การพัฒนาแบบจำลองดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ ด้วยเทคนิคหน่วยเทียบเท่า ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

นายพีรพงษ์ แก้ววิมลรัตน์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2552
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A MODEL DEVELOPMENT OF SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION BY USING EQUIVALENT UNIT TECHNIQUE IN ELECTRONIC INDUSTRY

Mr. Peerapong Kaewwimolrat

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2009

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาแบบจำลองดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะด้วยเทคนิคหน่วยเทียบเท่า ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์
โดย	นายพีรพงษ์ แก้ววิมลรัตน์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย วิจิรวนิช)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พีรพงษ์ แก้ววิมลรัตน์ : การพัฒนาแบบจำลองดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะด้วยเทคนิคหน่วยเทียบเท่าในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์. (A MODEL DEVELOPMENT OF SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION BY USING EQUIVALENT UNIT TECHNIQUE IN ELECTRONIC INDUSTRY) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน, 193 หน้า.

การศึกษาวิจัยเรื่องการพัฒนาแบบจำลองดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ ด้วยเทคนิคหน่วยเทียบเท่าในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เป็นการวิจัยเพื่อใช้เป็นแนวทางการใช้พลังงานมาตรฐาน (Benchmark) ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ซึ่งในปัจจุบันจะคิดคำนวณหาค่าการใช้พลังงาน โดยวิเคราะห์จากการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption: SEC) ซึ่งหาได้จากการนำเอาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมดหารด้วยปริมาณผลผลิตที่ได้ และจากการที่โรงงานแต่ละโรงมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ส่งผลให้หน่วยของผลผลิตที่ได้มีความแตกต่างกัน ทำให้ค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่คำนวณได้เกิดขึ้นจากหน่วยของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ส่งผลให้การหาค่าต้นทุนพลังงานต่อผลผลิต (Unit Cost) ที่ได้ไม่ถูกต้อง เนื่องจากผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดอาจมีขนาดและความยากง่ายในการผลิตต่างกัน จึงต้องจัดหาวิธีในการปรับเทียบให้เป็นหน่วยเดียวกัน โดยนำเอาเทคนิคหน่วยเทียบเท่า (Equivalent Unit: EU) มาคำนวณหาปริมาณผลผลิตที่ได้ใหม่ให้เป็นหน่วยเทียบเท่าเดียวกัน โดยในการศึกษาจะทำการหากิจกรรมกระบวนการผลิตของโรงงานเพื่อนำมาวิเคราะห์หาหน่วยเทียบเท่ากับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ผลิตออกมาได้ คำนวณหาเวลามาตรฐานในการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ แล้วทำการคิดคำนวณต้นทุนการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตตามค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูป เพื่อให้สามารถนำค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ที่คำนวณได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดได้ ซึ่งจะได้ค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตใหม่ ที่มีการเปลี่ยนแปลงจากเดิมตั้งแต่ไม่ถึง 1% จนถึง 74%

จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้มาทำแบบจำลองการใช้เกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน โดยทำการรวมรวบตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน แล้ววิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ จากผลการศึกษาพบว่าตัวแปรหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงาน คือ ชั่วโมงการทำงาน จำนวนของผลิตภัณฑ์ และผลต่างของอุณหภูมิ ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ได้พัฒนาแบบจำลอง โดยแบ่งผลิตภัณฑ์ออกเป็น 5 ผลิตภัณฑ์ คือ A, B, C, D และ E ทำให้ได้แบบจำลอง 5 สมการ ดังนี้ 1. พลังงานไฟฟ้า (kWh) = -1,175 + (0.094 x ผลิตภัณฑ์ A1) + (0.026xผลิตภัณฑ์ A2) + (0.00038 x ผลิตภัณฑ์ A3) + (0.0142 x ผลิตภัณฑ์ A4) + (0.0179 x ผลิตภัณฑ์ A5) , 2. พลังงานไฟฟ้า (kWh) = - 4,055 + (0.0848 x ผลิตภัณฑ์ B1) + (0.0518xผลิตภัณฑ์ B2) + (0.00907 x ผลิตภัณฑ์ B3) + (0.0603 x ผลิตภัณฑ์ B4) , 3.พลังงานไฟฟ้า (kWh) = -3487, + (0.00916 x ผลิตภัณฑ์ C1) + (0.0358xผลิตภัณฑ์ C2) + (0.0382 x ผลิตภัณฑ์ C3) , 4.พลังงานไฟฟ้า (kWh) = -1,849 +(0.0127 x ผลิตภัณฑ์ D1) + (0.00857xผลิตภัณฑ์ D2) , 5.พลังงานไฟฟ้า (kWh) = -3,098 +(0.0179 x ผลิตภัณฑ์ E1) + (0.00568xผลิตภัณฑ์ E2)

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต พีรพงษ์ แก้ววิมลรัตน์

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2552

5070380321 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORDS: SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION (SEC) / EQUIVALENT UNIT(EU) / ENERGY CONSUMPTION MODEL / ELECTRONIC

PEERAPONG KAEWWIMOLRAT: A MODEL DEVELOPMENT OF SPECIFIC ENERGY CONSUMPTION BY USING EQUIVALENT UNIT TECHNIQUE IN ELECTRONIC INDUSTRY.THESIS PRIMCIPAL ADVISOR: ASSOC.PROF. SUTHAS RATANAKUAKANGWAN,193 pp.

The purpose of this research is to develop a model for Specific Energy Consumption by using the equivalent unit technique in electronic industry. The research will be used as a guideline for consuming the energy (Benchmark) in an electronic industry.

To calculate Specific Energy Consumption is to use the energy consumption amount divided by quantity of product. The Fact that each factory has many varieties of products causes the difference of energy usages and the use of time, therefore the Specific Energy Consumption need to be more accurate. Also, the calculation of unit cost tends to be inaccurate due to the causes of different factors in the process of production. Therefore in the research the calculation of unit cost is made by the analysis of Specific Energy Consumption by using Equivalent Unit (EU) technique. The result from the research will bring about the new calculation of Specific Energy which changes only 1%to 74% from the past.

The information based on this model development of Specific Energy Consumption research has been collected from many electronic industries which focus on energy. The next thing is to analyze the relationship among variables of energy usage in electronic industries by the mean of multiple regressions. The result of the research found that main variables which affected the maximum energy consumption are the operation time, the number of product and the difference of temperature. In this research, the product models were developed into 5 types, which is A,B,C and D. the equitation of the models are 1. electric energy (kWh) = -1,175 + (0.094 x product A1) + (0.026x product A2) + (0.00038 x product A3) + (0.0142 x product A4) + (0.0179 x product A5) , 2.electric energy (kWh) = - 4,055 + (0.0848 x product B1) + (0.0518x product B2) + (0.00907 x product B3) + (0.0603 x product B4) , 3. electric energy (kWh) = -3487, + (0.00916 x product C1) + (0.0358xผลิตภัณฑ์ C2) + (0.0382 x product C3) , 4 electric energy (kWh) = -1,849 +(0.0127 x ผลิตภัณฑ์ D1) + (0.00857x product D2) , 5. electric energy (kWh) = -3,098 +(0.0179 x product E1) + (0.00568x product E2)

Department:.....Industrial Engineering.....Student's signature.....พีรพงษ์ แก้ววิมลรัตน์.....

Field of study:.....Industrial Engineering..... Advisor's signature .....

Academic year:.....2009.....

กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน อาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ ผู้ให้ความรู้ และเป็นผู้เสนอแนะแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. ดร.ปารเมศ ชุติมา และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รศ. จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ รศ.ดร. วันชัย วิจิรวนิช ที่ให้ความรู้และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างมาก รวมทั้งขอขอบคุณสถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยเพื่อใช้ทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ สไบ ต่อ และเพื่อนๆ ทุกคนที่ช่วยเหลือในด้านเอกสาร การพิมพ์เอกสาร และขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆน้องๆ ในศูนย์ RU ที่ให้การช่วยเหลือต่างๆ ในจัดทำวิทยานิพนธ์และการส่งรูปเล่มจนสำเร็จลุล่วงออกมาด้วยดี

ท้ายสุดนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ นายพีรพัฒน์ แก้ววิมลรัตน์และนางนฤมล แก้ววิมลรัตน์ บิดาและมารดา นายมนต์ชัย แก้ววิมลรัตน์ พี่ชายคนเดียว ซึ่งสนับสนุนและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา ตลอดจนเพื่อนร่วมรุ่นทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือจนวิทยานิพนธ์สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... ฎ

บทที่ 1 : บทนำ..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 5

1.1.1. ตัวอย่างวิธีคำนวณค่า SEC..... 6

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 9

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 10

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย..... 10

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 11

บทที่ 2 : ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 12

2.1 ประสิทธิภาพด้านพลังงาน..... 12

2.1.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงาน..... 13

2.1.2 การบริโภคพลังงาน..... 14

2.2 ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน..... 15

2.2.1 ดัชนีความเข้มของการใช้พลังงาน..... 15

2.2.2 ดัชนีความยืนหยุ่นการใช้พลังงาน..... 18

2.2.3 ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต..... 19

2.2.4 ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต โดยเทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูป..... 23

2.3 มาตรฐานการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม..... 26

2.3.1 ประเภทของ Energy Benchmarking..... 27

2.3.2 หน่วยสำหรับการวัดพลังงาน..... 28

2.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงาน..... 28

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4.1 กลุ่มตัวแปรด้านที่ตั้งโรงงานและสภาพอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายนอกของโรงงาน..... 29
2.4.2 กลุ่มตัวแปรด้านอาคารโรงงานและการวางแผนผังของโรงงาน..... 29
2.4.3 กลุ่มตัวแปรด้านเครื่องจักรและกระบวนการผลิต..... 30
2.5 การบริหารจัดการพลังงาน..... 30
2.5.1 ระบบการจัดการพลังงาน..... 30
2.5.2 การอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม..... 32
2.6 การวิเคราะห์สมการถดถอยและสหสัมพันธ์..... 38
2.6.1 การวิเคราะห์สมการถดถอยชนิดหลายตัวแปร..... 38
2.6.2 การวิเคราะห์ตัวประกอบ..... 38
2.6.3 วิธีการคัดเลือกตัวแปร..... 40
2.6.4 สัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ..... 41
2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 42
2.7.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม..... 43
2.7.2 แนวทางการศึกษาเกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานในประเทศไทยและต่างประเทศ..... 48
2.7.3 แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสมการถดถอย..... 54
บทที่ 3 : วิธีการดำเนินการวิจัย..... 57
3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน..... 57
3.1.1 ข้อมูลเบื้องต้นและสภาพทั่วไปของโรงงาน..... 57
3.1.2 ข้อมูลอุปกรณ์และเครื่องจักร..... 58
3.1.3 ข้อมูลพื้นที่ที่มีการใช้พลังงาน..... 60
3.2 การจัดหากิจกรรมกระบวนการผลิตของโรงงาน..... 62
3.2.1 การวิเคราะห์กระบวนการผลิต..... 62
3.3 การคิดคำนวณต้นทุนการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต..... 69
3.3.1 ข้อมูลการใช้พลังงานและผลผลิตรายปี..... 70
3.3.2 สถิติการใช้พลังงานต่างๆ และผลผลิตรายเดือนจำแนกตามระบบ.. 72
3.3.3 ผลผลิตรายปีและค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต..... 76

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.4 ผลผลิตรายปีและค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่..... 76
3.4 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน..... 78
3.4.1 การเก็บรวมรวบข้อมูลการใช้พลังงาน..... 79
3.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล..... 79
3.5 การจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานที่เหมาะสมต่อโรงงาน..... 79
3.6 การจัดทำแผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์..... 80
บทที่ 4 : ผลการดำเนินงานวิจัย..... 81
4.1 ผลการวัดการใช้เวลาทั้งหมดในกระบวนการผลิตต่อหน่วยผลิตภัณฑ์..... 82
4.2 หาค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit: EU)..... 97
4.3 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตแบบเดิมกับแบบใหม่..... 114
4.4 ตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน..... 125
4.4.1 กลุ่มตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน..... 125
4.4.2 การพิจารณาถึงปัจจัยที่ควบคุมได้และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ของการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม..... 126
4.4.3 การรวบรวมตัวแปรจากการวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 126
4.4.4 สรุปตัวแปรปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน..... 129
4.5 ผลการจัดทำแบบจำลองการใช้เกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานด้วยเทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูปของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสม..... 131
4.5.1 การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ เพื่อหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์..... 131
4.5.2 สรุปผลแบบจำลองการใช้พลังงาน..... 137
4.5.3 การนำแบบจำลองการใช้เกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานด้วยเทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูปไปประยุกต์ใช้หาตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน..... 140
4.6 เปรียบเทียบแบบจำลองการใช้พลังงานแบบเดิมและแบบใหม่..... 142
4.7 แผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์..... 143
4.7.1 แนวคิดเกี่ยวกับการจัดการพลังงาน..... 143
บทที่ 5 : สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ..... 154

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1 เกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน โดยเทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูป..... 154
5.2 แบบจำลองการใช้พลังงานของโรงงาน..... 155
5.3 ข้อเสนอแนะ..... 156
รายการอ้างอิง..... 157
ภาคผนวก.....
ภาคผนวก ก Energy Chart..... 159
ภาคผนวก ข ข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรม Minitab..... 171
ภาคผนวก ค ระเบียบปฏิบัติงานของโรงงานตัวอย่าง..... 178
ภาคผนวก ง กรณีตัวอย่างมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์.. 184
ภาคผนวก จ รายละเอียดการแบ่งประเภทของ Product A,B,C,D และ E 192
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 193

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 สินค้าอุตสาหกรรมที่ส่งออกสำคัญ 20 รายการแรก..... 1
ตารางที่ 1.2 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ ปี พ.ศ. 2546..... 2
ตารางที่ 1.3 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ ปี พ.ศ. 2547..... 2
ตารางที่ 1.4 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ ปี พ.ศ. 2548..... 2
ตารางที่ 1.5 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ปี พ.ศ. 2549 - 2550..... 3
ตารางที่ 1.6 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ปี พ.ศ. 2550 - 2551..... 3
ตารางที่ 1.7 ตลาดส่งออกอุปกรณ์ส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ของไทย ปี 2549 – 2550..... 4
ตารางที่ 1.8 ตลาดส่งออกอุปกรณ์ส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ของไทย ปี 2550 – 2551..... 4
ตารางที่ 1.9 ตัวอย่างสรุปเกณฑ์ค่าการใช้พลังงานของโรงงานหนึ่ง..... 6
ตารางที่ 2.1 ผลการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน 40 แห่ง..... 49
ตารางที่ 2.2 รายละเอียดเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคาร Good Practice และอาคาร Typical)..... 50
ตารางที่ 3.1 แสดงพื้นที่ที่ใช้เพื่อการผลิต..... 61
ตารางที่ 3.2 แสดงพื้นที่สนับสนุน..... 61
ตารางที่ 3.3 แสดงข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลผลิตปี 49 – 52..... 70
ตารางที่ 3.4 สถิติการใช้พลังงานต่างๆ และผลผลิตรายเดือนจำแนกตามระบบ ประจำปี 2551..... 73
ตารางที่ 3.5 สถิติการใช้พลังงานต่างๆ และผลผลิตรายเดือนจำแนกตามระบบ ประจำปี 2552..... 75
ตารางที่ 3.6 แสดงการใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตในช่วงปี พ.ศ. 2549 – 2551 เปรียบเทียบกับปี 2552..... 76
ตารางที่ 3.7 แสดงค่า SEC โดยแยกระบบ HVAC และ ระบบแสงสว่าง ให้คิดเป็นต่อหน่วยพื้นที่การใช้งาน..... 77
ตารางที่ 4.1 แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product A แยกตามรุ่น (ใน 1

หน้า

เดือน)..... 82
ตารางที่ 4.2 แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product B แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)..... 86
ตารางที่ 4.3 แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product C แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)..... 90
ตารางที่ 4.4 แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product D แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)..... 95
ตารางที่ 4.5 แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product E แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)..... 96
ตารางที่ 4.6 แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product A..... 98
ตารางที่ 4.7 แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product B..... 102
ตารางที่ 4.8 แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product C..... 107
ตารางที่ 4.9 แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product D..... 112
ตารางที่ 4.10 แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product E..... 113
ตารางที่ 4.11 แสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิตในหน่วยค่า EU ของ Product A..... 115
ตารางที่ 4.12 แสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิตในหน่วยค่า EU ของ Product B..... 117
ตารางที่ 4.13 แสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิตในหน่วยค่า EU ของ Product C..... 119
ตารางที่ 4.14 แสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิตในหน่วยค่า EU ของ Product D..... 121
ตารางที่ 4.15 แสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิตในหน่วยค่า EU ของ Product E..... 123
ตารางที่ 4.16 ตัวแปรปัจจัยที่รวบรวมจากแนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่คาดว่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์..... 130
ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบสหสัมพันธ์ (Correlations)..... 136
ตารางที่ 4.18 แสดงผลการหาค่า R^2..... 136
ตารางที่ 4.19 แสดงค่าการพยากรณ์ของ Product A..... 140

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าประมาณ Daylight Factor สำหรับพื้นที่ใช้งานต่างๆ..... 147

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 สัดส่วนการใช้พลังงานแยกตามระบบต่างๆ ของโรงงานหนึ่ง..... 8

รูปที่ 2.1 แสดง GDP per capita ต่อ 'Economic Energy Efficiency ของประเทศที่มี GDP สูงสุด 40 ประเทศ..... 16

รูปที่ 2.2 แสดงค่า SEC และปริมาณผลผลิตในรอบ 12 เดือนของโรงงานแช่แข็งแห่งหนึ่ง.. 22

รูปที่ 2.3 องค์ประกอบในการพัฒนาระบบจัดการพลังงาน..... 31

รูปที่ 2.4 ระบบการจัดการด้านพลังงาน..... 32

รูปที่ 2.5 โครงสร้างการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม..... 36

รูปที่ 2.6 วงจรเดมมิ่ง (Deming Cycle)..... 37

รูปที่ 2.7 การกระจายตัวของเกณฑ์การใช้พลังงานของกลุ่มอาคารตัวอย่าง..... 50

รูปที่ 2.8 สัดส่วนการใช้พลังงานระบบต่างๆ..... 51

รูปที่ 2.9 ดัชนีความเข้มของการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศแคนนาดาระหว่างปี ค.ศ. 1995 ถึง 2002..... 54

รูปที่ 3.1 แสดงตัวอย่างผลิตภัณฑ์วงจรรวม (IC)..... 58

รูปที่ 3.2 แสดงผังของโรงงานตัวอย่าง..... 61

รูปที่ 3.3 แสดงกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตวงจรรวม..... 62

รูปที่ 3.4 แสดงตัวอย่างแผ่นเวเฟอร์ (Wafer)..... 63

รูปที่ 3.5 แผ่นจาน Wafer ประเภทต่างๆ..... 63

รูปที่ 3.6 แสดงเครื่องการทดสอบ..... 63

รูปที่ 3.7 แสดงกระบวนการทำ back grind..... 64

รูปที่ 3.8 แสดงกระบวนการเตรียมแผ่น wafer..... 64

รูปที่ 3.9 แสดงกระบวนการตัด..... 64

รูปที่ 3.10 ภาพวาดแสดงการเรียก Chip หรือ Die..... 65

รูปที่ 3.11 แสดงการตัดแผ่น wafer..... 65

รูปที่ 3.12 กระบวนการยึด Die กับ Lead frame..... 65

รูปที่ 3.13 IC-Chip บน Bonding pad และเชื่อมติดกับขา (Pins) ด้วยลวดทอง (Bonding wires)..... 66

รูปที่ 3.14 ภาพตัดขวางแสดงการเชื่อมต่อระหว่าง IC Chip และขาต่างๆ (Pins) ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

Bonding wires..... 66
รูปที่ 3.15 แสดงการเชื่อมวงจรไฟฟ้าจาก Die เข้ากับ Lead Frame..... 66
รูปที่ 3.16 แสดงเครื่องฉีดพลาสติก เพื่อเคลือบวงจรรวม..... 67
รูปที่ 3.17 แสดงเครื่องพิมพ์ตัวหนังสือลงบนตัว IC..... 67
รูปที่ 3.18 แสดงเครื่องเคลือบ IC ด้วยดีบุก..... 67
รูปที่ 3.19 แสดงภาพตัดขวางภายในของ IC ที่ผ่านการห่อหุ้มด้วยดีบุกแล้ว..... 68
รูปที่ 3.20 แสดงเครื่องตัดขา IC..... 68
รูปที่ 3.21 ทดสอบการทำงานของตัว IC..... 68
รูปที่ 3.22 ตรวจสอบความกว้างของขา IC..... 69
รูปที่ 3.23 บรรจุสินค้า เพื่อจัดจำหน่าย..... 69
รูปที่ 3.24 ส่งสินค้าไปตามรายการสั่งซื้อ..... 69
รูปที่ 3.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลผลิตและพลังงานที่ใช้..... 72
รูปที่ 3.26 แสดงสัดส่วนของการใช้พลังงานในโรงงาน..... 78
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟของค่า SEC เดิมเปรียบเทียบกับค่า SEC ใหม่ของ Product A..... 116
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟของค่า SEC เดิมเปรียบเทียบกับค่า SEC ใหม่ของ Product B..... 118
รูปที่ 4.3 แสดงกราฟของค่า SEC เดิมเปรียบเทียบกับค่า SEC ใหม่ของ Product C..... 120
รูปที่ 4.4 แสดงกราฟของค่า SEC เดิมเปรียบเทียบกับค่า SEC ใหม่ของ Product D..... 122
รูปที่ 4.5 แสดงกราฟของค่า SEC เดิมเปรียบเทียบกับค่า SEC ใหม่ของ Product E..... 124
รูปที่ 4.6 Process of transforming inputs into outputs (Anderson et al., 1997) 126
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ของProduct A. 133
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ของProduct B. 133
รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ของProduct C. 134
รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ของProduct D. 134
รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ของProduct E. 135
รูปที่ 4.12 แสดงการแจกแจงความถี่ของข้อมูลอุณหภูมิและขอบเขตพิกัดของอุณหภูมิที่ 25 °C และ 28°C..... 146
รูปที่ 4.13 แสดงตัวอย่างแผนภูมิก้างปลา กรณีการหาสาเหตุแรงดันลมอัดอากาศในระบบตกในบางเวลา 151

บทที่ 1

บทนำ

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เป็นอุตสาหกรรมที่มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์และมีความสลับซับซ้อนในกระบวนการผลิต อุตสาหกรรมมีความเชื่อมโยงกับการผลิตผลิตภัณฑ์อื่น ๆ อีกมากมาย อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศไทยจัดเป็นการผลิตเพื่อการส่งออกและมีศักยภาพในการแข่งขันในตลาดโลกเป็นอันดับต้นๆ นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาจากการจัดอันดับมูลค่าสินค้าส่งออกสำคัญ 20 อันอับแรกของไทย ในปี พ.ศ. 2548 โดยศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักปลัดกระทรวงพาณิชย์ พบว่ามีรายการเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ติดอันดับถึง 5 รายการ โดยเฉพาะอันดับ 1 และอันดับ 3 ได้แก่เครื่องคอมพิวเตอร์อุปกรณ์และส่วนประกอบกับแผงวงจรไฟฟ้า ดังแสดงในตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 สินค้าอุตสาหกรรมที่ส่งออกสำคัญ 20 รายการแรก

รายการ	มูลค่า : ล้านบาท				อัตราการขยายตัว : ร้อยละ			สัดส่วน : ร้อยละ			
	2546	2547	2547 (ม.ค.-พ.ย.)	2548 (ม.ค.-พ.ย.)	2546	2547	2548 (ม.ค.-พ.ย.)	2546	2547	2547 (ม.ค.-พ.ย.)	2548 (ม.ค.-พ.ย.)
1. เครื่องคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์และส่วนประกอบ	339,939.8	368,875.9	332,273.5	428,158.4	6.52	8.51	28.86	10.22	9.52	9.39	10.57
2. รถยนต์ อุปกรณ์และส่วนประกอบ	164,705.8	220,801.5	199,402.2	285,120.9	31.51	34.06	42.99	4.95	5.70	5.64	7.04
3. แผงวงจรไฟฟ้า	191,540.3	196,444.3	182,133.1	197,863.1	34.97	2.56	8.64	5.76	5.07	5.15	4.89
4. เม็ดพลาสติก	89,204.8	124,808.6	113,447.5	152,135.4	17.20	39.91	34.10	2.68	3.22	3.21	3.76
5. ยางพารา	115,796.9	137,465.5	124,559.6	134,309.7	55.22	18.71	7.83	3.48	3.55	3.52	3.32
6. อัญมณีและเครื่องประดับ	104,525.6	106,278.9	98,072.1	118,746.8	12.29	1.68	21.08	3.14	2.74	2.77	2.93
7. เครื่องรับวิทยุโทรทัศน์และส่วนประกอบ	103,764.7	129,542.5	120,780.3	117,199.4	15.61	24.84	-2.96	3.12	3.34	3.41	2.89
8. เสื้อผ้าสำเร็จรูป	114,744.6	124,267.2	112,498.1	114,765.4	-1.58	8.30	2.02	3.45	3.21	3.18	2.83
9. เหล็ก เหล็กกล้าและผลิตภัณฑ์	70,222.3	99,588.2	90,168.6	106,896.9	31.01	41.82	18.55	2.11	2.57	2.55	2.64
10. เคมีภัณฑ์	65,897.4	82,847.9	76,138.4	96,480.4	28.83	25.72	26.72	1.98	2.14	2.15	2.38
11. อาหารทะเลกระป๋องและแปรรูป	88,789.1	90,711.6	81,931.6	91,765.5	2.64	2.17	12.00	2.67	2.34	2.32	2.27
12. น้ำมันสำเร็จรูป	42,404.8	71,074.2	64,267.1	86,121.5	-5.38	67.61	34.01	1.28	1.83	1.82	2.13
13. ผลิตภัณฑ์ยาง	64,668.2	78,050.0	71,201.0	85,900.4	19.55	20.69	20.64	1.94	2.01	2.01	2.12
14. ข้าว	75,776.1	108,351.8	97,893.5	85,613.2	8.25	42.99	-12.54	2.28	2.80	2.77	2.11
15. เครื่องใช้ไฟฟ้าและส่วนประกอบอื่น ๆ	44,722.8	77,753.4	70,328.3	84,537.0	8.74	73.86	20.20	1.34	2.01	1.99	2.09
16. เครื่องปรับอากาศและส่วนประกอบ	59,779.0	79,947.8	73,889.2	81,191.3	25.39	33.74	9.88	1.80	2.06	2.09	2.01
17. เครื่องจักรกลและส่วนประกอบของเครื่องจักรกล	51,721.4	67,155.8	61,433.8	77,821.0	29.59	29.84	26.67	1.56	1.73	1.74	1.92
18. ผลิตภัณฑ์พลาสติก	51,447.4	56,658.8	51,328.7	65,260.0	25.72	10.13	27.14	1.55	1.46	1.45	1.61
19. เครื่องยนต์สันดาปภายในแบบลูกสูบและส่วนประกอบ	22,720.0	49,873.2	45,417.3	51,344.2	53.23	119.51	13.05	0.68	1.29	1.28	1.27
20. น้ำมันดิบ	27,020.9	33,575.6	28,702.0	51,189.3	37.60	24.26	78.35	0.81	0.87	0.81	1.26
รวม 20 รายการ	1,889,391.9	2,304,072.7	2,095,865.9	2,512,419.8	18.04	21.95	19.88	56.81	59.46	59.25	62.04

ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยความร่วมมือจากกรมศุลกากร ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร สำนักงานปลัดกระทรวงพาณิชย์

ตารางที่ 1.2 – 1.6 แสดงปริมาณและมูลค่าการส่งออกของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ในช่วงปี 2546 – 2551 เป็นการชี้บ่งถึงการขยายตัวของการส่งออกในอัตราที่สูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและมีแนวโน้มที่ต้องการลดต้นทุนพลังงานต่อหน่วยการผลิต (Unit Cost) ซึ่งในคิดคำนวณต้นทุนต้องการความถูกต้อง

ตารางที่ 1.2 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ ปี พ.ศ. 2546

ลำดับ	ชนิดผลิตภัณฑ์	ชนิดผลิตภัณฑ์ (ชื่ออิงตามกรมศุลกากร)	หน่วยผลิตภัณฑ์	2546					
				ปริมาณส่งออก	มูลค่าส่งออก	มูลค่าส่งออก (พันล้านบาท)	ร้อยละของมูลค่าฯ	ร้อยละสะสม	มูลค่า (บาท) ต่อหน่วย
1	IC	แผงวงจรรวม (IC)	UNIT	9,269,305,044	191,540,243,896	191.5	45.7	45.7	20.66
2	HDD	หน่วยเก็บ (Storage Unit)	UNIT	52,637,191	105,592,017,238	105.6	25.2	70.9	2,006.03
3	PCB/FPCB	วงจรพิมพ์	KGM	9,263,659	30,762,542,644	30.8	7.3	78.3	3,320.78
4	Transistor (TS)	ทรานซิสเตอร์	UNIT	51,452,495,642	35,585,140,395	35.6	8.5	86.7	0.69
5	Motor (<37.5W)	มอเตอร์ (<37.5 W)	UNIT	222,601,775	23,503,154,643	23.5	5.6	92.4	105.58
6	Semiconductor (SC) + Diode + LED	อุปกรณ์กึ่งตัวนำ ไดโอด และไดโอดเปล่งแสง	UNIT	6,050,463,122	20,782,355,220	20.8	5.0	97.3	3.43
7	Capacitor	คาร์ปาซิเตอร์ (ชนิดแทนทาลัม)	KGM	256,252	5,696,001,946	5.7	1.4	98.7	22,228.13
8	Transformer (TF) (<1kVA)	หม้อแปลงไฟฟ้า (<1KVA)	UNIT	111,524,921	7,489,596,646	7.5	0.7	99.4	67.16
9	Resistor	รีซิสเตอร์	KGM	2,702,222	2,435,816,668	2.4	0.6	100	901.41
รวม				**67,171,249,828**	**423,386,869,296**	**423.4**	**100**		**6.30**

ตารางที่ 1.3 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ ปี พ.ศ. 2547

ลำดับ	ชนิดผลิตภัณฑ์	ชนิดผลิตภัณฑ์ (ชื่ออิงตามกรมศุลกากร)	หน่วยผลิตภัณฑ์	2547					
				ปริมาณส่งออก	มูลค่าส่งออก (บาท)	มูลค่าส่งออก (พันล้านบาท)	ร้อยละของมูลค่าฯ	ร้อยละสะสม	มูลค่า (บาท) ต่อหน่วย
1	IC	แผงวงจรรวม (IC)	UNIT	12,370,338,133	196,443,402,087	196.4	43.4	43.4	15.88
2	HDD	หน่วยเก็บ (Storage Unit)	UNIT	59,913,637	126,432,033,012	126.4	27.9	71.3	2,110.24
3	PCB/FPCB	วงจรพิมพ์	KGM	14,001,910	52,383,391,609	52.4	11.6	82.9	3,741.16
4	Transistor (TS)	ทรานซิสเตอร์	UNIT	40,527,013,071	30,113,580,390	30.1	6.7	89.6	0.61
5	Motor (<37.5W)	มอเตอร์ (<37.5 W)	UNIT	208,746,285	20,182,225,939	20.2	4.5	94.0	96.68
6	Semiconductor (SC) + Diode + LED	อุปกรณ์กึ่งตัวนำ ไดโอด และไดโอดเปล่งแสง	UNIT	7,283,641,633	13,431,476,196	13.4	3.0	97.0	1.84
7	Capacitor	คาร์ปาซิเตอร์ (ชนิดแทนทาลัม)	KGM	403,067	6,415,893,389	6.4	1.4	98.4	15,917.68
8	Transformer (TF) (<1kVA)	หม้อแปลงไฟฟ้า (<1KVA)	UNIT	102,282,833	4,009,743,257	4.0	0.9	99.3	39.20
9	Resistor	รีซิสเตอร์	KGM	3,031,141	3,218,528,795	3.2	0.7	100	1,061.82
รวม				**69,570,273,624**	**452,630,223,653**	**452.6**	**100**		6.51

ตารางที่ 1.4 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ ปี พ.ศ. 2548

ลำดับ	ชนิดผลิตภัณฑ์	ชนิดผลิตภัณฑ์ (ชื่ออิงตามกรมศุลกากร)	หน่วยผลิตภัณฑ์	2548					
				ปริมาณส่งออก	มูลค่าส่งออก (บาท)	มูลค่าส่งออก (พันล้านบาท)	ร้อยละของมูลค่าฯ	ร้อยละสะสม	มูลค่า (บาท) ต่อหน่วย
1	IC	แผงวงจรรวม (IC)	UNIT	20,726,962,993	238,454,305,914	238.5	45.2	45.2	11.50
2	HDD	หน่วยเก็บ (Storage Unit)	UNIT	78,602,013	168,644,502,426	168.6	32.0	77.2	2,145.55
3	PCB/FPCB	วงจรพิมพ์	KGM	16,168,204	50,779,262,752	50.8	9.6	86.9	3,140.69
4	Transistor (TS)	ทรานซิสเตอร์	UNIT	62,133,072,620	20,150,658,318	20.2	3.8	90.7	0.32
5	Motor (<37.5W)	มอเตอร์ (<37.5 W)	UNIT	248,390,813	24,045,426,584	24.0	4.6	95.3	96.80
6	Semiconductor (SC) + Diode + LED	อุปกรณ์กึ่งตัวนำ ไดโอด และไดโอดเปล่งแสง	UNIT	6,015,416,707	12,777,680,627	12.8	2.4	97.7	2.12
7	Capacitor	คาร์ปาซิเตอร์ (ชนิดแทนทาลัม)	KGM	370,919	5,750,352,813	5.8	1.1	98.8	15,502.99
8	Transformer (TF) (<1kVA)	หม้อแปลงไฟฟ้า (<1KVA)	UNIT	76,275,010	3,838,434,104	3.8	0.7	99.5	50.32
9	Resistor	รีซิสเตอร์	KGM	2,976,889	2,625,191,812	2.6	0.5	100	881.86
รวม				**89,298,236,168**	**527,065,815,350**	**527.1**	**100**		5.90

ตารางที่ 1.5 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ปี พ.ศ. 2549 - 2550

รายการสินค้า	ปี 2549 (ล้าน USD)	ปี 2550 (ล้าน USD)	(%)เปลี่ยนแปลง 2550/2549	(%)สัดส่วน ปี 2550
1. เครื่องคอมพิวเตอร์อุปกรณ์และส่วนประกอบ	14,869.4	17,305.1	16.38	57.01
2. แผงวงจรไฟฟ้า	7,023.0	8,053.4	14.56	26.53
3. วงจรพิมพ์	1,023.4	1,165.5	13.89	3.84
4. ทรานซิสเตอร์ไดโอดและอุปกรณ์กึ่งตัวนำ	992.8	972.4	-2.05	3.20
5. เครื่องโทรสารโทรศัพท์อุปกรณ์และส่วนประกอบ	1,059.0	845.4	-20.18	2.79
6. อื่น ๆ	1,934.8	2,013.3	4.06	6.63
รวม	26,902.4	30,355.1	12.83	100.00

ตารางที่ 1.6 ปริมาณและมูลค่าการส่งออกของผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ปี พ.ศ. 2550 - 2551

รายการสินค้า	มูลค่า (ล้านUSD) ม.ค.-เม.ย. 2550	มูลค่า (ล้านUSD) ม.ค.-เม.ย. 2551	(%) เปลี่ยนแปลง	(%) สัดส่วน
1. เครื่องคอมพิวเตอร์อุปกรณ์และส่วนประกอบ	5,061.3	6,040.7	19.35	61.66
2. แผงวงจรไฟฟ้า	2,616.4	2,136.1	-18.36	21.80
3. วงจรพิมพ์	304.4	321.9	5.75	3.29
4. เครื่องโทรสารโทรศัพท์อุปกรณ์และส่วนประกอบ	260.1	320.4	23.18	3.27
5. ทรานซิสเตอร์ไดโอดและอุปกรณ์กึ่งตัวนำ	356.2	298.2	-16.28	3.04
6. อื่น ๆ	605.3	679.8	12.31	6.94
รวม	9,203.7	9,797.1	6.45	100.00

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ที่มาของข้อมูลในตารางที่ 1.2 -1.6 : ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของไทยเป็นอุตสาหกรรมการผลิตที่เน้นเพื่อการส่งออกเป็นหลัก โดยมีตลาดส่งออกอุปกรณ์ส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ที่สำคัญ 5 ลำดับแรก ได้แก่ จีน สหรัฐอเมริกา ฮ่องกง ญี่ปุ่น และสิงคโปร์

ตารางที่ 1.7 ตลาดส่งออกอุปกรณ์ส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ของไทย ปี 2549 - 2550

ตลาดส่งออก	ปี 2549 (ล้าน USD)	ปี 2550 (ล้าน USD)	(%)เปลี่ยนแปลง 2550/2549	(%) สัดส่วน ปี 2550
1. จีน	3,671.7	5,474.5	49.10	18.04
2. สหรัฐอเมริกา	4,318.3	4,880.9	13.03	16.08
3. ฮ่องกง	3,048.8	3,469.4	13.80	11.43
4. ญี่ปุ่น	3,205.3	3,324.2	3.71	10.95
5. สิงคโปร์	2,714.2	2,286.8	-15.75	7.53
6. อื่น ๆ	9,944.1	10,919.3	9.81	35.97
รวม	26,902.4	30,355.1	12.83	100.00

ตารางที่ 1.8 ตลาดส่งออกอุปกรณ์ส่วนประกอบอิเล็กทรอนิกส์ของไทย ปี 2550 - 2551

ตลาดส่งออก	มูลค่า (ล้านUSD) ม.ค.-เม.ย. 2550	มูลค่า (ล้านUSD) ม.ค.-เม.ย. 2551	(%) เปลี่ยนแปลง 2551/2550 (ม.ค.-เม.ย.)	(%) สัดส่วน ม.ค.-เม.ย.
1. จีน	1,383.3	2,019.7	46.01	20.62
2. สหรัฐอเมริกา	1,501.2	1,599.2	6.53	16.32
3. ฮ่องกง	983.6	1,154.2	17.34	11.78
4. ญี่ปุ่น	1,073.3	1,008.1	-6.07	10.29
5.สิงคโปร์	778.5	711.2	-8.64	7.26
6. อื่น ๆ.	3,483.8	3,304.7	-5.14	33.73
รวม	9,203.7	9,797.1	6.45	100.00

ที่มาของข้อมูลในตารางที่ 1.7 -1.8 : ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซึ่งจากผลการสำรวจการใช้พลังงานของกลุ่มโรงงานอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศ พบว่าโดยเฉลี่ย อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีการใช้พลังงานในส่วนของระบบสนับสนุนโรงงาน (Facility) ประมาณกว่าร้อยละ 50 ของการใช้พลังงานทั้งหมด จำแนกเป็นระบบปรับอากาศ (HVAC) เฉลี่ยร้อยละ 34 ระบบลมอัดอากาศ (CDA) เฉลี่ยร้อยละ 13 และระบบแสงสว่างเฉลี่ยร้อยละ 5 ตามลำดับ สำหรับส่วนที่เหลือได้แก่ ระบบกรรมวิธีการผลิตและระบบการทดสอบผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ นอกจากนี้ยังพบว่ากว่าร้อยละ 80 ของโรงงานในประเทศ ยังขาดอุปกรณ์มาตรวัดพลังงาน เพื่อชี้บ่งการใช้พลังงานจำแนกตามระบบการดำเนินงานต่างๆภายในโรงงานเป็นประจำทุกเดือน ทั้งนี้เป็นเพราะผู้บริหารของสถานประกอบการยังขาดความเข้าใจถึงความสำคัญของการมีมาตรวัดค่าพลังงานของระบบต่างๆ ภายในโรงงานว่าเป็นเครื่องมือที่สำคัญอย่างหนึ่งของการจัดการด้านการอนุรักษ์พลังงานและอาจมองว่าต้นทุนด้านพลังงานในปัจจุบันยังไม่เป็นต้นทุนหลักของการผลิตสินค้าอิเล็กทรอนิกส์

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานรวมต่อมูลค่าการส่งออกผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยรวมทั้งประเทศ ในปี พ.ศ. 2546 ,2547 และ ปี พ.ศ.2548 พบว่ามีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 5.0 ,5.6 และ 7.4 kWh/พันบาท ตามลำดับ หรือมีค่าพลังงานร้อยละ 1.4, 1.6 และ 2.1 ของมูลค่าการส่งออกของกลุ่มผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ ตามลำดับ แม้ว่าอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยรวมจะมีมูลค่าการใช้พลังงานไม่เกินกว่าร้อยละ 3 ของมูลค่าการส่งออกก็ตาม แต่จากการสำรวจการใช้พลังงานพบว่าอัตรามูลค่าการใช้พลังงานต่อมูลค่าการส่งออกของกลุ่มอุตสาหกรรมนี้มีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทุกปี โดยเฉพาะปี พ.ศ. 2548 ค่าอัตราการใช้พลังงานต่อมูลค่าการส่งออกเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 จากปี พ.ศ. 2546 จากสถานการณ์ดังกล่าว จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะให้มีการส่งเสริมการเพิ่มประสิทธิภาพและการอนุรักษ์ด้านพลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะต้องเริ่มต้นในการคิดคำนวณหาถึงต้นทุนพลังงานที่ใช้การผลิต เพื่อเป็นการหาประสิทธิภาพของการผลิตอุปกรณ์ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

ในปัจจุบัน วิธีการหนึ่งที่นำมาใช้คิดคำนวณหาต้นทุนการใช้พลังงาน คือการวิเคราะห์การใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption : SEC) หรือดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ แต่ในความเป็นจริงแล้วยังพบว่าในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ ทำให้อาจจะเกิดความผิดพลาดในการนำผลที่

ได้มาใช้คิดคำนวณหาต้นทุนการใช้พลังงาน จึงต้องทำการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมาใหม่ เพื่อให้เกิดความแม่นยำมากยิ่งขึ้นในการคิดต้นทุนการใช้พลังงานที่แท้จริง และยังสามารถนำมาใช้ในการกำหนดมาตรฐานการใช้พลังงานได้ (Benchmarking) โดยเกณฑ์ที่จะทำการศึกษาเพื่อนำมาใช้เป็นตัววัดเกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานที่มีคุณภาพที่ดีกว่า คือ การใช้เทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit : EU) เข้ามาช่วย เป็นการแก้ไขให้การคิดคำนวณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้แล้วยังสามารถนำมาใช้เป็นส่วนหนึ่งของดัชนีชี้วัดการอนุรักษ์พลังงานของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ได้อีกด้วย

1.1.1 **ตัวอย่างวิธีคำนวณค่า** SEC

ในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์จะมีการคำนวณหาเกณฑ์ดัชนีการใช้พลังงานมาคิดหาค่าพลังงาน โดยจะดูที่ ดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption: SEC) ซึ่งการคิดหาค่าการใช้พลังงาน สรุปเกณฑ์การใช้พลังงาน ได้ดังนี้

ตารางที่ 1.9 ตัวอย่างสรุปเกณฑ์ค่าการใช้พลังงานของโรงงานหนึ่ง

รายการ (ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ SEC)	ค่า	หน่วย
ระบบปรับอากาศ (HVAC)	33.29	kWh / m^2 / month
ระบบอัดอากาศ (CDA)	0.39	kWh / Units
ระบบแสงสว่าง (LT)	14.50	kWh / m^2 / month
ระบบสุญญากาศ (VPA)	0.03	kWh / Units
ระบบอื่นๆ	1.28	kWh / m^2 / month
กระบวนการผลิต (MP)	0.80	kWh / Units
การทดสอบผลิตภัณฑ์ (TEST)	0.43	kWh / Units
พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	28,309,560	kWh / year
ผลผลิต	8,628,382	Units / year
ค่าดัชนีการใช้พลังงานรวมต่อหน่วยผลผลิต	3.28	kWh / Units
ค่าไฟฟ้าทั้งหมด	25,401,777.78	Baht / year

การคิดคำนวณค่า SEC ของในแต่ละส่วนที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการทำงาน

ระบบปรับอากาศ (HVAC) = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (เฉลี่ย/เดือน) / พื้นที่ทั้งหมด (ตารางเมตร)

= 721,333 / 21,665

= 33.29 kWh/m^2/month

ระบบอัดอากาศ (CDA) = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (เฉลี่ย/เดือน) / หน่วยของผลิตภัณฑ์เฉลี่ย (ชิ้น)

= 291,008 / 742,477

= 0.39 kWh/Unit

ระบบแสงสว่าง (LT) = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (เฉลี่ย/เดือน) / พื้นที่ทั้งหมด (ตารางเมตร)

= 343,155 / 23,665

= 14.50 kWh/m^2/month

ระบบสุญญากาศ (VPA) = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (เฉลี่ย/เดือน) / หน่วยของผลิตภัณฑ์เฉลี่ย (ชิ้น)

= 24,681 / 742,477

= 0.03 kWh/Unit

ระบบอื่นๆ = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (เฉลี่ย/เดือน) / หน่วยของผลิตภัณฑ์เฉลี่ย (ชิ้น)

= 951,726 / 742,477

= 1.28 kWh/Unit

กระบวนการผลิต = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (เฉลี่ย/เดือน) / หน่วยของผลิตภัณฑ์เฉลี่ย (ชิ้น)

= 621,673 / 742,477

= 0.84 KWh/Unit

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดสอบผลิตภัณฑ์ (TEST) = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ทั้งหมด (เฉลี่ย/เดือน)
หน่วยของผลิตภัณฑ์เฉลี่ย (ชิ้น)

= 330,053 /742,477

= 0.44 kWh/Unit

ค่าดัชนีการใช้พลังงานรวมต่อหน่วยผลผลิต = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (/ปี)
ผลผลิตที่ได้ (ชิ้น)

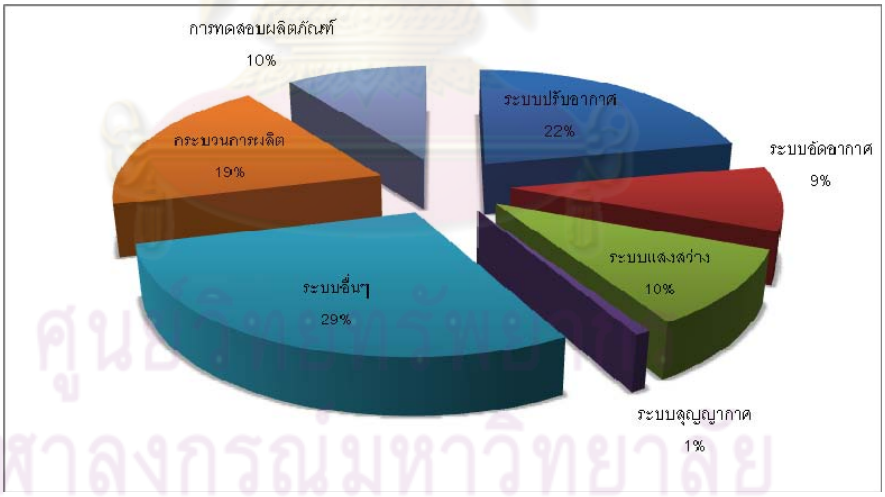
= 28,309,560 / 8,628,382

= 3.28 kWh/Unit

ค่าต้นทุนพลังงานต่อผลผลิต (Unit Cost) = ค่าไฟฟ้าทั้งหมด (/ปี)
ผลผลิตที่ได้ (ชิ้น)

= 25,401,777.78 / 8,628,382

= 2.94 Baht/Unit



รูปที่ 1.1 สัดส่วนการใช้พลังงานแยกตามระบบต่างๆ ของโรงงานหนึ่ง

ซึ่งพบปัญหาที่เกิดขึ้นจากการคิดคำนวณหาค่า ดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption: SEC) ของโรงงาน คือ

สูตรในการคิดคำนวณแบบ SEC จะมีค่าเท่ากับ SEC = E/Q โดยที่แต่ละโรงงานยังใช้ค่า Q กันอย่างหลากหลาย แล้วแต่ความสะดวกของแต่ละโรงงานที่จะใช้ เช่น ต่อพื้นที่การผลิต

หรือ ต่อจำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้(ชิ้น หรือ กิโลกรัม) เป็นต้น จึงทำให้ในการหาค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์(SEC) ยังไม่ถูกต้อง ส่งผลให้การหาค่าต้นทุนพลังงานต่อผลผลิต (Unit Cost) ของแต่ละหน่วยผลิตภัณฑ์ ก็ไม่ถูกต้องด้วย เนื่องจากในโรงงานมีผลิตภัณฑ์อยู่หลายรุ่น หลายขนาด หลายชนิด ทำให้ใช้เวลาในการผลิตจริงไม่เท่ากัน

แต่ในโรงงานส่วนใหญ่จะหาค่าต้นทุนพลังงานต่อผลผลิต (Unit Cost) โดยนำเอาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้(/ปี) หารกับผลผลิตที่ได้ (ชิ้น) ซึ่งยังเป็นวิธีการที่ยังไม่ถูกต้อง เพราะไม่สามารถที่จะนำค่าที่ได้มาถั่วเฉลี่ยกับผลิตภัณฑ์ทั้งหมดได้ ถ้าในโรงงานมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายรุ่น, ขนาด, ชนิด จึงต้องจัดหาวิธีการที่ให้ได้ค่า Q ที่ถูกต้อง ในการวิจัยครั้งนี้จึงทำการศึกษาหาวิธีการคิดคำนวณแบบใหม่ โดยนำเอาเทคนิค “หน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit : EU)” มาคิดคำนวณหาค่า Q ตัวใหม่ และจึงทำการพัฒนาแบบจำลองการใช้เกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ โดยพิจารณาประกอบกับการใช้พลังงานในระบบการผลิตหลักภายในโรงงาน เช่น ระบบปรับอากาศ ระบบอัดอากาศ ระบบแสงสว่าง ระบบสุญญากาศ และระบบอื่นๆ ซึ่งเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เกิดการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แตกต่างกันออกไป เพื่อใช้เป็นแนวทางในการกำหนดมาตรฐานการใช้พลังงาน (Benchmarking) และใช้เป็นการคำนวณหาดัชนีชี้วัดศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แต่ละแห่งได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการพัฒนาแบบจำลองการใช้เกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเป็นเครื่องมือหนึ่งในการประเมินการใช้พลังงานในโรงงาน และใช้เป็นการคำนวณดัชนีชี้วัดศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แต่ละแห่งได้ ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการวิจัยดังนี้

1) เพื่อทำการประเมินค่าดัชนีการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ให้มีความถูกต้องและเหมาะสมกับสภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตที่มีหลากหลายผลิตภัณฑ์แตกต่างกัน
2) เพื่อหาต้นทุนพลังงานต่อหน่วย (Unit cost) ของผลิตภัณฑ์ได้
3) เพื่อนำมากำหนดเป็นมาตรฐานการใช้พลังงาน (Benchmark) ของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำหรับโรงงานที่ทำการเก็บข้อมูลวิจัยหรือที่เกี่ยวข้อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4) เพื่อให้ได้แบบจำลองการใช้พลังงาน (Model) ที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

โดยมีขอบเขตของการวิจัย ดังนี้

1) ในการวิจัยนี้จะทำการคิดหาเฉพาะการใช้พลังงานในขั้นตอนการผลิตผลิตภัณฑ์เท่านั้น
2) ประเภทของพลังงานที่จะนำมาพิจารณา คือ พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในโรงงานทั้งหมด
3) ทำการตรวจวัดและเก็บข้อมูลปริมาณการผลิตและการบริโภคพลังงาน เพื่อที่จะนำมาใช้การหาแนวทางในการบริโภคพลังงานไฟฟ้า เฉพาะจัดเก็บจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้เข้าไปเก็บสำรวจข้อมูล

1.4 ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

1) ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นที่เกี่ยวกับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์
2) ทำการวิเคราะห์การคิดคำนวณค่า ดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption : SEC) ในปัจจุบัน
3) หากิจกรรมกระบวนการผลิตของโรงงานที่เข้าไปเก็บข้อมูล เพื่อนำมาคิดคำนวณหาค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit : EU)
4) วิเคราะห์หน่วยเทียบสำเร็จรูปกับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่โรงงานได้ผลิตออกมา
5) คำนวณหาเวลามาตรฐานในการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์
6) คำนวณต้นทุนการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต ตามค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit : EU)
7) ทำการเปรียบเทียบระหว่างค่า ดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต(Specific Energy Consumption : SEC) ในปัจจุบันกับวิธีคิดแบบค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit : EU)
8) สรุปผลและจัดทำข้อเสนอแนะโดยอ้างอิงจากข้อมูลด้านเทคนิค
9) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

โดยมีประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ ดังนี้

1) ได้ทราบถึงดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์จำแนกตามกระบวนการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกันในโรงงานเดียวกัน
2) เกิดการกระตุ้นและให้ความเข้าใจกับสถานประกอบการ โรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์
3) ได้ทราบสถานภาพและประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของตนเอง ได้แก่ การวิเคราะห์การใช้พลังงานและดัชนีการใช้พลังงาน เป็นต้น
4) ผลจากการศึกษาวิจัยสามารถนำมากำหนดมาตรฐานการใช้พลังงาน (Benchmarking) และใช้เป็นการคำนวณหาดัชนีชี้วัดศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์แต่ละแห่งได้
5) เป็นแนวทางที่จะนำไปสู่มาตรการการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานและการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในอนาคต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยในส่วนแรกจะเป็นทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับการจัดการพลังงาน เช่น ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงาน ประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน แบบจำลองการใช้พลังงาน และการอนุรักษ์พลังงาน เป็นต้น ในส่วนที่สองจะกล่าวถึงผลงานวิจัยที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการวิจัย เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยในครั้งนี้

2.1 ประสิทธิภาพด้านพลังงาน (Energy Efficiency)

วิกฤตการณ์ด้านพลังงานอันเนื่องจากราคาน้ำมันที่เพิ่มสูงขึ้น มีผลให้เกิดภาวะคุกคาม ด้านความมั่นคงทางเศรษฐกิจ โดยอาจทำให้เกิดการชะลอตัวของการเติบโตทางเศรษฐกิจ อัตรา เงินเฟ้อที่เพิ่มสูงขึ้น การว่างงานมีอัตราเพิ่มขึ้น ฯลฯ ในฐานะผู้บริโภคพลังงาน 36% ของประเทศ อุตสาหกรรมมีความจำเป็นต้องหามาตรการในการลดการบริโภคพลังงานที่มาจากเชื้อเพลิงฟอสซิล เพื่อลดต้นทุนการผลิต และการแสวงหาแหล่งพลังงานอื่น เพื่อความมั่นคงของแหล่งพลังงานที่จำเป็นต่อการผลิต

ในฐานะส่วนหนึ่งของต้นทุนการผลิต การเพิ่มขึ้นของราคาพลังงานจะเป็นเหตุให้ต้นทุน การผลิตเพิ่มขึ้นด้วย การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจะช่วยให้มีการลดการบริโภคพลังงาน โดยไม่กระทบต่อผลผลิต แต่การที่จะหาวิธีการในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพต้องทราบถึง ลักษณะการบริโภคพลังงาน กล่าวคือ การบริโภคพลังงานจะเพิ่มขึ้นหรือลดตามปัจจัยใดในการ ผลิต ทั้งนี้เพื่อจะได้แสวงหาวิธีการในการควบคุมปัจจัยเหล่านั้นให้สามารถบริโภคพลังงานได้อย่าง มีประสิทธิภาพ

เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการบริโภคพลังงาน จำเป็นต้องมีการกำหนดตัวชี้วัด (Indicators) เพื่อใช้เป็นฐานสำหรับการเปรียบเทียบ ซึ่งเรียกว่า ตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงาน (Energy Efficiency) นั้น ถูกหยิบยกขึ้นมาเป็นประเด็นหลักในการค้นคว้าวิจัยกันอย่างกว้างขวาง

ในปัจจุบัน ทั้งนี้ส่วนหนึ่งเป็นผลเนื่องมาจากความตื่นตัวของภาครัฐ และเอกชนซึ่งได้รับผลกระทบโดยตรงจากวิกฤตการณ์ทางด้านพลังงานที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน ทั้งนี้ผลลัพธ์ของการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับประเด็นดังกล่าวจะถูกนำไปเชื่อมโยงกับนโยบายทางด้านพลังงานของหน่วยงานที่เกี่ยวข้องเพื่อให้เกิดการพัฒนาในทางที่ดีขึ้นต่อไปในอนาคต

ประโยชน์ของการศึกษาในประเด็นดังกล่าวมิได้หยุดอยู่ที่ผลประโยชน์เชิงพาณิชย์เพียง อย่างเดียวเท่านั้น หากแต่ยังรวมไปถึงการเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของภาคอุตสาหกรรมได้อีกด้วย

ทั้งนี้คำว่า "ประสิทธิภาพพลังงาน" นี้ เป็นพจน์ที่มีความทั่วไปซึ่งหมายถึงความสามารถ เชิงพลังงานในการผลิตสินค้า หรือผลิตภัณฑ์หนึ่งๆ ออกมา ทั้งนี้หากเราสามารถลดพลังงานที่ใช้ ในการผลิตสินค้าปริมาณเท่าเดิมลงได้ นั่นย่อมหมายความว่า เราสามารถเพิ่มค่าประสิทธิภาพ พลังงานได้นั่นเอง โดยทั่วไปแล้วเราไม่สามารถประเมินค่าประสิทธิภาพพลังงานออกมา

2.1.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงาน

ในการอธิบายประสิทธิภาพพลังงาน มักจะประสบปัญหาว่า การใช้พลังงานในหน่วยงาน โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมมีความหลากหลายของชนิดพลังงานที่ใช้ มีคุณภาพพลังงาน (Energy Quality) ที่แตกต่างกัน ผลผลิตมีความหลากหลายและไม่คงที่ จึงจำเป็นต้องหาวิธีในการคำนวณ วิเคราะห์เพื่ออธิบายถึงความหลากหลายของการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจากความแตกต่างของการ ผลิต และเทคโนโลยีในการผลิต วิธีที่นิยมใช้คือ การแยกองค์ประกอบการใช้พลังงาน (Decomposity of Energy Consumption) ในการอธิบายการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม มักจะอธิบายในลักษณะ ของการบริโภคพลังงาน (Energy Consumption) ความเข้มพลังงาน (Energy Intensity) และ ความยืดหยุ่น / สัมประสิทธิ์พลังงาน (Energy Elasticity / Coefficient)

การบริโภคพลังงาน เป็นการอธิบายว่า โรงงาน / อุตสาหกรรม / กลุ่มอุตสาหกรรม ใช้ พลังงานไปเท่าไหร่ สำหรับทั้งการผลิตและการดำเนินการด้านอื่น ๆ หน่วยก็จะเป็นหน่วยของพลังงาน หรือ พลังงานเทียบเท่า

ความเข้มของพลังงาน ซึ่งเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานจะทำหน้าที่อธิบายว่าพลังงานที่ใส่ให้กับกระบวนการผลิตได้ผลผลิต / ปริมาณ / มูลค่าเท่าใด แสดงตัวอย่างตัวชี้วัด

ความเข้มพลังงานใน Sector ต่าง ๆ ของสหรัฐอเมริกา และตัวอย่างค่าความเข้มพลังงานของบาง Sector (S)

ความยืดหยุ่น / สัมประสิทธิ์พลังงาน เป็นการอธิบายถึงอัตราการเปลี่ยนแปลงการใช้ พลังงานต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของผลผลิต ตัวชี้วัดนี้ไม่มีหน่วย

2.1.2 การบริโภคพลังงาน

ในอุตสาหกรรม อาจจำแนกการบริโภคพลังงานเป็นสองส่วน คือ การบริโภคพลังงานเพื่อการ ผลิต และการบริโภคพลังงานเพื่อการบริหารจัดการ ในขณะที่การบริโภคพลังงานสำหรับการ บริหารจัดการจะเป็นเรื่องของการใช้พลังงานในส่วนของสำนักงาน ซึ่งไม่ค่อยจะสัมพันธ์โดยตรงกับ กิจกรรมการผลิต ในส่วนของการบริโภคพลังงานเพื่อการผลิตจะมีความผันแปรของปริมาณ พลังงานที่ใช้ตาม ระดับของการผลิต (Production Level) ซึ่งหมายถึง ปริมาณการผลิต ณ ช่วงเวลานั้น ๆ เมื่อผลิตมากก็ย่อมต้องการใช้พลังงานมาก นอกจากนั้นยังผันแปรตามโครงสร้าง การผลิต (Production Structure / Product Mix) ซึ่งหมายถึงส่วนผสมของสินค้าที่ผลิต ทั้งนี้ เพราะในแต่ละอุตสาหกรรมไม่ได้ผลิตสินค้าเพียงอย่างเดียว แต่ผลิตสินค้าหลายชนิด หลายรุ่น ซึ่ง แต่ละชนิด/ รุ่น ต้องการปริมาณพลังงานในการผลิตไม่เท่ากัน และสุดท้ายปริมาณพลังงานยังผัน แปรตามความเข้มพลังงาน ซึ่งเป็นผลมาจากประสิทธิภาพพลังงานของอุปกรณ์การผลิต และ ประสิทธิภาพการบริหารจัดการผลิต ดังนั้น ปัจจัยที่ทำให้เกิดความผันแปรของปริมาณการบริโภค พลังงานซึ่งประกอบด้วย

1) ระดับการผลิต
2) โครงสร้างการผลิต
3) ความเข้มพลังงาน

เพื่อให้ทราบว่าการผันแปรของการบริโภคพลังงานในอุตสาหกรรม ณ ช่วงเวลาหนึ่ง ๆ เป็นผลหรืออิทธิพลมาจากปัจจัยตัวใด จึงควรมีการวิเคราะห์การบริโภคพลังงาน ซึ่งเป็นวิธีในการแยกส่วนของพลังงานออกตามปัจจัยทั้งสาม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

เนื่องจากพลังงานเป็นปัจจัยอย่างหนึ่งในการผลิต ดังนั้นการใช้พลังงานและปริมาณของผลผลิตจึงมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด การใช้พลังงานโดยทั่วไปจะมีทิศทางในการขยายตัวสอดคล้องกับการขยายตัวของผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (GDP) ฉะนั้นเราสามารถประเมินความต้องการพลังงานจากความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจได้ โดยมีปัจจัยที่ใช้ประเมินระดับการใช้พลังงานทางเศรษฐกิจ 3 ปัจจัยด้วยกันคือ ระดับการผลิต โครงสร้างทางเศรษฐกิจและผลผลิตหรือกิจกรรมต่อหน่วยพลังงานที่ใช้ทั้งนี้ในการกำหนดนโยบายของทางภาครัฐในการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน นำเสนอมาตรการการอนุรักษ์พลังงานและติดตามผล รวมถึงการสำรวจสถานการณ์การใช้พลังงานที่ผ่านมาหรือการคาดการณ์แนวโน้มการใช้พลังงานในอนาคตล้วนต้องการดัชนีชี้วัดเพื่อบ่งบอกหรือประเมินค่าทั้งสิ้น

2.2.1 ดัชนีความเข้มของการใช้พลังงาน (Energy Intensity : EI)

ความเข้มพลังงาน เป็นเครื่องมือชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผลิตของประเทศในทางเศรษฐศาสตร์ เป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณพลังงานที่ใช้ต่อมูลค่าผลผลิตในภาคกิจการนั้นๆ หรืออัตราส่วนของพลังงานที่ใช้ต่อ GDP สามารถนำมาใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของภาคกิจการนั้นเองที่ช่วงเวลาต่างๆ กันได้หรือนำไปเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิงของต่างประเทศได้ อัตราส่วนระหว่างพลังงานต่อ GDP เป็นตัวบ่งบอกถึงค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการสนับสนุนกิจกรรมทางสังคมและเศรษฐกิจ ซึ่งเป็นตัวแทนของมวลรวมของการใช้พลังงานที่ใช้ในกิจกรรมการผลิตและการบริโภค โดยมีหน่วยเป็น ค่าพลังงานต่อหน่วยของ GDP ความเข้มพลังงานสามารถหาได้จากสูตร ดังนี้

$$\text{Energy Intensity (It)} = \frac{\text{ผลรวมของพลังงานที่ใช้ทั้งหมดในภาค (MJ)}}{\text{ผลรวมของผลผลิตทั้งหมดในภาคหรือ GDP (หน่วยนับเงิน)}}$$

$$= \frac{E_t}{P_t} = \frac{\sum E_{i,t}}{P_{i,t}} \frac{P_{i,t}}{P_t} = \sum I_{i,t} S_{i,t} \qquad (2.1)$$

โดยที่ E_t = total energy consumption in year t

$E_{i,t}$ = energy consumption in sector i

P_t = total production

$P_{i,t}$ = production of sector i

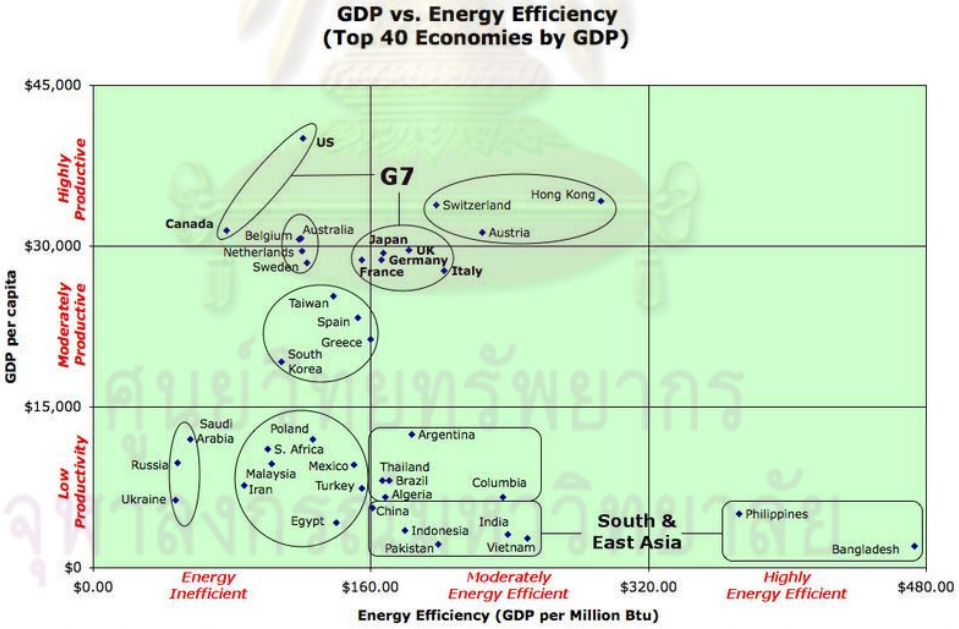
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I_t = energy intensity

$I_{i,t}$ = energy intensity in sector I = $E_{i,t} / P_{i,t}$

$s_{i,t}$ = production share of sector = $P_{i,t} / P_t$

โดยที่ผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (Gross Domestic Product: GDP) เป็นมูลค่าของสินค้าและบริการขั้นสุดท้ายทั้งหมดที่ผลิตภายในประเทศ ในระยะเวลาหนึ่งโดยไม่คำนึงว่าทรัพยากรที่ใช้ผลิตสินค้าและบริการจะเป็นของพลเมืองในประเทศหรือของชาวต่างประเทศ แต่ไม่รวมถึงทรัพยากรของพลเมืองในประเทศที่นำไปผลิตสินค้าและบริการในต่างประเทศ การแสดงค่า GDP อาจแสดงได้ 2 รูปแบบ คือ ตามราคาปัจจุบันและราคาคงที่ โดย GDP ณ ราคาปัจจุบันจะคิดมูลค่าของผลผลิตเป็นเงินตามราคาตลาดของสินค่าและบริการ ส่วน GDP ณ ราคาคงที่จะคิดมูลค่าผลผลิตและบริการเป็นเงินตามราคาปีที่กำหนดเป็นปีฐาน ส่วนการจัดทำ GDP สามารถกระทำได้ 3 แนวทางด้วยกัน คือ จัดทำจากมูลค่าของผลผลิตและบริการ, จากมูลค่าของรายได้จากผลผลิตและบริการ และจากค่าใช้จ่ายในการผลิตสินค้าและบริการขั้นสุดท้าย



รูปที่ 2.1 GDP per capita ต่อ 'Economic Energy Efficiency' ของประเทศที่มี GDP สูงสุด 40ประเทศ

ที่มา: สำนักนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน

โดยปัจจัยที่มีผลต่อความเข้มพลังงาน (Energy Intensity) ของแต่ละประเทศนั้นได้แก่ คุณภาพและมาตรฐานในการครองชีพทั่วไป สภาพภูมิอากาศ ความต้องการพลังงานสำหรับการปรับอากาศนอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่นๆ อีก เช่น ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอุปกรณ์และอาคาร ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของยานพาหนะและระยะทางการเดินทาง กรรมวิธีการจัดการและรูปแบบของระบบขนส่ง แหล่งพลังงานสำรอง off-grid และการขาดแคลนพลังงานอันเนื่องมาจากภัยธรรมชาติและสงคราม

ความเข้มของการใช้พลังงานในภาคธุรกิจและบริการ (Intensity of energy use: Commercial and service sectors) หมายถึงการใช้พลังงานต่อหน่วยของผลผลิตที่เกิดขึ้นของภาคบริการต่อหน่วยของพื้นที่ใช้สอยมักจะมีหน่วยวัดค่าเป็น เมกกะจูลต่อตารางเมตร หรือเมกกะจูลต่อหน่วยเงิน

ในกระบวนการการวัดค่าความเข้มของการใช้พลังงาน จะมี 2 ส่วนด้วยกันคือ

1) **ค่าการใช้พลังงานรวม** (Energy consumption)

การใช้พลังงานรวมนั้นจะวัดค่าที่หน่วยการใช้งาน (Point of use) เช่น เฉพาะอาคาร (Building) หรือ ทั้งกิจการ (Enterprise) ทั้งนี้ข้อมูลของอาคารนั้นจำได้จากการสำรวจของเจ้าของอาคาร ผู้จัดการอาคารหรือผู้ใช้อาคาร ในขณะที่ข้อมูลของทั้งกิจการจะได้จากค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการซื้อพลังงาน โดยการใช้พลังงานรวมนี้จะมีหน่วยเป็น จูล (Jules)

2) **ผลผลิตที่ได้จากการใช้พลังงาน** (Output)

การวัดค่าผลผลิตที่ได้จากการใช้พลังงานมีหลายแนวทาง สำหรับภาคธุรกิจและบริการนี้การวัดที่มูลค่าเพิ่ม (Value Added) นั้นถือเป็นแนวทางที่ใกล้เคียงที่สุดในการวัดค่าผลผลิตทางเศรษฐกิจ อย่างไรก็ตามในการประมาณค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงาน นิยมใช้พื้นที่ใช้สอยในอาคารเป็นหน่วยวัดเนื่องจากพลังงานที่ใช้ส่วนใหญ่ เช่น การทำความร้อน การทำความเย็นหรือไฟฟ้าแสงสว่างจะเกี่ยวข้องกับขนาดอาคารหรือพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร โดยจะมีหน่วยเป็นตารางเมตร บางครั้งจะใช้ค่าพื้นที่เฉพาะที่มีการปรับอากาศ (ทำความร้อนหรือความเย็น)

การวัดค่าผลผลิตในอีกแนวทางหนึ่งคือ การวัดค่าการใช้พลังงานรวมที่สัมพันธ์กับผลิตภัณฑ์มวลรวมภายในประเทศ (Gross Domestic Product: GDP) ของภาคการผลิต ซึ่งหน่วย

ในการวัดค่าจะเป็นหน่วยเงินของแต่ละประเทศ และแปลงค่าเงินเป็นค่าเงินที่ใช้แพร่หลาย เช่น ดอลลาร์สหรัฐอเมริกา จากแนวทางที่กล่าวมาข้างต้นอาจแบ่งลักษณะดัชนีได้เป็น 2 แบบดังนี้

- **ดัชนีชี้วัดความเข้มพลังงานทางกายภาพ** (Physical Energy Intensity Indicators)

คือ อัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ใช้หรือพลังงานที่ใส่ให้แก่ระบบกับผลผลิตที่ผลิตได้ โดยที่พลังงานที่ใช้มีหน่วยเป็นกำลังงาน เช่น จูล ส่วนผลผลิตที่ได้จะมีหน่วยเป็นหน่วยทางกายภาพ เช่น ตัน, ลิตร เป็นดัชนีที่ทำให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานที่ต้องการใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งหน่วย แต่ทั้งนี้การใช้งานดัชนีชี้วัดชนิดนี้อาจมีปัญหาได้ในกรณีที่มีหลายผลผลิตซึ่งมีหน่วยทางกายภาพต่างกัน เช่น ตัน, ลิตร, ลูกบาศก์เมตร เป็นต้น

- **ดัชนีชี้วัดความเข้มพลังงานทางเศรษฐศาสตร์** (Economic Energy Intensity Indicators)

เป็นการใช้หน่วยทางการเงินเช่นดอลลาร์ เพื่อแก้ปัญหาของ Physical Energy Intensity Indicators เป็นอัตราส่วนระหว่างพลังงานที่ใช้กับมูลค่าของผลผลิต เช่น GDP

2.2.2 **ดัชนีความยืดหยุ่นการใช้พลังงาน** (Energy Elasticity : EE)

ความยืดหยุ่นพลังงาน (Energy Elasticity: EE) เป็นดัชนีชี้วัดที่แสดงถึงผลของการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจที่มีต่อการใช้พลังงาน เป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าการใช้พลังงานของภาคอุตสาหกรรมนั้นเปลี่ยนแปลงไปในอัตราเท่าใดเมื่อมูลค่าผลผลิตของภาคอุตสาหกรรมเปลี่ยนแปลงจากการผลิตเพิ่มขึ้นหรือลดลง หากค่า Energy Elasticity มีค่าต่ำกว่า 1 แสดงว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานของภาคอุตสาหกรรมนั้นดีขึ้นหรือมีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของอุตสาหกรรมจากอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานสูงมาสู่อุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานต่ำลง เช่น มีการเปลี่ยนมาใช้เทคโนโลยีที่ประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้น เป็นต้น เหมาะสำหรับใช้ทำนายแนวโน้มการใช้พลังงานในภาคการผลิตต่างๆ หรือโดยภาพรวมของการผลิตของประเทศ

$$\text{Energy Elasticity} = \frac{\Delta \text{ การใช้พลังงาน (\%)}}{\Delta \text{ GDP (\%)}} \qquad (2.2)$$

สำหรับการวิเคราะห์ค่า Energy Elasticity และ Energy Intensity ความละเอียดในการประเมินขึ้นอยู่กับความละเอียดของข้อมูล GDP และข้อมูลการใช้พลังงานที่มีการเก็บรวบรวมไว้ด้วย ระดับของความละเอียดที่มีการเก็บรวบรวมและทำการวิเคราะห์ไว้ในแต่ละประเทศจะแตกต่างกันไป เช่น แสดงค่าในระดับประเทศ ระดับภาค (Industries) ระดับกลุ่ม (Sub-sectors) และระดับกลุ่มย่อย (Sectors)

2.2.3 **ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต** (Specific Energy Consumption : SEC)

การดำเนินงานเพื่อนำไปสู่การพัฒนาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานนั้น จำเป็นต้องมีการประเมินการใช้พลังงานของโรงงานเสียก่อน โดยใช้ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption : SEC) ซึ่งเป็นค่าดัชนีสำหรับชี้วัดปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต ในระดับกระบวนการผลิต การติตามและควบคุมค่า SEC ของโรงงานเป็นวิธีการจัดการอนุรักษ์พลังงานที่ได้ผลดีที่สุดวิธีหนึ่ง

- การคำนวณค่า SEC

SEC สามารถหาได้ง่ายๆ โดยนำเอาพลังงานที่โรงงานใช้ ในช่วงเวลาที่สนใจ ซึ่งมักจะเป็นเดือน หารด้วยผลผลิตในเดือนนั้น สามารถคำนวณค่า SEC ของพลังงานไฟฟ้า (SECE) หรือ SEC ของพลังงานความร้อน (SECH) หรือ SEC ของการใช้พลังงาน (SECT) จะขึ้นอยู่กับประเภทของพลังงานที่เอามาคิด หรือว่าเราสนใจจะดูอะไร โดยทั่วไปเราจะสนใจมักจะเป็นค่า SEC ของการใช้พลังงานรวม เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$SEC = \frac{E}{Q} \qquad (2.3)$$

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

ได้แยกค่าดัชนีการใช้พลังงานเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1) ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานไฟฟ้า (SEC) มีหน่วยเป็น kWh ต่อหน่วยผลผลิต และหน่วยร่วม เป็น MJ ต่อหน่วยผลผลิต
2) ค่าดัชนีการใช้พลังงานความร้อน (SEC) มีหน่วยเป็น MJ ต่อหน่วยผลผลิต
3) ค่าดัชนีการใช้พลังงานปฐมภูมิ (Primary SEC) มีหน่วยเป็น MJ ต่อหน่วยผลผลิตหา จากการนำค่า SEC ความร้อนรวมกับค่า SEC พลังงานไฟฟ้าที่แปลงเป็นค่าพลังงาน ความร้อน แล้ว โดยการนำค่าพลังงานไฟฟ้าหารด้วยปริมาณผลผลิต (หน่วย kWh / Ton) จากนั้นนำไปคูณ กับ 0.0036 GJ/Ton แล้วหารด้วย 0.45*

* หมายเหตุ ค่าประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนของประเทศ ไทย เท่ากับ 45%

ตัวอย่างการหาค่า SEC

<u>ตัวอย่างการประเมินค่าดัชนีชี้วัดพลังงาน (SEC) ของโรงงานตัวอย่าง</u>

โรงงานผลิตขวดแก้ว ก ต้องการวิเคราะห์ค่า SEC ในกระบวนการหลอม จึงมีการเก็บ ข้อมูลและวิเคราะห์การใช้พลังงานต่อหน่วยเวลา ดังนี้

ปริมาณผลผลิต (ตัน/วัน)	**พลังงานที่ใช้**					
	พลังงานไฟฟ้า (kWh/วัน)	**SEC ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานไฟฟ้า (kWh/ตัน)**	**พลังงานความร้อน**		**SEC ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานความร้อน (GJ/ตัน)**	**SEC ปฐมภูมิ (GJ/ตัน)**
			น้ำมันเตา (ลิตร/วัน)	**คิดเป็น GJ/วัน**		
90	466	5.18	15,000	569.85	6.33	6.37

จากข้อมูลและการคำนวณ ค่า SEC ในกระบวนการหลอมของโรงงานตัวอย่าง ตามขั้นตอนดังนี้

1) มีค่า SEC พลังงานไฟฟ้า = 5.18 kWh / Ton หรือแปลงเป็นค่าพลังงานความร้อนได้ เท่ากับ 5.18 kWh / Ton * 0.0036 GJ/Ton
2) จากนั้นหารด้วย 0.45 จะได้เท่ากับ 0.041 GJ / Ton

3) เมื่อนำมาบวกกับค่า SEC พลังงานความร้อนของน้ำมันเตาซึ่งมีค่าเท่ากับ 6.33 GJ / Ton จะได้ค่า SECปฐมภูมิเท่ากับ 6.37 GJ / Ton

ในกรณีที่หาค่า SEC รวมให้แปลงพลังงานไฟฟ้าในหน่วย kWh ให้เป็น MJ โดยคูณด้วย 3.6 และนำมารวมกับ MJ ของพลังงานความร้อน ซึ่งได้จากปริมาณเชื้อเพลิงคูณค่าความร้อนของเชื้อเพลิงนั้นๆ

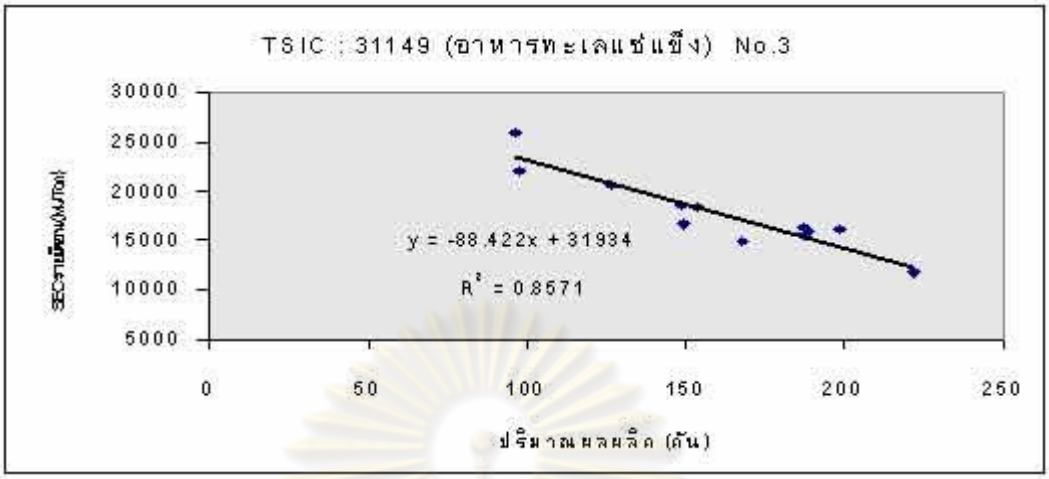
หน่วยพลังงานที่นิยมใช้ในการคำนวณค่า SEC มักจะเป็น MJ หรือ GJ ในขณะที่ปริมาณผลผลิตขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของผลผลิต ที่นิยมใช้มักเป็นหน่วยน้ำหนัก เช่น กิโลกรัม หรือ ตัน เป็นต้น

ในกรณีที่โรงงานมีผลิตภัณฑ์หลายผลิตภัณฑ์ และไม่มีเครื่องวัดการใช้พลังงานของแต่ละผลผลิต ให้ตรวจสอบว่าการใช้พลังงานต่อหน่วยของผลผลิตใดสูงกว่าผลผลิตอื่นมากหรือไม่ ถ้ามี เราสามารถคำนวณโดยใช้ผลผลิตนั้นมาเป็นตัวแทน คิดตัวเลขเพียงตัวเดียวก็ได้ แต่ถ้าไม่มีความแตกต่างกันที่ชัดเจน ประมาณว่าการใช้พลังงานของแต่ละผลผลิต ใกล้เคียงกันและหน่วยนับผลผลิตเหมือนกัน เช่น หน่วยเป็นตันเหมือนกัน อาจจะจับมารวมกันเป็นปริมาณเดียวแล้วคิดคำนวณค่าออกมาเลยก็ได้

ในกรณีที่ผลผลิตหลายอย่างและหน่วยนับแตกต่างกัน ใช้พลังงานต่างกัน การจับมารวมกันจะทำให้ค่า SEC ผิดความหมายไป จึงต้องให้คำนวณค่า SEC จากราคาผลผลิตรวมแทน โดยแทนที่จะใช้ปริมาณผลผลิต ก็ใช้ราคาต่อหน่วยของแต่ละผลผลิต มาคิดหาราคาสินค้ารวมที่ขายในเดือนนั้น แล้วจึงนำราคารวมนี้มาคิดค่า SEC ราคาต่อหน่วยที่นำมาใช้คำนวณควรใช้ค่าเฉลี่ยกลางๆ และใช้ตัวเลขนี้คงที่ในทุกเดือน เพื่อไม่ให้ค่า SEC ที่คำนวณได้เบี่ยงเบน เนื่องจากราคาสินค้าในท้องตลาดแต่ละเดือน

- ค่า SEC ขึ้นอยู่กับอะไรบ้าง

เมื่อเรานำค่า SEC ในแต่ละเดือนมาเขียนกราฟกับปริมาณผลผลิตของเดือนนั้นๆ จะได้กราฟลักษณะดังตัวอย่างในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.2 ค่า SEC และปริมาณผลผลิตในรอบ 12 เดือนของโรงงานแช่แข็งแห่งหนึ่ง

ค่า SEC นั้นจะลดลงเมื่อโรงงานผลิตมากขึ้น เนื่องจากพลังงานที่ใช้ในการผลิตมี 2 ส่วน คือ ส่วนที่แปรผันตามปริมาณการผลิตและส่วนที่คงที่ไม่ขึ้นกับผลผลิต เช่น ส่วนของสำนักงาน เป็นต้น เมื่อปริมาณผลผลิตเพิ่มขึ้น การใช้พลังงานหารต่อหน่วยในส่วนนี้จะลด จึงทำให้ค่า SEC รวมลดลง นั่นคือในโรงงานเดียวกัน ยิ่งผลิตมาก การใช้พลังงานจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น

ปัจจัยหลักที่มีผลต่อค่า SEC ในแต่ละเดือนก็คือปริมาณผลผลิต แต่จะเห็นว่าแม้ในบางเดือนผลผลิตใกล้เคียงกัน การใช้พลังงาน หรือ SEC ก็มีความแตกต่างกันบ้าง ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของปัจจัยอื่นๆ เช่น ความยากง่ายของชิ้นงานในแต่ละเดือนมีความแตกต่างกัน วัตถุดิบที่นำเข้ามาคุณภาพต่างกัน เชื้อเพลิงที่ใช้ความชื้นต่างกัน หรือ มีของเสียในเดือนนั้นมาก หรือ down time มาก หรือจำนวนวันหยุดมาก ฯลฯ ถ้าเราสามารถควบคุมปัจจัยเหล่านี้ได้ ค่า SEC ก็จะค่อนข้างสม่ำเสมอและอยู่ในค่าที่ต้องการ

- เราใช้ประโยชน์อะไรจากค่า SEC

ถ้าเรามีการเก็บข้อมูลค่า SEC ในแต่ละเดือนและเขียนกราฟไว้ในรูปที่ 2.1 ข้อมูลของเดือนใหม่ที่เข้ามาจะทำให้รู้ว่าเราใช้พลังงานมีประสิทธิภาพดีขึ้น หรือ แย่ลง และถ้าแย่ลง คือต่ำกว่าเส้นเฉลี่ยที่เคยทำได้ ก็จะต้องอธิบายหรือหาสาเหตุมาให้ได้ว่าความสิ้นเปลืองที่เกิดขึ้น เกิดจากตรงไหน

บริษัทขนาดใหญ่หลายแห่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บริษัทญี่ปุ่น จะกำหนดให้แต่ละหน่วยผลิตย่อย , แผนกมีเครื่องวัดการใช้พลังงานของตัวเองได้ และคำนวณค่า SEC ของตัวเองเทียบกับชิ้นงาน หรือ Output ที่หน่วยงานนั้นทำได้ในแต่ละเดือน คือมีการเก็บข้อมูล SEC กันทุกระดับ ตั้งแต่ระดับแผนก จนถึง SEC รวมของบริษัท ทุกแผนก หน่วยงานจะต้องรายงานค่า SEC ของตัวเองอย่างสม่ำเสมอ ในเดือนที่ SEC ของบริษัทเพิ่มมากขึ้นกว่าปรกติก็จะดูรู้ว่าเกิดจากจุดไหน

สิ่งที่ต้องทำไปพร้อมๆ กับการติดตามเฝ้าระวังค่า SEC ก็คือการตั้งเป้าหมาย หรือ targeting จากข้อมูลในอดีตจะมีทั้งเดือนที่การใช้พลังงานดี และบางเดือนที่ไม่ดี หลายบริษัทใช้วิธีแบ่งเป็นเดือนที่ใช้พลังงานสูงกว่าค่าเฉลี่ย และพวกที่ใช้ต่ำกว่าค่าเฉลี่ย ถ้าเราสนใจพวกที่ดีกว่าค่าเฉลี่ย แล้วหาค่าเฉลี่ยของกลุ่มดีนี้ตั้งเป็นเป้าหมายของแต่ละหน่วยงานให้ปรับปรุงไปสู่ค่าเฉลี่ยของฝั่งที่ดีกว่า ก็จะทำให้การใช้พลังงานของทั้งบริษัทปรับปรุงขึ้นด้วย

การรวบรวม และวิเคราะห์ค่า SEC นี้มีประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน บางโรงงานสามารถบรรลุเป้าการลดการใช้พลังงานต่อหน่วยลงได้ 3 – 5 % โดยไม่ต้องลงทุน เปลี่ยนอุปกรณ์ได้เลย ทั้งนี้เพราะการใช้พลังงานนั้น เกิดจากองค์ประกอบ 2 ส่วน คือ ประสิทธิภาพเครื่องจักรอุปกรณ์เอง การใช้งาน และควบคุมโดยคน แม้ว่าจะปรับปรุงอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพดีเลิศ แต่การใช้งานไม่ดี ขาดการดูแล ก็จะทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำเช่นเดียวกัน

ค่าดัชนีการใช้พลังงานจะมีประโยชน์อย่างมากในการติดตาม และควบคุมการใช้พลังงาน ซึ่งโรงงานควรจะจัดทำและวิเคราะห์ค่าดังกล่าวทุกเดือน ค่าที่ได้นี้สามารถนำมาใช้ในการควบคุม และติดตามการใช้พลังงาน ซึ่งยังสามารถสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากอดีต จนถึงปัจจุบันว่ามีการพัฒนาดีขึ้นหรือลดลง และยังสามารถนำไปเทียบเคียงกับค่าดัชนีเทียบเคียง การใช้พลังงาน SEC Benchmarking เพื่อประเมินว่าโรงงานมีการใช้พลังงานอยู่ในระดับใดได้อีก ด้วย

2.2.4 **ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต โดยเทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูป** (Specific Energy Consumption by Equivalent Unit)

เนื่องจากการใช้ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต หรือ ค่า SEC นั้น เป็นการนำค่าการใช้พลังงานทั้งหมดหารด้วยจำนวนผลผลผลิตในเดือนนั้นๆ โดยตัวผลผลิตจะต้อง

เป็นผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวหรือใกล้เคียงกัน เพราะในการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งผลิตภัณฑ์ (หรือหนึ่งชิ้น) เราได้ใช้พลังงานในการผลิตจำนวนหนึ่ง ซึ่งเป็นค่าการใช้พลังงานที่จะนำไปใช้ในการหาค่า SEC แต่เนื่องจากในโรงงานบางแห่งอาจจะมีจำนวนผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายและมีหลายขนาดมาก ก็อาจจะทำให้เกิดการใช้พลังงานที่ไม่เท่ากัน ซึ่งถ้าเรานำมาคิดแบบ SEC ก็เป็นสิ่งที่เกิดข้อผิดพลาด เช่น โรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์นั้นจะมีผลิตภัณฑ์ที่ค่อนข้างหลากหลายชนิดและหลายขนาด ทำให้ในแต่ละกระบวนการผลิตก็จะใช้เวลาทำการผลิตไม่เท่ากัน ซึ่งบางขั้นตอนก็อาจจะมีความยากง่ายในการผลิตแตกต่างกันด้วย จึงต้องมีการเฉลี่ยค่าการใช้พลังงานให้เท่ากับการผลิตในตอนนั้นๆ กับการผลิตผลิตภัณฑ์อื่นให้มีความสอดคล้องกัน จึงมีการคิดค้นเทคนิคแบบใหม่ คือ เทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit : EU) หมายถึง การคำนวณงานระหว่างทำที่ผลิตยังไม่เสร็จให้อยู่ในรูปของจำนวนหน่วยของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตเสร็จ โดยเทียบให้เป็นงานที่เสร็จ ซึ่งงานที่ผลิตยังไม่เสร็จมักจะแสดงในรูปขั้นของความสำเร็จ (Degree of Completion)

ตัวอย่างที่ 1 มีงานระหว่างทำปลายงวด จำนวนหน่วยนับได้เท่ากับ 1,000 หน่วย โดยขั้นความสำเร็จอยู่ที่ 60% หน่วยเทียบเท่าหน่วยสำเร็จ เท่ากับ 1,000 * 60% = 600 EU

ตัวอย่างที่ 2 งานระหว่างทำปลายงวด มีจำนวนหน่วยนับได้ 500 หน่วย มีขั้นความสำเร็จอยู่ที่ 70% โดยวัตถุดิบได้นำเข้าตอนต้นกระบวนการทั้งหมด เท่ากับ

วัตถุดิบ (100% * 500 หน่วย) = 500 EU

ต้นทุนแปรสภาพ(70% * 500 หน่วย) = 350 EU

ดังนั้นในกรณีนี้หน่วยเทียบเท่า EU ของวัตถุดิบและต้นทุนแปรสภาพจะไม่เท่ากัน

การคำนวณหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit : EU) มี 2 แบบ คือ

1. วิธีถัวเฉลี่ยถ่วงน้ำหนัก (Weighted average) วิธีนี้ถือว่า สินค้าที่ผลิตเสร็จจะเป็นสินค้าที่ถัวเฉลี่ยกัน ทั้งสินค้าที่เพิ่งเริ่มทำและทำต่อจากงวดที่แล้ว ดังนั้น การคำนวณเทียบเท่าหน่วยสำเร็จทำโดย

$$Q + (WIP * P) \qquad (2.4)$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซึ่ง Q = จำนวนหน่วยของสินค้าสำเร็จรูปที่ผลิตเสร็จ

WIP = งานระหว่างทำปลายงวด

P = ขั้นความสำเร็จ

2. วิธีเข้าก่อนออกก่อน (FIFO : First in-First out) วิธีนี้ถือว่า สินค้าที่ผลิตเสร็จจะมาจากงานระหว่างทำต้นงวด โดยถือว่าลักษณะการผลิต คือ เมื่อเริ่มงวดใหม่ งานระหว่างทำต้นงวดจะต้องถูกนำมาทำต่อเป็นลำดับแรก หน่วยเทียบเท่าหน่วยสำเร็จจึงประกอบด้วยงานระหว่างทำต้นงวดที่ผลิตต่อจนเสร็จในงวดนี้ , งานที่เริ่มผลิตและเสร็จในงวด เพราะฉะนั้น หน่วยเทียบสำเร็จรูปจึงเท่ากับ

$$Q + W_B + W_A + (WIP * P) \quad (2.5)$$

ซึ่ง Q = งานระหว่างทำต้นงวดนำมาผลิตต่อ

W_B = งานที่เริ่มในงวดนี้ (เริ่ม)

W_A = งานที่เริ่มในงวดนี้ (เสร็จ)

WIP = งานระหว่างทำปลายงวด

P = ขั้นความสำเร็จ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยมีขั้นตอนแนวทางของการนำเทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูปมาใช้ ดังนี้

1) ให้โรงงานทำการแบ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์ออกเป็นตามชนิดหรือรุ่นที่ทำการผลิต
2) ในแต่ละผลิตภัณฑ์ ให้ทำการหาค่า EU โดยใช้เวลาในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่สั้นที่สุด ให้มีค่า เท่ากับ 1 EU เช่น ผลิตผลิตภัณฑ์ใช้เวลาสั้นที่สุด 1 นาที ให้มีค่าเท่ากับ 1 EU และถ้าขั้นตอนการผลิตขั้นต่อมามาใช้เวลา 5 นาที จะมีค่าเท่ากับ 5 EU ซึ่งเราสามารถพิจารณาจาก Cycle Time ของการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ คือ

เวลาที่ผลิตภัณฑ์ตัวแรกผลิตออกมาได้จะมีเวลาห่างจากที่ผลิตผลิตภัณฑ์ตัวที่สองได้เท่าไร ให้ใช้เวลาตัวนั้นเป็นเวลาที่ใช้การผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งตัว

3) เอาค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 คูณกับจำนวนที่ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมาได้
4) ทำการจัดแบ่ง Allocation การใช้พลังงานในแต่ละส่วน Utilities ทั้งหมดทุกขั้นตอนการผลิต
5) ค่า พลังงานที่ใช้ (E) = ขั้นตอนที่(4)
6) ทำการหาค่า SEC = E/Q ซึ่งจากค่า EU ของในแต่ละ Product จะเท่ากับขั้นตอนที่(4) / ขั้นตอนที่(3) ทำทุกผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้เวลาการผลิตไม่เท่ากัน

วิธีการคำนวณหาหน่วยผลผลิตเทียบเท่าของผลิตภัณฑ์ใดๆ สามารถหาได้จากสมการ

$$A_i = \frac{Max(C_{i+1}, C_{i+2}, C_{i+3} ..., C_n) * B_i}{C_i} \quad (2.6)$$

อัตราผลผลิตเทียบเท่าของผลิตภัณฑ์ใดๆ สามารถหาได้จากสมการ

$$EU_i = \frac{Max(C_{i+1}, C_{i+2}, C_{i+3} ..., C_n) * B_i}{C_i} \quad (2.7)$$

A_i = จำนวนผลผลิตเทียบเท่าของผลิตภัณฑ์ชนิดที่ i

B_i = จำนวนผลผลิตของผลิตภัณฑ์ชนิดที่ i

C_i = เวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดที่ i จำนวน 1 ชิ้น

EU_i = หน่วยเทียบเท่าของผลิตภัณฑ์ชนิดที่ i

2.3 มาตรฐานการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม

Energy Benchmark เป็นการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานหรือประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารใดอาคารหนึ่งกับอาคารอื่นที่มีสภาพการใช้งานประเภทเดียวกันกับอาคารนั้น หรือเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคารนั้นในปีปัจจุบันกับค่าการใช้พลังงานในปีที่ผ่านมา เพื่อให้ทราบถึงปริมาณการใช้พลังงานของอาคารนั้นว่ามีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่และเปลี่ยนแปลงอย่างไร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.1 **ประเภทของ** Energy Benchmark

โดยทั่วไปจะแบ่ง Benchmark เป็น 2 ประเภท คือ

1) Internal Benchmark เป็นการเปรียบเทียบการใช้พลังงานของอาคารนั้นกับการใช้พลังงานที่ผ่านมาของอาคาร โดยจะเปรียบเทียบการใช้พลังงานก่อนและหลังการปรับปรุงการใช้พลังงาน ของอาคาร โดยใช้เป็นตัวชี้วัดว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าการใช้พลังงานหรือไม่ อย่างไร โดยการเปรียบเทียบในรูปแบบ Internal benchmark สามารถทำได้หลายวิธีดังนี้

1.1) Annual Energy Consumption เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดในการ benchmark โดยเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานทั้งหมดในปีที่ผ่านมา

1.2) Average Annual Energy Use Benchmark เพื่อให้การเปรียบเทียบมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น สามารถใช้ค่าเฉลี่ยการใช้พลังงาน (Average Energy Consumption) จากค่าการใช้พลังงานในอดีตมากกว่า 1 ปี แต่ไม่ควรเกิน 3 ปี ถือว่าเป็นวิธีที่แม่นยำมากขึ้นแต่ไม่สามารถบอกได้ถึงลักษณะการใช้พลังงานระหว่างปีได้

1.3) Average Seasonal or Monthly Benchmark ดีกว่าการเปรียบเทียบด้วย ค่าพลังงานรวมตลอดปี (Annual Energy Consumption) เนื่องจากสามารถทราบถึงประสิทธิภาพการใช้งานเดือนต่อเดือน หรือต่อช่วงฤดู ต้องการข้อมูลย้อนหลังหลายปี เพื่อใช้หาค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานเป็นรายเดือนหรือราย 3 เดือน สามารถทราบถึงความแตกต่างที่เกิดขึ้นจากอากาศที่เปลี่ยนแปลงไปได้ตลอดปี

1.4) Climate-Corrected Benchmark เป็นสมการการคำนวณ โดยต้องการข้อมูลทางด้านสภาพอากาศมาใช้ในสมการ สามารถคาดการณ์ค่าการใช้พลังงานในเดือนที่ต้องการได้ ซึ่งดีกว่าการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของช่วงฤดูกาลหรือรายเดือน เนื่องจากสภาพอากาศในแต่ละปีมีความแตกต่างกัน ใช้ค่า cooling และ heating degree day ในการแสดงว่าในแต่ละเดือนมีค่าอุณหภูมิร้อนหนาวแตกต่างกันอย่างไร และใช้ข้อมูลเหล่านี้ในการสร้าง correction เพื่อคาดการณ์การใช้พลังงานในแต่ละช่วงสภาพอากาศ จะมีความถูกต้องในการคาดการณ์การใช้พลังงานในแต่ละเดือน

1.5) Climate-and-Activity-Corrected Benchmark เป็นแบบเดียวกันกับ climate-corrected benchmark แต่เพิ่มเติม activity เช่น จำนวนของพนักงานภายในอาคาร เป็นวิธีที่มีความถูกต้องแม่นยำมากที่สุด แต่ต้องการขั้นตอนที่ยุ่งยากและต้องการความเชี่ยวชาญ หากเป็นอาคารที่มีการใช้งานแปรเปลี่ยนไปตามสภาพของกิจกรรมจำนวนพนักงานและผู้ใช้อาคาร

ต้องมีการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านี้เพื่อให้มีความถูกต้องมากยิ่งขึ้น อาจต้องการโปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วย

2) External benchmark เป็นการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานของอาคารนั้นกับอาคารอื่นในประเภทอาคารเดียวกันทั่วประเทศ ใช้ฐานข้อมูลขนาดใหญ่ที่ได้จากหน่วยงานของรัฐบาลหรือบริษัทจัดการด้านพลังงาน (ESCOs) ในระดับประเทศและระดับภูมิภาค โดยจะใช้เพื่อประเมินค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารนั้นว่าดีหรือไม่เมื่อเปรียบเทียบกับอาคารอื่น และอาจใช้เป็นเป้าหมายในการปรับปรุงค่าการใช้พลังงานในอนาคต

2.3.2 **หน่วยสำหรับการวัดพลังงาน**

การเปรียบเทียบของอุตสาหกรรมชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ จะดูจากค่าใช้จ่ายการใช้พลังงาน (Energy Expenditures) โดยมีหน่วยเป็น “ค่าการใช้พลังงานทั้งปี/จำนวนหน่วยผลิตภัณฑ์” นั้นค่อนข้างสะดวก เพราะสามารถเปรียบเทียบกันได้ ถ้าเป็นโรงงานที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกัน หรือถ้าไม่มีโรงงานอื่นที่การผลิตเหมือนกัน ก็สามารถเปรียบเทียบจากค่าที่คำนวณได้ในปีปัจจุบันเทียบกับปีก่อนว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางใด โดยทั่วไปจะเปรียบเทียบการใช้พลังงานด้วยหน่วยการใช้พลังงาน (Energy Metric) เช่น วัตต์ (Watt) แต่ส่วนใหญ่ก็จะเป็นหน่วยกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง (kilowatt-hours (kWh)) เพราะเนื่องจากในโรงงานค่อนข้างที่จะมีการใช้พลังงานไฟฟ้ามาก สำหรับการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ **ซึ่ง**ในกรณีที่หาจะค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตรวมให้ทำการแปลงพลังงานไฟฟ้าในหน่วย kWh ให้เป็น MJ โดยคูณด้วย 3.6 และนำมารวมกับ MJ ของพลังงานความร้อน หน่วยเป็น จูล(Jues) ซึ่งได้จากปริมาณเชื้อเพลิงคูณค่าความร้อนของเชื้อเพลิง การเลือกใช้หน่วยใดนั้นขึ้นกับวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบ หากต้องการเพียงเพื่อกระตุ้นให้เกิดการลดการใช้พลังงานโดยการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการใช้งานควรเลือกใช้หน่วยที่ง่ายในการวัดค่าและเข้าใจง่าย

2.4 **ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงาน** (Energy factor)

จากการศึกษาถึงปัจจัยต่างๆ พบว่าในการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม มีกลุ่มตัวแปรหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงานซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักดังนี้

1) กลุ่มตัวแปรด้านที่ตั้งโรงงานและสภาพอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายนอกของโรงงาน

2) กลุ่มตัวแปรด้านอาคารโรงงานและการวางแผนผังของโรงงาน

3) กลุ่มตัวแปรด้านเครื่องจักรและกระบวนการผลิต

ซึ่งตัวแปรทั้ง 3 กลุ่มนี้นอกจากจะส่งผลต่อการใช้พลังงานแล้ว ยังมีความสัมพันธ์กัน กล่าวคือ ตัวแปรในกลุ่มที่ตั้งโรงงานและสภาพอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายออกของโรงงาน จะเป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลกระทบต่อกลุ่มอาคารโรงงานและการวางแผนผังของโรงงาน และกลุ่มเครื่องจักรและกระบวนการผลิตทั้งหมดจะส่งผลถึงการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม

2.4.1 **กลุ่มตัวแปรด้านที่ตั้งโรงงานและสภาพอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายออกของโรงงาน**

หมายถึง กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ ตัวแปรที่จัดอยู่ในกลุ่มนี้ ประกอบด้วย องค์ประกอบด้านดินฟ้าอากาศ (Climate elements) และองค์ประกอบด้านที่ตั้ง (Site element)

โดยที่องค์ประกอบทางดินฟ้าอากาศ หมายถึง อุณหภูมิอากาศ (air temperature) ความเร็วลม (wind speed) ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ค่าการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ (solar radiation) และสภาพท้องฟ้า (cloud) โดยองค์ประกอบเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เช่น อุณหภูมิอากาศ ตอนกลางวันจะมีอุณหภูมิที่สูง แต่ตอนกลางคืนมีอุณหภูมิต่ำ รวมถึงเมื่ออยู่ในฤดูร้อนจะมีอุณหภูมิสูง และในฤดูหนาวจะมีอุณหภูมิต่ำนั้นคือ ในองค์ประกอบนี้มีการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล แบ่งวงจรเวลาแบบกลางวัน กลางคืน และวงจรแบบฤดูกาล

ส่วนองค์ประกอบที่ตั้ง คือ พืชพรรณ (vegetation) น้ำ (water bodies) เนินดิน (land slope) ค่าความจุความร้อน (thermal capacity) หรืออีกอย่างหนึ่งว่า สภาพแวดล้อมเฉพาะ (micro climate) ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นองค์ประกอบที่ปรับแต่ง สภาพอากาศโดยรอบตัวโรงงาน ให้อยู่ในสภาวะที่มีการระบายอากาศอย่างทั่วถึง

2.4.2 **กลุ่มตัวแปรด้านอาคารโรงงานและการวางแผนผังของโรงงาน**

หมายถึง กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับอาคารโรงงานและการวางแผนผังของโรงงาน ซึ่งตัวแปรในกลุ่มนี้ ประกอบด้วย องค์ประกอบด้านอาคารโรงงาน (Building Factory) และองค์ประกอบด้านการวางแผนผังของโรงงาน (Plant Layout) ซึ่งผู้ออกแบบต้องแสวงหารูปแบบอาคารโรงงานและด้านการวางแผนผังงานระบบต่างๆ ให้สอดคล้องกันเพื่อให้ได้มาซึ่งอาคาร

โรงงานที่ใช้พลังงานน้อยในทุกสถานการณ์ โดยองค์ประกอบด้านอาคารโรงงาน หมายถึง รูปร่างและรูปทรงอาคารโรงงาน (Shape/form) ตำแหน่งที่ตั้ง ส่วนประกอบของเปลือกอาคารโรงงาน (Envelop component) ค่าการส่งผ่านความร้อนผ่านเปลือกอาคารโรงงาน (U value) ตำแหน่งการติดตั้งฉนวน สีของผนัง (Placement of insulation) และคุณสมบัติของวัสดุ หน้าต่าง (Windows and fenestrations) การควบคุมแสงอาทิตย์ (Solar control) เป็นต้น และองค์ประกอบด้านการวางแผนผังงานระบบต่างๆ หมายถึง ระบบหรือเครื่องกลที่ใช้ในอาคารเพื่อก่อให้เกิดการใช้พลังงานน้อยที่สุดและต้องทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดด้วย

2.4.3 กลุ่มตัวแปรด้านเครื่องจักรและกระบวนการผลิต

หมายถึง กลุ่มตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรและกระบวนการผลิต ได้แก่ ประเภทของเครื่องจักร (Machine) รูปแบบการใช้งานหรือลักษณะของกิจกรรมการทำงานต่างๆ (Activities)

2.5 การบริหารจัดการพลังงาน

เนื่องจากการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานต่างๆ จำเป็นต้องอาศัยบุคลากรภายในองค์กรและระบบการจัดการต่างๆ เพื่อเอื้ออำนวยต่อการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานให้เป็นอย่างมีประสิทธิภาพ และมีการจัดการด้านพลังงานอย่างเป็นระบบ ซึ่งในปัจจุบันได้มีการนำทั้งระบบการจัดการด้านพลังงาน และระบบการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม เข้ามาประยุกต์ใช้ในโรงงานต่างๆ ของอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงาน

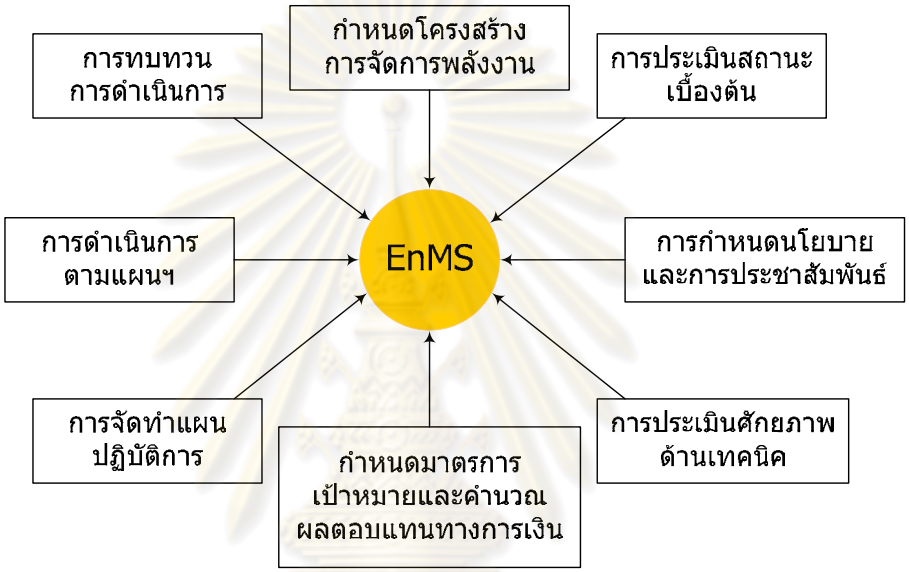
2.5.1 ระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System: EnMS) เป็น

ระบบการจัดการด้านพลังงาน ซึ่งแบ่งได้ออกเป็น 8 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นที่ 1 การกำหนดโครงสร้างการจัดการพลังงาน
ขั้นที่ 2 การประเมินสถานะเบื้องต้น
ขั้นที่ 3 การกำหนดนโยบายและการประชาสัมพันธ์
ขั้นที่ 4 การประเมินศักยภาพด้านเทคนิค
ขั้นที่ 5 การกำหนดมาตรการ เป้าหมาย และการคำนวณผลตอบแทนทางการเงิน
ขั้นที่ 6 การจัดแผนปฏิบัติการ
ขั้นที่ 7 การดำเนินการตามแผนปฏิบัติการ

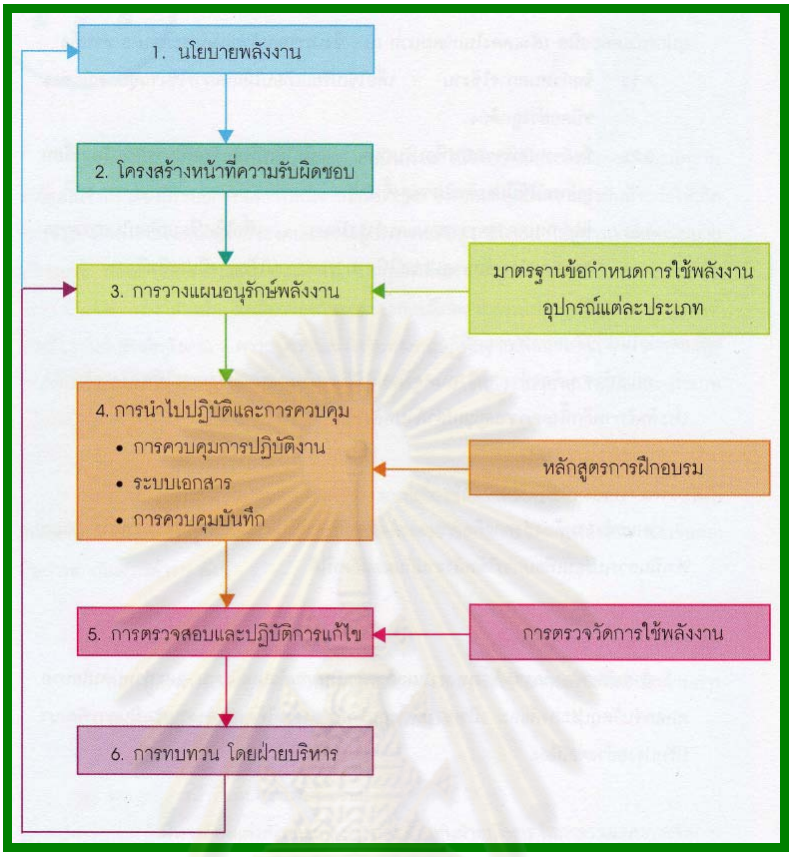
ขั้นที่ 8 การทบทวนผลการดำเนินการ

ความสัมพันธ์และองค์ประกอบของขั้นตอนเหล่านี้กับระบบการจัดการพลังงานได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 และ 2.4



รูปที่ 2.3 องค์ประกอบในการพัฒนาระบบจัดการพลังงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 ระบบการจัดการด้านพลังงาน

2.5.2 การอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม

คือ การที่ทุกคนในโรงงานมีการร่วมมือร่วมใจกันทำกิจกรรมอนุรักษ์พลังงาน มิใช่ทำเฉพาะฝ่ายหรือแผนกการผลิตสินค้า หรือฝ่ายบำรุงรักษาเท่านั้น เพราะทุกคนในโรงงานเป็นผู้ใช้พลังงานเหมือนกัน มากน้อยแตกต่างกันตามภารกิจ หากฝ่ายหนึ่งเห็นความสำคัญของ การอนุรักษ์พลังงานอย่างเต็มที่แต่อีกฝ่ายหนึ่งกลับปล่อยปละละเลย ก็ทำให้การใช้พลังงานไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร อีกทั้งยังเป็นการบั่นทอนกำลังใจแก่ผู้ดำเนินการอนุรักษ์พลังงาน

การอนุรักษ์พลังงานมี 4 ระดับ คือ

1. การออกแบบและแนวคิดที่ดี
2. การมีจิตสำนึกการใช้งานและการดูแลรักษาที่ดี
3. การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต
4. การเปลี่ยนเครื่องจักรหลัก

- **การออกแบบและแนวคิดที่ดี** คือ การออกแบบระบบหรือเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมกับฟังก์ชั่นการใช้งานจริง โดยอาศัยหลักวิชาทางวิศวกรรม สถาปัตยกรรม เพื่อให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล รวมทั้งเป็นการลดค่าใช้จ่ายการดำเนินการและบำรุงรักษาในอนาคต เช่น การออกแบบโดยการนำแสงสว่างธรรมชาติมาใช้ในโรงงานหรืออาคารให้มากที่สุด โดยไม่เกิดผลกระทบต่อผลิตภัณฑ์ในโรงงาน หรือ การนำความร้อน , ความเย็นในระบบการผลิตกลับมาใช้ใหม่ เป็นต้น นอกจากนี้การออกแบบดังกล่าวยังช่วยให้สิ่งแวดล้อมและความปลอดภัยในการทำงานดีขึ้นด้วย

- **การมีจิตสำนึกการใช้งานและการดูแลรักษาที่ดี** คือ การดูแลรักษาให้การใช้พลังงานมีประสิทธิภาพลดการรั่วไหลและการสูญเปล่าของพลังงาน เช่น ลดการรั่วของไอน้ำ ลมอัด หรือการสูญเสียความร้อน / ความเย็น ลดการใช้พลังงานที่ฟุ่มเฟือย เช่น ใช้หลอดไฟที่กินกำลังไฟต่ำแต่ให้ความว่างที่เหมาะสม ปรับอุณหภูมิอากาศไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส นำแสงธรรมชาติมาใช้ จัดกลุ่มหลอดไฟให้เหมาะสมกับการใช้งานจริงลดการเดินเครื่องตัวเปล่า เป็นต้น ซึ่งการดำเนินการข้างต้นแทบจะไม่ต้องลงทุน หรือลงทุนน้อยมาก เพราะเป็นเรื่องการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของคนในองค์กรให้มีจิตสำนึกในการอนุรักษ์พลังงาน

- **การปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต** เป็นการดำเนินงานที่ต้องใช้หลักวิชาวิศวกรรมมากขึ้น ใช้เงินลงทุนปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ให้มีประสิทธิภาพ เลือกอุปกรณ์ที่ช่วยประหยัดค่าพลังงานกินไฟน้อยลง โดยเฉพาะเมื่ออุปกรณ์เดิมหมดสภาพเมื่อเปลี่ยนใหม่ควรเลือกที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น เลือกใช้เครื่องปรับอากาศประสิทธิภาพสูง (เบอร์ 5) ใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง ใช้บัลลาสต์อิเลคโทรนิค หรือบัลลาสต์โลว์ลอส ใช้ระบบ VSD (Variable speed drive) กับมอเตอร์ทั้งนี้ผู้ประกอบการควรคำนึงถึงผลประหยัด และเงินลงทุนด้วยว่าสมารถคืนทุนภายในเวลาที่ยอมรับได้หรือไม่

- **การเปลี่ยนเครื่องจักรหลัก** เป็นการอนุรักษ์พลังงานขั้นสูงสุดที่ต้องใช้เทคโนโลยีการวิเคราะห์รวมทั้งเงินลงทุนมากที่สุด เพราะต้องปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ เครื่องจักรใหม่ จึงต้องตรวจสอบความคุ้มค่าการลงทุน อย่างไรก็ตาม หากเทคโนโลยีการผลิตเปลี่ยนแปลงไปแล้ว เราก็ไม่อาจอยู่กับระบบผลิตแบบเดิม ๆ ได้ จำเป็นต้องปรับปรุงเปลี่ยนแปลงให้ทันเวลาด้วย

ส่วนองค์ประกอบสำคัญที่ทำให้การอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมประสบผลสำเร็จนั้นมี 3 ประการคือ

1) ผู้บริหารเห็นความสำคัญ และกำหนดเป็นนโยบายของบริษัท พร้อมทั้งให้การสนับสนุนส่งเสริมอย่างจริงจัง เพราะผู้บริหาร คือ กลไกลสำคัญที่ทำให้การอนุรักษ์พลังงานเกิดขึ้นและยั่งยืนดังนั้น ผู้บริหารระดับสูงควรเป็นผู้นำในการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม บางครั้งผู้ปฏิบัติงานอาจเห็นว่าการทำกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานเป็นการเพิ่มภาระงาน ทำให้ไม่ได้ความร่วมมือเท่าที่ควร จึงเป็นหน้าที่ของผู้บริหารระดับสูง หรือคณะกรรมการอนุรักษ์พลังงานที่จะต้องชี้แจงให้เกิดความเข้าใจ ตลอดจนอาจจะต้องมีการจูงใจที่เหมาะสมกับพนักงานแต่ละระดับ เช่น พนักงานระดับล่าง การจูงใจอาจจะเป็นการเปิดโอกาสให้แสดงออก หรือรับผิดชอบงานที่สูงขึ้น หรือการได้สิทธิพิเศษบางประการ เช่น มีที่จอดรถเฉพาะเป็นกรณีพิเศษ เป็นต้น

2) ทีมงานหรือคณะกรรมการการอนุรักษ์พลังงาน ควรมาจากตัวแทนของฝ่ายต่าง ๆ เพื่อรับนโยบายจากผู้บริหารระดับสูงนำมาจัดทำแผนปฏิบัติการ เป้าหมาย กลยุทธ์ วิธีการทำงานตลอดจนการประเมินผลและประชาสัมพันธ์ผลงาน กำหนดให้แต่ละฝ่ายนำไปปฏิบัติอย่างเป็นรูปธรรม รวมทั้งเป็นผู้ประสานงานระหว่างผู้บริหารระดับสูงกับผู้ปฏิบัติงานระดับล่างให้มีความเข้าใจและร่วมมือกันทำงานด้วย

3) ผู้ปฏิบัติระดับล่าง เป็นผู้ที่ทราบข้อมูลการใช้พลังงานมากที่สุด เพราะเป็นผู้ปฏิบัติเองมาตรการการอนุรักษ์พลังงานส่วนใหญ่เกิดจากผู้ปฏิบัติงานระดับล่างพิจารณาร่วมกันและนำเสนอขึ้นมาโดยจัดเป็นกลุ่มเล็ก ๆ ประมาณ 5-7 คน ซึ่งมาจากพื้นที่ทำงาเดียวกัน เพื่อร่วมคิดทำกิจกรรมของกลุ่มตนเอง

ในทางปฏิบัติการจูงใจเพื่อให้เกิดการทำงานร่วมกัน ถือว่าเป็นศิลปะที่วิศวกรหรือช่างหลายคนไม่มี บางคนถึงกับกล่าวว่า ถ้าต้องจูงใจผู้อื่น ขอทำเองดีกว่า เพราะง่ายกว่ามาก แต่ดังที่กล่าวแล้วว่า การอนุรักษ์พลังงานต้องอาศัยความร่วมมือ ความคิดนี้จึงไม่ถูกต้องนัก และหากเริ่มศึกษาและทดลองปฏิบัติไม่นานนักจะพบว่าการสามารถจูงใจผู้อื่นให้เข้าร่วมทำงานด้วยความสมัครใจ จะนำมาซึ่งความสำเร็จของการอนุรักษ์พลังงานที่ไม่ยาก

การแข่งขัน หรือการประชาสัมพันธ์ผลงานของแต่ละกลุ่ม ก็เป็นกลยุทธ์ที่สำคัญอันหนึ่งที่จะผลักดันให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานอย่างต่อเนื่อง จึงควรให้ทุกกลุ่มมีบอร์ดประกาศผล

ความก้าวหน้าของกลุ่มตัวเอง ประจำไว้ใกล้กับพื้นที่ที่ทำงาน หากผลงานกลุ่มใดดี ผู้บริหารควรสนับสนุนส่งเข้าประกวดในระดับโรงงาน ระดับจังหวัด หรือระดับประเทศต่อไป

เมื่อจัดตั้งกลุ่มอนุรักษ์พลังงานแล้ว สิ่งที่ต้องคำนึงถึงต่อมา คือ กิจกรรมอะไรที่จะใช้ในการอนุรักษ์ พลังงาน ถ้ายังไม่เคยทำกิจกรรมแบบมีส่วนร่วมมาก่อน สามารถร่วมกันทำกิจกรรม 5 ส. ก่อนเป็นอันแรก เพราะเป็นเรื่องใกล้ตัวมากที่สุดและเห็นผลทันที ต่อจากนั้นจึงเริ่มทำกิจกรรมอนุรักษ์พลังงานโดยทำเป็นกิจกรรมกลุ่มย่อย มีระบบเสนอแนะ ภายในหน่วยงาน เช่น กำหนดให้แต่ละกลุ่มย่อยเสนอวิธีการปรับปรุงการอนุรักษ์พลังงาน 1 มาตรการ/กลุ่ม/เดือน มาตรการใดผ่านการเห็นชอบจากคณะกรรมการและผู้บริหารอนุมัติให้ดำเนินการ กลุ่มนั้นก็ได้รับการประกาศเป็นกลุ่มตัวเอย่างประจำเดือน และมาตรการใดดีเด่นทำให้ช่วยลดค่าใช้จ่ายพลังงานได้มากด้วยเงินลงทุนน้อย สมควรได้รับประกาศเป็นกลุ่มดีเด่นประจำเดือนนั้นและมีรางวัลตอบแทนเล็กน้อยเพื่อเป็นการจูงใจให้เกิดการระดมสมองทำงานร่วมกันนั่นเอง นอกจากนี้ควรมีการอบรมเพิ่มพูนทักษะการทำงานร่วมกันหรืออบรมเรื่องการบริหารจัดการแบบ TQM (Total quality management) และ TPM (Total productive management) ภายในองค์กรโดยเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานเอง หรือเชิญวิทยากรผู้เชี่ยวชาญมาบรรยายเสริมสร้างความรู้ให้กับพนักงาน เพื่อให้เกิดความมั่นใจ เกิดทักษะการทำงานต่อไป

นอกจากศิลปะการทำงานร่วมกันแล้ว สิ่งที่ขาดไม่ได้ก็คือ หลักวิชาการทางด้านวิศวกรม ซึ่งจะนำมาใช้วิเคราะห์ปัญหา ความฟุ่มเฟือย ความสูญเสียต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในขบวนการผลิต เพราะขาดการประสานงานระหว่างหน่วยต่าง ๆ ภายในโรงงาน เมื่อมีการประสานงานที่ดี มองปัญหาร่วมกัน ร่วมมือกันใช้ปัญญาแก้ปัญหา แทบจะไม่ต้องลงทุนเลยก็สามารถประหยัดค่าพลังงานได้ปีละเป็นล้านบาท

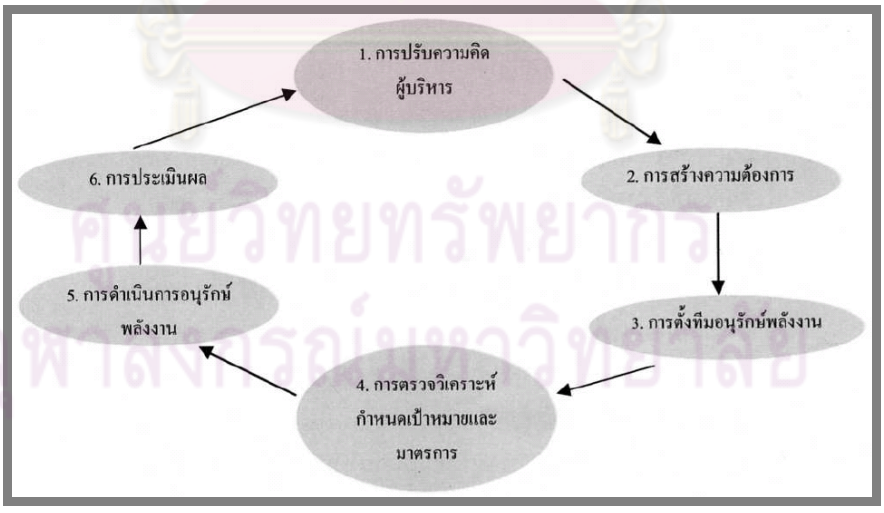
จากหลักการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมดังกล่าว กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน ได้พิสูจน์ชัดเจนแล้วว่าช่วยให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานอย่างเป็นรูปธรรม ตัวอย่างเช่น โรงงาน ทั้ง 5 แห่ง ที่เข้าร่วมโครงการนี้สามารถประหยัดพลังงาน และค่าใช้จ่ายอื่น ๆ ได้ 48 ล้านบาทต่อปี ด้วยเงินลงทุนเพียง 2.8 ล้านบาท คือทุนเฉลี่ยภายใน 21 วันโดยใช้เวลาดำเนินการโครงการทั้งหมด 9เดือน เริ่มตั้งแต่มีการอบรมสัมมนาเจ้าหน้าที่โรงงาน กำหนดและวิเคราะห์มาตรการดำเนินการปรับปรุงแก้ไขประเมินผล โดยมีผู้เชี่ยวชาญเข้าไปโรงงานเพื่อแนะนำติดตามผลการทำงานเดือนละ 1 ครั้ง รวม 7 ครั้ง ให้กับทีมงานของแต่ละโรงงาน

ซึ่งผลการเข้าร่วมโครงการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม นอกจากเป็นการลดต้นทุนการผลิตเพิ่มคุณภาพสินค้าให้ดีขึ้น สิ่งแวดล้อมดีขึ้นเป็นที่ยอมรับของสังคมมากขึ้น ยังเป็นการปรับปรุงขบวนการทำงานภายในใหม่ เปิดโอกาสให้พนักงานได้ระดมสมอง ช่วยกันแก้ปัญหา ทำให้ได้รับความรู้ เพิ่มพูนทักษะการทำงานและสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับกิจกรรมอื่นได้เป็นอย่างดี

เพื่อเป็นแนวทางให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมแก่ผู้ประกอบการทั่วไป กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน จึงขอนำเสนอมาตรการตัวอย่างที่ดำเนินการแล้วเสร็จชุดที่หนึ่ง ให้ผู้สนใจศึกษา เปรียบเทียบเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ดำเนินการในโรงงานของท่านเอง ดังนี้

ตัวอย่างการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วมด้วยเทคนิคการจัดการ

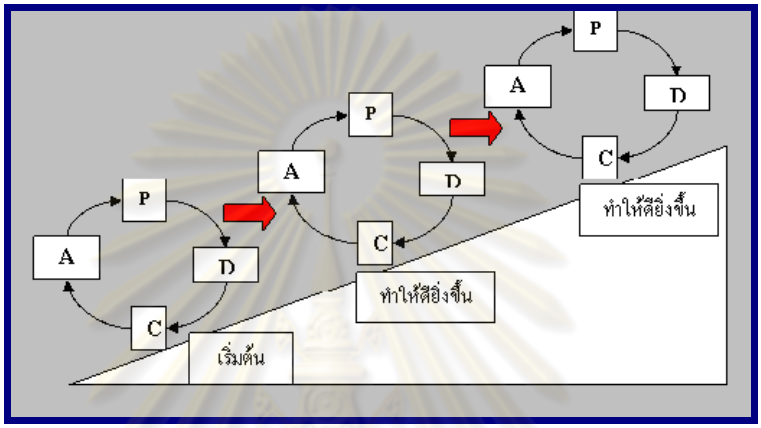
1. การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง
2. การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศและระบบทำความร้อน
3. การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องจักร
4. การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้เครื่องจักรและอุปกรณ์



รูปที่ 2.5 โครงสร้างการการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม

โดยสรุปแล้วทั้งระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System) และระบบการอนุรักษ์พลังงานแบบมีส่วนร่วม ก็คือการประยุกต์นำวงจรเดมมิ่ง (Demming Cycle) ซึ่ง

เป็น แนวความคิดในการแก้ไขปัญหา (Problem Solving) และการพัฒนากระบวนการทำงานอย่างต่อเนื่อง (Process Continuous Improvement) โดยนำมาใช้กับระบบจัดการด้านการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในสถานประกอบการต่างๆ กระบวนการแก้ไขปัญหาตามแนวทางวงจรเดมมิ่ง ดังแสดงในรูปที่ 2.6 ประกอบด้วย



รูปที่ 2.6 วงจรเดมมิ่ง (Demming Cycle)

- ***การวางแผนและเตรียมการ*** *(Plan)* ซึ่งจะครอบคลุมถึงการ กำหนดวัตถุประสงค์ เป้าหมาย วิธีการแก้ไขและจัดทำแผนดำเนินงาน จากนั้นจึงนำไปสู่ขั้นตอนที่สอง

- ***การลงมือปฏิบัติตามแผน*** *(Do) มีการนำแผนที่วางไว้ นำไปปฏิบัติจริง*

- ***การตรวจสอบ*** *(Check)* ผลลัพธ์ที่เกิดจากการลงมือปฏิบัติตามแผนงานเพื่อให้สามารถเข้าใจปัญหาที่เกิดขึ้นและดำเนินการแก้ไขจนได้กระบวนการหรือวิธีการปฏิบัติงานที่สามารถกำหนดเป็นมาตรฐานได้

- ***การปฏิบัติการใด ๆ ตามผลลัพธ์จากการตรวจสอบ*** *(Action)* หากผลลัพธ์ไม่เป็นไปตามเป้าหมายจะต้องทำการปรับปรุงแก้ไข ในกรณีผลลัพธ์เป็นไปตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ให้จัดทำเป็นมาตรฐาน ซึ่งเรียกขั้นตอนนี้ว่า การนำไปปฏิบัติ

2.6 การวิเคราะห์สมการถดถอยและสหสัมพันธ์

2.6.1 การวิเคราะห์สมการถดถอยชนิดหลายตัวแปร (Multiple Regression Analysis)

การวิเคราะห์สมการถดถอยชนิดหลายตัวแปรเป็นการวิเคราะห์สมการของตัวแปรที่เกี่ยวข้องกันซึ่งพิจารณา สำหรับตัวแปรอิสระ 2 ตัวหรือมากกว่าสองตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันในสมการ และมีข้อจำกัดในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของตัวแปร คือ ตัวแปรอิสระแต่ละตัวต้องเป็นอิสระต่อกันและไม่มีความสัมพันธ์กัน โดยสมการถดถอยหลายตัวแปรดังแสดงในสมการที่ 2.8 คือ

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots b_nX_n \qquad (2.8)$$

โดยที่ Y = ตัวแปรตาม

$X_1, X_2, \dots, X_n$ = ตัวแปรต้น

a = จุดตัดแกน Y

b_n = Regression coefficient คือค่าของ Y ที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อค่า X_n เปลี่ยนไป 1 หน่วย โดยที่ X ตัวอื่นๆ คงที่

ในสมการถดถอยหลายตัวแปร โดยเฉพาะ X_1, X_2 มีโอกาสที่จะเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์โดยค่าเหล่านี้เรียกว่า coefficients of partial regression ปรกติ ตัวแปรอิสระแต่ละตัวจะไม่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระอื่นๆ ดังนั้นความไม่สัมพันธ์ระหว่าง Y และ X_1 กับความไม่สัมพันธ์ระหว่าง X_1 และ X_2 จึงเป็นเรื่องปรกติ

2.6.2 การวิเคราะห์ตัวประกอบ (Factor Analysis)

การวิเคราะห์ตัวประกอบ (Factor Analysis) หรือบางครั้งเรียกว่า การวิเคราะห์ปัจจัย เป็นเทคนิคที่จะจับกลุ่มหรือรวมกลุ่มหรือรวมตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กันไว้ในกลุ่มหรือปัจจัยเดียวกัน ตัวแปรที่อยู่ในปัจจัยเดียวกันจะมีความสัมพันธ์กันมาก โดยความสัมพันธ์นั้นอาจเป็นไปในทิศทางบวก (ไปในทิศทางเดียวกัน) หรือทิศทางลบ (ไปในทางตรงกันข้าม) ก็ได้ ส่วนตัว

แปรที่คนละปัจจัยจะไม่มีความสัมพันธ์กันหรือมีความสัมพันธ์กันน้อย หรือในอีกความหมายหนึ่งของการวิเคราะห์องค์ประกอบ หรือเรียกว่า การวิเคราะห์ตัวประกอบ เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้วิเคราะห์ผลการวัด โดยใช้เครื่องมือหรือเทคนิคหลายชุดหรือหลายด้าน อาจใช้แบบทดสอบแบบวัด แบบสำรวจ ฯลฯ อาจใช้ชุดเดียวแต่มีการวัดแยกเป็นรายด้าน หรือหลายชุดก็ได้ ผลการวิเคราะห์จะช่วยให้ทราบว่า เครื่องมือหรือเทคนิคเหล่านั้นวัดแต่ละองค์ประกอบมากน้อยเพียงใด สำหรับการพิจารณาผลจากการวิเคราะห์จะใช้หลักเหตุผล ระบุ (หรือกำหนดชื่อ) องค์ประกอบที่วัดนั้น ผลจากการวิเคราะห์องค์ประกอบจะปรากฏค่าต่างๆ ที่สำคัญ คือ Communality ซึ่งเขียนด้วย h2 เป็นค่าความแปรปรวนที่แต่ละด้าน แบ่งให้กับแต่ละองค์ประกอบ เป็นส่วนที่ชี้ว่าแต่ละด้าน วัดองค์ประกอบนั้นร่วมกับตัวแปรอื่นมากน้อยเพียงใด ค่า Eigenvalues เป็นผลรวมกำลังสองของสัมประสิทธ์ ขององค์ประกอบร่วมในแต่ละองค์ประกอบ ซึ่งต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 1 จึงจะถือว่าเป็นองค์ประกอบหนึ่งๆ ที่แท้จริง ส่วน Factor Loading เป็นค่าน้ำหนัก องค์ประกอบที่แต่ละฉบับ (ด้าน) วัดในองค์ประกอบนั้น นอกจากนี้ ส.วาสนา ก็ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์องค์ประกอบว่าจะยึดหลักที่ว่าตัวแปรหรือข้อมูลต่างๆ มีความสัมพันธ์กันมาก เนื่องมาจากตัวแปรเหล่านี้มีองค์ประกอบร่วมกัน (Common Factor) สังเกตได้จาก การจัดกลุ่มของ ตัวแปรหรือค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร ดังนั้น สามารถใช้องค์ประกอบร่วม แทนตัวแปรกลุ่มนั้นได้ ทำให้ทราบถึงโครงสร้างและแบบแผนของข้อมูล ทำให้หาองค์ประกอบร่วมของตัวแปรได้ และสามารถหาน้ำหนักองค์ประกอบ (Factor Loading) ของตัวแปรแต่ละตัวได้ ซึ่งค่าน้ำหนักองค์ประกอบนี้สามารถอธิบายได้ถึง ความแปรปรวนร่วมระหว่างกันของตัวแปร ทำให้ทราบถึงโครงสร้างและแบบแผนของข้อมูล ทำให้หาองค์ประกอบร่วมของแต่ละตัวได้ ซึ่งค่าน้ำหนักองค์ประกอบนี้ สามารถอธิบายได้ถึงความแปรปรวนร่วมระหว่างตัวแปรกับองค์ประกอบนั้นอันแสดงถึงขนาด (Magnitude) ของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรกับองค์ประกอบ

1) วัตถุประสงค์ของเทคนิค Factor Analysis มีดังนี้

- เพื่อศึกษาว่าตัวประกอบร่วมที่จะสามารถอธิบายความสัมพันธ์ร่วมกันระหว่างตัวแปรต่างๆ โดยที่จำนวนตัวประกอบร่วมที่หาได้จะมีจำนวนน้อยกว่า จำนวนตัวแปรนั้นมีตัวประกอบร่วมอะไรบ้าง โมเดลนี้ เรียกว่า Exploration Factor Analysis Model

- เพื่อศึกษาการทดสอบสมมติฐาน เกี่ยวกับโครงสร้างของตัวประกอบว่า ตัวประกอบแต่ละตัวประกอบด้วยตัวแปรอะไรบ้าง และตัวแปรแต่ละตัวควรมีน้ำหนักหรืออัตรา

ความสัมพันธ์กับตัวประกอบมากน้อยเพียงใดตรงกับที่คาดคะเนไว้หรือไม่ หรือสรุปได้ว่าเพื่อต้องการทดสอบว่าตัวประกอบอย่างนี้ตรงกับโมเดลหรือตรงกับทฤษฎีที่มีอยู่หรือไม่ โมเดลนี้เรียกว่า Confirmatory Factor Analysis Model

2) ประโยชน์ของเทคนิค Factor Analysis มีดังนี้

- ลดจำนวนตัวแปร โดยการรวมตัวแปรหลายๆ ตัวให้อยู่ในปัจจัยเดียวกัน ปัจจัยที่ได้ถือเป็นตัวแปรใหม่ที่สามารถหาค่าข้อมูลของปัจจัยที่สร้างขึ้นได้ เรียกว่า Factor Score แล้ว จึงสามารถนำปัจจัยดังกล่าวไปเป็นตัวแปรสำหรับการวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป เช่น การวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์ (Regression and Correlation Analysis) การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การทดสอบสมมติฐาน t-test Z- test และการวิเคราะห์จำแนกกลุ่ม (Discriminant Analysis) เป็นต้น

- ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาอันเนื่องมาจากการที่ตัวแปรอิสระของเทคนิคการวิเคราะห์สมการความถดถอย มีความสัมพันธ์กัน (Multicollinearity) ซึ่งวิธีการอย่างหนึ่งในการแก้ปัญหานี้ คือ การรวมตัวแปรอิสระที่มีความสัมพันธ์ไว้ด้วยกัน โดยการสร้างเป็นตัวแปรใหม่หรือเรียกว่าปัจจัย โดยใช้เทคนิค Factor Analysis แล้วนำปัจจัยดังกล่าวไปเป็นตัวแปรอิสระในการวิเคราะห์ความถดถอยต่อไป

- ทำให้เห็นโครงสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ศึกษา เนื่องจากเทคนิค Factor Analysis จะหาค่าสัมประสิทธ์สหสัมพันธ์ (Correlation) ของตัวแปรทีละคู่แล้วรวมตัวแปรที่สัมพันธ์กันมากไว้ในปัจจัยเดียวกัน จึงสามารถวิเคราะห์โครงสร้างที่แสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ทีอยู่ในปัจจัยเดียวกันได้ ทำให้สามารถอธิบายความหมายของแต่ละปัจจัยได้ ตามความหมายของตัวแปรต่างๆที่อยู่ในปัจจัยนั้น ทำให้สามารถนำไปใช้ในด้านการวางแผนได้ เช่น ศึกษาถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อสินค้า

2.6.3 วิธีการคัดเลือกตัวแปร

วิธีการคัดเลือกตัวแปรเข้าสมการเพื่อให้สมการสามารถทำนายตัวแปรตามได้ดีที่สุด โดยจะใช้วิธีคัดเลือกตัวแปรแบบถอยหลัง (Backward Selection) ซึ่งวิธีการนี้จะเป็นการนำตัวแปรทำนายทั้งหมดเข้าสมการจากนั้นก็จะค่อยๆ ขจัดตัวแปรทำนายออกทีละตัว โดยจะหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทำนายที่อยู่ในสมการแต่ละตัวกับตัวแปรตามเมื่อขจัดตัวแปรทำนาย

อื่นๆ ออกแล้ว หากทดสอบค่าสหสัมพันธ์แล้วพบว่าไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ก็จะขจัดออกจากสมการ แล้วดำเนินการทดสอบตัวแปรที่เหลืออยู่ในสมการต่อไป จนกระทั่งสหสัมพันธ์ ระหว่างตัวแปรทำนายแต่ละตัวกับตัวแปรตามเมื่อขจัดตัวแปรอื่นๆ ออกแล้วพบว่ามีระดับนัยสำคัญทางสถิติก็จะหยุดการคัดเลือกและได้สมการการทดสอบที่มีสัมประสิทธิ์การทำนายสูงสุด ขั้นตอนการวิเคราะห์การคัดเลือกตัวแปรและการหาสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ

2.6.4 **สัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ** (Coefficient of Determination)

การตัดสินใจโดยอาศัยแบบสมการถดถอยจะมีความถูกต้องมากน้อยเพียงใด จะขึ้นอยู่กับข้อมูลที่แสดงผลที่ว่าความผันแปรในตัวแปรตอบสนองสามารถอธิบายได้ด้วยข้อมูลตามแบบสมการถดถอยนั้นได้มากน้อยเพียงใด ดังนั้น จึงมีความจำเป็นต้องพิจารณาถึงสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ ซึ่งนิยามได้ว่า

$$R^2 = \frac{\text{ความผันแปรที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอย}}{\text{ความผันแปรทั้งหมดในข้อมูล}}$$

โดยให้ R^2 แทนค่าสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ (ใช้ค่ากำลังสอง เนื่องจากการประเมินค่าของสัมประสิทธิ์ดังกล่าว จะพิจารณาจากค่าผลรวมกำลังสอง)

ดังนั้น ผู้วิเคราะห์ส่วนใหญ่ได้คาดหมายที่จะได้ค่า R^2 มีค่ามากๆ เข้าใกล้ 1.00 แต่อย่างไรก็ตามมีข้อควรระวังค่อนข้างมากในการตีความหมาย R^2 ทั้งนี้เนื่องจากว่า ในกรณีที่มีข้อมูล n ตัว แล้วทำการสร้างแบบสมการถดถอยเป็นโพลีโนเมียลอันดับ n-1 แล้ว ก็จะได้ $R^2 = 1.00$ เสมอ แต่มิได้หมายความว่าแบบสมการถดถอยดังกล่าวมีความเหมาะสมที่ดีกับข้อมูล เพราะจะเป็นไปไม่ได้ที่ $R^2 = 1.00$ เนื่องจากแบบสมการถดถอยจะไม่สามารถอธิบายความผันแปรเนื่องจากการทดลอง (Pure error) ได้ ในการวิเคราะห์จึงมีความจำเป็นต้องพิจารณาจากค่าองศาความอิสระของความคลาดเคลื่อนเสมอ หากค่าองศาความอิสระของความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยมาก จะทำให้มีโอกาสในการตัดสินใจผิดพลาดสูงมาก

ในการพิจารณาความเหมาะสมของแบบสมการถดถอยนั้น ถ้าหากมีการเพิ่มเทอมตัวแปรถดถอยเข้าไปในแบบสมการแล้วจะมีผลทำให้ R^2 ของแบบสมการใหม่เพิ่มขึ้นเสมอ แต่ทั้งนี้มิได้หมายความว่า แบบสมการใหม่จะดีกว่าแบบสมการเก่า เพราะการเพิ่มเทอมตัวแปรถดถอยเข้าไปในแบบสมการจะทำให้องศาความอิสระของความคลาดเคลื่อนในแบบสมการใหม่มีค่าลดลง ดังนั้น แบบสมการใหม่จะดีกว่าแบบสมการเดิมก็ต่อเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนในแบบ

สมการใหม่ในรูป SS_E มีค่าลดลงไม่น้อยกว่าค่ามัชฌิมความคลาดเคลื่อนของแบบสมการเดิม, MS_E ซึ่งจะมีผลทำให้ค่ามัชฌิมความคลาดเคลื่อนของแบบสมการใหม่มีค่าต่ำกว่าค่ามัชฌิมความคลาดเคลื่อนของแบบสมการเดิม

แต่อย่างไรก็ตาม ผู้วิเคราะห์นิยมหลีกหนีความยุ่งยากในการตีความหมาย R^2 ด้วยการใช้ตัวสถิติใหม่ที่เรียกว่า “Adjusted R^2” (R^2 ที่ได้รับการปรับค่า) ผู้สนใจสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้จาก Montgomery and Peck (1982, p. 249-252) ค่าของ R^2 นี้จะขึ้นอยู่กับช่วงความผันแปรถดถอย กล่าวคือ R^2 จะมีค่าเพิ่มขึ้น (หรือลดลง) เมื่อความผันแปรในตัวแปรถดถอย x มีค่าเพิ่มขึ้น (หรือลดลง)

ในการใช้สัมประสิทธิ์ R^2 นี้ มักจะมีการใช้ผิดกันค่อนข้างมาก โดยความผิดที่พบเห็นกันทั่วไป ได้แก่

1. ความเข้าใจผิดว่า R^2 ใช้วัดค่าความชันของตัวแปรสมการถดถอย ทั้งนี้เพราะว่า R^2 มิได้เกี่ยวข้องกับค่าความชันของตัวแปรสมการถดถอย เพราะแม้ R^2 จะมีค่าสูงมาก ก็มิได้หมายความว่าค่าความชันของตัวแปรสมการถดถอยจะมีค่าสูงมาก

2. ความเข้าใจผิดว่า R^2 ใช้วัดความเหมาะสมของตัวแบบสมการถดถอยกับข้อมูล เพราะว่า R^2 อาจจะมีค่าสูงมาก โดยที่ตัวแบบสมการดังกล่าวอาจจะไม่เหมาะสมกับข้อมูลก็ได้ตามที่ได้กล่าวมาแล้ว

3. ความเข้าใจผิดว่า R^2 ใช้วัดระดับความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของ x กับ y ได้ ทั้งนี้เพราะแม้ x และ y จะมีความสัมพันธ์แบบมิใช่เชิงเส้นตรง ค่า R^2 อาจจะค่ามากก็ได้

2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ จะแบ่งการศึกษาออกเป็นออกเป็น 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 คือ การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม

ส่วนที่ 2 คือ แนวทางการศึกษาเกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานในประเทศไทยและต่างประเทศ

ส่วนที่ 3 คือ แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสมการถดถอย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.7.1 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม

1) ชัยพร วงศ์พิศาล (2530) จากการศึกษาวิทยานิพนธ์เรื่อง การศึกษาการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพของโรงงานอุตสาหกรรมผลิตสายไฟฟ้า ได้ทำรายงานสรุปว่า โรงงานประเภทนี้ส่วนใหญ่แล้วไม่ได้มีมาตรการประหยัดพลังงานแต่อย่างใด ทำให้โรงงานต้องเสียค่าใช้จ่ายในส่วนของพลังงานต่อหน่วยผลผลิตเป็นจำนวนมาก (1,250 บาท/ตัน) โดยได้เสนอและวิเคราะห์ข้อมูลของปริมาณการใช้และปริมาณการสูญเสียของพลังงานและทดลองดำเนินการประหยัดพลังงาน โดยดำเนินการดังต่อไปนี้

- การเพิ่มประสิทธิภาพของเตาหลอมและเตาเผา ด้วยการปรับอัตราส่วนอากาศต่อน้ำมันเชื้อเพลิง โดยทำการปรับปรุงระบบควบคุมอากาศของเตา
- การควบคุมค่าความต้องการกำลังไฟฟ้าสูงสุดด้วยการจัดเวลาทำงาน
- การลดการใช้หม้อแปลง โดยนำภาระที่มีการทำงานจากระบบที่ใช้ไฟฟ้าน้อยให้ไปรวมกัน
- การปรับ Tap หม้อแปลงไฟฟ้า
- การหุ้มฉนวนและการแก้ไขค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ ด้วยการติดตั้งตัวคาปาซิเตอร์

จากการทดลองพบว่าสามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบต่างๆ ประมาณ 17% ของพลังงานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน มีระยะเวลาคืนทุนในภาคพลังงานไฟฟ้าภายใน 8 เดือน และภาคพลังงานความร้อนอยู่ในช่วง 5 ถึง 24 เดือน

2) Wen Shing Lee (2550) จากงานวิจัยเรื่อง Benchmark the energy efficiency of government building with data envelopment analysis โดยได้สร้างสมการใช้พลังงานและปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานโดยพิจารณาเฉพาะปัจจัยทางด้านเปลือกอาคารเท่านั้น และตัวแปรที่นำมาพิจารณาได้แก่

- ความหนาแน่นของคน (people/100m^2)
- ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายนอก
- ค่าเฉลี่ยของชั่วโมงที่ฝนตกต่อเดือน (h/month)

3) Terry Sharp (2539) จากงานวิจัยเรื่อง Energy benchmarking in commercial-office buildings ได้ใช้ข้อตกลงเดียวกับ Simple normalized EUI ซึ่งไม่ดีพอที่จะให้คะแนนในด้านการจัดลำดับการใช้พลังงานดังนั้นในการคำนวณผลของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้

พลังงานนั้นจึงมีการปรับพัฒนาเกณฑ์ตัดสินโดยใช้ 'Multi variance linear - regression' เพื่อศึกษาความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นที่แสดงให้เห็นถึงลักษณะสำคัญบางประการของอาคารกับค่า EUI และนอกจากนี้ Sharp ยังเห็นด้วยกับที่ว่าค่า Mean EUI เป็นเกณฑ์ที่ไม่ดีนักในฐานะที่จะใช้เป็นตัวชี้วัดการกระจายตัว ดังนั้น Sharp จึงใช้ค่าของ Standard error ของผลจาก regression model ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของเกณฑ์ออกมาในรูปแบบตารางซึ่งมีความน่าเชื่อถือกว่า ในกรณีของเกณฑ์ที่ใช้กับอาคารที่มีลักษณะจำเพาะจะใช้ "Best – fitted regression model" ในการคำนวณค่า Predicted EUI ซึ่งค่า Predicted EUI นี้ ตารางเกณฑ์การกระจายตัว (% table) ถูกคำนวณจากค่า mean of standard error distribution โดยที่แท้จริงของ EUI "actual EUI" สามารถเปรียบเทียบกับเกณฑ์ในรูปแบบแต้มที่เป็นตาราง Sharp Method ถูกนำมาใช้ใน Asia – Pacific Economic Cooperation Energy Benchmark System และนำมาประยุกต์เป็น Energy star Benchmarkส่วนเกณฑ์อื่นๆ ที่ใช้อยู่บน Model regression (Distribution of residuals) ในทางตรงกันข้าม (ใช้พื้นฐานบน Standard error distribution) ใน Sharp's Method นั้น Residual เป็นความแตกต่างระหว่างค่าที่แท้จริงกับค่า Predictive EUI ค่า Residual อาจถูก treat ในกรณีที่เป็นตัววัดการไม่มีประสิทธิภาพโดยได้หาตัวแปรที่ส่งผลกระทบกับการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานจำนวนทั้งสิ้น 33 ตัวแปร หลังจากทำการวิเคราะห์การถดถอยแบบ Stepwise เพื่อหาตัวแปรที่แท้จริงที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน ซึ่งหลังจากการวิเคราะห์จะได้แบบจำลองโดยตัวแปรที่มีความสำคัญมากสำหรับแบบจำลองนี้คือ

- ความหนาแน่นของพนักงาน (คนต่อตารางเมตร)
- จำนวนผู้ใช้คอมพิวเตอร์ภายในอาคาร (คน)

4) **Patterson MG. และ Haas R.** (2540) ได้ทำการศึกษาการกำหนดนิยามและความสำคัญของตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานกล่าวว่า ในการบอกประสิทธิภาพของพลังงานนี้มักอ้างถึงการใช้พลังงานที่น้อยกว่าเพื่อผลิตสินค้าออกมาในปริมาณที่เท่ากัน โดยตัวชี้วัดประสิทธิภาพของพลังงานจะใช้ในการกำหนดระดับการใช้พลังงานในระบบ

5) **สงวน ตั้งโพธิธรรม** (2529) จากการศึกษาวิทยานิพนธ์ เรื่อง การศึกษาการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอ ได้ทำการสรุปวิเคราะห์ระบบพลังงานของโรงงาน โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ภาค คือ ภาคไฟฟ้าและความร้อน โดยภาคไฟฟ้าจะเน้นเรื่องเส้นกราฟของโหลด ระบบแสงสว่าง และระบบปรับอากาศ ส่วนภาคความร้อนจะเน้นเรื่องประสิทธิภาพของการ

สันดาปและการใช้ไอน้ำ จากการศึกษาพบว่าแนวทางที่สามารถประหยัดพลังงานในระบบต่างๆ ได้ประมาณ 10% ของพลังงานทั้งหมดที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ได้แสดงให้เห็นว่าแนวทางในการประหยัดพลังงานเหล่านี้ มีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) ที่สั้น

6) **พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์** (2548) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์สำคัญอยู่ที่การศึกษา และวิเคราะห์ประสิทธิภาพพลังงานใน อุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนต้นน้ำของประเทศไทยโดยใช้ดัชนีดิวิเซีย (Divisia Index) เป็นเครื่องมือใน การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มพลังงาน (Energy Intensity) และ การเปลี่ยนแปลงมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ ซึ่งผลของการวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำไปใช้เป็นฐานข้อมูล สำหรับจัดทำข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการจัดการด้านพลังงานของอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนต้นน้ำ สำหรับข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการจัดการด้านพลังงานนั้นถูกรวบรวมขึ้นมาจาก กรณีศึกษา โครงการด้านพลังงานที่สำคัญ และเทคนิคการจัดการด้านวิศวกรรมแบบต่างๆ ซึ่งเทคนิคหนึ่งที่ นำมาใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพพลังงานคือการใช้วิศวกรรมคุณค่าหรือการวิเคราะห์คุณค่า (Value Engineering, VE หรือ Value Analysis, VA) ได้ถูกนำไปใช้ในโครงการต่างๆ โดยมี จุดประสงค์เพื่อลดต้นทุนอย่างเป็นระบบโดยคงคุณภาพไว้ แนวคิดหลักของวิศวกรรมคุณค่า คือ การมีจิตสำนึกเกี่ยวกับประโยชน์การใช้งาน และต้นทุน ซึ่งสามารถแสดงออกมาในรูปของคุณค่า และการอนุรักษ์พลังงานที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปใช้เป็นค่าประเมินในการประเมินการอนุรักษ์พลังงาน ในส่วนของการวิเคราะห์สถานการณ์ต่อไป

7) **รัชฎา พิทยานนท์** (2548) วิทยานิพนธ์เรื่อง การศึกษาประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนปลายน้ำ : การประยุกต์กับประสิทธิภาพของการอนุรักษ์พลังงาน สรุปได้ว่า วัตถุประสงค์สำคัญอยู่ที่การศึกษา และวิเคราะห์แนวโน้มประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนปลายน้ำของประเทศไทย โดยใช้ดัชนีดิวิเซีย (Divisia Index) เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มพลังงาน (Energy Intensity) ซึ่งผลการวิเคราะห์จะถูกนำไปเชื่อมโยงกับข้อมูลทางเศรษฐศาสตร์ และพลังงาน เพื่อจัดทำข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการจัดการด้านพลังงานของอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนปลายน้ำซึ่งประกอบไปด้วยอุตสาหกรรมเสื้อผ้าที่ผลิตจากผ้าถัก และอุตสาหกรรมเสื้อผ้าที่ผลิตจากผ้าทอ ประสิทธิภาพพลังงานในอุตสาหกรรมสิ่งทอส่วนปลายน้ำทั้งหมดนี้ยังถือได้ว่าขาดประสิทธิภาพ และมีโอกาสที่จะเพิ่มสูงขึ้นในทุกแหล่งพลังงาน

สำหรับข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการจัดการด้านพลังงานนั้นถูกรวบรวมขึ้นมาจากกรณีศึกษา โครงการด้านพลังงานที่สำคัญ และเทคนิคการจัดการด้านวิศวกรรมแบบต่างๆ ซึ่งค่าการอนุรักษ์พลังงานที่เกิดขึ้นจะถูกนำไปใช้เป็นค่าประเมินในการประเมินการอนุรักษ์พลังงานในส่วนของการ

วิเคราะห์สถานการณ์ ซึ่งเป็นส่วนที่จัดทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์ความไม่แน่นอนของเหตุการณ์ในอนาคตที่ส่งผลต่อความสามารถในการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งผลของการวิเคราะห์สถานการณ์ชี้ให้เห็นว่าการดำเนินการ และความสามารถในการปรับปรุงค่าความเข้มพลังงานในสถานการณ์ต่างๆ จะแตกต่างกันออกไป และกลไกที่สำคัญในแต่ละสถานการณ์ก็แตกต่างกันออกไปด้วย

8) **William Chung, Y.V. Hui, Y. Miu Lam** (2548) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเรื่อง Benchmarking the energy efficiency of commercial buildings ซึ่งงานวิจัยนี้อธิบายถึงกระบวนการในการหาเกณฑ์สำหรับบอกประสิทธิภาพของพลังงานโดยใช้ค่า means ในการใช้สถิติแบบ Multiple regression analysis ซึ่งบอกความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการใช้พลังงาน (EUIs) กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (เช่น ชั่วโมงการทำงาน)

จากการใช้ Regression model พบว่าค่าความเข้มการใช้พลังงานเป็น normal โดยการที่กำจัดปัจจัยที่ส่งผลต่อ Explanatory factor ออกแล้ว และเมื่อนำค่าการกระจายตัวสะสมของ Normal EUI จะให้ตาราง Benchmark เพื่อเป็นเกณฑ์ในการสังเกตค่า EUI

ข้อดีของงานวิจัยนี้คือให้ตารางแสดงค่าที่เป็นการกระจายตัวปกติของค่า EUI เมื่อนำมาคำนวณกับ Explanatory factor ที่มีผลต่อการใช้พลังงานโดยการนำไปใช้ในซุปเปอร์มาร์เก็ต โดยปัจจัยที่ได้นำมาศึกษาและมีผลต่อการใช้พลังงานคือ

- อายุอาคาร
- พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร
- จำนวนลูกค้าที่มาใช้บริการต่อปี
- ชั่วโมงการทำงานต่อปี
- พฤติกรรมการปฏิบัติและบำรุงรักษา
- ชนิดของระบบทำความเย็นภายในอาคาร

9) **การรุณย์ ศุภมิตรโยธิน** (2550) จากผลการศึกษาพบว่าปัจจัยการออกแบบอาคารที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน ประกอบด้วย

- อัตราส่วนพื้นที่ผิวอาคารภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอย ซึ่งเกี่ยวข้องกับลักษณะรูปทรงอาคาร พื้นที่ใช้สอย และจำนวนชั้น เช่น อาคารรูปทรงกระบอกความกว้างและความสูงใกล้เคียงกันพื้นที่ใช้สอย 10,000 ตารางเมตร ที่มีอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยเท่ากับ 0.59 จะมี

ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานสูงสุด สำหรับอาคารทรงสี่เหลี่ยมพื้นผ้ามีคอร์ดกลาง ค่าอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อพื้นที่ใช้สอยเท่ากับ 2.3 มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานต่ำสุด

- วัสดุเปลือกอาคารต้องสามารถลดการถ่ายเทความร้อยเข้าสู่อาคาร โดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U-Value) ของวัสดุควรมีค่าต่ำ เช่น ผนัง EIFS (0.06 Btu/h.sq.ft F) เป็นต้น

- การใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ พิจารณาจากอัตราส่วนปริมาณพลังงานที่เพิ่มขึ้นจากช่องแสงต่อพลังงานที่ประหยัดลงได้เนื่องจากการใช้แสงธรรมชาติ ซึ่งอัตราส่วนนี้มีควรค่าน้อยกว่า 1 (อัตราส่วนที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดคือ 0.8)

ทั้งนี้ผลการศึกษาดังกล่าว ได้ระบุถึงศักยภาพในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพของอาคารที่คำนึงถึงการออกแบบอย่างประหยัดพลังงาน จะสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ถึง 41 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับอาคารที่ไม่มีการคำนึงถึงปัจจัยการประหยัดพลังงานในขั้นตอนการออกแบบ อย่างไรก็ตามงานวิจัยดังกล่าวได้พิจารณาเฉพาะตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนผ่านเปลือกอาคารเท่านั้น

10) Andy Hrtley (2545) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมขวดแก้วโดยหาปัจจัยที่มีผลต่อ การใช้พลังงานที่เตาหลอม เพื่อหาจุดที่เหมาะสมในการควบคุมเตาหลอมและใช้พลังงานเชื้อเพลิง ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เมื่อพิจารณาตามหลักทฤษฎีแล้วพบว่าพลังงานที่ใช้ในการหลอมแก้วมี 3 องค์ประกอบ คือ

1. พลังงานความร้อนทางเคมีเพื่อใช้ในการทำปฏิกิริยาทางเคมี ซึ่งใช้พลังงานประมาณ 155 kWh ต่อแก้ว1 ตัน

2. พลังงานความร้อนที่ใช้เพื่อให้วัตถุดิบเกิดการหลอมเป็นน้ำแก้ว ที่อุณหภูมิ 1300 องศาเซลเซียส เรียกพลังงานนี้ว่า “ Sensible Heat ” ซึ่งใช้พลังงานประมาณ 440 kWh ต่อแก้ว1 ตัน

3. พลังงานความร้อนที่ต้องใช้เพื่อทดแทนความร้อนที่สูญเสียออกไปจาก Waste heat ซึ่งใช้พลังงานประมาณ 170 kWh ต่อแก้ว1 ตัน

จากนั้นนำมาหาสมการการใช้พลังงานของเตาเผาได้สมการคือ

Furnace Energy = Holding Heat + Cullet Glass x Constant + Virgin Glass x Constant (2.9)

โดย พลังงานที่เตาหลอมใช้นั้นไม่รวมพลังงานไฟฟ้าและเมื่อพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานของเตาหลอม พบว่ามีปัจจัยดังนี้

- อุณหภูมิของเตาหลอม
- ความชื้นในวัตถุดิบและเศษแก้ว (Cullet)
- อายุเตาหลอม

2.7.2 แนวทางการศึกษาเกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานในประเทศไทยและต่างประเทศ

1) อมรรัตน์ แก้วประดับ และ พิชัย นามประกาย (2548) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิเคราะห์การใช้พลังงาน นำเสนอแนวทางการประหยัด พลังงาน และวิธีการหาค่า SEC ในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทโลหะ ซึ่งหมายถึง ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตต่อหนึ่งหน่วยของผลผลิตที่ได้จากกระบวนการผลิตนั้น ๆ ซึ่งอาจ เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$SEC = \frac{E}{P} \quad (2.10)$$

โดยค่า SEC = ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน

E = ปริมาณพลังงานที่โรงงานใช้ในเดือนนั้น

P = ปริมาณผลผลิตในช่วงเดียวกัน

เนื่องจากเป็นโรงงานที่มีการใช้ทั้งพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ทำให้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางสำหรับโรงงานประเภทอื่นๆได้ จากผลการศึกษาพบว่าลักษณะการใช้พลังงานภายในโรงงานประกอบด้วย 2 ส่วนด้วยกันคือ การใช้พลังงานไฟฟ้าและการใช้พลังงานความร้อน จากผลการวิเคราะห์การใช้พลังงานในโรงงานดังกล่าวจึงนำเสนอมาตรการประหยัดพลังงานทางด้านไฟฟ้า ได้แก่ แนวทางการประหยัดพลังงานสำหรับเครื่องอัดอากาศ และการลดค่าใช้จ่ายของโรงงานได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

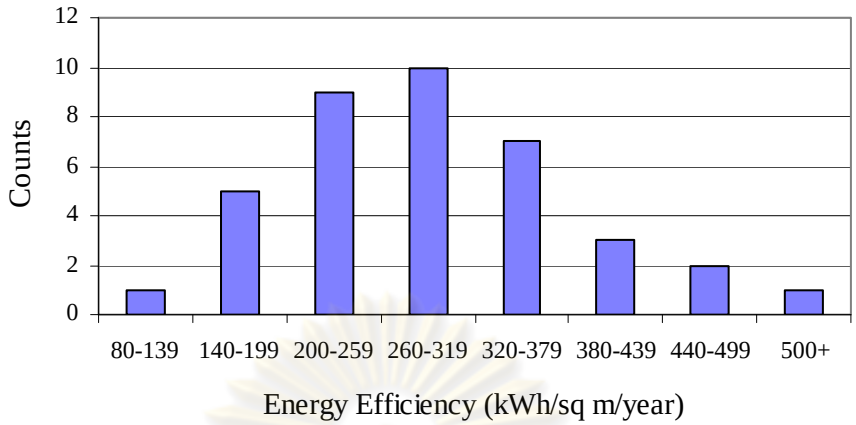
2) **รุ่งชัย วิจิตรยืนยง** (2549) จากวิทยานิพนธ์เรื่อง การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในโรงงานประกอบวงจรรวม สรุปได้ว่า การศึกษาโครงสร้างการใช้พลังงานและละเสนอแผนการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในโรงงานผลิตวงจรรวม โดยศึกษากระบวนการผลิต และเก็บรวมรวบข้อมูลด้านการผลิต กำลังการผลิต และการใช้ พลังงานของโรงงานกรณีศึกษา นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิต (SEC) ในปี พ.ศ. 2548 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.506 เมกะจูล/ชิ้น (หน่วยผลผลิตเทียบเท่า) จากนั้นเริ่มคิดหามาตรการอนุรักษ์พลังงานและการประหยัดพลังงาน โดยจัดตั้งคณะกรรมการอนุรักษ์ พลังงาน และนำไปสู่แนวคิดในการอนุรักษ์พลังงาน เช่น การควบคุมการเปิด-ปิดเครื่องจักรให้เป็นไปตามแผนการผลิตและอื่นๆ แล้วนำข้อมูลมาเปรียบเทียบ ปรากฏว่า มีค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (SEC) ลดลงเหลือ 0.452 เมกะจูล/ชิ้น(หน่วยผลผลิตเทียบเท่า)

3) **กรกมล ตันติวนิช** (2549) เรื่อง การจัดทำเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในกรุงเทพฯจากผลการศึกษา “การจัดทำเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในกรุงเทพฯ” ได้นำเสนอเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในเขตกรุงเทพมหานคร ในหน่วยกิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อปีและกิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อเดือน โดยได้เก็บข้อมูลอาคารสำนักงานที่เป็นอาคารควบคุม และเป็นอาคารสูงมากกว่า 15 ชั้น ใช้ระบบปรับอากาศในอาคารแบบรวมศูนย์ จำนวนทั้งสิ้น 41 อาคาร โดยสามารถวิเคราะห์หาค่าเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารสำนักงานได้ดังนี้

ตารางที่ 2.1 ผลการศึกษาหาเกณฑ์การใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน 40 แห่ง

เกณฑ์การใช้พลังงาน	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าเฉลี่ยมัธยฐาน (Median)	SD
kWh/m^2/year	90	488	233	225	89

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



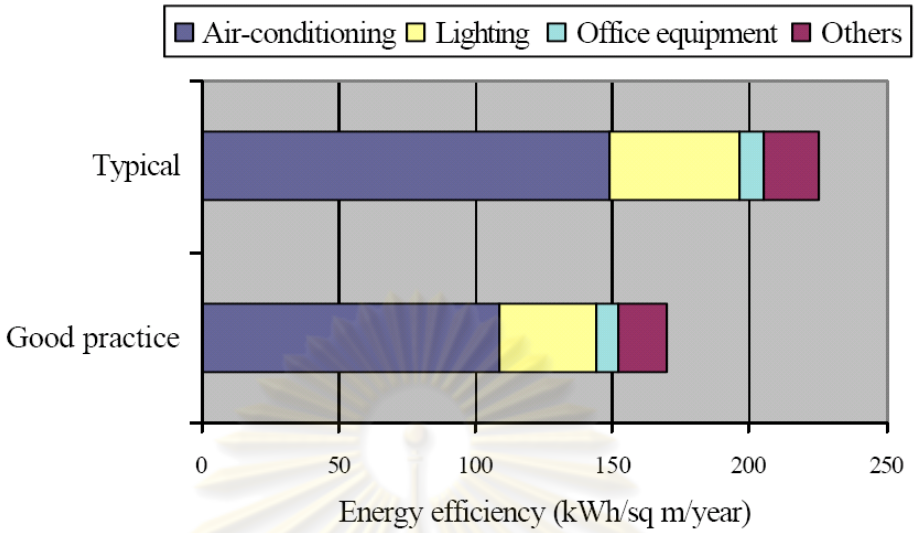
รูปที่ 2.7 การกระจายตัวของเกณฑ์การใช้พลังงานของกลุ่มอาคารตัวอย่าง

นอกจากนี้ผลการศึกษายังได้จัดแบ่งลักษณะการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานออกเป็น อาคารที่มีการดำเนินงานที่ดี (Good Practice) และอาคารทั่วไป (Typical) ซึ่งอาคารทั้ง 2 ประเภท จะมีเกณฑ์การใช้พลังงานที่แตกต่างกัน คือมีค่าประมาณ 170 kWh/m^2/year และ 225 kWh/m^2/year ตามลำดับ โดยสามารถแบ่งสัดส่วนเกณฑ์การใช้พลังงานในแต่ละประเภทอาคารได้ดังนี้

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคาร Good Practice และอาคาร Typical

Systems	Good Practice	Typical
	(kWh/m2/year)	(kWh/m2/year)
Air-conditioning	109	149
Lighting	35	47
Office equipment	8	9
Others	19	20
Total	170	225

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.8 สัดส่วนการใช้พลังงานระบบต่างๆ

ผลการศึกษาได้สรุปไว้ว่า เพื่อริเริ่มให้มีการบริหารจัดการพลังงานในอาคารสำนักงานอย่างเป็นระบบ เกณฑ์การใช้พลังงานสามารถใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการประเมินการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานต่างๆ โดยใช้หลักการเปรียบเทียบกับการกำหนดเกณฑ์การใช้พลังงานของกลุ่มอาคารสำนักงาน (Benchmark)

3) H. sun et al., (2549) จากงานวิจัยเรื่อง Building energy performance benchmarking and simulation under tropical climatic conditions ได้ศึกษาการจัดทำเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานในประเทศสิงคโปร์ โดยวิธีที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้แก่ การจัดทำแบบสอบถามโดยทำการสัมภาษณ์ทางโทรศัพท์และออกสำรวจตามอาคารต่างๆ ซึ่งข้อมูลที่รวบรวมจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

<u>ส่วนที่ 1</u> ข้อมูลทั่วไปของอาคาร ได้แก่ อายุอาคาร ลักษณะการใช้งานในอาคาร ชนิดของระบบปรับอากาศ ระบบที่ใช้ควบคุมอาคาร ชั่วโมงการทำงาน

<u>ส่วนที่ 2</u> การใช้พื้นที่ภายในอาคารซึ่งรวมถึงพื้นที่อื่นๆ ซึ่งมีความหลากหลายในการใช้งานในพื้นที่นั้นๆ พื้นที่ใช้สอยจริง จำนวนพนักงาน และจำนวนคอมพิวเตอร์

<u>ส่วนที่ 3</u> ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ทั้งหมด

จากข้อมูลแบบสอบถามตัวแปรที่นำมาพิจารณาสำหรับงานวิจัยนี้มีดังนี้

- อายุอาคาร (ปี)
- ประเภทการใช้งานในอาคาร (อาคารราชการและอาคารเอกชน)
- ลักษณะการใช้งาน (อาคารสำนักงานและอาคารสำนักงานที่มีร้านค้า)
- พื้นที่ปรับอากาศ (ตารางเมตร)
- พื้นที่ใช้สอย (ตารางเมตร)
- ร้อยละของพื้นที่ใช้สอยจริง (%)
- ความหนาแน่นของพนักงานในอาคาร (จำนวนพนักงานต่อพื้นที่ 100 ตารางเมตร)

หลังจากทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานคือ พื้นที่ใช้สอยและประเภทการใช้งานอาคาร ที่ระดับความเชื่อมั่น 89%

4) Chales Freeman & Johns Manville (2547) งานวิจัยนี้กล่าวถึงภาพรวมของประสิทธิภาพการใช้พลังงานและความต้องการในอนาคต สำหรับกระบวนการหลอมและให้ความร้อนของอุตสาหกรรมแก้วและกระจก ซึ่งในปัจจุบันค่า Specific Energy consumption (SEC) ของอุตสาหกรรมกลุ่มนี้มีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องจากใน อดีต จึงเป็นการชี้ให้เห็นว่าอุตสาหกรรมแก้วและกระจกมีการปรับปรุงการใช้พลังงานให้มี ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยค่า SEC ในกระบวนการหลอมแก้วตามทฤษฎีนั้นอยู่ที่ ประมาณ 2.2 MMBTU/ton แต่ค่า SEC ในกระบวนการหลอมแก้วจริงอยู่ที่ประมาณ 3.8 – 10 MMBTU/ton ซึ่งค่าพลังงานเป็นต้นทุนในการผลิตประมาณ 15% โดย กระบวนการหลอมและขึ้น รูปคิดเป็น 7-10% ของต้นทุนทั้งหมด ส่วนอุปกรณ์และ Utility อื่นๆ คิดเป็น 5% ของต้นทุนทั้งหมด 45 แรงผลักดันที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในอุตสาหกรรมแก้วและกระจกคือ

- ต้นทุนด้านพลังงานที่สูงขึ้น
- การควบคุมสิ่งแวดล้อมที่เข้มงวดมากขึ้น
- การต่อต้านก๊าซเรือนกระจก
- การแข่งขันกับวัสดุประเภทอื่นที่สามารถนำมาทดแทนการใช้แก้วและกระจกได้
- การแข่งขันจากการลดต้นทุนในอุตสาหกรรมแก้วและกระจก

นอกจากนี้ยังได้เสนอกลยุทธ์เพื่อประหยัดพลังงาน ดังนี้

- พัฒนาฉนวนกันความร้อน
- พัฒนาประสิทธิภาพในการเผาไหม้

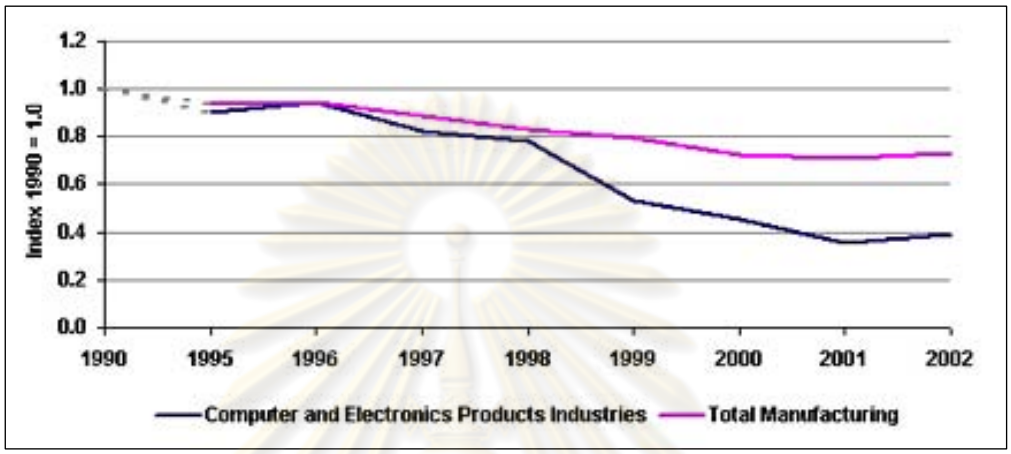
- นำความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้กลับมาใช้ (Recycling)
- การพัฒนาเทคนิคในกระบวนการผลิตและการควบคุมกระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพ
- การใช้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง เช่น Electric Boosting , Bubbling , Control เป็นต้น
- การนำเทคนิคแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์มาใช้ในการพัฒนากระบวนการผลิตแบบใหม่ๆ
- การพัฒนาเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดและควบคุมการผลิต

5) Federspiel C, Zhang Q, Arens E. (2545) ได้ทำการศึกษาเรื่อง Model – based benchmarking with application to laboratory building พบว่า เกณฑ์การวัดประสิทธิภาพของการใช้พลังงาน สามารถใช้ในการติดตามการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพของพลังงานได้ ซึ่ง Model ของเกณฑ์การวัดประสิทธิภาพของพลังงานนั้น พัฒนามาจากตัวชี้วัดการใช้พลังงานที่มีคุณภาพ

6) ดัชนีการใช้พลังงานของกลุ่มอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศแคนนาดา

จากการสำรวจข้อมูลด้านการใช้พลังงาน (Energy Intensity) ของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของประเทศต่างๆ ในขณะนี้พบว่าที่ประเทศแคนนาดา โดยสำนักงานประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Office of Energy Efficiency: OEE) ได้รายงานดัชนีความเข้มของการใช้พลังงาน (Energy Intensity) หรือ ดัชนีการใช้พลังงานต่อมูลค่าผลิตภัณฑ์ภายในประเทศ (Energy use per dollar of Gross Domestic Product: GDP) ของอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ระหว่างปี ค.ศ. 1995 ถึง 2002 ไว้ในบทความ “Energy Efficiency: Up Close-Industrial Sector” เรื่อง “Energy Use and Greenhouse Gas Emissions, 1990 and 1995 to 2002” เมื่อเดือนมิถุนายน ค.ศ. 2004 บทความดังกล่าวได้รายงานผลการลดลงของค่าดัชนีฯอย่างต่อเนื่อง ดังแสดงในรูปที่ 3.11 โดยใช้ปี ค.ศ. 1990 เป็นปีฐาน และพบว่าค่าดัชนีฯมีค่าลดลงกว่าร้อยละ 60 ระหว่างปี ค.ศ. 1990 และปี ค.ศ. 2002 โดยเฉลี่ยมีค่าลดลงร้อยละ 8 ของทุกปี และในระหว่างปี ค.ศ. 2001 และปี ค.ศ. 2002 ดัชนีฯลดลงร้อยละ 14

อย่างไรก็ดี บทความยังได้ระบุหมายเหตุของการสำรวจนี้ ก็คือข้อจำกัดด้านข้อมูลและไม่พิจารณาการผสมของผลิตภัณฑ์ (Mix of products) หรือมีการผลิตจำนวนชนิดผลิตภัณฑ์มากกว่าหนึ่ง



รูปที่ 2.9 ดัชนีความเข้มของการใช้พลังงานของอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ในประเทศแคนนาดาระหว่างปี ค.ศ. 1995 ถึง 2002 (เส้นทึบล่างหมายถึงอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์และอิเล็กทรอนิกส์ และเส้นประบนคืออุตสาหกรรมรวม)

2.7.3 แนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสมการถดถอย

1) **พงษ์ศักดิ์ พุทธวงศ์** (2546) จากการศึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงศึกษา ความต้องการไฟฟ้าในอุตสาหกรรมผลิตโลหะ, อุตสาหกรรมผลิตปูนซีเมนต์และภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทย โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาความ ต้องการพลังงานไฟฟ้าของภาคอุตสาหกรรมในประเทศไทยกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความต้องการ พลังงานไฟฟ้า การพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าสูงสุดระหว่างปี พ.ศ. 2545 ถึง 2551 โดยใช้วิธีการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์สมการพหุคูณ หรือสมการถดถอยชนิดหลายตัวแปร (Multiple Regression Analysis) โดยแบบจำลองทางสถิติ จากความสัมพันธ์ของตัวแปรในแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์ จะ ได้ว่า

$$D_{es} = a + bP_e + cP_f + dR + eQ_s + U$$

เมื่อกำหนดให้

D_{es} = ปริมาณความต้องการใช้ไฟฟ้าของอุตสาหกรรม

P_e = ราคาไฟฟ้าเฉลี่ย

P_f = ราคาก๊าซเฉลี่ย

R = อัตราดอกเบี้ยเงินกู้เฉลี่ย

Q_s = ปริมาณผลผลิตของอุตสาหกรรม

U = ค่าความผิดพลาด (Disturbance Term)

a = ค่าคงที่ (Constant)

b,c,d,e = สัมประสิทธิของตัวแปรต่างๆ (Coefficients)

ผลการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่ออุปสงค์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของอุตสาหกรรมผลิตโลหะและปูนซีเมนต์ มีดังนี้ ราคาไฟฟ้าเฉลี่ย ราคาก๊าซเฉลี่ย และปริมาณผลผลิต ของอุตสาหกรรม ได้ค่าความหยืดหยุ่นของอุปสงค์ต่อราคาไฟฟ้า มีค่าเท่ากับ -1.565 ของอุตสาหกรรม ผลิตโลหะ และ -0.783 ของอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ค่าความยืดหยุ่นของอุปสงค์ต่อผลผลิต มีค่า เท่ากับ 0.11 ของอุตสาหกรรมผลิตโลหะ และค่าความยืดหยุ่นของอุตสาหกรรมผลิตนซีเมนต์ มีค่า เท่ากับ 0.449 และค่าความยืดหยุ่นของอุปสงค์ต่อราคาก๊าซของอุตสาหกรรมผลิตโลหะและปูนซีเมนต์ มีค่าเท่ากับ 0.617 และ 0.332 ผลของการพยากรณ์ความต้องการพลังงานไฟฟ้าของภาคอุสาหกรรม อุตสาหกรรมผลิตโลหะและอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ ในช่วง พ.ศ. 2545-2551 มีอัตราการ ขยายตัวเฉลี่ยร้อยละ 4.52, 3.90 และ 3.52 ต่อปีตามลำดับ ผลของการพยากรณ์ความต้องการ กำลังไฟฟ้าสูงสุดของภาคอุตสาหกรรม มีอัตราการขยายตัวเฉลี่ยประมาณ 500 เมกะวัตต์ต่อปี

2) **วิรัชช พาณิชวงศ์** (2545) ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์การถดถอย คือการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรหนึ่ง เรียกว่าตัวแปรตามหรือตัวแปรตอบสนอง (dependent variable or response variable) และตัว แปรอื่นหนึ่งตัวหรือมากกว่าหนึ่งตัว เรียกว่า ตัวแปรอิสระหรือตัวพยากรณ์ (independent variable or predictor variable) มีวัตถุประสงค์ที่จะประมาณหรือพยากรณ์ค่าตัวแปรตามซึ่งเป็นตัวแปรสุ่ม จากตัวแปรอิสระ ซึ่งเป็นค่าที่ทราบค่าหรือค่าคงที่ (known or fixed values)

ตัวอย่าง นักเศรษฐศาสตร์การเกษตร สนใจที่จะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตข้าว กับอุณหภูมิ , ปริมาณน้ำฝน, ปริมาณแสงอาทิตย์ และปุ๋ย การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบนี้ อาจจะสามารถนำไปทำนายหรือพยากรณ์ผลผลิตเฉลี่ยของข้าวได้ เมื่อกำหนดตัวแปรอิสระต่างๆ มาให้

จากตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นว่า ตัวแปรหนึ่งตัวขึ้นกับตัวแปรอื่นๆ หนึ่งตัวหรือมากกว่าหนึ่ง ตัว ซึ่งอาจมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงหรือไม่เป็นเส้นตรง ดั้งนั้นจึงกล่าวได้ว่า การวิเคราะห์ถดถอย คือวิธีการหนึ่งสำหรับหาฟังก์ชันพยากรณ์ เพื่อที่จะพยากรณ์ตัวแปรสุ่ม Y จากตัวพยากรณ์ X_1, X_2,..., X_k ฟังก์ชันที่ใช้พยากรณ์นี้เรียกว่า ฟังก์ชันถดถอย (regression function) ของ Y บน X_1, X_2,..., X_k

การถดถอยอย่างง่ายและการถดถอยพหุคูณ

การถดถอยอย่างง่าย เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปร ส่วนการถดถอย พหุคูณ เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง 3 ตัวขึ้นไป โดยที่ตัวแปรหนึ่งคือ ตัวแปรตามตัวแปร อื่นๆเป็นตัวแปรอิสระ ซึ่งมีจำนวนตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป และในกรณีที่ตัวแปรอิสระเหล่านี้มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับตัวแปรตาม เรียกว่า การถดถอยเชิงพหุคุณ (multiple linear regressions)

การถดถอยเปรียบเทียบกับสหสัมพันธ์ (Regression VS Correlation)

การวิเคราะห์สหสัมพันธ์เกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับการวิเคราะห์การถดถอย แต่มีแนวคิด (Concept) แตกต่างกันมาก การวิเคราะห์สหสัมพันธ์มีจุดประสงค์ที่จะวัดระดับหรือองศาของ ความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่าง ตัวแปร 2 ตัว ดัชนีที่ใช้วัดความสัมพันธ์นี้เรียกว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient)

การถดถอยและสหสัมพันธ์มีพื้นฐานบางสิ่งที่แตกต่างกัน ในการวิเคราะห์การถดถอย ตัว แปรตามจะเป็นตัวแปรสุ่ม (Random or stochastic) จึงมีการแจกแจงความน่าจะเป็น ขณะที่ตัว แปรอิสระถูกสมมติให้มีค่าคงที่ (fixed values) สำหรับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์ เรากำหนดให้ตัว แปรทั้งสองสมมาตรกัน ไม่มีความแตกต่างระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ ตัวอย่างเช่น ความสัมพันธ์ระหว่างคะแนนวิชาสถิติและวิชาอังกฤษจะเหมือนกับความสัมพันธ์ระหว่างคะแนน วิชาอังกฤษและสถิติ นั่นคือตัวแปรทั้งสองถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรสุ่ม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การศึกษาการใช้พลังงานและวิธีการดำเนินการวิจัย

การศึกษาการใช้พลังงานและวิธีการดำเนินการวิจัยของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ในที่นี้ได้ทำการศึกษาวิจัย คือโรงงานประกอบวงจรรวม ซึ่งในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อจัดทำพัฒนาแบบจำลองการใช้เกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานด้วยเทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูป โดยมีขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานและนำมาวิเคราะห์ต่อ ซึ่งผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน
ขั้นตอนที่ 2 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน
ขั้นตอนที่ 3 การจัดหากิจกรรมกระบวนการผลิตของโรงงาน
ขั้นตอนที่ 4 การคิดคำนวณต้นทุนการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต
ขั้นตอนที่ 5 การจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานที่เหมาะสมต่อโรงงาน
ขั้นตอนที่ 6 การจัดทำแบบแผนส่งเสริมการใช้พลังงาน

การทำการศึกษาทั้ง 6 ขั้นตอนจะทำให้สามารถรู้ถึงผลที่เป็นปัจจัยต่อการใช้พลังงานได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เพื่อนำไปพัฒนาหาแบบจำลองการใช้พลังงานที่เหมาะสมในโรงงานที่ทำการศึกษาวิจัย

3.1 การศึกษาและรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน

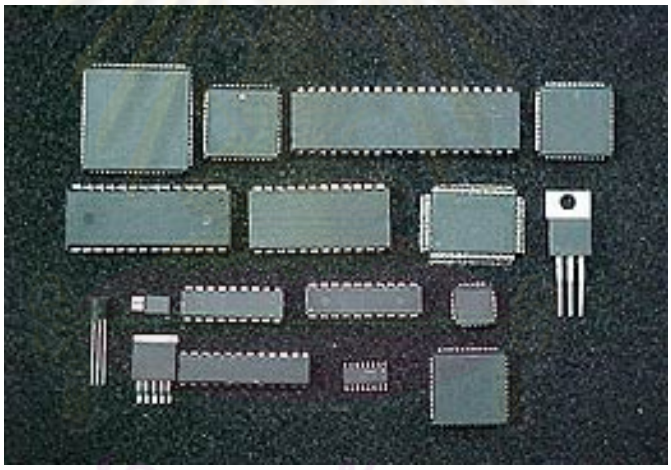
เป็นการศึกษาการใช้พลังงานในโรงงาน โดยทำการรวบรวมข้อมูลของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานและดูค่าสถิติการใช้พลังงานที่ผ่านมาของโรงงาน

3.1.1 ข้อมูลเบื้องต้นและสภาพทั่วไปของโรงงาน

โรงงานที่เข้าไปศึกษาเก็บข้อมูลวิจัย ก่อตั้งเมื่อปี 2533 ประเภทโรงงาน เป็นโรงงานควบคุม เพราะเป็นโรงงานที่มีการใช้พลังงานในปริมาณที่มาก แต่ก็มีศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงาน ซึ่งมีจำนวนพนักงานทั้งหมดประมาณ 810 คน มีพื้นที่รวมประมาณ 60,885 ตารางเมตร ทำการผลิตภัณฑ์ คือ วงจรรวม โดยมีวัตถุดิบหลัก คือ ลวดทอง พลาสติก แผ่นแฟรม

กาวอีพอกซี่ โดยทำการจำหน่ายให้แก่ลูกค้าทั้งในประเทศและต่างประเทศ วิทยานิพนธ์นี้จะศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนของโรงงานที่ผลิตหน่วยความจำเท่านั้น ซึ่ง ณ ปัจจุบัน บริษัทมีกำลังการผลิตอยู่ที่ประมาณ 2.8 พันล้านชิ้น/ปี แต่ผลผลิตจริงที่ได้อยู่ที่ประมาณ 3.3 พันล้านชิ้น/ปี ซึ่งจะแบ่งเวลาการทำงานเป็น 2 ฝ่าย คือ ฝ่ายผลิตกับฝ่ายสำนักงาน ฝ่ายผลิตจะทำงาน 2 กะ/วัน กะละ 12 ชั่วโมง ส่วนฝ่ายสำนักงานจะทำงาน 1 กะ/วัน กะละ 8 ชั่วโมง โดยจะมีค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อเดือนประมาณ 7,997,500 บาท พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในโรงงานแบ่งออกได้เป็น 2 หมวดใหญ่ๆ ดังต่อไปนี้

- พลังงานไฟฟ้าด้านกระบวนการผลิตต่างๆ
- พลังงานไฟฟ้าด้านอื่นๆ เช่น ระบบปรับอากาศ, ระบบไฟส่องสว่าง, ระบบการก่อให้เกิดพลังงานความร้อน, ระบบลมอัดอากาศ, ระบบลมสุญญากาศ



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์วงจรรวม (IC)

3.1.2 ข้อมูลการใช้พลังงานของอุปกรณ์หลัก

จำนวนหม้อแปลงทั้งหมด 7 ลูก มีพิกัดขนาดต่าง ๆ ดังนี้

1. พิกัด 2,500 kVA แรงดันไฟฟ้า 24 kV / 416 V. จำนวน 3 เครื่อง
2. พิกัด 2,000 kVA แรงดันไฟฟ้า 24 kV / 3,300 V. จำนวน 2 เครื่อง
3. พิกัด 1,600 kVA แรงดันไฟฟ้า 24 kV / 208 V. จำนวน 1 เครื่อง
4. พิกัด 1,250 kVA แรงดันไฟฟ้า 24 kV / 208 V. จำนวน 1 เครื่อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประเภทผู้ใช้ไฟฟ้า : อัตราแบบเปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลาของการใช้ (TOU Rated)

ข้อมูลการใช้พลังงานของอุปกรณ์หลัก

1) **ระบบอัดอากาศ** (Air Compressor) **จำนวนทั้งหมด**

- ชนิด Centrifugal ขนาด 597 kW จำนวน 2 เครื่อง
- ชนิด Centrifugal ขนาด 560 kW จำนวน 1 เครื่อง
- ชนิด Centrifugal ขนาด 298 kW จำนวน 2 เครื่อง

ปกติเปิดใช้งาน จำนวน 2 เครื่อง ดังนี้

- ขนาด 597 kW จำนวน 2 เครื่อง หรือ 560 และ 597 kW ขึ้นอยู่กับความต้องการในกระบวนการ

2) **ระบบปรับอากาศ** (Air Split type) **และผลิตน้ำเย็น** (Chiller)

- ระบบผลิตน้ำเย็น ชนิด Centrifugal ขนาด (900TR) 611 kW จำนวน 2 เครื่อง
- ระบบผลิตน้ำเย็น ชนิด Centrifugal ขนาด (800TR) 587 kW จำนวน 1 เครื่อง
- ระบบผลิตน้ำเย็น ชนิด Centrifugal ขนาด (788TR) 447 kW จำนวน 1 เครื่อง

ปกติเปิดใช้งาน จำนวน 2 เครื่อง ดังนี้

- ขนาด 900 และ 788 TR หรือ ขนาด 900 และ 800 TR ขึ้นอยู่กับความต้องการในกระบวนการ

3) **ระบบหอผึ่งน้ำ** (Cooling Water)

แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ

3.1) **ระบบปรับอากาศ**

- ขนาด 22 kW จำนวน 3 เครื่อง
- ขนาด 37 kW จำนวน 1 เครื่อง
- ขนาด 45 kW จำนวน 1 เครื่อง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปกติเปิดใช้งาน จำนวน 3 เครื่อง ดังนี้

- ขนาด 22 kW จำนวน 2 เครื่อง หรือ ขนาด 37 kW จำนวน 1 เครื่อง ขึ้นอยู่กับความต้องการในกระบวนการ

3.2) **ระบบอัดอากาศ**

- ขนาด 11 kW จำนวน 2 เครื่อง

ปกติเปิดใช้งาน จำนวน 1 เครื่อง ดังนี้

- ขนาด 11 kW จำนวน 1 เครื่อง การปรับเปลี่ยนภาระขึ้นอยู่กับความต้องการในกระบวนการ

4) Heater **ไฟฟ้า**

- ขนาด 66 kW จำนวน 10 เครื่อง

ปกติเปิดใช้งาน จำนวน 10 เครื่อง การใช้งานปรับเปลี่ยนภาระขึ้นอยู่กับความต้องการในกระบวนการ

5) **มอเตอร์ไฟฟ้า**

- ขนาด <10 kW ชนิด AC Motor. จำนวน 197 เครื่อง
- ขนาด 10-50 kW ชนิด AC Motor. จำนวน 92 เครื่อง
- ขนาด 50-100 kW ชนิด AC Motor. จำนวน 6 เครื่อง
- ขนาด 100-500 kW ชนิด AC Motor. จำนวน 3 เครื่อง
- ขนาด >500 kW ชนิด AC Motor. จำนวน 6 เครื่อง

ปกติจะมีการเปิดใช้งานมอเตอร์ประมาณร้อยละ 80 ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับสภาวะความต้องการในระบบการผลิต

3.1.3 ข้อมูลพื้นที่ที่มีการใช้พลังงาน

3.1.3.1 พื้นที่ที่มีการใช้ระบบปรับอากาศ

(1) พื้นที่ที่ใช้เพื่อการผลิต จำแนกเป็น Clean Rooms และ Non-Clean Rooms ณ ปัจจุบัน โรงงานมีพื้นที่การผลิต ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 พื้นที่ที่ใช้เพื่อการผลิต

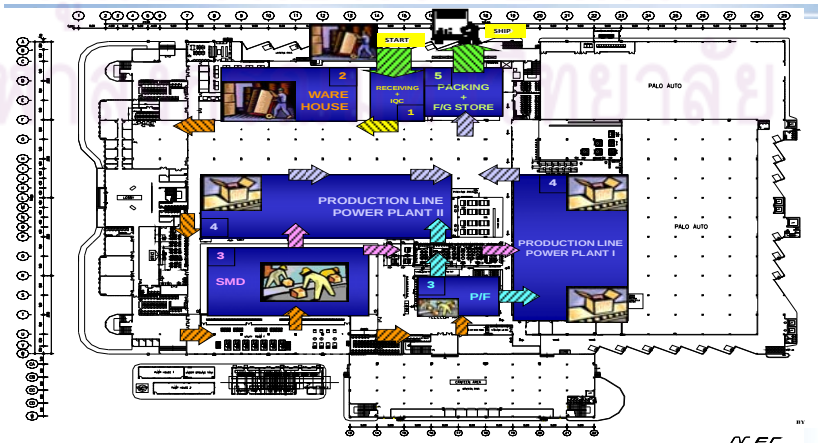
ประเภทพื้นที่การผลิต	Class	อุณหภูมิควบคุม (°C)	ความชื้น (%)	สูงเฉลี่ย (เมตร)	พื้นที่ (ตร.เมตร)	จำนวนคน
1. Clean-room ที่ 1	100k	22 – 26	45 - 55	3	7,269	
2. Clean-room ที่ 2	10k	22 - 26	45 - 55	3	17,518	
3.Non-Clean room		22 - 26	45 - 55	3	22,158	
รวมพื้นที่การผลิต					46,945	

(2) พื้นที่สนับสนุน

ตารางที่ 3.2 พื้นที่สนับสนุน

ประเภทพื้นที่การผลิต	อุณหภูมิควบคุม (°C)	ความชื้น (%)	สูงเฉลี่ย (เมตร)	พื้นที่ (ตร.เมตร)	จำนวนคน
1. สำนักงาน (Offices)	25	-	3	2,305	
2. ที่เก็บวัสดุคงคลัง (Inventory)	20 – 27	50	3	4,608	
3. ที่เก็บวัสดุกาก/ของเสีย	ธรรมชาติ	ธรรมชาติ		80	
4. ห้องอาหาร	25	-	3	2,194	
5. อื่นๆ				4,753	
รวมพื้นที่สนับสนุน				13,940	

รวมพื้นที่การผลิตและพื้นที่สนับสนุน เท่ากับ 60,885 ตารางเมตร

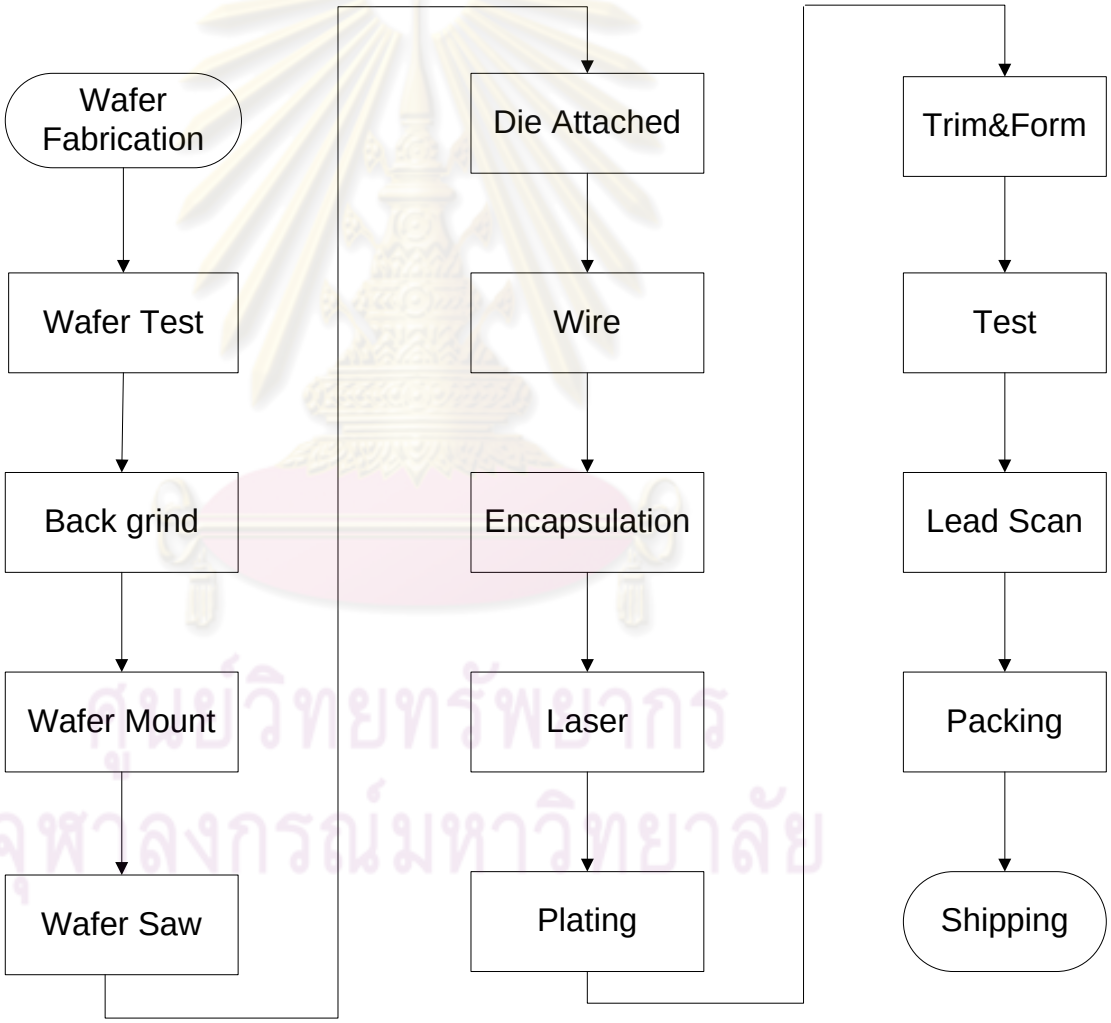


รูปที่ 3.2 ผังของโรงงานตัวอย่าง

เนื่องจากทางโรงงานได้เคยมีการเข้าร่วมโครงการการจัดการพลังงานเพื่อยกประสิทธิภาพการใช้พลังงานทั่วทั้งองค์กร จึงได้มีการจัดทำแผนผังการใช้พลังงาน (Energy Chart) (รายละเอียดแสดงอยู่ในภาคผนวก ก.) ซึ่งเป็นการบ่งชี้ถึงกระบวนการใช้พลังงานตั้งแต่ต้นจนจบกระบวนการ ช่วยในการวิเคราะห์การใช้พลังงานได้ครอบคลุมมากขึ้น

3.2 การจัดหากิจกรรมกระบวนการผลิตของโรงงาน

3.2.1 การวิเคราะห์กระบวนการผลิต (Process Flow)

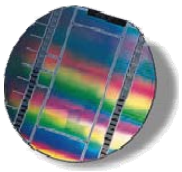


รูปที่ 3.3 กระบวนการผลิตของโรงงานผลิตวงจรรวม

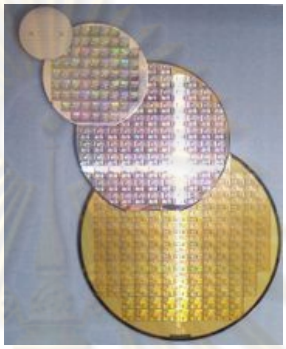
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Wafer Fabrication

เตรียมนำแผ่นเวเฟอร์ (Wafer) มาตรวจสอบคุณภาพ



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างแผ่นเวเฟอร์ (Wafer)



รูปที่ 3.5 แผ่นจานWafer ประเภทต่างๆ

Wafer Test (Probe)

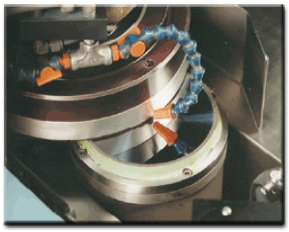
นำแผ่นเวเฟอร์ (Wafer) ที่ได้เตรียมไว้มาทดสอบคุณภาพ โดยการใช้ Probe card และทำการติดตั้งเครื่อง (ถ้าผลิตภัณฑ์ที่มีความแตกต่างกันก็จะมีการติดตั้งเครื่องที่แตกต่างกันด้วย) ซึ่งผลจากการทดสอบจะถูกบันทึกลงบนฐานข้อมูล เพื่อสำหรับใช้ในกระบวนการต่อไป

รูปที่ 3.6 เครื่องการทดสอบ

Back grind

ขั้นตอนการทำ Back grind นี้ เพื่อที่จะทำให้แผ่น wafer มีขนาดที่บางลงตามความหนาที่ต้องการสำหรับผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด โดยใช้ Tape ปิดด้านหน้าของแผ่น wafer แล้วทำการเจียระไนด้านหลังของแผ่น wafer ให้ได้ตามความหนาที่ต้องการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.7 กระบวนการทำ back grind

Wafer Mount

ขั้นตอนการเตรียมแผ่น wafer หลังจากการที่ตัดให้ได้ความหนาตามที่ต้องการแล้ว ทำการประกอบแผ่น wafer เข้ากับ Film Frame และทำการติดเทปด้านหน้าแผ่น wafer เพื่อป้องกันการแตกร้าว และจะต้องไม่มีฟองอากาศ

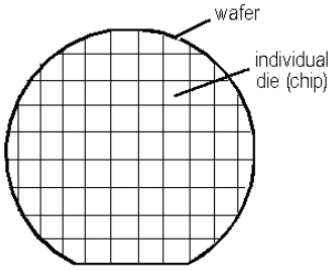
รูปที่ 3.8 กระบวนการเตรียมแผ่น wafer

Wafer Saw

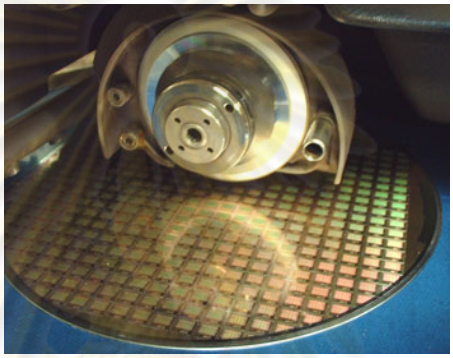
ดำเนินการตัดชิ้นงาน die หรือ Chip ตามรอยแบ่งบนแผ่น wafer

รูปที่ 3.9 กระบวนการตัด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 ภาพวาดแสดงการเรียก Chip หรือ Die



รูปที่ 3.11 การตัดแผ่น wafer

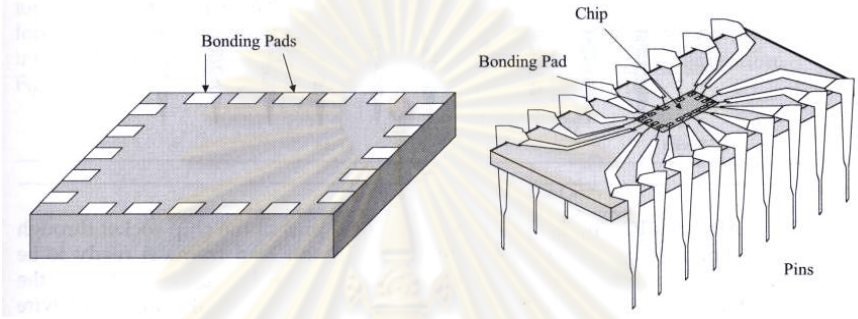
Die Attached

นำชิ้นงาน (เรียก Die หรือ Chip) ที่ได้จากขั้นตอนก่อน ไปเชื่อมติดกับ Lead frame (โครงขาโลหะ) ด้วย Epoxy ซึ่ง Epoxy นี้จะต้องครอบทั้ง 4 มุมของ Die แต่จะต้องไม่มากเกินกว่า 50% ของความสูง Die หลังจาก Attach แล้ว จะนำไป Cure เพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับ Epoxy เวลาที่ใช้ในการ Cure ขึ้นอยู่กับชนิดของ Epoxy

รูปที่ 3.12 กระบวนการยึด Die กับ Lead frame

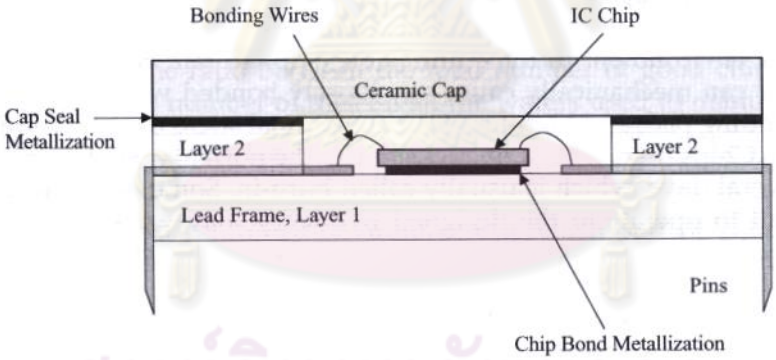
Wire

เชื่อมต่อวงจรระหว่าง Chip กับ Lead frame ด้วยลวดทองแดง ดังรูปที่ 3.13 (ก) แสดงภาพของ Bonding pad และ (ข) แสดงตำแหน่งที่วาง IC-Chip บน Bonding pad และเชื่อมติดกับขา (Pins) ด้วยทองแดง (Bonding wires) และรูปที่ 3.14 เป็นภาพตัดขวางการเชื่อมต่อระหว่าง IC Chip และขาต่างๆ (Pins) ด้วยทองแดง (Bonding wires)



(ก) Bonding pad (ข) IC Chip ติดบนBonding pad

รูปที่ 3.13 IC-Chip บน Bonding pad และเชื่อมติดกับขา (Pins) ด้วยลวดทอง (Bonding wires)



รูปที่ 3.14 ภาพตัดขวางแสดงการเชื่อมต่อระหว่าง IC Chipและขาต่างๆ (Pins) ด้วย Bonding wires

รูปที่ 3.15 การเชื่อมวงจรไฟฟ้าจาก Die เข้ากับ Lead Frame

Encapsulation

หุ้มห่อลำตัวของ IC-Chip และ Lead frame ด้วยสารประกอบพลาสติก (Plastic compound) หรือวัสดุเซรามิก เพื่อป้องกันความชื้นหรือความเสียหายจากแรงกระแทกภายนอก และจากสารเคมีในระหว่างการชุบเคลือบผิวที่ขาของ Lead frame

รูปที่ 3.16 เครื่องฉีดพลาสติก เพื่อเคลือบวงจรรวม

Laser

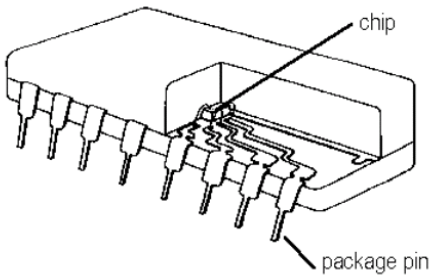
ทำเครื่องหมายตราหรือสัญลักษณ์บนวัสดุ (เช่น พลาสติก) ที่หุ้มห่อ IC ด้วยแสงเลเซอร์

รูปที่ 3.17 เครื่องพิมพ์ตัวหนังสือลงบนตัว IC

Plating

ชุบเคลือบผิวขา IC ด้วยดีบุก เพื่อป้องกัน Pin ไม่ให้เกิด Corrosion หรือ Oxidation ในอากาศ

รูปที่ 3.18 เครื่องเคลือบ IC ด้วยดีบุก



A Packaged IC

รูปที่ 3.19 ภาพตัดขวางภายในของ IC ที่ผ่านการห่อหุ้มด้วยดีบุกแล้ว

Trim & Form

เป็นขั้นตอนการตัดขาของ IC ออกจาก lead frame และทำการจัดรูปร่างของขาตามที่ต้องการ

รูปที่ 3.20 เครื่องตัดขา IC

Test

ทำการตรวจสอบหน้าที่และการทำงานของ IC

รูปที่ 3.21 ทดสอบการทำงานของตัว IC

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Lead Scan

เป็นขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงาน (Visual test) โดยใช้เครื่องจักร ซึ่งจะทำการตรวจสอบ lead pin & marking โดยต้องตรงกับข้อกำหนดของแต่ละผลิตภัณฑ์ เช่น ความสูงของขา IC และระยะระหว่างขา IC จะต้องห่างเท่าๆกัน

รูปที่ 3.22 ตรวจสอบความกว้างของขา IC

Packing

ทำการบรรจุผลิตภัณฑ์ลงใน Packing

รูปที่ 3.23 บรรจุสินค้า เพื่อจัดจำหน่าย

Shipping

จัดส่งสินค้าตามคำขอซื้อของลูกค้า

รูปที่ 3.24 ส่งสินค้าไปตามรายการสั่งซื้อ

3.3 การคิดคำนวณต้นทุนการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการคิดคำนวณหาต้นทุนการใช้พลังงานต่อหนึ่งหน่วยผลิตภัณฑ์ ซึ่งปรกติแล้วทางโรงงานจะมีการเก็บข้อมูลของการคิดคำนวณไว้ทุกๆ ปี เพื่อจะได้รู้ถึงต้นทุนพลังงาน

ที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งชิ้น โดยจะมีตัวชี้วัด คือ ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (Specific Energy Consumption: SEC) หมายถึงอัตราส่วนระหว่างการใช้พลังงานในการก่อให้เกิดผลผลิตและปริมาณผลผลิตที่ได้ แสดงได้ดังสมการที่ 3.1

$$\text{ดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (SEC)} = \frac{E}{Q} \qquad (3.1)$$

เมื่อ E = ปริมาณพลังงานที่ใช้ทั้งหมดของระบบ (kWh)

Q = ปริมาณผลผลิต (หน่วยผลิตภัณฑ์)

3.3.1 ข้อมูลการใช้พลังงานและผลผลิตรายปี

จะคำนวณหาค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (SEC) ได้ ต้องรู้ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการผลิตกับปริมาณผลผลิตที่ได้ ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลผลิตปี 49 - 52

เดือน/ปี	พลังงานไฟฟ้า(kWh)	ปริมาณผลผลิต (ล้านชิ้น)
ม.ค.-49	7,370,000	209
ก.พ.-49	7,318,000	241
มี.ค.-49	8,280,000	263
เม.ย.-49	7,566,000	287
พ.ค.-49	8,702,000	281
มิ.ย.-49	8,064,000	264
ก.ค.-49	7,858,000	244
ส.ค.-49	7,862,000	196
ก.ย.-49	8,003,000	212
ต.ค.-49	8,594,000	309
พ.ย.-49	8,309,000	286
ธ.ค.-49	8,044,000	304
ม.ค.-50	8,648,000	253

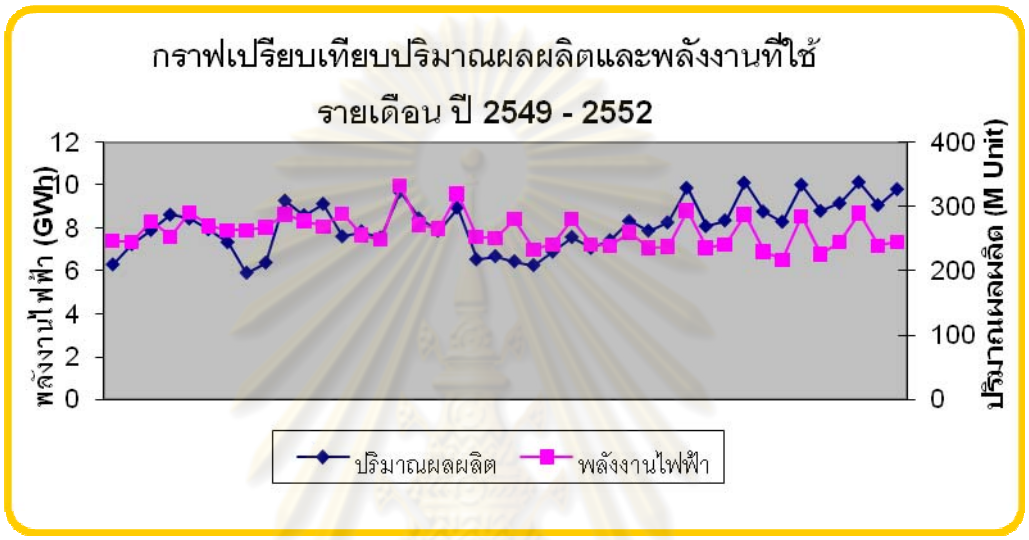
ตารางที่ 3.3(ต่อ) ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลผลิตปี 49 - 52

ก.พ.-50	7,654,000	261
มี.ค.-50	7,428,000	251
เม.ย.-50	9,930,000	323
พ.ค.-50	8,133,000	281
มิ.ย.-50	7,939,000	262
ก.ค.-50	9,555,000	298
ส.ค.-50	7,554,000	217
ก.ย.-50	7,507,000	222
ต.ค.-50	8,381,000	214
พ.ย.-50	6,964,000	208
ธ.ค.-50	7,203,000	229
ม.ค.-51	8,392,000	252
ก.พ.-51	7,203,000	235
มี.ค.-51	7,160,000	247
เม.ย.-51	7,771,000	277
พ.ค.-51	7,042,000	262
มิ.ย.-51	7,112,000	275
ก.ค.-51	8,795,000	329
ส.ค.-51	7,068,000	269
ก.ย.-51	7,210,000	278
ต.ค.-51	8,605,000	337
พ.ย.-51	6,867,000	292
ธ.ค.-51	6,503,000	276
ม.ค.-52	8,527,000	334
ก.พ.-52	6,771,000	293
มี.ค.-52	7,337,000	305
เม.ย.-52	8,673,000	338

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.3(ต่อ) ข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าและผลผลิตปี 49 - 52

พ.ค.-52	7,156,000	302
มิ.ย.-52	7,326,000	327



รูปที่ 3.25 กราฟการเปรียบเทียบผลผลิตและพลังงานที่ใช้

3.3.2 สถิติการใช้พลังงานต่างๆ และผลผลิตรายเดือนจำแนกตามระบบ

ซึ่งสามารถสรุปผลการศึกษา วิเคราะห์การใช้พลังงาน และค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิตในแต่ละเดือนตั้งแต่เดือน ม.ค. 2551 ถึง มิ.ย. 2552 ได้ดังตารางที่ 3.4-3.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.4 สถิติการใช้พลังงานต่างๆ และผลผลิตรายเดือนจำแนกตามระบบ ประจำปี 2551

รายการ	หน่วย	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
จำนวนวันทำงานต่อเดือน	วัน	31	28	31	30	31	30
ก) ระบบ Utilities							
1. ระบบเครื่องปรับอากาศ (HVAC)	kWh	2,983,346	2,560,658	2,545,371	2,762,581	2,503,422	2,528,307
2. ระบบอากาศอัดแรง (CDA)	kWh	1,154,897	991,268	985,351	1,069,436	969,112	978,745
3. ระบบแสงสว่าง (LT)	kWh	747,234	641,364	637,535	691,939	627,028	633,261
4. ระบบ DI	kWh	46,703	40,086	39,846	43,247	39,190	39,579
5. อื่นๆ	kWh	337,461	289,648	287,919	312,489	283,174	285,989
ข) กระบวนการผลิต							
1. กระบวนการผลิต IC	kWh	2,966,684	2,546,357	2,531,156	2,747,153	2,489,441	2,514,187
2. การทดสอบผลิตภัณฑ์ (Test)	kWh	155,676	133,619	132,822	144,156	130,633	131,931
ค) รวม (ก) และ (ข)	kWh	8,392,000	7,203,000	7,160,000	7,771,000	7,042,000	7,112,000
ง) ปริมาณการผลิต							
1. IC	ล้านชิ้น	252	235	247	277	262	275
จ) ค่าการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์	kWh / ชิ้น	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03

หมายเหตุ HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) , CDA (Clean Dry Air) , DI (ระบบน้ำ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.4(ต่อ) สถิติการใช้พลังงานต่างๆ และผลผลิตรายเดือนจำแนกตามระบบ ประจำปี 2551

รายการ	หน่วย	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
จำนวนวันทำงานต่อเดือน	วัน	31	31	30	30	30	31
ก) ระบบ Utilities							
1. ระบบเครื่องปรับอากาศ (HVAC)	kWh	3,126,612	2,512,665	2,563,146	3,059,067	2,441,210	2,311,808
2. ระบบอากาศอัดแรง (CDA)	kWh	1,210,358	972,690	992,232	1,184,210	945,028	894,935
3. ระบบแสงสว่าง (LT)	kWh	783,117	629,343	641,987	766,199	611,446	579,035
4. ระบบ DI	kWh	48,945	39,334	40,125	47,888	38,216	36,190
5. อื่นๆ	kWh	353,666	284,220	289,930	346,026	276,137	261,500
ข) กระบวนการผลิต							
1. กระบวนการผลิต IC	kWh	3,109,150	2,498,633	2,548,832	3,041,983	2,427,576	2,298,898
2. การทดสอบผลิตภัณฑ์ (Test)	kWh	163,152	131,115	133,749	159,627	127,386	120,634
ค) รวม (ก) และ (ข)	kWh	8,795,000	7,068,000	7,210,000	8,605,000	6,867,000	6,503,000
ง) ปริมาณการผลิต							
1. IC	ล้านชิ้น	329	269	278	337	292	276
จ) ค่าการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์	kWh / ชิ้น	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02

หมายเหตุ HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) , CDA (Clean Dry Air) , DI (ระบบน้ำ)

ตารางที่ 3.5 สถิติการใช้พลังงานต่างๆ และผลผลิตรายเดือนจำแนกตามระบบ ประจำปี 2552

รายการ	หน่วย	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.
จำนวนวันทำงานต่อเดือน		31	28	31	30	31	30
ก) ระบบ Utilities							
1. ระบบเครื่องปรับอากาศ (HVAC)	kWh	3,031,338	2,407,082	2,608,294	3,083,241	2,543,949	2,604,384
2. ระบบอากาศอัดแรง (CDA)	kWh	1,173,476	931,817	1,009,709	1,193,568	984,800	1,008,196
3. ระบบแสงสว่าง (LT)	kWh	759,254	602,898	653,295	772,254	637,179	652,316
4. ระบบ DI	kWh	47,454	37,682	40,832	48,267	39,824	40,770
5. อื่นๆ	kWh	342,889	272,277	295,037	348,760	287,758	294,594
ข) กระบวนการผลิต							
1. กระบวนการผลิต IC	kWh	3,014,409	2,393,639	2,593,728	3,066,022	2,529,742	2,589,839
2. การทดสอบผลิตภัณฑ์ (Test)	kWh	158,180	125,605	136,105	160,888	132,747	135,901
ค) รวม (ก) และ (ข)	kWh	8,527,000	6,771,000	7,337,000	8,673,000	7,156,000	7,326,000
ง) ปริมาณการผลิต							
1. IC	ล้านชิ้น	334	293	305	338	302	327
จ) ค่าการใช้พลังงานต่อผลิตภัณฑ์	kWh / ชิ้น	0.03	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02

หมายเหตุ HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) , CDA (Clean Dry Air) , DI (ระบบน้ำ)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.3 ผลผลิตรายปีและค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต

จากการศึกษาปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าปี พ.ศ. 2549 - 2551 เราสามารถนำมาเปรียบเทียบกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2552 ได้ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าและค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตในช่วงปี พ.ศ.2549 – 2551 เปรียบเทียบกับปี 2552

รายการ	**หน่วย**	2549	2550	2551	2552 **(ม.ค.-มิ.ย.)**
1. พลังงานไฟฟ้าที่ซื้อ	kWh	95,970,000	96,896,000	89,728,000	45,790,000
	MJ	345,492,000	348,825,600	323,020,800	164,844,000
2. ปริมาณการผลิต	ล้านชิ้น	3,096	3,019	3,329	1,899
3. ค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (1) / (2)	kWh / ชิ้น	0.031	0.032	0.027	0.024

จากตารางที่ 3.6 สามารถมองเห็นได้ว่ามีค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตค่อยๆลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับปีก่อนหน้า สาเหตุที่มีค่าลดลงมาจากการที่ทางโรงงานได้มีการออกมาตรการอนุรักษ์พลังงานต่างๆ จึงทำให้เกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าขึ้น จึงส่งผลให้โรงงานมีต้นทุนหนึ่งหน่วยผลิตภัณฑ์ลดลงด้วย

3.3.4 ผลผลิตรายปีและค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่

นอกจากการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตแล้ว เรายังสามารถเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (SEC) โดยคิดแยกระบบ HVAC (Heating, Ventilating and Air Conditioning) และระบบแสงสว่าง (Lighting) ให้เปลี่ยนค่าหน่วยผลผลิตเป็นต่อหน่วยพื้นที่การใช้งานแทน ได้ดังตารางที่ 3.7

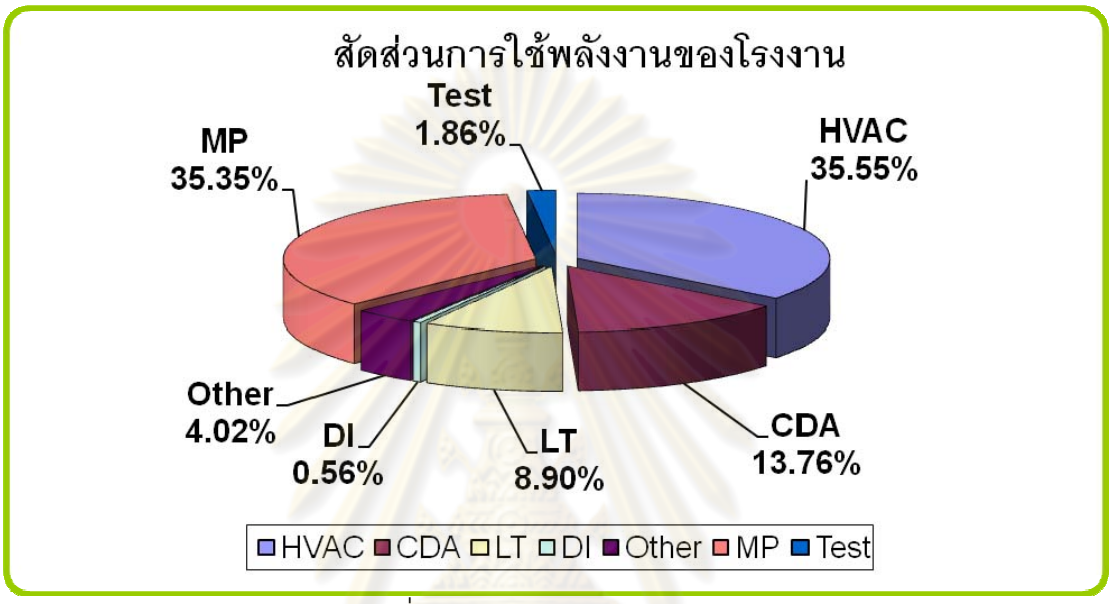
ตารางที่ 3.7 ค่า SEC โดยแยกระบบ HVAC และ ระบบแสงสว่าง ให้คิดเป็นต่อหน่วยพื้นที่การใช้งาน

รายการ	หน่วย	2551	2552(ม.ค.-มิ.ย.)
ก) ระบบ Utilities			
1. ระบบ HVAC	kWh	31,898,193	16,278,288
2. ระบบ CDA	kWh	12,348,262	6,301,566
3. ระบบแสงสว่าง	kWh	7,989,488	4,077,196
4. ระบบ DI	kWh	499,350	254,828
5. อื่นๆ	kWh	3,608,158	1,841,316
ข) กระบวนการผลิต			
1. กระบวนการผลิต IC	kWh	31,720,050	16,187,378
2.การทดสอบผลิตภัณฑ์ (Test)	kWh	1,664,499	849,427
ค) พื้นที่ใช้งาน		60,885	60,885
1. พื้นที่การผลิต	m^2	46,945	46,945
2. พื้นที่สนับสนุน	m^2	13,940	13,940
ง) ปริมาณผลิตภัณฑ์	ล้านชิ้น	3,329	1,899
จ) SEC ระบบ Utilities			
1. ระบบ HVAC	kWh/ m^2	523.91	267.36
2. ระบบ CDA	kWh/ชิ้น	3,709.3	1,892.93
3. ระบบแสงสว่าง	kWh/ m^2	131.22	66.97
4. ระบบ DI	kWh/ชิ้น	150	76.55
5. อื่นๆ	kWh/ชิ้น	1,083.86	553.11
ฉ) SEC กระบวนการผลิต			
1. กระบวนการผลิต IC	kWh/ชิ้น	9.528.4	4,862.53
2.การทดสอบผลิตภัณฑ์ (Test)	kWh/ชิ้น	500	255.16

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แต่วิธีวัดการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ไม่นิยมใช้วัด เพราะจะเกิดข้อผิดพลาดจากการคำนวณได้ง่าย และวัดค่าการใช้พลังงานค่อนข้างยากด้วย

จากสถิติการใช้พลังงานในตารางที่ 3.7 และ 3.8 เราสามารถแบ่งสัดส่วนการใช้พลังงานในโรงงาน ได้ดังรูปที่ 3.25



รูปที่ 3.26 สัดส่วนของการใช้พลังงานในโรงงาน

3.4 การเก็บรวบรวมและวิเคราะห์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงาน

ในขั้นตอนนี้ของการวิจัยเป็นการคัดเลือกหาตัวแปรที่รวบรวมได้จากทฤษฎี แนวความคิด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อที่จะหาตัวแปรที่เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดของตัวแปรต่างๆ ได้ดังนี้

1. ตัวแปรต้น ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ หมายถึง ตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานภายในโรงงาน ประกอบด้วย

- ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับลักษณะรูปแบบของอาคารโรงงาน
- ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมภายในโรงงาน
- ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับระบบการทำงาน
- ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรที่ใช้ในโรงงาน
- ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับจำนวนผลิตภัณฑ์

2. ตัวแปรตาม ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ หมายถึง ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Energy Consumption) โดยมีหน่วยเป็นกิโลวัตต์-ชั่วโมง(kWh)

3.4.1 การเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงาน

ผู้วิจัยได้ทำการขอย้อนดูข้อมูลการใช้พลังงานย้อนหลังกับทางโรงงาน เพื่อดูสถิติว่ามีการใช้พลังงานไปมากน้อยเพียงใด และนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลในปีปัจจุบันว่ามีค่าการใช้พลังงานเป็นอย่างไร โดยจะพิจารณาจากค่าพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือนกับปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้ ทั้งนี้เพื่อให้เข้าถึงปัจจัยที่ต้องการศึกษาอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เพื่อนำไปพัฒนาสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

3.4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลตัวแปรที่ได้จากการเก็บข้อมูลจากทางโรงงานจัดให้ ถูกนำมาวิเคราะห์โดยใช้หลักการทางสถิติ ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regressions) โดยจะใช้โปรแกรมช่วยในการคำนวณ เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์กับการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงาน แล้วนำมาจัดทำเป็นการพัฒนาหาแบบจำลองการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสมต่อไป

3.5 การจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานที่เหมาะสมต่อโรงงาน

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลในโรงงาน ซึ่งจะเป็นค่าปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าและปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน จากการนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลในอดีต เพื่อหาว่าสมการแบบจำลองการใช้เกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานด้วยเทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูปที่ได้นั้น จะต้องสามารถนำไปใช้กับการทำงานได้จริง มีการเกิดความผิดพลาด (Error) น้อยที่สุดและมีความน่าเชื่อถือที่สามารถยอมรับได้ โดยจะวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มตัวแปรต้น (พลังงานไฟฟ้าที่ใช้/เดือน) และกลุ่มของตัวแปรตาม (ปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน) ด้วยวิธีการวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regression)

เพื่อให้ได้แบบจำลองที่มีความเหมาะสมจะมีการทดสอบความเหมาะสมของแบบจำลองการใช้พลังงานว่ามีความเหมาะสมกับข้อมูลหรือปัจจัยที่นำมาใช้หรือไม่ โดยในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์หาสมการแบบจำลองการใช้เกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานด้วยเทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูป

3.6 การจัดทำแผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการจัดทำแผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อเป็นแนวทางให้กับอุโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่มีการใช้พลังงานที่อยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างสูง นำมาใช้เป็นมาตรการหรือวิธีการสำหรับโรงงานนั้นๆ เพื่อลดการใช้พลังงานให้น้อยลง เป็นการประหยัดพลังงานและทำให้มีการอุปกรณ์ เครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพสูงในระยะเวลาการใช้งานเท่าเดิม โดยทำการศึกษารวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานต่างๆในโรงงานที่มีการใช้พลังงานที่สิ้นเปลือง จัดทำออกเป็นมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีศักยภาพต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาการใช้พลังงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ พบว่าต้นทุนการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต (SEC) ของโรงงานมีการวิเคราะห์อยู่ตลอดทุกปีอยู่แล้ว แต่ยังไม่ถูกต้อง จึงต้องทำการวิเคราะห์หาเทคนิคที่ถูกต้องมาคำนวณค่าใหม่ โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 5 ส่วน คือ ส่วนแรกต้องหากิจกรรมกระบวนการผลิตและทำการหาเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตแต่ละผลิตภัณฑ์ หลังจากนั้นในส่วนที่สองหาค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit :EU) ต่อมาส่วนที่สาม ทำการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิต(SEC)แบบเดิมกับแบบใหม่ ส่วนที่สี่หาตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในโรงงาน โดยจัดทำการเก็บข้อมูลและมาทำการวิเคราะห์ออกเป็นส่วนๆ ตามลักษณะของข้อมูล ในส่วนสุดท้ายก็จัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานของโรงงานที่เหมาะสมกับการใช้พลังงานขึ้นมาใหม่

โดยมีขั้นตอนแนวทางของการนำเทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูปมาใช้ ดังนี้

1) ให้โรงงานทำการแบ่งกลุ่มผลิตภัณฑ์ออกเป็นตามชนิดหรือรุ่นที่ทำการผลิต
2) ในแต่ละผลิตภัณฑ์ ให้ทำการหาค่า EU โดยใช้เวลาในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่สั้นที่สุด ให้มีค่า เท่ากับ 1 EU เช่น ผลิตผลิตภัณฑ์ใช้เวลาสั้นที่สุด 1 นาที ให้มีค่าเท่ากับ 1 EU และถ้าขั้นตอนการผลิตขั้นต่อมามาใช้เวลา 5 นาที จะมีค่าเท่ากับ 5 EU ซึ่งเราสามารถพิจารณาจาก Cycle Time ของการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ คือ เวลาที่ผลิตภัณฑ์ตัวแรกผลิตออกมาได้จะมีเวลาห่างจากที่ผลิตผลิตภัณฑ์ตัวที่สองได้เท่าไร ให้ใช้เวลาตัวนั้นเป็นเวลาที่ใช้การผลิตผลิตภัณฑ์หนึ่งตัว ให้ถือว่าเวลาที่ใช้ในการผลิต 1 ผลิตภัณฑ์เป็นเวลามาตรฐาน
3) เอาค่าที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 คูณกับจำนวนที่ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมาได้
4) ทำการจัดแบ่ง Allocation การใช้พลังงานในแต่ละส่วน Utilities ทั้งหมดทุกขั้นตอนการผลิต
5) ค่า พลังงานที่ใช้ (E) = ขั้นตอนที่(4)
6) ทำการหาค่า SEC = E/Q ซึ่งจากค่า EU ของในแต่ละ Product จะเท่ากับขั้นตอนที่(4) / ขั้นตอนที่(3) ทำทุกผลิตภัณฑ์ที่มีการใช้เวลาการผลิตไม่เท่ากัน

4.1 ผลการวัดการใช้เวลาทั้งหมดในกระบวนการผลิตต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

ในการวัดการใช้เวลาผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ ต้องทำการแบ่งกลุ่ม (Allocation Group) แยกเป็นประเภท รุ่น หรือความยากง่ายในการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์แล้วแต่โรงงานจะแบ่งกลุ่ม โดยทางโรงงานได้ทำการจัดแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มประเภทตามการนำไปใช้งานของแต่ละ Product ได้แก่ Product A,B,C,D,E (อธิบายรายละเอียด Product ในภาคผนวก จ)และในแต่ละประเภทก็จะมีการแบ่งเป็นกลุ่มๆ ตามแต่ละรุ่นของการผลิตอีกด้วย เพราะแต่ละรุ่นก็ผลิตได้ยาก-ง่ายแตกต่างกันไป โดยให้ทางโรงงานจับเวลาในการผลิตของแต่ละ Product ให้นับจำนวนชิ้นที่ผลิตออกมาได้ แล้วนำไปหารกับเวลาที่ใช้ในการผลิตทั้งหมดของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ซึ่งทางโรงงานสามารถวัดเวลาการผลิตแยกตามแต่ละประเภทผลิตภัณฑ์ได้ ดังตารางที่ 4.1 – 4.5 เวลามาตรฐานที่วัดได้นี้เป็นค่าที่ทางโรงงานใช้อยู่แล้ว

ตารางที่ 4.1 เวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product A แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)
A	A1	1	CF318(MR1)	2.6268
		2	CI691A(HN6)	7.1303
		3	CI661(KBA)	11.1945
		4	CI682(KW6)	15.7748
		5	CI682A(KW6)	15.7748
		6	CI682A(KFA)	15.7748
		Total		68.2760
	A2	1	CI764(KPP)	5.3105
		2	CI783(KPP)	5.3384
		3	CI752(KPH)	5.9040
		4	CI749(1601)	5.9101
		5	CI771(002)	5.9131
		6	CI752B(KPH)	5.9469
		7	CI714(KFM)	5.9785
		8	CI723(KFL)	6.0093
		9	CI723(KFL)	6.0863
		10	CI746A	6.2588

ตารางที่ 4.1(ต่อ) เวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product A แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)
A	A2	11	CI746B	6.2588
		12	CI728A(KBP)	6.3309
		13	CI767(KPW)	6.3460
		14	CI767(KPH)	6.3460
		15	CI742(KGH)	6.3871
		16	CI746(KPK)	6.4008
		17	CI771A(0040)	6.4600
		18	CI780B	6.4665
		19	CI773(KPH)	6.6693
		20	CI732(KFL)	6.8955
		21	CI728(KGC)	7.6458
		22	CI727(KAN)	9.3270
		23	CI790(HN1)	9.3289
		24	CI789(KPK)	10.1055
		25	CI710(1519)	10.8639
		26	CI751(1612)	10.8639
		27	CI787(0042)	12.1446
		28	CI704(KFE)	12.9165
		29	CI812(KVG)	13.1462
		30	CI810(KVB)	15.0322
		31	CI736(HN2)	25.6583
		32	CI777(HN7)	29.8071
		33	CI777A(HN7)	29.8071
		Total		319.8638
	A3	1	CI749 PCA	3.5089
		2	CI761(KRS)	4.1783
		3	CI761(KFV)	4.1783

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1(ต่อ) เวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product A แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)
A	A3	4	CI761(KTL)	4.1783
		5	CI767 PCA	4.1945
		6	CI761(KRS)	4.2803
		7	CI699 PCA	4.2966
		8	CI718 PCA	4.6053
		9	CI752A PCA	4.8033
		10	CI767(PCA)	5.0575
		11	CI781(KPG)	6.2614
		12	SH743AA ASSY	6.2932
		13	CI780 PCA	6.5575
		14	CI809(544)	6.8012
		15	CI790 PCA	7.1439
		16	CI766 PCA	7.781
		17	CI787 PCA	9.4197
		18	CI807(KTM)	15.2688
		19	CI795(PCA)	22.9716
		20	CI777(PCA)	25.252
		Total		157.0316
	A4	1	CI745(30D)	5.0437
		2	CI745A(09G)	5.0437
		3	CI-49(GK4-66)	5.3951
		4	CI-49(GCN)	5.3951
		5	CI-49(GES)	5.3951
		6	SH743AA ASSY	6.2932
		7	CI673 PCA	6.713
		8	CI791A(PCA)	7.25
		9	CI769 PCA	7.3628

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1(ต่อ) เวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product A แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)
A	A4	10	CI810A (PCA)	8.5646
			Total	62.4563
	A5	1	TRANSISTOR SSY [SDI]	0.5333
		2	CI615 PCA	0.9411
		3	CF318 PCA	1.6408
		4	SH745AA ASSY	1.8462
		5	SH659A-12(NLL)	1.9848
		6	SH568FA	2.0617
		7	CF318(MAL)	2.4308
		8	CF512G,L PCA	2.5015
		9	SH568D-12(1070)	2.6083
		10	CI621 PCA	3.1319
		11	CI621A PCA	3.1319
		12	CI761(PCA)	3.2443
		13	CI652 PCA	3.4063
		14	CF408A(GK4-63)	3.4079
		15	CF488B(KAN)	3.4159
		16	TI-10A(SUB)	3.5886
		17	CI683(KEV)	4.5472
		18	CF416B PCA	4.5797
		19	CI691A PCA	5.3896
		20	TR-09(MCA)	5.4564
		21	CI680 PCA	5.6678
		22	CI718(HN1)	6.0069
		23	CI726(KAN)	6.0188
		24	CI614(883)	6.9331
		25	TI-05	6.973

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1(ต่อ) เวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product A แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

A	A5	26	CI587A(KAN)	7.0253
		27	TI-05	7.442
		28	CI796 (PCA)	8.0932
		29	CI804 (PCA)	8.6032
		30	CI577(KW6)	13.2688
		31	CI648(KBP)	13.4017
		32	CI633(KW6)	14.3003
		Total		163.5823

ตารางที่ 4.2 แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product B แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

Product	Group	No.	Product Name	Standard time(min / piece)
B	B1	1	SH572E-12(29F)	6.4624
		2	SH561-12(KG1)	7.1014
		3	SH589-12(6M6)	7.3511
		4	SH660AA-12	7.5086
		5	SH660AB-12	7.5086
		6	SH586B-12(ZE2)	7.6529
		7	SH586B-12(ZE2)	7.6529
		8	SH640EA	7.7508
		9	SH640EA	7.7508
		10	SH569B-11(47X)	7.9605
		11	SH629B-11 (1108)	8.1404
		12	SH629CA	8.1404
		13	SH629B-11(1108)	8.4581
		14	SH541 KC	8.9522
		15	SH640HA	9.4180
		16	SH538D-13(MYO)	9.4489
		17	SH522B-12(KW6)	9.8532

ตารางที่ 4.2(ต่อ) แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product B แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

Product	Group	No.	Product Name	Standard time(min / piece)
B	B1	18	SH541 PA	9.9226
		19	SH579DB	11.3224
		20	SH530-12K	11.3766
		21	SH678HA	12.1410
		22	SH579C-12(MCH)	16.4008
		Total		198.2746
	B2	1	SH710AA	3.0919
		2	SH703-12(KPH)	3.6826
		3	SH743AA	4.4468
		4	SH743AA	4.4468
		5	SH743AA	4.4468
		6	SH691AA	5.5010
		7	SH693-12(KPJ)	5.5010
		8	SH691-12(DE1)	5.5010
		9	SH693-12(DE1)	5.5010
		10	SH691 BA	5.5010
		11	SH683-12(HN5)	5.5010
		12	SH683BA	5.5010
		13	SH683CA	5.5010
		14	SH691-12	5.5010
		15	SH691BA	5.5010
		16	SH693-12(KPJ)	5.5010
		17	SH693AA	5.5010
		18	SH701-12	6.7019
		19	SH699-12(HNO)	7.3330
		20	SH699BA	7.3330
		21	SH738AA	7.7145

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2(ต่อ) แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product B แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

Product	Group	No.	Product Name	Standard time(min / piece)
B	B2	22	SH745AA	8.2709
		Total		123.4802
	B3	1	ACS-11(CDI)	0.4377
		2	ACS-11	0.5490
		3	ACS-11	0.5490
		4	CI752(KPH)ASSY	0.5824
		5	CI752B(KPH)ASSY	0.5824
		6	CI752B(KTM)ASSY	0.5824
		7	CI773(KPH)ASSY	0.5824
		8	CI807(KPH)ASSY	0.5824
		9	SH773AA	1.0700
		10	SH610B-12(GWO)	1.7627
		11	SH649A-12(31C)ASSY	1.8468
		12	SH755BA	2.3557
		13	SH755BC	2.3557
		14	SH636A-6(354)	2.5276
		15	SH636A-12(36C)	2.5276
		16	SH636A-12(36C)ASSY	2.5276
		17	SH636-12(1086)	2.5276
		18	SH636DA	2.5276
		19	SH636A-12(1113)	2.5276
		20	SH636B-12(1129)	2.5276
		21	SH636C-12 (1131)	2.5276
		22	SH568FA	2.4746
		23	SH561-12 PCA	2.7893
		24	SH572A-12 PCA	3.2655
		25	SH640E-11	4.1361

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2(ต่อ) แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product B แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

Product	Group	No.	Product Name	Standard time(min / piece)
B		Total		46.7249
	B4	1	SCR ASSY 32 (HC703)	0.1963
		2	SCR ASSY(HC070)	0.1965
		3	SCR ASSY(HC620)	0.1965
		4	SCR ASSY(HC634)	0.1965
		5	SH703CGV32SCR ASSY	0.1965
		6	SCR ASSY(HC070)	0.1965
		7	SCR ASSY(HC 634)	0.1965
		8	SCR ASSY (HC620)	0.1965
		9	SCR ASSY32	0.1965
		10	SCR ASSY32 H	0.1965
		11	SCR ASSY 32	0.1965
		12	SCR ASSY 32H(HC634)	0.1965
		13	SCR ASSY (HC620)	0.1965
		14	SH683 CSV29L ASSY	0.2131
		15	SH 683 CSV29L ASSY	0.2131
		16	DIODE ASSY (HC683)	0.2131
		17	SH719 CSV29L ASSY	0.2476
		18	SH726 CSV45L ASSY	0.2476
		19	SH711 CSV40ASSY	0.2476
		20	SH711 CSV35L ASSY	0.2476
		21	SH740 CSV35L ASSY	0.2706
		22	SH750 CGV40R ASSY	0.2928
		23	SH719 CGV32R ASSY	0.4717
		24	SH726 CGV50R ASSY	0.4717
		25	SH711 CGV35L ASSY	0.4717
		26	SH711 CGV40 ASSY	0.4717

ตารางที่ 4.2(ต่อ) แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product B แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

Product	Group	No.	Product Name	Standard time(min / piece)
B	B4	27	CGV40 SCR ASSY	0.6090
		28	SH703CGV40SCR ASSY	0.6090
		29	SH703 CGV40 SCR ASSY	0.6090
		30	CGV40 SCR ASSY	0.6090
		31	SCR ASSY 40 (HC671)	0.6090
		32	SCR ASSY 40 (HC703)	0.6090
		33	SCR ASSY 40(SH703)	0.6090
		Total		10.8972

ตารางที่ 4.3 แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product C แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)
C	C1	1	SH707AA	1.8879
		2	SH634A-12(GBL)	1.9133
		3	SH707BA	2.0270
		4	SH620B-12(4CK)	2.1771
		5	SH620A-12(4UL)	2.1771
		6	SH620A-12(4UL)	2.1771
		7	SH663-12(43E)	2.1859
		8	SH674-12(31C)	2.5951
		9	SH714AA	3.2244
		10	SH714CA	3.2244
		11	SH671A-12(5NM)	3.2244
		12	SH671-12(5RN)	3.2244
		13	SH671-12(5RN)	3.2244
		14	SH671-12 (TUR)	3.2244
		15	SH671-12(5RN)	3.2244
		16	SH671-12(5RN)	3.2244

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3(ต่อ) แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product C แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)
C	C1	17	SH671-12	3.2244
		18	SH672A-12(1132)	3.2590
		19	SH672CA	3.2590
		20	SH672DA	3.2590
		21	SH656BA	3.2590
		22	SH656A-12	3.2590
		23	SH672-12(47E)	3.2590
		24	SH672 EA	3.2590
		25	SH656-12	3.2590
		26	SH672-12(47E)	3.2590
		27	SH656A-12	3.2590
		28	SH672BA	3.2590
		29	SH656-12	3.2590
		30	SH672-12	3.2590
		31	SH656A-12(5WP)	3.2590
		32	SH756AA	3.2590
		33	SH695AA	3.3100
		34	SH695-12(KGH)	3.3100
		Total		101.665
	C2	1	SH672EA PCA	0.0000
		2	HC755BA	0.4619
		3	HC773AA	0.4619
		4	HC755BA	0.4619
		5	HC610B-12(GWO)	0.6957
		6	HC639A-12(40D)	0.7123
		7	HC649A-12(31C)	0.7229
		8	HC649A-12(3IC)ASSY	0.7229

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3(ต่อ) แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product C แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)
C	C2	9	HC649A-12(31C)	0.7229
		10	SH707EA PCA	0.7508
		11	HC755AA	0.8962
		12	SH755 BA(PCA)	0.9704
		13	SH707A PCA	0.9783
		14	SH707A PCA	0.9783
		15	SH634CA PCA	1.0293
		16	SH634DB PCA	1.0293
		17	SH634EA(PCA)	1.0293
		18	SH634A-12 PCA	1.0293
		19	SH707CA PCA	1.0293
		20	SH707BA(PCA)	1.0293
		21	SH610B-12 PCA	1.0517
		22	SH610B-12 PCA	1.0517
		23	SH649-12 PCA	1.0790
		24	HC703-12(KPH)	1.1062
		25	HC710AA	1.1137
		26	HC710AA	1.1137
		27	SH663-12 PCA	1.1558
		28	SH663-12(PCA)	1.1558
		29	SH620CA PCA	1.3519
		30	SH620B-12 PCA	1.3519
		31	SH620B-12 PCA	1.3519
		32	SH620B-12 PCA	1.3519
		33	HC743AA	1.4749
		34	HC743AA	1.4749
		35	SH703-12 PCA	1.5282

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3(ต่อ) แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product C แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)
C	C2	36	SH710A PCA	1.5357
		37	SH656-12 PCA	2.0880
		38	SH656BA PCA	2.0880
		39	SH672A-12 PCA	2.0880
		40	SH672DA PCA	2.0880
		41	SH656A-12 PCA	2.0880
		42	SH656CA PCA	2.0880
		43	SH756AA PCA	2.0880
		44	SH656-12 PCA	2.0880
		45	SH656-12(PCA)	2.0880
		46	SH656BA(PCA)	2.0880
		47	SH656A-12(PCA)	2.0880
		48	SH656CA PCA	2.0880
		49	SH756AA(PCA)	2.0880
		50	SH765AA(PCA)	2.0880
		51	SH714AB PCA	2.1304
		52	SH714CA PCA	2.1304
		53	SH671-12 PCA	2.1304
		54	SH714CA(PCA)	2.1304
		55	SH672-12 PCA	2.1559
		56	HC745AA	2.2261
		57	HC699-12(HNO)	2.8211
		58	HC699AA	2.8511
		59	HC700-12(HW1)	3.0658
		60	HC738AA	3.0658
		61	HC700-12(HW1)	3.0658
		62	HC683-12	3.0891

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3(ต่อ) แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product C แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)
C	C2	63	HC683-12(HN5)	3.0891
		64	HC691AA	3.0895
		65	HC691-12(DE1)	3.0895
		66	HC691-12	3.0895
		67	HC683AA	3.1020
		68	HC691 BA	3.1020
		69	HC683AA	3.1020
		70	HC683BA	3.1020
		71	HC691BA	3.1020
		72	HC683CA	3.1020
		73	HC701-12	3.1024
		74	SH699-12(no molding)	3.2510
		75	SH699A(no molding)	3.2810
		76	SH700-12(no molding)	3.4957
		77	SH683A(no molding)	3.5319
		78	HC693-12(KPJ)	3.8305
		79	HC693-12(DE1)	3.8305
		80	HC693-11(KBR)	3.8305
		81	HC693-12(KPJ)	3.8305
		82	HC693AA	3.8305
		Total		162.8395
	C3	1	HC118A-12(36C)	1.0033
		2	HC118A-12(36C)ASSY	1.0033
		3	HC118-12(1086)	1.0033
		4	HC118DA	1.0033
		5	HC118A-12(1113)	1.0033
		6	HC118B-12(1129)	1.0033

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3(ต่อ) แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product C แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)
C	C3	7	HC118C-12(1131)	1.0033
		8	HC118A-12(1113)	1.0033
		9	HC118A-12(36C)	1.0033
		10	HC118-12(1086)	1.0033
		11	HC118-12(1086)	1.0033
		12	HC118A-12	1.0033
		13	HC118A-12(36C)	1.0033
		14	HC146A-6(354)	1.0097
		15	HC146A-6(354)ASSY	1.0097
		16	HC664-6(354)ASSY	1.0097
		17	HC146A-6(354)	1.0097
		18	HC122-12(1YU)	1.0596
		19	HC118A-12	1.4373
		20	HC118-12 PCA	1.4373
		21	HC118A-12	1.4373
		Total		22.4532

ตารางที่ 4.4 แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product D แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)
D	D1	1	TRF-123 DIS	2.0087
		2	TRF-211	2.1581
		3	TRF-123 VAR	2.1957
		4	TRF-144	3.1480
		Total		9.5105
	D2	1	TRF-282	2.2940
		2	TRF-134	2.7823
		3	TRF-286	10.2290

ตารางที่ 4.4(ต่อ) แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product D แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)
D	D2	4	TRF-252	12.5690
		Total		27.8743

ตารางที่ 4.5 แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product E แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

Product	Group	No	Product Name	Standard time (min / piece)
E	E1	1	S2VB	0.8745
		2	S4VB	0.9746
		3	S10VB	1.1200
		4	S5VB	1.1352
		5	D15VBA	1.4653
		6	S15WB	1.7190
		7	S25VB	1.8167
		8	D25VB	1.9278
		Total		11.0329
	E2	1	S3WB	0.8845
		2	S15VB	1.3088
		3	S10WB	1.6031
		4	S20WB	2.3399
		5	D30VC	3.6530
		6	S10VTA	4.7610
		7	S50VB	4.7890
		8	S15VTA	4.8410
		9	S20VTA	4.8810
		10	S30VTA	4.8830
		11	S10VT	4.9530
		12	S15VT	4.9799
		13	S20VT	4.9879

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5(ต่อ) แสดงเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Product E แยกตามรุ่น (ใน 1 เดือน)

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)
E	E2	14	S30VT	4.9889
		Total		53.8540

จากตารางที่ 4.1 – 4.5 จะสังเกตได้ว่าผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทมีเวลาในการผลิตที่มากน้อยแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับความยากง่ายของการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ ซึ่งมีตั้งแต่ใช้เวลาไม่ถึง 1 นาที /ชิ้น จนถึงใช้เวลา 29 นาที /ชิ้น โดยวัดตั้งแต่เริ่มเข้า Line การผลิตไปตามขั้นตอนกระบวนการจนสิ้นสุดออกมาได้ 1 ผลิตภัณฑ์ คำนวณจากจำนวนผลิตภัณฑ์รุ่นนั้นๆ ที่ผลิตออกมาได้ทั้งหมดแล้วนำไปหารเฉลี่ยกับเวลาที่ใช้ทั้งหมด ก็จะได้เวลาการผลิตต่อ 1 ชิ้น คือ เวลามาตรฐาน (Standard time) ในการผลิตผลิตภัณฑ์ ซึ่งค่าเวลามาตรฐานที่วัดออกมาได้ในเวลา 1 เดือนที่ได้เก็บข้อมูล ถ้าให้ได้ค่าที่ดีที่สุดต้องทำการวัดเวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ตัวเดียวกันในอีก 1 เดือนต่อไป และนำค่าเวลามาตรฐานของเดือนปัจจุบันนำไปเฉลี่ยกับอีก 1 เดือน จะทำให้ได้ค่าเวลามาตรฐาน (Standard time)ที่ดีที่สุด

4.2 **หาค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูป** (Equivalent Unit :EU)

หลังจากได้ทำการวัดการใช้เวลาในการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์แล้ว ในขั้นตอนต่อมาก็ต้องมีการให้ทางโรงงานได้ทำการเลือกวิธีการคิดหาค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูป(Equivalent Unit :EU) ก่อนว่าจะใช้วิธีแบบไหนในการคิดคำนวณหาค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งได้ 3 วิธี ดังนี้

1. A (Average) คือ นำค่าเฉลี่ยของเวลาในการผลิตทั้งหมด
2. M (Mode) คือ นำ Production Lead time ผลผลิตที่เราผลิตมากที่สุดเป็นตัวตั้ง
3. L (Lead time) คือ นำค่า Production Lead time ที่น้อยที่สุดเป็นฐานตัวตั้ง

ซึ่งแต่ละวิธีก็จะได้ผลลัพธ์สุดท้ายที่แตกต่างกัน โดยทางโรงงานได้เลือกใช้แบบ L (Lead time)เป็นมาตรฐานในการคิดหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit :EU) เพราะคิดว่าการเลือกใช้วิธีแบบ L (Lead time)จะทำให้ได้ผลลัพธ์ต้นทุน (Unit cost) ที่เราต้องการถูกต้องที่สุด ได้กำหนดค่า Equivalent Unit :EU แยกตามแต่ละประเภทผลิตภัณฑ์ได้ โดยในแต่ละ Product จะมี Group ย่อยแยกอีกที ซึ่งในแต่ละ Group ก็จะมีแยก Product Name อีกทีให้เราทำการเรียงลำดับ

เวลามาตรฐาน (Standard time) จากน้อยไปหามาก เพื่อเป็นการง่ายในการคำนวณหาค่า Equivalent Unit :EU ดังตารางที่ 4.6 -4.10

ตารางที่ 4.6 แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product A

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)	EU
A	A1	1	CF318(MR1)	2.6268	1
		2	CI691A(HN6)	7.1303	2.714
		3	CI661(KBA)	11.1945	4.262
		4	CI682(KW6)	15.7748	6.005
		5	CI682A(KW6)	15.7748	6.005
		6	CI682A(KFA)	15.7748	6.005
		Total		68.2760	25.992
	A2	1	CI764(KPP)	5.3105	1
		2	CI783(KPP)	5.3384	1.005
		3	CI752(KPH)	5.9040	1.112
		4	CI749(1601)	5.9101	1.113
		5	CI771(002)	5.9131	1.113
		6	CI752B(KPH)	5.9469	1.120
		7	CI714(KFM)	5.9785	1.126
		8	CI723(KFL)	6.0093	1.132
		9	CI723(KFL)	6.0863	1.146
		10	CI746A	6.2588	1.179
		11	CI746B	6.2588	1.179
		12	CI728A(KBP)	6.3309	1.192
		13	CI767(KPW)	6.3460	1.195
		14	CI767(KPH)	6.3460	1.195
		15	CI742(KGH)	6.3871	1.203
		16	CI746(KPK)	6.4008	1.205
		17	CI771A(0040)	6.4600	1.216

ตารางที่ 4.6(ต่อ) แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product A

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)	EU
A	A2	18	CI780B	6.4665	1.218
		19	CI773(KPH)	6.6693	1.256
		20	CI732(KFL)	6.8955	1.298
		21	CI728(KGC)	7.6458	1.440
		22	CI727(KAN)	9.3270	1.756
		23	CI790(HN1)	9.3289	1.757
		24	CI789(KPK)	10.1055	1.903
		25	CI710(1519)	10.8639	2.046
		26	CI751(1612)	10.8639	2.046
		27	CI787(0042)	12.1446	2.287
		28	CI704(KFE)	12.9165	2.432
		29	CI812(KVG)	13.1462	2.476
		30	CI810(KVB)	15.0322	2.831
		31	CI736(HN2)	25.6583	4.832
		32	CI777(HN7)	29.8071	5.613
		33	CI777A(HN7)	29.8071	5.613
		Total		319.8638	60.232
	A3	1	CI749 PCA	3.5089	1
		2	CI761(KRS)	4.1783	1.191
		3	CI761(KFV)	4.1783	1.191
		4	CI761(KTL)	4.1783	1.191
		5	CI767 PCA	4.1945	1.195
		6	CI761(KRS)	4.2803	1.220
		7	CI699 PCA	4.2966	1.224
		8	CI718 PCA	4.6053	1.312
		9	CI752A PCA	4.8033	1.369
		10	CI767(PCA)	5.0575	1.441

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6(ต่อ) แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product A

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)	EU
	A3	11	CI781(KPG)	6.2614	1.784
		12	SH743AA ASSY	6.2932	1.793
		13	CI780 PCA	6.5575	1.869
		14	CI809(544)	6.8012	1.938
		15	CI790 PCA	7.1439	2.036
		16	CI766 PCA	7.781	2.218
		17	CI787 PCA	9.4197	2.685
		18	CI807(KTM)	15.2688	4.351
		19	CI795(PCA)	22.9716	6.547
		20	CI777(PCA)	25.252	7.197
		Total		157.0316	44.752
	A4	1	CI745(30D)	5.0437	1
		2	CI745A(09G)	5.0437	1
		3	CI-49(GK4-66)	5.3951	1.070
		4	CI-49(GCN)	5.3951	1.070
		5	CI-49(GES)	5.3951	1.070
		6	SH743AA ASSY	6.2932	1.248
		7	CI673 PCA	6.713	1.331
		8	CI791A(PCA)	7.25	1.437
		9	CI769 PCA	7.3628	1.460
		10	CI810A (PCA)	8.5646	1.698
		Total		62.4563	12.383
	A5	1	TRANSISTOR SSY [SDI]	0.5333	1
		2	CI615 PCA	0.9411	1.765
		3	CF318 PCA	1.6408	3.077
		4	SH745AA ASSY	1.8462	3.462
		5	SH659A-12(NLL)	1.9848	3.722

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6(ต่อ) แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product A

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)	EU
A	A5	6	SH568FA	2.0617	3.866
		7	CF318(MAL)	2.4308	4.558
		8	CF512G,L PCA	2.5015	4.691
		9	SH568D-12(1070)	2.6083	4.891
		10	CI621 PCA	3.1319	5.873
		11	CI621A PCA	3.1319	5.873
		12	CI761(PCA)	3.2443	6.083
		13	CI652 PCA	3.4063	6.387
		14	CF408A(GK4-63)	3.4079	6.390
		15	CF488B(KAN)	3.4159	6.405
		16	TI-10A(SUB)	3.5886	6.729
		17	CI683(KEV)	4.5472	8.527
		18	CF416B PCA	4.5797	8.587
		19	CI691A PCA	5.3896	10.106
		20	TR-09(MCA)	5.4564	10.231
		21	CI680 PCA	5.6678	10.628
		22	CI718(HN1)	6.0069	11.264
		23	CI726(KAN)	6.0188	11.286
		24	CI614(883)	6.9331	13.000
		25	TI-05	6.973	13.075
		26	CI587A(KAN)	7.0253	13.173
		27	TI-05	7.442	13.955
		28	CI796 (PCA)	8.0932	15.176
		29	CI804 (PCA)	8.6032	16.132
		30	CI577(KW6)	13.2688	24.881
		31	CI648(KBP)	13.4017	25.130
		32	CI633(KW6)	14.3003	26.815

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6(ต่อ) แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product A

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)	EU
A	A5	Total		163.5823	306.736

จากในตารางที่ 4.6 แสดงเวลาในการผลิตของ Product A ซึ่งจะนำข้อมูลเวลาการผลิตในแต่ละรุ่นมาคำนวณหาค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit: EU) โดยจะแยกออกมาเป็น 5 Group เช่น ในGroup A1 แยกออกเป็น 6 รุ่น คือ CF318(MR1), CI691A(HN6), CI661(KBA), CI682(KW6), CI682A(KW6) และ CI682A(KFA) ซึ่งจะใช้เวลาในการผลิตแตกต่างกันจะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ CF318(MR1) ใช้เวลาในการผลิตน้อยที่สุด คือ 2.6268 นาที/ชิ้น ส่วนผลิตภัณฑ์ CI682A(KFA) ใช้เวลาในการผลิตมากที่สุด คือ 15.7748 นาที/ชิ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ CI682A(KFA) จะใช้เวลาในการผลิตเป็น 15.7748 / 2.6268 = 6.005 เท่าของเวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ CF318(MR1) ซึ่งจะเห็นว่าในการผลิต ผลิตภัณฑ์ CI682A(KFA) 1 ชิ้น จะเทียบเท่ากับการผลิต ผลิตภัณฑ์ CF318(MR1) 6.005 ชิ้น ค่า 6.005 จึงถูกกำหนดเป็นค่า Equivalent Unit: EU

ตารางที่ 4.7 แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product B

Product	Group	No.	Product Name	Standard time(min / piece)	EU
B	B1	1	SH572E-12(29F)	6.4624	1.000
		2	SH561-12(KG1)	7.1014	1.099
		3	SH589-12(6M6)	7.3511	1.138
		4	SH660AA-12	7.5086	1.162
		5	SH660AB-12	7.5086	1.162
		6	SH586B-12(ZE2)	7.6529	1.184
		7	SH586B-12(ZE2)	7.6529	1.184
		8	SH640EA	7.7508	1.199
		9	SH640EA	7.7508	1.199
		10	SH569B-11(47X)	7.9605	1.232
		11	SH629B-11 (1108)	8.1404	1.260
		12	SH629CA	8.1404	1.260
		13	SH629B-11(1108)	8.4581	1.309

ตารางที่ 4.7(ต่อ) แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product B

Product	Group	No.	Product Name	Standard time(min / piece)	EU
B	B1	14	SH541 KC	8.9522	1.385
		15	SH640HA	9.4180	1.457
		16	SH538D-13(MYO)	9.4489	1.462
		17	SH522B-12(KW6)	9.8532	1.525
		18	SH541 PA	9.9226	1.535
		19	SH579DB	11.3224	1.752
		20	SH530-12K	11.3766	1.760
		21	SH678HA	12.1410	1.879
		22	SH579C-12(MCH)	16.4008	2.538
		Total		198.2746	30.681
	B2	1	SH710AA	3.0919	1
		2	SH703-12(KPH)	3.6826	1.191
		3	SH743AA	4.4468	1.438
		4	SH743AA	4.4468	1.438
		5	SH743AA	4.4468	1.438
		6	SH691AA	5.5010	1.779
		7	SH693-12(KPJ)	5.5010	1.779
		8	SH691-12(DE1)	5.5010	1.779
		9	SH693-12(DE1)	5.5010	1.779
		10	SH691 BA	5.5010	1.779
		11	SH683-12(HN5)	5.5010	1.779
		12	SH683BA	5.5010	1.779
		13	SH683CA	5.5010	1.779
		14	SH691-12	5.5010	1.779
		15	SH691BA	5.5010	1.779
		16	SH693-12(KPJ)	5.5010	1.779
		17	SH693AA	5.5010	1.779

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7(ต่อ) แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product B

Product	Group	No.	Product Name	Standard time(min / piece)	EU
B	B2	18	SH701-12	6.7019	2.168
		19	SH699-12(HNO)	7.3330	2.372
		20	SH699BA	7.3330	2.372
		21	SH738AA	7.7145	2.495
		22	SH745AA	8.2709	2.675
		Total		123.4802	39.937
	B3	1	ACS-11(CDI)	0.4377	1.000
		2	ACS-11	0.5490	1.254
		3	ACS-11	0.5490	1.254
		4	CI752(KPH)ASSY	0.5824	1.331
		5	CI752B(KPH)ASSY	0.5824	1.331
		6	CI752B(KTM)ASSY	0.5824	1.331
		7	CI773(KPH)ASSY	0.5824	1.331
		8	CI807(KPH)ASSY	0.5824	1.331
		9	SH773AA	1.0700	2.445
		10	SH610B-12(GWO)	1.7627	4.027
		11	SH649A-12(31C)ASSY	1.8468	4.219
		12	SH755BA	2.3557	5.382
		13	SH755BC	2.3557	5.382
		14	SH636A-6(354)	2.5276	5.775
		15	SH636A-12(36C)	2.5276	5.775
		16	SH636A-12(36C)ASSY	2.5276	5.775
		17	SH636-12(1086)	2.5276	5.775
		18	SH636DA	2.5276	5.775
		19	SH636A-12(1113)	2.5276	5.775
		20	SH636B-12(1129)	2.5276	5.775
		21	SH636C-12 (1131)	2.5276	5.775

ตารางที่ 4.7(ต่อ) แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product B

Product	Group	No.	Product Name	Standard time(min / piece)	EU
B	B3	22	SH568FA	2.4746	5.654
		23	SH561-12 PCA	2.7893	6.373
		24	SH572A-12 PCA	3.2655	7.461
		25	SH640E-11	4.1361	9.450
		Total		46.7249	106.751
	B4	1	SCR ASSY 32 (HC703)	0.1963	1.000
		2	SCR ASSY(HC070)	0.1965	1.001
		3	SCR ASSY(HC620)	0.1965	1.001
		4	SCR ASSY(HC634)	0.1965	1.001
		5	SH703CGV32SCR ASSY	0.1965	1.001
		6	SCR ASSY(HC070)	0.1965	1.001
		7	SCR ASSY(HC 634)	0.1965	1.001
		8	SCR ASSY (HC620)	0.1965	1.001
		9	SCR ASSY32	0.1965	1.001
		10	SCR ASSY32 H	0.1965	1.001
		11	SCR ASSY 32	0.1965	1.001
		12	SCR ASSY 32H(HC634)	0.1965	1.001
		13	SCR ASSY (HC620)	0.1965	1.001
		14	SH683 CSV29L ASSY	0.2131	1.086
		15	SH 683 CSV29L ASSY	0.2131	1.086
		16	DIODE ASSY (HC683)	0.2131	1.086
		17	SH719 CSV29L ASSY	0.2476	1.261
		18	SH726 CSV45L ASSY	0.2476	1.261
		19	SH711 CSV40ASSY	0.2476	1.261
		20	SH711 CSV35L ASSY	0.2476	1.261
		21	SH740 CSV35L ASSY	0.2706	1.379
		22	SH750 CGV40R ASSY	0.2928	1.492

ตารางที่ 4.7(ต่อ) แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product B

Product	Group	No.	Product Name	Standard time(min / piece)	EU
		23	SH719 CGV32R ASSY	0.4717	2.403
		24	SH726 CGV50R ASSY	0.4717	2.403
		25	SH711 CGV35L ASSY	0.4717	2.403
		26	SH711 CGV40 ASSY	0.4717	2.403
		27	CGV40 SCR ASSY	0.6090	3.102
		28	SH703CGV40SCR ASSY	0.6090	3.102
		29	SH703 CGV40 SCR ASSY	0.6090	3.102
		30	CGV40 SCR ASSY	0.6090	3.102
		31	SCR ASSY 40 (HC671)	0.6090	3.102
		32	SCR ASSY 40 (HC703)	0.6090	3.102
		33	SCR ASSY 40(SH703)	0.6090	3.102
		Total		10.8972	55.513

จากในตารางที่ 4.7 แสดงเวลาในการผลิตของ Product B ซึ่งจะนำข้อมูลเวลาการผลิตในแต่ละรุ่นมาคำนวณหาค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit: EU) โดยจะแยกออกมาเป็น 4 Group เช่น ในGroup B1 แยกออกเป็น 22 รุ่น คือ SH572E-12(29F), SH561-12(KG1), SH589-12(6M6), SH660AA-12, SH660AB-12, SH586B-12(ZE2), SH586B-12(ZE2), SH640EA, SH640EA, SH569B-11(47X), SH629B-11 (1108), SH629CA, SH629B-11(1108), SH541 KC, SH640HA, SH538D-13(MYO), SH522B-12(KW6), SH541 PA, SH579DB, SH530-12K, SH678HA และ SH579C-12(MCH) ซึ่งจะใช้เวลาในการผลิตแตกต่างกันจะเห็นว่า ผลิตภัณฑ์ SH572E-12(29F) ใช้เวลาในการผลิตน้อยที่สุด คือ 6.4624 นาที/ชิ้น ส่วนผลิตภัณฑ์ SH579C-12(MCH) ใช้เวลาในการผลิตมากที่สุด คือ 16.4008 นาที/ชิ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ SH579C-12(MCH) จะใช้เวลาในการผลิตเป็น 16.4008 / 6.4624 = 2.538 เท่าของเวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ SH572E-12(29F) ซึ่งจะเห็นว่าในการผลิต ผลิตภัณฑ์ SH579C-12(MCH) 1 ชิ้น จะเทียบเท่ากับการผลิต ผลิตภัณฑ์ SH572E-12(29F) 2.538 ชิ้น ค่า 2.538 จึงถูกกำหนดเป็นค่า Equivalent Unit: EU

ตารางที่ 4.8 แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product C

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)	EU
C	C1	1	SH707AA	1.8879	1.000
		2	SH634A-12(GBL)	1.9133	1.013
		3	SH707BA	2.0270	1.074
		4	SH620B-12(4CK)	2.1771	1.153
		5	SH620A-12(4UL)	2.1771	1.153
		6	SH620A-12(4UL)	2.1771	1.153
		7	SH663-12(43E)	2.1859	1.158
		8	SH674-12(31C)	2.5951	1.375
		9	SH714AA	3.2244	1.708
		10	SH714CA	3.2244	1.708
		11	SH671A-12(5NM)	3.2244	1.708
		12	SH671-12(5RN)	3.2244	1.708
		13	SH671-12(5RN)	3.2244	1.708
		14	SH671-12 (TUR)	3.2244	1.708
		15	SH671-12(5RN)	3.2244	1.708
		16	SH671-12(5RN)	3.2244	1.708
		17	SH671-12	3.2244	1.708
		18	SH672A-12(1132)	3.2590	1.726
		19	SH672CA	3.2590	1.726
		20	SH672DA	3.2590	1.726
		21	SH656BA	3.2590	1.726
		22	SH656A-12	3.2590	1.726
		23	SH672-12(47E)	3.2590	1.726
		24	SH672 EA	3.2590	1.726
		25	SH656-12	3.2590	1.726
		26	SH672-12(47E)	3.2590	1.726
		27	SH656A-12	3.2590	1.726

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8(ต่อ) แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product C

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)	EU
C	C1	28	SH672BA	3.2590	1.726
		29	SH656-12	3.2590	1.726
		30	SH672-12	3.2590	1.726
		31	SH656A-12(5WP)	3.2590	1.726
		32	SH756AA	3.2590	1.726
		33	SH695AA	3.3100	1.753
		34	SH695-12(KGH)	3.3100	1.753
		Total		101.665	53.851
	C2	1	SH672EA PCA	0.3562	1.000
		2	HC755BA	0.4619	1.297
		3	HC773AA	0.4619	1.297
		4	HC755BA	0.4619	1.297
		5	HC610B-12(GWO)	0.6957	1.953
		6	HC639A-12(40D)	0.7123	2.000
		7	HC649A-12(31C)	0.7229	2.029
		8	HC649A-12(3IC)ASSY	0.7229	2.029
		9	HC649A-12(31C)	0.7229	2.029
		10	SH707EA PCA	0.7508	2.108
		11	HC755AA	0.8962	2.516
		12	SH755 BA(PCA)	0.9704	2.724
		13	SH707A PCA	0.9783	2.746
		14	SH707A PCA	0.9783	2.746
		15	SH634CA PCA	1.0293	2.890
		16	SH634DB PCA	1.0293	2.890
		17	SH634EA(PCA)	1.0293	2.890
		18	SH634A-12 PCA	1.0293	2.890
		19	SH707CA PCA	1.0293	2.890

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8(ต่อ) แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product C

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)	EU
C	C2	20	SH707BA(PCA)	1.0293	2.890
		21	SH610B-12 PCA	1.0517	2.953
		22	SH610B-12 PCA	1.0517	2.953
		23	SH649-12 PCA	1.0790	3.029
		24	HC703-12(KPH)	1.1062	3.106
		25	HC710AA	1.1137	3.127
		26	HC710AA	1.1137	3.127
		27	SH663-12 PCA	1.1558	3.245
		28	SH663-12(PCA)	1.1558	3.245
		29	SH620CA PCA	1.3519	3.795
		30	SH620B-12 PCA	1.3519	3.795
		31	SH620B-12 PCA	1.3519	3.795
		32	SH620B-12 PCA	1.3519	3.795
		33	HC743AA	1.4749	4.141
		34	HC743AA	1.4749	4.141
		35	SH703-12 PCA	1.5282	4.290
		36	SH710A PCA	1.5357	4.311
		37	SH656-12 PCA	2.0880	5.862
		38	SH656BA PCA	2.0880	5.862
		39	SH672A-12 PCA	2.0880	5.862
		40	SH672DA PCA	2.0880	5.862
		41	SH656A-12 PCA	2.0880	5.862
		42	SH656CA PCA	2.0880	5.862
		43	SH756AA PCA	2.0880	5.862
		44	SH656-12 PCA	2.0880	5.862
		45	SH656-12(PCA)	2.0880	5.862
		46	SH656BA(PCA)	2.0880	5.862

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8(ต่อ) แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product C

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)	EU
C	C2	47	SH656A-12(PCA)	2.0880	5.862
		48	SH656CA PCA	2.0880	5.862
		49	SH756AA(PCA)	2.0880	5.862
		50	SH765AA(PCA)	2.0880	5.862
		51	SH714AB PCA	2.1304	5.981
		52	SH714CA PCA	2.1304	5.981
		53	SH671-12 PCA	2.1304	5.981
		54	SH714CA(PCA)	2.1304	5.981
		55	SH672-12 PCA	2.1559	6.052
		56	HC745AA	2.2261	6.250
		57	HC699-12(HNO)	2.8211	7.920
		58	HC699AA	2.8511	8.004
		59	HC700-12(HW1)	3.0658	8.607
		60	HC738AA	3.0658	8.607
		61	HC700-12(HW1)	3.0658	8.607
		62	HC683-12	3.0891	8.672
		63	HC683-12(HN5)	3.0891	8.672
		64	HC691AA	3.0895	8.673
		65	HC691-12(DE1)	3.0895	8.673
		66	HC691-12	3.0895	8.673
		67	HC683AA	3.1020	8.709
		68	HC691 BA	3.1020	8.709
		69	HC683AA	3.1020	8.709
		70	HC683BA	3.1020	8.709
		71	HC691BA	3.1020	8.709
		72	HC683CA	3.1020	8.709
		73	HC701-12	3.1024	8.710

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8(ต่อ) แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product C

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)	EU
C	C2	74	SH699-12(no molding)	3.2510	9.127
		75	SH699A(no molding)	3.2810	9.211
		76	SH700-12(no molding)	3.4957	9.814
		77	SH683A(no molding)	3.5319	9.915
		78	HC693-12(KPJ)	3.8305	10.754
		79	HC693-12(DE1)	3.8305	10.754
		80	HC693-11(KBR)	3.8305	10.754
		81	HC693-12(KPJ)	3.8305	10.754
		82	HC693AA	3.8305	10.754
		Total		163.1957	458.157
	C3	1	HC118A-12(36C)	1.0033	1.000
		2	HC118A-12(36C)ASSY	1.0033	1.000
		3	HC118-12(1086)	1.0033	1.000
		4	HC118DA	1.0033	1.000
		5	HC118A-12(1113)	1.0033	1.000
		6	HC118B-12(1129)	1.0033	1.000
		7	HC118C-12(1131)	1.0033	1.000
		8	HC118A-12(1113)	1.0033	1.000
		9	HC118A-12(36C)	1.0033	1.000
		10	HC118-12(1086)	1.0033	1.000
		11	HC118-12(1086)	1.0033	1.000
		12	HC118A-12	1.0033	1.000
		13	HC118A-12(36C)	1.0033	1.000
		14	HC146A-6(354)	1.0097	1.006
		15	HC146A-6(354)ASSY	1.0097	1.006
		16	HC664-6(354)ASSY	1.0097	1.006
		17	HC146A-6(354)	1.0097	1.006

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.8(ต่อ) แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product C

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)	EU
C	C3	18	HC122-12(1YU)	1.0596	1.056
		19	HC118A-12	1.4373	1.433
		20	HC118-12 PCA	1.4373	1.433
		21	HC118A-12	1.4373	1.433
		Total		22.4532	22.3793

จากในตารางที่ 4.8 แสดงเวลาในการผลิตของ Product C ซึ่งจะนำข้อมูลเวลาการผลิตในแต่ละรุ่นมาคำนวณหาค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit: EU) โดยจะแยกออกมาเป็น 3 Group เช่น ในGroup C3 แยกออกเป็น 21 รุ่น ซึ่งจะใช้เวลาในการผลิตแตกต่างกันจะเห็นว่าผลิตภัณฑ์ HC118A-12(36C) ใช้เวลาในการผลิตน้อยที่สุด คือ 1.0033 นาที/ชิ้น ส่วนผลิตภัณฑ์ HC118A-12 ใช้เวลาในการผลิตมากที่สุด คือ 1.4373 นาที/ชิ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ HC118A-12 จะใช้เวลาในการผลิตเป็น 1.4373 / 1.0033 = 1.433 เท่าของเวลาที่ใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ HC118A-12(36C) ซึ่งจะเห็นว่าในการผลิต ผลิตภัณฑ์ HC118A-12 1 ชิ้น จะเทียบเท่ากับการผลิต ผลิตภัณฑ์ HC118A-12(36C) 1.483 ชิ้น ค่า 1.483 จึงถูกกำหนดเป็นค่า Equivalent Unit: EU

ตารางที่ 4.9 แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product D

Product	Group	No.	Product Name	Standard time (min / piece)	EU
D	D1	1	TRF-123 DIS	2.0087	1.000
		2	TRF-211	2.1581	1.000
		3	TRF-123 VAR	2.1957	1.017
		4	TRF-144	3.1480	1.459
		Total		9.5105	4.476
	D2	1	TRF-282	2.2940	1.000
		2	TRF-134	2.7823	1.213
		3	TRF-286	10.2290	4.459
		4	TRF-252	12.5690	5.479
		Total		27.8743	12.151

จากในตารางที่ 4.9 แสดงเวลาในการผลิตของ Product D ซึ่งจะนำข้อมูลเวลาการผลิตในแต่ละรุ่นมาคำนวณหาค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit: EU) โดยจะแยกออกมาเป็น 2 Group เช่น ในGroup D1 แยกออกเป็น 4 รุ่น คือ TRF-123 DIS, TRF-211, TRF-123 VAR และ TRF-144 ซึ่งจะใช้เวลาในการผลิตแตกต่างกันจะเห็นว่า ผลิตภัณฑ์ TRF-123 ใช้เวลาในการผลิตน้อยที่สุด คือ 2.0087 นาที/ชิ้น ส่วนผลิตภัณฑ์ TRF-144 ใช้เวลาในการผลิตมากที่สุด คือ 3.1480 นาที/ชิ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ TRF-144 จะใช้เวลาในการผลิตเป็น 3.1480 / 2.0087 = 1.459 เท่าของเวลาที่ใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ TRF-123 ซึ่งจะเห็นว่าในการผลิต ผลิตภัณฑ์ TRF-144 1 ชิ้น จะเทียบเท่ากับการผลิต ผลิตภัณฑ์ TRF-123 1.459 ชิ้น ค่า 1.459 จึงถูกกำหนดเป็นค่า Equivalent Unit: EU

ตารางที่ 4.10 แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product E

Product	Group	No	Product Name	Standard time (min / piece)	EU
E	E1	1	S2VB	0.8745	1.000
		2	S4VB	0.9746	1.114
		3	S10VB	1.1200	1.281
		4	S5VB	1.1352	1.298
		5	D15VBA	1.4653	1.676
		6	S15WB	1.7190	1.966
		7	S25VB	1.8167	2.077
		8	D25VB	1.9278	2.205
	Total			11.0329	12.616
	E2	1	S3WB	0.8845	1.000
		2	S15VB	1.3088	1.480
		3	S10WB	1.6031	1.812
		4	S20WB	2.3399	2.645
		5	D30VC	3.6530	4.130
		6	S10VTA	4.7610	5.383
		7	S50VB	4.7890	5.414
		8	S15VTA	4.8410	5.473
		9	S20VTA	4.8810	5.518

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.10(ต่อ) แสดงการกำหนดค่า Equivalent Unit (EU) ของ Product E

Product	Group	No	Product Name	Standard time (min / piece)	EU
E	E2	10	S30VTA	4.8830	5.521
		11	S10VT	4.9530	5.600
		12	S15VT	4.9799	5.630
		13	S20VT	4.9879	5.639
		14	S30VT	4.9889	5.640
		Total		53.8540	60.886

จากในตารางที่ 4.10 แสดงเวลาในการผลิต Product E ซึ่งจะนำข้อมูลเวลาการผลิตในแต่ละรุ่นผลิตภัณฑ์มาคำนวณหาค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit: EU) โดยจะแยกออกมาเป็น 2 Group เช่น ในGroup E1 แยกออกเป็น 8 รุ่น คือ S2VB, S4VB, S10VB, S5VB, D15VBA, S15WB, S25VB และ D25VB ซึ่งจะใช้เวลาในการผลิตแตกต่างกัน จะเห็นว่า ผลิตภัณฑ์ S2VB ใช้เวลาในการผลิตน้อยที่สุด คือ 0.8745 นาที/ชิ้น ส่วนผลิตภัณฑ์ D25VB ใช้เวลาในการผลิตมากที่สุด คือ 1.9278 นาที/ชิ้น ดังนั้นผลิตภัณฑ์ D25VB จะใช้เวลาในการผลิตเป็น 1.9278/0.8745 = 2.205 เท่าของเวลาที่ใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ S2VB ซึ่งจะเห็นว่าในการผลิต ผลิตภัณฑ์ D25VB 1 ชิ้น จะเทียบเท่ากับการผลิต ผลิตภัณฑ์ S2VB 2.205 ชิ้น ค่า 2.205 จึงถูกกำหนดเป็นค่า Equivalent Unit: EU

ส่วนโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ อาจจะมีวิธีการคิดที่แตกต่างกันไป จึงอาจทำให้ค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูป (EU) ไม่เท่ากัน แต่ท้ายที่สุดแล้วจะมีการคิด Universal Equivalent Unit เพื่อหาค่ากลางที่จะสามารถใช้ร่วมกันได้ทุกโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่อไป

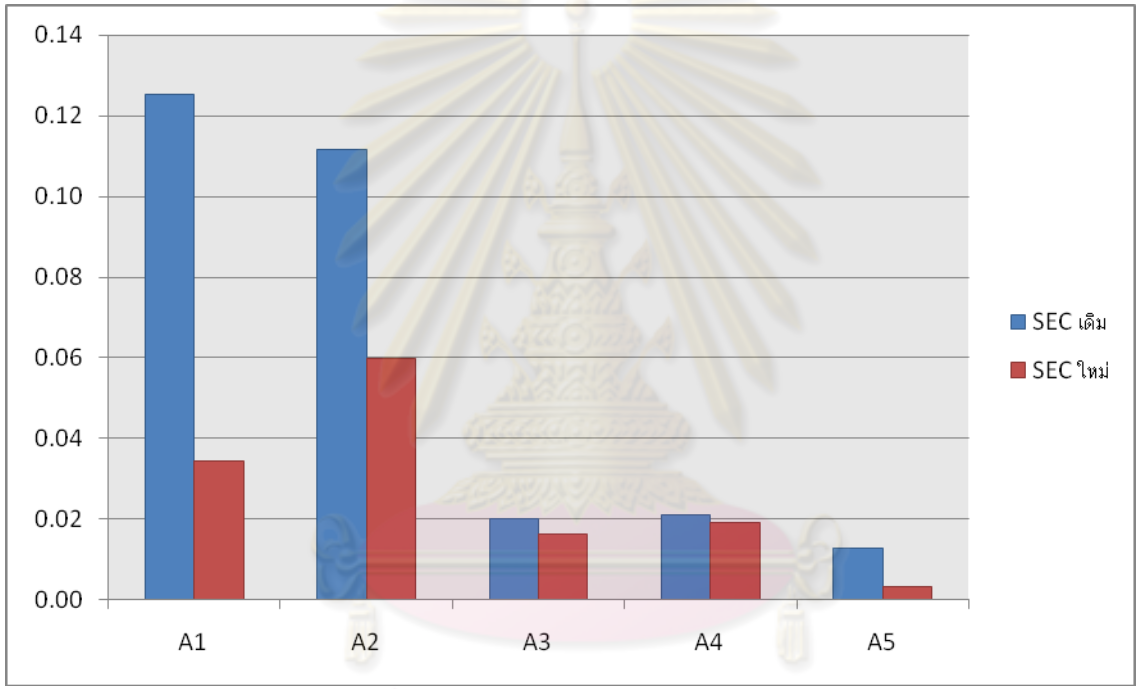
4.3 เปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตแบบเดิมกับแบบใหม่

วิธีการคำนวณหา ปริมาณผลผลิตเทียบเท่า คือ การปรับเทียบหน่วยผลิตภัณฑ์ให้เป็นหน่วยเดียวกัน ของแต่ละรุ่นผลิตภัณฑ์ ทำได้โดยการนำค่า EU ไปคูณกับปริมาณผลผลิต (จำนวนชิ้น) ที่ได้ของแต่ละผลิตภัณฑ์ และสามารถคำนวณหาค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิตใหม่ (SECใหม่) ได้ ในที่นี้เราจะใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าเป็นค่าการใช้พลังงานผลิตแยกแต่ละผลิตภัณฑ์แบ่งตาม Group ที่แยกประเภทไว้แต่แรกและทำการเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตเดิม (SECเดิม) ได้ดังตารางที่ 4.11 – 4.15 แบ่งตาม Product A, B, C, D และ E ตามลำดับ

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิตในหน่วยค่า EU ของ Product A

Product	No.	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ปริมาณผลผลิต (Q_1)	ค่า EU	จำนวนชิ้น x ค่า EU (Q_2)	SEC เดิม (kWh/ Q_1)	SEC ใหม่ (kWh/ Q_2)	% ที่เปลี่ยนแปลง
A	A1	39,334	313,600	25.992	1,140,213.674	0.125	0.034	72.50
	A2	327,782	2,937,560	60.232	5,486,073.538	0.112	0.060	46.45
	A3	524,450	25,960,530	44.752	32,439,716.386	0.020	0.016	19.97
	A4	249,114	11,891,000	12.383	13,021,588.239	0.021	0.019	8.68
	A5	170,446	13,400,980	306.736	52,588,235.275	0.013	0.003	74.52

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.1 แสดงกราฟของค่า SEC เดิม เปรียบเทียบกับค่า SEC ใหม่ ของ Product A

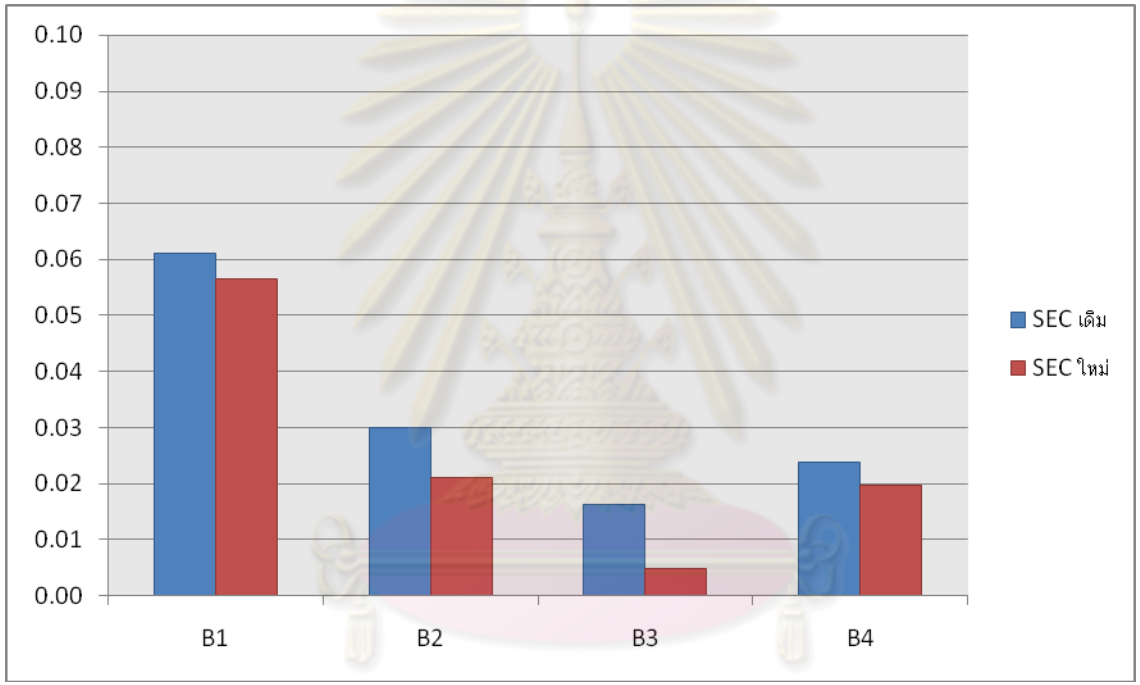
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

116

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิตในหน่วย EU ของ Product B

Product	No.	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ปริมาณผลผลิต (Q_1)	ค่า EU	จำนวนชิ้น x ค่า EU (Q_2)	SEC เดิม (kWh/ Q_1)	SEC ใหม่ (kWh/ Q_2)	% ที่เปลี่ยนแปลง
B	B1	231,238	3,787,230	30.681	4098282.370	0.061	0.056	7.59
	B2	184,990	6,183,390	39.937	8,745,115.214	0.030	0.021	29.29
	B3	358,419	22,020,210	106.751	75,910,855.993	0.016	0.005	70.99
	B4	381,543	16,072,136	55.513	19,422,901.384	0.024	0.020	17.25

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟของค่า SEC เดิม เปรียบเทียบกับค่า SEC ใหม่ ของ Product B

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

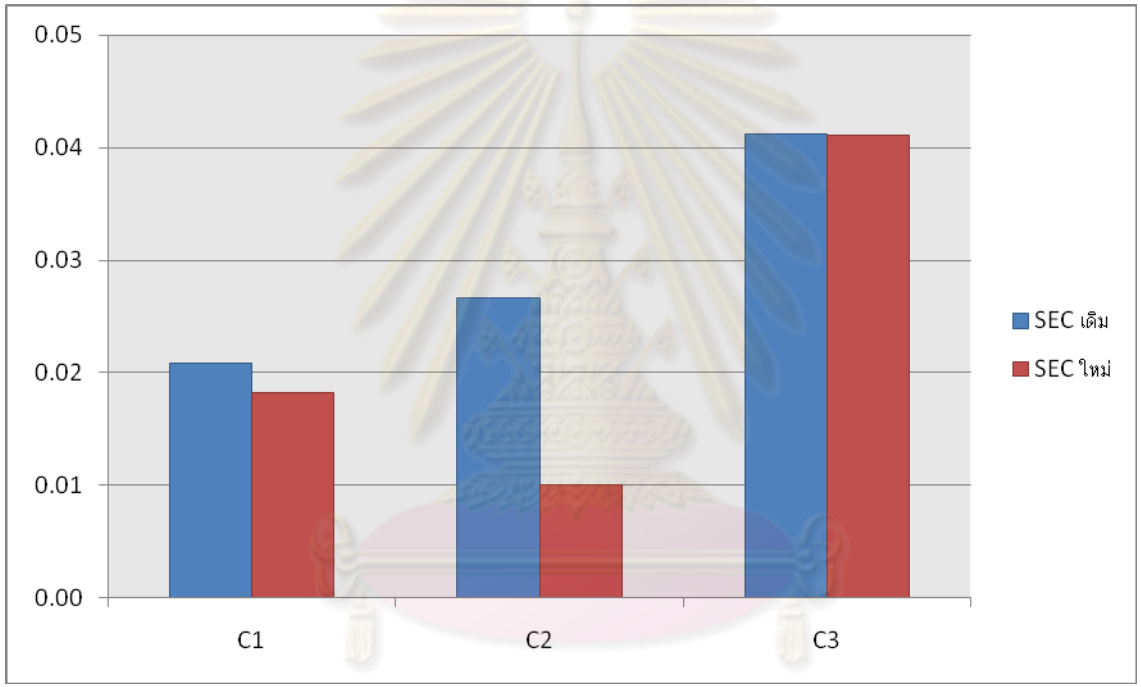
118

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิตในหน่วย EU ของ Product C

Product	No.	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ปริมาณผลผลิต (Q_1)	ค่า EU	จำนวนชิ้น x ค่า EU (Q_2)	SEC เดิม (kWh/ Q_1)	SEC ใหม่ (kWh/ Q_2)	% ที่เปลี่ยนแปลง
C	C1	1,001,320	47,911,210	53.851	54,982,714.007	0.021	0.018	12.86
	C2	231,074	8,660,852	458.157	22,995,514.862	0.027	0.010	62.34
	C3	308,099	7,466,425	22.379	7,502,483.955	0.041	0.041	0.48

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

119



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟของค่า SEC เดิม เปรียบเทียบกับค่า SEC ใหม่ ของ Product C

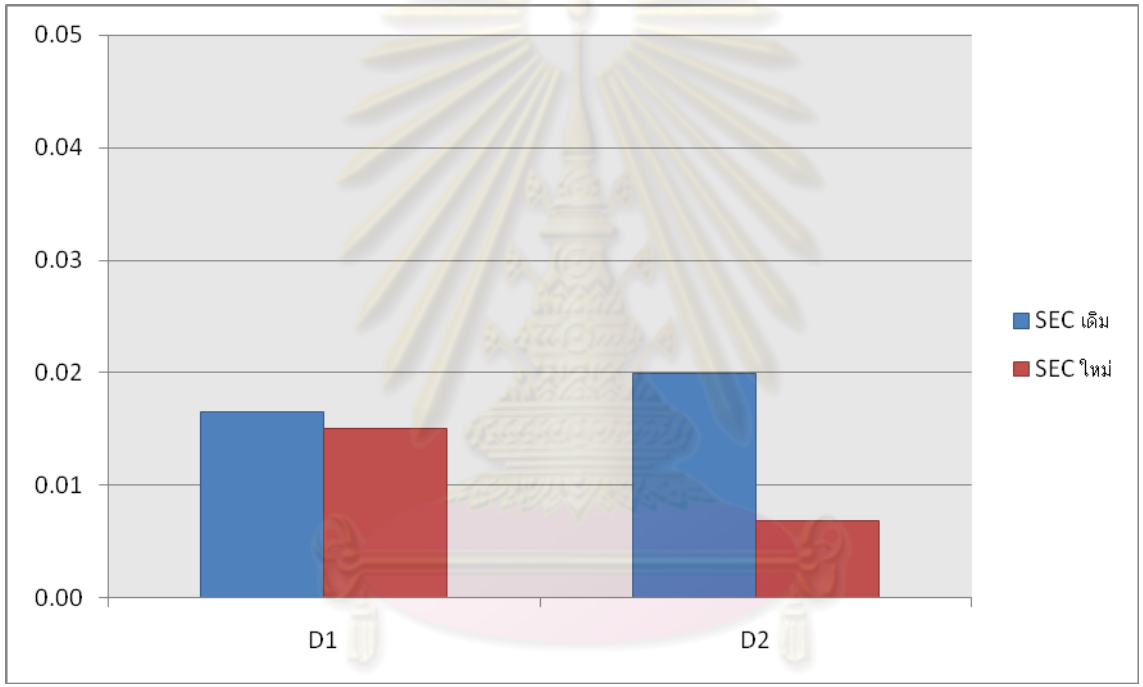
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

120

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิตในหน่วย EU ของ Product D

Product	No.	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ปริมาณผลผลิต (Q_1)	ค่า EU	จำนวนชิ้น x ค่า EU (Q_2)	SEC เดิม (kWh/ Q_1)	SEC ใหม่ (kWh/ Q_2)	% ที่เปลี่ยนแปลง
D	D1	542,865	32,940,000	4.476	36,206,123.905	0.016	0.015	9.02
	D2	565,022	28,300,000	12.151	82,110,810.811	0.020	0.007	65.53

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟของค่า SEC เดิม เปรียบเทียบกับค่า SEC ใหม่ ของ Product D

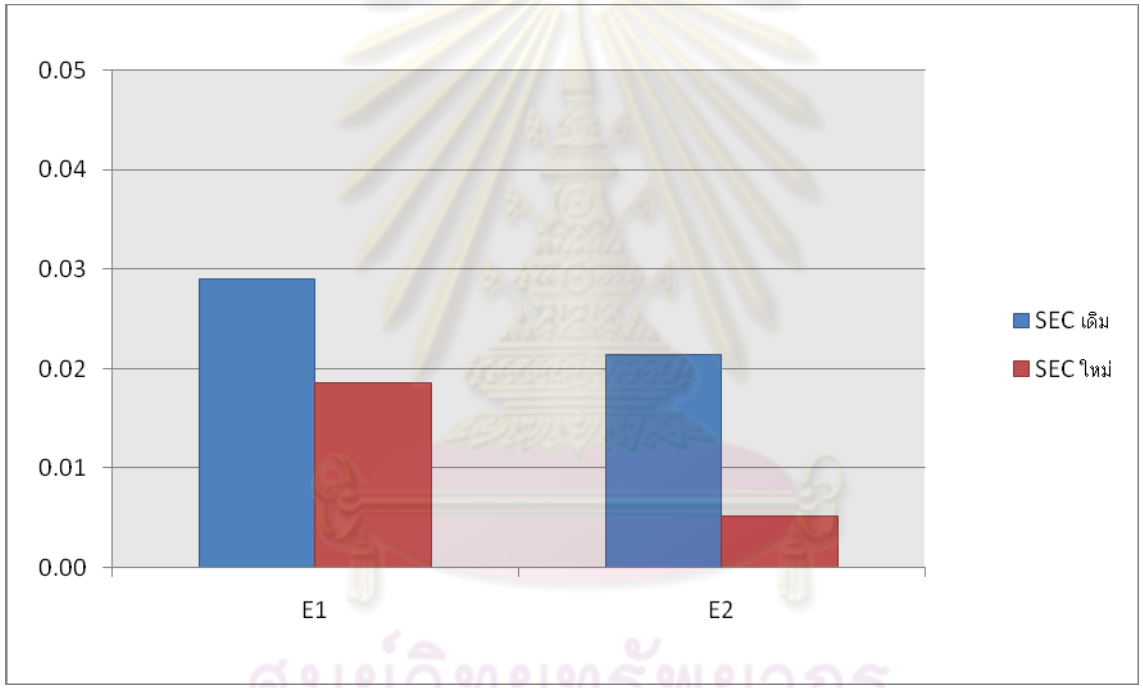
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

122

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิตในหน่วย EU ของ Product E

Product	No.	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ปริมาณผลผลิต (Q_1)	ค่า EU	จำนวนชิ้น x ค่า EU (Q_2)	SEC เดิม (kWh/ Q_1)	SEC ใหม่ (kWh/ Q_2)	% ที่เปลี่ยนแปลง
E	E1	798,088	27,564,400	12.616	43,108,750.534	0.029	0.019	36.06
	E2	1,057,930	49,590,477	60.886	207,477,769.871	0.021	0.005	76.10

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.5 แสดงกราฟของค่า SEC เดิม เปรียบเทียบกับค่า SEC ใหม่ ของ Product E

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

124

จากการสังเกตกราฟรูปที่ 4.1 -4.5 ซึ่งเป็นแสดงถึงค่า SEC เดิมของโรงงาน เปรียบเทียบกับค่า SEC ใหม่ ซึ่งคำนวณจากการปรับหน่วยผลิตภัณฑ์ให้เป็นค่าเดียวกัน โดยใช้เทคนิค Equivalent Unit :EU ค่าที่ได้ใหม่มีการเปลี่ยนแปลงมีตั้งแต่ไม่ถึง 1% จนถึง 74%

การที่ได้คำนวณหาค่าดัชนีการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ใหม่ (SECใหม่) ของแต่ละรุ่นผลิตภัณฑ์ โดยใช้วิธีการหาค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูป (EU) จึงทำให้สามารถหาต้นทุนการใช้พลังงานรวมต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ได้มีความถูกต้องมากขึ้น ซึ่งเป็นการช่วยทำให้สามารถแยกคิดมูลค่าต้นทุนของผลิตภัณฑ์ของแต่ละรุ่นหรือแต่ละชนิดของผลิตภัณฑ์ออกมาได้อย่างชัดเจนว่ามีค่าใช้จ่ายพลังงานต่อชิ้นนั้นๆ เป็นมูลค่าเท่าไรเมื่อนำจำนวนผลิตภัณฑ์ในหน่วยเทียบสำเร็จรูปไปหารกับค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าในแต่ละเดือน และยังช่วยคำนวณค่าเวลามาตรฐานที่ใช้ในการผลิตต่อชิ้นของแต่ละรุ่นผลิตภัณฑ์หรือแต่ละชนิดของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

4.4 ตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน

หลังจากการศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ พบว่าตัวแปรต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงาน มีอยู่หลายปัจจัยด้วยกัน โดยจะทำการแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นส่วน ๆ ตามลักษณะของข้อมูลและวัตถุประสงค์ในการศึกษาได้ 3 ส่วน คือ ส่วนแรกคือการหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในโรงงาน โดยทำการศึกษาจากแนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย หลังจากนั้นในส่วนที่สองก็จะเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการให้ทางโรงงานเก็บข้อมูลการใช้พลังงานที่ต้องนำมาใช้ในการศึกษาวิจัย เมื่อได้ข้อมูลครบถ้วนแล้ว ในส่วนสุดท้ายก็จะทำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) เพื่อจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงานในโรงงานที่เหมาะสม

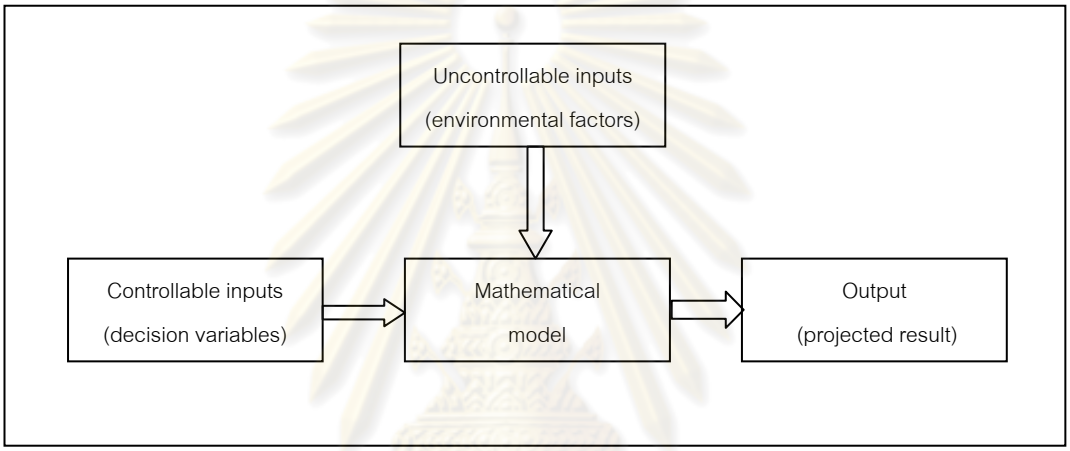
4.4.1 กลุ่มตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน

ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลักดังนี้

1) กลุ่มตัวแปรด้านที่ตั้งโรงงานและสภาพอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายนอกของโรงงาน
2) กลุ่มตัวแปรด้านอาคารโรงงานและการวางแผนผังของโรงงาน
3) กลุ่มตัวแปรด้านเครื่องจักรและกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์

4.4.2 การพิจารณาถึงปัจจัยที่ควบคุมได้และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ของการใช้พลังงานในอุตสาหกรรม

โดยจะกล่าวถึงปัจจัยที่นำเข้ามาคิดคำนวณหาแบบจำลองการใช้พลังงานจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable factors)และปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable factors) ซึ่งเมื่อรวมปัจจัยทั้งสองเข้าด้วยกันในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical model) ผลลัพธ์ที่ออกมาจะเป็นการใช้พลังงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 Process of transforming inputs into outputs (Anderson et al., 1997)

โดยที่ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable factors) ได้แก่ ลักษณะที่ตั้งของโรงงาน วิธีการปฏิบัติการด้านอาคาร การตัดสินใจในด้านการวางแผนผังของโรงงาน สำหรับการจัดวางเครื่องจักรและอุปกรณ์ในระบบต่างๆ ซึ่งจะเหมือนกับการจัดสภาพการใช้พลังงานให้เป็นไปตามนโยบายทางด้านพลังงาน ในขณะที่ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable factors) นั้นได้แก่ สภาพภูมิอากาศ ลักษณะการใช้งานในพื้นที่ ชั่วโมงการทำงาน อายุอาคารโรงงาน และ จำนวนพนักงานที่ทำงานในโรงงาน

4.4.3 การรวบรวมตัวแปรจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) การุณย์ ศุภมิตรโยธิน (2548) จากวิทยานิพนธ์เรื่อง การศึกษาเกณฑ์ชี้วัดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานเขตร้อนชื้น ได้ทำการศึกษารวบรวมตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเปลือกอาคารที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัว

แปรด้วยโปรแกรม DOE-2 จากผลการศึกษาพบว่าปัจจัยทางด้านเปลือกอาคารที่มีผลต่อการออกแบบอาคารที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารดังนี้

- อัตราส่วนพื้นที่ผิวอาคารภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอย ซึ่งเกี่ยวข้องกับลักษณะรูปทรงอาคาร พื้นที่ใช้สอย และจำนวนชั้น
- วัสดุเปลือกอาคาร
- การใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ

2) **William Chung, Y.V. Hui, Y. Miu Lam** (2548) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับเรื่อง Benchmarking the energy efficiency of commercial buildings ซึ่งงานวิจัยนี้อธิบายถึงกระบวนการในการหาเกณฑ์สำหรับบอกประสิทธิภาพของพลังงานโดยใช้ค่า means ในการใช้สถิติแบบ Multiple regression analysis ซึ่งบอกความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของการใช้พลังงาน (EUIs) กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง (เช่น ชั่วโมงการทำงาน)

จากการใช้ Regression model พบว่าค่าความเข้มการใช้พลังงานเป็น normal โดยการที่กำจัดปัจจัยที่ส่งผลต่อ Explanatory factor ออกแล้ว และเมื่อนำค่าการกระจายตัวสะสมของ Normal EUI จะให้ตาราง Benchmark เพื่อเป็นเกณฑ์ในการสังเกตค่า EUI

ข้อดีของงานวิจัยนี้คือให้ตารางแสดงค่าที่เป็นการกระจายตัวปกติของค่า EUI เมื่อนำมาคำนวณกับ Explanatory factor ที่มีผลต่อการใช้พลังงานโดยการนำไปใช้ในซุปเปอร์มาร์เก็ต โดยปัจจัยที่ได้นำมาศึกษาและมีผลต่อการใช้พลังงานคือ

- อายุอาคาร
- พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร
- จำนวนลูกค้าที่มาใช้บริการต่อปี
- ชั่วโมงการทำงานต่อปี
- พฤติกรรมการปฏิบัติและบำรุงรักษา
- ชนิดของระบบทำความเย็นภายในอาคาร

3) **Terry Sharp** (2539) จากงานวิจัยเรื่อง Energy benchmarking in commercial-office buildings ได้ใช้ข้อตกลงเดียวกับ Simple normalized EUI ซึ่งไม่ดีพอที่จะให้คะแนนในด้านการจัดลำดับการใช้พลังงานดังนั้นในการคำนวณผลของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการใช้พลังงานนั้นจึงมีการปรับพัฒนาเกณฑ์ตัดสินโดยใช้ ‘Multi variance linear - regression’ เพื่อ

ศึกษาความสัมพันธ์กับปัจจัยอื่นที่แสดงให้เห็นถึงลักษณะสำคัญบางประการของอาคารกับค่า EUI และนอกจากนี้ Sharp ยังเห็นด้วยกับที่ว่าค่า Mean EUI เป็นเกณฑ์ที่ไม่ดีนักในฐานะที่จะใช้เป็นตัวชี้วัดการกระจายตัว ดังนั้น Sharp จึงใช้ค่าของ Standard error ของผลจาก regression model ในการวิเคราะห์การกระจายตัวของเกณฑ์ออกมาในรูปแบบตารางซึ่งมีความน่าเชื่อถือกว่า ในกรณีของเกณฑ์ที่ใช้กับอาคารที่มีลักษณะจำเพาะจะใช้ “Best – fitted regression model” ในการคำนวณค่า Predicted EUI ซึ่งค่า Predicted EUI นี้ ตารางเกณฑ์การกระจายตัว (% table) ถูกคำนวณจากค่า mean of standard error distribution โดยที่แท้จริงของ EUI “actual EUI” สามารถเปรียบเทียบกับเกณฑ์ในรูปแบบแต้มที่เป็นตาราง Sharp Method ถูกนำมาใช้ใน Asia – Pacific Economic Cooperation Energy Benchmark System และนำมาประยุกต์เป็น Energy star Benchmarkส่วนเกณฑ์อื่นๆ ที่ใช้อยู่บน Model regression (Distribution of residuals) ในทางตรงกันข้าม (ใช้พื้นฐานบน Standard error distribution) ใน Sharp’s Method นั้น Residual เป็นความแตกต่างระหว่างค่าที่แท้จริงกับค่า Predictive EUI ค่า Residual อาจถูก treat ในกรณีที่เป็นตัววัดการไม่มีประสิทธิภาพโดยได้หาตัวแปรที่ส่งผลกระทบกับการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานจำนวนทั้งสิ้น 33 ตัวแปร หลังจากทำการวิเคราะห์การถดถอยแบบ Stepwise เพื่อหาตัวแปรที่แท้จริงที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน ซึ่งหลังจากการวิเคราะห์จะได้แบบจำลองโดยตัวแปรที่มีความสำคัญมากสำหรับแบบจำลองนี้คือ

- ความหนาแน่นของพนักงาน (คนต่อตารางเมตร)
- จำนวนผู้ใช้คอมพิวเตอร์ภายในอาคาร (คน)

4) **Wen Shing Lee** (2550) จากงานวิจัยเรื่อง Benchmark the energy efficiency of government building with data envelopment analysis โดยได้สร้างสมการใช้พลังงานและปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานโดยพิจารณาเฉพาะปัจจัยทางด้านเปลือกอาคารเท่านั้น และตัวแปรที่นำมาพิจารณาได้แก่

- ความหนาแน่นของคน (people/100m^2)
- ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายนอก
- ค่าเฉลี่ยของชั่วโมงที่ฝนตกต่อเดือน (h/month)

5) **H. sun et al.**, (2549) จากงานวิจัยเรื่อง Building energy performance benchmarking and simulation under tropical climatic conditions ได้ศึกษาการจัดทำเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงานในประเทศสิงคโปร์ โดยวิธีที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลได้แก่ การจัดทำ

แบบสอบถามโดยทำการสัมภาษณ์ทางโทรศัพท์และออกสำรวจตามอาคารต่างๆ ซึ่งข้อมูลที่รวบรวมจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

<u>ส่วนที่ 1</u> ข้อมูลทั่วไปของอาคาร ได้แก่ อายุอาคาร ลักษณะการใช้งานในอาคาร ชนิดของระบบปรับอากาศ ระบบที่ใช้ควบคุมอาคาร ชั่วโมงการทำงาน

<u>ส่วนที่ 2</u> การใช้พื้นที่ภายในอาคารซึ่งรวมถึงพื้นที่อื่นๆ ซึ่งมีความหลากหลายในการใช้งานในพื้นที่นั้นๆ พื้นที่ใช้สอยจริง จำนวนพนักงาน และจำนวนคอมพิวเตอร์

<u>ส่วนที่ 3</u> ปริมาณการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ทั้งหมด

จากข้อมูลแบบสอบถามตัวแปรที่นำมาพิจารณาสำหรับงานวิจัยนี้มีดังนี้

- อายุอาคาร (ปี)
- ประเภทการใช้งานในอาคาร (อาคารราชการและอาคารเอกชน)
- ลักษณะการใช้งาน (อาคารสำนักงานและอาคารสำนักงานที่มีร้านค้า)
- พื้นที่ปรับอากาศ (ตารางเมตร)
- พื้นที่ใช้สอย (ตารางเมตร)
- ร้อยละของพื้นที่ใช้สอยจริง (%)
- ความหนาแน่นของพนักงานในอาคาร (จำนวนพนักงานต่อพื้นที่ 100 ตารางเมตร)

หลังจากทำการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีวิเคราะห์การถดถอยพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานคือ พื้นที่ใช้สอยและประเภทการใช้งานอาคาร ที่ระดับความเชื่อมั่น 89%

4.4.4 สรุปตัวแปรปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน

จากการศึกษาและรวบรวมตัวแปรปัจจัยต่างๆ จาก ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้นพบว่ามีตัวแปรจำนวนมากที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถสรุปตัวแปรหลักที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 ตัวแปรปัจจัยที่รวบรวมจากแนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่คาดว่าจะส่งผลต่อการใช้พลังงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์

ประเภทของตัวแปรปัจจัย	ชื่อตัวแปร	รายละเอียด
อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายออกของโรงงาน	ผลต่างของอุณหภูมิ : Difference of temperature (°C)	เนื่องจากจะเป็นตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมภายนอก แต่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคารโรงงาน
จำนวนชั่วโมงที่ทำงาน	ชั่วโมงการทำงาน : Operation time (วัน)	การใช้พลังงานจะมากหรือน้อยก็ย่อมขึ้นอยู่กับชั่วโมงการเปิดทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ
ขั้นตอนกระบวนการผลิต	จำนวนของผลิตภัณฑ์ : Number of product (ชิ้น)	เป็นตัวแปรหลักที่คาดว่าจะส่งต่อการใช้พลังงานมากที่สุด เนื่องจากจำนวนผลิตภัณฑ์ทุกชิ้นก็ต้องมีการใช้พลังงานในการผลิต แต่มากน้อยไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับปัจจัยความยากง่ายในการผลิต

จากการพิจารณาคัดเลือกตัวแปรเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การถดถอยต่อไปมีทั้งสิ้น 3 ตัวแปร ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

อุณหภูมิของสภาพแวดล้อมภายออกของโรงงาน เป็นตัวแปรที่จะแสดงถึงว่าจะต้องมีการใช้พลังงานมาก-น้อยเพียงใด เนื่องจากในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์นั้นจะต้องมีการรักษาอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมา เช่น ห้องเก็บวัตถุดิบ ห้องเก็บคลังสินค้า เป็นต้น เพราะพลังงานในระบบปรับอากาศค่อนข้างจะมีสัดส่วนการใช้พลังงานมากเมื่อเทียบกับพลังงานในส่วนอื่นๆ จึงต้องคิดคำนึกเป็นสำคัญ โดยจะต้องมีการเก็บข้อมูลของอุณหภูมิภายนอกและนำมาปรับเปลี่ยนการใช้พลังงานภายในโรงงาน

จำนวนชั่วโมงที่ทำงาน หมายถึง ชั่วโมงการทำงานต่อเดือน โดยหาได้จากผลรวมของชั่วโมงการทำงานในแต่ละวันคูณกับจำนวนวันต่อเดือน

ส่วนตัวแปรทางด้านขั้นตอนกระบวนการผลิต ผู้วิจัยได้พิจารณาได้ทำการขอดูข้อมูลของผลิตภัณฑ์ที่แล้วๆในอดีต เพราะว่าการผลิตผลิตภัณฑ์ออกมาต่อหนึ่งชิ้นย่อมจะต้องมีการใช้พลังงานด้วยเสมอ แต่ก็ขึ้นอยู่กับการผลิตยาก-ง่ายของผลิตภัณฑ์ด้วย ถ้าผลิตค่อนข้างยากก็อาจจะต้องใช้พลังงานมากตามไปด้วย แต่ก็ไม่เสมอไป จึงต้องมีการเก็บข้อมูลเวลาในการผลิตกับพลังงานที่ใช้ไปในการผลิตผลิตภัณฑ์นั้นๆ

หลังจากที่รวบรวมตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ แล้วก็จะทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ต้องนำไปใช้ต่อในการวิเคราะห์คำนวณแบบจำลองการใช้พลังงานต่อไป

4.5 ผลการจัดทำแบบจำลองการใช้เกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานด้วยเทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูปของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ที่เหมาะสม

เพื่อให้ได้แบบจำลองการใช้พลังงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ที่เหมาะสมและแสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่แท้จริงที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในโรงงาน ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักในงานวิจัยแล้ว การจัดทำแบบจำลองดังกล่าวยังสามารถใช้เป็นแนวทางในการจัดทำเกณฑ์มาตรฐานการใช้พลังงาน (Benchmarking) เพื่อเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานได้อีกด้วย ดังนั้นจึงได้มีการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้แบบจำลองการใช้พลังงานที่เหมาะสมมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น จึงมีการวิเคราะห์ข้อมูลดังต่อไปนี้

4.5.1 การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ เพื่อหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

การวิเคราะห์การถดถอยแบบพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัวแปรขึ้นไป โดยตัวแปรแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันคือ

- ตัวแปรตาม (Dependent Variable) ในงานวิจัยนี้ตัวแปรตามเป็นตัวแปรเชิงปริมาณคือการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต่อการผลิต 1 Product (Total Electricity Energy, kWh)

- ตัวแปรอิสระ (Independent Variable) ในงานวิจัยนี้ตัวแปรอิสระเป็นตัวแปรเชิงปริมาณทั้งหมดแยกตามแต่ละประเภทผลิตภัณฑ์ ซึ่งจากในขั้นตอนการคำนวณหาค่าหน่วยเทียบสำเร็จรูป (EU) ได้จำแนกออกเป็น 5 ประเภท คือ Product A, B,C, D และ E โดย Product A จะมี 5 ตัวแปร (จำนวนของผลิตภัณฑ์ A1 : X_1 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ A2 : X_2 , จำนวนของ

ผลิตภัณฑ์ A3 : X_3 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ A4 : X_4 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ A5 : X_5) ส่วน Product B จะมี 4 ตัวแปร (จำนวนของผลิตภัณฑ์ B1 : X_1 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ B2 : X_2 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ B3 : X_3 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ A4 : B_4) ส่วน Product C จะมี 3 ตัวแปร (จำนวนของผลิตภัณฑ์ C1 : X_1 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ C2 : X_2 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ C3 : X_3) ส่วน Product D จะมี 2 ตัวแปร (จำนวนของผลิตภัณฑ์ D1 : X_1 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ D2 : X_2) สุดท้าย Product E จะมี 2 ตัวแปร (จำนวนของผลิตภัณฑ์ E1 : X_1 , จำนวนของผลิตภัณฑ์ E2 : X_2) ซึ่งทุกตัวแปรของจำนวนผลิตภัณฑ์จะเป็นหน่วยเทียบเท่าสำเร็จรูป (Equivalent Unit : EU)

ขั้นตอนในการหาแบบจำลองการใช้พลังงาน มีดังนี้

1. ที่มาของข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล ซึ่งเป็นค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ของโรงงานของแต่ละประเภทผลิตภัณฑ์ตัวอย่าง ในรอบ 1 เดือนที่ทำงานกับจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ได้

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์ความถดถอย (Regression analysis)

ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมทางสถิติ คือ Minitab Version 15 โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังต่อไปนี้

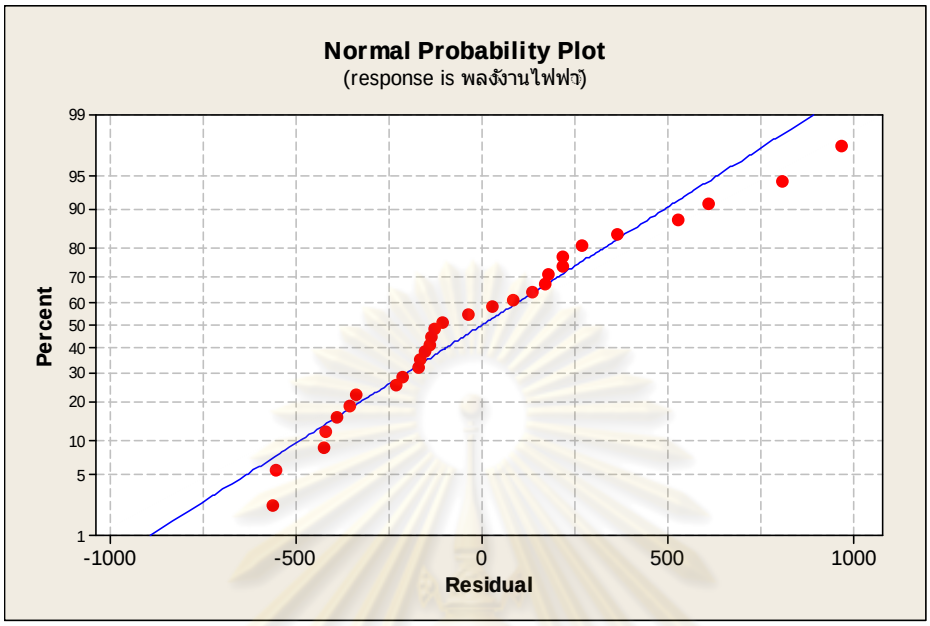
2.1 การตรวจสอบหาทิศทางความสัมพันธ์ของตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

ในกรณีที่ตัวแปรทั้งคู่เป็นตัวแปรเชิงปริมาณ(สามารถวัดค่าได้) และตัวแปรอิสระที่ต้องการศึกษามีมากกว่า 2 ตัวแปรขึ้นไป จะต้องใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงพหุคูณ (Multiple Regression Analysis) ซึ่งในการศึกษาว่าปัจจัยหรือตัวแปรอิสระตัวใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม โดยมีสมมติฐานในการทดสอบความสัมพันธ์หรือการทดสอบความมีนัยสำคัญของตัวแบบถดถอย ดังนี้

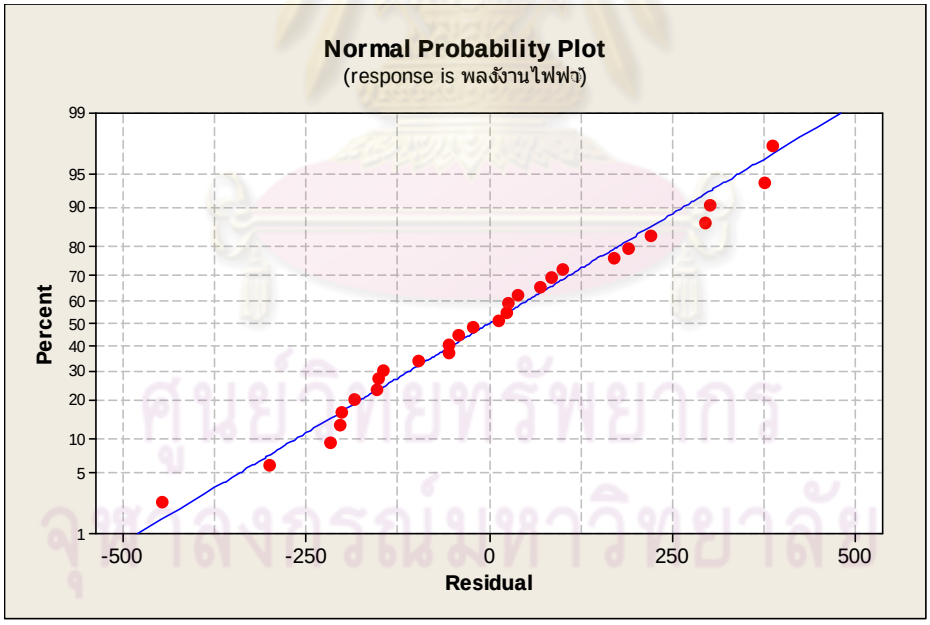
สมมติฐาน $H_0 : \beta_i = 0$: ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

$H_1 : \beta_i \neq 0$: มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ

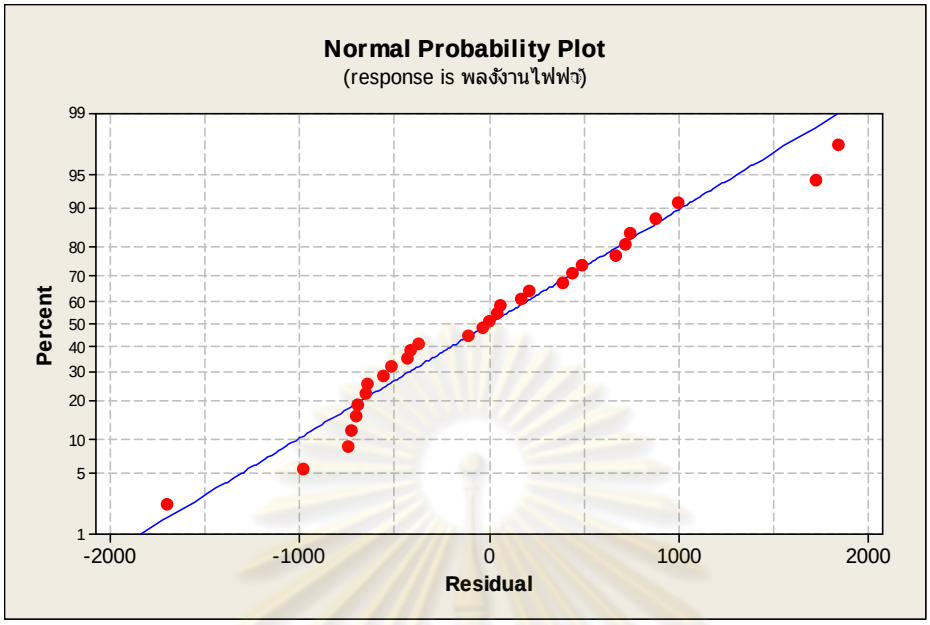
จากการวิเคราะห์ข้อมูลในเบื้องต้น โดยได้ผลลัพธ์จากการคำนวณโดยโปรแกรม Minitab จะทำให้สามารถหาทิศทางความสัมพันธ์ของตัวแปรได้ โดยแยกออกเป็น 5 ประเภท ดังรูปที่ 4.7 – 4.11 และสำหรับในกรณีที่มีการปฏิเสธสมมติฐาน H_0 แล้ว จะแสดงว่าค่าของตัวแปร X และ Y มีความสัมพันธ์กันเชิงเส้นตรง



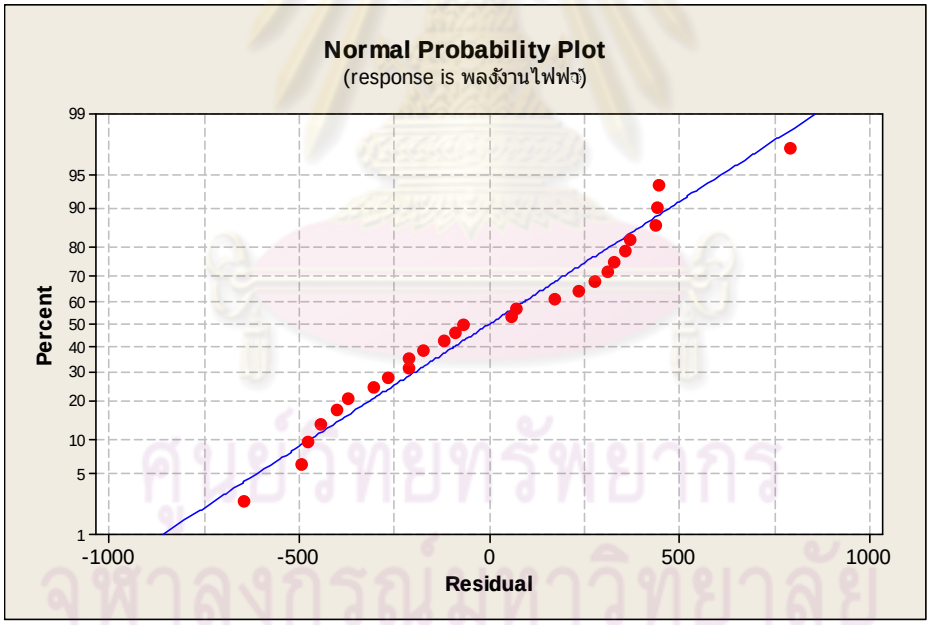
รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ของ Product A



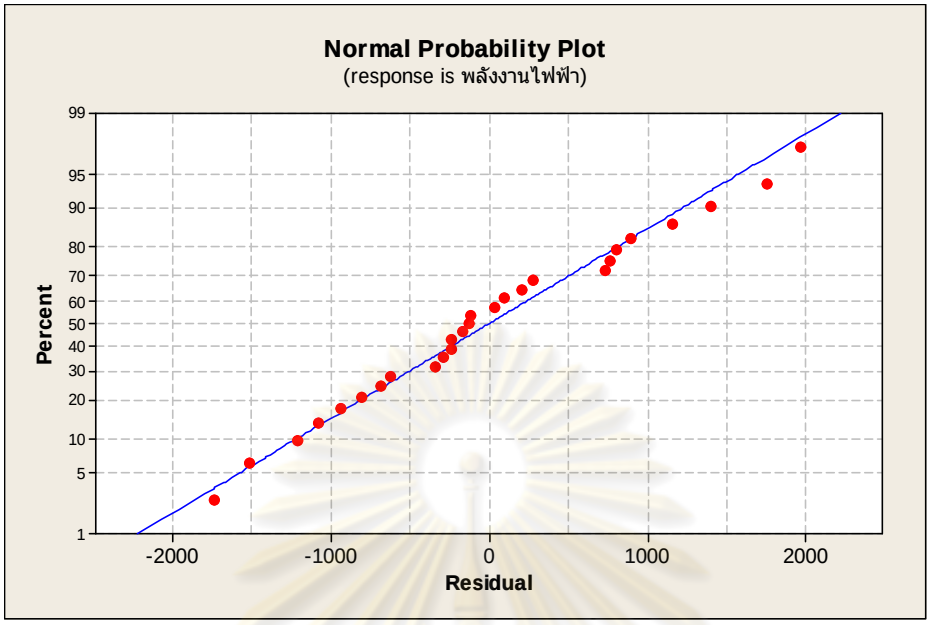
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ของ Product B



รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ของ Product C



รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ของ Product D



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ในเชิงเส้นตรง ข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ ของ Product E

2.2 การวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (Correlation)

จากการทดสอบในขั้นตอนที่แล้ว เป็นเพียงการทดสอบว่าตัวแปร X กับ Y มีความสัมพันธ์กันในรูปเชิงเส้นหรือไม่ ซึ่งไม่สามารถระบุได้ว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด จึงมีสถิติเพื่อวัดความสัมพันธ์ดังกล่าวเรียกว่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (ρ) โดยที่ค่านี้จะไม่มีหน่วยจึงสามารถใช้วัดความสัมพันธ์ระหว่าง X กับ Y ได้ว่ามีความสัมพันธ์กันมากน้อยเพียงใด เนื่องจากค่า ρ จะมีค่าสูงสุดเป็น 1 และต่ำสุดเป็น -1

กรณีที่ใช้ข้อมูลตัวอย่างจะประมาณค่า ρ ด้วยค่า r โดยที่ r คือ สัมประสิทธิ์สหสัมพัทธ์ของเพียร์สัน (Pearson's Correlation Coefficient)

ความหมายของค่า r

1. ค่า r เป็นลบ แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้าม คือ ถ้าค่า X เพิ่ม ค่า Y จะลดลง แต่ถ้าค่า X ลดลงค่า Y จะเพิ่มขึ้น

2. ค่า r เป็นบวก แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน คือ ถ้าค่า X เพิ่ม ค่า Y จะเพิ่มด้วย แต่ถ้าค่า X ลดลงค่า Y จะลดลงด้วย

3. ค่า r มีค่าเข้าใกล้ 1 หมายถึง X และ Y มีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกันและมีความสัมพันธ์กันมาก

4. ค่า r มีค่าเข้าใกล้ -1 หมายถึง X และ Y มีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามและมีความสัมพันธ์กันมาก

5. ค่า r = 0 แสดงว่า X และ Y ไม่มีความสัมพันธ์กันเลย

6. ค่า r เข้าใกล้ 0 แสดงว่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันน้อย

ตารางที่ 4.17 ผลการทดสอบสหสัมพัทธ์ (Correlations)

สหสัมพัทธ์ (Correlations)	**ค่า r**
พลังงานไฟฟ้า(kWh) กับ จำนวนของผลิตภัณฑ์ A (ชิ้นในหน่วย EU)	0.993
พลังงานไฟฟ้า (kWh) กับ จำนวนของผลิตภัณฑ์ B (ชิ้นในหน่วย EU)	0.975
พลังงานไฟฟ้า (kWh) กับ จำนวนของผลิตภัณฑ์ C (ชิ้นในหน่วย EU)	0.966
พลังงานไฟฟ้า (kWh) กับ จำนวนของผลิตภัณฑ์ D (ชิ้นในหน่วย EU)	0.962
พลังงานไฟฟ้า (kWh) กับ จำนวนของผลิตภัณฑ์ E (ชิ้นในหน่วย EU)	0.979

จากตารางที่ 4.17 แสดงให้เห็นว่าค่าพลังงานไฟฟ้า (kWh) กับ จำนวนของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท (ชิ้นในหน่วย EU) ผลิตภัณฑ์ A มีค่า r เท่ากับ 0.993 ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งมีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าค่า X และ Y มีความสัมพันธ์กันมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนของผลิตภัณฑ์ประเภทอื่น แต่ประเภท B, C, D, E ก็มีค่า r ที่เข้าใกล้ 1 เหมือนกัน ก็แสดงให้เห็นว่า ค่า X และ Y มีความสัมพันธ์กัน

2.3 พิสูจน์ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination)

ใช้สัญลักษณ์ R^2 หมายความว่าแม้จะได้สมการและผ่านการทดสอบสมมติฐานมาแล้วว่า Y , X มีความสัมพันธ์กัน แต่อาจจะมี Variation มาก จนทำให้เมื่อนำสมการไปใช้จะไม่ได้ผลที่ถูกต้อง จึงจำเป็นต้องหาค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (Coefficient of determination) หมายถึงสัดส่วนที่ตัวแปร X สามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่า Y ได้มาก ซึ่งเป็นการช่วยยืนยันว่าจะสามารถยอมรับ Variation นั้นได้หรือไม่ หลักการก็คือหาอัตราส่วนระหว่าง Variation ที่สามารถอธิบายได้ว่าเหตุใดจึงเกิด (Sum square regression) กับ Variation ทั้งหมดที่เกิดขึ้น (Sum square total) จากผลการหาค่า R^2 แสดงดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 แสดงผลการหาค่า R^2

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
A	0.993	0.987	0.985	873.456
B	0.975	0.951	0.943	1131.99
C	0.966	0.933	0.926	1,684.11
D	0.962	0.925	0.919	1,291.20
E	0.979	0.958	0.955	1,620.11

ถ้า R^2 มากๆ แปลว่าสามารถยอมรับสมการนั้นได้มากด้วยเช่นกัน แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นไม่มีข้อระบุว่ามากแค่ไหนยอมรับได้ น้อยแค่ไหนยอมรับได้ ก็ขึ้นอยู่กับผู้ที่เป็นคนตัดสินใจด้วย แต่สำหรับงานวิจัยนี้ยอมรับค่า R^2 ตั้งแต่ 0.7 ขึ้นไป เนื่องจากข้อมูลที่นำมาสร้างสมการความสัมพันธ์ยังมีความผิดพลาดอยู่บ้าง ดังนั้นพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (kWh) จึงมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก ส่งผลให้ตัวแปร Y มีกระจาย จากผลการทดสอบของสมการทั้ง 5 ผลิตภัณฑ์มีค่า R^2 ที่มากกว่า 0.7 ทั้งหมดจึงถือว่ายอมรับได้ทุกผลิตภัณฑ์

4.5.2 สรุปผลแบบจำลองการใช้พลังงาน

จากการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เพื่อหาตัวแปรที่มีอิทธิพลที่ทำให้เกิดการใช้พลังงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในหัวข้อ 4.5.1 นั้น ผลที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยอีกประการหนึ่งก็คือแบบจำลองการใช้พลังงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยจากตารางที่ 4.18 เพื่อนำไปสร้างแบบจำลองการใช้พลังงานที่เหมาะสมได้ โดยนำข้อมูลการใช้พลังงานและปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานไปแปลข้อมูล โดยใช้โปรแกรม Minitab V.15 จะได้ผลลัพธ์ คือการพัฒนาแบบจำลองการใช้เกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานด้วยเทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูป(Equivalent : EU) ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ได้ 5 สมการแยกตามแต่ละผลิตภัณฑ์ โดยทุกสมการทดสอบ ณ ระดับความเชื่อมั่น 95%

แบบจำลองการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ A ดังสมการที่ 4.1

พลังงานไฟฟ้า (kWh) = -2,379 + (0.153 x ผลิตภัณฑ์ A1) + (0.0385xผลิตภัณฑ์ A2) + (0.00529 x ผลิตภัณฑ์ A3) + (0.0163 x ผลิตภัณฑ์ A4) + (0.0274 x ผลิตภัณฑ์ A5) (4.1)

จากสมการที่ 4.1 สรุปได้ว่า

(1) ค่า 2,379 มีค่า P-Value = 0.161 ซึ่งถือว่าไม่ Significant จึงสามารถตัดค่านี้ทิ้งได้ เมื่อนำแบบจำลองการใช้พลังงานไปใช้จริงในโรงงาน

(2) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร ผลิตภัณฑ์ A1 คือ +0.153 หมายถึง การผลิตชิ้นส่วน A1 1 หน่วย(EU) จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 0.153 kWh

(3) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร ผลิตภัณฑ์ A2 คือ +0.0385 หมายถึง การผลิตชิ้นส่วนA2 1 หน่วย(EU) จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 0.0385 kWh

(4) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร ผลิตภัณฑ์ A3 คือ +0.00529 หมายถึง การผลิตชิ้นส่วนA3 1 หน่วย(EU) จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 0.00529 kWh

(5) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร ผลิตภัณฑ์ A4 คือ +0.0163 หมายถึง การผลิตชิ้นส่วนA4 1 หน่วย(EU) จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 0.0163 kWh

(6) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร ผลิตภัณฑ์ A5 คือ +0.0274 หมายถึง การผลิตชิ้นส่วนA5 1 หน่วย(EU) จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 0.0274 kWh

แบบจำลองการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ B ดังสมการที่ 4.2

พลังงานไฟฟ้า (kWh) = - 3,106 + (0.0681 x ผลิตภัณฑ์ B1) + (0.0536xผลิตภัณฑ์ B2) + (0.00251 x ผลิตภัณฑ์ B3) + (0.0162 x ผลิตภัณฑ์ B4) (4.2)

จากสมการที่ 4.2 สรุปได้ว่า

(1) ค่า 3,106 มีค่า P-Value = 0.167 ซึ่งถือว่าไม่ Significant จึงสามารถตัดค่านี้ทิ้งได้ เมื่อนำแบบจำลองการใช้พลังงานไปใช้จริงในโรงงาน

(2) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร ผลิตภัณฑ์ B1 คือ +0.0681 หมายถึง การผลิตชิ้นส่วนB1 1 หน่วย(EU) จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 0.0681 kWh

(3) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร ผลิตภัณฑ์ B2 คือ +0.0536 หมายถึง การผลิตชิ้นส่วนB2 1 หน่วย(EU) จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 0.0536 kWh

(4) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร ผลิตภัณฑ์ B3 คือ +0.00251 หมายถึง การผลิตชิ้นส่วนB3 1 หน่วย(EU) จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 0.00251 kWh

(5) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร ผลิตภัณฑ์ B4 คือ +0.0162 หมายถึง การผลิตชิ้นส่วนB4 1 หน่วย(EU) จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 0.0162 kWh

แบบจำลองการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ C ดังสมการที่ 4.3

พลังงานไฟฟ้า (kWh) = -3487, +(0.00916 x ผลิตภัณฑ์ C1) + (0.0358xผลิตภัณฑ์ C2) + (0.0382 x ผลิตภัณฑ์ C3) (4.3)

จากสมการที่ 4.3 สรุปได้ว่า

(1) ค่า 3,487 มีค่า P-Value = 0.264 ซึ่งถือว่าไม่ Significant จึงสามารถตัดค่านี้ทิ้งได้ เมื่อนำแบบจำลองการใช้พลังงานไปใช้จริงในโรงงาน

(2) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร ผลิตภัณฑ์ C1 คือ +0.00916 หมายถึง การผลิตชิ้นส่วนC1 1 หน่วย(EU) จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 0.00916 kWh

(3) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร ผลิตภัณฑ์ C2 คือ +0.0358 หมายถึง การผลิตชิ้นส่วนC2 1 หน่วย(EU) จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 0.0358 kWh

(4) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร ผลิตภัณฑ์ C3 คือ +0.0382 หมายถึง การผลิตชิ้นส่วนC3 1 หน่วย(EU) จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 0.0382 kWh

แบบจำลองการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ D ดังสมการที่ 4.4

พลังงานไฟฟ้า (kWh) = -1,849 +(0.0127 x ผลิตภัณฑ์ D1) + (0.00857xผลิตภัณฑ์ D2) (4.4)

จากสมการที่ 4.4 สรุปได้ว่า

(1) ค่า 1,849 มีค่า P-Value = 0.430 ซึ่งถือว่าไม่ Significant จึงสามารถตัดค่านี้ทิ้งได้ เมื่อนำแบบจำลองการใช้พลังงานไปใช้จริงในโรงงาน

(2) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร ผลิตภัณฑ์ D1 คือ +0.0127 หมายถึง การผลิตชิ้นส่วนD1 1 หน่วย(EU) จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 0.0127 kWh

(3) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร ผลิตภัณฑ์ D2 คือ +0.00857 หมายถึง การผลิตชิ้นส่วนD2 1 หน่วย(EU) จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 0.00857 kWh

แบบจำลองการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ E ดังสมการที่ 4.5

พลังงานไฟฟ้า (kWh) = 206 +(0.00315 x ผลิตภัณฑ์ E1) + (0.00826xผลิตภัณฑ์ E2) (4.5)

จากสมการที่ 4.5 สรุปได้ว่า

(1) ค่า 206 มีค่า P-Value = 0.136 ซึ่งถือว่าไม่ Significant จึงสามารถตัดค่านี้ทิ้งได้ เมื่อนำแบบจำลองการใช้พลังงานไปใช้จริงในโรงงาน

(2) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร ผลิตภัณฑ์ E1 คือ +0.00315 หมายถึง การผลิตชิ้นส่วนE1 1 หน่วย(EU) จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 0.00315 kWh

(3) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร ผลิตภัณฑ์ D2 คือ +0.00826 หมายถึง การผลิตชิ้นส่วนE2 1 หน่วย(EU) จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 0.00826 kWh

4.5.3 การนำแบบจำลองการใช้เกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานด้วยเทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูปไปประยุกต์ใช้หาตัวชี้วัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

เมื่อได้สมการแบบจำลองการใช้พลังงานแล้ว ต่อมาจึงนำมาประยุกต์ใช้กับการปฏิบัติจริงในโรงงาน โดยการนำแบบจำลองการใช้พลังงานมาพยากรณ์ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในเดือนถัดไป เพื่อเป็นการวัดว่าในเดือนนั้นๆ ได้มีการใช้พลังงานไฟฟ้าอย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ เพื่อเป็นการวัดว่าใช้พลังงานผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทได้อย่างคุ้มค่าหรือไม่ โดยดูจากค่าพยากรณ์ (Forecast) แล้วทำการเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าที่แท้จริงในเดือนนั้นๆ ถ้ามีค่าที่คาดเคลื่อนกันมาก คือ ใช้พลังงานผลิตผลิตภัณฑ์มากกว่าที่ได้ประมาณไว้ ก็ให้ทางโรงงานทำการหาสาเหตุแล้วจึงนำไปปรับปรุงหรือหาวิธีการแก้ไข ถ้าเกิดสิ่งผิดปรกติกับการใช้พลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะช่วยชี้วัดถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานอยู่สม่ำเสมอ ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.19 แสดงค่าการพยากรณ์ของ Product A

วัน	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ค่า Forecast จากสมการพลังงาน	Error	%Error
1	40,645	43,281.71	2,636.71	6.49
2	49,298	51,788.61	2,490.61	5.05
3	41,956	43,607.42	1,651.42	3.94
4	44,578	46,655.84	2,077.84	4.66
5	40,776	43,295.85	2,519.85	6.18
6	33,565	36,120.47	2,555.47	7.61
7	36,449	38,651.97	2,202.97	6.04
8	39,203	41,629.77	2,426.77	6.19
9	40,514	42,909.25	2,395.25	5.91
10	28,189	30,596.57	2,407.57	8.54

ตารางที่ 4.19(ต่อ) แสดงค่าการพยากรณ์ของ Product A

11	41,300	43,799.93	2,499.93	6.05
12	44,972	47,073.33	2,101.33	4.67
13	41,956	44,198.10	2,242.10	5.34
14	36,843	39,244.52	2,401.52	6.52
15	37,629	40,126.19	2,497.19	6.64
16	40,514	42,917.08	2,403.08	5.93
17	40,645	42,901.11	2,256.11	5.55
18	41,038	43,601.62	2,563.62	6.25
19	34,745	36,707.51	1,962.51	5.65
20	47,201	49,009.50	1,808.50	3.83
21	49,954	52,692.52	2,738.52	5.48
22	43,792	46,360.37	2,568.37	5.86
23	45,234	47,804.04	2,570.04	5.68
24	43,660	45,831.57	2,171.57	4.97
25	45,234	48,543.00	3,309.00	7.32
26	50,872	53,084.53	2,212.53	4.35
27	51,134	53,844.92	2,710.92	5.30
28	40,907	44,443.33	3,536.33	8.64
29	42,218	44,588.85	2,370.85	5.62
30	43,660	43,598.58	-61.42	-0.14
31	52,445	53,542.81	1,097.81	2.09

จากตารางที่ 4.19 ทำการพิจารณาวัดค่าความถูกต้อง โดยมีค่าความผิดพลาด ซึ่งต่างก็เป็นฟังก์ชั่นของค่าความคลาดเคลื่อน e_i โดยที่ e_i เป็นผลต่างของค่าที่เกิดขึ้นจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลองการใช้พลังงาน เป็นการแสดงค่าการพลังงานไฟฟ้าที่แท้จริงในแต่ละเดือนเปรียบเทียบกับค่าพยากรณ์ (forecast) ซึ่งจากค่า Error ในตารางที่ 4.19 จะมีทั้งค่าบวกและค่าลบ โดยค่าบวกจะหมายถึงว่าค่า Forecast มีค่าน้อยกว่าค่าจริง แสดงถึงการประหยัดพลังงานของ

โรงงาน ซึ่งอาจจะเป็นผลประหยัดจากการทำมาตรการอนุรักษ์พลังงานของโรงงาน ส่วนค่าลบจะหมายถึงว่าค่า Forecast มีค่ามากกว่าค่าจริง แสดงถึงโรงงานมีการใช้พลังงานไฟฟ้าเกินกว่าที่สมการพลังงานทำนายไว้ ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากเครื่องจักรขัดข้อง หรือ กระบวนการผลิตมีปัญหา ต้องทำการหาสาเหตุและทำการปรับปรุงแก้ไขต่อไป

4.6 เปรียบเทียบแบบจำลองการใช้พลังงานแบบเดิมและแบบใหม่

ในอดีตทางโรงงานก็ได้มีการจัดทำแบบจำลองการใช้พลังงาน เพื่อเป็นการวัดค่าการใช้พลังงานต่อการผลิตผลิตภัณฑ์ โดยที่ทางโรงงานจัดทำสมการขึ้นมาดังสมการที่ 4.6

พลังงานไฟฟ้า (kWh) = 1,186,012 +(0.0174 x Number of product) - (137.054 x Difference of temperature) + (291,380 x Operation time) (4.6)

จากสมการที่ 4.6 สรุปได้ว่า

(1) ค่า 1,186,012 เป็นค่าต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) ซึ่งแปลว่าในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ถึงจะไม่มีการผลิตผลิตภัณฑ์ก็ต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไป 1,186,012 kWh โดยมาจากการใช้พลังงานในสำนักงาน, ห้องที่เก็บวัตถุดิบ เป็นต้น

(2) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร Number of product คือ +0.0.174 หมายถึง การผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ 1 หน่วย จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 0.0174 kWh แต่ในความเป็นจริงการผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์จะมีความหลากหลายรุ่นผลิตภัณฑ์ จึงไม่สามารถสรุปได้ว่าการผลิตทุกชิ้นจะใช้พลังงานไฟฟ้าเท่ากัน

(3) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร Difference of temperature คือ -137.054 หมายถึง ผลต่างของอุณหภูมิภายในโรงงานกับสภาพอุณหภูมิภายนอกโรงงาน 1 องศา จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 134.054 kWh จากกสังเกตว่าหน้าสัมประสิทธิ์เป็นเครื่องติดลบ เนื่องจากเกิดความผิดพลาดของข้อมูลที่มีการใช้อุณหภูมิเฉลี่ยแต่ละพื้นที่การทำงานไม่เท่ากัน

(4) สัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร Operation time คือ 291,380 หมายถึง เวลาในการทำงาน 1 วัน จะต้องเสียค่าพลังงานไฟฟ้าไปเท่ากับ 291,380 kWh ซึ่งค่านี้เป็นแค่ค่าประมาณเพราะว่าในวันที่มีการทำงานก็จะต้องมีการเสียพลังงานไฟฟ้าอยู่หลายส่วนด้วยกัน เป็นแค่การแบ่งสัดส่วนการใช้พลังงานจากในส่วนอื่นๆมา

ซึ่งจะสังเกตได้ว่าสมการการใช้พลังงานที่ทางโรงงานได้เคยจัดทำขึ้นจะเป็นการคิดภาพรวมทั้งหมดของการใช้พลังงานทั้งโรงงาน ซึ่งเป็นสิ่งที่ถูกต้องในระดับหนึ่ง แต่ก็ยังเกิด

ข้อผิดพลาดได้ง่าย เพราะตัวแปรแต่ละตัวที่นำมาเป็นปัจจัยถือได้ว่ามี Error อยู่ในแต่ละตัวแปรค่อนข้างมาก เช่น ค่าผลต่างของอุณหภูมิภายในโรงงานกับภายนอกโรงงาน จะมีข้อมูลที่ผิดพลาดได้ง่าย เพราะในแต่ละส่วนของโรงงานก็มีการตั้งอุณหภูมิไว้ไม่เท่ากัน จึงทำให้เมื่อมาทำการคำนวณค่าการใช้พลังงานจะได้ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้อง แต่ถ้าเราพิจารณาอย่างละเอียดถึงกระบวนการผลิตแต่ละผลิตภัณฑ์ พัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานขึ้นมาใหม่ โดยการใช้เกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานด้วยเทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit :EU) ดังสมการที่ 4.1 - 4.5 จะทำให้โรงงานสามารถคำนวณค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (SEC) ได้อย่างถูกต้องมากขึ้น ซึ่งก็จะทำให้รู้ค่าต้นทุน (Unit Cost) ที่มีความแม่นยำยิ่งขึ้นอีกด้วย ส่งผลดีต่อทางโรงงานในการคำนวณราคาขายของแต่ละผลิตภัณฑ์

4.7 แผนส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

เนื่องจากในปัจจุบันทางโรงงานได้เริ่มมีการคำนึกถึงการอนุรักษ์พลังงานอยู่แล้ว โดยได้มีการจัดทำระเบียบปฏิบัติการทำงาน(ดูได้ที่ ภาคผนวก ค)ระหว่างผู้ทำงานและเครื่องจักรที่ใช้ทำงาน เห็นได้ว่าเป็นการส่งเสริมการอนุรักษ์อีกวิธีหนึ่ง เพราะจะทำให้ผู้ทำงานมีระเบียบในการทำงาน รู้จักขึ้นตอนกระบวนการทำงานมากยิ่งขึ้นและทำให้การทำงานมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น แต่เพื่อเป็นการวัดถึงศักยภาพอนุรักษ์พลังงานอย่างถ่วงถึง จึงได้จัดแผนมาตรการอนุรักษ์พลังงานเพิ่มเติม

4.7.1 มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีศักยภาพ

มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีศักยภาพและใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์สามารถจำแนกตามระบบอุปกรณ์การใช้พลังงานได้ดังนี้ ระบบปรับอากาศ ระบบแสงสว่าง ระบบลมอัดอากาศ และระบบเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตและสิ่งอำนวยความสะดวก

(1) ระบบปรับอากาศ

ระบบปรับอากาศเป็นระบบสนับสนุนการผลิตที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เพราะต้องทำหน้าที่ปรับสภาพอากาศภายในห้องหรือโรงงานให้มีอุณหภูมิความชื้นที่เหมาะสม และให้มีความสะอาดของอากาศอยู่ในค่าที่กำหนดไว้อีกด้วย ระบบปรับอากาศมีสัด ส่วน การใช้พลังงานอยู่ในเกณฑ์ที่สูงกว่าระบบสนับสนุนอื่นๆ จากการศึกษาพบว่าในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีค่าเฉลี่ยประมาณร้อยละ 34.2 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด ดังนั้นโรงงานหรือสถานประกอบการจึงควรให้ความสำคัญต่อการอนุรักษ์พลังงานเป็นอย่างยิ่ง มาตรการประหยัดพลังงานสำหรับระบบปรับอากาศมีมากมาย ตั้งแต่มาตรการที่ไม่ต้องลงทุน มาตรการที่ใช้เงินลงทุนต่ำจนถึงมาตรการที่ต้องลงทุน

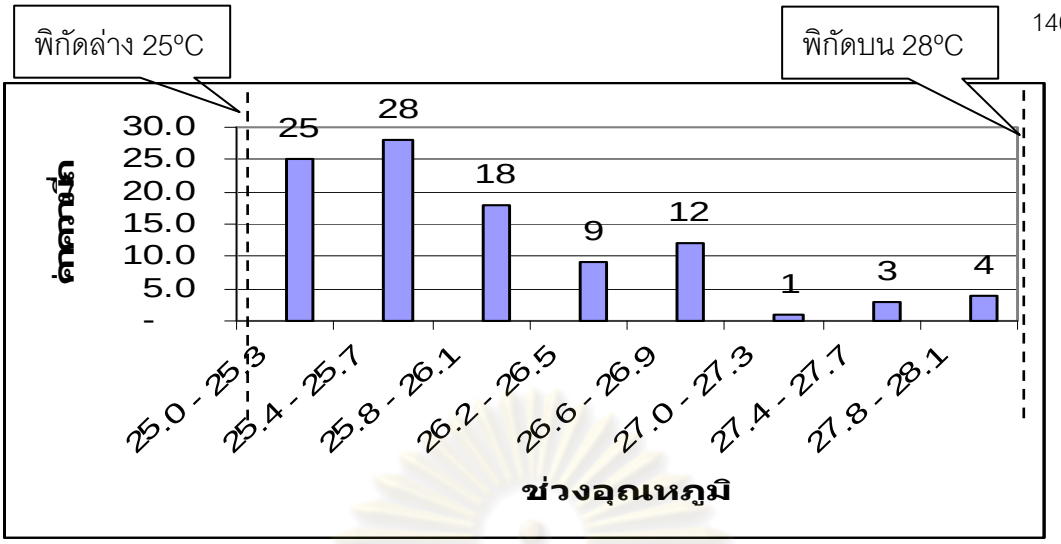
มาตรการที่ไม่ต้องลงทุน ได้แก่ (1) ในขณะที่ระบบปรับอากาศทำงานหรือช่วงหยุดพักชั่วคราวควรปิดประตูหน้าต่างในพื้นที่ปรับอากาศเพื่อไม่ให้ความร้อน ความชื้น และฝุ่นละอองจากอากาศภายนอกเข้ามาในระบบ (2) พยายามให้เกิดล่มเงาโดยรอบๆอาคารโดยเฉพาะด้านผนังที่ได้รับแสงแดดโดยตรงในช่วงตอนบ่าย (3) ควรปรับระดับอุณหภูมิความเย็นของพื้นที่ต่างๆให้เหมาะสมสอดคล้องตามกิจกรรมงานที่ต้องการ เช่น บริเวณพื้นที่ในสำนักงานหรือพื้นที่วางวัสดุคงคลังชั่วคราวที่ไม่มีผลกระทบจากอุณหภูมิอาจกำหนดให้มีอุณหภูมิสูงกว่าพื้นที่การผลิต เป็นต้น หรือจัดแบ่งบริเวณที่มีกิจกรรมงานหรือต้องการสภาพปรับอากาศเดียวกันไว้ด้วยกัน (Area zoning) (4) ควรปรับเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องให้สูงขึ้น 1-2ºC ถ้ากรณีสำรวจพบว่าค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิภายในพื้นที่ปรับอากาศอยู่ค่อนข้างมาทางขอบเขตล่างของอุณหภูมิที่กำหนดไว้ แสดงการแจกแจงความถี่ด้วยแผนภูมิฮีสโตแกรม (Histogram) ของข้อมูลอุณหภูมิภายในพื้นที่ปรับอากาศก่อนการปรับเพิ่มอุณหภูมิ โดยมีขอบเขตพิกัดข้อกำหนดของอุณหภูมิต่ำที่ 25°C และสูงไม่เกิน 28°C จะพบว่า ค่าอุณหภูมิส่วนใหญ่มักเบี่ยงเบนมาทางต่ำหรือใกล้เส้นพิกัดอุณหภูมิที่ 25°C สังเกตได้จากยอดสูงสุดของกราฟอยู่ที่ช่วงระหว่าง 25.4°C และ 25.7°C แม้ว่าค่าอุณหภูมิห้องที่วัดได้ต่างยังตกอยู่ในช่วงพิกัดบนและล่างก็ตาม แต่ถ้าวิศวกรได้ดำเนินการปรับอุณหภูมิให้สูงขึ้นอีก 1-2°C หรือควบคุมให้อุณหภูมิห้องส่วนใหญ่ให้อยู่ในช่วง 26-27°C โรงงานก็สามารถประหยัดพลังงานลงได้ (5) ควรลดปริมาณการระบายอากาศภายในห้องปรับอากาศออกจากช่องระบายอากาศ (Exhaust) หรือโดยกำหนดให้การระบายอากาศจากห้องที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าไปใช้ในห้องที่ที่ต้องการอุณหภูมิห้องสูงกว่า เช่น การระบายอากาศจากห้องสะอาด (Clean rooms) ไปยังห้องธุรการที่อยู่ด้านข้าง หรือการลดการใช้พัดลมระบายอากาศเท่าที่จำเป็น เป็นต้น (6) ควรปิดหลอดไฟฟ้าหรืออุปกรณ์เครื่องใช้ไฟฟ้าเมื่อไม่ใช้งานและควรย้ายอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ไม่จำเป็นออกจากห้องปรับอากาศโดยเฉพาะที่เป็นแหล่งให้ความร้อน ทั้งนี้เพื่อช่วยลดภาระการทำงานของระบบเครื่องปรับอากาศ (7) ควรกำหนดให้เครื่องทำความเย็นทำงานเป็นช่วงๆสลับกันเพื่อลดเวลาการทำงานของเครื่องทำความเย็น (8) ควรตรวจสอบดูแลรักษาแผงคอยล์ร้อน คอยล์เย็น พัดลม ปั๊มน้ำ ท่อส่งต่างๆให้อยู่ในสภาพใช้งานและไม่ให้ชำรุด และ (9) ควรทำความสะอาดแผ่นกรองอากาศด้านหน้าและแผ่นระบายความร้อนด้านหลังทุกๆเดือน

มาตรการที่ใช้เงินลงทุนน้อย ได้แก่ (1) การปรับเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องให้สูงขึ้น 1-2ºC และเปิดพัดลมช่วยเสริมกระจายความเย็นจะช่วยลดภาระการทำงานของระบบปรับอากาศ เพราะความเร็วลมภายในห้องที่เพิ่มขึ้นจากการเสริมด้วยพัดลมจะช่วยรักษาระดับความสบายเชิงความร้อน (Thermal Comfort) ให้เท่าเดิมได้ (2) การติดตั้งสเปรย์น้ำที่แผงคอนเดนเซอร์จะช่วยระบาย

ความร้อนได้ดีมากขึ้น แสดงก่อนและหลังการปรับปรุง (3) การห่อหุ้มฉนวนอุปกรณ์ต่างๆของกระบวนการผลิตที่เป็นแหล่งกำเนินความร้อนภายในพื้นที่ปรับอากาศ เช่น เครื่องชุบผิวโลหะ เครื่องอบชิ้นงานอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น (4) การติดตั้งโปรแกรมหรือเทอร์โมสตัท (Thermostat) เพื่อควบคุมอุณหภูมิของพื้นที่ปรับอากาศต่างๆภายในอาคาร (4) การจัดทำตารางการทำความสะอาดและการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสำหรับอุปกรณ์ต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบเครื่องปรับอากาศ เช่น การทำความสะอาดแผงอีแวพพอเรเตอร์ (Evaporator) คอนเดนเซอร์ (Condenser) ตะแกรงดักฝุ่นละออง (air filters) การตรวจสอบท่อทางเดินลมและทางเดินน้ำเย็นต่างๆ ไม่ให้รั่วซึมหรือเกิดการชำรุดเสียหาย ถ้าเกิดการชำรุดบกพร่องก็ควรรีบดำเนินการแก้ไขปรับปรุง

มาตรการที่ใช้เงินลงทุนมาก ได้แก่ (1) การปรับสภาพบรรยากาศภายในอาคารโรงงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพระบบการให้ความร้อน/ความเย็น เช่น การฉาบวัสดุที่สามารถกันความร้อนของหลังคาอาคารโรงงาน การติดฉนวนบนหลังฝ้าเพดาน การติดตั้งกระจก 2 ชั้นและฟิล์มกันความร้อน หรือม่านกันแดดบริเวณกระจกหน้าต่าง การปลูกต้นไม้หรือทำกันสาดช่วยบังแดดไม่ให้กระทบกับผนังอาคารทั้งนี้ เพื่อลดความร้อนจากแสงอาทิตย์ เป็นต้น (2) การทดแทนอุปกรณ์เก่าที่ไม่คุ้มต่อการใช้งานด้วยอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพด้านพลังงานสูง และมีขนาดที่เหมาะสมกับการใช้งาน ไม่เผื่อให้มีขนาดใหญ่จนเกินไป เช่น ทดแทนด้วย HVAC และหรือหอผึ่งน้ำให้เย็น (Cooling tower) ที่มีประสิทธิภาพสูง เป็นต้น (3) การติดตั้งระบบการจัดการพลังงาน (Energy Management System) เพื่อควบคุมการทำงานของระบบปรับอากาศและแสงสว่างภายในอาคารโรงงาน (4) การติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ระบบระบายอากาศ (Heat Exchanger Ventilator) เพื่อนำความเย็นจากอากาศที่ระบายทิ้งกลับมาใช้ใหม่ เช่น ช่วยลดอุณหภูมิของอากาศภายนอกทางด้านขาเข้าระบบ

อย่างไรก็ดี การประหยัดและอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบปรับอากาศที่ดีที่สุด ควรเริ่มต้นตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบอาคารโรงงานและภาระงาน (Load) ที่ต้องการให้สอดคล้องกับกิจกรรมงานการผลิต ความเหมาะสมของทิศทางลม แสงจากธรรมชาติ และแสงแดดที่มีผลกระทบต่ออาคารและการอนุรักษ์พลังงาน การเลือกใช้อุปกรณ์ต่างๆสำหรับระบบปรับอากาศและระบบแสงสว่างให้มีขนาดที่เหมาะสมกับภาระการใช้งานที่ต้องการไม่เผื่อมากจนเกินความจำเป็น เลือกใช้วัสดุฉนวนสำหรับอาคารและอุปกรณ์ต่างๆให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ



รูปที่ 4.12 แสดงการแจกแจงความถี่ของข้อมูลอุณหภูมิและขอบเขตพิกัดข้อกำหนดของอุณหภูมิที่ 25°C และ 28°C

(2) ระบบแสงสว่าง

อุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์เป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่เน้นเรื่องแสงสว่าง โดยเฉพาะขั้น-ตอน การผลิตและการตรวจสอบคุณภาพ พลังงานที่ใช้ในระบบแสงสว่างมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 4.82 ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด แนวทางในการอนุรักษ์พลังงานสำหรับระบบแสงสว่างมีด้วยกันหลายแนวทาง แต่แนวทางที่นิยมและใช้ได้ผลดีสามารถจำแนกออกได้ ดังนี้

(2.1) การใช้แสงสว่างจากธรรมชาติ

การใช้แสงสว่างจากธรรมชาตินับว่าเป็นการใช้พลังงานที่ไม่ต้องซื้อหาและไม่เสียค่าใช้ -จ่ายใดๆ การออกแบบให้อาคารหรือห้องทำงานได้มีช่องเปิดโดยเฉพาะทางด้านทิศเหนือเพื่อนำแสงสว่างธรรมชาติเข้ามาภายในอาคารได้ตลอดทั้งกลางวัน ทั้งนี้โดยไม่ควรมีผลกระทบต่อบริเวณพื้นที่ปรับอากาศและผลเสียหายจากรังสีของแสงแดด ซึ่งจะช่วยลดการใช้แสงสว่างจากหลอดไฟลงได้ Millet and Bedrick (ปี ค.ศ. 1980) ได้อ้างถึงใน Mechanical and Electrical Equipment for Building, 8th Edition, ปี ค.ศ. 1977 ได้แนะนำค่า Daylight Factor (DF) ที่เหมาะสมสำหรับกิจกรรมงานต่างๆ ดังตารางที่ 4.8 โดยค่า Daylight Factor (DF) หมายถึงค่าสัดส่วนร้อยละปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่ภายในอาคารแต่ละจุดใดๆ ต่อปริมาณแสงที่ตกลงบนพื้นที่แนวระนาบภายนอกอาคาร ภายใต้สภาพท้องฟ้าปลอดโปร่ง (clear sky) ที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง ไม่รวมแสงตรงจากดวงอาทิตย์ (excluded direct sun)

(2.2) การใช้แสงสว่างอย่างมีประสิทธิภาพ

การใช้แสงสว่างอย่างมีประสิทธิภาพกระทำได้โดย การปรับลดความสว่างให้เหมาะสมกับกิจกรรมงาน การควบคุมการเปิดปิด และการหมั่นดูแลอุปกรณ์ฯและรักษาความ

สะอาดหลอดไฟให้สะอาดอยู่เสมอ การปรับลดความสว่างให้เหมาะสมและตรงจุดใช้งานของกิจกรรม เช่น กำหนดให้แสงสว่างเพียงพอเฉพาะบริเวณที่มีการทำงาน ปรับลดหลอดไฟฟ้าหรือติดตั้งแผ่นสะท้อนแสงให้เหมาะสมกับบริเวณพื้นที่ที่มีการใช้แสงสว่างเกินความจำเป็น

การควบคุมการเปิดปิดหลอดไฟฟ้าแสงสว่าง กระทำได้โดยคนและอุปกรณ์ควบคุม การควบคุมด้วยคน เช่น กำหนดให้มีการปิดไฟฟ้าทั้งหมดโดยตัดไฟที่สายเมน หรือให้ปิดบางส่วน โดยการแยกสวิตช์หรือติดสวิตช์กระตุก ดังรูปที่ 4.5 เป็นต้น การควบคุมการเปิด-ปิด ด้วยอุปกรณ์อัตโนมัติ เช่น การใช้สวิตช์แบบตั้งเวลา (Timer) สวิตช์แบบหน่วงเวลา (Time Delay Switch) สวิตช์แสงแดด (Photo Cell Switch) และ สวิตช์แบบตรวจจับการทำงาน (Occupancy Sensor) เป็นต้น

ตารางที่ 4.20 แสดงค่าประมาณ Daylight Factor สำหรับพื้นที่ใช้งานต่างๆ

กิจกรรมงาน	ค่า DF (%)
การอ่านหนังสือ การทำงานปกติในช่วงเวลาขณะหนึ่ง	1.5 – 2.5
การอ่านหนังสือ หรือการที่ต้องใช้สายตาในที่ๆหนึ่งในช่วงเวลานานพอสมควร หรือการทำงานที่อาจจะต้องมีอุปกรณ์บางอย่างเข้าช่วย ซึ่งไม่มีอันตรายมาก	2.5 – 4.0
สำหรับการทำงานที่ต้องการความละเอียดสูง หรือการใช้เครื่องจักร อุปกรณ์ที่อาจต้องระมัดระวังเรื่องการเกิดอันตราย	4.0 – 8.0

การหมั่นดูแลอุปกรณ์ฯและรักษาความสะอาดหลอดไฟให้สะอาดอยู่เสมอ ได้แก่ การเปลี่ยนหลอดไฟใหม่เป็นบางจุด (Spot Relamping) หรือการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นกลุ่ม (Group Relamping) การหมั่นทำความสะอาดโคมไฟ ฝ้าเพดาน ผนัง และพื้น

(2.3) การเลือกใช้อุปกรณ์แสงสว่างที่มีประสิทธิภาพสูง

การเลือกใช้หลอดและอุปกรณ์ไฟฟ้าประเภทประหยัดพลังงาน ได้แก่ (1) เลือกใช้หลอดไฟที่มีประสิทธิภาพสูงหรือให้ค่าความสว่างต่อกำลังไฟฟ้าสูง กล่าวคือ เลือกหลอดไฟฟ้าที่ให้ค่าลูเมนต่อวัตต์สูง เช่น หลอดโซเดียมความดันต่ำ หลอดโซเดียมความดันสูง หลอดโลหะฮาไลด์ หลอดฟลูออเรสเซนต์ เป็นต้น ควรใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ทดแทนหลอดไส้ในการให้แสงสว่างทั่วไป (2) เลือกใช้บัลลาสต์ที่มีการสูญเสียต่ำ บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ บัลลาสต์ที่มีกำลังสูญเสียต่ำ เป็นต้น (3) เลือกใช้โคมไฟที่มีประสิทธิภาพแสงสูงให้การสะท้อนแสงได้ดี

(3) ระบบลมอัดอากาศ

พลังงานที่ใช้สำหรับระบบลมอัดอากาศในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ พบว่ามีค่าเฉลี่ยร้อยละ12.41 ของพลังงานทั้งหมด ผู้ประกอบการส่วนใหญ่จึงมักไม่ค่อยให้ความสำคัญต่อการใช้งานลมอัดอากาศและการประหยัดพลังงานเมื่อเทียบกับระบบปรับอากาศ ปัญหาที่มักพบมากคือแรงดันอากาศในระบบไม่เพียงพอในบางช่วงเวลา โรงงานมักแก้ปัญหาด้วยการเพิ่มเครื่องอัดอากาศหรือเปลี่ยนเป็นเครื่องอัดอากาศที่มีขนาดแรงม้าเพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีการวิเคราะห์หาสาเหตุโดยอาศัยหลักการเทคนิคของแผนภูมิก้างปลาดังรูปที่ 4.6 โดยมีปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อแรงดันของลมอัดอากาศตก ได้แก่ เครื่องจักอุปกรณ์ ท่อและลมอัดอากาศ พนักงาน และการใช้ลมอัดอากาศ แต่ละปัจจัยหลักจะมีกิ่งลูกศรหรือสาเหตุย่อยๆแตกออกจากกิ่งปัจจัยหลักทั้งสี่ และกิ่งลูกศรย่อยๆที่มีรูปวงรีล้อมรอบอยู่คือสาเหตุที่สำคัญที่ทำให้ความดันตก เมื่อมีการวิเคราะห์ถึงหน้าที่การใช้งานของลมอัดอากาศแล้วพบว่าความดันลมมักจะเพียงพอและที่ผ่านมามักมีการใช้ลมผิดวัตถุประสงค์ กล่าวคือไม่มีการแยกหน้าที่การใช้งานหรือแยกระบบท่อลมอัดอากาศออกจากกัน หรือมักมีการใช้ลมอัดอากาศในการทำหน้าที่ปะปนกันหรือใช้ท่อลมร่วมกันระหว่างการใช้ลมอัดอากาศเพื่อควบคุมบังคับการทำงานของเครื่องจักรอุปกรณ์ และเพื่อการทำความสะอาดชิ้นงานเครื่องจักรอุปกรณ์ และหรือการทำความสะอาดทั่วไปของพนักงาน ลมอัดอากาศที่ใช้เพื่อควบคุมการทำงานเครื่องจักรมักต้องมีคุณสมบัติที่สะอาด ไม่มีฝุ่นละอองและความชื้น และต้องมีความดันตามที่อุปกรณ์กำหนด หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือเน้นคุณภาพของลมอัดอากาศเป็นสำคัญ ขณะที่กรณีเพื่อการทำความสะอาดนั้นเน้นปริมาณลมที่ต้องการใช้เป็นหลัก ทำให้ในบางช่วงเวลาเดียวกันที่มีการใช้ลมพร้อมกันโดยเฉพาะช่วงเวลาก่อนพักเที่ยงหรือเลิกงาน พนักงานมักต้องใช้ลมอัดอากาศในการทำความสะอาดเครื่องจักรหรือเป่าทำความสะอาดเสื้อผ้าตามร่างกายก่อนเลิกจากงาน ซึ่งเป็นการใช้ปริมาณลมอัดอากาศมาก จึงทำให้ความดันลมอัดอากาศในระบบไม่เพียงพอ ดังนั้นถ้ามีการจำแนกระบบท่อลมอัดอากาศออกตามหน้าที่การใช้งานลมให้เหมาะสมดีแล้ว ก็จะแก้ปัญหาเรื่องความดันลมไม่เพียงพอลงได้และไม่ต้องเพิ่มขนาดเครื่องอัดอากาศโดยไม่จำเป็น

นอกจากนี้ ยังมีมาตรการการอื่นๆอีกที่สามารถกระทำได้ง่ายและมีศักยภาพ ได้แก่ (1) การลดและกำจัดอากาศรั่วตามระบบท่อลมอัดอากาศและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ลมอัดอากาศ (2) การปรับสภาพให้บริเวณห้องเครื่องอัดอากาศมีอากาศถ่ายเทที่ดีจะช่วยระบายความร้อนเครื่องอัดอากาศและลดอุณหภูมิลมอากาศขาเข้าเครื่องอัดอากาศ (3) การปรับระดับความดันเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับภาระการใช้งาน (4) ปรับขนาดความโตของปืนลมหรือท่อลมเป่าให้เหมาะสมกับกิจกรรมงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(4) ระบบเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตและสิ่งอำนวยความสะดวก

เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการผลิตและสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ นั้นนับว่ามีมากมายและหลากหลาย การอนุรักษ์พลังงานสำหรับเครื่องจักรเหล่านี้จึงมักขึ้นกับกิจกรรมการผลิตและวัตถุประสงค์การใช้งานของเครื่องจักร แต่สิ่งหนึ่งที่มักมีอยู่ในเครื่องจักรส่วนใหญ่และใช้ช่วยให้เครื่องจักรกลต่างๆนั้น สามารถทำงานเคลื่อนที่ได้ตามหน้าที่ที่ต้องการ ก็คือ มอเตอร์ ดังนั้นในที่นี้จะกล่าวถึงมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ใช้สำหรับอุปกรณ์มอเตอร์

มอเตอร์เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีการใช้มากในระบบเครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆทั้งที่ใช้ในการผลิตและสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับโรงงานอุตสาหกรรม เช่น เครื่องอัดอากาศ เครื่องปั๊มน้ำ เครื่องขับสายพานลำเลียง เครื่องเป่าลม เครื่องดูดลม เป็นต้นโดยทั่วไป มอเตอร์จะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อมีภาระงาน (Load) ประมาณ 80% ถ้าภาระงานสูงหรือต่ำกว่านี้จะทำให้ประสิทธิภาพลดลง ฉะนั้นควรเลือกใช้มอเตอร์ที่มีขนาดใช้งานที่เหมาะสมกับภาระงานที่ใช้

มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มักใช้ได้ผลก็คือ (1) การเลือกขนาดมอเตอร์ที่เหมาะสมกับภาระงาน (Load) และเลือกใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง และ (2) การปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ตามภาระงานที่ใช้

การเลือกมอเตอร์ควรพิจารณาลักษณะคุณสมบัติร่วมกันระหว่างมอเตอร์และเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้มอเตอร์นั้นๆ ดังนี้

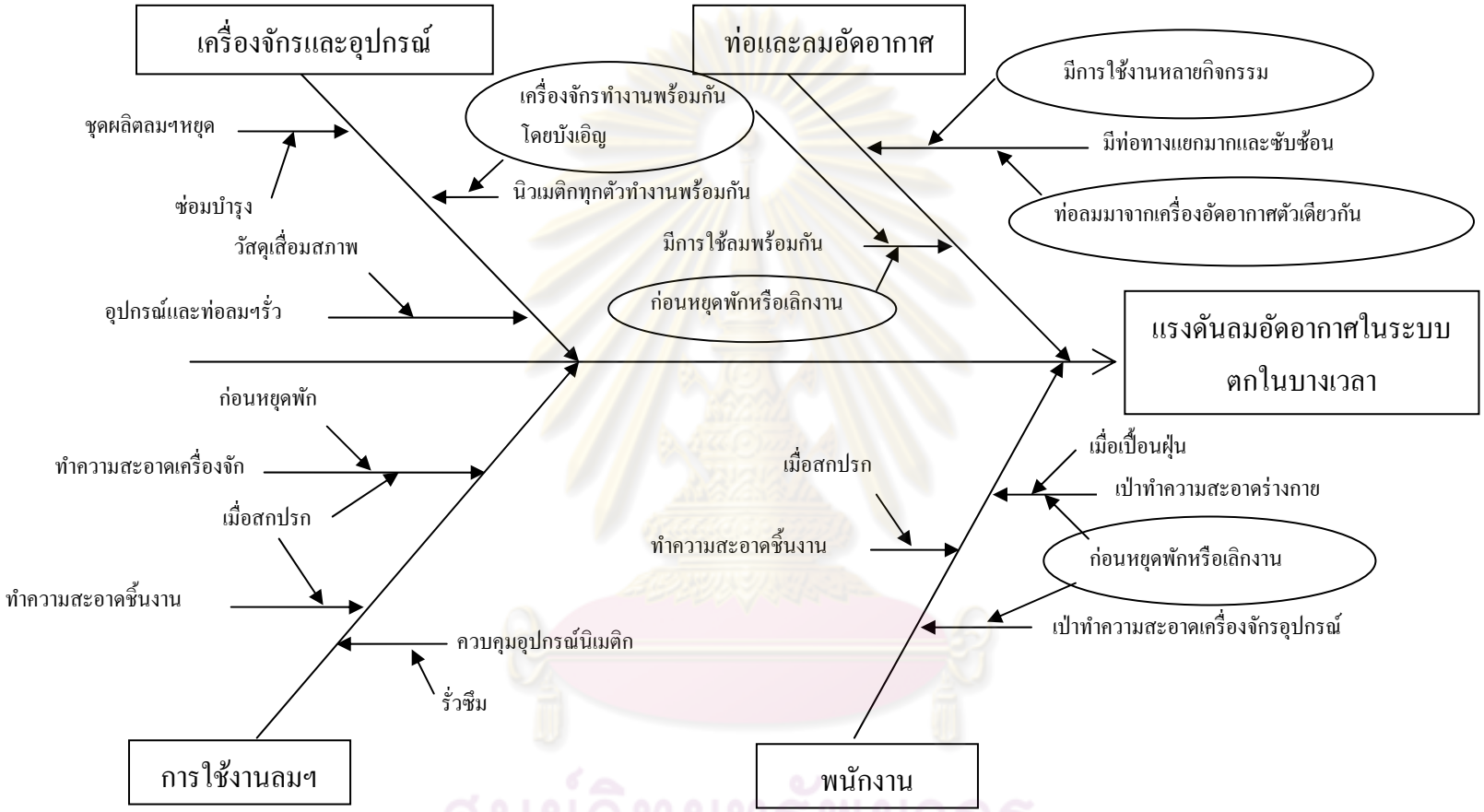
1) เลือกมอเตอร์ที่มีคุณสมบัติเหมาะสมกับภาระงานของอุปกรณ์นั้นๆ ดังเช่นกรณีตัวอย่างใน
2) มอเตอร์ควรมีระบบป้องกันและระบายความร้อนที่เหมาะสมกับสถานที่ติดตั้ง
3) มีความเชื่อถือได้และบำรุงรักษาได้ง่าย
4) ถ้าต้องมีการใช้มอเตอร์ทดแทนกัน ควรเลือกพิจารณามอเตอร์มาตรฐาน
5) กรณีมีการใช้งานอย่างต่อเนื่องและไม่มีการควบคุมภาระงาน (Load) ควรพิจารณาเลือกใช้มอเตอร์ประสิทธิภาพสูงแม้ว่าจะมีราคาสูงแต่ในระยะยาวแล้วให้ผลคุ้มค่ากว่ามอเตอร์มาตรฐานทั่วไป เช่น มอเตอร์ที่ปั๊ม ที่พัดลม ที่พัดลมเป่าอากาศ (Blowers) ที่เครื่องอัดอากาศ หรือที่อุปกรณ์อื่นๆที่ใช้มอเตอร์ เป็นต้น

การปรับความเร็วรอบมอเตอร์ให้เหมาะสมกับภาระงาน (Load) ที่ใช้ เครื่องปั๊มน้ำ พัดลม เครื่องเป่าลมอากาศ และเครื่องดูดลมอากาศ โดยมากมักควบคุมการไหลของของเหลวด้วยวาล์วหรือแดมเปอร์ (Damper) และปล่อยให้มอเตอร์เดินด้วยความเร็วคงที่ตลอดเวลา แม้ว่าจะมีภาระงานมากหรือน้อยก็ตาม ดังนั้นจึงไม่เป็นวิธีที่ประหยัดพลังงาน มาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ใช้

ได้ผลก็คือการปรับเปลี่ยนความเร็วรอบมอเตอร์ให้สอดคล้องกับภาระงานในช่วงเวลานั้นๆ อุปกรณ์ที่นิยมใช้คือการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วรอบ หรือ VSD (Variable Speed Drive)

นอกจากนี้ยังมีมาตรการอื่นๆอีกที่ควรนำมาใช้คือ ระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และระบบการบำรุงรักษาเชิงเพิ่มผลผลิต เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.13 แสดงตัวอย่างแผนภูมิก้างปลา กรณีการหาสาเหตุแรงดันลมอัดอากาศในระบบตกในบางเวลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มาตรการที่แนะนำให้ทางโรงงานนำไปประยุกต์ใช้ มีดังต่อไปนี้ โดยจำแนกตามระบบการใช้พลังงาน

1. ระบบปรับอากาศ (HVAC) ได้แก่
   (1) เพิ่มประสิทธิภาพการบำรุงรักษาระบบปรับอากาศ
   (2) การเปลี่ยนอุปกรณ์(แผงคอยล์ร้อน) เครื่องปรับอากาศ
   (3) ลดเวลาการใช้งานเครื่องปรับอากาศ
   (4) การปรับปรุงระบบท่อของระบบปรับอากาศ
   (5) ติดตั้งสเปรย์ฉีดน้ำแผงคอยล์ระบายความร้อน เครื่องทำน้ำเย็น
   (6) การเปลี่ยนอุปกรณ์(แผงคอยล์ร้อน) เครื่องทำน้ำเย็น
   (7) ลดปริมาณการระบายอากาศจาก exhaust
   (8) ลดการใช้พัดลมระบายอากาศ
2. ระบบแสงสว่าง (LT) ได้แก่
   (1) ปลด เปลี่ยน และลดเวลาการใช้งานของหลอดไฟและบัลลาสต์
   (2) ใช้แผ่นสะท้อนแสง
3. ระบบลมอัดอากาศ (CDA) ได้แก่
   (1) การลดการสูญเสียอากาศอัดจากระบบระบายน้ำที่เกิดจากการควบแน่นในระบบอัดอากาศ
   (2) ลดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของปืนลม (Air Gun)
   (3) ลดการรั่วไหลของลม
   (4) ลดอุณหภูมิภายในห้องเครื่องอัดอากาศ
   (5) ลดความดันของเครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องจักรในระบบ
4. เครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตและสิ่งอำนวยความสะดวก (PEQ)ได้แก่
   (1) เพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร
   (2) การเปลี่ยนไปใช้เครื่องจักรตัวใหม่ทดแทนเครื่องจักรเก่าที่มีประสิทธิภาพต่ำ
   (3) ปรับลดความเร็วรอบของมอเตอร์ให้เหมาะสมกับการใช้งาน
   (4) หุ้มฉนวนอุปกรณ์ที่แผ่รังสีความร้อน
   (5) ลดช่วงเปิดของเครื่อง Mold และ Solder
5. มาตรการอื่นๆ (MIS) ได้แก่

(1) ลดจำนวนหม้อแปลงเพื่อลด Transformer loss

(2) ปิดจอคอมพิวเตอร์เมื่อไม่ใช้งาน

(3) พ่นเคลือบผิวหลังคาอาคารโรงงานด้วยวัสดุนำความร้อนต่ำ เช่น เซรามิก

นอกจากนี้ ยังมีตัวอย่างมาตรการอนุรักษ์พลังงานของโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์อื่นที่ได้ปฏิบัติแล้ว ดูได้จากภาคผนวก ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ได้จัดทำเกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานใหม่ โดยใช้เทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูป(Equivalent Unit: EU) และพัฒนาแบบจำลองการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ขึ้นมาใหม่ ซึ่งรายละเอียดการทำการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 เกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน โดยเทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูป

1) ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน (Specific Energy Consumption: SEC) เป็นการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิต ซึ่งก็จะได้ค่าพลังงานที่ใช้ต่อ 1 หน่วยผลผลิตเป็นเท่าไร และจึงนำไปคิดต้นทุนค่าใช้พลังงาน แต่ก็ไม่สามารถนำมาใช้ได้กับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ค่อนข้างหลากหลาย

2) ทำการปรับปรุงดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน โดยใช้เทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit: EU) โดยการปรับค่า Q ให้เป็นหน่วยเทียบเดียวกัน ซึ่งจะทำให้สามารถวิเคราะห์หาค่าใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตได้มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

3) จากการได้ใช้เทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูปเข้ามาแก้ปัญหาการหาค่าพลังงานต่อหน่วยผลผลิต (SEC) ซึ่งค่าที่ได้ออกมาใหม่มีการเปลี่ยนแปลงมีตั้งแต่ไม่ถึง 1% จนถึง 74% จากการเปรียบเทียบค่า SEC เดิม กับ ค่า SEC ใหม่

ข้อดีของเทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit)

- ทำให้ทางโรงงานสามารถนำค่า Q มาเปรียบเทียบกันได้ เพราะใช้เทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูป โดยการคำนวณปรับปริมาณการผลิตผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย ให้สามารถปรับเทียบให้อยู่ในหน่วยเดียวกันทั้งหมด จะทำให้สามารถนำไปคำนวณหาค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (SEC) ได้มีความถูกต้องมากขึ้น และ แยกค่าการใช้พลังงานออกเป็นตามแต่ละประเภทผลิตภัณฑ์ รู้ถึงต้นทุนการผลิต (Unit Cost) ที่แม่นยำยิ่งขึ้น

ข้อเสียของเทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit)

- เนื่องจากในการคำนวณโดยใช้เทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูป (Equivalent Unit) จำเป็นจะต้องรู้ถึงค่าเวลามาตรฐาน (Standard time) ในการผลิตแต่

ละผลิตภัณฑ์ที่มีค่อนข้างมาก จึงจะเป็นการยากในการเก็บข้อมูล และเนื่องผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์มีอายุการใช้งาน(Cycle time) ค่อนข้างสั้น มีการผลิตคิดค้นผลิตภัณฑ์แบบใหม่อยู่เสมอ ซึ่งก็จะต้องมาหาค่าเวลามาตรฐานใหม่อยู่ตลอด ซึ่งอาจเป็นการเพิ่มภาระงานในด้านเก็บข้อมูลมากขึ้น สำหรับแผนก Operation

5.2 แบบจำลองการใช้พลังงานของโรงงาน

จากการวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) เพื่อหาแบบจำลองการใช้พลังงานในโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ ในการวิจัยครั้งนี้ได้พัฒนาแบบจำลองการใช้เกณฑ์ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานด้วยเทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูป โดยนำข้อมูลการใช้พลังงานและปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานไปแปลข้อมูลได้ผลลัพธ์ ซึ่งแยกได้ 5 แบบจำลองตามแต่ละประเภทผลิตภัณฑ์ ดังนี้

แบบจำลองการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ A

พลังงานไฟฟ้า (kWh) = -2,379 + (0.153 x ผลิตภัณฑ์ A1) + (0.0385xผลิตภัณฑ์ A2) + (0.00529 x ผลิตภัณฑ์ A3) + (0.0163 x ผลิตภัณฑ์ A4) + (0.0274 x ผลิตภัณฑ์ A5) (5.1)

แบบจำลองการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ B

พลังงานไฟฟ้า (kWh) = - 3,106 + (0.0681 x ผลิตภัณฑ์ B1) + (0.0536xผลิตภัณฑ์ B2) + (0.00251 x ผลิตภัณฑ์ B3) + (0.0162 x ผลิตภัณฑ์ B4) (5.2)

แบบจำลองการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ C

พลังงานไฟฟ้า (kWh) = -3487, + (0.00916 x ผลิตภัณฑ์ C1) + (0.0358xผลิตภัณฑ์ C2) + (0.0382 x ผลิตภัณฑ์ C3) (5.3)

แบบจำลองการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ D

พลังงานไฟฟ้า (kWh) = -1,849 +(0.0127 x ผลิตภัณฑ์ D1) + (0.00857xผลิตภัณฑ์ D2) (5.4)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

แบบจำลองการใช้พลังงานของผลิตภัณฑ์ E

พลังงานไฟฟ้า (kWh) = 206 +(0.00315 x ผลิตภัณฑ์ E1) + (0.00826xผลิตภัณฑ์ E2) (5.5)

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ให้ทางโรงงานนำเทคนิคหน่วยเทียบสำเร็จรูป (EU) มาประยุกต์ปรับเปลี่ยนค่า Q ให้เป็นค่าฐานเดียวกัน โดยจะต้องวัดค่าเวลามาตรฐาน (Standard time) ให้มีความถูกต้องที่สุด โดยเฉพาะค่าเวลามาตรฐานน้อยที่สุดในแต่ละประเภทผลิตภัณฑ์ เพราะจะเป็นตัวที่เป็นตัวตั้งเพื่อให้ตัวผลิตภัณฑ์อื่นๆ ที่มีเวลามาตรฐานมากกว่าไปปรับเทียบให้เป็นหน่วย EU จึงมีความสำคัญที่ต้องวัดค่าเวลามาตรฐานให้แม่นยำที่สุด เพราะจะส่งผลต่อการคำนวณค่าการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ (SEC) ด้วย

2. การวิจัยครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการลดการใช้พลังงานของโรงงาน เพื่อให้มีประสิทธิภาพด้านพลังงานด้วยการจัดการอย่างเหมาะสมกับตัวแปรที่ส่งผลต่อการใช้พลังงาน แต่ก็ต้องให้ทางโรงงานคิดหามาตรการอนุรักษ์พลังงานขึ้นมาใหม่ๆ และหาจุดปรับปรุงที่มีการใช้พลังงานที่มีปริมาณมาก เพราะจะเป็นจุดที่สามารถลดการใช้พลังงานได้มาก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ไชยวัฒน์ ผลลาภ "**การตรวจวัดการใช้พลังงานและมาตรการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์**" เอกสารประกอบการสัมมนาครั้งที่ 1 โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานอิเล็กทรอนิกส์ วันที่ 21 เมษายน พ.ศ. 2549 โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานร่วมกับศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไพศาล จิรานันตรัตน์ "**สุดยอดปฏิบัติการอนุรักษ์พลังงาน ทรัพยากรและสิ่งแวดล้อมของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์**" เอกสารประกอบการสัมมนาครั้งที่ 2 โครงการศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานอิเล็กทรอนิกส์ วันที่ 21 ธันวาคม พ.ศ. 2549 โดยกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานร่วมกับศูนย์บริการวิชาการแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน,กรม. 2549. **ศึกษาเกณฑ์การใช้พลังงานในอุตสาหกรรมและอาคารต่าง ๆ (SEC) อุตสาหกรรมกระดาษ.** กระทรวงพลังงาน.

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. คณะวิศวกรรมศาสตร์. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล. 2542. **การอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน.** พิมพ์ครั้งที่ 3. เชียงใหม่: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

กรกมล ตันติวนิช, 2550. **การจัดทำเกณฑ์การใช้พลังงานของอาคารสำนักงานในกรุงเทพฯ**. คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิยาลัยธรรมศาสตร์.

การุณย์ ศุภมิตรโยธิน, 2548. **การศึกษาเกณฑ์ชี้วัดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานเขตร้อนชื้น.**วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย.

สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ, 2544. **การพัฒนาดัชนีสำหรับการประเมินประสิทธิภาพด้านพลังงานของกรอบอาคาร**. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิยาลัย.

กัลยา วานิชย์บัญชา, 2548. **สถิติสำหรับงานวิจัย**. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทรงศิริ แต้สมบัติ, 2541. **การวิเคราะห์การถดถอย**. กรุงเทพมหานคร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภาษาอังกฤษ

Harper, C.A., "**Electronic Materials and Processes Handbook**" 3rd edition, McGraw-Hill, 2004

Khandpur, R. S., "**Printed Circuit Boards: Design, Fabrication, and Assembly** ", McGraw-Hill,2006

Xiao H. "**Introduction to Semiconductor Manufacturing Technology**" pearson Education International, Prentice Hall, 2001

M.G. Patterson, 1996. What is energy efficiency? Concepts, indicators and methodological issues, **Energy Policy 24 (5)**, 377–390

Sharp T. 1996, Energy benchmarking in commercial-office buildings. In: **ACEEE summer study on energy efficiency in buildings**, vol. 4; 1996. p. 321–9.

APEC , 2001.Asia-Pacific Economic Cooperation Energy Benchmark System. **Singapore**: Available

Kinney S, Piette MA, 2002. Development of California commercial-building energy benchmarking database. In: **ACEEE 2002 summer study on energy efficiency in buildings**, vol. 7;,109–20.

J.E. Piper, 1999.Operations and maintenance manual for energy management, **M.E. Sharpe Inc**, USA

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

แผนผังพลังงาน (Energy Chart)

Process	Original Energy Potential	Process Input Energy Potential	Energy Utilization	Process Residual Energy	Machine and Product Residual Energy Potential
หม้อแปลงไฟฟ้า	ขนาด 2,500 kVA จำนวน 3 เครื่อง แรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้า 24 kV	แรงดันไฟฟ้าด้านขาออก 380/220 V	ใช้ในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ระบบต่างๆ	ไม่มีพลังงานเหลือใช้	แรงดันไฟฟ้าที่จุดใช้งาน 380 V และ 220 V ตามแต่ละชนิดอุปกรณ์ใช้งาน
	ขนาด 1,250 kVA จำนวน 2 เครื่อง แรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้า 24 kV	แรงดันไฟฟ้าด้านขาออก 208/120 V	ใช้ในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ระบบต่างๆ	ไม่มีพลังงานเหลือใช้	แรงดันไฟฟ้าที่จุดใช้งาน 208 V และ 120 V ตามแต่ละชนิดอุปกรณ์ใช้งาน
	ขนาด 2,000 kVA จำนวน 2 เครื่อง แรงดันไฟฟ้าด้านขาเข้า 24 kV	แรงดันไฟฟ้าด้านขาออก 3.3 kV	ใช้ในการส่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้ระบบต่างๆ	ไม่มีพลังงานเหลือใช้	แรงดันไฟฟ้าที่จุดใช้งาน 3.3 kV
เครื่องอัดอากาศ	หม้อแปลงไฟฟ้า 2500 kVA	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าของเครื่องอัด	ความร้อนทิ้งจากการระบายความร้อน	ความดันอากาศอัดที่ผลิตได้ 7 bar และความดัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Process	Original Energy Potential	Process Input Energy Potential	Energy Utilization	Process Residual Energy	Machine and Product Residual Energy Potential
			อากาศขนาด 298 kW จำนวน 2 เครื่อง		อากาศอัดที่จุดใช้งาน 5 - 6 bar
	หม้อแปลงไฟฟ้า 2000 kVA	ระดับแรงดันไฟฟ้า 3.3 kV	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศขนาด 560 kW จำนวน 1 เครื่อง		
	หม้อแปลงไฟฟ้า 2000 kVA	ระดับแรงดันไฟฟ้า 3.3 kV	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าของเครื่องอัดอากาศขนาด 597 kW จำนวน 2 เครื่อง		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Process	Original Energy Potential	Process Input Energy Potential	Energy Utilization	Process Residual Energy	Machine and Product Residual Energy Potential
	หม้อแปลงไฟฟ้า 2500 kVA	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าของ Refrigerant Air Dryer ขนาด 18.65 kW จำนวน 2 เครื่อง		
	หม้อแปลงไฟฟ้า 2500 kVA	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าของ Desiccant dryer ขนาด 89 kW จำนวน 2 เครื่อง		
	หม้อแปลงไฟฟ้า 2500 kVA	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าของ Cooling tower ขนาด 11 kW จำนวน 2 เครื่อง		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Process	Original Energy Potential	Process Input Energy Potential	Energy Utilization	Process Residual Energy	Machine and Product Residual Energy Potential
	หม้อแปลงไฟฟ้า 2500 kVA	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าของ Cooling pump ขนาด 15 kW จำนวน 4 เครื่อง		
	หม้อแปลงไฟฟ้า 2500 kVA	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าของ Vacuum pump ขนาด 37 kW จำนวน 2 เครื่อง		
เครื่องทำน้ำเย็น	หม้อแปลงไฟฟ้า 2500 kVA	ระดับแรงดันไฟฟ้า 3.3 kV	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าของ Chiller ขนาด 587 kW จำนวน 1 เครื่อง	ไม่มีพลังงานเหลือใช้	อุณหภูมิน้ำเย็นที่ผลิตได้ 6.6 °C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Process	Original Energy Potential	Process Input Energy Potential	Energy Utilization	Process Residual Energy	Machine and Product Residual Energy Potential
	หม้อแปลงไฟฟ้า 2000 kVA	ระดับแรงดันไฟฟ้า 3.3 kV	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าของ Chiller ขนาด 447 kW จำนวน 1 เครื่อง		
	หม้อแปลงไฟฟ้า 2500 kVA	ระดับแรงดันไฟฟ้า 3.3 kV	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าของ Chiller ขนาด 611 kW จำนวน 2 เครื่อง		
	หม้อแปลงไฟฟ้า 2500 kVA	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าของ Cooling tower ขนาด 45 kW จำนวน 1 เครื่อง		
	หม้อแปลงไฟฟ้า 2500 kVA	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าของ Cooling tower ขนาด 37 kW		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Process	Original Energy Potential	Process Input Energy Potential	Energy Utilization	Process Residual Energy	Machine and Product Residual Energy Potential
			จำนวน 1 เครื่อง		
	หม้อแปลงไฟฟ้า 2500 kVA	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าของ Cooling tower ขนาด 22 kW จำนวน 3 เครื่อง		
	หม้อแปลงไฟฟ้า 2500 kVA	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าของ Condenser ขนาด 55 kW จำนวน 4 เครื่อง		
	หม้อแปลงไฟฟ้า 2500 kVA	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าของ Chiller Pump ขนาด 45 kW จำนวน 4 เครื่อง		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Process	Original Energy Potential	Process Input Energy Potential	Energy Utilization	Process Residual Energy	Machine and Product Residual Energy Potential
	หม้อแปลงไฟฟ้า 2500 kVA	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าของ Chiller Pump ขนาด 22 kW จำนวน 5 เครื่อง		
	หม้อแปลงไฟฟ้า 2500 kVA	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าของ Chiller Pump ขนาด 11 kW จำนวน 1 เครื่อง		
หม้อต้มน้ำ	หม้อต้มน้ำ ขนาด 1 ตันต่อชั่วโมง จำนวน 1 เครื่อง	ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง	ใช้น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงในหม้อต้มน้ำ 160 ลิตรต่อวัน	ไม่มีพลังงานเหลือใช้	อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ออกจากหม้อต้มน้ำไม่ต่ำกว่า 60 °C และอุณหภูมิของน้ำร้อนที่จุดใช้งาน 50 °C

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Energy Chart ของกระบวนการผลิต

Process	Original Energy Potential	Process Input Energy Potential	Energy Utilization	Process Residual Energy	Machine and Product Residual Energy Potential
Wafer Storage Room	หม้อแปลงไฟฟ้า	ระดับแรงดันไฟฟ้า 220 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	ไม่มีพลังงานเหลือใช้	-
Back Grind	หม้อแปลงไฟฟ้า	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 19 kW จำนวน 2 เครื่อง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง 9.5 kW/เครื่อง	ไม่มีพลังงานเหลือใช้	-
Wafer Mount/ Saw	หม้อแปลงไฟฟ้า	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 0.55 kW จำนวน 1 เครื่อง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง 0.49 kW/เครื่อง	ไม่มีพลังงานเหลือใช้	-
Die Attach/Cure	หม้อแปลงไฟฟ้า	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 6 kW จำนวน 9 เครื่อง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง 2.2 kW/เครื่อง	ไม่มีพลังงานเหลือใช้	-
Wire Bond	หม้อแปลงไฟฟ้า	ระดับแรงดันไฟฟ้า	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับ	ไม่มีพลังงานเหลือใช้	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Process	Original Energy Potential	Process Input Energy Potential	Energy Utilization	Process Residual Energy	Machine and Product Residual Energy Potential
		380 V	มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 2 kW จำนวน 95 เครื่อง เครื่อง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง 1.1 kW/ เครื่อง		
Mold/PMC	หม้อแปลงไฟฟ้า	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับ มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 22 kW จำนวน 8 เครื่อง เครื่อง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง 19 kW/ เครื่อง	ไม่มีพลังงานเหลือใช้	-
Solder Plating – Leaded Package	หม้อแปลงไฟฟ้า	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับ มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 145 kW จำนวน 5 เครื่อง เครื่อง และ กำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง 50 kW/ เครื่อง	ไม่มีพลังงานเหลือใช้	-
DTFS – Leaded Package	หม้อแปลงไฟฟ้า	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับ มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 9 และ 10	ไม่มีพลังงานเหลือใช้	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Process	Original Energy Potential	Process Input Energy Potential	Energy Utilization	Process Residual Energy	Machine and Product Residual Energy Potential
			kW จำนวน 4 และ 8 เครื่อง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง 2.7 และ 4.8 kW/เครื่อง ตามลำดับ		
Ball Attach/Cleaning – CSP Package	หม้อแปลงไฟฟ้า	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าของ Ball Attach ขนาด 4.5 kW จำนวน 38 เครื่อง เครื่อง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง 1.8 kW/เครื่อง	ไม่มีพลังงานเหลือใช้	-
			ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าของ Cleaning ขนาด 33 kW จำนวน 2 เครื่อง เครื่อง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง 4.5 kW/เครื่อง	ไม่มีพลังงานเหลือใช้	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Process	Original Energy Potential	Process Input Energy Potential	Energy Utilization	Process Residual Energy	Machine and Product Residual Energy Potential
Singulation – CSP Package	หม้อแปลงไฟฟ้า	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 7 kW จำนวน 13 เครื่อง เครื่อง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง 6.5 kW/เครื่อง	ไม่มีพลังงานเหลือใช้	-
FOI	หม้อแปลงไฟฟ้า	ระดับแรงดันไฟฟ้า 220 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับระบบไฟฟ้าแสงสว่าง	ไม่มีพลังงานเหลือใช้	-
Test, Mark & Pack	หม้อแปลงไฟฟ้า	ระดับแรงดันไฟฟ้า 380 V	ใช้พลังงานไฟฟ้าสำหรับขับมอเตอร์ไฟฟ้า ขนาดตั้งแต่ 0.9 – 37.7 kW จำนวน 131 เครื่อง เครื่อง และกำลังไฟฟ้าที่ใช้จริงระหว่าง 0.44 – 30.20 kW	ไม่มีพลังงานเหลือใช้	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ซึ่งแต่ละช่องในตารางมีความหมายดังนี้

1. Process คือ ขั้นตอนกระบวนการผลิต
2. Original Energy Potential คือ การบอกถึงกำลังขนาดเครื่องและศักยภาพพลังงานที่แหล่งกำเนิดแต่ละกระบวนการผลิต
3. Process Input Energy Potential คือ ศักยภาพพลังงานที่มีการใส่เข้าไปในแต่ละกระบวนการผลิต
4. Energy Utilization คือมีการแบ่งประเภทของพลังงานที่จะนำไปใช้ในแต่ละกระบวนการผลิต
5. Process Residual Energy คือ พลังงานที่เหลือของแต่ละกระบวนการผลิต
6. Machine and Product Residual Energy Potential คือ ศักยภาพพลังงานที่เหลือออกมาจากเครื่องจักรและผลิตภัณฑ์ เช่น ความร้อนที่เหลือ เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
ข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรม Minitab

ข้อมูล Product A

วัน	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ผลิตภัณฑ์ A1 (ชิ้นหน่วย EU)	ผลิตภัณฑ์ A2 (ชิ้นหน่วย EU)	ผลิตภัณฑ์ A3 (ชิ้นหน่วย EU)	ผลิตภัณฑ์ A4 (ชิ้นหน่วย EU)	ผลิตภัณฑ์ A5 (ชิ้นหน่วย EU)
1	53,045	36896.62	170616.89	1004510.64	411482.19	1635494.12
2	64,338	44156.93	211213.83	1095829.79	487007.40	1987835.29
3	54,756	37491.73	173359.92	919279.43	416690.82	1661788.23
4	58,178	39991.18	186526.50	946675.18	445338.32	1788000.00
5	53,216	36658.58	175554.35	913191.49	410180.03	1656529.41
6	43,805	30469.47	141540.70	827960.29	351582.88	1356776.47
7	47,569	31183.60	157450.31	885795.75	364604.47	1472470.59
8	51,163	35706.41	165130.81	922323.41	389345.49	1582905.88
9	52,874	36896.62	165679.42	958851.07	408877.87	1624976.47
10	36,789	25946.66	119047.80	733597.16	291683.58	1141164.71
11	53,900	37491.73	181589.03	971026.95	411482.19	1667047.06
12	58,692	42371.61	186526.50	974070.92	449244.79	1788000.00
13	54,756	38324.88	174457.14	1004510.64	416690.82	1672305.88
14	48,083	33683.05	154158.67	922323.41	369813.11	1477729.41
15	49,109	34516.20	159096.13	882751.78	376323.90	1525058.82
16	52,874	36777.60	170616.89	907103.55	408877.87	1635494.12
17	53,045	36301.52	169519.67	986246.81	406273.55	1624976.47
18	53,558	36539.56	172811.32	1016686.53	407575.71	1656529.41
19	45,345	29517.30	145380.95	855356.03	347676.41	1393588.23
20	61,601	42133.56	194755.61	1050170.22	471381.49	1866882.35
21	65,194	45347.14	207373.58	1101917.73	498726.83	2019388.23

22	57,152	40229.22	184880.68	974070.92	436223.21	1772223.53
23	59,034	40467.26	191463.97	1007554.61	449244.79	1835329.41
24	56,980	38562.92	171714.10	989290.78	436223.21	1751188.23
25	59,034	40467.26	195852.83	1202368.80	453151.27	1835329.41
26	66,392	45347.14	206824.97	1050170.22	507841.94	2045682.35
27	66,734	45942.25	218894.33	1187148.94	509144.10	2056200.00
28	53,387	45585.18	172811.32	952763.12	406273.55	1656529.41
29	55,098	37729.77	174457.14	1010598.58	423201.62	1693341.18
30	56,980	39872.16	167325.24	1034950.36	444036.16	1603941.18
31	68,445	47608.55	219442.94	1150621.28	415388.66	2103529.41

ข้อมูล Product B

วัน	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ผลิตภัณฑ์ B1 (ชิ้นหน่วย EU)	ผลิตภัณฑ์ B2 (ชิ้นหน่วย EU)	ผลิตภัณฑ์ B3 (ชิ้นหน่วย EU)	ผลิตภัณฑ์ B4 (ชิ้นหน่วย EU)
1	35,842	135,243.32	271,098.57	2,307,690.02	613763.6836
2	43,473	147,538.17	324,443.77	2,854,248.19	726416.5116
3	36,998	123,768.13	275,471.13	2,322,872.19	621532.8442
4	39,310	127,456.58	293,835.87	2,482,284.99	664263.2272
5	35,958	122,948.47	269,349.55	2,345,645.45	611821.3935
6	29,598	111,473.28	223,874.95	1,950,909.00	524418.3373
7	32,142	119,260.02	229,122.02	2,110,321.80	543841.2386
8	34,570	124,177.96	262,353.46	2,201,414.82	580744.7513
9	35,726	129,095.90	271,098.57	2,300,098.94	609879.1033
10	24,858	98,768.61	190,643.51	1,654,856.66	435072.9909
11	36,420	130,735.21	275,471.13	2,429,147.39	613763.6836
12	39,657	131,145.04	311,326.10	2,611,333.45	670090.0976
13	36,998	135,243.32	281,592.71	2,383,600.88	621532.8442

14	32,489	124,177.96	247,486.76	2,133,095.05	551610.3992
15	33,183	118,850.19	253,608.34	2,246,961.34	561321.8499
16	35,726	122,128.82	270,224.06	2,277,325.68	609879.1033
17	35,842	132,784.35	266,726.01	2,391,191.96	605994.5231
18	36,189	136,882.63	268,475.04	2,467,102.82	607936.8132
19	30,639	115,161.74	216,878.86	2,019,228.77	518591.4668
20	41,623	141,390.74	309,577.08	2,785,928.41	703109.03
21	44,051	148,357.82	333,188.89	2,801,110.59	743897.1229
22	38,617	131,145.04	295,584.89	2,580,969.10	650667.1962
23	39,889	135,653.15	297,333.92	2,694,835.39	670090.0976
24	38,501	133,194.18	283,341.73	2,573,378.02	650667.1962
25	39,889	161,882.15	297,333.92	2,656,879.96	675916.968
26	44,860	141,390.74	333,188.89	2,960,523.38	757493.1538
27	45,091	159,833.01	337,561.45	2,960,523.38	759435.444
28	36,073	128,276.24	334,937.91	2,459,511.73	605994.5231
29	37,229	136,062.98	277,220.15	2,558,195.85	631244.2949
30	38,501	139,341.60	292,961.36	2,732,790.82	662320.9371
31	46,248	154,915.07	349,804.61	2,656,879.96	619590.554

ข้อมูล Product C

วัน	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ผลิตภัณฑ์ C1 (ชิ้นหน่วย EU)	ผลิตภัณฑ์ C2 (ชิ้นหน่วย EU)	ผลิตภัณฑ์ C3 (ชิ้นหน่วย EU)
1	46,639	1814429.562	712860.9607	243080.4803
2	56,569	1979377.704	853133.6013	282093.3969
3	48,144	1660477.963	724358.7181	237078.4931
4	51,153	1709962.406	772649.2993	245331.2255
5	46,790	1649481.42	708261.8577	239329.2383

6	38,515	1495529.821	588685.1804	200316.3217
7	41,825	1599996.978	602482.4893	208569.0541
8	44,984	1665976.235	689865.4458	221323.2768
9	46,489	1731955.491	712860.9607	234827.7479
10	32,347	1325083.408	501302.2239	163554.1503
11	47,392	1753948.577	724358.7181	243080.4803
12	51,604	1759446.848	818640.329	257335.1998
13	48,144	1814429.562	740455.5785	235577.9963
14	42,276	1665976.235	650773.0705	210819.7993
15	43,179	1594498.706	666869.9309	222073.5252
16	46,489	1638484.877	710561.4092	225074.5188
17	46,639	1781439.934	701363.2032	232577.0028
18	47,091	1836422.648	705962.3062	243830.7287
19	39,869	1545014.264	570288.7685	199566.0733
20	54,162	1896903.633	814041.226	275341.1613
21	57,321	1990374.247	876129.1162	276841.6581
22	50,250	1759446.848	777248.4023	250582.9643
23	51,905	1819927.834	781847.5052	261086.4418
24	50,100	1786938.205	745054.6815	254334.2062
25	51,905	2171817.203	781847.5052	262586.9386
26	58,374	1896903.633	876129.1162	292596.8744
27	58,675	2144325.846	887626.8736	292596.8744
28	46,940	1720958.949	880728.2191	243080.4803
29	48,445	1825426.105	728957.8211	252833.7095
30	50,100	1869412.276	770349.7478	270089.4226
31	60,180	2078346.59	919820.5944	225074.5188

ข้อมูล Product D

วัน	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ผลิตภัณฑ์ D1 (ชิ้นหน่วย EU)	ผลิตภัณฑ์ D2 (ชิ้นหน่วย EU)
1	34,344	1194802.089	2545435.135
2	41,657	1303420.461	3046311.081
3	35,452	1093424.942	2586490.541
4	37,668	1126010.454	2758923.243
5	34,455	1086183.717	2529012.973
6	28,362	984806.5704	2102036.757
7	30,799	1053598.206	2151303.243
8	33,126	1097045.554	2463324.324
9	34,234	1140492.903	2545435.135
10	23,820	872567.5862	1790015.676
11	34,898	1154975.353	2586490.541
12	38,001	1158595.965	2923144.865
13	35,452	1194802.089	2643968.108
14	31,132	1097045.554	2323735.946
15	31,796	1049977.593	2381213.513
16	34,234	1078942.493	2537224.054
17	34,344	1173078.415	2504379.73
18	34,677	1209284.539	2520801.892
19	29,359	1017392.082	2036348.108
20	39,884	1249111.275	2906722.703
21	42,210	1310661.686	3128421.892
22	37,003	1158595.965	2775345.405
23	38,222	1198422.701	2791767.568
24	36,893	1176699.027	2660390.27

25	38,222	1430141.894	2791767.568
26	42,986	1249111.275	3128421.892
27	43,208	1412038.832	3169477.297
28	34,566	1133251.678	3144844.054
29	35,674	1202043.314	2602912.703
30	36,893	1231008.213	2750712.162
31	44,315	1368591.484	3284432.432

ข้อมูล Product E

วัน	พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ผลิตภัณฑ์ E1 (ชิ้นหน่วย EU)	ผลิตภัณฑ์ E2 (ชิ้นหน่วย EU)
1	57,537	1,362,236.52	6,452,558.64
2	69,786	1,612,267.27	7,987,894.14
3	59,393	1,379,480.02	6,556,297.53
4	63,105	1,388,101.77	7,054,244.18
5	57,722	1,357,925.64	6,639,288.64
6	47,514	1,163,936.26	5,352,926.46
7	51,597	1,207,045.01	5,954,612.00
8	55,495	1,288,951.64	6,245,080.87
9	57,351	1,353,614.77	6,265,828.65
10	39,904	965,636.01	4,502,267.61
11	58,465	1,362,236.52	6,867,514.18
12	63,661	1,401,034.39	7,054,244.18
13	59,393	1,362,236.52	6,597,793.08
14	52,154	1,224,288.52	5,830,125.33
15	53,268	1,245,842.89	6,016,855.33
16	57,351	1,353,614.77	6,452,558.64

17	57,537	1,344,993.02	6,411,063.09
18	58,093	1,349,303.89	6,535,549.75
19	49,184	1,211,355.89	5,498,160.90
20	66,817	1,538,982.39	7,365,460.83
21	70,714	1,672,619.52	7,842,659.70
22	61,991	1,444,143.14	6,992,000.84
23	64,033	1,487,251.89	7,240,974.17
24	61,805	1,444,143.14	6,494,054.20
25	64,033	1,500,184.52	7,406,956.38
26	72,013	1,681,241.27	7,821,911.92
27	72,385	1,685,552.15	8,278,363.02
28	57,908	1,694,173.90	6,535,549.75
29	59,764	1,310,506.02	6,597,793.08
30	61,805	1,340,682.14	6,328,071.98
31	74,241	1,375,169.14	8,299,110.79

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ระเบียบปฏิบัติงานของโรงงานตัวอย่าง

ทางโรงงานได้จัดทำวิธีการปฏิบัติงาน การควบคุมการเปิด-ปิด และระเบียบปฏิบัติต่าง เพื่อใช้ในการควบคุมการใช้พลังงานดังนี้

Long holiday shutdown procedure refer spec <707-555.2>

เรื่อง : Holiday shut down/startup procedure for Post Mold Cure Oven.

ผู้เขียน : วันที่ :

ผู้แก้ไข : วันที่ :

วัตถุประสงค์ :

- เพื่อให้พนักงานที่มีหน้าที่ในการปฏิบัติงานสามารถทำการปิดและเปิดเครื่องจักรในช่วงวันหยุดได้อย่างถูกต้องเหมาะสมและมีแนวทางในการปฏิบัติที่เหมือนๆ กัน.

ขั้นตอนการปิดเครื่อง Oven.

รูปภาพ	ขั้นตอน
	* ปิดสวิตช์ที่หน้าตู้ไปที่ตำแหน่ง OFF * ทำการถอดปลั๊กไฟและปลั๊ก N2 ออก

Long holiday shutdown procedure refer spec <707-555.2>

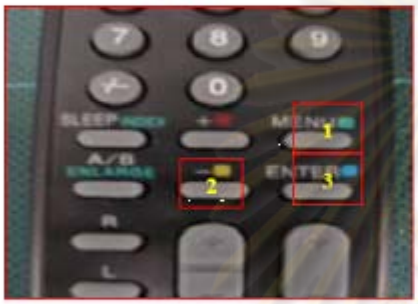
<u>ขั้นตอนการเปิดเครื่อง Oven.</u>

รูปภาพ	ขั้นตอน
	• ทำการเสียบปลั๊กไฟและปลั๊ก N2 ที่หลังเครื่องก่อน
	• ใช้กุญแจเปิดสวิตช์ไปที่ตำแหน่ง ON แล้วสังเกตดูว่ามอเตอร์ทำงานหรือไม่ โดยสังเกตุได้โดยการมองดูแผ่นชิมที่ปลิวอยู่ทางด้านขวามือถ้าแผ่นชิมยังปลิวอยู่แสดงว่า มอเตอร์ยังทำงานปกติดีอยู่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Long holiday shutdown procedure refer spec <707-555.2>

รูป ก.



Remote Control.

- หลังจากนั้นก็ทำการตั้งเวลาโดยใช้ Stop Watch เป็นตัวอ้างอิงเวลาที่หน้าเครื่อง Oven
- การตั้งเวลานาฬิกาสามารถทำได้ ดังนี้

1.เสียบปลั๊ก Power และเปิด Switch เครื่องมาเราจะเจอหน้าตานาฬิกา ดังรูป ก.

2.ทำการตั้งนาฬิกาโดยใช้ Remote control เป็นตัว Set โดยใช้ Stop watch ที่อยู่ในห้อง PM เป็นตัวอ้างอิงเวลา สามารถทำได้ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Long holiday shutdown procedure refer spec <707-555.2>

รูป ข.

รูป ค.

รูป ง.

3.กดที่ปุ่ม MENU(1) 1 ครั้งก็จะเจอหน้าตานาฬิกา ดังรูป ข.

** t = เวลานาฬิกาปกติสามารถ Set ตาม Stop watch ได้ เช่น เวลา 11.25 ก็กด 1125 ได้เลย หลังจาก Set นาฬิกาเสร็จก็ทำขั้นตอนต่อไป

4.กดที่ปุ่ม MENU(1) อีก 1 ครั้งก็จะเจอหน้าตานาฬิกา ดังรูป ค.

**d = เวลาที่เรากำหนดให้เครื่องทำการ Cure สำหรับตัว d นี้เราจะแบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่ใช้ Cure FBGA PKG, Lead PKG, Annealing PKG.

ส่วน

*FBGA PKG เราจะ Set ที่ 285 Min.
*Lead PKG เราจะ Set ที่ 330 Min..
*Annealing PKG เราจะ Set ที่ 165 Min.

ก่อนที่จะทำการ Set เราต้องทำการ Clear ให้เป็น 0000 ก่อนโดยกดปุ่ม Clear (2) แล้วค่อย Set เวลา Cure Time ของแต่ละเครื่อง

พอ Set เวลา Cure Time เสร็จ หลังจากนั้นก็ทำการก็กดปุ่ม ENTER(3) และเมื่อต้องการกลับสู่หน้าปกติก็กดปุ่ม MENU(1) 1 ครั้ง

** พอกด MENU (1) นาฬิกาก็จะกลับมาสู่หน้าปกติ ดังรูป.ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Assembly Equipment Section

เรื่อง : Singulation start up and shut down procedure

Reference : Preventive Maintenance for CSP EOL area

ผู้เขียน : วันที่ :

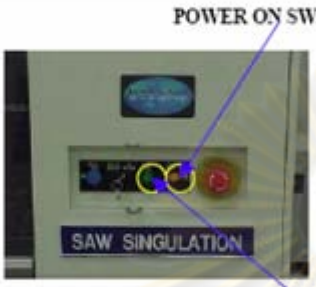
ผู้แก้ไข : วันที่ :

วัตถุประสงค์ : เพื่อให้ทราบถึงข้อควรปฏิบัติ ในการ Start up and Shut down Singulation machine

ภาพประกอบ	คำอธิบาย
	SINGULATION MACHINE POWER ON PROCEDURE. 1). CLEAR SILICA JEAL ออกจากเครื่องทั้งหมด. 2). รอจนกระทั่งได้รับ INFORMATION จาก SUPERVISOR ว่าระบบไฟของ FAC ปรกติและเพื่อความแน่นอนจะต้องใช้ MULTIMETER วัดไฟที่ POT ใต้ล่างของ FAC ให้ถูกต้องก่อนจะเสียบสายไฟของเครื่องไปยังเต้าเสียบของ FAC 3). ทำการเปิด VALVE ของน้ำ, Valve ลม, Valve N2 ซึ่งอยู่ใต้ FLOOR ของเครื่อง DISCO. 4). ทำการ POWER ON BREAKER ที่ TRANSFORMER 5). ทำการ POWER ON BREAKER ที่ ด้านหลังของเครื่อง DISCO SAW และ INTERCON โดยการเลื่อน SW ไปยังตำแหน่ง ON 6). ทำการ POWER ON BREAKER ที่ HIGH PRESSURE PUMP โดยการเลื่อน Switch ON.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Assembly Equipment Section

	7). POWER ON เครื่อง INTERCON โดยการกด ON ที่ตำแหน่ง SW POWER ON จากนั้นกด ON ที่ SW MOTOR ON จากนั้นเข้า DIGONOSTIC MODE และเข้า MODE ใด MODE หนึ่งเพื่อที่จะ HOME MOTOR แต่ก่อนที่จะ HOME จะต้องแน่ใจว่าที่ ชุด NEST ARM ไม่มี NEST หรือ NEST COVER อยู่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

กรณีตัวอย่างมาตรการอนุรักษ์พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

1. **ชื่อมาตรการอนุรักษ์พลังงาน** การเปลี่ยนหลอดแสงจันทร์เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์

ความเป็นมาและหลักการใช้งาน

ในแผนก Utility นั้นมีการใช้หลอดแสงจันทร์ขนาด 250 วัตต์ จำนวน 23 หลอด เปิดใช้งานตลอด 12 ชั่วโมง

ปัญหาของอุปกรณ์ก่อนปรับปรุง

มีการสูญเสียพลังงานไฟฟ้ามาก เป็นแผนกที่ไม่ต้องใช้สายตามาก จากโคมแสงจันทร์ขนาด 269 วัตต์รวมความสูญเสียในบัลลาสต์ เมื่อเปลี่ยนไปใช้ โคมฟลูออเรสเซนต์แบบ 2 หลอดต่อโคม ขนาด 64 วัตต์ ซึ่งจะสามารถประหยัดกำลังไฟฟ้าได้ประมาณ 205 วัตต์ต่อโคม

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

ทางโรงงานทำการติดตั้งหลอดฟลูออเรสเซนต์ขนาด 36 วัตต์จำนวน 2 หลอดต่อโคมแทนหลอดแสงจันทร์ 1 หลอด ซึ่งจะทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้

สภาพหลังปรับปรุง

ดำเนินการแล้วจำนวน 23 หลอดที่แผนก DI water plant, parking, receiving, shipping, และ facility

ระยะเวลาดำเนินการ 1 **เดือน**

เงินลงทุน - **บาท**

ผลประหยัดที่ได้ 46,523 **บาท/ปี** 17,894 **kWh/ปี** 0.0015 **ktoe/ปี**

ระยะเวลาคืนทุน - **ปี**

รายละเอียดการคำนวณ

รายการ	สัญลักษณ์	สูตร	ค่า	หน่วย
ข้อมูล				
จำนวนหลอดแสงจันทร์เดิม	n_1		23	โคม
จำนวนโคมฟลูออเรสเซนต์ใหม่ (2*36 W)	n_2		19	โคม
วัดกำลังไฟฟ้าหลอดแสงจันทร์รวมได้	P_1		5,980	วัตต์
วัดกำลังไฟฟ้าหลอดฟลูออเรสเซนต์รวมได้	P_2		1,216	วัตต์
กำลังไฟฟ้าลดลง	dL	$P_1 - P_2$	4,764	วัตต์
คิดเปอร์เซ็นต์การใช้งานเฉลี่ย	%		100	%
ชั่วโมงการทำงาน	hr		12	ชั่วโมง/วัน
วันทำงาน	D		313	วัน/ปี
ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย	CE		2.60	บาท/หน่วย
การคำนวณ				
กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	P_{save}	(dL) /1000	4.76	kW
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	E_{save}	P_{save}*(%/100)*hr*D	17,894	kWh/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า	M_{save}	CE*E_{save}	46,523	บาท/ปี
การลงทุน				
ไม่มีการลงทุน				

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. **ชื่อมาตรการอนุรักษ์พลังงาน** การทำ Balancing ของ chilled water pump

ความเป็นมา

โรงงานมีการใช้ Chiller ในการทำความเย็นจ่ายไปยังกระบวนการผลิตและสำนักงานต่างๆ เป็นตัวที่ใช้พลังงานมากที่สุด โดยมีการทำงานตลอด 24 ชั่วโมง

ปัญหาของอุปกรณ์ก่อนปรับปรุง

เดิม Chiller จ่ายความเย็นไปที่ต่างๆ ที่ อัตราการไหลต่างๆกัน ตัวปั๊มของ Chiller จะมี VSD (Variable Speed Drive) ควบคุมอยู่ แต่อัตราการไหลไม่มีการปรับตั้งใดๆ ทำให้แต่ละ Line รับโหลดไม่เท่ากัน

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

โรงงานทำการตรวจวัดอัตราการไหลทั้ง 3 อาคาร แล้วทำการปรับตั้งใหม่ ให้เท่าๆกันซึ่งจะทำให้ปั๊มรับโหลดที่เท่ากันและประหยัดพลังงานได้

สภาพหลังปรับปรุง

ดำเนินการแล้วทั้ง 3 อาคาร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระยะเวลาดำเนินการ 1 **เดือน**

เงินลงทุน - **บาท**

ผลประหยัดที่ได้ 312,499 **บาท/ปี** 120,192 **kWh/ปี** 0.0102 **ktoe/ปี**

ระยะเวลาคืนทุน - **ปี**

รายละเอียดการคำนวณ

รายการ	สัญลักษณ์	สูตร	ค่า	หน่วย
ข้อมูล				
CHWP-3 ก่อนปรับ	chp3		12	kW
CHWP-7 ก่อนปรับ	chp7		47	kW
CHWP-8 ก่อนปรับ	chp8		17	kW
CHWP-3 หลังปรับ	chp3a		20	kW
CHWP-7 หลังปรับ	chp7a		20	kW
CHWP-8 หลังปรับ	chp8a		20	kW
ชั่วโมงทำงาน	hr		24	ชั่วโมง/วัน
วันทำงาน	D		313	วัน/ปี
ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย	CE		2.60	บาท/หน่วย
การคำนวณ				
เมื่อทำการปรับตั้ง flow rate ใหม่จะได้				
กำลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้	P_{save}	chp3+chp7+chp8-chp3a-chp7a-chp8a	16	kW
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	E_{save}	P_{save}*hr*D	120,192	kWh/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า	M_{save}	CE*E_{save}	312,499	บาท/ปี
การลงทุน				
ไม่มีการลงทุน				

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. **ชื่อมาตรการอนุรักษ์พลังงาน** การยกเลิกระบบ Cooling System ของเครื่อง Marking 1 เครื่อง

ความเป็นมาและหลักการใช้งาน

โรงงานมีการใช้งานเครื่อง Marking ในกระบวนการผลิต LSI จำนวน 7 เครื่อง ใช้สำหรับทำเครื่องหมายแสดงข้อมูลการผลิตที่ชิ้นงาน ระบบ Cooling System ใช้ระบายความร้อนจากการทำงานของเครื่อง Marking การทำงานของเครื่อง Cooling ใช้พลังงานไฟฟ้า 1.5 kW/เครื่อง

ปัญหาของอุปกรณ์ก่อนปรับปรุง

เมื่อระบบ Cooling System ของเครื่องทำงานจะมีการใช้พลังงานไฟฟ้าถึง 1.5 kW และที่สำคัญจะมีการระบายความร้อนออกมาบริเวณรอบๆ เครื่องด้วย ส่งผลให้อุณหภูมิรอบๆ เครื่องจะสูงผิดปกติ ซึ่งจะเป็นภาระต่อการทำงานของระบบ Air Condition ของโรงงาน

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

สภาพความเป็นจริงแล้วระบบ Cooling System ของโรงงาน มีการจ่ายจากส่วนกลางอยู่แล้ว ไม่จำ เป็นต้องมี Cooling System แยกในแต่ละเครื่องจักรอีก เพื่อลดการสูญเสียการใช้พลังงานไฟฟ้าและลดภาระการทำงานของระบบ Air Condition ทั้งหมดของโรงงานโดยมีขั้นตอนการดำเนินการ คือ

1. ทำการยกเลิกระบบ Cooling System ที่แยกมากับเครื่องจักร Marking จำนวน 7 เครื่อง
2. นำระบบ Cooling System จากส่วนกลางที่มีใช้แล้วมาแทน
3. ประเมินผลประหยัดและระยะเวลาคืนทุน

สภาพหลังปรับปรุง

ดำเนินการเรียบร้อย แล้วจำนวน 1 เครื่อง จากเครื่อง Cooling ทั้งหมด 7 เครื่อง

ระยะเวลาดำเนินการ 4 เดือน

เงินลงทุน 35,000 **บาท**

ผลประหยัดที่ได้ 32,140.80 **บาท/ปี** 12,960.00 **kWh/ปี** 0.0011 **ktoe/ปี**

ระยะเวลาคืนทุน 0.16 **ปี**

รายละเอียดการคำนวณ

DATA	**สัญลักษณ์**	**สูตร**	**จำนวน**	**หน่วย**
กำลังไฟฟ้ารวม	P		1.50	kW/เครื่อง
จำนวน	n		7	เครื่อง
ชั่วโมงการทำงาน	H		8,640	h/y
ราคาค่าไฟฟ้า	CE		2.48	บาท/kWh
การคำนวณ				
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	Esave	P*n*H	90,720	kWh/ปี
คิดเป็นเงิน	Msave	E*CE	224,986	บาท/ปี
การลงทุน				
เงินลงทุน	C		5,000	บาท/เครื่อง
รวมเงินลงทุน	C1	C*n	35,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	PB	C1/Msave	0.16	ปี

4. **ชื่อมาตรการอนุรักษ์พลังงาน** การใช้ Turbo Air compressor 450 kW ทดแทน Screw Type Air Compressor

ความเป็นมาและหลักการใช้งาน

ปัจจุบันโรงงานมีการใช้งานอากาศอัดเพื่อจ่ายให้กับเครื่องจักรในสายการผลิต โดยติดตั้ง Air Compressorแบบ Screw Type ขนาด 75 kW จำนวน 15 ชุด

ปัญหาของอุปกรณ์ก่อนปรับปรุง

เนื่องจาก Screw Type Air compressor ขนาดพิกัด 75 kW ที่ใช้งานอยู่มีอายุการใช้งานมาก ตลอดจนมีการใช้อากาศอัดในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก ซึ่งการติดตั้ง Turbo Air Compressor ที่มี VSD ในตัว จึงเป็นทางเลือกที่ดีในการลดพลังงานไฟฟ้า

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

จากการสำรวจและตรวจวัด ระบบอัดอากาศเดิมที่มีอยู่ พบว่าโรงงานจะต้องมีการปรับปรุงพื้นที่ติดตั้ง เพื่อรองรับระบบใหม่ โดยมีการสำรวจพื้นที่และออกแบบใหม่เพื่อการติดตั้งระบบใหม่แล้วก็ดำเนินการติดตั้งและประเมินผลการประหยัดพลังงาน

สภาพหลังปรับปรุง

ได้ติดตั้งและใช้งานระบบ Turbo Air Compressor และสามารถหยุดใช้ Screw Typeได้ 9 ชุด

ระยะเวลาดำเนินการ 3 ปี

เงินลงทุน 15,000,000 บาท

ผลประหยัดที่ได้ 4,580,064 บาท/ปี 1,846,800 kWh/ปี 0.1574 ktoe/ปี

ระยะเวลาคืนทุน 3.28 ปี

รายละเอียดการคำนวณ

DATA	สัญลักษณ์	สูตร	ค่า	หน่วย
จำนวน Screw Type Air compressor	n_{36}		9	ชุด
ขนาด Screw Type Air compressor	Psc		75	kW
ขนาด Turbo Air compressor	Ptb		450	kW
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	CE		2.48	บาท/หน่วย
วันทำงาน	D		360	วัน/ปี
ชั่วโมงการทำงาน	hr		24	ชั่วโมง/วัน
คิดเปอร์เซ็นต์การใช้งานเฉลี่ย	%		95	%
การคำนวณ				
พลังไฟฟ้าที่ประหยัดได้	P_{save}	n*Psc-Ptb	225	kW
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	E_{save}	(Psave*D*hr*(%/100))	1,846,800	kWh/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้า	M_{save}	$CE*E_{save}$	4,580,064	บาท/ปี
การลงทุน				
ลงทุน	C		15,000,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุน	PB	C / Msave	3.28	ปี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

รายละเอียดการแบ่งประเภทของ Product A, B, C, D และ E

Product	ประเภท	รายละเอียด
A	A1	ผลิตภัณฑ์ A เพื่อนำไปใช้กับในอุปกรณ์ เครื่องคอมพิวเตอร์และส่วนประกอบ โดยที่แบ่งแต่ละประเภทตามที่ส่งให้กลุ่มบริษัทผู้ผลิตส่วนประกอบคอมพิวเตอร์ใหญ่ๆ ซึ่งก็จะมีการรับ order ตามแต่ละลูกค้าต้องการ แบ่งตามรุ่นการผลิต
	A2	
	A3	
	A4	
	A5	

Product	ประเภท	รายละเอียด
B	B1	ผลิตภัณฑ์ B เพื่อนำไปใช้กับอุปกรณ์และส่วนประกอบในรถยนต์ โดยที่แบ่งแต่ละประเภทตามที่ส่งให้กลุ่มบริษัทผู้ผลิตส่วนประกอบคอมพิวเตอร์ใหญ่ๆ ซึ่งก็จะมีการรับ order ตามแต่ละลูกค้าต้องการ แบ่งตามรุ่นการผลิต
	B2	
	B3	
	B4	

Product	ประเภท	รายละเอียด
C	C1	ผลิตภัณฑ์ C เพื่อนำไปใช้กับเครื่องใช้ไฟฟ้าและส่วนประกอบอื่นๆ โดยที่แบ่งแต่ละประเภทตามที่ส่งให้กลุ่มบริษัทผู้ผลิตส่วนประกอบคอมพิวเตอร์ใหญ่ๆ ซึ่งก็จะมีการรับ order ตามแต่ละลูกค้าต้องการ แบ่งตามรุ่นการผลิต
	C2	
	C3	

Product	ประเภท	รายละเอียด
D	D1	ผลิตภัณฑ์ D เพื่อนำไปใช้กับส่วนประกอบของเครื่องปรับอากาศ โดยที่แบ่งแต่ละประเภทตามที่ส่งให้กลุ่มบริษัทผู้ผลิตส่วนประกอบคอมพิวเตอร์ใหญ่ๆ ซึ่งก็จะมีการรับ order ตามแต่ละลูกค้าต้องการ แบ่งตามรุ่นการผลิต
	D2	

Product	ประเภท	รายละเอียด
E	E1	ผลิตภัณฑ์ E เพื่อนำไปใช้กับส่วนประกอบของเครื่องจักรกล โดยที่แบ่งแต่ละประเภทตามที่ส่งให้กลุ่มบริษัทผู้ผลิตส่วนประกอบคอมพิวเตอร์ใหญ่ๆ ซึ่งก็จะมีการรับ order ตามแต่ละลูกค้าต้องการ แบ่งตามรุ่นการผลิต
	E2	

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายพีรพงษ์ แก้ววิมลรัตน์ เกิดเมื่อวันที่ 10 เมษายน 2526 ที่โรงพยาบาลกลาง กรุงเทพมหานคร เข้ารับการศึกษาในระดับมัธยมที่โรงเรียนราชวินิตบางแก้ว จังหวัดสมุทรปราการ สำเร็จการศึกษาปริญญาบัณฑิต ภาคทรัพยากรธรณี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548 และเข้ารับการศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ในปีการศึกษา 2550

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย