออกเป็น 2 โหมดคือ (1) ช่วงสแตนด์บาย (Standby Mode) และ (2) ช่วงเดินเครื่องผลิต (Operate Mode)

3.6.2 การประยุกต์ใช้เทคนิค MT&R ในการอนุรักษ์พลังงาน

ขั้นตอนที่ 1 ติดตาม (Monitoring)

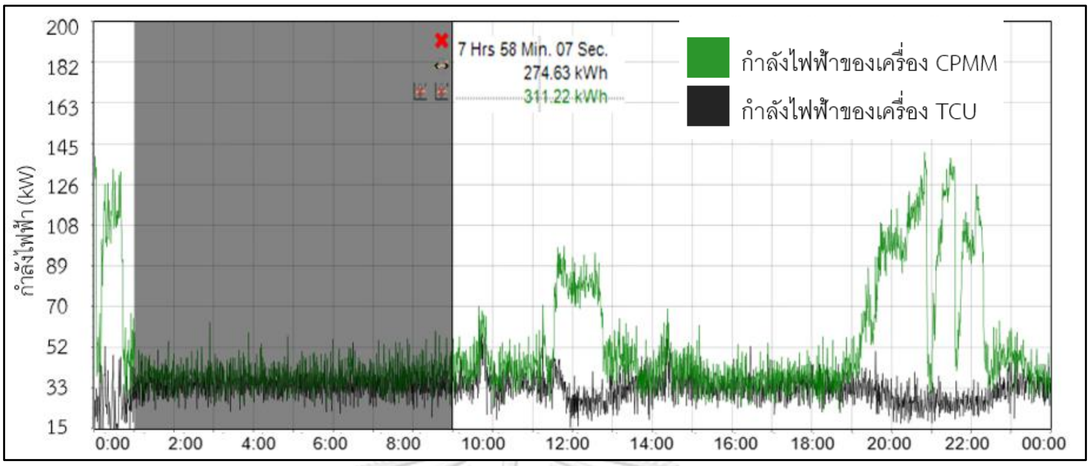
บันทึกประวัติการใช้พลังงานรายวันของ เครื่องจักรและผลผลิตเป็นระยะเวลา 3 เดือน นำมาแสดงผลในรูปของแผนผังการกระจายตัวและหาความสัมพันธ์ด้วยความสัมพันธ์ด้วยสมการเชิงเส้นอย่างง่าย ซึ่งแสดงผลดังรูปที่ 3.33 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) มีค่าต่ำกว่า 0.7 ซึ่งหมายความว่าการใช้พลังงานของเครื่องจักรนั้นไม่สัมพันธ์กับปริมาณผลผลิต และกระบวนการผลิตมีปริมาณการใช้พลังงานพื้นฐาน (Base Load) สูงแต่มีพลังงานที่เพิ่มขึ้นต่อหน่วยการผลิตต่ำ อาจเพราะมีการรั่วไหลสูงมาก หรือมีค่าพลังงานพื้นฐานสูงมาก พบได้ในกระบวนการฉีดพลาสติก



รูปที่ 3.33 แผนผังการกระจายตัวของพลังงานและผลผลิตของเครื่องจักร CPMM

เมื่อนำข้อมูลการใช้พลังงานจากระบบ EMS และกิจกรรมของเครื่องจักรมาพิจารณาดังรูปที่ 3.34 พบว่าตั้งแต่ 00:30 นาฬิกา ถึง 9:30 นาฬิกา และ 13 :00 นาฬิกา ถึง 19:00 นาฬิกา กำลังไฟฟ้าของ TCU คงที่อยู่ที่ 33 kW หมายความว่าเครื่องจักรถูกเดินเครื่องในโหมดสแตนด์บายและไม่มีการผลิต

ซึ่งเมื่อศึกษาประวัติการใช้พลังงานของเครื่องจักรพบว่าโดยเฉลี่ยนั้นเครื่องจักรอยู่ในช่วงสแตนด์บายเท่ากับ 18 ชั่วโมง 75% และ จากรูปที่ 3.34 พบว่าตั้งแต่ 11:30 ถึง 13 :00 นาฬิกาเครื่องจักรมีการ



รูปที่ 3.34 การใช้พลังงานของเครื่องจักร CPMM และ TCU

ผลิตชิ้นงานและจากข้อมูลย้อนหลังพบว่าเดินเครื่องจักรเพื่อผลิตใช้เวลาคิดเป็น 25% ของเวลาทั้งหมดต่อแผนการผลิตในหนึ่งวัน จึงทำให้ทราบว่าสาเหตุที่โมเดลการใช้พลังงานของเครื่องจักรมีพลังงานพื้นฐานที่ค่าเฉลี่ย 800 kWh ต่อวัน นั้นมาจาก TCU ที่ถูกเปิดใช้งานในสแตนด์บายด์ซึ่งไม่มีการผลิตชิ้นงาน ดังนั้นปริมาณการใช้พลังงานจึงคงที่และไม่ขึ้นกับปริมาณการผลิต

ปัญหาที่พบคือ TCU ถูกเดินเครื่องสแตนด์บายโหมดตลอดเวลารวมถึงในช่วงที่ไม่มีแผนการผลิตเพื่อรักษาอุณหภูมิเครื่องจักรให้พร้อมผลิตเสมอเพื่อลดเวลารอให้อุณหภูมิเข้าสู่อุณหภูมิที่ตั้ง จึงสำรวจกับพนักงานฝ่ายผลิตพบสาเหตุที่พนักงานไม่ปิด TCU และวิธีการแก้ไขร่วมกันอธิบายได้ในตารางที่ 3.4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3.4 สาเหตุและวิธีการแก้ไขของการเปิด TCU เมื่อไม่มีการผลิต

สาเหตุ	วิธีการแก้ไข
1) พนักงานเดินเครื่องไม่ทราบเวลาที่ TCU ใช้เพื่อให้อุณหภูมิเข้าสู่ค่าที่ต้องการ	1)วิเคราะห์พลังงานที่ใช้กับค่าของอุณหภูมิเพื่อหาเวลาที่อุณหภูมิพร้อมที่จะผลิต
2) พนักงานเดินเครื่องจักรโดยไม่ทราบแผนที่แน่นอนในการผลิต	1) สื่อสารกับฝ่ายวางแผนการผลิต และฝ่ายผลิต
3) พนักงานไม่เห็นประโยชน์และผลตอบแทนที่ได้	1) กำหนดดัชนีชี้วัดเพื่อติดตาม เพื่อสร้างทัศนคติความเป็นเจ้าของ (Ownership) ของพลังงานที่ใช้ 2) จัดการอบรมการอนุรักษ์พลังงาน

ดังนั้นเพื่อที่จะประหยัดพลังงานและไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต จึงกำหนดเงื่อนไขว่าเครื่องจักรพร้อมผลิตเมื่ออุณหภูมิจริง (Actual Temperature) มีค่าเข้าใกล้อุณหภูมิที่ตั้งและอยู่ในช่วงพิกัดความเผื่อที่ยอมรับได้โดยพิจารณาถึงค่าอุณหภูมิที่ตั้ง, อุณหภูมิจริง และพลังงานไฟฟ้าของ TCU ณ ช่วงเวลาต่างๆ

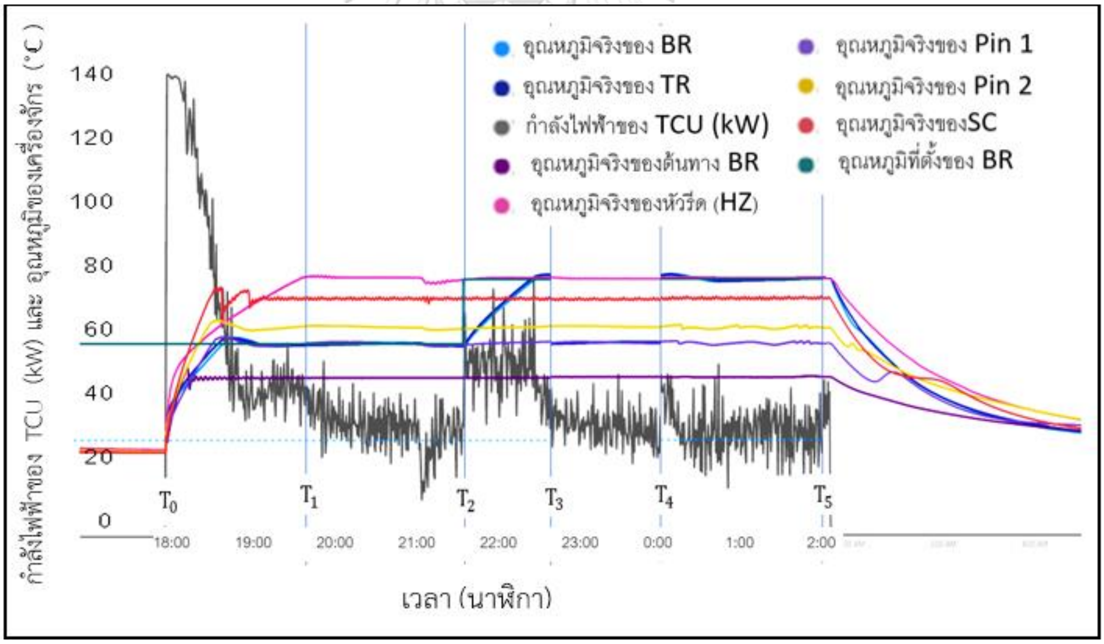
จึงนำข้อมูลของอุณหภูมิของเครื่องจักรและการใช้พลังงานของเครื่องจักรมาศึกษาเพื่อ

(1) ศึกษาว่าวิธีใดจะลดการใช้พลังงานมากกว่าระหว่างเดินเครื่องเฉพาะที่มีการผลิตหรือเดินเครื่องในสแตนด์บายโหมดเพื่อรักษาอุณหภูมิของเครื่องจักรให้พร้อมผลิต

(2) ศึกษาเวลาที่ TCU ใช้เพื่อเข้าสู่อุณหภูมิที่ตั้ง

การทำงานของ TCU

TCU แบ่งออกเป็น 2 โหมด คือ (1) สแตนด์บายโหมดคือ ช่วงที่ TCU ใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 40 kW เพื่อรักษาอุณหภูมิ เฉลี่ยของทั้ง 3 ส่วนที่ค่าอุณหภูมิที่ตั้ง และ (2) เดินเครื่องผลิต (Operate Mode) คือช่วงที่เครื่องจักรผลิตชิ้นงานใช้กำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ 25 kW และ โดยทั้ง 4 ส่วนของเครื่องจักร BR, TR, SC และ HZ มีอุณหภูมิเท่ากับค่าอุณหภูมิที่ตั้งซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 ความสัมพันธ์ของอุณหภูมิเครื่องจักรและการใช้พลังงานของเครื่องจักร

จากรูปที่ 3.35 แสดงอุณหภูมิของเครื่องจักรทั้ง 4 ส่วน และพลังงานที่ TCU ใช้โดยเริ่มจากเดินเครื่องจนถึงจุดที่เครื่องจักรพร้อมผลิต พบว่าเครื่องจักรส่วนของ SC และ HZ อุณหภูมิเข้าสู่อุณหภูมิที่ตั้งก่อน ณ เวลา T1 และ TR และ BR เข้าสู่อุณหภูมิที่ตั้งภายหลังที่เวลา T3 โดยรูปที่ 5 แบ่งออกได้ 5 ส่วนแต่ละส่วนมีกิจกรรมและใช้พลังงานดังนี้

ช่วงที่ 1: T0 ถึง T1 : เริ่มจ่ายไฟให้กับ TCU ที่ 140 kW อุณหภูมิของน้ำจาก 28°C ได้รับความร้อนและส่วนของ SC และ HZ เริ่มเข้าสู่อุณหภูมิที่ตั้ง 75°C และ 80°C ตามลำดับ

ช่วงที่ 2: T1 ถึง T2 : ภาระโหลดกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 37 kW เพื่อรักษาอุณหภูมิของโซน SC และ HZ

ช่วงที่ 3: T2 ถึง T3 : ภาระโหลดกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 50 kW เพื่อให้ความร้อน แก่ส่วนที่ 3 CAL เพื่อให้น้ำเข้าสู่อุณหภูมิที่ตั้ง 80°C

ช่วงที่ 4: T3 ถึง T4 : ภาระโหลดกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ 35 kW และ อุณหภูมิของ ทุกส่วนอยู่ที่อุณหภูมิที่ตั้งสามารถเริ่มทำการผลิตชิ้นงานได้

ช่วงที่ 5: หลังจาก T4 : ปิดเครื่อง

คำนวณปริมาณพลังงานที่เครื่องจักรใช้จาก รูปที่ 3.35 แสดงกราฟของระบบที่บันทึกค่ากำลังไฟฟ้าในหน่วย kW ที่ความถี่ทุกๆ 30 วินาที ซึ่งสามารถ คำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าจากพื้นที่ใต้กราฟของอนุกรมเวลาของกำลังไฟฟ้า โดยใช้สมการที่ (21)

พลังงานไฟฟ้า (kWh) = พื้นที่ใต้กราฟของกำลังและเวลา

$$Y = \frac{[(\frac{P_1}{2}+\sum_{i=2}^{n} P_i)]}{120} \qquad \text{สมการที่ (21)}$$

โดย Y คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้า (kWh)

P คือ ค่ากำลังไฟฟ้าจุดที่ 1 (kW)

i คือ ตำแหน่งของชุดข้อมูล (1,..,n)

n คือ จำนวนของข้อมูล

เปรียบเทียบพลังงานที่ใช้ในการเตรียมเครื่องจักรให้พร้อมผลิตของทางเลือกทั้ง 2 ทางดังนี้

วิธีที่ 1 เดินเครื่อง TCU เฉพาะช่วงที่มีการผลิต

หลังจากเริ่มเดินเครื่องจนอุณหภูมิพร้อมสำหรับการผลิตคือ ช่วง T0 ถึง T3 เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากสมการที่ 2 พลังงานไฟฟ้าที่ TCU ใช้มีค่าเท่ากับ 170 kWh แต่เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.35 พบว่า ช่วงที่ 2 ไม่กิจกรรมใดที่เกี่ยวข้องกับการผลิตสามารถลดเวลาเพื่อลดพลังงานช่วงที่ 2 เป็นเวลา 40 นาที โดยเริ่มให้ส่วน TR และ BR เริ่มเข้าสู่อุณหภูมิที่ตั้ง 80°C ในจุดเวลา T1 จะลดพลังงานที่ใช้สำหรับเริ่มเดินเครื่อง TCU ที่ 37 kWh ซึ่งทำให้พลังงานไฟฟ้า ที่ใช้สำหรับเดินเครื่อง

TCU จนพร้อมผลิตเท่ากับ 170 – 37 = 133 kWh โดยใช้เวลาเริ่มเดินเครื่องจนพร้อมผลิตในเวลา 2 ชั่วโมง 10 นาที

วิธีที่ 2 เดินเครื่องด้วย Standby mode เพื่อรักษาอุณหภูมิเพื่อพร้อมผลิตตลอดเวลา

โหมด Standby จากรูปที่ 3.35 TCU จะใช้กำลังไฟฟ้าที่ 40 kW เปรียบพลังงานที่ใช้จากวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2 จากสมการที่ (22)

$$E1 \leq E2 \qquad \text{สมการที่ (22)}$$

$$133 \leq T2 \times 40$$

โดย E1 คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ TCU ใช้ ด้วยวิธีที่ 1 (kWh)

E2 คือ ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ TCU ใช้ ด้วยวิธีที่ 2 (kWh)

T2 คือ เวลาที่วิธีที่ 2 ใช้เพื่อให้เครื่องพร้อมผลิต

จากสมการที่ 3 พบว่าสมการจะเป็นจริงเมื่อ T2 ≥ 3 ชั่วโมง 20 นาที หมายความว่า TCU ในวิธีที่ 2 จะใช้พลังงานไฟฟ้ามากกว่า วิธีที่ 1 เมื่อ เครื่องจักรเดินเครื่องในสแตนด์บายโหมดเมื่อไม่มีการผลิตนานกว่า 3 ชั่วโมง 20 นาที ดังนั้นถ้าไม่มีการผลิต นานกว่า 3 ชั่วโมง 20 นาทีควรที่จะปิด TCU และถ้าไม่มีการผลิตสั้นกว่า 3 ชั่วโมง 20 นาทีการเปิด TCU ในสแตนด์บายโหมดจะใช้พลังงานน้อยกว่า

เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานวิธีที่ 1 และ 2

เปรียบเทียบการใช้พลังงานจากวิธีที่ 1 และ 2 พบว่า ในช่วงสามเดือนที่เก็บข้อมูลมานั้นใน 1 วัน เครื่องจักรไม่มีแผนการผลิตเฉลี่ยที่ 16 ชั่วโมง และมีการผลิตเฉลี่ยที่ 2 ครั้ง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีที่ 1 เปิดเครื่องจักรเฉพาะเมื่อมีการผลิต

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ = 2 ครั้ง/วัน x 133 kwh = 266 kwh/วัน

วิธีที่ 2 เปิดเครื่องจักรในสแตนด์บายโหมด

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ = 16 hr x 40 kw = 640 kwh/วัน

ดังนั้นเมื่อเครื่องจักรไม่มีการผลิตเป็นเวลานาน พบว่าถ้าการผลิตมีการสื่อสารและวางแผนการผลิตที่ชัดเจนจะทำให้เครื่องจักร CPMM สามารถหยุดเครื่องจักรแทนการเปิดเครื่องจักรในสแตนด์บายโหมด ซึ่งจะลดปริมาณไฟฟ้าที่ใช้ต่อวันได้เท่ากับ 386 kWh

ขั้นตอนที่2 กำหนดเป้าหมาย (Targeting)

ตามหลักการของ MT&R หลังจากที่ได้ข้อมูลจากขั้นตอนติดตามผล (Monitor) แล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปคือการกำหนดเป้าหมาย (Targeting) และเนื่องจากปริมาณการใช้พลังงานรายวันของเครื่องจักรไม่ขึ้นกับปริมาณการผลิตจึงเลือกกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานด้วยค่าที่น้อยที่สุด (Best Performance) ซึ่งจากข้อมูลการใช้พลังงานตั้งแต่มกราคมถึงมีนาคม พบว่าข้อมูลการใช้พลังงานของเดือนกุมภาพันธ์มีการกระจายตัวของข้อมูลต่ำที่สุด จึงใช้โมเดลการใช้พลังงานของเครื่องจักรในเดือนกุมภาพันธ์ดังสมการที่(23)

$$Y = (0.0234X) + 612.38 \qquad \text{สมการที่ (23)}$$

ขั้นตอนที่ 3 รายงานผล (Reporting)

ติดตามปริมาณการใช้พลังงานของระดับอุปกรณ์หลังจากที่ได้นำผลที่ ได้จากการศึกษาไปกำหนดเป็นขั้นตอนการทำงานของเครื่องจักร บันทึกประมาณผลผลิตและนำไปคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่คาดหวังของเครื่องจักร จากสมการที่ (24) และเปรียบเทียบปริมาณไฟฟ้าที่ใช้จริง เพื่อคำนวณผลประหยัดที่ได้ซึ่งแสดงด้วย CUSUM ในบทที่ 4

3.7 กิจกรรมส่งเสริมความตระหนักการใช้พลังงาน

3.7.1 วันพลังงาน

กิจกรรมนี้จัดขึ้นเป็นกิจกรรมภายในโรงงานจะจัดขึ้นทุกปี เป็นเวลา 2 วัน ซึ่งเป็นกิจกรรมที่เกิดจากความร่วมมือของแผนกวิศวกรรมและแผนกความปลอดภัย โดยเป้าหมายของกิจกรรมนี้คือส่งเสริมให้พนักงานใส่ใจและสนใจต่อการอนุรักษ์พลังงาน ความปลอดภัยในโรงงาน และสิ่งแวดล้อม

โดยในกิจกรรมในงานทีมบริหารอธิบายถึงสภาวะการใช้พลังงานในปัจจุบันและเป้าหมายในการเพิ่มประสิทธิภาพใช้พลังงานในอนาคต รวมถึงประกาศคำมั่นสัญญาที่จะร่วมมืออนุรักษ์พลังงาน ประกาศนโยบายการประหยัดพลังงานของบริษัท (Energy Policy) และส่งเสริมความปลอดภัยในโรงงาน (Top Management Commitment) ในงานมีบูธหลากหลายส่วนที่มาให้ความรู้ นำเสนอเทคโนโลยีที่นำเสนอการอนุรักษ์พลังงานจากภายนอก มีการอธิบายถึงระบบติดตามการใช้พลังงาน (Energy Management System หรือ EMS) ระบบควบคุมโรงงาน (Building Management System หรือ BMS) มีกิจกรรมถามตอบเพื่อแลกของรางวัล และมีกิจกรรมรวมถึงเกมเพื่อให้พนักเข้าใจการอนุรักษ์พลังงานมากขึ้นดังรูปที่ 3.36 และ รูปที่ 3.37

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3.36 ประชาสัมพันธ์กิจกรรมและมอบของรางวัล

รูปที่ 3.37 เกม Bike for Watt

[2]

รูปที่ 3.38 QR code แบบสำรวจความตระหนักด้านพลังงาน

เพื่อวัดความเข้าใจและตระหนักต่อการอนุรักษ์พลังงาน ของพนักงานจึงมีการทำแบบสอบถามก่อนเข้าร่วมกิจกรรม โดยแบบสอบถามแบ่งออกเป็น 4 ส่วน โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

1) ข้อมูลส่วนตัว เพื่อทราบว่าผู้ทำแบบสอบถามมาจากพื้นที่การผลิตใดและเปรียบเทียบว่าแต่ละพื้นที่การผลิตมีความรู้ความเข้าใจต่อการอนุรักษ์พลังงานมากหรือน้อยเพียงใด

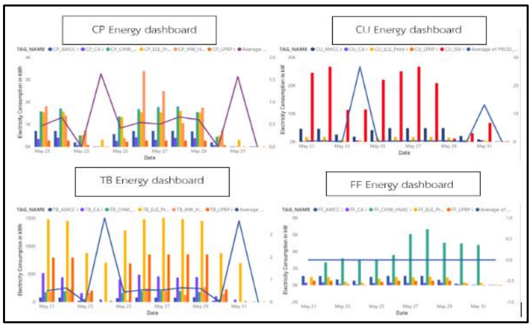
[2] แบบสอบถามจะถูกลบออกภายในวันที่ 25 กรกฎาคม 2563 สามารถดูรายละเอียดได้ในภาคผนวก

2) ความรู้พื้นฐานด้านพลังงาน เพื่อทราบว่าพนักงานให้ความสนใจต่อการใช้พลังงานรอบตัวมากน้อยเพียงใด เช่น การใช้พลังงานไฟฟ้าในที่พักอาศัยของตนเอง เครื่องใช้ไฟฟ้าในชีวิตประจำวันทั่วไป
3) การใช้พลังงานในโรงงานตัวอย่าง เพื่อวัดความเข้าใจของพนักงานเกี่ยวกับระบบการจัดการการใช้พลังงานในโรงงานตัวอย่าง
4) ข้อแนะนำเสนอแนะ เพื่อแลกเปลี่ยนแนวคิดและความคิดเห็นของพนักงาน

โดยแบบสอบถามใช้เวลาประมาณ 10 นาที สำหรับทำแบบสอบถาม โดยแบบสอบถามเป็นแบบสอบถามออนไลน์ พนักงานสามารถสแกน QR Code ในรูปที่ 3.38 เพื่อทำแบบสอบถามผ่าน Microsoft Form และรายละเอียดของคำถามแนบอยู่ในภาคผนวก ข

3.7.2 การสร้างกระดานสรุปข้อมูลในพื้นที่การผลิต

เพื่อสร้างความตระหนักต่อการใช้พลังงาน งานวิจัยชิ้นนี้จึงสร้างกระดานสรุปข้อมูลการใช้พลังงาน (Energy Dashboard) ด้วยเทคโนโลยีข้อมูลสารสนเทศที่ช่วยให้การติดตามพลังงานได้อย่างหลากหลาย เนื่องจากการศึกษาและการทบทวนวรรณกรรมพบว่าปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในส่วนของพื้นที่การผลิตคือผลผลิต แต่การติดตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานด้วยการทำรายงานนั้นใช้เวลาหลายวันในการเตรียมข้อมูล ทำให้โรงงานอุตสาหกรรมส่วนมากทำรายงานเป็นรายเดือน ซึ่งการทำรายงานเพื่อติดตามการใช้พลังงานรายเดือนนั้นทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่ไม่ชัดเจนและใช้เวลานานหลายเดือนเพื่อติดตามผล เช่น ถ้ามีการใช้มาตรการอนุรักษ์พลังงานงานต้องรอดูผลเดือนถัดไป และการทำรายงานด้วยการกรอกข้อมูลอาจจะมีความผิดพลาดในการจดข้อมูลหรือกรอกข้อมูล ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้จึงนำเสนอผลประโยชน์จากการดึงข้อมูลการใช้พลังงานจากระบบ EMS และปริมาณผลผลิตที่เก็บไว้ใน ฐานข้อมูล SQL ด้วย Microsoft Power BI โดยผลที่ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 รายงานการใช้พลังงานด้วย Power Bi

บทที่ 4
ผลการดำเนินการ

4.1 สมการการใช้พลังงานพื้นฐานและสมการเป้าหมายการใช้พลังงาน

จากการศึกษาในครั้งนี้เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้พลังงานกับปริมาณผลผลิต ซึ่งสามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้และผลผลิตด้วยสมการเชิงเส้นอย่างง่าย และวิเคราะห์ผลที่ได้จากข้อมูลเพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานออกเป็น 2 ระดับ

1) เป้าหมายรายเดือนของพื้นที่การผลิต โดยบันทึกปริมาณการใช้พลังงานและปริมาณผลผลิตเพื่อพิจารณาความสัมพันธ์ว่าตัวแปรทั้ง 2 สัมพันธ์ในรูปแบบสมการเชิงเส้นหรือไม่ ในกรณีที่ตัวแปรทั้ง 2 สัมพันธ์กันในสมการเชิงเส้นจึงเลือกข้อมูลการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพดีมาสร้างชุดข้อมูลเพื่อกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานด้วยสมการเชิงเส้น

2) เป้าหมายรายสัปดาห์ของระบบในพื้นที่การผลิต ภายในพื้นที่การผลิตระบบถูกแบ่งตามแบบไฟฟ้าของโรงงานตัวอย่างเป็น 5 ระบบดังต่อไปนี้ ระบบไฟฟ้าสำหรับจ่ายเครื่องจักรการผลิต, ระบบไฟฟ้าสำหรับระบายอากาศ,ระบบไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็น,ระบบไฟฟ้าสำหรับไฟส่องสว่าง และ ระบบไฟฟ้าสำหรับอากาศอัด

2.1 เป้าหมายที่ขึ้นกับจำนวนผลผลิต ระบบไฟฟ้าสำหรับจ่ายเครื่องจักรการผลิต ใช้วิธีการกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานด้วยสมการเชิงเส้นจากชุดข้อมูลที่พื้นที่การผลิตมีค่าที่ดีที่สุดซึ่งพบว่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของพื้นที่ MX,HP,CUและFF นั้นขึ้นกับปริมาณผลผลิตเป็นหลัก เนื่องจากค่า R^2 มีค่ามากกว่า 0.7 มีเพียงพื้นที่TB ที่ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของเครื่องจักรการผลิตที่มีโอกาสว่ามีตัวแปรตัวอื่นที่อาจจะส่งผลต่อการใช้พลังงานนอกจากปริมาณผลผลิต เนื่องด้วยจากค่า R^2 นั้นมีค่า 0.67 จึงไม่สามารถสรุปสมการฐาน ได้ชัดเจน

2.2 เป้าหมายที่ไม่ขึ้นกับจำนวนผลผลิต ระบบไฟฟ้าสำหรับระบายอากาศ,ระบบไฟฟ้าสำหรับระบบทำความเย็น,ระบบไฟฟ้าสำหรับไฟส่องสว่าง กำหนดค่าด้วยกำลังไฟฟ้าที่น้อยที่สุดในช่วงที่มีการทำงาน

2.3 ระบบไฟฟ้าสำหรับอากาศอัด ปริมาณไฟฟ้าสำหรับระบบอากาศอัดที่จ่ายไปยังเครื่องจักรการผลิตไม่สัมพันธ์กับปริมาณผลผลิตซึ่งขัดกับสมมุติฐานเบื้องต้น ฝ่ายซ่อมบำรุงมีการตรวจสอบพบรอยรั่วได้ทำการแก้ไขและติดตามผลต่อไป

ผลจากการศึกษาทำให้สามารถกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานฟ้าได้ดังตารางที่ 4.1 โดย X_n แทนปริมาณผลผลิตของแต่ละพื้นที่การผลิต และ n แทนพื้นที่การผลิต

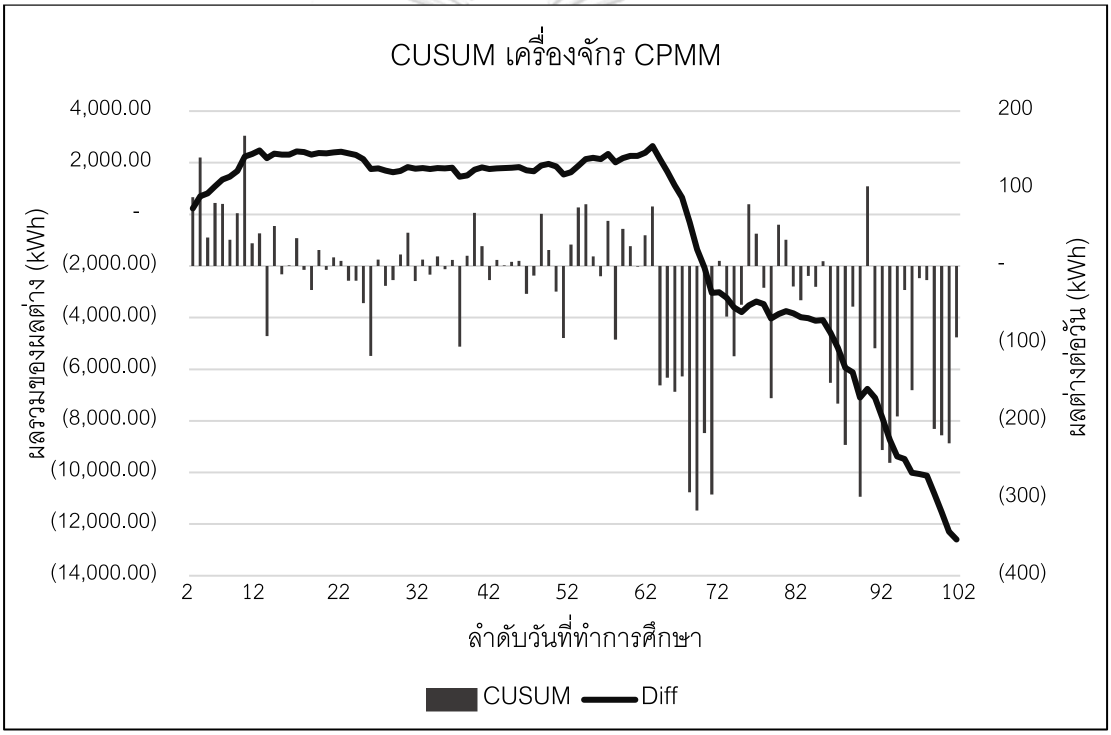
ตารางที่ 4.1 สรุปเป้าหมายการใช้พลังงานในพื้นที่การผลิต

ชื่อพื้นที่การผลิต	เป้าหมายการใช้พลังงานของพื้นที่การผลิตรายเดือน (kWh)	เครื่องจักรการผลิต (kWh)	เป้าหมายการใช้พลังงานของแต่ละระบบรายสัปดาห์					
			ไฟส่องสว่าง (kW)		ระบายอากาศ (kW)		ทำความเย็น (kW)	
			มีการผลิต	ไม่มีการผลิต	มีการผลิต	ไม่มีการผลิต	มีการผลิต	ไม่มีการผลิต
MX	$133.4X_{mx}$ + 227,100	n/a	39 kW	3.5 kW	134.5 kW	0.1 kW	63 kW	20 kW
HP	$0.3X_{hp}$ + 28,329	$0.26X_{hp}$ + 1,330	19 kW	2 kW	37kW	0.1 kW	113 kW	16 kW
TB	$0.43X_{tb}$ + 46,026	$0.26X_{tb}$ + 3,627	36 kW	0.7 kW	3 kW		8 kW	
CU	$0.92X_{cu}$ + 106,035	$0.34X_{cu}$ + 2,812	18 kW + 5kW[3]	1 kW	186 kW	71 kW	n/a	n/a
FF	$0.24X_{ff}$ + 47,607	$0.16X_{ff}$ + 2,173	21 kW	0.1 kW	44 kW	0.1 kW	47 kW	16 kW

[3] +5 kW จากโหลดที่เกิดระหว่างกะเช้า

4.2 ผลประหยัดจากการศึกษาเครื่อง CPMM

หลังจากที่ทำการศึกษาพบว่าเมื่อเครื่องจักรไม่มีแผนการผลิตนานกว่า 3 ชั่วโมง 20 นาที ควรเปลี่ยนจากสแตนด์บายโหมดเป็นการปิดเครื่อง หลังจากที่มีการสื่อสารกับพนักงานฝ่ายผลิตจึงมีการกำหนดนโยบายนี้ต่อพนักงานฝ่ายผลิตและคำนวณผลประหยัดด้วย CUSUM โดยใช้ข้อมูลฐาน (Energy Baseline) ของเดือนกุมภาพันธ์ ด้วยชุดข้อมูลการใช้พลังงานรายวันเทียบกับผลผลิตของเดือนกุมภาพันธ์พบว่า หลังจากที่มีการกำหนดนโยบาย ทำให้ปริมาณการใช้พลังงานของเดือนมีนาคมนั้นมีค่าติดลบและทำให้ผลรวมของผลต่างมีค่าเท่ากับ -12,595 kWh และ ความชันของกราฟ CUSUM มีค่าติดลบ ซึ่งหมายถึงเกิดผลประหยัดขึ้น 12,595 kWh หรือประมาณ 41,500 บาท ภายใน 40 วัน



รูปที่ 4.1 ติดตามผลประหยัดด้วยกราฟ CUSUM ของเครื่อง CPMM

แต่จากกราฟ CUSUM จะเห็นว่ามีบางช่วงที่ค่า Diff เป็นบวก หมายความว่า ยังมีบางวันที่ TCU เปิดทิ้งไว้จึงต้องหาวิธีและติดตามผลต่อไปเนื่องจากการเปิดปิดเครื่องจักรอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายได้เช่น ปะเกนที่ข้อต่อเนื่องจาก TCU เป็นอุปกรณ์ปรับอุณหภูมิ ทำให้ปะเกนใช้งานกับน้ำร้อนสลับน้ำเย็น

4.3 สร้างความตระหนักต่อเครื่องการอนุรักษ์พลังงาน

พิจารณาจากแบบสอบถามส่วนที่ 3 และ 4 ซึ่งเป็นคำถามเกี่ยวกับการวัดความเข้าใจการจัดการพลังงานในชีวิตประจำวันและการจัดการพลังงานในโรงงานตามลำดับ พบว่าคะแนนพนักงานในส่วนที่ 3 เพิ่มขึ้น 15% และ พนักงานในส่วนที่ 4 เพิ่มขึ้น 14%

โดยคำถามที่มีคะแนนเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนคือ ข้อที่ 3.2 ที่วัดความเข้าใจระหว่างกำลังไฟฟ้าและพลังงานไฟฟ้า และ 4.3 ที่วัดความเข้าใจการใช้พลังงานในพื้นที่การผลิตโดยให้เปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละพื้นที่การผลิต

ภาพรวมคะแนนจากแบบสอบถามเพิ่มขึ้น 14% หลังจากที่ดำเนินกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานน้อยกว่าที่วัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ซึ่งคาดว่าเกิดจากสาเหตุ 2 สาเหตุ

1) จำนวนผู้ทำแบบสำรวจ เป็นกลุ่มตัวอย่างที่จำนวนน้อยและไม่หลากหลายพอ

2) การบรรยาย เอกสารบรรยายในกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานสื่อสารไม่ทั่วถึงผู้เข้าร่วมกิจกรรม

ตารางที่ 4.2 คะแนนความตระหนักถึงการใช้พลังงานก่อนและหลังทำกิจกรรมอนุรักษ์พลังงาน

ส่วนที่	คำถาม	ก่อน		หลัง		ผลต่าง
		score	%	score	%	%
3	3.1)เตารีดไฟฟ้าเทียบกับหลอดไฟ10วัตต์ได้กี่หลอด	85	68%	60	64%	-4%
	3.2)หน่วยพลังงานไฟฟ้าคือ	56	45%	73	78%	33%
4	4.1)ต้นทุนพลังงานของโรงงานคิดเป็นสัดส่วนเท่าไหร่ของต้นทุนทั้งหมด	38	30%	30	32%	2%
	4.2)ไฟฟ้าที่ใช้ในสำนักงานคิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่โรงงานใช้	48	38%	50	53%	15%
	4.3)ในเดือนสิงหาคมพื้นที่การผลิตใดใช้พลังงานไฟฟ้าเยอะที่สุด	64	51%	78	83%	32%
	4.4)จงเรียงลำดับกิจกรรมที่ช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานจากมากที่สุดไปยังน้อยที่สุด	92	74%	80	85%	12%
	4.5)BEE ในโรงงานย่อมาจากอะไร	110	88%	87	93%	5%
	4.6)ระบบใดในโรงงานใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด	64	51%	60	64%	13%

4.7)ระบบใดในโรงงานใช้ในการจัดการพลังงาน	98	78%	89	95%	16%
4.7)โรงงานซื้อพลังงานอะไรจากภายนอกบ้าง	76	61%	70	74%	14%
จำนวนผู้ทำแบบสำรวจ	**125**		**94**		**-31**
คะแนนเฉลี่ย	**58%**		**72%**		**+14%**

ซึ่งจากคะแนนแบบสอบถามนี้ทำให้เห็นว่าความเข้าใจการจัดการพลังงานในโรงงานของพนักงานยังมีช่องว่างสำหรับโรงงานที่เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากความร่วมมือจากพนักงานให้พนักงานเข้าใจและตระหนักถึงต้นทุนที่เกิดจากการใช้พลังงานมากขึ้น โดยปัจจุบันโรงงานตัวอย่างมีการจัดการอบรมการใช้พลังงานในทุกส่วนของโรงงาน ทั้งพื้นที่การผลิต พื้นที่สำนักงาน และ พื้นที่เก็บสินค้า รวมถึงกำหนดให้การบรรยายการอนุรักษ์พลังงานจัดเป็นหัวข้อที่หัวหน้ากะจำเป็นต้องได้รับการอบรม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทที่ 5
สรุปผล

5.1 สรุปผลการวิจัย

โรงงานที่ศึกษาในครั้งนี้เป็นโรงงานใหม่และมีการติดตั้งเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงานตั้งแต่เริ่มต้นทำให้ระบบเครื่องจักรสาธารณูปโภคมีประสิทธิภาพที่สูงแต่เนื่องด้วยโรงงานเป็นโรงงานที่เพิ่งสร้างจึงยังไม่มีแนวทางในการจัดการการใช้พลังงานที่ชัดเจน งานวิจัยชิ้นนี้จึงวางแนวทางการจัดการพลังงานในโรงงานตัวอย่าง เริ่มจากการติดตั้งระบบติดตามการใช้พลังงานโดยอาศัยเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อเก็บข้อมูลการใช้พลังงานและผลผลิต ทำให้โรงงานมีฐานข้อมูลสำหรับสร้างสมการตัวแทนการใช้พลังงาน (Energy Baseline หรือ EnB) และสมการเป้าหมายการใช้พลังงาน (Energy Target) ของพื้นที่การผลิต โดยเป้าหมายที่งานวิจัยชิ้นนี้กำหนดขึ้นแบ่งเป็น 3 ระดับดังนี้

1) เป้าหมายการใช้พลังงานระดับโรงงาน

เป็นเป้าหมายที่ใช้ติดตามปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของทั้งโรงงานเทียบกับปริมาณสินค้าที่ส่งไปยังโกดัง โดยติดตามเป็นรายเดือนเพื่อรายงานต่อทีมผู้บริหารเพื่อติดตามต้นทุนของพลังงานว่าอยู่ในเกณฑ์ของต้นทุนที่กำหนดไว้หรือไม่ และเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานเทียบกับสาขาอื่นๆ

2) เป้าหมายการใช้พลังงานระดับพื้นที่การผลิต

เป็นเป้าหมายที่ใช้รายงานปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าของพื้นที่การผลิตใดการผลิตหนึ่งเทียบกับปริมาณสินค้าที่ส่งออกจากพื้นที่การผลิตนั้น โดยติดตามเป็นรายสัปดาห์เพื่อสื่อสารกับผู้ที่เกี่ยวข้องในพื้นที่การผลิตนั้นเช่น ฝ่ายผลิต ฝ่ายซ่อมบำรุง ฝ่ายตรวจคุณภาพ ฝ่ายอุตสาหการ เป็นต้น

3) เป้าหมายการใช้พลังงานระบบย่อยในพื้นที่การผลิต

เพื่อควบคุมการใช้พลังงานของพื้นที่การผลิต ในพื้นที่การผลิตจึงมีการติดตั้งเครื่องมือวัดโดย แบ่งเป็น 5 ระบบย่อย คือ ระบบไฟฟ้าที่จ่ายไปยังเครื่องจักร , ระบบไฟส่องสว่างและเต้าเสียบ, ระบบระบายอากาศ , ระบบทำความเย็น , และระบบอัดอากาศ โดยเป้าหมายการใช้พลังงานหลังทำการศึกษาพบว่า สำหรับระบบไฟฟ้าที่จ่ายไปยังเครื่องจักรขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตจึงกำหนดเป้าหมายด้วยสมการถดถอย และ สำหรับระบบไฟฟ้าระบบไฟส่องสว่างและเต้าเสียบ, ระบบระบายอากาศ , ระบบทำความเย็นเป็นส่วนที่ไม่ขึ้นอยู่กับปริมาณผลผลิตจึงกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานด้วยค่าที่ต่ำที่สุดจากข้อมูลในอดีต แต่ระบบอัดอากาศซึ่งจ่ายให้กับเครื่องจักรการผลิตพบว่าปริมาณ

การใช้อากาศอัดไม่แปรผันตามปริมาณผลผลิตซึ่งคาดว่ามาจากรอยรั่ว โดยเป้าหมายระดับระบบนี้ใช้ติดตามการใช้พลังงานเป็นรายสัปดาห์โดยผู้ที่รับผิดชอบ

ซึ่งนอกจากการนำข้อมูลมากำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานแล้วนั้น งานวิจัยชิ้นนี้ได้ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศโดยการนำข้อมูลการใช้พลังงานมาวิเคราะห์ร่วมกับการทำงานของเครื่องจักร CPMM ซึ่งลดการใช้พลังงาน 390 kWh ต่อวันโดยไม่ต้องลงทุนเพิ่ม โดยพบว่าก่อนทำการศึกษาเครื่องจักรถูกเดินเครื่องในลักษณะสแตนด์บายโหมดซึ่งใช้กำลังไฟฟ้าที่ 40 kW ในการรักษาอุณหภูมิที่ตั้ง จากการคำนวณปริมาณพลังงานที่เครื่องจักรใช้ระหว่างเดินเครื่องในสแตนด์บายโหมดกับการปิดเมื่อไม่มีการใช้งานและเปิดเครื่องเฉพาะตอนที่ใช้งาน พบว่าถึงแม้การเปิดปิดเครื่องใหม่จะใช้กำลังไฟฟ้าถึง 144 kW ในการเดินเครื่องและใช้เวลา 2 ชั่วโมงในการเข้าสู่อุณหภูมิที่ตั้ง แต่เมื่อเปรียบเทียบแล้วพบว่า เมื่อไม่มีแผนการผลิตนานกว่า 3 ชั่วโมง 20 นาทีควรเลือกใช้วิธีการปิด TCU และเปิดเมื่อมีการผลิต แทนการเดินเครื่องจักรในสแตนด์บายโหมด การอนุรักษ์พลังงานนอกจากการใช้เครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพแล้วนั้น การสร้างความตระหนักถึงการอนุรักษ์พลังงานต่อพนักงานถือว่าเป็นสิ่งสำคัญดังนั้นจึงมีกิจกรรมวันอนุรักษ์พลังงานในโรงงานเพื่อนำเสนอถึงความสำคัญของการให้ความร่วมมือต่อการอนุรักษ์พลังงาน ผลที่ได้หลังจากการทำกิจกรรมพบว่าพนักงานมีคะแนนจากแบบสอบถามเพิ่มขึ้น 14% ซึ่งยังน้อยกว่าที่กำหนดในวัตถุประสงค์การศึกษา

ขั้นตอนสุดท้ายของเทคนิคการจัดการพลังงานตามวัฏจักร MT&R หลังจากที่กำหนดเป้าหมาย และดำเนินกิจกรรมการอนุรักษ์พลังงาน ขั้นตอนสุดท้ายคือการรายงานผลให้ผู้ที่เกี่ยวข้อง ซึ่งขั้นตอนนี้งานวิจัยชิ้นนี้ได้เลือกใช้ Microsoft Power Bi เป็นเครื่องมือในการแสดงผลด้วยกระดานสรุปข้อมูลการใช้พลังงาน (Energy Dashboard) ซึ่ง Power Bi เป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้งานสะดวกและเข้าถึงง่ายซึ่งช่วยลดเวลาในการทำรายงานการใช้พลังงานและติดตามการใช้พลังงานได้ในระดับรายวัน ซึ่งละเอียดกว่ารายเดือนและเมื่อมีการใช้พลังงานที่ผิดปกติจะช่วยให้ตรวจสอบได้เร็วขึ้นและมีพลังงานสูญเสียน้อยลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อเสนอแนะ

1) การวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้พลังงานควรนำไปประยุกต์ใช้ในระดับเครื่องจักรการผลิต และกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงานต่อเครื่องจักร
2) การวิเคราะห์ควรศึกษาว่าปริมาณของเสียและความแตกต่างของผลิตภัณฑ์ส่งผลต่อการใช้พลังงานอย่างไร

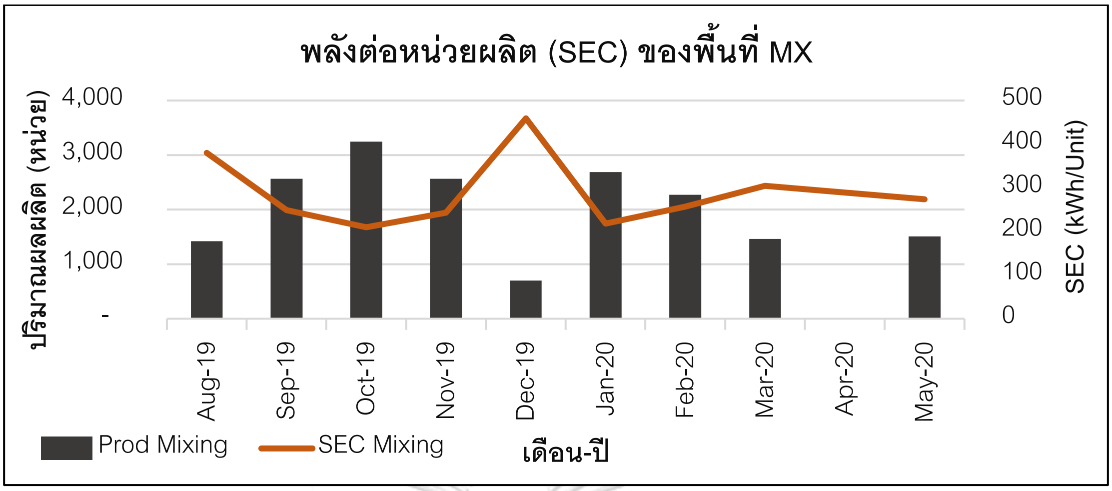
3) เป้าหมายการใช้พลังงานจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อกำลังการผลิตของโรงงานเพิ่มขึ้นหรือลดลง ควรมีการหาวิธีการนำข้อมูลแผนจำนวนผลิตในอนาคตและอัพเดตเป้าหมายการใช้พลังงานอัตโนมัติ
4) เนื่องด้วยโรงงานตัวอย่างนี้เป็นโรงงานใหม่ทำให้ข้อมูลที่นำมาศึกษามีจำกัด ดังนั้นในการศึกษาการใช้พลังงานครั้งต่อไปควรมีชุดข้อมูลที่ขนาดใหญ่กว่านี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

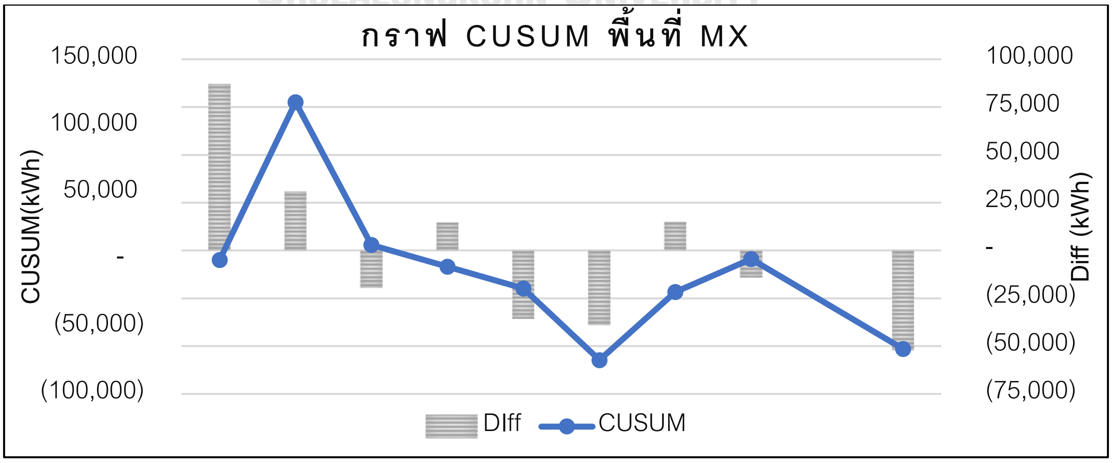
ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานและผลผลิตของพื้นที่การผลิต MX



รูปที่ ก.1 กราฟแท่งเปรียบผลผลิตและพลังงานจำเพาะรายเดือนของพื้นที่ MX

ตารางที่ ก.1 เปรียบเทียบสมการตัวแทนและค่าพลังงานจำเพาะของพื้นที่ MX

ข้อมูล MX	สมการตัวแทนการใช้พลังงาน			ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (kwh/unit)		
	R2	m	C	SEC_{min}	SEC_{avg}	SEC_{max}
ปี 2019	0.88	132.6	282,242	209	308	460
ปี 2020	0.89	143.3	222,746	217	263	304
ผลต่างของ SEC เมื่อกำหนดในปี 2019 เป็นปีฐาน				+3.8%	-14.6%	-34%



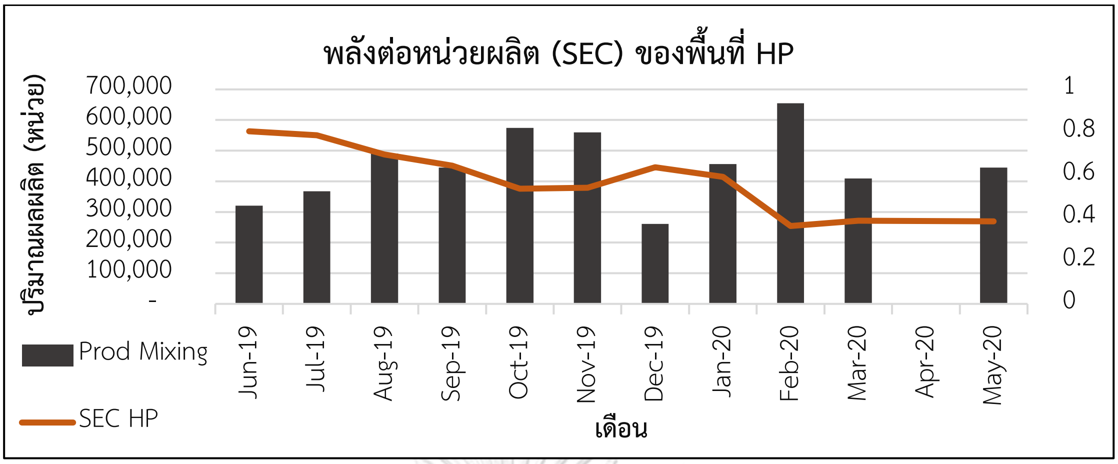
รูปที่ ก.2 กราฟ CUSUM รายเดือนของพื้นที่ MX

ตารางที่ ก.2 ปริมาณการใช้พลังงานระบบไฟส่องสว่าง ระบบทำความเย็น ระบบระบายอากาศ ของพื้นที่ MX

ลำดับสัปดาห์ในปี	ระบบไฟส่องสว่างและเต้าเสียบ (kWh)	ระบบทำความเย็น(kWh)	ระบบระบายอากาศ/พัดลม (kWh)
7	6633	9,681	22327
8	6568	10,570	22815
9	6655	12,253	22660
10	6672	13,102	23128
11	6692	12,817	23493
12	5399	10,532	19917
13	1579	9.1	51
14	1770	5.3	51
15	1584	2.6	51
16	891	1.8	48
17	1073	89.4	49
18	4761	13,806	21745
19	5204	13,130	19281
20	5336	15,400	21236
21	5240	14,120	18473

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

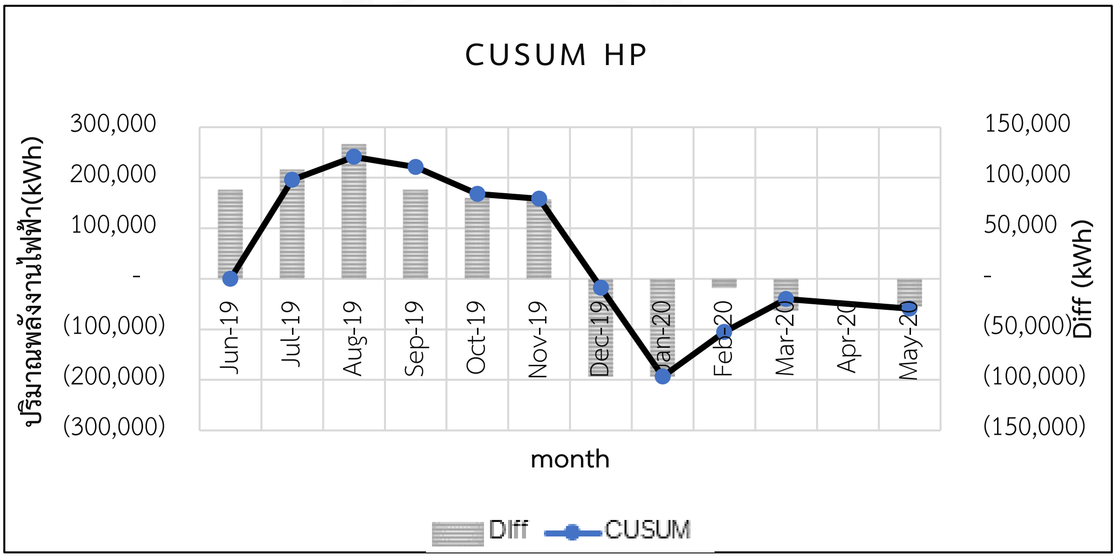
ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานและผลผลิตของพื้นที่การผลิต HP



รูปที่ ก.3 กราฟแท่งเปรียบผลผลิตและพลังงานจำเพาะรายเดือนของพื้นที่ HP

ตารางที่ ก.3 เปรียบเทียบสมการตัวแทนและค่าพลังงานจำเพาะของพื้นที่ HP

ข้อมูล HP	สมการตัวแทนการใช้พลังงาน			ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (kwh/unit)		
	R2	m	C	SEC_{min}	SEC_{avg}	SEC_{max}
ปี 2019	0.63	0.37	118,403	0.54	0.66	0.8
ปี 2020	0.99	0.32	28,329	0.36	0.43	0.6
ผลต่างของ SEC เมื่อกำหนดในปี 2019 เป็นปีฐาน				-33%	-35%	-25%



รูปที่ ก.4 กราฟ CUSUM รายเดือนของพื้นที่ HP

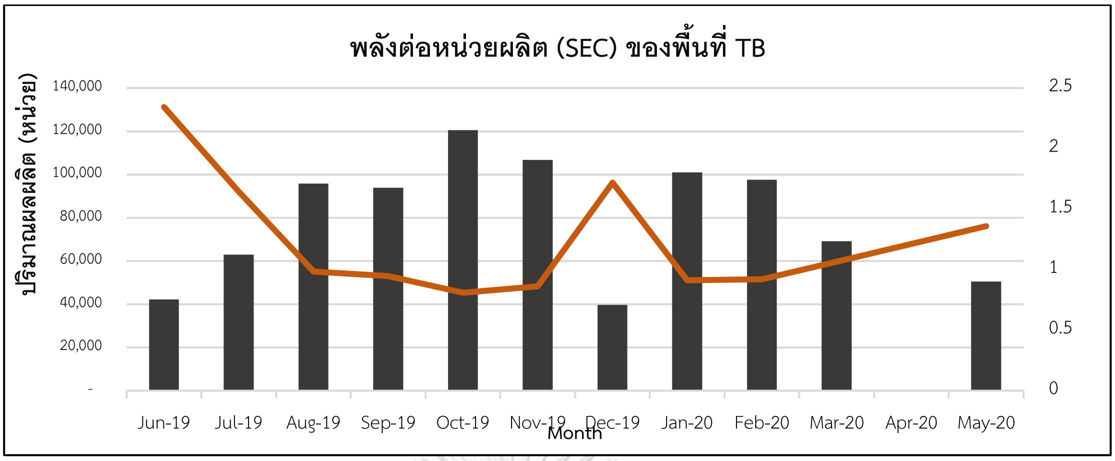
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ ก.4 ปริมาณการใช้พลังงานและผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ HP

ลำดับ สัปดาห์ในปี	เครื่องจักรการผลิต (kWh)	ระบบอากาศอัด (kWh)	ไฟส่องสว่างและเต้าเสียบ (kWh)	ระบบทำความเย็น (kWh)	ระบบระบายอากาศ/พัดลม (kWh)	ปริมาณผลผลิต (Unit)
6	51,785	5,087	3,757	17,745	6,336	123,682
7	65,227	3,041	4,109	17,273	335	179,644
8	59,466	2,800	4,056	16,191	-	167159
9	53,115	3,029	3,965	19,314	-	136555
10	41,628	4,557	4,062	20,866	-	129309
11	40,996	3,796	4,073	20,991	-	153417
12	6,217	-	1,870	8,977	-	4225
13	1,905	-	643	(3)	-	35862
14	1,933	-	416	10	-	38182
15	1,979	-	240	5	-	0
16	1,348	-	189	5	-	0
17	693	-	942	12	-	0
18	28,340	-	2,915	25,655	(0)	0
19	33,701	-	3,283	23,655	0	120299
20	32,785	-	3,279	21,632	-	136351
21	33,682	-	3,094	18,818	3,432	113837

จุฬาลงกรณ์มหาวิทย
CHULALONGKORN UNIV

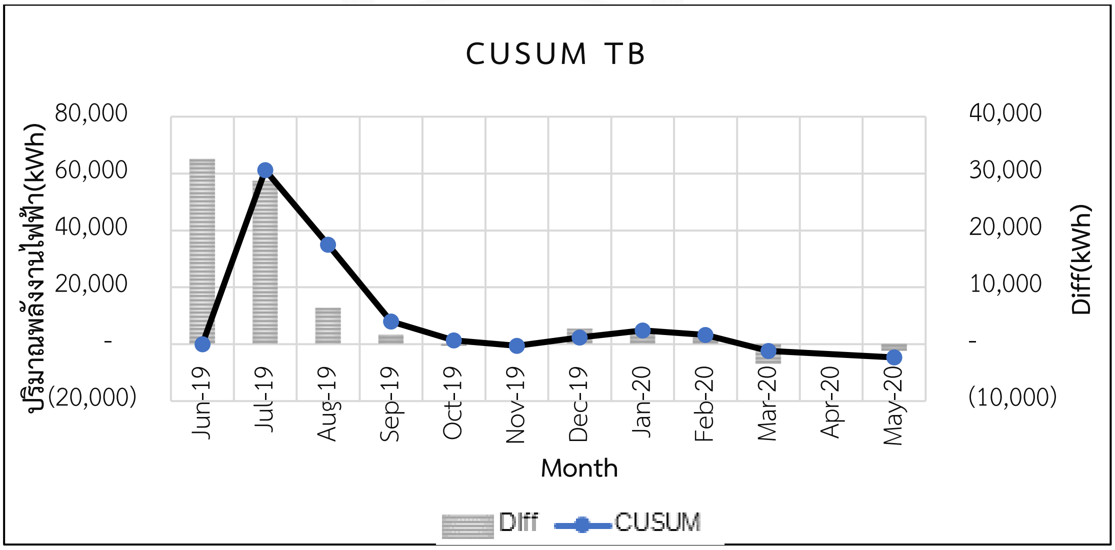
ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานและผลผลิตของพื้นที่การผลิต TB



รูปที่ ก.5 กราฟแท่งเปรียบผลผลิตและพลังงานจำเพาะรายเดือนของพื้นที่ TB

ตารางที่ ก.5 เปรียบเทียบสมการตัวแทนและค่าพลังงานจำเพาะของพื้นที่ TB

ข้อมูล TB	สมการตัวแทนการใช้พลังงาน			ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (kwh/unit)		
	R2	m	C	SEC_{min}	SEC_{avg}	SEC_{max}
ปี 2019	0.11	0.12	82,525	0.81	1.32	2.3
ปี 2020	0.97	0.485	43,015	0.91	1.06	1.3
ผลต่างของ SEC เมื่อกำหนดในปี 2019 เป็นปีฐาน				+11%	-25%	-77%



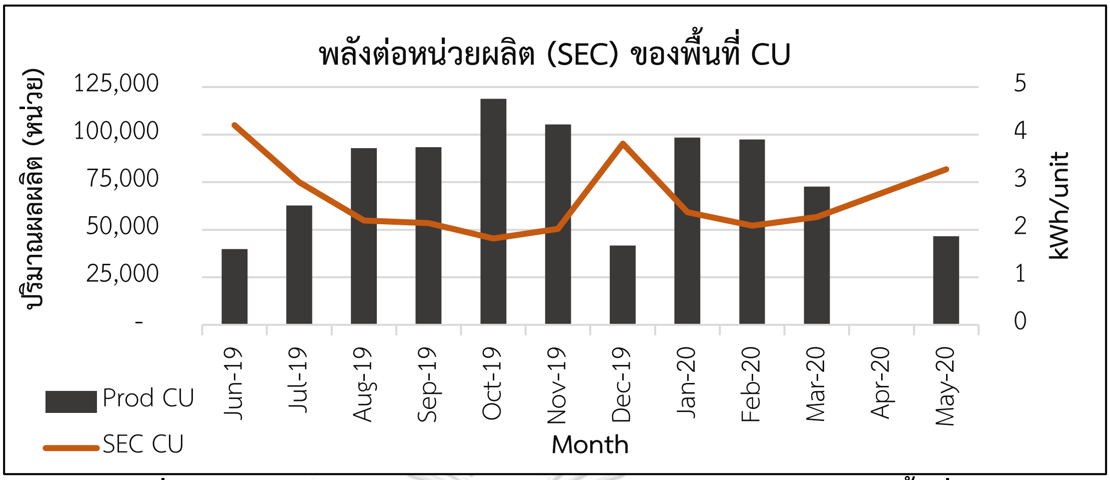
รูปที่ ก.6 กราฟ CUSUM รายเดือนของพื้นที่ TB

ตารางที่ ก.6 ปริมาณการใช้พลังงานและผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ TB

ลำดับสัปดาห์ในปี	เครื่องจักรการผลิต (kWh)	ระบบอากาศอัด (kWh)	ระบบไฟส่องสว่าง (kWh)	ระบบทำความเย็น (kWh)	ระบบระบายอากาศ (kWh)	ปริมาณผลผลิต
7	10,291	3,575	5,979	1,077	542	26,273
8	10,200	2,791	5,982	1,076	527	23,212
9	10,058	2,923	5,985	1,239	539	22,208
10	9,995	2,873	6,062	1,250	561	20,891
11	10,239	4,019	5,979	1,252	575	24,939
12	4,554	6,876	3,193	828	394	3,612
13	812	5,625	392	0	2	0
14	1,052	3,634	198	0	5	0
15	1,056	4,826	198	0	4	0
16	562	2,859	126	0	5	0
17	117	2,007	174	0	7	0
18	5,868	2,260	2,762	1,207	586	4,423
19	8,834	4,212	3,529	1,329	565	12,751
20	8,691	2,219	4,061	1,260	545	15,550
21	8,787	2,438	4,325	984	412	17,355

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

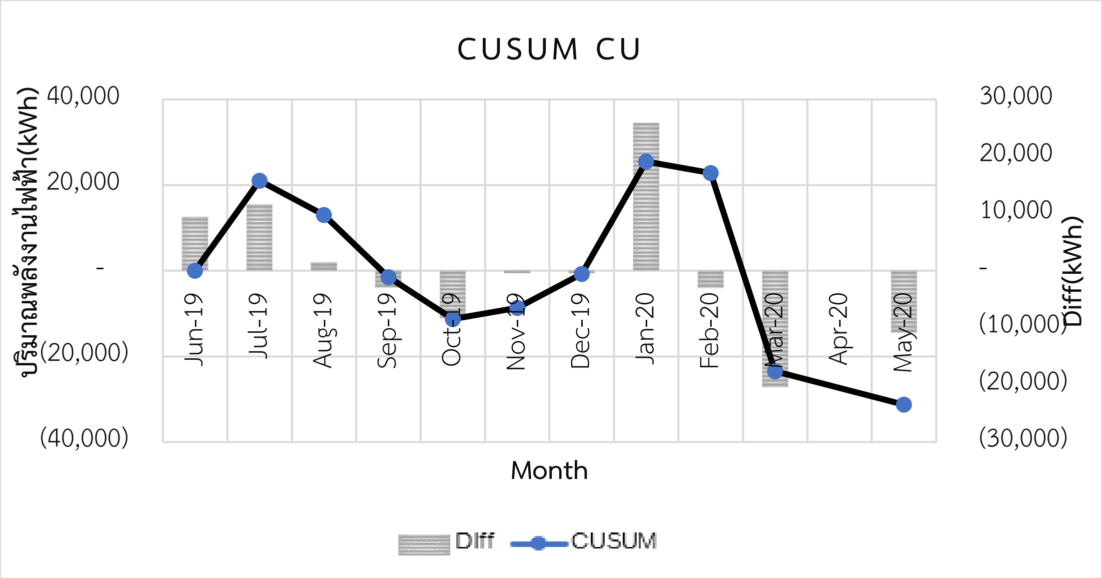
ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานและผลผลิตของพื้นที่การผลิต CU



รูปที่ ก.7 กราฟแท่งเปรียบผลผลิตและพลังงานจำเพาะรายเดือนของพื้นที่ CU

ตารางที่ ก.7 เปรียบเทียบสมการตัวแทนและค่าพลังงานจำเพาะของพื้นที่ CU

ข้อมูล CU	สมการตัวแทนการใช้พลังงาน Y = mX+ C			ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (kwh/unit)		
	R2	m	C	SEC_{min}	SEC_{avg}	SEC_{max}
ปี 2019	0.94	0.68	137,944	1.81	2.7	4.19
ปี 2020	0.82	1.35	81,757	2.08	2.5	3.27
ผลต่างของ SEC เมื่อกำหนดในปี 2019 เป็นปีฐาน				+15%	-7%	-22%



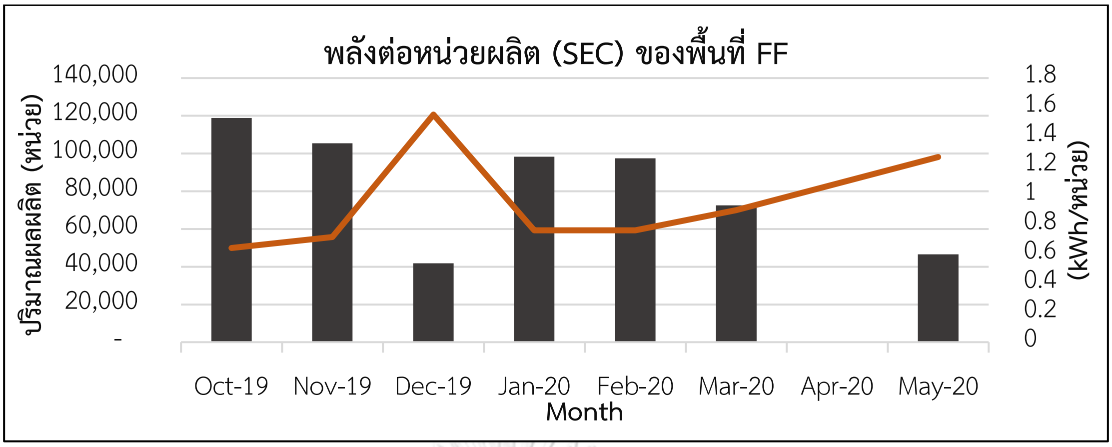
รูปที่ ก.8 กราฟ CUSUM รายเดือนของพื้นที่ CU

ตารางที่ ก.8 ปริมาณการใช้พลังงานและผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ CU

ลำดับสัปดาห์ใน ปี CU	เครื่องจักรการผลิต (kWh)	ระบบอากาศอัด (kWh)	ไฟส่องสว่างและเต้าเสียบ (kWh)	ระบบทำความเย็น (kWh)	ปริมาณผลผลิต (Unit)
7	12005	1915	3175	31593	25217
8	11728	1576	2968	31597	24290
9	9996	1595	2883	31526	21205
10	10157	2033	2627	31211	21130
11	11159	1924	2485	31429	24866
12	5200	5913	1424	21810	6709
13	2190	3934	262	102	0
14	1669	3381	265	102	287
15	741	4293	730	103	
16	500	3151	753	100	
17	230	2984	752	98	
18	3434	3285	1940	19668	2458
19	7578	6057	1800	29308	12151
20	8636	2152	2190	28412	15175
21	9274	2058	2496	27875	16489

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

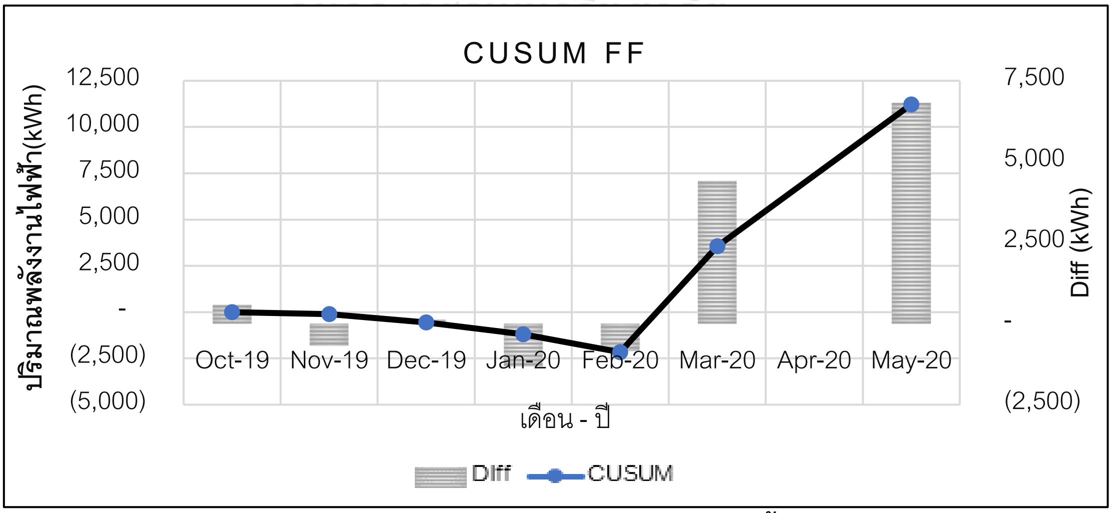
ข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานและผลผลิตของพื้นที่การผลิต FF



รูปที่ ก.9 กราฟแท่งเปรียบผลผลิตและพลังงานจำเพาะรายเดือนของพื้นที่ FF

ตารางที่ ก.9 เปรียบเทียบสมการตัวแทนและค่าพลังงานจำเพาะของพื้นที่ FF

ข้อมูล	สมการตัวแทนการใช้พลังงาน Y = mX+ C			ค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (kwh/unit)		
	R2	m	C	SEC_{min}	SEC_{avg}	SEC_{max}
ปี 2019	0.99	0.15	58,359	0.64	0.96	1.55
ปี 2020	0.99	0.31	43,552	0.76	0.92	1.26
ผลต่างของ SEC เมื่อกำหนดในปี2019เป็นปีฐาน				+19%	-4%	-19%



รูปที่ ก.10 กราฟ CUSUM รายเดือนของพื้น FF

ตารางที่ ก.10 ปริมาณการใช้พลังงานและผลผลิตรายสัปดาห์ของพื้นที่ FF

ลำดับสัปดาห์ ในปี FF	เครื่องจักรการผลิต (kWh)	ระบบอากาศอัด (kWh)	ระบบไฟส่องสว่าง (kWh)	ระบบทำความเย็น (kWh)	ระบบระบายอากาศ (kWh)	ปริมาณผลผลิต (Unit)
7	6864	2133	3555	6368	7775	25217
8	6566	1771	3536	6478	7674	24290
9	6190	1848	3605	7484	7603	21205
10	6284	2369	3628	7574	7405	21130
11	6660	2533	3606	7532	7540	24866
12	3200	5029	1868	4890	6026	6709
13	1346	735	288	0	25	0
14	1380	561	0	0	23	287
15	883	904	0	0	26	
16	429	555	0	0	29	
17	55	397	0	715	25	
18	2611	2731	2371	15504	5713	2458
19	5121	2768	2638	41445	7569	12151
20	4996	2148	2606	17450	7451	15175
21	5321	1603	2582	30573	6144	16489
22	5197	1450	2576	21029	5459	0

ภาคผนวก ข

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

แบบสอบถาม

Energy saving awareness survey

แบบสำรวจนี้ใช้เพื่อประเมินความเข้าใจและการตระหนักถึงคุณค่าของการใช้พลังงานของโรงงานแบบสำรวจนี้จะใช้เวลาประมาณ 5 นาทีในการตอบแบบสอบถามทั้ง 10 คำถาม
ผู้ที่ทำคะแนนได้สูงสุดใน 5 ลำดับแรกจะได้รับรางวัลอย่างสมน้ำสมเนื้อจาก XXX team!!
ระยะในการทำแบบสอบถามวันนี้ จนถึง 15 ตุลาคม 2562.
ประกาศผู้โชคดีในงาน GREEN DAY 28 ตุลาคม 2562.

This survey use for record the understanding and awareness of Continental employee to energy saving in plant, It will take around 10 -15 minutes to go thorough 13 questions.
The 5 persons who got the highest point will receive the BEE reward!!
You can start this survey from today until 15.10.2019
The winner will receive the price and certificate in GREEN DAY 28.10.2019

#Greenday2019 #BEE

ข้อมูลพื้นฐาน <3

Tell us a little about yourself :)

1

ทำงานอยู่ที่แผนกอะไรเอ่ย *

What is your department?

- HR
- IT

2

ดูแลพื้นที่การทำงานส่วนไหนคะ *

Where is your working area?

- MX

รูปที่ ข.1 แบบสอบถามส่วนที่ 1

3

เพศ *

What is your gender?

- Female ผู้หญิง
- Male ผู้ชาย
- Other

4

เริ่มทำงานที่นี่มานานเท่าไหร่แล้ว *

Employment duration

- Less than 6 months

5

อายุ *

Age

- 20 - 30
- 30 - 40
- > 40

6

กรอกชื่อเล่นเพื่อติดต่อกลับกรณีได้รับรางวัลด้วยนะ *

What is your nickname ? (For contact in case of you got the prize)

รูปที่ ข.2 แบบสอบถามส่วนที่ 1 (ต่อ)

Section 2

ทดสอบความใส่ใจของเรากับพลังงานใกล้ตัว

Let's test your understanding of basic energy topic

7

เตารีดไฟฟ้าเทียบกับหลอดไฟ10วัตต์ได้กี่หลอด *

How much iron consume energy compare to 1 watt bulb?

8

หน่วยพลังงานไฟฟ้าคือ *

What is the unit of electricity?

- ◯ kW
- ◯ kWh
- ◯ kg

รูปที่ ข.3 แบบสอบถามส่วนที่ 2

Section 3

ทดสอบความเข้าใจการใช้พลังงานในบริษัทของเรากันเถอะ!

Let's test your understanding of energy consumption in our plant!

9

ต้นทุนพลังงานของโรงงาน คิดเป็นสัดส่วนเท่าไหร่ของต้นทุนทั้งหมด *

How many percent of plant cost which from energy cost?

10

ไฟฟ้าที่ใช้ในสำนักงานคิดเป็นกี่เปอร์เซ็นต์ของพลังงานที่โรงงานใช้ *

How many percent energy consumption is from office area?

11

ในเดือนสิงหาคมพื้นที่การผลิตใดใช้พลังงานไฟฟ้าเยอะที่สุด *

Which production area consume the largest portion of electricity?

12

จงเรียงลำดับกิจกรรมที่ช่วยลดปริมาณการใช้พลังงานจากมากที่สุดไปยังน้อยที่สุด *

Which of them are arranged office activity in descending order of electricity consumption?

◯ ปิดแอร์(turn off the air condition)>ปิดไฟ(turn off the light)>ปิดโทรทัศน์และโปรเจคเตอร์เมื่อไม่ใช้งาน(turn off the TV and Projector)

รูปที่ ข.4 แบบสอบถามส่วนที่ 3

13

BEE ในโรงงานย่อมาจากอะไร *

What is BEE stand for?

14

ระบบใดในโรงงานใช้พลังงานไฟฟ้ามากที่สุด *

Which system consume the largest portion of energy in our plant?

- ระบบทำความร้อน (Heating system)
- ระบบทำความเย็น (Cooling system)
- ระบบทำลมอัด (Compressed air system)

15

ระบบใดในโรงงานใช้ในการจัดการพลังงาน *

What is the system that our plant use for energy monitoring?

- CXXXXX
- PXXXXXX
- MXXXXX

16

โรงงานซื้อพลังงานอะไรจากภายนอกบ้าง *

What is the energy that our plant buy from external supplier?

- ไฟฟ้า (Electricity)
- ไฟฟ้า (Electricity) แก๊ซธรรมชาติ (Natural Gas) น้ำ(Water)
- ไฟฟ้า (Electricity) แก๊ซธรรมชาติ (Natural Gas) น้ำ(Water) ลมอัด (Compressed air)

รูปที่ ข.5 แบบสอบถามส่วนที่ 3 (ต่อ)

Section 4 ...

เราจะช่วยลดการใช้พลังงานได้อย่างไรนะ

How we can reduce energy consumption in our plant ? : D

17

ยกตัวอย่างการประหยัดพลังงานในแผนกหรือแอเรียของคุณ

Please give us the example of energy saving in your area/department

รูปที่ ข.6 แบบสอบถามส่วนที่ 4

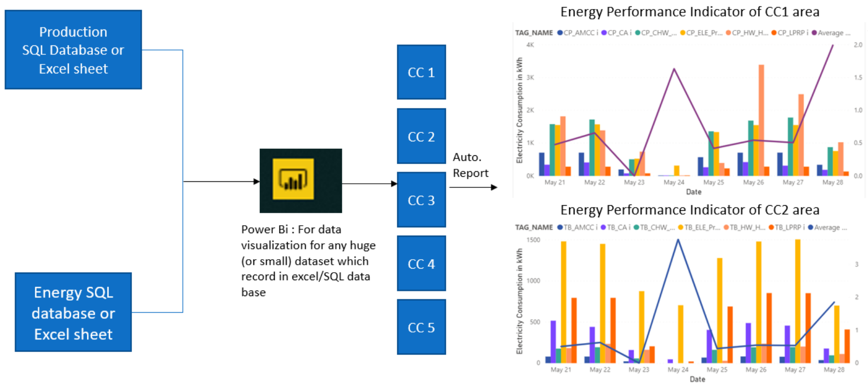
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ค

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สร้าง Dashboard ด้วย PowerBI

ภาพรวมของ Dash board



รูปที่ ค.1 สร้างEnergy Dash board ด้วย Microsoft Power Bi

ตารางที่ต้องการProduction

Col 1 : Time stamp (Hourly/ Daily/ Monthly)	Col 2 : Product Quantity	Col 3 : Cost center Name (Eg. Machine /Zone's Name)	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

1) Energy Consumption

Col 1 : Time stamp (Hourly/ Daily/ Monthly)	Col 2 : Energy Media (Electricity, Steam, …)	Col 3 : Energy Consumption	

โดยใช้ Col 1 Timestamp เป็น Primary Key

บรรณานุกรม

1. กระทรวงพลังงาน, ส.ก., *คู่มือพัฒนาและส่งเสริมระบบการจัดการพลังงานมาตราฐานสากล ISO 50001*. 2560.
2. ใจน้อม, น., ปัจจัยในการยอมรับการใช้งานระบบการจัดการธุรกิจอัจฉริยะในองค์กร. 2558, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
3. Moore, D.S. and W.I. Notz, *The basic practice of statistics (6th*. 2013, New York: W. H. Freeman and Company.
4. Government of India, M.o.p., *Bureau of Energy Efficiency*, in https://beeindia.gov.in.
5. Oakland, J.S., *Statistical Process Control*.
6. Andrea, T., et al., *Energy management: A practice-based assessment model.* Applied Energy, 2019. **235**: p. 1614-1636.
7. Greenwald, R. and K. Wallace. *Monitoring, Targeting and Reporting: A Pathway to Continuous Improvement in Energy Management* in *ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry*. 2007.
8. อัตตะสาระ, จ., ประสิทธิภาพพลังงานในประบวนการผลิตยางรถยนต์ : กรณีศึกษา. 2015, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: กรุงเทพ.
9. Taner, T., et al. *A model of energy management analysis, case study of a sugar factory*. in *Indian Academy of Sciences*. 2018.
10. Gudadhe, M., et al., *ENERGY ANALYSIS IN TIREMANUFACTURING INDUSTRIES.* International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET), 2015. **6**(9): p. 112.
11. Z.K.Morvay and D.G. D., *Applied Industrial Energy and Environmental Management*. 2008: John Wiley & Sons Ltd.
12. Afkhami, B., B. Akbarian, and N.B. A., *Energy consumption assessment in a cement production plant.* Sustainable Energy Technologies and Assessments, 2015: p. 84 - 89.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	อังคนา สังข์ทองจีน
วัน เดือน ปี เกิด	10 กันยายน 2538
สถานที่เกิด	นนทบุรี
วุฒิการศึกษา	วศ.บ. วิศวกรรมเครื่องกล พระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ที่อยู่ปัจจุบัน	ปลวกแดง , แม่น้ำคู้ , ระยอง, ประเทศไทย 10800
ผลงานตีพิมพ์	IE Network 2020 Conference หัวข้อ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีระบบบริหารจัดการข้อมูลด้านพลังงานเพื่อกำหนดแนวทางลดการใช้พลังงานในโรงงานยางรถยนต์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University