การลดต้นทุนพลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ : กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์

นางสาวภาชนีย์ ฤทธิบุญ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2557
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ENERGY COST REDUCTION FOR ELECTRONIC INDUSTRY : A CASE STUDY OF HARD DISK DRIVE INDUSTRY

Miss Pachanee Rittiboon

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Energy Technology and Management
(Interdisciplinary Program)
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 2014

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การลดต้นทุนพลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ : กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์
โดย	นางสาวภาชนีย์ ฤทธิบุญ
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุเนตร ชุตินธรานนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

.....กรรมการ
(อ. ดร. ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ดร. อุริช อัชชโคสิต)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาชนีย์ ฤทธิบุญ : การลดต้นทุนพลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ : กรณีศึกษาโรงงานอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ (ENERGY COST REDUCTION FOR ELECTRONIC INDUSTRY : A CASE STUDY OF HARD DISK DRIVE INDUSTRY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน, 143 หน้า.

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณาหาวิธีการลดต้นทุนด้านพลังงานต่อหน่วยการผลิตของอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้กรณีศึกษาเป็นอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ ผ่านการประเมินและวิเคราะห์หาสาเหตุ ด้วยเทคนิคทางสถิติ ก่อนจะจัดหามาตรการแก้ไขและวัดผลการดำเนินการตรวจสอบ ตลอดจนติดตามผล โดยมุ่งเน้นที่การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานและการจัดการด้านพลังงานเป็นหลัก

จากการประเมินการใช้พลังงานมีการตั้งเป้าหมายเพื่อลดต้นทุนต่อหน่วยการผลิตลง 14 % จากปี 2/2555 (ก.ค. – ธ.ค. พ.ศ.2555) ผ่าน 6 มาตรการดังนี้คือ มาตรการที่ 1 เปลี่ยนไปใช้เครื่องทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง มาตรการที่ 2 คือการบริหารจัดการการเครื่องทำความเย็น โดยนำประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นมาวางแผนการเดินเครื่อง มาตรการที่ 3 ลดการรั่วไหลของระบบอัดอากาศ มาตรการที่ 4 ประเมินแสงสว่างเทียบกับพื้นที่และกิจกรรมการใช้งาน มาตรการนี้จะเน้นการลดจำนวนหลอดไฟในบริเวณที่มีแสงเกินความจำเป็น มาตรการที่ 5 คือการเปลี่ยนหลอดไฟ T8 เป็นหลอด LED มาตรการสุดท้าย คือการจัดอบรมและกิจกรรมส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อกระตุ้นให้เกิดแรงจูงใจในการลดใช้พลังงานสำหรับพนักงาน จากการดำเนินการทั้งหมด สามารถลดต้นทุนต่อหน่วยผลิตภัณฑ์ได้ประมาณ 19% ซึ่งสามารถบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ว่าจะลดต้นทุนพลังงานต่อหน่วยลง14% จากเดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2012 (Baseline)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2557 ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

5587590120 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGEMENT
KEYWORDS: ENERGY COST REDUCTION / ENERGY SAVING / ENERGY CONSUMPTION

PACHANEE RITTIBOON: ENERGY COST REDUCTION FOR ELECTRONIC INDUSTRY : A CASE STUDY OF HARD DISK DRIVE INDUSTRY. ADVISOR: ASSOC. PROF. SUTHAS RATANAKUAKANGWAN, 143 pp.

The purposes of this study were determined how to reduce the energy costs of the electronics industry; a case study for the hard disk drive industry. Statistical techniques were used for root cause analysis, to measure the energy consumption, and to validate and monitor the results. The focus point of solving these issues is to improve an efficiency and energy consumption management of the HDD industry. To reduce energy consumption and improve an efficiency of the HDD manufacturing process, 6 measures were chosen.

The 1st measure is an efficiency improvement; the current highest of energy consume is the HVAC (Heating, Ventilation and Air Conditioning) system. Implementing a new High-Efficiency Chiller system to replace the current HVAC system. The 2nd measure is to create a sequencing plan for chiller operation based on efficiency.The 3rd measure is minimizing compressed air leakage; The 4th measure is evaluating the amount of required lighting by removing fluorescent lights in over lit areas is required for energy saving. The 5th measure is replacing the T8 lighting fluorescent to LED lighting. Finally, the 6th measurement is employee education; a proper training and collaboration from employees are very important for sustain energy cost reduction. This research can reduce cost per units of the HDD industry about 19% and achieve the target that the industry set at 14% from July – December 2012 (Baseline).

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Energy Technology and Management Student's Signature .....
Advisor's Signature .....
Academic Year: 2014

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จรุล่วงได้ด้วยความกรุณาของ ร.ศ.สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ โดยท่านได้ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษาในการทำวิจัย ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ จึงกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช ประธานกรรมการสอบวิทยาพิพนธ์ อาจารย์ ดร.ฐิติศักดิ์ บุญปราโมทย์ และ ดร.อุริช อัชชโคสิต กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ และ ข้อเสนอแนะให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณวิศวกร และคณะกรรมการด้านการจัดการพลังงานของโรงงานฮาร์ดดิสก์ ที่ให้ความร่วมมือ สนับสนุนข้อมูล ตลอดจนช่วยดำเนินการเพื่อให้งานวิจัยเป็นไปอย่างราบรื่น

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา สำหรับการสนับสนุนในทุกๆด้าน ไม่ว่าจะเป็นข้อมูล ทุนทรัพย์ตลอดจนกำลังใจที่ดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ สุวรรณรัตน์ สิมหลวงและเพื่อนๆ สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา) บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รุ่น 4 ทุกคนที่คอยช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฑ
บทที่ 1 บทนำ 18
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 18
1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย 21
1.3 ขอบเขตของการวิจัย 22
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 22
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 22
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรม/เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 23
2.1 ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) 24
2.1.1 ตัวอย่างการหาค่าดัชนีชี้วัดพลังงาน (SEC) ของโรงงานตัวอย่าง 24
2.1.2 ประโยชน์ของดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) 26
2.2 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (QC 7 Tools) 26
2.2.1 แบบตรวจสอบ (Check Sheet) 27
2.2.2 แผนผังพาเรโต้ (Pareto Diagram) 27
2.2.3 การจำแนกข้อมูลและกราฟ (Stratification and Graph) 28
2.2.4 แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause &Effect Diagram) 29
2.2.5 แผนผังการกระจาย (Scatter Diagram) 30

หน้า

2.2.6 ฮิสโตแกรม (Histogram) 32
2.2.7 แผนภูมิควบคุม (Control Chart) 33
2.3 เครื่องมือหาสาเหตุของปัญหา (Why-Why analysis) 33
2.3.1 หลักการทำ Why-Why Analysis 34
2.3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ Why - Why Analysis 35
2.3.3 โครงสร้าง Why - Why Analysis 36
2.4 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple linear Regressions) 37
2.4.1 วัตถุประสงค์ของการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์การถดถอย 37
2.4.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น 37
2.4.3 ข้อตกลงเบื้องต้นในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น 40
2.4.4 วิธีคัดเลือกตัวแปรพยากรณ์มาทำการสู่สมการถดถอยมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น .. 40
2.5 สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination) 40
2.6 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกันฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk Drive) 42
2.6.1 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk Drive) 43
2.6.2 ขั้นการการผลิตฮาร์ดดิสก์ 44
2.6.3 ความจุและขนาดของฮาร์ดดิสก์ 46
2.7 ระบบความเย็น Chilled System 46
2.7.1 หลักการทำงานของเครื่องทำความเย็น 46
2.7.2 เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) 47
2.8 ระบบอากาศอัด (Compressed Air Systems) 50
2.8.1 ความสิ้นเปลืองกำลังขับกับเงื่อนไขการทำงาน 51
2.8.2 ความดันอากาศที่ต้องการ 52
2.8.3 ระดับคุณภาพของอากาศที่ต้องการ 53

หน้า

2.8.4 รูปแบบความต้องการอากาศอัดปริมาณความต้องการอากาศอัดแต่ละโรงงาน.....54
2.8.5 ระบบการส่งจ่ายลมอัด (Compressed Air System) ระบบการจ่ายอากาศอัด (Pneumatic distribution system) หรือการเดินท่อระบบอากาศอัดต้องเป็นดังนี้.....54
2.8.6 ระบบการส่งจ่ายลมอัด (Compressed Air System).....55
2.9 ระบบแสงสว่าง (Lighting).....55
2.9.1 ความสว่าง (Illuminance: E).....55
2.9.2 ประเภทของหลอดไฟในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง.....56
2.9.3 ค่าประสิทธิผล (Efficacy).....56
2.9.4 หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็น ชนิด T5.....57
2.9.5 LED Light.....59
2.9.5.3 คุณสมบัติหลอด LED และประโยชน์สำหรับการใช้งาน.....60
2.9.6 แนวทางการประหยัดพลังงานของระบบแสงสว่าง.....61
2.10 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....61
2.10.1 การศึกษาประสิทธิภาพและตรวจติดตามการใช้พลังงานของโรงงาน.....62
2.10.2 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานควบคุม.....62
2.10.3 การประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติเพื่อการตรวจติดตามผลการอนุรักษ์พลังงาน..63
2.10.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม.....63
2.10.5 การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม กรณีศึกษา บริษัท อีพีอี แพคเกจจิ้ง (ประเทศไทย) จำกัด.....64
บทที่ 3 ศึกษาการจัดการพลังงานและกำหนดเป้าหมาย ในการลดต้นทุนด้านพลังงาน.....65
3.1 ประเมินการใช้พลังงานและการจัดการพลังงานเบื้องต้น.....65
3.1.1 สถานะภาพการอนุรักษ์พลังงานของกรณีศึกษา.....65
3.1.2 วิเคราะห์การใช้พลังงานของกรณีศึกษา.....72

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หน้า

3.2 ทบทวนและกำหนดเป้าหมายในการลดต้นทุนพลังงาน....84
บทที่ 4 การดำเนินงานวิจัย....85
4.1 หาสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนพลังงานของโรงงาน....85
4.2 จัดหามาตรการอนุรักษ์พลังงานเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่กำหนด....92
มาตรการ 1 HVAC - เปลี่ยนไปใช้เครื่องทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง....98
มาตรการ 2 HVAC - บริหารแผนการจัดการเครื่องทำความเย็น....101
มาตรการ 3 CDA – มาตรการการลดการรั่วไหลในระบบอัดอากาศ....103
มาตรการ 4 Lighting - พิจารณาความเหมาะสมของแสงสว่างและลดจำนวนหลอดไฟที่ไม่จำเป็น....108
มาตรการ 5 Lighting – เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นหลอด LED....116
มาตรการที่ 6 จัดอบรมด้านพลังงานให้กับพนักงาน....119
บทที่ 5 ผลการดำเนินงานวิจัย....127
บทที่ 6 สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ....143
6.1 สรุปผลการวิจัย....143
6.2 ข้อเสนอแนะ / ปัญหาและอุปสรรค์....3
รายการอ้างอิง....18
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์....20

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 การใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตแก้วของโรงงานตัวอย่าง 25

ตารางที่ 2.2 ลักษณะเฉพาะของกราฟแต่ละชนิด 29

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบเครื่องอัดอากาศชนิดไม่มีน้ำมันกับชนิดมีน้ำมัน 53

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างค่าประสิทธิผลของหลอดไฟชนิดต่างๆ 57

ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของหลอด LED 60

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงระดับคะแนนของตารางประเมินการจัดการพลังงานเบื้องต้น(Energy Management Matrix: EMM) 66

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงรายละเอียดและการวิเคราะห์สถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นของโรงงาน 68

ตารางที่ 3.3 ตารางประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษาผ่าน Energy Management matric (EMM) 68

ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงคะแนนที่ได้จากคณะกรรมการด้านพลังงาน รวมถึงตัวแทนแต่ละฝ่ายผ่านการประเมิน EMM ทั้ง 6 ด้าน ดังนี้ 70

ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงผลการประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษาผ่าน (EMM) 70

ตารางที่ 3.6 ตารางแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโรงงานกรณีศึกษาตั้งแต่ มกราคม พ.ศ. 2555 – มิถุนายน พ.ศ.2556 73

ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ(SEC)ของโรงงานกรณีศึกษาระหว่าง มกราคม พ.ศ. 2555 – มิถุนายน พ.ศ.2556 77

ตารางที่ 3.8 ตารางแสดงต้นทุนพลังงานต่อหน่วย (บาท/หน่วย) ของโรงงานกรณีศึกษาระหว่าง มกราคม พ.ศ. 2555 – มิถุนายน พ.ศ.2556 79

ตารางที่ 3.9 ตารางแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้า ค่าไฟ จำนวนการผลิต SEC และต้นทุนพลังงานต่อหน่วย ระหว่าง กรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ.2555 84

ตารางที่ 4.1 แสดงคะแนนตามสัดส่วนการใช้พลังงานของกรณีศึกษา 87

ตารางที่ 4.2 ผลที่ได้จากการประเมินสาเหตุที่กระทบต่อการใช้พลังงาน 89
ตารางที่ 4.3 แสดงผลของการจัดอันดับสาเหตุที่กระทบต่อการใช้พลังงานของกรณีศึกษา.....89
ตารางที่ 4.4 แสดงการวิเคราะห์ Why – Why Analysis 93
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงวิธีการจัดหมวดหมู่มาตรการ 94
ตารางที่ 4.6 หมวดหมู่โดยคำนึงถึงความสามารถในการดำเนินงานและผลสัมฤทธิ์ 95
ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงมาตรการที่ได้รับการคัดเลือกเพื่อการอนุรักษ์พลังงานของกรณีศึกษา 97
ตารางที่ 4.8 ตารางเปรียบเทียบ Air Cooled Chiller และ Water Cooled Chiller.....100
ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงรายละเอียดเพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Chiller 102
ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงรายละเอียดเพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Chiller 103
ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงการใช้ไฟฟ้าของ Chiller ก่อนและหลังปรับปรุง.....103
ตารางที่ 4.12ตารางแสดงเส้นทางการทดสอบและการเปิดปิดวาล์วของระบบอัดอากาศ.....105
ตารางที่ 4.13 ตารางอ้างอิงค่ามาตรฐานเฉลี่ยความเข้มของแสง 111
ตารางที่ 4.14 ตารางอ้างอิงค่ามาตรฐานเทียบเคียงความเข้มของแสงสว่าง ที่ลูกจ้างทำงาน....112
ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงจำนวนหลอดไฟในแต่ละพื้นที่ก่อนปรับปรุง.....113
ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงจำนวนหลอดไฟและพื้นที่หลังการปรับปรุง.....114
ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงจำนวนการใช้หลอดไฟก่อนและหลังการปรับปรุง 115
ตารางที่ 4.18 ตารางแสดงจำนวนการติดตั้ง LED ต่อพื้นที่.....118
ตารางที่ 4.19 แบบสอบถามเพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลไปใช้ทำการวิเคราะห์.....119
ตารางที่ 4.20 แบบสอบถามแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงาน 121
ตารางที่ 4.21 แบบสอบถามแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับโครงการจัดการพลังงาน.....122
ตารางที่ 4.22 แบบสอบถามแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับ Energy Management Technology for Industry 124
ตารางที่ 4.23 ตารางแสดงสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงาน และมาตรการตอบสนองเพื่อลดต้นทุนด้านพลังงาน 125

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงรายละเอียดและแผนการดำเนินงานของแต่ละมาตรการ 127
ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงผลการเปลี่ยนไปใช้เครื่องทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง.....128
ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงผลการบริหารแผนการจัดการเครื่องทำความเย็น.....129
ตารางที่ 5.4 ตารางสรุปผลการประเมินประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็น (Chiller).....130
ตารางที่ 5.5 ตารางแสดงผลมาตรการการลดการรั่วไหลในระบบอัดอากาศ.....131
ตารางที่ 5.6 ตารางแสดงการลดการรั่วไหลในระบบอัดอากาศ.....133
ตารางที่ 5.7 ตารางแสดงการลดจำนวนหลอดไฟในพื้นที่ที่มีแสงสว่างเกินความจำเป็น.....134
ตารางที่ 5.8 ตารางแสดงการเปลี่ยนหลอดไฟขนาด T8 เป็นหลอด LED.....135
ตารางที่ 5.9 ตารางแสดงผลของการจัดอบรมด้านพลังงานให้กับพนักงาน.....137
ตารางที่ 5.10 ตารางแสดงผลของการโครงการอบรมนโยบายและการอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน ให้กับพนักงานใหม่.....138
ตารางที่ 5.11 ตารางแสดงผลของมาตรการอบรมการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมให้กับ วิศวกรและพนักงาน.....139
ตารางที่ 5.12 ตารางแสดงผลความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน.....140
ตารางที่ 5.13 ตารางแสดงผลการอบรม Energy Management Technique for Industry ให้กับคณะกรรมการและผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงานของบริษัท 141
ตารางที่ 5.14 ตารางแสดงผลการประเมินแต่ละกิจกรรมผ่านการเก็บคะแนนจากแบบทดสอบ และกิจกรรมในการอบรม 142
ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงผลการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงาน 145
ตารางที่ 6.2 ตารางแสดงผลการประเมินการจัดการพลังงานเบื้องต้น 145
ตารางที่ 6.3 ตารางแสดงผลประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นของโรงงาน กรณีศึกษาผ่าน Energy Management Matrix (EMM).....147

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 แสดงค่าไฟฟ้าของโรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์ (กรณีศึกษา: สิงหาคม 2549 – ธันวาคม 2553) 18

รูปที่ 1.2 กราฟแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้า(กิโลวัตต์-ชั่วโมง) เทียบกับปริมาณการผลิต(หน่วย) ปี พ.ศ.2553 19

รูปที่ 1.3 แผนภาพการกระจาย (Scatter Plots) ของข้อมูลการใช้ไฟฟ้า(กิโลวัตต์-ชั่วโมง) เทียบกับปริมาณการผลิตฮาร์ดดิสก์ (หน่วย) ในปี พ.ศ. 2553 20

รูปที่ 1.4 กราฟแสดงการใช้พลังงานด้านไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption ; SEC) ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2553 จนถึง เมษายน พ.ศ.2554..... 21

รูปที่ 2.1 ตัวอย่างแบบตรวจสอบ(Check Sheet), ที่มารูปภาพ http://www.syque.com..... 27

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแผนผังพาเรโต้ (Pareto Diagram),ที่มารูปภาพ http://www.isixsigma.com..... 28

รูปที่ 2.3 แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause &Effect Diagram)..... 30

รูปที่ 2.4 ตัวอย่างแผนผังการกระจาย(Scatter Diagram)..... 31

รูปที่ 2.5 แผนผังการกระจายที่มีสหสัมพันธ์แบบบวก (Positive Correlation)..... 31

รูปที่ 2.6 แผนผังการกระจายที่มีสหสัมพันธ์แบบลบ (Negative Correlation) 32

รูปที่ 2.7 แผนผังการกระจายที่ไม่มีสหสัมพันธ์ (Non-Correlation) 32

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างฮิสโตแกรม(Histogram)..... 33

รูปที่ 2.9 ตัวแผนภูมิควบคุม (Control Chart)..... 33

รูปที่ 2.10 รายละเอียดหลักการ 5G ที่จำแนกการใช้งานออกเป็น 2 ส่วน..... 34

รูปที่ 2.11 โครงสร้าง Why - Why Analysis 36

รูปที่ 2.12 การกระจายของข้อมูลและสมการถดถอย 38

รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ..... 39

รูปที่ 2.14 พื้นที่ในการจัดเก็บข้อมลลงบนฮาร์ดดิสก์ (แทร็ก และเซ็กเตอร์ ของแผ่นบันทึก).... 42

รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ (ที่มา Mediathailand).....43

รูปที่ 2.16 กระบวนการในการผลิตฮาร์ดดิสก์.....45

รูปที่ 2.17 แสดงหลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องทำความเย็น.....46

รูปที่ 2.18 ระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller).....48

รูปที่ 2.19 วัฏจักรการทำความเย็นของเครื่อง Chiller.....49

รูปที่ 2.20 แสดงผังของระบบเครื่องปรับอากาศ.....50

รูปที่ 2.21 คุณลักษณะภาระของเครื่องอัดอากาศ เส้นกราฟอุดมคติภาระ [%]กำลังขับ [%]ที่มา : “การอนุรักษ์พลังงาน” (ก.พ. 2541) หน้า 68.....52

รูปที่ 2.22 คุณลักษณะการทำงานเครื่องอัดอากาศ.....53

รูปที่ 2.23 อัตราการผลิตเทียบกับพลังงานไฟฟ้า.....54

รูปที่ 2.24 แผนภาพการแบ่งชนิดของหลอดไฟ.....56

รูปที่ 2.25 ขั้วหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบต่างๆ.....57

รูปที่ 2.26 กราฟเปรียบเทียบการลดลงของแสงกับอายุการใช้งานของหลอด.....58

รูปที่ 2.27 โครงสร้างของหลอด LED.....59

รูปที่ 3.1 กราฟแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) ในแต่ละเดือนของปีฐาน (Baseline) ระหว่าง มกราคม พ.ศ.2555 – มิถุนายน พ.ศ.2556.....74

รูปที่ 3.2 กราฟแสดงค่าไฟฟ้า (บาท) ในแต่ละเดือนของปีฐาน (Baseline) ระหว่าง มกราคม พ.ศ.2555 – มิถุนายน พ.ศ.2556.....74

รูปที่ 3.3 แผนภาพการกระจายหรือ Scatter plot ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) เทียบกับ ปริมาณการผลิต (หน่วย).....75

รูปที่ 3.4 กราฟวงกลมแสดงสัดส่วนการใช้พลังงานของกรณีศึกษา แยกตามระบบต่างๆ (ข้อมูลตั้งของ 2555).....76

รูปที่ 3.5 กราฟแสดงค่า SEC ระหว่าง มกราคม พ.ศ.2555 – มิถุนายน พ.ศ.2556 เทียบกับ ค่าเฉลี่ย SEC ในช่วงเวลาเดียวกัน.....78

รูปที่ 3.6 กราฟแสดงค่าต้นทุนพลังงานต่อหน่วยการผลิต ระหว่าง มกราคม พ.ศ.2555 – มิถุนายน พ.ศ.2556 เทียบกับค่าเฉลี่ยต้นทุนพลังงานต่อหน่วยในช่วงเวลาเดียวกัน.....78

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 3.7 แสดงการวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) ระหว่างการใช้พลังงาน (kWh) เทียบกับปริมาณการผลิต (หน่วย).....80

รูปที่ 3.8 แสดงกราฟเส้นความถดถอย (Regression Analysis) ระหว่างการใช้พลังงาน (kWh) เทียบกับปริมาณการผลิต (หน่วย).....81

รูปที่ 3.9 แสดง Residual Plots ของการใช้พลังงาน (kWh) ของโรงงานกรณีศึกษา.....82

รูปที่ 3.10 แสดงผลต่างระหว่างค่าการใช้พลังงานจริงและค่าการใช้พลังงานที่ควรจะเป็นเมื่อผลิตผลิตภัณฑ์ในจำนวนหนึ่งๆ ระหว่างเดือน ม.ค. พ.ศ. 2555 – มิ.ย. พ.ศ.2556.....83

รูปที่ 4.1 แผนผังแสดงเหตุและผล หรือแผนภูมิก้างปลา.....88

รูปที่ 4.2 แผนภูมิพาเรโต้แสดงสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่าง.....91

รูปที่ 4.3 เครื่องทำความเย็น.....102

รูปที่ 4.4 ภาพแสดงเส้นทางการไหลและวาล์วของระบบอัดอากาศ.....105

รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบเดินเครื่องอัดอากาศ.....106

รูปที่ 4.6 พื้นที่ ห้องบรรจุภัณฑ์ สำนักงาน ห้องประชุม และโรงอาหาร.....110

รูปที่ 4.7 พื้นที่ห้องทดสอบผลิตภัณฑ์ และห้องปฏิบัติการ ชั้นที่ 2.....110

รูปที่ 4.8 พื้นที่ห้องทดสอบผลิตภัณฑ์ และห้องปฏิบัติการ ชั้นที่ 3.....111

รูปที่ 5.1 ก่อนการปรับปรุงมาตรการ 1 (เปลี่ยนไปใช้เครื่องทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง)..128

รูปที่ 5.2 หลังการปรับปรุงมาตรการ 1 (เปลี่ยนไปใช้เครื่องทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง ...128

รูปที่ 5.3 ก่อนการปรับปรุงมาตรการ 4 (พิจารณาความเหมาะสมของแสงสว่างและลดจำนวนหลอดไฟที่ไม่จำเป็น).....134

รูปที่ 5.4 หลังการปรับปรุงมาตรการ 4 (พิจารณาความเหมาะสมของแสงสว่างและลดจำนวนหลอดไฟที่ไม่จำเป็น).....135

รูปที่ 5.5 ก่อนการปรับปรุงมาตรการ 5 (เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นหลอด LED).....136

รูปที่ 5.6 หลังการปรับปรุงมาตรการ 5 (เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นหลอด LED).....136

รูปที่ 6.1 กราฟเปรียบเทียบการประเมินการจัดการพลังงานเบื้องต้น.....146

รูปที่ 6.2 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) ก่อนและหลังปรับปรุง.....149

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 6.3 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือน 149

รูปที่ 6.4 กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ใช้ ก่อนและหลังปรับปรุง.....150

รูปที่ 6.5 กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือนระหว่างปี 2556 กับ 2557.....150

รูปที่ 6.6 กราฟเปรียบเทียบค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะก่อนและหลังปรับปรุง..... 1

รูปที่ 6.7 กราฟเปรียบเทียบค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะในแต่ละเดือนระหว่างปี 2555 กับ 2556..... 1

รูปที่ 6.8 กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าต่อหน่วยก่อนและหลังปรับปรุง 2

รูปที่ 6.9 กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าต่อหน่วยก่อนในแต่ละเดือนระหว่างปี 2555 กับ 2556 2

รูปที่ 6.10 แสดงผลต่างระหว่างค่าการใช้พลังงานจริงและค่าการใช้พลังงานที่ควรจะเป็นเมื่อผลิตผลิตภัณฑ์ในจำนวนหนึ่งๆ ระหว่างเดือน ม.ค. พ.ศ. 2555 – ธ.ค. พ.ศ.2556..... 3

รูปที่ 6.11 แสดงการใช้พลังงานที่ยังไม่ได้ออกมาตรการในการอนุรักษ์พลังงาน 4

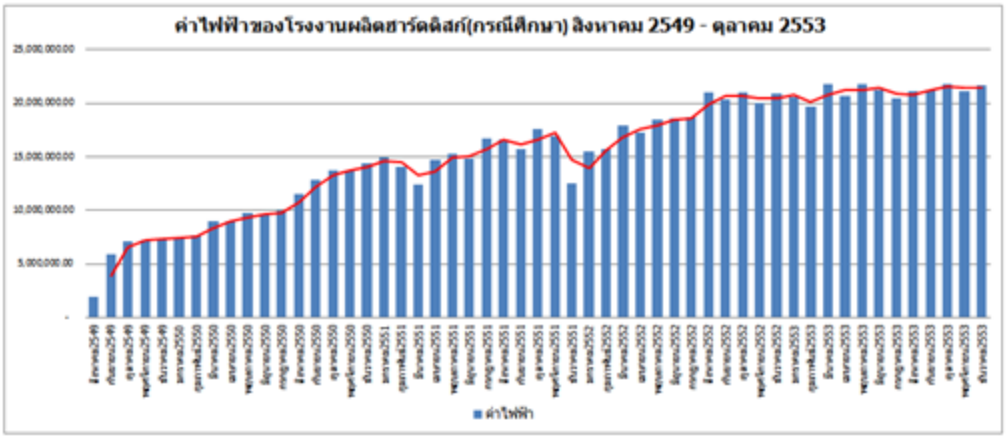
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

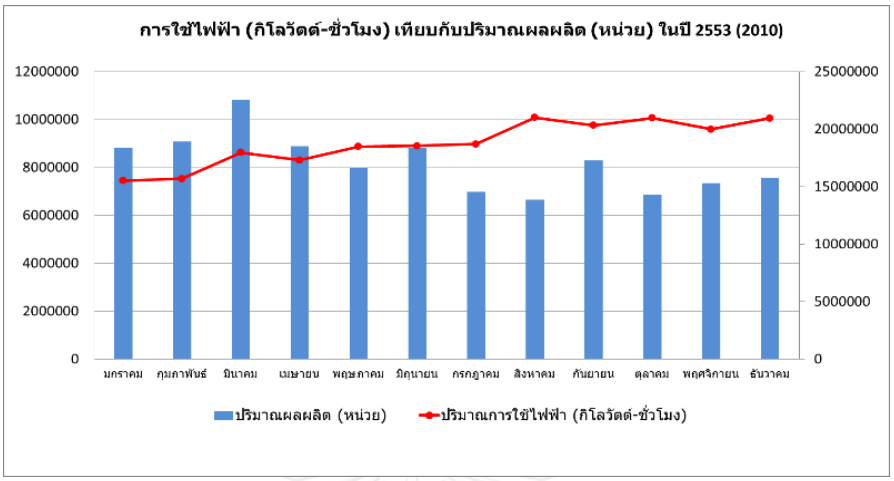
ปัจจุบันอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ถือเป็นอุตสาหกรรมที่สร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับประเทศไทยอย่างมากสืบเนื่องจากความก้าวหน้าของเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสารที่พัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ทำให้อุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์มีการขยายตัวอย่างรวดเร็วตามไปด้วย ดังจะเห็นได้จากสัดส่วนการผลิตและส่งออกฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟจากประเทศไทยสู่ตลาดโลกสูงถึง 40% สร้างมูลค่าการส่งออกกว่า 900,000 ล้านบาท [1] มีสัดส่วนการผลิตรวมเป็นอันดับ 1 ของโลก มีการจ้างแรงงานกว่า 100,000 คน จากปัจจัยข้างต้นทำให้ผู้ผลิตต้องทำการปรับกลยุทธ์ เพื่อเพิ่มโอกาสในการแข่งขัน โดยต้องปรับปรุงคุณภาพของสินค้าให้ดีอย่างต่อเนื่อง ส่งมอบที่ทันเวลา และลดต้นทุนการผลิตโดยรวมลง อาทิ การลดจำนวนของเสีย การประเมินและลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิต ฯลฯ เพื่อสร้างความได้เปรียบทางการค้าให้กับอุตสาหกรรมของตน

อีกหนึ่งวิธีการลดต้นทุนที่ได้รับความนิยมอย่างยิ่งจากผู้ประกอบการได้แก่ การปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงาน เพราะอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์เป็นอุตสาหกรรมที่ใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยหลักในการผลิต ทดสอบ ตลอดจนการดำเนินกิจการต่างๆ



รูปที่ 1.1 แสดงค่าไฟฟ้าของโรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์ (กรณีศึกษา: สิงหาคม 2549 – ธันวาคม 2553)

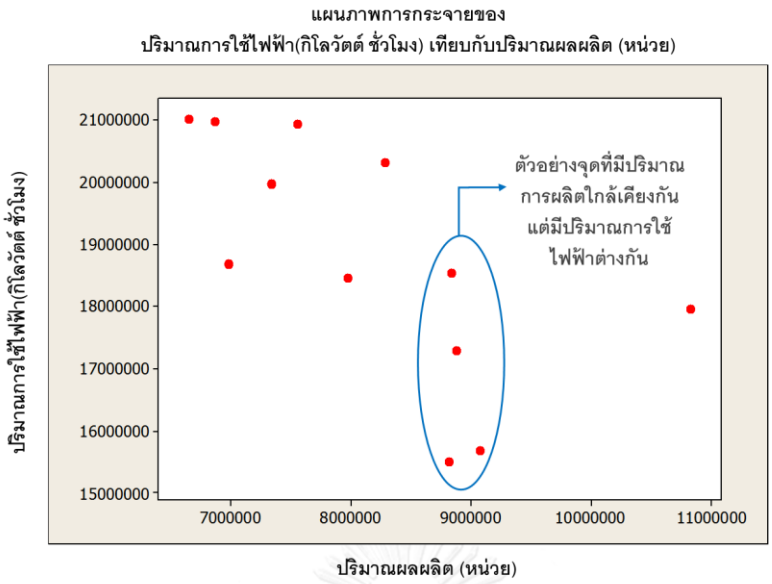
จากข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานฮาร์ดดิสก์ตั้งแต่ สิงหาคม 2549 ถึง ตุลาม 2553 จะเห็นว่าค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าของโรงงานมีแนวโน้มที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 1.2 กราฟแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้า(กิโลวัตต์-ชั่วโมง) เทียบกับปริมาณการผลิต(หน่วย) ปี พ.ศ. 2553

จากข้อมูลแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้า(กิโลวัตต์-ชั่วโมง) เทียบกับปริมาณการผลิตฮาร์ดดิสก์ (หน่วย) ในปี พ.ศ. 2553 จะเห็นว่าปริมาณการใช้ไฟฟ้ายังคงมีแนวโน้มที่สูงขึ้นถึงแม้ว่ากำลังการผลิตฮาร์ดดิสก์จะลดลงแสดงให้เห็นว่าปริมาณการผลิตไม่ได้เป็นปัจจัยเดียวที่ทำให้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มสูงขึ้น

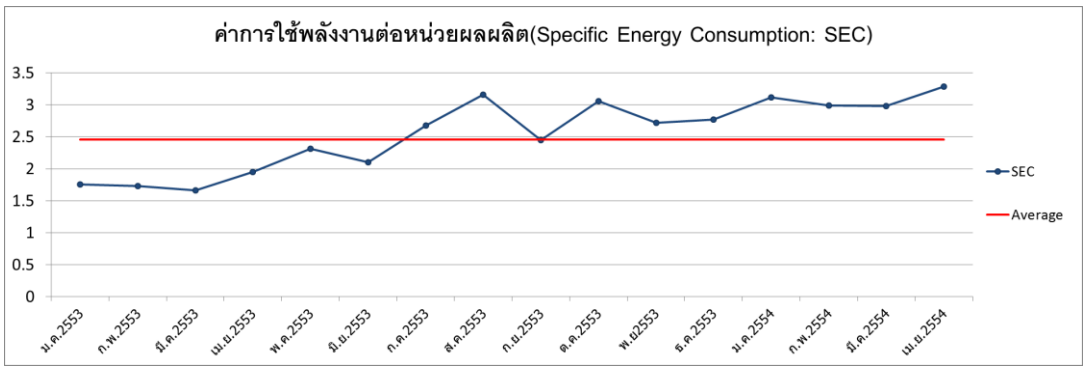
เพื่อให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้ากับกำลังการผลิต ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลปริมาณการผลิตฮาร์ดดิสก์และข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในปี พ.ศ. 2553 ของโรงงานในช่วงเวลาเดียวกัน มาทำแผนภาพกระจาย (Scatter plot) เพื่อหาความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูล



รูปที่ 1.3 แผนภาพการกระจาย (Scatter Plots) ของข้อมูลการใช้ไฟฟ้า(กิโลวัตต์-ชั่วโมง) เทียบกับปริมาณการผลิตฮาร์ดดิสก์ (หน่วย) ในปี พ.ศ. 2553

จากแผนภาพการกระจาย (Scatter plots) ทำให้ทราบว่าปริมาณการผลิตฮาร์ดดิสก์ไม่ได้มีผลกับปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้า เพราะบางเดือนที่มีการผลิตฮาร์ดดิสก์เท่ากันแต่ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าแตกต่างกันอย่างชัดเจน โดยที่ในบางเดือนปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงกว่าที่ได้มีการณ์คาดการไว้ ซึ่งสาเหตุที่ทำให้การใช้พลังงานด้านไฟฟ้าไม่มีความสอดคล้องกับปริมาณการผลิตมาจากหลายปัจจัยที่อาจเป็นไปได้ และต้องทำการศึกษาปัจจัยเหล่านั้นเพื่อทำความเข้าใจ เช่น การเปลี่ยนรุ่นของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ การเปลี่ยนเครื่องจักร การขยายโรงงาน ฤดูกาลที่เปลี่ยนแปลงไป รูปแบบของกระบวนการผลิต ความเสื่อมหรือประสิทธิภาพของเครื่องจักรในโรงงาน และระยะเวลาในการทดสอบคุณภาพของฮาร์ดดิสก์

เพื่อให้ทราบต้นทุนด้านพลังงานด้านไฟฟ้าต่อฮาร์ดดิสก์หนึ่งหน่วยการผลิตโดยทำการพิจารณาดัชนีชี้วัดที่บ่งชี้ถึงการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption : SEC) ของโรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์ตั้งแต่ เดือนมกราคม พ.ศ. 2553 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2554 ทำให้เห็นแนวโน้มว่าต้นทุนการใช้พลังงานด้านไฟฟ้าต่อฮาร์ดดิสก์หนึ่งหน่วยเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 1.4 กราฟแสดงการใช้พลังงานด้านไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิต (Specific Energy Consumption ; SEC) ตั้งแต่เดือนมกราคม พ.ศ. 2553 จนถึง เมษายน พ.ศ.2554

จากกราฟ SEC จะพบว่าตั้งแต่เดือนกรกฎาคม พ.ศ.2553 ต้นทุนการใช้พลังงานด้านไฟฟ้าสูงกว่าค่าเฉลี่ย ซึ่งอยู่ที่ 2.5 kWh/Unit (SEC Average = พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย / ปริมาณผลผลิตที่ได้โดยเฉลี่ย และมีแนวโน้มจะเพิ่มสูงถึง 3.5 kWh/Unit หากยังไม่มีบริหารจัดการต้นทุนด้านการใช้ไฟฟ้าให้เหมาะสม ด้วยเหตุนี้ผู้บริหารของโรงงานและผู้ที่เกี่ยวข้องจึงต้องตระหนักและหาสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าที่ไม่มีความสอดคล้องกับปริมาณการผลิต ซึ่งมีการตั้งเป้าหมายในการลดค่า SEC ของโรงงานให้ไม่เกิน 2.8 kWh/Unit

จากปัญหาดังกล่าวงานทำให้มีงานวิจัยชิ้นนี้ซึ่งให้ความสนใจต่อการศึกษาหาสาเหตุและปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานด้านไฟฟ้าเพื่อให้สามารถทำการวิเคราะห์และจัดหามาตรการที่มีความเหมาะสมเพื่อทำการแก้ไขและปรับปรุงการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เป็นความสูญเปล่าที่ไม่ได้ก่อให้เกิดมูลค่าต่อการผลิตให้กับอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ ตลอดจนเพื่อเป็นแนวทางในการจัดหามาตรการในการอนุรักษ์พลังงานเพื่อตอบสนองต่อนโยบายของภาครัฐตามพระราชบัญญัติการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 และฉบับแก้ไข พ.ศ.2550

1.2 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาหาปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์

1.2.2 เพื่อหามาตรการที่มีความเหมาะสมในการลดต้นทุนด้านการใช้ไฟฟ้าของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์

1.2.3 เพื่อลดต้นทุนการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตฮาร์ดดิสก์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 คัดเลือกโรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์ 1 โรงงานเพื่อศึกษาหาข้อมูล และทำการวิจัย

1.3.2 ลดต้นทุนด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์ โดยลดการใช้ไฟฟ้าในกิจกรรม ที่ไม่เกี่ยวข้องกับข้อมูลผลิตภัณฑ์ ไม่ส่งผลต่อคุณภาพของสินค้าและความปลอดภัยในการทำงาน

1.3.3 ศึกษาและทำการลดต้นทุนด้านการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์

1.3.4 ใช้ชุดข้อมูลด้านพลังงานไฟฟ้าและปริมาณการผลิตฮาร์ดดิสก์ที่ได้จากคณะกรรมการด้านพลังงานของกรณีศึกษา

1.3.5 ระยะเวลาในการศึกษาวิจัย ตั้งแต่ เมษายน 2555 ถึง มิถุนายน 2557

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1.4.1 ศึกษาและทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นแนวทางในการวางกรอบการวิจัย

1.4.2 ประเมินการใช้พลังงานด้านไฟฟ้าและการจัดการพลังงานเบื้องต้น

1.4.3 หาสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนพลังงานด้านไฟฟ้า

1.4.4 จัดหามาตรการอนุรักษ์พลังงานเพื่อลดต้นทุนพลังงานด้านไฟฟ้า

1.4.5 ดำเนินมาตรการตามแผนงาน เพื่อลดต้นทุนพลังงานด้านไฟฟ้า

1.4.6 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้าก่อนและหลังจากดำเนินงาน

1.4.7 วิเคราะห์ผลที่ได้จากการนำมาตรการแต่ละมาตรการไปไประยุกต์ใช้

1.4.8 สรุปผลการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้แนวทางและวิธีการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

1.5.2 ทราบสถานภาพและประสิทธิภาพการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานฮาร์ดดิสก์

1.5.3 ได้มาตรการในการลดต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าให้กับโรงงานฮาร์ดดิสก์

1.5.4 สามารถลดต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าให้แก่โรงงานฮาร์ดดิสก์

1.5.5 สามารถนำแนวทางในการอนุรักษ์พลังงานด้านไฟฟ้าไปประยุกต์ใช้กับโรงงานอื่นๆได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรม/เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานที่เกี่ยวข้องสำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการแบ่งออกเป็นสองส่วนหลัก คือในส่วนแรกจะกล่าวถึงหลักการ ทฤษฎี และเครื่องมือทางสถิติต่างๆที่นำมาประยุกต์ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพ และมาทำการหาสาเหตุหรือปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานด้านไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ เช่นดัชนีการชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC) เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด(QC 7 tools) เครื่องมือหาสาเหตุของปัญหา(Why-Why analysis) และการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเชิงปริมาณ(Multiple Linear Regression) ส่วนที่สอง

จะกล่าวถึงงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาหรือมีเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับการอนุรักษ์พลังงานด้านการไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อนำมาใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการศึกษาและทำการวิจัย

2.1 ดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption: SEC)

การประเมินการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมมีส่วนสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่จะทำให้ผู้ประกอบการได้ทราบถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานเพื่อนำไปสู่การพัฒนาเพื่อลดต้นทุนด้านการใช้พลังงาน ซึ่งค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะเป็นตัวชี้วัดปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลผลิตที่โรงงานผลิตนั้นๆได้รับ โดยคำนวณมาจากปริมาณการใช้พลังงานที่โรงงานได้ใช้ไปเทียบกับปริมาณการผลิตในช่วงเวลาหนึ่ง เช่น 1 เดือน หรือ 1 ปี ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{SEC} = \frac{\sum \text{Energy input (MJ } or \text{ kWh)}}{\sum \text{Product output (Unit)}}$$

โดยที่

SEC = ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงาน

Energy Input = ผลรวมของพลังงาน โดยคิดจากพลังงานสุทธิ

Product Output = ผลรวมของปริมาณผลผลิตในช่วงเวลาเดียวกัน

หากต้องการหาค่า SEC รวมต้องแปลงพลังงานไฟฟ้าให้อยู่ในหน่วยของ MJ ให้คูณด้วย 3.6 ซึ่งเป็นค่าคงที่ และนำมารวมกับค่าพลังงานอย่างอื่นซึ่งได้มาจากปริมาณของเชื้อเพลิงที่ใช้ไปคูณกับค่าความร้อนจำเพาะของเชื้อเพลิงนั้นๆ

2.1.1 ตัวอย่างการหาค่าดัชนีชี้วัดพลังงาน (SEC) ของโรงงานตัวอย่าง

โรงงานผลิตขวดแก้วแห่งหนึ่งต้องการทำการวิเคราะห์หาค่า SEC ในกระบวนการหลอมแก้วดังนั้นจึงทำการเก็บรวบรวมข้อมูลการใช้พลังงานและนำมาทำการวิเคราะห์การใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิตดังนี้: โรงงานสามารถผลิตขวดแก้วได้ 90 ตันต่อวัน โดยใช้พลังงานไฟฟ้า 466 kWh

ตารางที่ 2.1 การใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตแก้วของโรงงานตัวอย่าง

พลังงานไฟฟ้า (kWh)	ปริมาณผลผลิต (ตัน/วัน)	SEC ไฟฟ้า (kWh/Ton)
466	90	5.18

จากข้อมูลปริมาณการผลิตและพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละวันของโรงงานตัวอย่างนำมาทำการหาค่าดัชนีชี้วัดพลังงาน

$$\text{SEC} = \frac{466\ kWh}{90\ Tons}$$

ทำให้ทราบว่าโรงงานผลิตขวดแก้วตัวอย่างมีค่า SEC อยู่ที่ 5.18 kWh ต่อการผลิตขวดแก้ว 1 ตัน หรือจะทำการแปลงให้อยู่ในรูปของค่าพลังงานความร้อนก็สามารถทำได้โดย

ค่า SEC ความร้อน (GJ/Ton)

พลังงานความร้อน (GJ)	ปริมาณผลผลิต (ตัน/วัน)	SEC ความร้อน (GJ/Ton)
570	90	6.33

ค่าพลังงานวามร้อนในการผลิตขวดแก้ว = 5.18 kWh/Ton x 0.0036 GJ/Ton หารด้วย 0.45 จะได้ค่า SEC เท่ากับ 0.04 GJ/Ton

เมื่อได้ค่าพลังงานความร้อนจากไฟฟ้ามาแล้วจึงนำมารวมกับค่า SEC ของพลังงานความร้อนจากน้ำมันเตาซึ่งมีค่าอยู่ที่ 6.33 GJ/Ton ทำให้ค่าพลังงานความร้อนรวมหรือค่า SEC ปฐมภูมิอยู่ที่ 6.37 GJ/Ton

ค่า SEC รวมของการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตแก้วของโรงงานตัวอย่าง

SEC ไฟฟ้า (kWh/Ton)	SECไฟฟ้า (GJ/Ton)	SEC ความร้อน (GJ/Ton)	SEC รวม (GJ/Ton)
5.18	0.04	6.33	6.37

ในกรณีที่ทำการหาค่า SEC รวมให้ทำการแปลงค่าพลังงานไฟฟ้าจากหน่วย kWh ให้เป็นหน่วย MJ (1kWh = 3.6 MJ) โดยนำมาคูณกับค่าคงที่ 3.6 หลังจากนั้นนำค่าที่ได้มาทำการรวมกับพลังงานอื่นๆที่ใช้ในการผลิตซึ่งได้มาจากปริมาณเชื้อเพลิงที่ใช้คูณกับค่าความร้อนของเชื้อเพลิงนั้นๆ โดยประเทศไทยอ้างอิงค่าประสิทธิภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังงานความร้อนเท่ากับ 45%

2.1.2 ประโยชน์ของดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC)

โรงงานควรมีการควบคุมการใช้พลังงานเพื่อให้ทราบถึงต้นทุนการใช้พลังงานเมื่อเทียบกับปริมาณการผลิตในช่วงเวลาหนึ่งๆ ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจึงมีประโยชน์เป็นอย่างมากที่จะทำให้ทราบถึงการใช้พลังงานต่อหน่วยการผลิต ดังนั้นเพื่อควบคุมการใช้พลังงานโรงงานผลิตควรจะจัดทำและวิเคราะห์ค่าดังกล่าวทุกเดือน โดยทำการบันทึกข้อมูลและนำเสนอเป็นกราฟเพื่อให้ทราบว่าการใช้พลังงานของโรงงานผลิตมีประสิทธิภาพดีขึ้น หรือแย่ลงหรือไม่ หากผลที่ได้แย่ลงก็ต้องดูว่าค่าที่ได้ในช่วงนั้นมีค่าต่ำกว่าค่า SEC เฉลี่ยหรือไม่ เพื่อนำไปอธิบายและหาสาเหตุของความสิ้นเปลืองพลังงานที่เกิดขึ้นว่าน่าจะเกิดมาจากสาเหตุใดและทำการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ทันเวลา

การสังเกตแนวโน้มของค่า SEC และการตั้งค่าเป้าหมาย (Target) จากข้อมูลการใช้พลังงานย้อนหลังในอดีตก็จะสามารถทำให้การใช้พลังงานของโรงงานผลิตมีการพัฒนาไปในทางที่ดีขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถสะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการใช้พลังงานจากอดีตจนถึงปัจจุบันและแนวโน้มในอนาคตว่ามีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นหรือลดดงอย่างไร อีกทั้งยังสามารถนำไฟเทียบเคียงกับค่าการดัชนีการใช้พลังงานของโรงงานผลิตในลักษณะเดียวกัน SEC Benchmarking ทำให้ทราบว่าโรงงานผลิตมีการใช้พลังงานอยู่ในระดับใดได้อีกด้วย

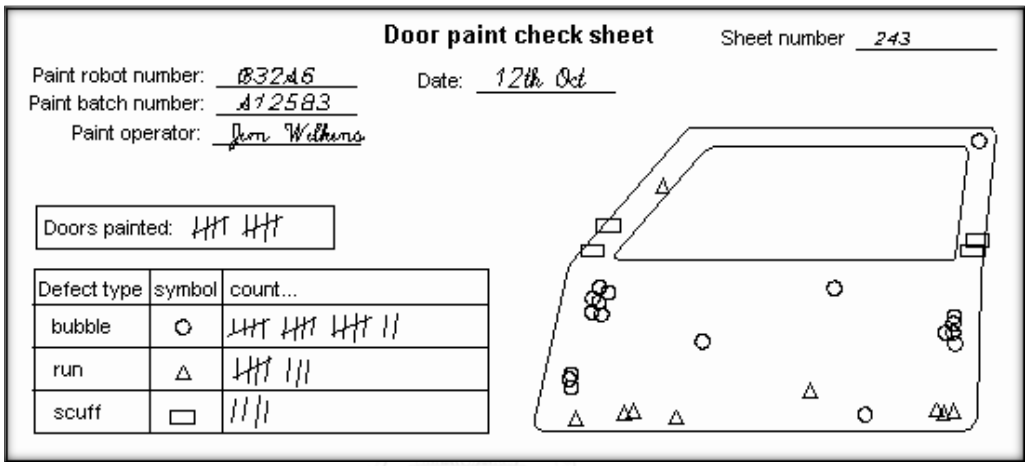
2.2 เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิด (QC 7 Tools)

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในกระบวนการผลิตหรือการทำงานที่ทำให้เข้าใจถึงสภาพของปัญหาและสามารถทำการวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อหาปัญหาที่เกิดขึ้นได้อย่างถูกต้องอีกทั้งยังช่วยในการจัดทำมาตรฐาน และควบคุมติดตามผลงานของกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่อง เครื่องมือคุณภาพ 7 ชนิดประกอบไปด้วย

1. แบบตรวจสอบ (Check Sheet)
2. แผนภูมิพาเรโต (Pareto Chart)
3. การจำแนกข้อมูลและกราฟ (Stratification and Graph)
4. แผนภาพสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram)
5. แผนภาพการกระจาย (Scatter Diagram)
6. ฮีสโตแกรม (Histogram)
7. แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

2.2.1 แบบตรวจสอบ (Check Sheet)

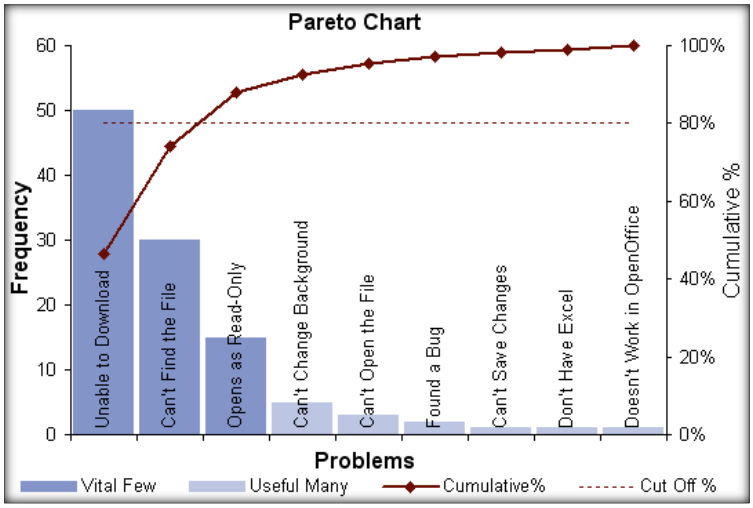
เป็นแบบฟอร์มเพื่อใช้ในการตรวจสอบคุณภาพของงานที่มีการออกแบบช่องว่างไว้เพื่อใช้ในการเติมข้อมูล หรือมีลักษณะเป็นตารางแสดงรายละเอียดต่างๆ ที่เกี่ยวกับการทำงานไว้เพื่อให้ผู้บันทึกสามารถบันทึกข้อมูลได้ง่ายและสะดวก แบบตรวจสอบนี้มักจะถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการชี้บ่งประเด็นของปัญหา



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างแบบตรวจสอบ(Check Sheet), ที่มารูปภาพ http://www.syque.com

2.2.2 แผนผังพาเรโต้ (Pareto Diagram)

เป็นแผนภูมิที่ใช้แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างความสูญเสียหรือความถี่ที่เกิดขึ้นเทียบกับสาเหตุของความสูญเสีย ถือเป็นแผนผังที่ช่วยในการจัดลำดับความสำคัญและความรุนแรงของปัญหาที่เกิดขึ้น โดยแสดงให้เห็นว่าสาเหตุใดเป็นปัญหามากที่สุด แผนพาเรโต้จะนำมาใช้เป็นแนวทางในการตัดสินใจว่าควรคัดเลือกปัญหาใดมาทำการแก้ไขเป็นอันดับแรก ลักษณะโดยทั่วไปของแผนผังจะเป็นกราฟแท่งโดยแนวตั้งจะแสดงความสูญเสียที่เกิดขึ้นหรืออัตราส่วนของความสูญเสียที่เกิดขึ้น ส่วนแนวนอนจะแสดงสาเหตุหรือชนิดของปัญหา



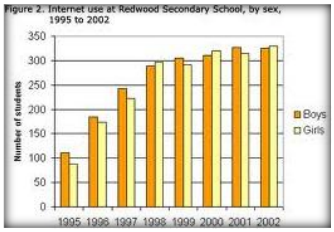
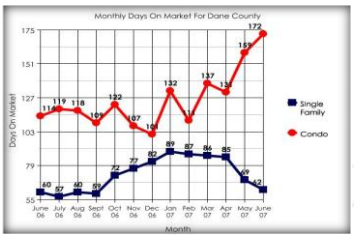
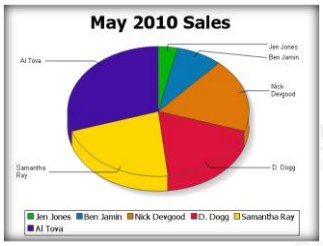
รูปที่ 2.2 ตัวอย่างแผนผังพาเรโต้ (Pareto Diagram),ที่มารูปภาพ http://www.isixsigma.com

2.2.3 การจำแนกข้อมูลและกราฟ (Stratification and Graph)

เป็นการนำเสนอข้อมูลผ่านแผนภาพที่ทำให้เห็นถึงตัวเลขหรือข้อมูลทางสถิติ นิยมนำมาใช้เมื่อต้องการทำการวิเคราะห์ผลของข้อมูลหรือทำการนำเสนอข้อมูลเพื่อให้ง่ายและรวดเร็วต่อการทำความเข้าใจ [2]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

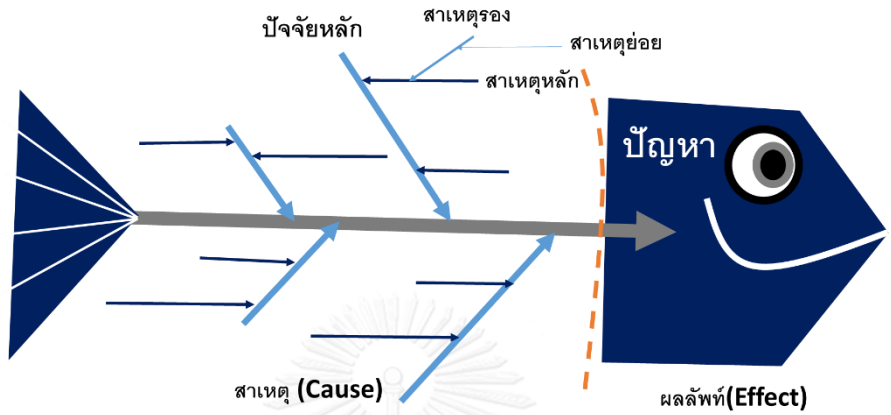
ตารางที่ 2.2 ลักษณะเฉพาะของกราฟแต่ละชนิด

ประเภทของกราฟ	ลักษณะเฉพาะ
 กราฟแท่ง	ไม่ว่าจะแนวตั้งหรือแนวนอน แผนภูมิประเภทนี้เหมาะสำหรับการ “เปรียบเทียบ” โดยใช้การเปรียบเทียบพื้นที่ของกราฟ โดยการเปรียบเทียบข้อมูลต้องมี “หน่วย” เดียวกัน
 กราฟเส้น	เหมาะสำหรับการนำเสนอ “ความเปลี่ยนแปลง” ที่เกิดขึ้นกับข้อมูลผ่านกาลเวลา โดยแสดงให้เห็นถึง “ความต่อเนื่อง” ของข้อมูล ใช้สำหรับดูแนวโน้ม หรือพยากรณ์ข้อมูลในอนาคต นิยมใช้ทำนายผลจากข้อมูลในอดีต หรือใช้เพื่อควบคุมผลให้เป็นไปตามที่ตั้งเป้าไว้
 กราฟวงกลม	พื้นที่ของกราฟเท่ากับ 100% แต่ละส่วนที่แบ่งออกมาจะแสดงให้เห็นถึงอัตราส่วนในแต่ละส่วนประกอบของข้อมูลว่าเป็นกี่เปอร์เซนขององค์ประกอบทั้งหมด
กราฟใยแมงมุง	เป็นกราฟรูปหลายเหลี่ยม ซึ่งจะแสดงการเปรียบเทียบปริมาณความมากน้อยของแต่ละส่วน โดยกำหนดตำแหน่งจุดลงในแต่ละเส้นแกนของกราฟ ใช้เปรียบเทียบก่อน - หลังการปรับปรุง หรือเมื่อเวลาเปลี่ยนแปลงไป

2.2.4 แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause &Effect Diagram)

เป็นภาพหรือแผนผังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลลัพธ์ของปัญหากับปัจจัยต่างๆที่เป็นสาเหตุของปัญหา นิยมเรียกในอีกชื่อหนึ่งว่าแผนก้างปลา (Fishbone Diagram) วัตถุประสงค์ในการใช้แผนผังก้างปลานี้เพื่อทำการค้นหาสาเหตุที่เกี่ยวข้องกับปัญหาที่เกิดขึ้น โดยการสร้างแผนผังต้องทำการระบุปัญหาที่เกิดขึ้นให้ชัดเจน จากนั้นทำการกำหนดปัจจัยที่อาจเป็นสาเหตุของปัญหาผ่านการ

ระดมสมองของทีมงานที่เกี่ยวข้องทั้งหมดเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ครอบคลุมสาเหตุของปัญหาทั้งหมดมา จากนั้นทำการจัดลำดับความสำคัญของสาเหตุและแนวทางที่ใช้ในการแก้ปัญหาหรือแนวทางในการปรับปรุง



รูปที่ 2.3 แผนผังแสดงเหตุและผล (Cause &Effect Diagram)

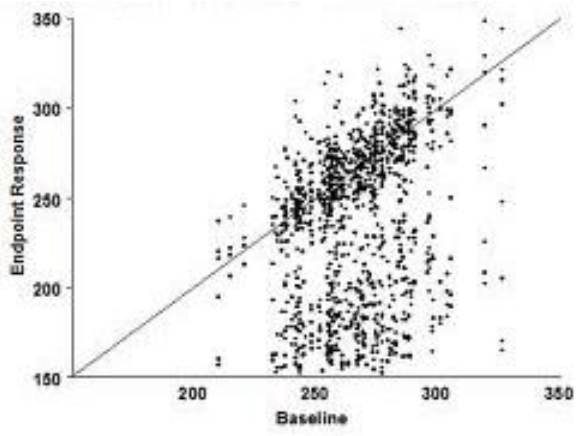
การแก้ปัญหาจากแผนผังแสดงเหตุและผล

1. ตัดสาเหตุที่ไม่จำเป็นออก
2. ลำดับความเร่งด่วนและความสำคัญของปัญหา
3. ถ้ายืนยันสาเหตุนั้นไม่ได้ ต้องกลับไปเก็บข้อมูลอีกครั้ง
4. กำหนดวิธีการแก้ไข กำหนดผู้รับผิดชอบ เวลาเริ่มต้น ระยะเวลาเสร็จ
5. ต้องมีการติดตามผลการแก้ไขในรูปแบบที่เป็นตัวเลขสามารถวัดได้

2.2.5 แผนผังการกระจาย (Scatter Diagram)

เป็นผังที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ของกลุ่มของข้อมูล 2 ตัวแปรว่ามีความสัมพันธ์กันหรือมีแนวโน้มไปในทิศทางใด เพื่อที่จะหาความสัมพันธ์ที่แท้จริงของกลุ่มของข้อมูล โดย

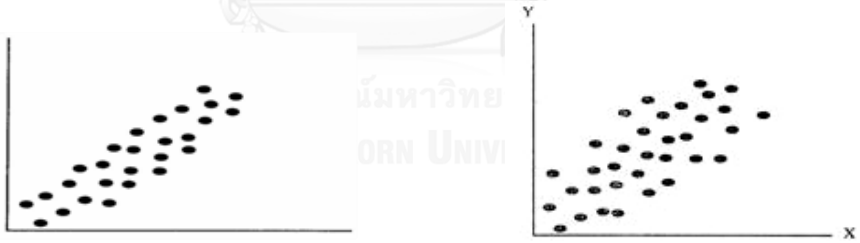
1. ตัวแปร X คือตัวแปรอิสระ
2. ตัวแปร Y คือคัวแปรตาม หรือผลที่เกิดขึ้นเมื่อค่าของตัวแปร X เปลี่ยนไป



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างแผนผังการกระจาย(Scatter Diagram)

ลักษณะแผนผังการกระจายของกลุ่มข้อมูลจะขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของตัวแปรว่ามีความสัมพันธ์กันในรูปแบบใด สหสัมพันธ์ (Correlation) ของตัวแปรที่แสดงในแนวแกน X และแนวแกน Y ที่ได้หากตัวแปรมีความสัมพันธ์กันแบบแปรผันตามกันจะได้สหสัมพันธ์เป็นบวก ในทางกลับกันหากตัวแปรมีความสัมพันธ์ผกผันกันจะทำให้ความสหสัมพันธ์เป็นลบ

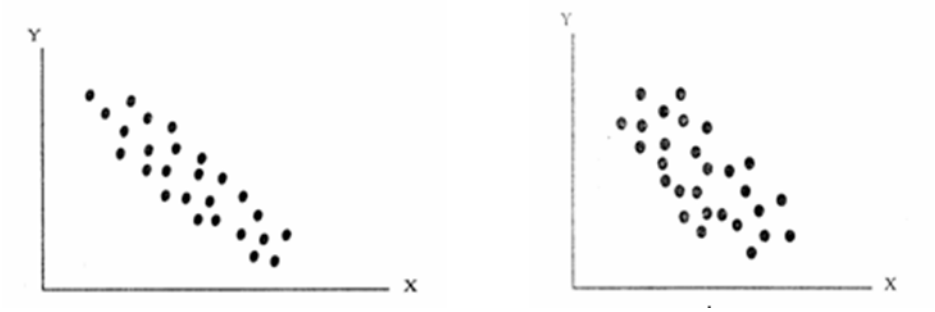
1. ลักษณะแผนผังการกระจายที่มีสหสัมพันธ์แบบบวก (Positive Correlation)



แบบบวกชัดเจน แบบบวกไม่ชัดเจน

รูปที่ 2.5 แผนผังการกระจายที่มีสหสัมพันธ์แบบบวก (Positive Correlation)

2. ลักษณะแผนผังการกระจายที่มีสหสัมพันธ์แบบลบ (Negative Correlation)



แบบลบชัดเจน แบบลบไม่ชัดเจน

รูปที่ 2.6 แผนผังการกระจายที่มีสหสัมพันธ์แบบลบ (Negative Correlation)

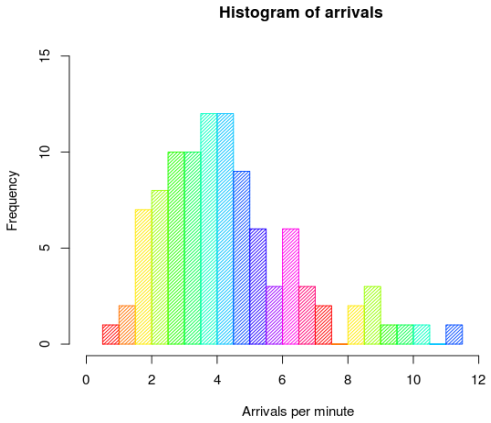
3. ลักษณะแผนผังการกระจายที่ไม่มีสหสัมพันธ์ (Non-Correlation)

แสดงว่า การเพิ่มหรือลดค่าของ X อาจทำให้ค่า Y เป็นไปได้ทั้งเพิ่มและลด

รูปที่ 2.7 แผนผังการกระจายที่ไม่มีสหสัมพันธ์ (Non-Correlation)

2.2.6 ฮิสโตแกรม (Histogram)

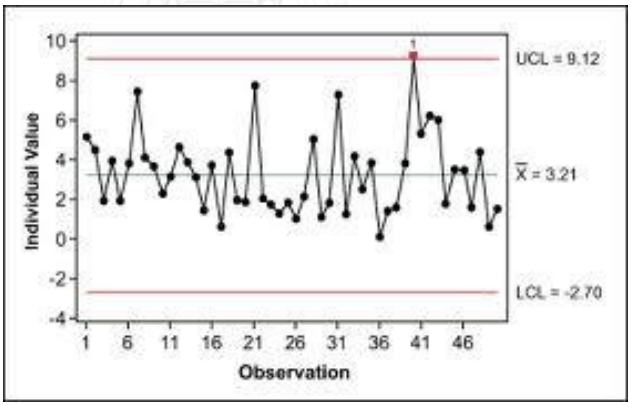
เป็นกราฟแท่งแบบเฉพาะโดยที่แกนแนวตั้งจะเป็นตัวเลขแสดงความถี่ที่เกิดขึ้น และมีแกนแนวนอนเป็นข้อมูลที่แสดงคุณสมบัติหรือลักษณะที่สนใจ โดยกราฟแท่งนี้จะใช้ดูวามแปรปรวนของกระบวนการว่ามีลักษณะอย่างไร



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างฮิสโตแกรม(Histogram)

2.2.7 แผนภูมิควบคุม (Control Chart)

เป็นแผนภูมิที่มีการกำหนดขอบเขตของข้อมูลที่สามารถยอมรับได้ที่เรียกว่าเส้นควบคุม (Limited Line) เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางและตัวเฝ้าติดตามเพื่อควบคุมกระบวนการ และทำการแก้ไขได้ทันเวลาหากตรวจพบว่าข้อมูลที่ได้อยู่นอกขอบเขตการควบคุม

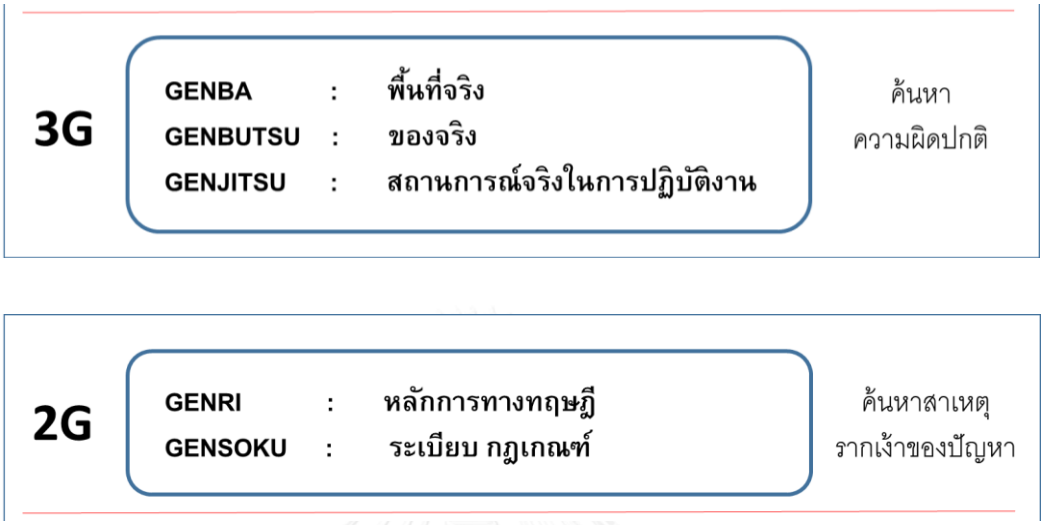


รูปที่ 2.9 ตัวแผนภูมิควบคุม (Control Chart)

2.3 เครื่องมือหาสาเหตุของปัญหา (Why-Why analysis)

เป็นการวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อไปให้ถึงสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาโดยการตั้งคำถามเพื่อให้ได้สาเหตุที่แท้จริง หากสามารถค้นหาสาเหตุของปัญหาที่แท้จริงได้และทำการแก้ไขหรือกำจัดสาเหตุเหล่านั้นได้ ทำให้ปัญหาที่เคยเกิดขึ้นจะไม่เกิดขึ้นซ้ำอีก ซึ่งวิธีการนี้เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพสูงมาก หากผู้ทำการวิเคราะห์มีความรู้ ความเข้าใจ และความชำนาญในกระบวนการทำงานที่ทำการในงานที่ทำอยู่

หลักการ 5 Gen เป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะทำให้สามารถวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาผ่านการทำ Why-Why Analysis ได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยหลักการนี้จะมีการใช้ข้อมูลจากสองส่วนหลัก ได้แก่ข้อมูลจากหน้างานจริง และข้อมูลที่ได้มาจากทฤษฎี



รูปที่ 2.10 รายละเอียดหลักการ 5G ที่จำแนกการใช้งานออกเป็น 2 ส่วน

จากรูปที่ 2.10 เป็นการจำแนกลักษณะการใช้งานสำหรับแต่ละ Gen หากใช้เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นนิยมใช้ 3 G อันได้แก่ การค้นหาความผิดปกติจากพื้นที่จริง(GENBA) ของจริง (GENBUTSU) และสถานการณ์จริงในการปฏิบัติงาน(GENJITSU) เพื่อเป็นแนวทางในการค้นหาความผิดปกติของกระบวนการทำงาน สำหรับการปรับปรุงวิธีการทำงานและการค้นหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหานั้นจะใช้อีก 2G ที่เหลือ ได้แก่ หลักการทางทฤษฎี(GENRI) และระเบียบกฎเกณฑ์(GENSOKU) มาทำการอธิบายและหาสาเหตุที่อาจเป็นไปได้ หลักการ 5G นิยมมาใช้วิเคราะห์ร่วมกับ Why-Why Analysis เพื่อป้องกันการวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาที่อาจขาดการทวนสอบจากสถานที่จริงซึ่งอาจส่งผลให้ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ไม่ถูกต้องหรือได้สาเหตุของปัญหาที่ไม่ถูกต้องมาทำการแก้ไข

2.3.1 หลักการทำ Why-Why Analysis

1. ใส่ประกฏการณ์ หรือปัญหาที่ต้องการทำการวิเคราะห์เพียงเรื่องเดียวและมีความชัดเจน เช่น ทำไมชิ้นงานแตกมากกว่า 3 เปอร์เซ็นต์ (มีเป้าหมายที่เฉพาะเจาะจงให้ทราบ)
2. การใช้ Why ต้องมีความสัมพันธ์กับปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นและตรงตามหลักการทางทฤษฎี (GENRI) และกฎเกณฑ์ (GENSOKU) ตัวอย่างเช่น ขนมปังไม้เพราะอบด้วยไฟแรง

เกิน 120 องศาเซลเซียสเป็นเวลานาน 2 นาที หลักการคือ ขนมปังต้องกรอบต้องได้รับความร้อน

3. การใช้ Why ต้องมีความสัมพันธ์กับเหตุผลไม่ว่าจะอ่านไปด้านหน้า หรืออ่านทวนกลับไปด้านหลัง ตัวอย่างเช่น ขนมปังไหม้เพราะใช้ไฟแรงกว่า 120 องศาเซลเซียส ให้ทำการทวนสอบความถูกต้องด้วยการอ่านย้อนกลับไป คือหากใช้ไฟแรงน้อยกว่า 120 องศาเซลเซียสขนมปังจะไหม้หรือไม่
4. ทำการสร้างประโยค Why ให้ตรงตามเป้าหมายของการวิเคราะห์ โดยใช้คำที่มีความหมายชัดเจน กระชับ และเข้าใจง่าย โดยที่คนที่เข้าร่วม
5. ไม่ใช้ Why ในด้านที่เกี่ยวข้องกับความรู้สึกนึกคิดของคนเพราะไม่สามารถทำการวัดผลได้ เช่น พนักงานที่ตรวจวัดค่าขันแน่นของสกรูไม่มีความใส่ในการทำงานเท่าที่ควร

2.3.2 ขั้นตอนการวิเคราะห์ Why - Why Analysis

1. ทำการจัดลำดับความสำคัญของหัวข้อที่จะทำการปรับปรุงหรือแก้ไขผ่านแผนผัง Pareto เพื่อทำการแก้ไขปัญหาที่มีความสำคัญมากที่สุดเป็นอันดับแรก
2. ทำการเลือกหัวข้อที่จะทำการปรับปรุงหรือทำการแก้ไขหลังจากได้สาเหตุแล้วจากนั้นทำการเขียนปัญหาให้มีความกระชับและเข้าใจง่าย
3. ทำการจัดตั้งทีมงานที่มีความเกี่ยวข้องและมีความรู้เกี่ยวกับเรื่องนั้นๆ มาช่วยกันระดมสมองเพื่อช่วยกันวิเคราะห์หาสาเหตุ โดยทีมงานที่จัดตั้งขึ้นมานี้ควรมีพนักงานที่เป็นระดับหัวหน้างานมาเป็นสมาชิกด้วยเพื่อให้ทราบถึงสภาพการณ์เบื้องต้นและความผิดปรกติที่เกิดขึ้น
4. หลังจากทำการระดมสมองเพื่อทำ Why เสร็จสิ้นแล้วให้ทำการตรวจสอบการวิเคราะห์ปัญหาที่ได้ผ่าน 5G โดยให้ทีมงานเข้าไปดูที่หน้างานจริงที่เกิดปัญหา และทำการวิเคราะห์ผ่าน 3 GEN แรก เพื่อตรวจสอบความผิดปรกติ หากพบว่าทุกโอกาสมีความเป็นไปได้ให้ตรวจสอบต่อโดยใช้ 2 GEN ที่เหลือเพื่อช่วยในการค้นหาปัญหาที่แท้จริงต่อไป
5. ทำการจัดหามาตรการเพื่อทำการแก้ไขหรือปรับปรุงหลังจากที่ได้สาเหตุที่แท้จริงแล้วโดยเน้นไปที่มารการที่ทำได้ง่ายมีค่าใช้จ่ายต่ำ และมีประสิทธิผลสูง

CHULALONGKORN UNIVERSITY

6. ทำการตรวจสอบผลหลังจากได้ทำการแก้ไขหรือปรับปรุงกระบวนการ โดยดูว่าปัญหาดังกล่าวยังคงเกิดขึ้นอีกหรือไม่ ลดน้อยลงอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ผ่านรูปแบบของกราฟหรือการทดสอบสมมุติฐานทางสถิติ หากพบว่าปัญหาที่ได้ทำการแก้ไขนั้นไม่ลดลง ให้กลับมาทำการวิเคราะห์ใหม่ทันทีเพราะอาจมีสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาตกหล่นไปจากการวิเคราะห์ครั้งแรก
7. จัดทำเป็นมาตรฐานของการทำงานหากมาตรการที่นำไปทำการแก้ไขนั้นได้ผล

2.3.3 โครงสร้าง Why - Why Analysis

โครงสร้างในการหาสาเหตุของปัญหาและการจัดทำมาตรการเพื่อแก้ไขปัญหาผ่าน Why-why Analysis ด้านซ้ายสุดของโครงสร้างจะเป็นการระบุปัญหาหรือปรากฏการณ์ที่จะทำการแก้ไขปรับปรุง ซึ่งผู้ที่ทำการวิเคราะห์ต้องทำการตั้งคำถามว่า ”ทำไม / Why” ไปเรื่อยๆจนกว่าจะพบสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา

รูปที่ 2.11 โครงสร้าง Why - Why Analysis

จากรูป 2.9 จะเห็นว่ามีเครื่องหมาย NG อยู่ในโครงสร้างของ Why-Why Analysis นิยมใช้เมื่อสามารถพิสูจน์ให้เห็นว่าสาเหตุนั้นไม่ตรงกับความจริงหรือไม่เกี่ยวกับปัญหาที่เกิดขึ้น เมื่อทำการวิเคราะห์ผ่านการทำ 5 GEN

2.4 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ (Multiple linear Regressions)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นเป็นการศึกษาหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม 1 ตัวแปร กับตัวแปรอิสระตั้งแต่ 1 ตัวแปรขึ้นไป โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการประมาณการค่าของตัวแปรตาม เมื่อทราบค่าของตัวแปรอิสระ

2.4.1 วัตถุประสงค์ของการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์การถดถอย

1. ต้องการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระและตัวแปรตามว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ และมีความสัมพันธ์กันอย่างไร ในกลุ่มตัวแปรอิสระหลายๆ ตัวนั้น มีตัวแปรตัวใดบ้างที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตาม และตัวแปรตัวใดมีความสัมพันธ์สูง ตัวใดมีความสัมพันธ์น้อย หรือไม่มีความสัมพันธ์ เพื่อทำให้สามารถคาดการได้ว่าตัวแปรอิสระตัวใดมีอิทธิพลต่อตัวแปรตาม
2. ต้องการสร้างแบบจำลองเพื่อใช้ในการทำนายตัวแปรตาม โดยแบบการจำลองดังกล่าวต้องอยู่ในลักษณะสมการทางคณิตศาสตร์
3. ต้องการทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระบางตัวทีมีผลต่อตัวแปรตาม โดยทำการควบคุมอิทธิพลของตัวแปรอิสระตัวอื่นๆ ให้คงที่
4. ต้องการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ดีที่สุด เพื่อนำไปใช้ในการทำนายตัวแปรตาม โดยอาจมีแบบจำลองจำนวนมากให้ตัดสินใจ
5. ต้องการทราบว่าแบบจำลองที่มีการพัฒนาขึ้นมาสำหรับการทำนายนั้นว่าจะมีประสิทธิภาพในการทำนายได้อย่างคงเส้นคงวาหรือไม่ เมื่อนำไปใช้กับกลุ่มเป้าหมายที่แตกต่างๆ กัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2.4.2 การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น

แบ่งเป็น 2 ประเภท คือ

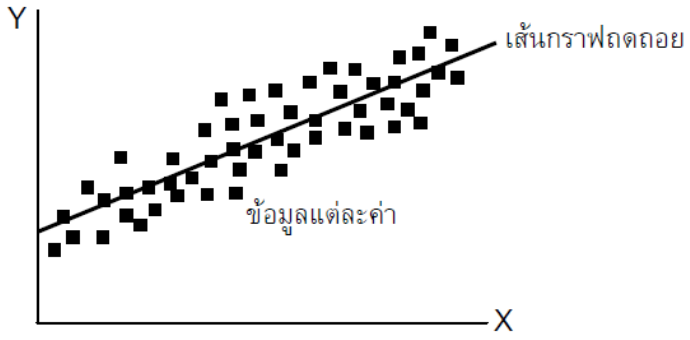
1. การวิเคราะห์ความถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression Analysis)
2. การวิเคราะห์ความถดถอยพหุ (Multiple Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (Simple Linear Regression)

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นอย่างง่ายประกอบด้วยตัวแปรตาม 1 ตัว และตัวแปรอิสระ1 ตัว เป็นการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสอง และทำการสร้างรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นการพยากรณ์ค่าของตัวแปรตามโดยที่ในช่วงแรกจะศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง Y กับ X ในรูปสมการเชิงเส้น

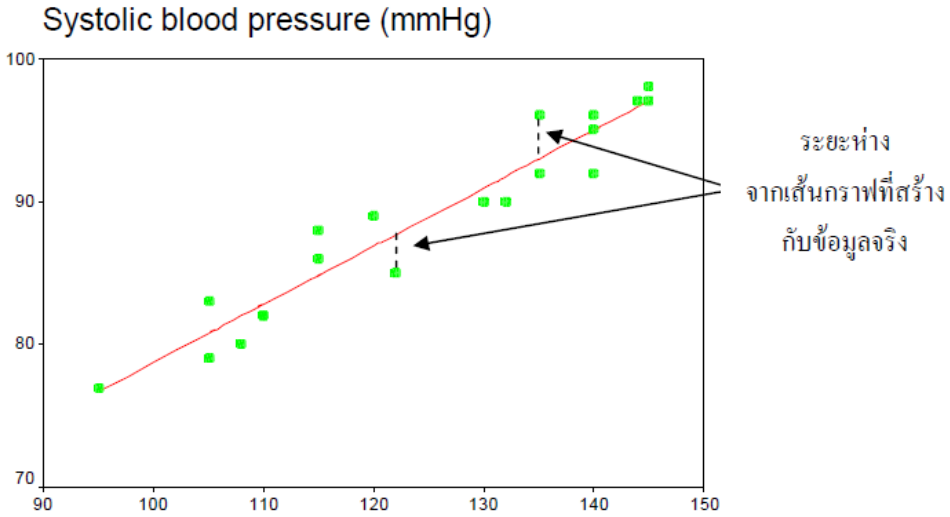
$$\hat{y} = a + bx$$

โดย Y ในที่นี้ก็คือค่าเฉลี่ยของ Y (ไม่ใช่ค่า Y แต่ละค่า) เนื่องจากในการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่ายนั้น ตัวแปร X จะถูกกำหนดค่าไว้ก่อน และค่า Y จะเปลี่ยนแปลงไปตามค่าของตัวแปร X เนื่องจากค่า X ค่าหนึ่งจะมีค่า Y ที่เป็นคู่ของค่า X หลายๆค่า และเมื่อนำค่า X และ Y ทั้งหมดไปพล็อตบนแกน X, Y แล้วลากเส้นเชื่อมระหว่างจุดที่ปรากฏ เส้นกราฟที่ได้จะกลายเป็นเส้นตรงแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ย ของตัวแปร X กับตัวแปร Y ซึ่งก็คือเส้นกราฟถดถอย (Regression Line) นั่นเอง(บุญญารัตน์ แสงปิยะ,2553)



รูปที่ 2.12 การกระจายของข้อมูลและสมการถดถอย

การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ(Multiple Linear Regression) เป็นการวิเคราะห์หาขนาดของความสัมพันธ์ และสร้างรูปแบบสมการทางคณิตศาสตร์ขึ้นมา ซึ่งประกอบไปด้วยตัวแปรตาม 1 ตัว และตัวแปรอิสระตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป เพื่อเป็นการพยากรณ์ค่าของตัวแปรตาม โดยใช้ตัวแปรอิสระมาทำการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่ดีที่สุดขึ้นมาเพื่อใช้เป็นตัวแทนของรูปแบบความสัมพันธ์สำหรับตัวแปรที่ต้องการทำการศึกษา กล่าวคือเป็นวิธีการหาขนาดของความสัมพันธ์ของตัวแปรระหว่างตัวแปรตาม Y หรือตัวแปรเกณฑ์ (Criterion Variable) จำนวน 1 ตัว กับตัวแปรอิสระ X หรือตัวแปรทำนาย (Predictor Variable) ตั้งแต่ 2 ตัวแปรขึ้นไป ซึ่งเป็นเทคนิคทางสถิติที่อาศัยความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงระหว่างตัวแปรมาใช้ในการทำนาย โดยเมื่อทราบค่าของตัวแปรหนึ่งก็จะทำให้สามารถทำนายค่าของอีกตัวแปรหนึ่งได้



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ
(Multiple Linear Regression)

จากรูปที่ 2.13 เส้นตรงที่ได้ดังกล่าว ใช้กระบวนการทางสถิติเพื่อหาค่าคงที่และสัมประสิทธิ์สมการสร้างเป็นแบบจำลองในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ เรียก สมการถดถอยเชิงเส้น หรือ สมการพยากรณ์หลังจากได้แบบจำลองแล้ว จึงทำการตรวจสอบความสอดคล้องของแบบจำลอง เพื่อดูว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานั้นมีความสอดคล้องและมีความเหมาะกับข้อมูลหรือไม่ โดยใช้การทดสอบทางสถิติดังต่อไปนี้

1. ทดสอบความเหมาะสมของโมเดล (เป็นการตรวจสอบว่าตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกันหรือไม่) จะใช้สถิติทดสอบ ANOVA
2. ทดสอบค่าคงที่และค่าสัมประสิทธิ์ในสมการถดถอย
3. พิจารณาค่าความสัมพันธ์เชิงเส้นแบบพหุและค่าความคลาดเคลื่อนในการพยากรณ์ (Standard Error of Estimate)

2.4.3 ข้อตกลงเบื้องต้นในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้น

2.4.3.1 ตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม มีมาตรวัดเป็น Interval ขึ้นไป (ให้ตัวแปรอิสระบางตัวมีมาตรวัดเป็น Nominal หรือ Ordinal ได้บ้าง โดยจะต้องทำการเปลี่ยนตัวแปรอิสระที่มีมาตรวัดเป็น Nominal หรือ Ordinal เหล่านั้น เป็นตัวแปรหุ่น แล้วจึงทำการวิเคราะห์การถดถอย โดยใช้ตัวแปรที่เกิดขึ้นแทนตัวแปรเดิมที่มี)

2.4.3.2 ข้อมูลของตัวแปรอิสระ และตัวแปรตาม จะต้องสุ่มมาจากประชากรที่มีการแจกแจงแบบปกติ

2.4.3.3 ตัวแปรอิสระจะต้องไม่มีความสัมพันธ์กันเอง(การเกิดความสัมพันธ์กันเองของตัวแปรอิสระ เรียกว่า การเกิด multicollinearity) เฉพาะในการวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นแบบพหุ

2.4.3.4 ข้อมูลจะต้องไม่มีความสัมพันธ์ภายในตัวเอง

2.4.3.5 ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการพยากรณ์จะต้องเป็นไปตามหลักการดังนี้

1. มีการแจกแจงแบบปกติ(Assumption of Normality)
2. มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0
3. มีความแปรปรวนคงที่(Homogeneity of Variance)
4. ความคลาดเคลื่อนเป็นอิสระกัน (Assumption of Autocorrelation)

2.4.4 วิธีคัดเลือกตัวแปรพยากรณ์มาทำการสู่สมการถดถอยมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน เช่น

2.4.4.1. การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบเดินหน้า (Forward Regression)

2.4.4.2. การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบถอยหลัง (Backward Regression)

2.4.4.3. การวิเคราะห์ถดถอยพหุคูณแบบขั้นบันได (Stepwise Regression)

ในการวิเคราะห์จะพิจารณาจาก Partial F (p-value), Partial t (p-value) โดย p-value จะนำมาเทียบกับ ระดับนัยสำคัญที่กำหนด โดยทั่วไปจะใช้เกณฑ์ที่ระดับ 0.05 ถ้า p-value มากกว่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด จะตัดตัวแปรนั้นออกจากสมการ

2.5 สัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (Coefficient of Determination)

เป็นค่าที่ใช้อธิบายว่าสมการการถดถอยที่ได้ใช้การประมาณค่ามีความสามารถในการอธิบายความผันผวน (Variation) หรือตัวแปรอิสระในแบบจำลองสามารถอธิบายตัวแปลตามได้มากน้อย

เพียงใด ค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจจะใช้ R^2 เป็นสัญลักษณ์ ซึ่งเป็นสัดส่วนของส่วนเบี่ยงเบน ของความผันแปรที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอย (SSR) ต่อความผันแปรทั้งหมดของข้อมูล (SST) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 (Lomax, Richard G. (1992) แปรโดยฉัตรศิริ ปิยะพิมลสิทธิ์)

ความแปรปรวนทั้งหมดที่เกิดขึ้นในตัวแปรตาม y มีค่าเท่ากับความแปรปรวนที่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการถดถอยบวกกับความแปรปรวนที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการถดถอย จะได้ว่า

$$R^2 = \frac{\text{ความผันแปรที่สามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบถดถอย (SSR)}}{\text{ความผันแปรทั้งหมดในข้อมูล (SST)}}$$

โดยที่ $0 \leq R^2 \leq 1$

- ถ้าหากว่า $R^2 = 1$ หมายความว่าความแปรปรวนทั้งหมดมาจากสมการถดถอย และไม่มีความแปรปรวนที่มาจากปัจจัยอื่นๆเลย(ไม่มี error)
- ถ้า $R^2 = 0$ หมายความว่าความแปรปรวนทั้งหมดมาจาก error และค่าของ y ที่เปลี่ยนแปลงไป ไม่ได้มีสาเหตุมาจากค่า x ที่เปลี่ยนแปลงไป อาจกล่าวได้ว่าไม่มีเส้นตรงถดถอยระหว่าง x กับ y
- ถ้า $R^2 = 0.90$ หมายความว่า 90% ของความแปรปรวนที่เกิดขึ้นใน y มาจากสมการถดถอย และอีก10%ของความแปรปรวนทั้งหมดมาจาก error

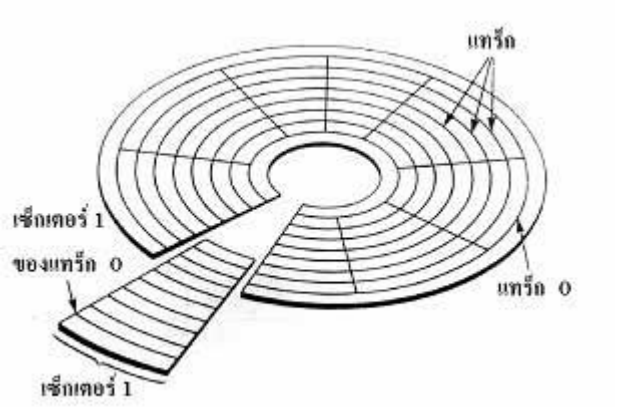
ดังนั้น ผู้วิเคราะห์ส่วนใหญ่จึงมีความคาดหมายที่จะได้ค่า R^2 ที่มีค่ามากๆ เข้าใกล้ 1.00 แต่อย่างไรก็ตามมีข้อควรระวังค่อนข้างมากในการตีความหมาย R^2 ทั้งนี้เนื่องจากกรณีที่มีข้อมูล n ตัว แล้วทำการสร้างแบบสมการถดถอยเป็นแบบโพลีโนเมียล (Polynomial) อันดับ n-1 จะได้ $R^2 = 1.00$ เสมอแต่ไม่ได้หมายความว่าแบบสมการถดถอยดังกล่าวจะมีความเหมาะสมกับข้อมูล เพราะเป็นไปไม่ได้ที่ $R^2 = 1.00$ เนื่องจากแบบสมการถดถอยจะไม่สามารถอธิบายความผันแปรเนื่องจากการทดลอง (Pure error) ได้ ในการวิเคราะห์จึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการพิจารณาผลที่ได้จากค่าองศาความอิสระของความคลาดเคลื่อนเสมอ หากค่าองศาความอิสระของความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยมากจะทำให้มีโอกาสในการตัดสินใจผิดพลาดสูง ในการพิจารณาความเหมาะสมของแบบสมการถดถอยนั้น ถ้าหากมีการเพิ่มเทอมของตัวแปรถดถอยเข้าไปในแบบสมการแล้วจะมีผลทำให้ R^2 ของแบบสมการใหม่เพิ่มขึ้นเสมอแต่ทั้งนี้มิได้หมายความว่า แบบสมการใหม่จะดีกว่าแบบสมการเก่า เพราะการเพิ่มเทอมตัวแปรถดถอยเข้าไปในแบบสมการจะทำให้องศาความอิสระของความคลาดเคลื่อนในแบบสมการใหม่มีค่าลดลง ดังนั้น แบบสมการใหม่จะดีกว่าแบบสมการเดิมก็ต่อเมื่อค่าความคลาดเคลื่อนในแบบสมการใหม่ในรูป SSE มีค่าลดลงไม่น้อยกว่าค่ามัชฌิมความคลาดเคลื่อนของแบบสมการเดิม MSE ซึ่ง

จะมีผลทำให้ค่ามัชฌิมความคลาดเคลื่อนของแบบสมการใหม่มีค่าต่ำกว่าค่ามัชฌิมความคลาดเคลื่อนของแบบสมการเดิมแต่อย่างไรก็ตาม ผู้วิเคราะห์นิยมหลีกหนีความยุ่งยากในการตีความหมาย R^2 ด้วยการใช้ตัวสถิติใหม่ที่เรียกว่า “R^2 Adjusted” (R^2 ที่ได้รับการปรับค่า)
ค่า R^2 ปรับค่า หรือ R^2 adjusted สามารถคำนวณได้ด้วยสูตร

$$\text{Adjusted } R2 = 1 - (1 - R2)\,[(n - 1) / (n - m - 1)] \text{ , [3]}$$

2.6 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกันฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk Drive)

ฮาร์ดดิสก์เป็นอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับทำการบรรจุข้อมูลแบบไม่ลบเลือน ซึ่งมีลักษณะเป็นจานอลูมิเนียมที่เคลือบด้วยสารแม่เหล็ก ข้อมูลที่ถูกเก็บลงบนฮาร์ดดิสก์สามารถทำการบันทึกหรืออ่านได้ด้วยหัวอ่านและเขียน ซึ่งใช้หลักการของทิศทางของเส้นแรงสนามแม่เหล็ก โดยการบันทึกข้อมูลลงบนแผ่นฮาร์ดดิสก์จะทำการแบ่งพื้นที่ในการบันทึกตามเส้นรอบวงที่เรียกว่าแทร็ก (Track) โดยแต่ละแทร็กก็จะแบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆ ที่เรียกว่า เซ็กเตอร์ (Sector)



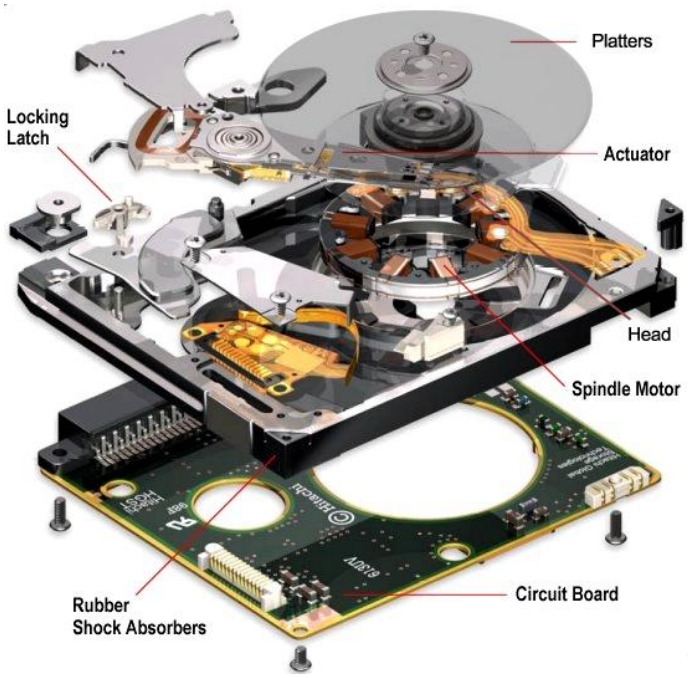
รูปที่ 2.14 พื้นที่ในการจัดเก็บข้อมลลงบนฮาร์ดดิสก์ (แทร็ก และเซ็กเตอร์ ของแผ่นบันทึก)
(ที่มา http://www.thaigoodview.com/node/40456)

ฮาร์ดดิสก์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยแผ่นบันทึกข้อมูลมากกว่าหนึ่งแผ่นเพื่อทำให้ความจุของข้อมูลที่สามารถบรรจุได้มากในฮาร์ดดิสก์หนึ่งตัว และจำหวนหัวอ่านเขียนทุกตัวต่อเป็นหน่วยเดียวกันทำให้มีการเคลื่อนย้ายเพื่อหาตำแหน่งในการบันทึกหรืออ่านข้อมูลไปพร้อมกัน โดยที่หัวอ่านและเขียนข้อมูลจะลอยตัวอยู่ห่างจากผิวจานบนทึกข้อมูลด้วยหลักการแอร์โรไดนามิค (Aerordynamic) ในขณะที่จานบันทึกข้อมูลหมุนด้วยความเร็วหลายพันรอบต่อนาที ซึ่งหัวอ่านจะลอยอยู่ในระยะ 4 ไมครอน ดังนั้นต้องระวังการสะเทือนของฮาร์ดดิสก์ในขณะที่มีการใช้งานอยู่เพราะอาจทำให้หัวอ่าน

เขียนมากระทบกับแผ่นบันทึกข้อมูล ซึ่งจะทำให้เหล็กออกไซด์ที่เคลือบอยู่บนแผ่นบันทึกข้อมูลมีการเสียหายได้ กลพลศาสตร์ [4]

2.6.1 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ (Hard Disk Drive)

ฮาร์ดดิสก์หนึ่งตัวต้องใช้ชิ้นส่วนหลายชิ้นส่วนนำมาประกอบเข้าด้วยกันเพื่อให้สามารถบันทึกและอ่านข้อมูลได้



Chulalongkorn University

รูปที่ 2.15 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ (ที่มา Mediathailand)

2.6.1.1 แขนของหัวอ่าน (Actuator Arm) ทำงานร่วมกับ Stepping Motor ในการหมุนแขนของหัวอ่านไปยังตำแหน่งที่ต้องการ สำหรับการอ่านและเขียนข้อมูล โดยมีคอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่แปลคำสั่งที่มาจากคอมพิวเตอร์ จากนั้นก็เลื่อนหัวอ่านไปยังตำแหน่งที่ต้องการ เพื่ออ่านหรือเขียนข้อมูล และใช้หัวอ่านในการอ่านข้อมูล ต่อมา Stepping Motor ได้ถูกแทนด้วย Voice Coil ที่สามารถทำงานได้เร็ว และแม่นยำกว่า Stepping Motor

2.6.1.2 หัวอ่าน (Head) เป็นส่วนที่ใช้ในการอ่านและเขียนข้อมูล ภายในหัวอ่านมีลักษณะเป็น ขดลวด โดยในการอ่านเขียนข้อมูลคอนโทรลเลอร์ จะนำคำสั่งที่ได้รับมาแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้าแล้วป้อนเข้าสู่ขดลวดทำให้เกิดการ

เหนี่ยวนำทางแม่เหล็ก ไปเปลี่ยนโครงสร้างของสารแม่เหล็ก ที่ฉาบบนแผ่นดิสก์ จึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลขึ้น

2.6.1.3 แผ่นจานแม่เหล็ก (Platters) มีลักษณะเป็นจานเหล็กกลมๆ ที่เคลือบสารแม่เหล็กวางซ้อนกันหลายๆชั้น (ขึ้นอยู่กับความจุ) และสารแม่เหล็กที่ว่าจะถูกเหนี่ยวนำให้มีสภาวะเป็น 0 และ1 เพื่อจัดเก็บข้อมูล โดยจานแม่เหล็กนี้จะติดกับมอเตอร์ ที่ทำหน้าที่หมุน แผ่นจานเหล็กนี้ ปกติ Hard Disk แต่ละตัวจะมีแผ่นดิสก์ประมาณ 1-4 แผ่นแต่ละแผ่นก็จะเก็บข้อมูลได้ทั้ง 2 ด้าน

2.6.1.4 มอเตอร์หมุนจานแม่เหล็ก (Spindle Motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้หมุนแผ่นบันทึกข้อมูล ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อความเร็วใน การหมุน ของ Hard Disk เพราะยิ่งมอเตอร์หมุนเร็วหัวอ่านก็จะเจอข้อมูลที่ต้องการเร็วขึ้น ซึ่งความเร็วที่ว่านี้จะวัดกันเป็นรอบต่อนาที (Revolution per Minute หรือย่อว่า RPM) ถ้าเป็น Hard Disk รุ่นเก่าจะหมุนด้วยความเร็วเพียง 3,600 รอบต่อนาที ต่อมาพัฒนาเป็น 7,200รอบต่อนาที และปัจจุบันหมุนได้เร็วถึง 10,000 รอบต่อนาที การพัฒนาให้ Hard Disk หมุนเร็วจะได้ประสิทธิภาพสูงขึ้น[4]

2.6.1.5 เคส (Case) มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยม ใช้บรรจุกลไกต่างๆ ภายในแผ่นดิสก์เพื่อป้องกันความเสียหาย ที่เกิดจากการหยิบ จับ และป้องกันฝุ่นละออง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.6.2 ขั้นการการผลิตฮาร์ดดิสก์

การที่จะได้มาซึ่งฮาร์ดดิสก์หนึ่งตัวต้องผ่านกระบวนการผลิต การประกอบ และการตรวจสอบมากมายหลายกระบวนการ เริ่มแรกจากการผลิตชิ้นส่วนประกอบแต่ละชิ้นส่วนเช่น หัวอ่านเขียนข้อมูล จานบันทึกข้อมูล มอเตอร์หมุนจานแม่เหล็ก เคส ฝาปิด และอื่นๆ หลังจากได้ชิ้นส่วนทังหมดมาพร้อมก็จะเริ่มทำกรประกอบแต่ละชิ้นส่วนให้เป็นฮาร์ดดิสก์ ซึ่งสามารถแยกการประกอบฮาร์ดดิสก์ออกเป็นสองพื้นที่การประกอบได้ดังนี้

2.6.2.1 พื้นที่ห้องสะอาด (Clean Room Area) เป็นการประกอบชิ้นส่วนในพื้นที่ที่มีการควบคุมพวกฝุ่นละอองอย่างมากเพื่อป้องกันให้การอ่านและเขียนข้อมูลมีปัญหาอันเนื่องมาจำวัสดุหรือฝุ่นผงที่ไม่พึงประสงค์เข้าไปอยู่ในฮาร์ดดิสก์ การประกอบสำหรับพื้นที่นี้จะทำการประกอบทุกชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์เข้าด้วยกันทั้งหมดยกเว้นแผ่นวงจรควบคุมของฮาร์ดดิสก์หลังจากประกอบเสร็จสิ้นแล้วตัวฮาร์ดดิสก์ก็จะถูกส่งไปยังพื้นที่ส่วนประกอบส่วนหลัง (Backend Area)

2.6.2 พื้นที่ส่วนประกอบส่วนหลัง (Backend Area) พื้นที่ส่วนหลังนี้ใช้สำหรับการประกอบแผ่นควบคุมข้อมูลของฮาร์ดดิสก์เข้ากับตัวฮาร์ดดิสก์ที่ส่งออกมาจากห้องสะอาดให้มีความสมบูรณ์ หลังจากนั้นฮาร์ดดิสก์ที่ประกอบเสร็จก็จะถูกนำไปทำการทดสอบเพื่อทำให้มีความมั่นใจในคุณภาพก่อนส่งไปให้ลูกค้า

รูปที่ 2.16 กระบวนการในการผลิตฮาร์ดดิสก์

2.6.3 ความจุและขนาดของฮาร์ดดิสก์

2.6.3.1 ขนาด 3.5 นิ้ว (101.6 มิลลิเมตร × 25.4 มิลลิเมตร × 146 มิลลิเมตร) เป็นฮาร์ดดิสก์สำหรับคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ (Desktop) หรือเซิร์ฟเวอร์ (Server)

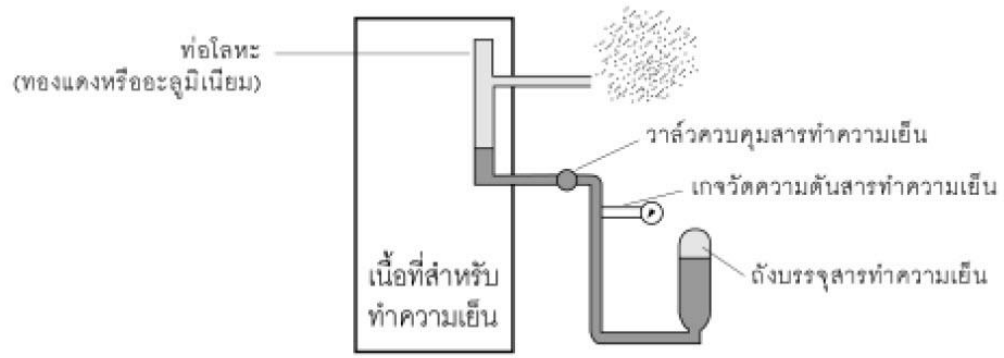
2.6.3.2 ขนาด 2.5 นิ้ว (69.85 มิลลิเมตร × 9.5–15 มิลลิเมตร × 100มิลลิเมตร) เป็นฮาร์ดดิสก์สำหรับคอมพิวเตอร์แบบพกพา แล็ปท็อป, UMPC, เน็ตบุ๊ก, อุปกรณ์มัลติมีเดียแบบพกพา [5]

2.7 ระบบความเย็น Chilled System

ระบบทำความเย็นนิยมใช้กับการระบายความร้อนของเครื่องจักรขนาดใหญ่สำหรับโรงงานอุตสาหกรรม และใช้ในการปรับอากาศ อากาศ เพื่อควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น การไหลเวียน คุณภาพและความสะอาดของอากาศ นอกจากนั้นระบบทำความเย็นยังมีความสำคัญในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมอาหารแช่แข็งที่ต้องการความเย็นเก็บรักษาอาหาร ให้มีความสดเป็นเวลานานการทำงานของระบบทำความเย็นใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นหลัก

2.7.1 หลักการทำงานของเครื่องทำความเย็น

การสร้างเย็นนั้นสร้างโดยอาศัยคุณสมบัติการดูดซับความร้อนของสารทำความเย็น (Liquid Refrigerant) โดยมีหลักการทำงาน คือ ปล่อยสารทำความเย็นที่เป็นของเหลวจากถังบรรจุไปตามท่อ เมื่อสารเหลวเหล่านี้ไหลผ่านวาล์ว เปิด-ปิด สารทำความเย็นนั้นจะถูกทำให้มีความดันสูงขึ้น แล้วความดันจะต่ำลง เมื่อรับความร้อน สารทำความเย็นก็จะระเหยกลายเป็นไอ (Evaporate) ที่ทำให้เกิดความเย็นขึ้นภายในพื้นที่ปรับอากาศ ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.17 แสดงหลักการทำงานเบื้องต้นของเครื่องทำความเย็น

ปัจจุบันระบบทำความเย็น (Chiller) เป็นส่วนประกอบของเครื่องจักรหลากหลายชนิดทำให้มีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมของประเทศไทยเป็นอย่างมาก ประเทศไทยที่อยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น จำเป็นต้องใช้ Chiller ทำให้เครื่องจักรเหล่านั้นทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงขึ้นสามารถช่วยประหยัดพลังงานและลดค่าใช้จ่ายในแง่ของการพัฒนาระบบให้ดีมากขึ้น

Chiller สามารถแก้ไขปัญหาและสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมได้ ระบบ Chiller มีลักษณะการทำงานแบบ ระบบเปิด และ ระบบปิด หรือสามารถเลือกใช้งาน ได้แบบ 1-1 หรือ แบบรวมศูนย์ ทั้งนี้ทั้งนั้นต้องมีการออกแบบให้เหมาะสมตามลักษณะการใช้งานของอุตสาหกรรมต่างๆ

สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมและอาคารธุรกิจขนาดใหญ่ ระบบปรับอากาศที่นิยมติดตั้งและใช้งานกันมากที่สุดเป็น ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ (Central Air-conditioning System) โดยใช้เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller) เป็นแบบระบายความร้อนด้วยน้ำซึ่งเป็นเครื่องที่มีประสิทธิภาพการทำงานสูงกว่าแบบระบายความร้อนด้วยอากาศ เครื่องทำน้ำเย็น Chiller ประกอบด้วย คอมเพรสเซอร์ (compressor) คอนเดนเซอร์(condenser) อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) และเอ็กเพนชั่นวาล์ว (Expansion valve) ใช้สารทำความเย็น เช่น R22 หรือ R134a บรรจุอยู่ในระบบ

2.7.2 เครื่องทำน้ำเย็น (Chiller)

ถือว่าเป็นหัวใจของระบบปรับอากาศประเภทนี้ ในการออกแบบระบบปรับอากาศแบบใช้เครื่องทำน้ำเย็นนี้ เครื่องทำน้ำเย็นจะทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของน้ำที่เข้าและออกจากเครื่องระเหย (Evaporator) ให้ได้ 12 C และ7 C โดยมีอัตราการไหลของน้ำเย็นตามมาตรฐานการออกแบบของผู้ผลิตอยู่ที่ 2.4 แกลลอนต่อนาทีต่อตันความเย็น ภายในประกอบไปด้วยระบบทำน้ำเย็นโดยมีวัฏจักรการทำความเย็น สำหรับเครื่องทำน้ำเย็นที่ใช้งานมีให้เลือกหลายประเภทซึ่งมีข้อดีและข้อเสียของ แต่ละประเภทแตกต่างกันตามลักษณะการใช้งาน หากแบ่งตามลักษณะการระบายความร้อนที่เครื่องควบแน่น (Condenser) สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ

1. ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller)
2. ระบบปรับอากาศแบบเป็นชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled

2.7.2.1 ระบบปรับอากาศแบบทำน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยอากาศ(Air Cooled Water Chiller)
เป็นระบบการปรับอากาศที่มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับ ระบบน้ำเย็นระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Package) โดยมีความแตกต่างกันที่การระบายความร้อน เท่านั้น ซึ่งระบบนี้จะไม่มีวงจรของน้ำระบายความร้อนเพราะจะใช้อากาศในการระบายความร้อนการระบายความร้อนออกจากสารทำ

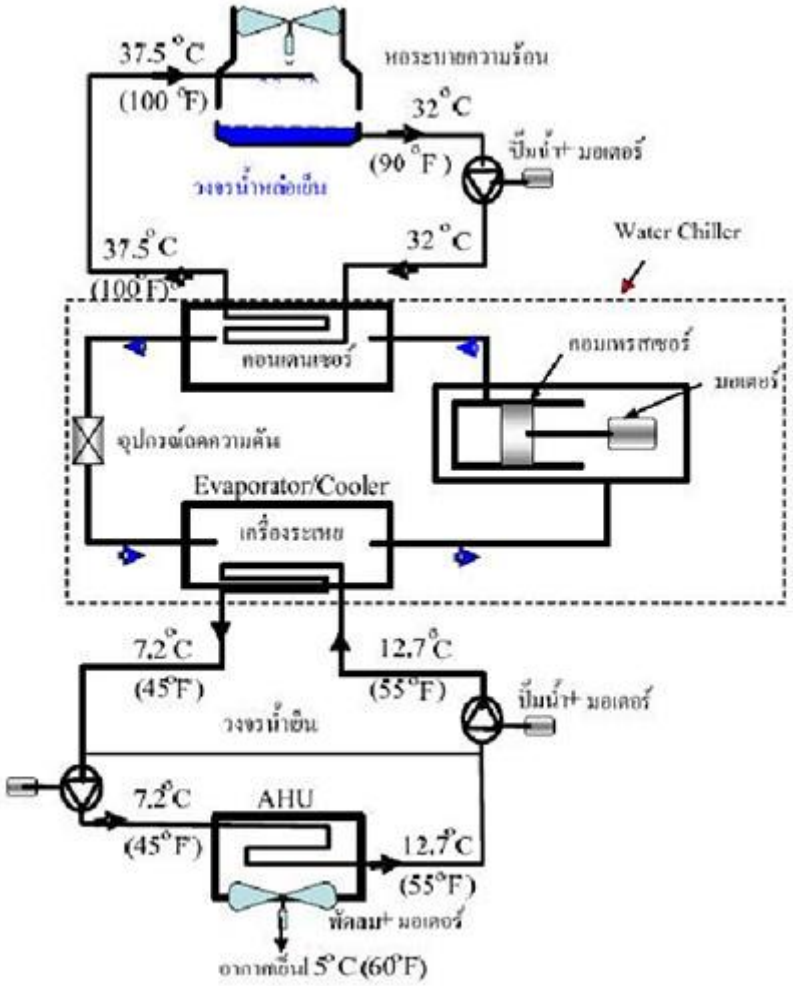
ความเย็นจะใช้อากาศดูดหรือเป่าไปยังขดท่อความ ร้อนของคอนเดนเซอร์ ซึ่งพัดลมอาจมีจำนวนหลายชุดในเครื่องทำน้ำเย็นแต่ละชุด ดังนั้นเครื่อง ทำ น้ำ เย็นแบบนี้จะมีประสิทธิภาพต่ำ กว่า แบบระบายความร้อนด้วยน้ำ เพราะน้ำ จะมี ความสามารถในการระบายความร้อนสูงกว่า อีกทั้งเมื่อพัดลมบางชุดชำรุดจะเกิดการลัดวงจรของ ลม ทำให้ประสิทธิภาพลดลงด้วย นอกจากนั้นเครื่องปรับอากาศระบบนี้จะมีอายุการใช้งานสั้น เพราะเครื่องทำน้ำเย็นจะต้องติดตั้งภายนอกอาคารซึ่งตากแดดตากฝนตลอดเวลา ดังนั้นผู้ใช้ควร ดูแลทำความสะอาดและหาวัสดุให้ร่มเงา

รูปที่ 2.18 ระบายความร้อนด้วยอากาศ (Air Cooled Water Chiller)

โดยปกติขนาดการทำความเย็นไม่เกิน 500 ตัน เหมาะสำหรับพื้นที่ปรับอากาศที่มีข้อจำกัดของพื้นที่ติดตั้ง หรือระบบน้ำสำหรับระบายความร้อน ประสิทธิภาพสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยอากาศจะอยู่ระหว่าง 1.4 -1.6 กิโลวัตต์ต่อตัน

2.7.2.2 ระบบปรับอากาศแบบเป็นชุดระบายความร้อนด้วยน้ำ (Water Cooled Package)

ใช้สำหรับระบบที่ต้องการขนาดการทำความเย็นมาก ประสิทธิภาพสำหรับเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำดีกว่าระบายความร้อนด้วยอากาศโดยจะอยู่ระหว่าง 0.62-0.75 กิโลวัตต์ต่อตัน อย่างไรก็ตามเครื่องทำน้ำเย็นชนิดระบายความร้อนด้วยน้ำต้องมีการลงทุนที่สูงกว่าเนื่องจากต้องมีการติดตั้งหอระบายความร้อน (Cooling Tower) เครื่องสูบน้ำระบายความร้อน (Condenser Water Pump) และยังต้องปรับปรุงคุณภาพน้ำให้เหมาะสมเพื่อป้องกันการสึกกร่อนและตะกรันในระบบท่อและเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนอันเป็นสาเหตุทำให้ประสิทธิภาพเครื่องทำน้ำเย็นต่ำลง



รูปที่ 2.19 วัฏจักรการทำความเย็นของเครื่อง Chiller

เมื่อป้อนไฟให้คอมเพรสเซอร์ (Compressor) คอมเพรสเซอร์จะดูดไอของสารทำความเย็นจาก อีวาพอเรเตอร์ (Evaporator) แล้วอัดส่งไปที่คอนเดนเซอร์ (Condenser) ที่อีวาพอเรเตอร์ สารทำความเย็นจะมีความดันและอุณหภูมิต่ำ สารทำความเย็นดูดความร้อนจากน้ำเย็นที่ไหลผ่านอีวาพอเรเตอร์และระเหยกลายเป็นไอ ในขณะเดียวกันที่คอมเพรสเซอร์สารทำความเย็นจะมีความดันและอุณหภูมิสูง ความร้อนจากสายทำความเย็นจะถ่ายเทให้กับสารทำความเย็นจะถ่ายเทให้กับน้ำหล่อเย็น ทำให้สารทำความเย็นกลั่นตัวเป็นของเหลวที่ความดันสูง เมื่อสารทำความเย็นไหลผ่านเอ็กแพนชั่นวาล์วความดันก็จะลดลงเท่ากับความดันต่ำที่ อีวาพอเรเตอร์ สารทำความเย็นจะไหลครบ วัฏจักรสารทำความเย็น

น้ำหล่อเย็นเมื่อได้รับความร้อนจากคอนเดนเซอร์จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น เมื่อถูกเครื่องสูบน้ำหล่อเย็นส่งไปที่หอทำความเย็น (Cooling tower) ก็จะถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศโดยการระเหย

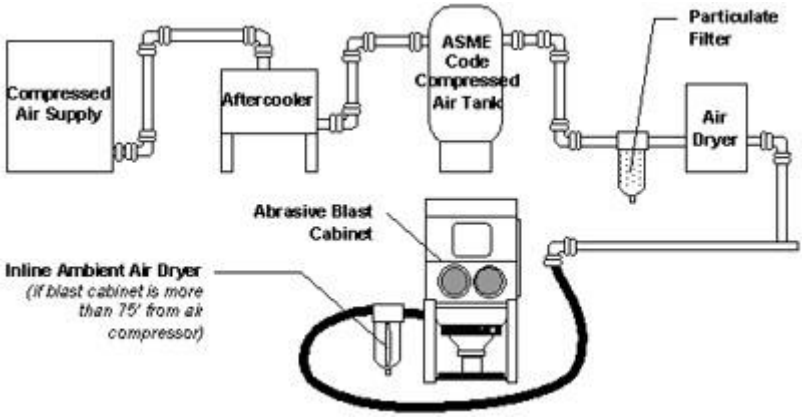
น้ำ ทำให้น้ำที่เหลือเย็นลงแล้วไหลกลับไปรับความร้อนที่คอนเดนเซอร์อีกทำให้ครบ วัฏจักรน้ำหล่อเย็น

น้ำเย็นเมื่อถ่ายเทความร้อนให้กับอีวาพอเรเตอร์ก็มีอุณหภูมิต่ำลง เมื่อถูกเครื่องสูบน้ำเย็นส่งไปที่เครื่องส่งลมเย็น (Air Handing Unit) ก็จะถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศทำให้น้ำร้อนขึ้นแล้วไหลกลับไปถ่ายเทความร้อนให้กับอีวาพอเรเตอร์อีกทำให้ครบ วัฏจักรน้ำเย็น

2.8 ระบบอากาศอัด (Compressed Air Systems)

สำหรับโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไประบบลมอัด (Compressed Air System) เป็นส่วนหนึ่งในระบบการผลิต เพื่อใช้ขับเคลื่อนเครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆ ที่ทำงานได้ด้วยลม อากาศอัดจะมีสิ่งปะปนอยู่ด้วยเสมอ ทำให้อากาศอัดที่ได้มาไม่มีความสะอาดเพียงพอที่จะนำไปใช้งานได้ ซึ่งสิ่งที่ปนเปื้อนได้แก่ ไอน้ำ มันหล่อลื่น และฝุ่นละอองต่างๆ ซึ่งสิ่งเจอปนเหล่านี้จะก่อให้เกิดความเสียหายแก่ท่อส่ง และส่วนประกอบต่างๆ ของระบบเครื่องปรับอากาศ การติดตั้งอุปกรณ์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของลมอัดจึงเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อช่วยป้องกันปัญหาดังกล่าวได้ และทำให้การใช้งานเครื่องอัดอากาศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลยิ่งขึ้น อุปกรณ์ดังกล่าวได้แก่

1. อุปกรณ์กำจัดความชื้น (Air Dryer)ใช้ในการกำจัดความชื้นที่ปะปนมากับอากาศที่ถูกดูดเข้ามายังเครื่องอัดอากาศ
2. กรองอากาศ (Air Filter) ใช้ในการกรองฝุ่นละอองที่ปะปนมากับอากาศ มีทั้งกรองหยาบและกรองละเอียด
3. กับดักน้ำ ((Water Trapped) ใช้ในการดักน้ำที่เกิดจากการกลั่นตัวของไอน้ำเป็นหยดน้ำภายในระบบเครื่องอัดอากาศ



รูปที่ 2.20 แสดงผังของระบบเครื่องปรับอากาศ

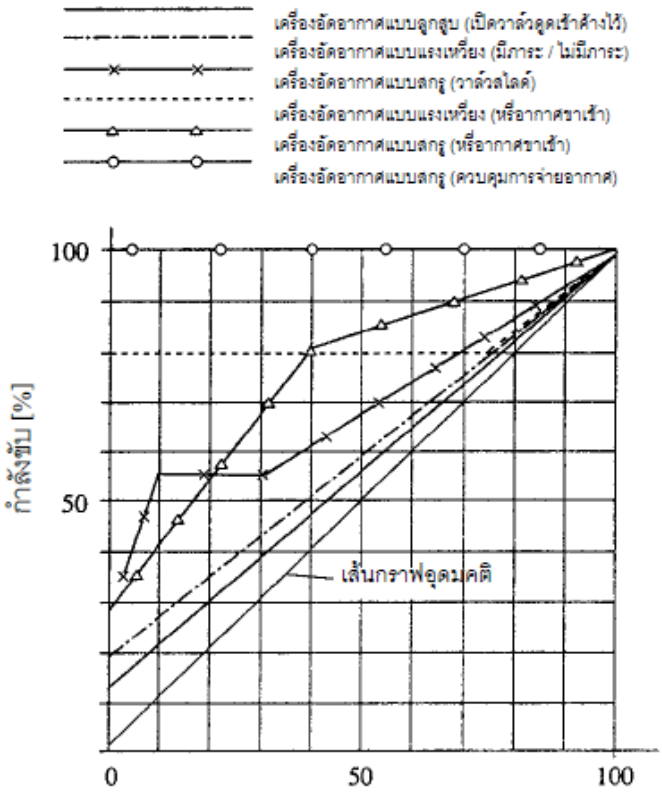
เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ และแบบสกรูเป็นวิธีการอัดแบบปริมาตรซึ่งสามารถ แบ่งเป็นแบบใช้น้ำมันกับแบบไม่ใช้น้ำมัน (Oil free) แบบใช้น้ำมันจะทำการผนึกการรั่วของอากาศ ดังนั้น จึงมีกำลังขับจำเพาะ ต่ำกว่าแบบไม่ใช้น้ำมัน นิยมใช้กันมากในเครื่องอากาศขนาดเล็ก และขนาดกลาง อย่างไรก็ตาม ในอากาศที่ดูดเข้ามาจะมีละอองน้ำมันหล่อลื่นและไฮโดรคาร์บอนเข้ามาปะปนด้วย เครื่องอัดอากาศแบบสกรูจะมีขนาดใหญ่ตั้งแต่ 150 [kW] ขึ้นไป ส่วนใหญ่จะเป็นแบบไม่ใช้น้ำมัน เกือบทั้งหมดเครื่องอัดอากาศแบบหลายชั้นจะลดกำลังขับเพลาให้ต่ำลงด้วยการระบายความร้อนของอากาศอัดด้วยอินเตอร์คูลเลอร์ในแต่ละกระบวนการอัดอากาศ

2.8.1 ความสิ้นเปลืองกำลังขับกับเงื่อนไขการทำงาน

ยิ่งเครื่องอัดอากาศมีความดันขาออกสูงเท่าใด จะยิ่งต้องใช้กำลังขับมากขึ้นเท่านั้น ตัวอย่างเช่น ถ้าความดันขาออกลดลงจาก0.7 MPa เป็น 0.6 MPa แล้ว กำลังขับจะลดลงประมาณ 8% และยิ่งอุณหภูมิขาเข้าของเครื่องอากาศมีค่าต่ำเท่าใด กำลังขับจะยิ่งลดลงเท่านั้น หากอุณหภูมิขาเข้าลดลง 10 [°C] เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบและแบบสกรูจะใช้กำลังขับลดลงประมาณ2 [%] ส่วนแบบเทอร์โบจะลดลง 1-1.5 [%] จึงสามารถอนุรักษ์พลังงานได้ ดังนั้น กรณีที่ดูดอากาศจากภายในอาคารจึงต้องพิจารณาเรื่องการระบายอากาศให้ถี่ถ้วน ทั้งนี้ กรณีที่ดูดอากาศจากภายนอกอาคารจะต้องระมัดระวังเรื่องความดันสูญเสียและเสียงดังด้วย

1. เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบ (เปิดวาล์วดูดเข้าค้างไว้)
2. เครื่องอัดอากาศแบบแรงเหวี่ยง (มีภาระ / ไม่มีภาระ)
3. เครื่องอัดอากาศแบบสกรู (วาล์วสไลด์)
4. เครื่องอัดอากาศแบบแรงเหวี่ยง (หรี่อากาศขาเข้า)
5. เครื่องอัดอากาศแบบสกรู (หรี่อากาศขาเข้า)
6. เครื่องอัดอากาศแบบสกรู (ควบคุมการจ่ายอากาศ)

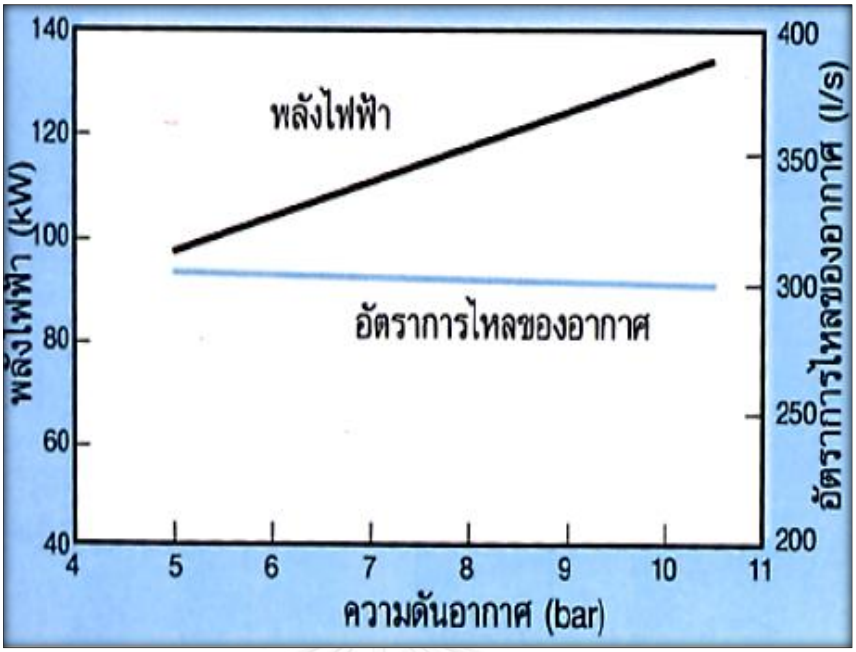
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.21 คุณลักษณะภาระของเครื่องอัดอากาศ เส้นกราฟอุดมคติภาระ [%]กำลังขับ [%]ที่มา : “การอนุรักษ์พลังงาน” (ก.พ. 2541) หน้า 68

2.8.2 ความดันอากาศที่ต้องการ

การออกแบบที่ดีของการส่งจ่ายอากาศอัดจะมีความดันลดลงประมาณ 0.7 บาร์ ณ จุดใช้งานดีที่สุด เมื่อเครื่องมือและอุปกรณ์ของอากาศอัดส่วนใหญ่ทำงานที่ระดับความดัน 6.3 บาร์ ดังนั้น ความดันที่ผลิตต่ำสุดของเครื่องอัดอากาศจะอยู่ที่ 7 บาร์ ดังนั้นการทำงานของระบบที่ไม่จำเป็นของการผลิตอากาศอัดที่มีความดันสูงดังนั้นจึงเป็นสาเหตุทำให้ต้องใช้พลังงานและค่าใช้จ่ายเพิ่ม ดังรูป ดังนั้น ควรหลีกเลี่ยงการส่งจ่ายอากาศที่มีความดันสูงและปริมาณมากๆ ไปยังอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก แต่ควรพิจารณาการติดตั้งเครื่องอัดอากาศที่มีขนาดเล็กเพิ่มเติมแทนให้กับอุปกรณ์ในสถานที่นั้นๆ



รูปที่ 2.22 คุณลักษณะการทำงานเครื่องอัดอากาศ

2.8.3 ระดับคุณภาพของอากาศที่ต้องการ

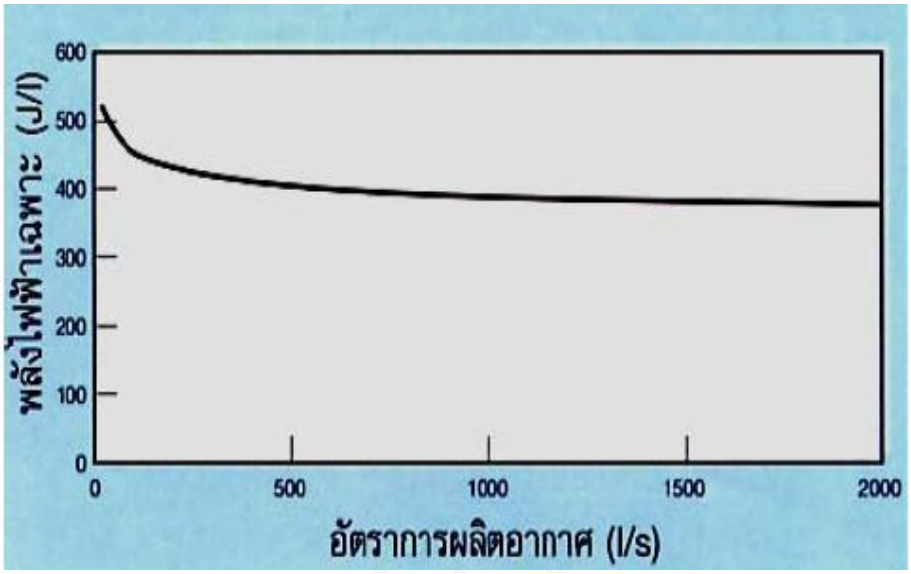
เครื่องอัดอากาศที่ไม่มีน้ำมัน (Oil free compressor) เหมาะที่จะนำมาใช้ผลิตอากาศเพราะอากาศจะมีคุณภาพสูงกว่าเครื่องอัดอากาศชนิดที่มีน้ำมัน

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบเครื่องอัดอากาศชนิดไม่มีน้ำมันกับชนิดมี*น้ำมัน*

เครื่องอัดอากาศชนิดไม่มีน้ำมัน	เครื่องอัดอากาศชนิดมีน้ำมัน
ข้อดี	ข้อดี
- มีประสิทธิภาพมากกว่าจึงทำให้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินการที่ต่ำกว่า - มีอายุการใช้งานยาวนานขึ้น - ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่รับผลกระทบได้ง่ายๆ เช่น อุตสาหกรรมอาหารและเภสัชกรรม	- ส่วนมากมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ - เป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากสำหรับนำมาใช้ในอุตสาหกรรม - น้ำมันมีผลอย่างมากในการระบายความร้อน - ความเร็วรอบต่ำ / ใช้อุณหภูมิต่ำกว่า
ข้อเสีย	ข้อเสีย
- มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง - ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาสูง - จำเป็นต้องอัดอากาศหลายขั้นตอนเพื่อให้ได้ความดันที่ต้องการ - เครื่องอัดอากาศมีความซับซ้อนมากกว่า	- ต้องทำการซ่อมแซมบ่อย - มีการบำรุงรักษาและเปลี่ยนน้ำมันบ่อย - ต้นทุนการปรับปรุงคุณภาพอากาศจะสูงกว่าและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการมากกว่า (เนื่องจากความดันลดลงที่ตัวกรองน้ำมัน)

2.8.4 รูปแบบความต้องการอากาศอัดปริมาณความต้องการอากาศอัดแต่ละโรงงาน

ความต้องการลมอัดที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับการนำอากาศไปใช้ประโยชน์ เครื่องอัดอากาศจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อทำงานมีโหลดเต็มพิกัดหรือใกล้เคียงเต็มพิกัด• อัตราการผลิตอากาศของเครื่องอัดอากาศคือ การผลิตอากาศให้เพียงพอกับความต้องการโดยมีความดันที่เหมาะสมและอากาศอัดมีคุณภาพ ค่าใช้จ่ายต่ำสุดเพื่อให้มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปประสิทธิภาพของเครื่องอัดอากาศที่เพิ่มขึ้นขึ้นอยู่กับขนาดที่เพิ่มขึ้นดังรูปถ้าเครื่องอัดอากาศที่มีขนาดใหญ่ซึ่งมีประสิทธิภาพสูงแต่นำมาใช้กับสภาวะโหลดบางส่วนก็คงไม่เหมาะสมเช่นกันดังนั้นเครื่องอัดอากาศที่มีขนาดเล็กแต่ทำงานใกล้เคียงกับพิกัดจะมีประสิทธิภาพการใช้งานที่เหมาะสมกว่า



รูปที่ 2.23 อัตราการผลิตเทียบกับพลังงานไฟฟ้า

2.8.5 ระบบการส่งจ่ายลมอัด (Compressed Air System) ระบบการจ่ายอากาศอัด (Pneumatic distribution system) หรือการเดินท่อระบบอากาศอัดต้องเป็นดังนี้

1. ทำให้เกิดการสูญเสีย (Losses) น้อยที่สุด โดยกำหนดให้ค่าการสูญเสียไม่เกิน 10 % โดยที่มีการสูญเสียในท่อร่วม (Main) ไม่เกินครึ่งหนึ่ง
2. จะต้องวางท่อให้ลาดเอียง 0.1-0.25 in/ft และที่จุดปลายต่ำสุดของท่อควรติดตั้งวาล์วสำหรับระบายน้ำที่ตกค้างภายในท่อทิ้งหรือติดตั้ง Auto Drain นอกจากนี้ต้องหาตำแหน่งที่จะนำน้ำที่เกิดจากการกลั่นตัวของความชื้นอากาศออกจากระบบท่อจะระบายทุก ๆ 30 เมตร (ติดตั้ง Auto Drain ทุก ๆ 30 เมตร) โดยตำแหน่งที่ติดตั้ง Auto Drain

ได้แก่ บริเวณใต้ถังพัก, Air Dryer, กรองลมอัด และที่ความยาวของท่อเมน ทุก ๆ 30 เมตร

3. ลักษณะการเดินท่อลมอัดควรเป็นแบบวงแหวน (Ring Main) ดังรูปที่ 7 เพราะจะช่วยในการรักษาแรงดันและลดแรงดันตกในระบบท่อเมน

2.8.6 ระบบการส่งจ่ายลมอัด (Compressed Air System)

ระบบการจ่ายอากาศอัด (Pneumatic distribution system) หรือการเดินท่อระบบอากาศอัดต้อง ทำให้เกิดการสูญเสีย (Losses) น้อยที่สุด โดยกำหนดให้ค่าการสูญเสียไม่เกิน 10 % โดยที่มีการสูญเสียในท่อร่วม (Main) ไม่เกินครึ่งหนึ่ง

2.9 ระบบแสงสว่าง (Lighting)

การส่องสว่างภายในบ้านที่อยู่อาศัย และโรงงานอุตสาหกรรมไม่จำเป็นต้องให้มีแสงสว่างสม่ำเสมอ การส่องสว่างด้วยไฟฟ้า นอกจากเป็นภาระไฟฟ้าที่สูงแล้ว ยังไปเพิ่มภาระในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศอีกด้วย ดังนั้นจึงควรออกแบบระบบการส่องสว่างให้มีประสิทธิผล ก่อให้เกิดความสบายตา และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการใช้พื้นที่ ในขณะเดียวกันก็ต้องมีประสิทธิภาพดีในการใช้พลังงาน

2.9.1 ความสว่าง (Illuminance: E)

ปริมาณแสงที่มาตกกระทบบนพื้นผิว ต่อพื้นที่ 1 ตารางเมตรโดยทั่วไปอาจเรียกว่าระดับความสว่าง (Lighting Level) จึงเป็นค่าที่บ่งบอกว่าพื้นที่นั้นๆ ได้รับแสงสว่างเพียงพอหรือไม่ มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อตารางเมตร (lm/m2) หรือลักซ์ (Lux) นั่นเอง ส่วนหน่วยเดิมวัดเป็น ลูเมนต่อตารางฟุต (lm/ft2) หรือ ฟุตแคนเดิล (Foot-candle) โดย 1 ฟุตแคนเดิล เท่ากับ 10.764 ลักซ์

หลักการในการส่องสว่าง ระบบแสงสว่างต้องได้รับการติดตั้งเพื่อให้การหระทำกิจกรรมต่างๆ ดำเนินไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ และทำให้สภาพแวดล้อมของการมองเห็นมีความปลอดภัย ซึ่งการให้แสงสว่างที่มีความเหมาะสมมีความสำคัญสำหรับการออกแบบระบบแสงสว่างดังนี้

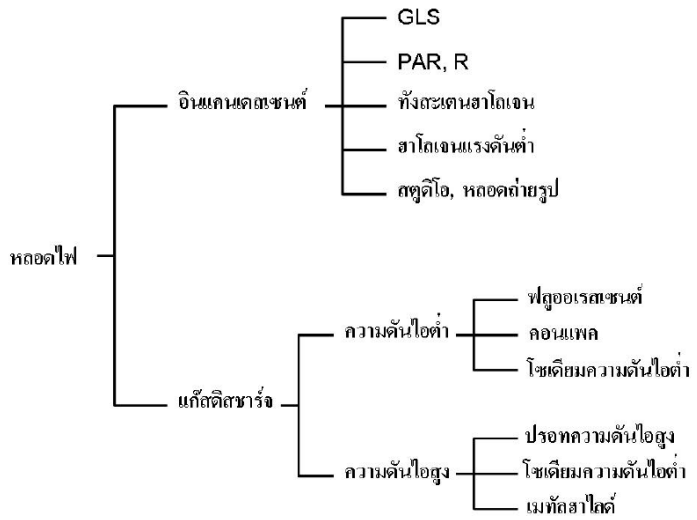
1. การให้แสงสว่างแบบมีความสว่างเกือบเท่ากันตลอดพื้นที่
2. การให้แสงสว่างเฉพาะที่โดยอาศัยหลักการที่แต่ละพื้นที่ต้องการค่าสว่างไม่เท่ากัน แล้วแต่กิจกรรมที่ทำการให้แสงสว่างเฉพาะตำแหน่งเป็น
3. การให้แสงสว่างเสริมสำหรับงานที่ต้องการความละเอียดสูง

2.9.2 ประเภทของหลอดไฟในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

1. หลอดอินแคนเดสเซนต์ หรือหลอดไส้ ทำงานโดยอาศัยหลักการผ่านของพลังงานไฟฟ้าเข้าไปยังไส้หลอดที่ทำด้วยทังสเตน

2. หลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือหลอดคายประจุความดันต่ำ ทำงานโดยการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับหลอดไฟแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมที่ปลายขั้วทั้งสองข้าง จะกระตุ้นให้อิเล็คตรอนเกิดปฏิกริยา และให้แสงสว่าง

4. หลอดคายประจุความดันสูง ทำงานโดยอาศัยการกำเนิดแสงคล้ายกับหลอดฟลูออเรสเซนต์ แต่แตกต่างกันที่ ภายในหลอดเผาไหม้ในขณะที่ใช้งาน หลอดไฟจะมีความดันที่สูงทำให้แสงสว่างที่ปล่อยออกมามีพลังงานแสงที่หนาแน่นและให้แสงสว่างที่เจิดจ้า
การแบ่งชนิดของหลอดไฟฟ้าดังกล่าวข้างต้น สามารถเขียนเป็นแผนภาพ เพื่อความ เข้าใจที่ง่ายขึ้นได้ดังแสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 แผนภาพการแบ่งชนิดของหลอดไฟ

2.9.3 ค่าประสิทธิผล (Efficacy)

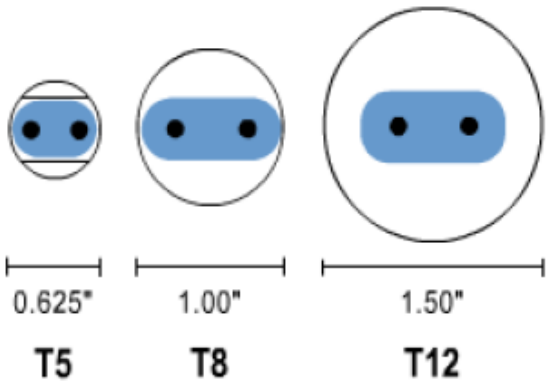
ปริมาณแสงที่ออกมาต่อวัตต์ที่ใช้ (ลูเมนต่อวัตต์) หลอดที่มีค่าประสิทธิผลสูงหมายความว่าหลอดนี้ให้ปริมาณแสงออกมามากแต่ใช้วัตต์ต่ำ

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างค่าประสิทธิผลของหลอดไฟชนิดต่างๆ

ชนิดของหลอด	ลูเมน/วัตต์
หลอดอินแคนเดสเซนต์	5-13
หลอดทังสเตนฮาโลเจน	12-22
หลอดฟลูออเรสเซนต์	50-90
หลอดแสงจันทร์	35-80
หลอดแสงจันทร์แบบไม่มีบัลลาสต์	30-60
หลอดแสงจันทร์แบบมีบัลลาสต์	30-60
หลอดเมตัลฮาไลด์	60-120
หลอดโซเดียมความดันสูง	70-130
หลอดโซเดียมความดันต่ำ	100-180

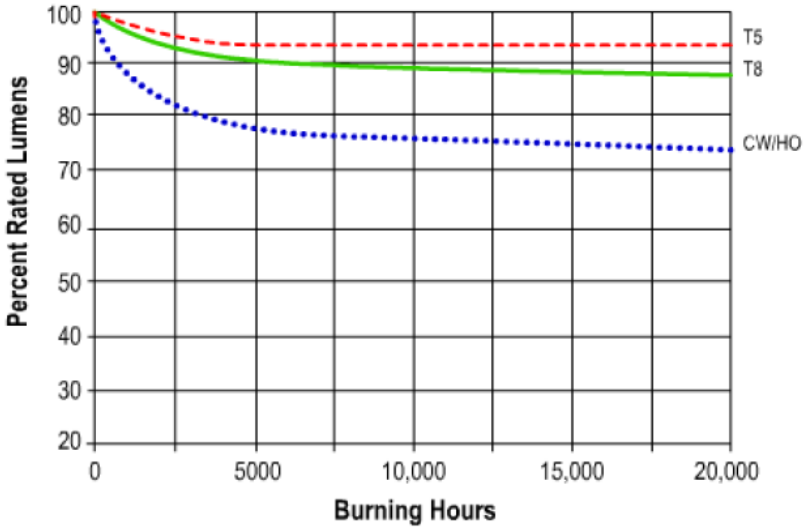
2.9.4 หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็น ชนิด T5

เป็นหลอดไฟที่ได้พัฒนาและเพิ่มความนิยมในการใช้งานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1995 โดยเข้ามาแทนที่หลอด T8 และ T12 ที่ใช้กันอยู่ หลอด T5 คือหลอดฟลูออเรสเซนต์ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 5/8นิ้ว สัญลักษณ์ตัว T หมายถึงรูปร่างของหลอดที่มีลักษณะเป็นท่อ (Tubular) โดยเราสามารถแบ่งแยกขนาดของหลอดตามเส้นผ่าศูนย์กลางได้ ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.25 ขั้วหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบต่างๆ

หลอด T5 สามารถรักษาปริมาณแสงเอาต์พุตได้มากกว่าหลอด T8 และ T12 โดยสามารถรักษาปริมาณแสงเอาต์พุตที่ 95 % ไว้ได้นานถึง 8,000 ชั่วโมง หรือ 40% ของอายุการใช้งาน ซึ่งแตกต่างจากหลอดเมทัลฮาไลด์หรือหลอดแสงจันทร์ที่ปริมาณแสงจะลดลงอย่างมากดังรูปที่ รูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 กราฟเปรียบเทียบการลดลงของแสงกับอายุการใช้งานของหลอด

หลอด T5 นั้นถูกออกแบบมาเพื่อให้ผลิตแสงสูงสุดที่อุณหภูมิ 35 °C (95°F) ซึ่งเป็นจุดทำงานที่เหมาะสมเนื่องจากอุณหภูมิของชุดโคมไฟขณะทำงานจะอยู่ในช่วงนี้ ซึ่งแตกต่างกับหลอดแบบ T8 ที่มีจุดผลิตแสงสูงสุดที่อุณหภูมิ 25 °C ต่างกับหลอด T5 10°C หลอด T5 จึงให้ปริมาณแสงมากกว่าที่จุดทำงานอุณหภูมิเดียวกัน

ข้อดีของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ T5

1. โคมไฟมีประสิทธิภาพสูงถึง 93 %
2. บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีค่าความสูญเสียต่ำ
3. หลอด T5 มีปริมาณการลดลงของแสงตลอดอายุการใช้งานน้อยกว่าหลอด HID
4. มีค่าดัชนีความถูกต้องของสีมากกว่าหลอด HID
5. ประหยัดค่าไฟฟ้าต่อปีได้ 55%
6. อายุการใช้งานมากกว่า 20,000 ชั่วโมง
7. ระยะเวลาคืนทุนเร็ว

ข้อเสียของหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบ T5

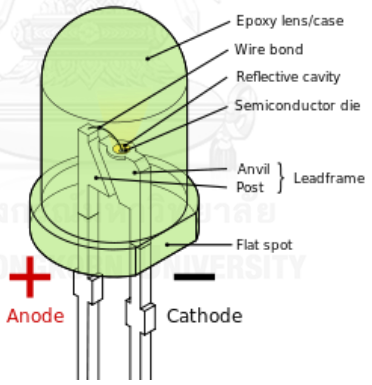
1. สตาร์ทติดช้ากว่าหลอด T8 เนื่องจากต้องใช้เวลาในการอุ่นหลอดนานกว่า
2. อาจทำให้มีค่าดัชนีแสงจ้าเกินได้ หากออกแบบไม่เหมาะสม

2.9.5 LED Light

เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่ยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะปล่อยแสงสว่างออกมาทันที น้ำหนักเบา แสงสว่างที่เกิดขึ้นมาจากการเคลื่อนของอิเล็กตรอนภายในสารกึ่งตัวนำ

2.9.5.1 หลักการทำงานของหลอด LED

โครงสร้างประกอบไปด้วยสารกึ่งตัวนำสองชนิด (สารกึ่งตัวนำชนิด N และสารกึ่งตัวนำชนิด P) ประกบเข้าด้วยกัน มีผิวข้างหนึ่งเรียบคล้ายกระจกเมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงผ่านตัว LED โดยจ่ายไฟบวกให้ขาแอโนต (A) จ่ายไฟลบให้ขาแคโทด (K) ทำให้อิเล็กตรอนที่สารกึ่งตัวนำชนิด N มีพลังงานสูงขึ้น จนสามารถวิ่งข้ามรอยต่อจากสารชนิด N ไปรวมกับโฮลในสารชนิด P การที่อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ผ่านรอยต่อ PN ทำให้เกิดกระแสไหล เป็นผลให้ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนเปลี่ยนไปและคายพลังงานออกมาในรูปคลื่นแสงดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 โครงสร้างของหลอด LED

2.9.5.2 รูปแบบของ LED

ปัจจุบันแอลอีดีมีหลายรูปแบบ หากแบ่งแอลอีดีตามลักษณะของ Packet แบ่งได้ 2 แบบคือ

1. แบบ Lamp Type เป็นแอลอีดีชนิดที่พบกันอยู่ทั่วไปมีขายื่นออกมาจากตัว Epoxy 2 ขาหรือมากกว่า โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 3 mm. ขึ้นไป บริษัทผู้ผลิตจะออกแบบให้ขับกระแสได้ไม่เกิด 150 mA

2. แบบ Surface Mount Type (SMT) มีลักษณะ packet เป็นตัวบางๆ เวลาประกอบต้องใช้เครื่องมือชนิดพิเศษมีขนาดการขับกระแสตั้งแต่ 20 mA-มากกว่า 1 A สำหรับแอลอีดีแบล SMT ถ้าขับกระแสได้ตั้งแต่ 300 mA ขึ้นไป จะเรียกว่า power LED การใช้งานส่วนใหญ่จะใช้ภายในเนื่องจากสารเคลือบหน้าหลอดแอลอีดีส่วนใหญ่จะเป็นซิลิโคน ซึ่งละอองน้ำหรือความชื้นสามารถซึมผ่านได้

2.9.5.3 คุณสมบัติหลอด LED และประโยชน์สำหรับการใช้งาน

ด้วยคุณสมบัติที่ก้าวล้ำของหลอดLED ที่มีเพียงชิปตัวเล็กๆ ที่ให้ไฟฟ้าวิ่งผ่าน และเปล่งแสงออกมาได้ในทางตรง ไม่ฟุ้งกระจายหรือสูญเสียแสงไปในพื้นที่ที่ไม่ต้องการเหมือนหลอดประเภทอื่น มีระดับความสว่างและความถูกต้องของเฉดสีที่สม่ำเสมอ ไม่มีสารปรอททำให้ทัศนียภาพของแสงดีขึ้น จุดเด่นของหลอด LED นอกจากการประหยัดพลังงานแล้ว ยังให้ความสว่างโดยไม่ให้ความร้อนออกมาเหมือนหลอดไส้ ไม่ต้องใช้ไอปรอทและฉาบสารเรืองแสงเหมือนหลอดฟลูออเรสเซนต์หรือหลอดตะเกียบ ไม่มีโลหะหนักที่เป็นปัญหากับสิ่งแวดล้อม และมีอายุการใช้งานยืนยาวได้ถึง 50,000 ชั่วโมง ซึ่งมากกว่าหลอดชนิดอื่นๆ

ตารางที่ 2.5 แสดงคุณสมบัติของหลอด LED

ลำดับ	คุณสมบัติ	ประโยชน์สำหรับผู้ใช้งาน
1	อายุหลอดยืนยาวนาน	เหมาะสำหรับพื้นที่ที่เข้าถึง เพื่อบำรุงรักษาได้ยาก
2	ใช้ไฟ DC แรงต่ำ	มีความปลอดภัยในการใช้งาน
3	ประสิทธิภาพสูง	ประหยัดพลังงาน
4	มีสีให้เลือกหลากหลายสีและเปลี่ยนสีได้	ไม่ต้องใช้ Filter สี และสามารถเปลี่ยนสีได้
5	ทนต่อแรงสั่นสะเทือน	มีความคงทนกับการใช้งานที่มีการเคลื่อนไหว
6	สามารถหรี่ไฟได้	สามารถปรับความสว่างทำให้ช่วยประหยัดพลังงาน
7	ตัวหลอดมีขนาดเล็ก	เพิ่มความหลากหลายในการออกแบบ
8	ให้ความสว่างได้ทันทีเมื่อเปิดใช้งาน และทำงานได้ดีในที่อุณหภูมิต่ำ	สามารถใช้กับไฟฉุกเฉิน ไฟกระพริบ ไฟในตู้แช่ ตู้เย็น
9	ไม่มีสารปรอทเจือปน	ไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม
10	มีรังสี UV และ Infrared ต่ำ	แสงที่ออกมาไม่ทำอันตรายต่อวัสดุที่ส่อง

ข้อดีของหลอด LED

1. อายุการใช้ที่งานยาวนาน หลอด LED มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน ถึง 100,000 ชั่วโมง หรือประมาณ 11 ปี เมื่อเทียบกับหลอดไส้ทั่วๆไป ซึ่งมีอายุการใช้งานที่ราวๆ 1,000 ชั่วโมงเท่านั่น

2. สีสันจัดจ้าน หลอด LED ให้สีสันจัดจ้านมากกว่าหลอดไส้
3. มีความทนทานสูง เพราะหลอด LED เป็นอุปกรณ์ Solid State ซึ่งไม่มีชิ้นส่วนใดที่เคลื่อนไหว ไม่มีส่วนใดที่เป็นกระจก ไม่มีไส้หลอดซึ่งอาจจะขาดได้ง่าย
4. ประหยัดพลังงาน หลอด LED ใช้พลังงานน้อยกว่าหลอดไส้ทั่วไปถึง 80-90%
5. หลอด LED ไม่มีส่วนประกอบด้วยสารปรอท ทำให้เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม
6. หลอด LED สามารถเปิดใช้งานได้อย่างรวดเร็ว เปิดแล้วหลอดติดทันที ไม่ต้องรอกระพริบ

ข้อจำกัดของหลอด LED

1.ราคาหลอด LED ยังแพงกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอดไส้ พอสมควร

2.9.6 แนวทางการประหยัดพลังงานของระบบแสงสว่าง

1. เลือกใช้หลอดไฟประสิทธิภาพสูงที่ให้ปริมาณแสงสว่างมากแต่ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำ
2. ใช้ระบบไมโครคอมพิวเตอร์ควบคุมระบบการให้แสงสว่างภายในอาคารทำให้สามารถประหยัดการใช้ไฟฟ้าได้
3. ติดตั้งวงจรควบคุมแสงสว่างเพิ่มขึ้นทำให้สามารถทำการเปิด-ปิดวงจรไฟฟ้าแสงสว่างในแต่ละพื้นที่ได้สะดวก
4. ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมระบบไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อให้มีการใช้พลังงานในระบบแสงสว่างอย่างมีประสิทธิภาพ
5. ติดตั้งเครื่องปรับระดับแสงสว่างเพื่อทำการปรับให้ได้ตามลักษณะงานในแต่ละประเภท
6. โคไฟทุกตัวควรมีแผ่นสะท้อนแสงที่มีผิวสะอาดเป็นมันเงาและมีมุมสะท้อนแวงที่ถูกต้อง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.10 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่จะใช้สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ จะเน้นไปที่การศึกษางานที่เกี่ยวกับการประเมินประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน และการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานเพื่อใช้เป็นแนวทางในการทำงานวิจัยในการลดต้นทุนการใช้พลังงานด้านไฟฟ้ากับโรงงานผลิตฮาร์ดดิสก์

2.10.1 การศึกษาประสิทธิภาพและตรวจติดตามการใช้พลังงานของโรงงาน

เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานตามแนวทางของการจัดการพลังงานของโรงงานในอุตสาหกรรม 4 กลุ่มอันได้แก่ อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมกระดาษ อุตสาหกรรมสิ่งทอ และอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม โดยทำการสร้างสมการเชิงเส้นแบบง่าย (Simple Regression Analysis) มาทำการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานและปริมาณการผลิตในแต่ละอุตสาหกรรม ทำการคำนวณค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC) และทำการเผ้าตรวจติดตามการใช้พลังงาน โดยประยุกต์ใช้กราฟ CUSUM มาประยุกต์ใช้เพื่อทำให้เห็นถึงการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตที่มีความผิดปกติ โดยผลที่ได้คือสมการของตัวแทนกาใช้พลังงานและค่า SEC ของทั้ง 4 กลุ่มอุตสาหกรรมที่ได้กล่าวมาข้างต้น ซึ่งค่า SEC ที่ได้นี้นั้นจะนำมาใช้เป็นค่าอ้างอิงเพื่อทำการประเมินประสิทธิภาพในการใช้ลังงานในกลุ่มอุตสาหกรรมที่มีลักษณะการผลิตที่ใกล้เคียงกัน นอกจากนั้นกราฟ CUSUM ยังแสดงให้เห็นพฤติกรรมในการใช้พลังงานสำหรับเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้สำหรับการจัดการด้านพลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมให้มีประสิทธิภาพ (พัชรมาศ นุ่มดี,2554)

2.10.2 ปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานควบคุม

เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าของโรงงาน โดยทำการหาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพด้านการอนุรักษ์พลังงาน อันได้แก่ ผู้รับผิดชอบในการอนุรักษ์พลังงาน มาตรการอนุรักษ์พลังงาน ความร่วมมือของพนักงานในโรงงาน และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต และปริมาณการผลิต หลังจากนั้นทำการพิสูจน์หาผลลัพธ์ของการประหยัดพลังงานของโรงงานผลิต เพื่อทำการคัดเลือกโรงงานที่มีความสัมพันธ์กับมาตรการการอนุรักษ์พลังงาน และทำการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้ากับปัจจัยที่มีผลกระทบกับการใช้พลังงานด้วยการวิเคราะห์แบบถดถอยที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 แล้วใช้สัดส่วนของผลประหยัดที่ได้รับจริงจากมาตรการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้ามาเป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพในการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าของโรงงานผลิต ทำให้พบว่าปัจจัยที่มีผลต่อการอนุรักษ์พลังงานมากที่สุดคือ คุณสมบัติของผู้ที่มารับผิดชอบด้านการใช้พลังงาน ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในกระบวนการผลิต ความสนใจของผู้บริหารและความร่วมมือของผู้บริหาร เงินลงทุนในการดำเนินมาตรการในการอนุรักษ์พลังงาน และปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบส่องสว่างเป็นลำดับ (บุญญารัตน์ แสงปิยะ,2554) [6]

2.10.3 การประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติเพื่อการตรวจติดตามผลการอนุรักษ์พลังงาน

เป็นการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติเพื่อนำมาใช้ในการเผ้าตรวจติดตามการใช้พลังงานไฟฟ้า ประสิทธิผลของมาตรการที่ใช้สำหรับการอนุรักษ์พลังงาน และการประเมนประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรม โดยใช้เครื่องมือทางสถิติมาประยุกต์ใช้ เช่น แผนภูมิการกระจาย (Scatter Diagram) และแผนภูมิควบคุมผลรวมสะสม (Cumulative Sum Control Chart: SUSUM) ผลที่ได้จาการวิเคราะห์จากโรงงานผลิตจำนวน 34 โรงงาน มีจำนวน 21 โรงงานที่มีผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าเป็นลบ หรือแผนควบภูมิควบคุมความชันเป็นลบ ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 61.7 ของโรงงานตัวอย่างที่นำมาทำการวิเคราะห์ อีก 13 โรงงานหรือร้อยละ 38.24 ไม่มีผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าหรือมีความชันของแผนควบคุมความชันเป็นบวก เมื่อทำการพิจารณาเฉพาะโรงงานที่สามารถทำการประหยัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ได้จะพบว่ามาตรการอนุรักษ์พลังงานที่นำมาใช้มากที่สุดเรียงลำดับกันไปคือ การกำหนดเวลาการเปิด และปิดไฟที่เหมาะสม การใช้สวิตช์ในการควบคุมการเปิด และปิดไฟ และท้ายสุดคือการใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับหลอดฟลูออเรสเซนต์ จาก 3 มาตรการที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นสามารถนำไปใช้ในการกำหนดเป็นเป้าหมายในการทำการอนุรักษ์พลังงานและเป็นตัวอย่างให้โรงงานในลักษณะเดียวกันนำมาตรการที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับโงงานของตนได้ต่อไป

(เบญจวรรณ นิรมิตวสุ, 2554)[7]

2.10.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม

เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรม โดยทำการหาค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) ใน 4 กลุ่มโรงงานอุตสาหกรรม อันได้แก่ อุตสาหกรรมการผลิตไม้และเครื่องเรือน อุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์จากแร่อโลหะ อุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐาน และอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์ ด้วยการหาสมกรการถดถอยเชิงเส้นแบบง่าย และแบบพหุนามระหว่างการใช้พลังงานกับประมาณการผลิต โดยประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ด้วยกราฟค่าผลสะสมรวมของความแตกต่าง (CUSUM) เพื่อนำมาอธิบายถึงพฤติกรรรการใช้พลังงานในโรงงาน ทำให้สามารถตรวจติดตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอดีตที่ผ่านมาได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะนำมาใช้เป็นแนวทางในการกำหนดเป้าหมายในการใช้พลังงานในอนาคต ทำให้เกิดระบบกาจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพ สำหรับผลที่ได้จากการวิเคราะห์คือการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมโลหะขั้นมูลฐานนั้นมีความเสถียร ซึ่งหมายถึงโรงงานมีการจัดการด้านพลังงานอยู่ในระดับที่ดี ในขณะที่กลุ่มอุตสาหกรรมการผลิตจากแร่อโลหะ และและอุตสาหกรรมการผลิตภัณฑ์โลหะ เครื่องจักรและอุปกรณ์ไม่ค่อยดีนัก และยังต้องมีการพัฒนาการจัดการด้านพลังงานให้มีประสิทธิภาพมากกว่าที่

เป็นอยู่ นอกจากนี้ยังได้สมการตัวแทนการใช้พลังงานเละค่า SEC สำหรับแต่ละกลุ่มอุตสาหกรรม ซึ่งทำให้สามารถใช้เป็นค่าอ้างอิงสำหรับโรงงานอื่นที่มีลักษณะใกล้เคียงกันเพื่อทำการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงาน (เป็นธิดา มณีโชติ,2554) [8]

2.10.5 การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม กรณีศึกษา บริษัท อีพีอี แพคเกจจิ้ง (ประเทศไทย) จำกัด

เป็นการใช้มาตรการในการอนุรักษ์พลังงาน 2 มาตรการด้วยกัน มาตรการแรกคือการตรวจสอบและการบำรุงรักษา อีกมาตรการคือมาตรการในการปรับปรุงกระบวนการผลิต เริ่มทำการทดลองโดยทำการเก็บข้อมูลในการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม โดยแบ่งเป็น 3 ช่วงคือ ช่วงแรกทำการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าก่อนเริ่มดำเนินมาตรการการอนุรักษ์พลังงาน ช่วงที่สองเป็นการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานไฟฟ้าในโรงงานโดยใช้มาตรการการตรวจสอบและการบำรุงรักษาเป็นระยะเวลา 3 เดือน และสุดท้ายทำการเก็บข้อมูลในการใช้พลังงานพลังงานไฟฟ้าในโรงงานหลังจากดำเนินการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยใช้มาตรการ ในการปรับปรุงกระบวนการผลิต เป็นระยะเวลา 6 เดือน ผลการวิจัยพบว่า การดำเนินการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยใช้มาตรการในการตรวจสอบและการบำรุงรักษา ภายในระยะเวลา 3 เดือนโรงงานสามารถการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยผลผลิตลงได้ เป็นร้อยละ 6.07 สำหรับการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าโดยใช้มาตรการในการปรับปรุงกระบวนการผลิตภายในระยะเวลา 6 เดือน โรงงานสามารถลดการพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยต่อหน่วยผลผลิตลงได้เป็นร้อยละ 8.0 (สุธน พิทักษ์,2550)[9]

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
ศึกษาการจัดการพลังงานและกำหนดเป้าหมาย ในการลดต้นทุนด้านพลังงาน

ในบทนี้จะมุ่งเน้นการศึกษา และประเมินสภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้กรณีตัวอย่างในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ เพื่อนำไปใช้ในการกำหนดเป้าหมาย สร้างมาตรการอนุรักษ์พลังงานและเป็นแนวทางในการลดต้นทุนด้านพลังงานสำหรับอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ต่อไป

3.1 ประเมินการใช้พลังงานและการจัดการพลังงานเบื้องต้น

การประเมินการใช้และการจัดการพลังงานเบื้องต้น สามารถทำได้โดยรวบรวมข้อมูลด้านพลังงานของกรณีศึกษา ไม่ว่าจะเป็น นโยบาย การจัดการองค์กร ปริมาณการใช้พลังงาน สัดส่วนการใช้ไฟฟ้า ตลอดจนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในแต่ละเดือน มาใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์การใช้พลังงานและความสามารถในการจัดการพลังงาน ผ่านค่าทางสถิติและกราฟต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงประสิทธ์ภาพ และลดต้นทุนด้านพลังงานต่อไป

โดยจะแบ่งการประเมินออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้คือ

1. สถานะภาพการอนุรักษ์พลังงานของกรณีศึกษา
2. วิเคราะห์การใช้พลังงานของกรณีศึกษา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.1.1 สถานะภาพการอนุรักษ์พลังงานของกรณีศึกษา

การประเมินสถานะภาพการอนุรักษ์พลังงานของกรณีศึกษา ทำได้โดยใช้แบบประเมินการจัดการพลังงานเบื้องต้น (Energy Management Matrix: EMM) [10] ซึ่งจะใช้เทคนิคการเก็บคะแนนประเมินของแต่ละภาคส่วนมาทำการหาค่าเฉลี่ย ในที่นี้เป็นคะแนนที่ได้มาจากคณะทำงานด้านพลังงานของโรงงาน รวมทั้งสิ้น 42 คน เพื่ออธิบายการจัดการพลังงานที่ผ่านมาของกรณีศึกษา

ซึ่งการประเมินสถานะภาพการอนุรักษ์พลังงานของกรณีศึกษา แบ่งได้ 6 หัวข้อคือ

1. นโยบายการจัดการพลังงาน
2. การจัดการองค์กร
3. การกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ
4. ระบบข้อมูลข่าวสาร
5. ประชาสัมพันธ์
6. การลงทุน

อ้างอิงข้อกำหนดคู่มือการพัฒนาและข้อแนะนำในการตรวจประเมินของระบบการจัดการพลังงานของ พพ. โดยกำหนดว่า คือ โรงงานที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าตั้งแต่ 1 MW ขึ้นไป เป็นโรงงานควบคุม ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พรบ.) พศ. 2535 ตามประกาศของกระทรวงพลังงานประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่องหลักเกณฑ์และวิธีการดำเนินการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมและอาคารควบคุม พศ. 2552 [11] เจ้าของโรงงานควบคุมจะต้องประเมินศักยภาพการอนุรักษ์พลังงาน เพื่อใช้เป็นแนวทาง การกำหนดมาตรการอนุรักษ์พลังงานและปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยมีการประเมินเป้าหมายหลักเพื่อการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงานภายในองค์กรเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดอย่างเป็นรูปธรรมและยั่งยืนต่อไป ในที่นี้จะใช้ ตารางประเมินการจัดการพลังงานเบื้องต้น (Energy Management Matrix: EMM) เพื่อให้ทราบสถานะภาพการจัดการพลังงานของพลังงาน

ตารางที่ 3.1 ตารางแสดงระดับคะแนนของตารางประเมินการจัดการพลังงานเบื้องต้น(Energy Management Matrix: EMM)
แบ่งได้เป็น 5 ระดับดังนี้คือ

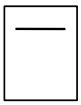
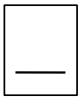
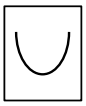
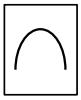
ระดับคะแนน	ความหมาย
4	สูงที่สุด
3	สูงมาก
2	สูง
1	พอใช้
0	ไม่มีเลย

การประเมินจะพิจารณาประเด็นต่างๆ 6 ประเด็นที่มีความสำคัญต่อการจัดการพลังงานภายในองค์กร ได้แก่ นโยบาย การจัดองค์กรการกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ ระบบข้อมูลข่าวสาร ประชาสัมพันธ์และการลงทุน โดยให้คะแนนแต่ละประเด็นระหว่าง 0 ถึง 4 ซึ่งเปรียบเทียบลักษณะจริงที่เกิดในองค์กรกับข้อแนะนำที่ให้ไว้ในตาราง ลักษณะที่ปรากฏเป็นคะแนนระดับ 4 ถือได้ว่าเป็น Best Practices สำหรับประเด็นที่พิจารณานั้นๆ เมื่อให้คะแนนทุกประเด็นแล้ว ให้ลากเส้นตรงเชื่อมต่อจุดเข้าด้วยกัน

ทั้งนี้จะกระจาย Energy Management Matrix ให้คณะกรรมการด้านพลังงาน รวมถึงตัวแทนแต่ละฝ่ายมาเป็นผู้ให้คะแนนประเมินแล้วเฉลี่ยออกมาเป็นสถานะการจัดการพลังงานเบื้องต้นในปัจจุบันของโรงงานตัวอย่าง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 3.2 ตารางแสดงรายละเอียดและการวิเคราะห์สถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นของโรงงาน

ลักษณะเส้น	รายละเอียด	การวิเคราะห์
1. High Balance 	ทุกประเด็นมีคะแนนมากกว่า 3	ระบบการจัดการดีมาก เป้าหมายคือรักษาให้ยั่งยืน
2. Low Balance 	ทุกประเด็นคะแนนน้อยกว่า 3	เป็นอาการของการพัฒนาที่สม่ำเสมอหรือภาวะนิ่งเฉยไม่มีความก้าวหน้า
3. U-Shaped 	2 ประเด็นด้านนอกมีคะแนนสูงกว่าประเด็นอื่นๆ	ความคาดหวังสูง อาจจำเป็นต้องเปลี่ยนผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน
4. N-Shaped 	2 ประเด็นด้านนอกมีคะแนนต่ำกว่าประเด็นอื่นๆ	ความสำเร็จที่บรรลุในประเด็นที่มีคะแนนสูงเป็นการเสียเปล่า
5. Trough	1 ประเด็นมีคะแนนต่ำกว่าประเด็นอื่น	ประเด็นที่ล้าหลังอาจทำให้ระบบไม่ก้าวหน้าเท่าที่ควร
6. Peak	1 ประเด็นมีคะแนนสูงกว่าประเด็นอื่น	ความสำเร็จในประเด็นที่คะแนนสูงสุดจะเป็นการสูญเปล่า
7. Unbalanced	มี 2 ประเด็นหรือมากกว่าที่มีคะแนนสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าเฉลี่ย	ยิ่งมีความไม่สมดุลเท่าไรยิ่งจัดการยาก

ตารางที่ 3.3 ตารางประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษาผ่าน Energy Management matric (EMM)

ตารางที่ 3.3 ตารางประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษาผ่าน Energy Management Matrix (EMM)

(คะแนน)	นโยบายการจัดการพลังงาน	การจัดองค์กร	การกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ	ระบบข้อมูลข่าวสาร	ประชาสัมพันธ์	การลงทุน
สูงที่สุด 4	○ มีนโยบายการจัดการพลังงานเป็นเอกสารและลงนามโดยผู้บริหารระดับสูง มีการเผยแพร่ให้กับพนักงานทราบอย่างทั่วถึง	○ มีคำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานซึ่งลงนามโดยผู้บริหารระดับสูง มีผู้รับผิดชอบในแต่ละมาตรการ และมีการเผยแพร่ให้พนักงานทราบอย่างทั่วถึง	○ มีแผนการอบรมเชิงปฏิบัติหรือกิจกรรมที่ชัดเจนซึ่งจัดทำขึ้นโดยคณะทำงานฯ โดยความเห็นชอบของผู้บริหาร	○ มีการจัดทำระบบเกี่ยวกับการใช้พลังงานและการประหยัดพลังงานระหว่างผู้บริหารกับพนักงาน	○ กำหนดให้การเผยแพร่โครงการอนุรักษ์พลังงานเป็นส่วนหนึ่งของแผนการประชาสัมพันธ์ขององค์กร	○ มีการจัดสรรงบประมาณประจำปีเพื่อเป็นค่าใช้จ่ายในการลงทุน
สูงมาก 3	○ มีนโยบายฯ ที่ชัดเจนโดยจัดเป็นเอกสาร แต่ไม่ได้ลงนามและไม่ได้รับการสนับสนุนจากผู้บริหาร มีการเผยแพร่นโยบายฯ แต่พนักงานรับทราบไม่ทั่วถึง	○ มีคำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานแต่ขอบเขตไม่ชัดเจน มีการเผยแพร่คำสั่งแต่งตั้งฯ แต่พนักงานรับทราบไม่ทั่วถึง	○ ไม่มีการกำหนดแผนการอบรมฯ หรือกิจกรรมอย่างชัดเจน โดยให้คณะทำงานฯ เป็นช่องทางหลักในการดำเนินการกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจให้แก่พนักงาน	○ ไม่มีระบบการจัดเก็บข้อมูลและการสื่อสารข้อมูลที่ชัดเจน โดยให้คณะทำงานฯ เป็นช่องทางหลักในการสื่อสารข้อมูลต่างๆ	○ มีการเผยแพร่ข้อมูลการอนุรักษ์พลังงานแก่พนักงานบางระดับอย่างสม่ำเสมอ เฉพาะในบางกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานโดยตรง	○ พิจารณาการลงทุนในมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ให้ผลตอบแทนการลงทุนสูง
สูง 2	○ มีการจัดทำนโยบายฯ เป็นเอกสาร แต่ไม่ได้มีการลงนามและการสนับสนุนจากผู้บริหาร และไม่มีการเผยแพร่นโยบายฯ ให้พนักงานทราบ	○ ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานทำหน้าที่ในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานและรายงานผลต่อคณะกรรมการ/คณะทำงานด้านการอนุรักษ์พลังงาน	○ คณะกรรมการ/คณะทำงานด้านการอนุรักษ์พลังงานเป็นผู้ดำเนินการเป็นครั้งคราว	○ คณะกรรมการเฉพาะกิจทำหน้าที่ในการสื่อสารข้อมูลและประเมินผลการสื่อสารดังกล่าวเป็นครั้งคราว	○ มีการเผยแพร่ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานและการประหยัดพลังงานให้กับพนักงานเป็นครั้งคราว	○ พิจารณาการลงทุนในมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีระยะเวลาคืนทุนเร็ว
พอใช้ 1	○ มีนโยบายฯ แต่ไม่ได้จัดทำเป็นเอกสาร	○ ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานเป็นผู้ดำเนินการและรายงานต่อผู้บริหารโดยตรง	○ มีการติดต่ออย่างไม่เป็นทางการโดยวิศวกรเป็นผู้ให้ข้อมูลการใช้และการประหยัดพลังงานกับผู้ใช้พลังงานโดยตรง	○ มีการจัดทำสรุปรายงานการใช้พลังงานและการประหยัดพลังงานอย่างไม่เป็นทางการ	○ มีการแจ้งให้พนักงานทราบข้อมูลอย่างไม่เป็นทางการ	○ พิจารณาการลงทุนในมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีรลงทุนต่ำ
ไม่มี 0	○ ไม่มีการกำหนดนโยบายฯ และแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจน	○ ไม่มีการแต่งตั้งผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน	○ ไม่มีการติดต่อหรือการให้ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้และการประหยัดพลังงานให้กับผู้ใช้พลังงาน	○ ไม่มีระบบรวบรวมและจัดเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงาน	○ ไม่มีการประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานและการจัดการพลังงาน	○ ไม่มีการลงทุนใดๆ ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

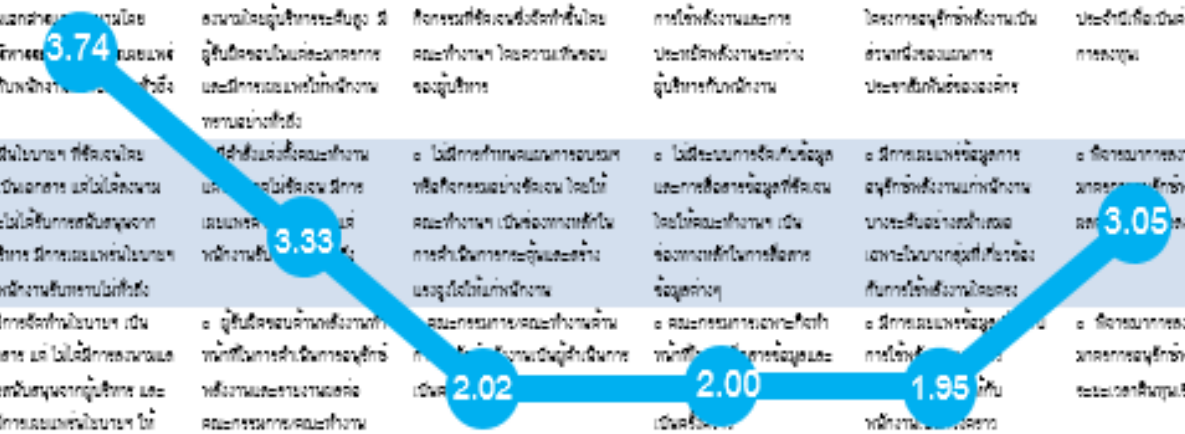
ตารางที่ 3.4 ตารางแสดงคะแนนที่ได้จากคณะกรรมการด้านพลังงาน รวมถึงตัวแทนแต่ละฝ่ายผ่านการประเมิน EMM ทั้ง 6 ด้าน ดังนี้

ลำดับ	คณะกรรมการด้านการจัดการจัดการพลังงาน	นโยบายการจัดการพลังงาน					
		นโยบายการ	การจัดองค์กร	สร้างแรงจูงใจ	ระบบข้อมูล	ประชาสัมพันธ์	การลงทุน
1	AME-1	4	3	2	2	2	2
2	AME-2	4	4	1	3	1	3
3	BE MANUFACTURING-1	4	4	3	1	2	2
4	BE MANUFACTURING-2	3	4	2	3	1	3
5	CR MANUFACTURING-1	3	2	1	1	3	4
6	CR MANUFACTURING-2	4	3	2	3	3	4
7	FACILITIES-1	4	2	1	1	2	4
8	FACILITIES-2	4	4	2	1	2	3
9	FACILITY-1	4	4	2	2	1	3
10	FACILITY-2	3	4	3	1	2	3
11	FINANCE-1	3	4	2	3	2	4
12	FINANCE-2	4	3	2	2	4	4
13	HUMAN RESOURCES-1	3	3	1	1	2	3
14	HUMAN RESOURCES-2	3	4	3	2	2	3
15	INDUSTRIAL ENGINEERING-1	4	4	1	1	2	4
16	INDUSTRIAL ENGINEERING-2	4	4	1	2	1	4
17	INFORMATION TECHNOLOGY-1	3	3	2	2	2	2
18	INFORMATION TECHNOLOGY-2	4	2	3	3	1	4
19	LOGISTICS-1	4	3	1	2	1	3
20	LOGISTICS-2	4	2	3	2	3	4
21	MATERIAL PROCUREMENT-1	4	3	2	1	1	3
22	MATERIAL PROCUREMENT-2	4	3	3	3	2	3
23	ORDER ADMINISTRATION-1	4	4	1	1	1	3
24	ORDER ADMINISTRATION-2	3	4	2	1	4	3
25	PROCESS ENGINEERING-1	3	3	2	1	1	3
26	PROCESS ENGINEERING-2	4	2	1	1	3	3
27	PRODUCT ENGINEERING-1	4	4	3	3	1	2
28	PRODUCT ENGINEERING-2	4	4	2	3	2	3
29	PRODUCTION CONTROL-1	3	4	2	2	3	3
30	PRODUCTION CONTROL-2	4	3	3	2	2	3
31	QUALITY ASSURANCE-1	4	3	3	3	2	3
32	QUALITY ASSURANCE-2	4	3	2	3	4	2
33	QUALITY CONTROL-1	3	4	3	2	2	3
34	QUALITY CONTROL-2	4	4	2	2	1	2
35	RELIABILITY-1	4	2	2	3	1	3
36	RELIABILITY-2	4	3	3	3	1	2
37	SUPPLIER QUALITY ENGINEER-1	4	4	2	2	2	3
38	SUPPLIER QUALITY ENGINEER-2	4	4	3	3	1	3
39	TEST EQUIPMENT-1	4	2	2	3	1	3
40	TEST EQUIPMENT-2	4	4	1	1	4	3
41	TOOLING ENGINEERING-1	4	3	2	2	1	3
42	TOOLING ENGINEERING-2	4	4	1	1	3	3
ค่าเฉลี่ย		**3.74**	**3.33**	**2.02**	**2.00**	**1.95**	**3.05**

ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงผลการประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษาผ่าน (EMM)

ตารางที่ 3.5 ตารางแสดงผลการประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา ผ่าน (EMM)

ระดับการปฏิบัติ (คะแนน)	นโยบายการจัดการพลังงาน	การจัดองค์กร	การกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ	ระบบข้อมูลข่าวสาร	ประชาสัมพันธ์	การลงทุน
สูงที่สุด 4	๐ มีนโยบายการจัดการพลังงานเป็นเอกสาร โดยผู้บริหารระดับสูงให้กับพนักงาน	๐ มีคำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานอย่างเป็นทางการ โดยผู้บริหารระดับสูง มีการมอบหมายหน้าที่ความรับผิดชอบให้กับพนักงานอย่างชัดเจน	๐ มีแนวทางการประเมินผลการปฏิบัติงานที่ชัดเจน มีการกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจให้กับพนักงานอย่างสม่ำเสมอ	๐ มีการจัดทำระบบเกี่ยวกับการใช้พลังงานและการประหยัดพลังงานระหว่างผู้บริหารกับพนักงาน	๐ กำหนดให้การประชาสัมพันธ์ให้ความรู้เกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานเป็นส่วนหนึ่งของแผนการประชาสัมพันธ์ขององค์กร	๐ มีการจัดสรรงบประมาณประจำปีเพื่อเป็นค่าใช้จ่ายในการลงทุน
ค่อนข้างสูง 3	๐ มีนโยบายการจัดการพลังงานที่ชัดเจนเป็นเอกสาร แต่ไม่ได้รับการยอมรับจากผู้บริหาร มีการประกาศนโยบายการจัดการพลังงานแต่พนักงานรับทราบไม่ทั่วถึง	๐ มีคำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานอย่างเป็นทางการ แต่ไม่ชัดเจน มีการมอบหมายหน้าที่ความรับผิดชอบแต่พนักงานรับทราบไม่ทั่วถึง	๐ ไม่มีการกำหนดแนวทางการประเมินผลการปฏิบัติงานที่ชัดเจน ไม่ได้ให้คณะทำงานฯ เป็นช่องทางหลักในการดำเนินการกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจให้แก่พนักงาน	๐ ไม่มีระบบการจัดเก็บข้อมูลและการสื่อสารข้อมูลที่ชัดเจน ไม่ได้ให้คณะทำงานฯ เป็นช่องทางหลักในการสื่อสารข้อมูลต่างๆ	๐ มีการประชาสัมพันธ์ข้อมูลการอนุรักษ์พลังงานแก่พนักงานบางระดับอย่างสม่ำเสมอ เฉพาะในบางกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานโดยตรง	๐ มีการลงทุนในมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ให้ผลตอบแทนสูง
ปานกลาง 2	๐ มีการจัดทำนโยบายฯ เป็นเอกสาร แต่ไม่มีการลงนามและการยอมรับจากผู้บริหาร และไม่มีการประกาศนโยบายฯ ให้พนักงานทราบ	๐ ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานทำหน้าที่ในการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานและรายงานต่อคณะกรรมการ/คณะทำงานด้านการอนุรักษ์พลังงาน	๐ คณะกรรมการ/คณะทำงานด้านการดำเนินการ	๐ คณะกรรมการเฉพาะที่ทำหน้าที่ในการจัดการข้อมูลและเป็นผู้ดำเนินการ	๐ มีการประชาสัมพันธ์ข้อมูลการใช้พลังงานให้กับพนักงานในวงกว้าง	๐ มีการลงทุนในมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้น
พอใช้ 1	๐ มีนโยบายฯ แต่ไม่ได้จัดทำเป็นเอกสาร	๐ ผู้รับผิดชอบด้านพลังงานเป็นผู้ดำเนินการและรายงานต่อผู้บริหารโดยตรง	๐ มีการสื่อสารอย่างไม่เป็นทางการโดยวิศวกรเป็นผู้ให้ข้อมูลการใช้และการประหยัดพลังงานกับผู้ใช้พลังงานโดยตรง	๐ มีการจัดทำสรุปรายงานการใช้พลังงานและการประหยัดพลังงานอย่างไม่เป็นทางการ	๐ มีการแจ้งให้พนักงานทราบข้อมูลอย่างไม่เป็นทางการ	๐ มีการลงทุนในมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่มีการลงทุนต่ำ
ไม่มี 0	๐ ไม่มีการกำหนดนโยบายฯ และแนวทางปฏิบัติที่ชัดเจน	๐ ไม่มีการแต่งตั้งผู้รับผิดชอบด้านพลังงาน	๐ ไม่มีการสื่อสารหรือการให้ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้และการประหยัดพลังงานให้กับผู้ใช้พลังงาน	๐ ไม่มีระบบบริหารและจัดเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงาน	๐ ไม่มีการประชาสัมพันธ์เกี่ยวกับการดำเนินการอนุรักษ์พลังงานและการจัดการพลังงาน	๐ ไม่มีการลงทุนใดๆ ในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงาน



จากตารางแสดงผลการประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา ผ่าน EMM พบว่าผลการประเมินที่ได้มีลักษะเป็น U-shaped กล่าวคือ ในด้านนโยบายการจัดการพลังงานและการลงทุนค่อนข้างจะได้รับการสนับสนุนที่ดีจากผู้บริหาร แต่ในส่วนของการจัดองค์กร การกระตุ้น การสร้างแรงจูงใจ การจัดทำระบบข้อมูลข่าวสาร และการประชาสัมพันธ์ยังต้องการ การปรับปรุง และการพัฒนาอีกมาก

ด้านนโยบาย ผู้บริหารให้ความสนใจที่จะลดต้นทุนด้านการอนุรักษ์พลังงาน และพร้อมสนับสนุนอย่างเต็มที่ แต่ยังไม่ทราบรูปแบบ และ วิธีการดำเนินการที่ชัดเจนนักจากคณะกรรมการด้านการจัดการพลังงาน

ด้านการจัดองค์กร จากผลการประเมิน โรงงานมีคำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานที่ชัดเจน ครบถ้วน มีการเผยแพร่คำสั่งแต่งตั้งฯ แต่พนักงานยังรับทราบไม่ทั่วถึง อีกทั้งคณะกรรมการบางส่วนยังไม่ทราบขอบเขตที่ชัดเจนของนโยบาย อำนาจหน้าที่ความรับผิดชอบ ซึ่งการอนุรักษ์พลังงานส่วนใหญ่จะเป็นฝ่ายวิศวกรที่ดำเนินการ เท่านั้น

ด้านการกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ คณะกรรมการ/คณะทำงานด้านการอนุรักษ์พลังงานเป็นผู้ดำเนินการเป็นครั้งคราว มีการประชุมระหว่างวิศวกร คณะทำงานและผู้ใช้พลังงานแต่ก็อาจจะมีประสบปัญหา ในการติดต่อประสานงาน ซึ่งอาจจะเกิดการไม่ได้รับความร่วมมือจากผู้เกี่ยวข้องบางส่วน ซึ่งควรจะต้องมีระบบในการดำเนินงานและให้ อำนาจกับผู้ที่ดำเนินการด้านพลังงาน

ระบบข้อมูลข่าวสาร คณะกรรมการเป็นผู้ทำหน้าที่ในการสื่อสารข้อมูลให้กับพนักงานและหน่วยงานที่เกี่ยวคล่องโดยมีการประเมินผลการสื่อสารดังกล่าวเป็นครั้งคราว

ด้านการประชาสัมพันธ์ มีการเผยแพรข้อมูลเกี่ยวกับการใช้พลังงานและการประหยัดพลังงานให้กับพนักงานเป็นครั้งคราว แต่ยังไม่มีประชาสัมพันธ์ใดๆ ที่ชัดเจนเป็นรูปธรรม ทั้งนี้การประชาสัมพันธ์ ถือเป็นเรื่องที่สำคัญที่จะทำให้เกิดวัฒนธรรมที่ดีในการอนุรักษ์พลังงาน รวมถึงจะได้รับความร่วมมือจากทุกฝ่าย เพื่อให้เกิดการตื่นตัวทั่วทั้งองค์กร

ด้านการลงทุน พิจารณาการลงทุนในมาตรการอนุรักษ์พลังงานที่ให้ผลตอบแทนการลงทุนสูงหรือเป็นโครงการที่ใช้ทุนต่ำ สามารถทำได้ทันที หากเป็นโครงการใหญ่ ทางทีมบริหารจะพิจารณาระยะเวลาคืนทุน(Payback Period), อัตราผลตอบแทนทางการเงิน (Internal Rate of Return - IRR), มูลค่าโครงการ ร่วมด้วย

3.1.2 วิเคราะห์การใช้พลังงานของกรณีศึกษา

ในการดำเนินการวิเคราะห์การใช้พลังงานของกรณีศึกษาจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบข้อมูลพื้นฐานของการใช้พลังงาน ไม่ว่าจะเป็นค่าดัชนีชี้วัดต่างๆ ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานกับ

ปริมาณผลผลิต ต้นทุนพลังงานในแต่ละเดือน รวมไปถึงแบบจำลองการใช้พลังงานเพื่อพยากรณ์ปริมาณการใช้พลังงานที่ควรจะเป็นในอนาคต ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินการจัดการพลังงาน การปรับปรุง หรือเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เพื่อให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลยิ่งขึ้น

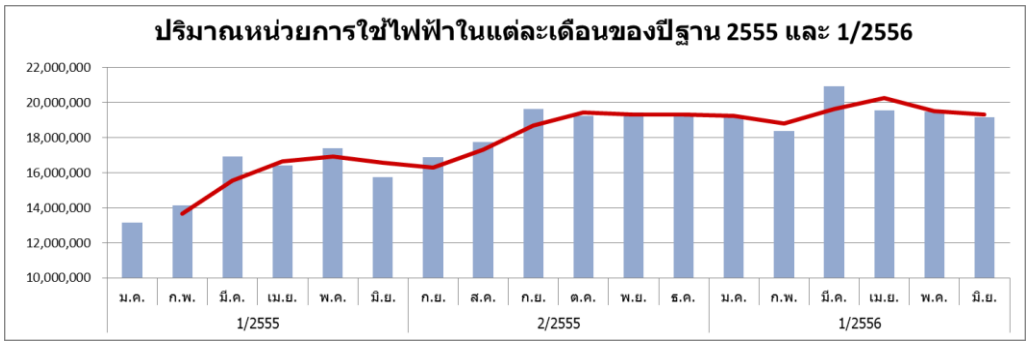
ข้อมูลพื้นฐานเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การใช้พลังงานของกรณีศึกษา

1. ปริมาณหน่วยการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือน (kWh)
2. ค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือน (บาท)
3. สัดส่วนการใช้พลังงานของแต่ละระบบ
4. ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption ; SEC)
5. ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (Energy Cost per unit: บาท/หน่วย)

3.1.2.1 ปริมาณหน่วยการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือน (kWh) ตั้งแต่ มกราคม พ.ศ. 2555 – มิถุนายน พ.ศ.2556

ตารางที่ 3.6 ตารางแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้าของโรงงานกรณีศึกษาตั้งแต่ มกราคม พ.ศ. 2555 – มิถุนายน พ.ศ.2556

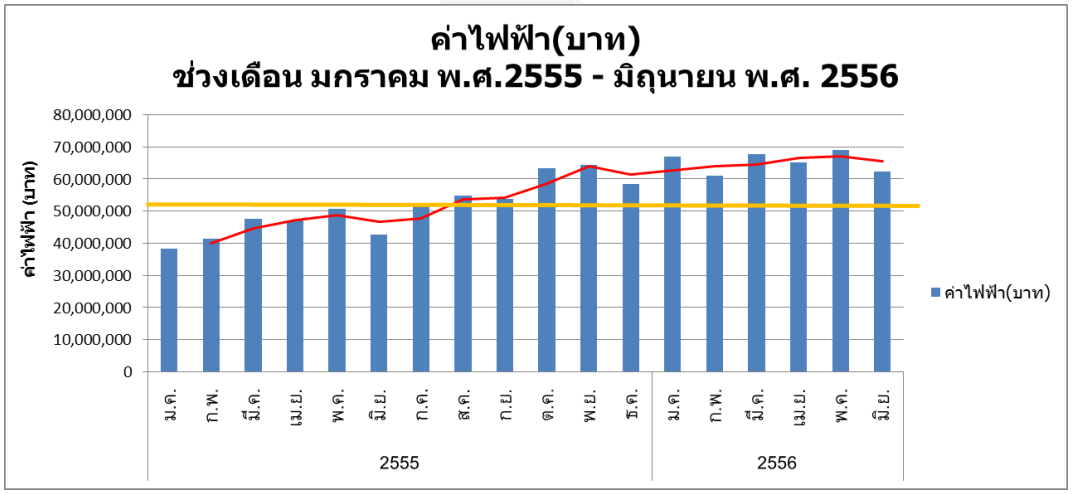
ปี	เดือน	ปริมาณไฟฟ้า(kWh)
1/2555	ม.ค.	13157600
	ก.พ.	14140400
	มี.ค.	16899416
	เม.ย.	16396800
	พ.ค.	17403578
	มิ.ย.	15727763
2/2555	ก.ย.	16855303
	ส.ค.	17747655
	ก.ย.	19636954
	ต.ค.	19225023
	พ.ย.	19415910
	ธ.ค.	1923549
1/2556	ม.ค.	19258368
	ก.พ.	18356408
	มี.ค.	20735505
	เม.ย.	18082793
	พ.ค.	16616961
	มิ.ย.	16863524



รูปที่ 3.1 กราฟแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) ในแต่ละเดือนของปีฐาน (Baseline) ระหว่าง มกราคม พ.ศ.2555 – มิถุนายน พ.ศ.2556

3.1.2.2 ค่าไฟฟ้าในแต่ละเดือน

จากการศึกษาแนวโน้มค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของโรงงานแห่งนี้พบว่า ค่าไฟฟ้ามีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง

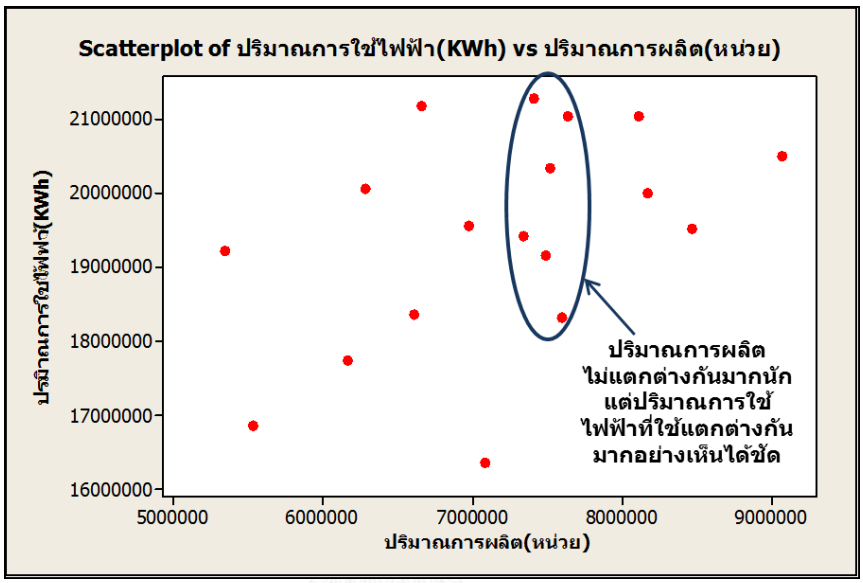


รูปที่ 3.2 กราฟแสดงค่าไฟฟ้า (บาท) ในแต่ละเดือนของปีฐาน (Baseline) ระหว่าง มกราคม พ.ศ. 2555 – มิถุนายน พ.ศ.2556

จากกราฟข้างต้นแสดงให้เห็นว่าค่าไฟฟ้าย้อนหลังของโรงงานดังกล่าว ในช่วงเดือน

มกราคม พ.ศ. 2555 – มิถุนายน พ.ศ. 2556 มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นแต่เนื่องด้วยค่าไฟฟ้ามีอีกหลายเหตุปัจจัยที่สามารถทำให้ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้เพิ่มสูงขึ้นได้

เพื่อให้เห็นภาพการใช้พลังงานของกรณีศึกษาที่ชัดเจนยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงนำปริมาณการผลิตและปริมาณการใช้ไฟฟ้าในช่วงเวลาดังกล่าว มาหาความสัมพันธ์ผ่านการสร้างแผนภาพการกระจายหรือ Scatter plot



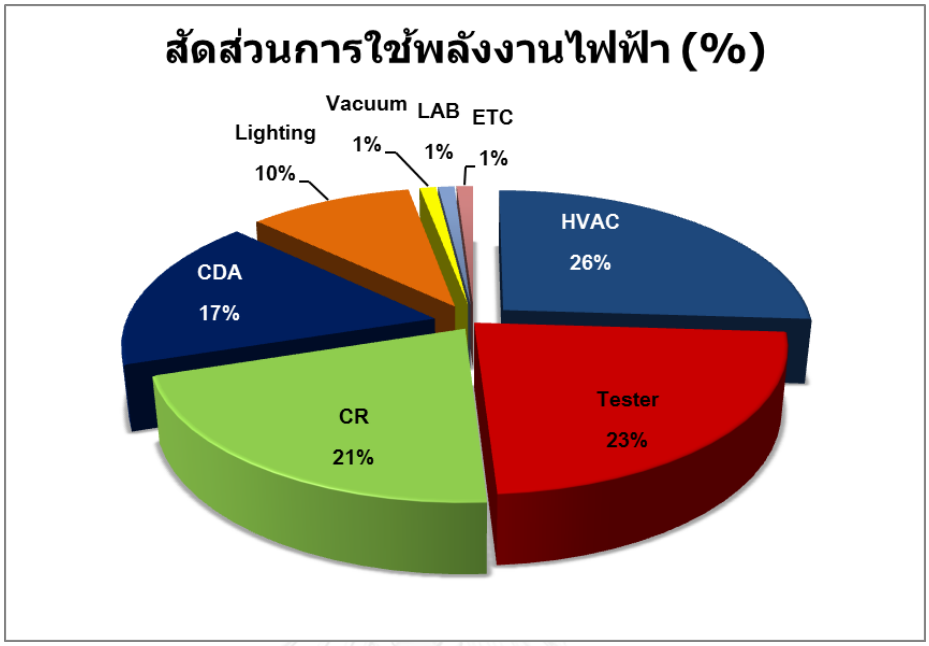
รูปที่ 3.3 แผนภาพการกระจายหรือ Scatter plot ระหว่างปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) เทียบกับปริมาณการผลิต (หน่วย)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หลายๆจุดบนแผนภาพการกระจายแสดงให้เห็นถึงความไม่สอดคล้องกันของการใช้พลังงานเทียบกับปริมาณการผลิต ซึ่งในส่วนนี้เป็นส่วนที่เราต้องวิเคราะห์หาสาเหตุว่าเพราะเหตุใดถึงมีการใช้พลังงานแตกต่างกันทั้งที่มีการผลิตใกล้เคียงกัน หรือยังมีปัจจัยอื่นใดอีกบ้างที่ยังไม่ได้รับการควบคุม จากนั้นจัดหามาตรการที่เหมาะสมในการปรับปรุงและแก้ไขปัญหาด้านพลังงานของกรณีศึกษาต่อไป [12]

3.1.2.3 สัดส่วนการใช้พลังงานของแต่ละระบบ

เมื่อทราบปริมาณการใช้พลังงานของกรณีศึกษา สามารถแบ่งการใช้พลังงานไฟฟ้าในแต่ละระบบ ซึ่งจะเห็นว่าการการใช้พลังงานส่วนใหญ่ของกรณีศึกษาจะอยู่ที่ ระบบความร้อนความเย็นและระบบระบายอากาศ(26%) ระบบทดสอบฮาร์ดดิสก์(23%) กระบวนการผลิตในห้องสะอาด(21%) ระบบอัดอากาศ(17%) และระบบแสงสว่าง(10%) ตามลำดับ



รูปที่ 3.4 กราฟวงกลมแสดงสัดส่วนการใช้พลังงานของกรณีศึกษา แยกตามระบบต่างๆ (ข้อมูลตั้งของ 2555)

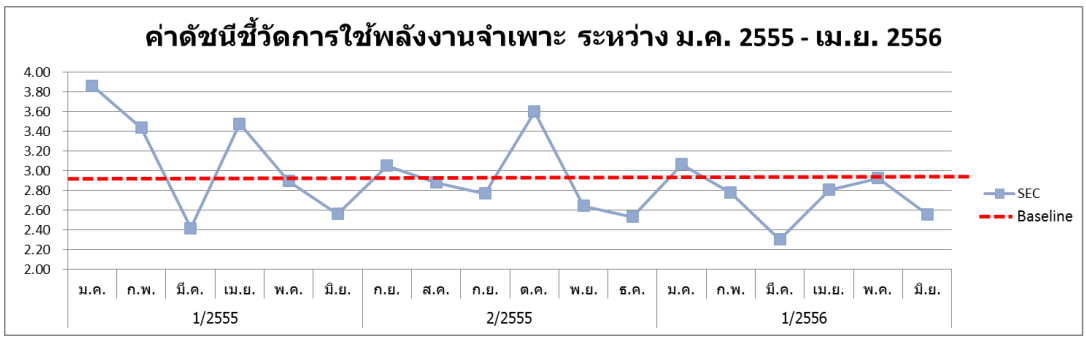
3.1.2.4 ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption ; SEC)

ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption ; SEC) เป็นอีกหนึ่งดัชนีสำคัญที่ใช้ในการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 3.7 ตารางแสดงค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ(SEC)ของโรงงานกรณีศึกษาระหว่าง มกราคม พ.ศ. 2555 – มิถุนายน พ.ศ.2556

ปี	เดือน	SEC
1/2555	ม.ค.	3.86
	ก.พ.	3.43
	มี.ค.	2.41
	เม.ย.	3.47
	พ.ค.	2.89
	มิ.ย.	2.56
2/2555	ก.ย.	3.05
	ส.ค.	2.88
	ก.ย.	2.77
	ต.ค.	3.59
	พ.ย.	2.64
	ธ.ค.	2.53
1/2556	ม.ค.	3.06
	ก.พ.	2.77
	มี.ค.	2.28
	เม.ย.	2.59
	พ.ค.	2.49
	มิ.ย.	2.25

จากตารางที่ 3.7 จะเห็นว่าการผลิตฮาร์ดดิสก์ 1 ตัวมีการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นหรือไม่เมื่อเทียบกับ $SEC_{Baseline}$ ที่ผ่านมาหรือเปรียบเทียบกับ Benchmarking ของอุตสาหกรรมที่มีการประกอบธุรกิจในแบบเดียวกัน

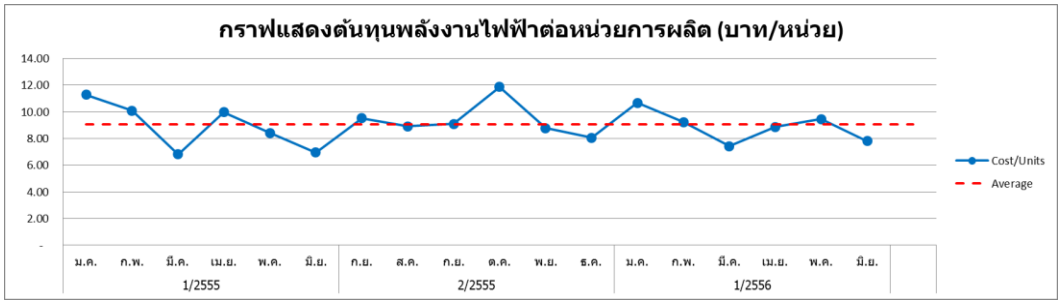


รูปที่ 3.5 กราฟแสดงค่า SEC ระหว่าง มกราคม พ.ศ.2555 – มิถุนายน พ.ศ.2556 เทียบกับค่าเฉลี่ย SEC ในช่วงเวลาเดียวกัน

จากตารางที่ 3.7 และรูปที่ 3.5 แสดงค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะของโรงงานกรณีศึกษาเทียบกับค่าเฉลี่ยในช่วงมกราคม พ.ศ.2555 - มิถุนายน พ.ศ.2556 เมื่อเปรียบเทียบค่า $SEC_{เฉลี่ย}$ ระหว่างปี 2555 และ ครึ่งปีแรกของปี 2556 พบว่า ปี 2555 มีค่า SEC เฉลี่ยสูงกว่าปี 2556 อยู่ประมาณ 0.27 โดยค่า SEC ที่มากสุดคือ 3.86 ในเดือนมกราคม พ.ศ.2555 และค่า SEC ที่น้อยที่สุดคือ 2.30 ในเดือนมีนาคม พ.ศ.2556

3.1.2.5 ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิต

เมื่อทำการเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตของกรณีศึกษา พบว่ามีแนวโน้มค่อนข้างสอดคล้องกับค่า SEC โดนมีค่าต้นทุนพลังงานต่อหน่วยสูงที่สุดอยู่ที่ 11.86 บาท/หน่วย ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2555 และ มีค่าต้นทุนพลังงานต่อหน่วยต่ำที่สุดอยู่ที่ มีนาคม พ.ศ. 2555 ดังรูปที่ 3.6 (ขยายตัวอักษรทั้งแกน x และ Y)



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงค่าต้นทุนพลังงานต่อหน่วยการผลิต ระหว่าง มกราคม พ.ศ.2555 – มิถุนายน พ.ศ.2556 เทียบกับค่าเฉลี่ยต้นทุนพลังงานต่อหน่วยในช่วงเวลาเดียวกัน

ตารางที่ 3.8 ตารางแสดงต้นทุนพลังงานต่อหน่วย (บาท/หน่วย) ของโรงงานกรณีศึกษาระหว่าง มกราคม พ.ศ. 2555 – มิถุนายน พ.ศ.2556

ปี	เดือน	Cost/Units
1/2555	ม.ค.	11.26
	ก.พ.	10.07
	มี.ค.	6.81
	เม.ย.	9.96
	พ.ค.	8.42
	มิ.ย.	6.94
2/2555	ก.ย.	9.51
	ส.ค.	8.90
	ก.ย.	9.08
	ต.ค.	11.86
	พ.ย.	8.77
	ธ.ค.	8.06
1/2556	ม.ค.	10.66
	ก.พ.	9.22
	มี.ค.	7.41
	เม.ย.	8.62
	พ.ค.	8.84
	มิ.ย.	7.32

แบบจำลองและสมการสำหรับพยากรณ์การใช้พลังงาน

เพื่อให้สามารถพยากรณ์ปริมาณพลังงานที่จะต้องใช้ในการผลิตฮาร์ดดิสก์จำนวนหนึ่งๆ Regression Analysis จึงเป็นเครื่องมือทางสถิติที่ถูกหยิบขึ้นมาใช้วิเคราะห์ผ่านโปรแกรม Minitab V.16 เพื่อสร้างแบบจำลองในการคาดคะเนพลังงานที่จะต้องใช้ในการผลิตฮาร์ดดิสก์ โดยการวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบกระจายตัว (XY scatter) พร้อมกับการวิเคราะห์สหสัมพันธ์และการถดถอย เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์และเป็นที่นิยมในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ [13]

อีกทั้งยังช่วยในการตรวจติดตามการใช้พลังงานของโรงงานผลของแบบจำลองที่ได้จากการวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) ระหว่างพลังงานที่ใช้ (kWh) กับปริมาณผลผลิตฮาร์ดดิสก์ที่ได้ (Unit)[14]

Regression Analysis: Energy(kWh) versus Product (unit)

The regression equation is
Energy(kWh) = 9766648 + 1.29 Product(unit)

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	9766648	1327845	7.36	0.000
Product	1.2927	0.2061	6.27	0.000

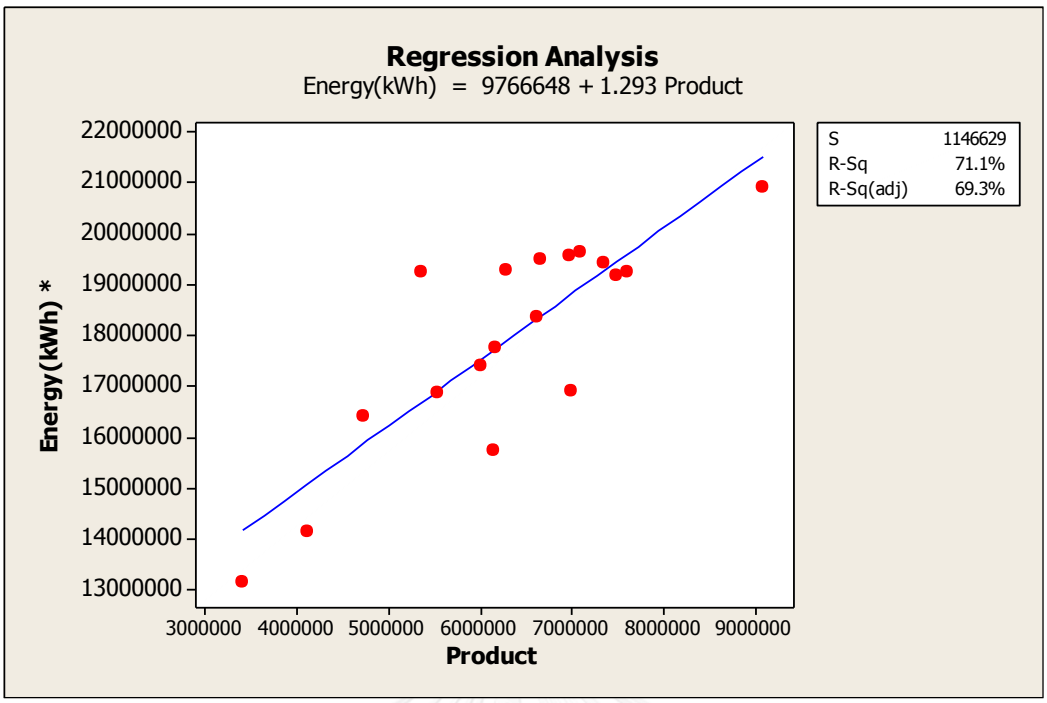
S = 1146629 R-Sq = 71.1% R-Sq(adj) = 69.3%

รูปที่ 3.7 แสดงการวิเคราะห์ความถดถอย (Regression Analysis) ระหว่างการใช้พลังงาน (kWh) เทียบกับปริมาณการผลิต (หน่วย)

จากการสร้างแบบจำลอง ทำให้ได้สมการที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานและผลผลิต ดังนี้คือ Energy(kWh) = 9,766,648 + 1.293 Product
ภายใต้ R-Sq. = 71.1% และ R-Sq. (adj) = 69.3%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

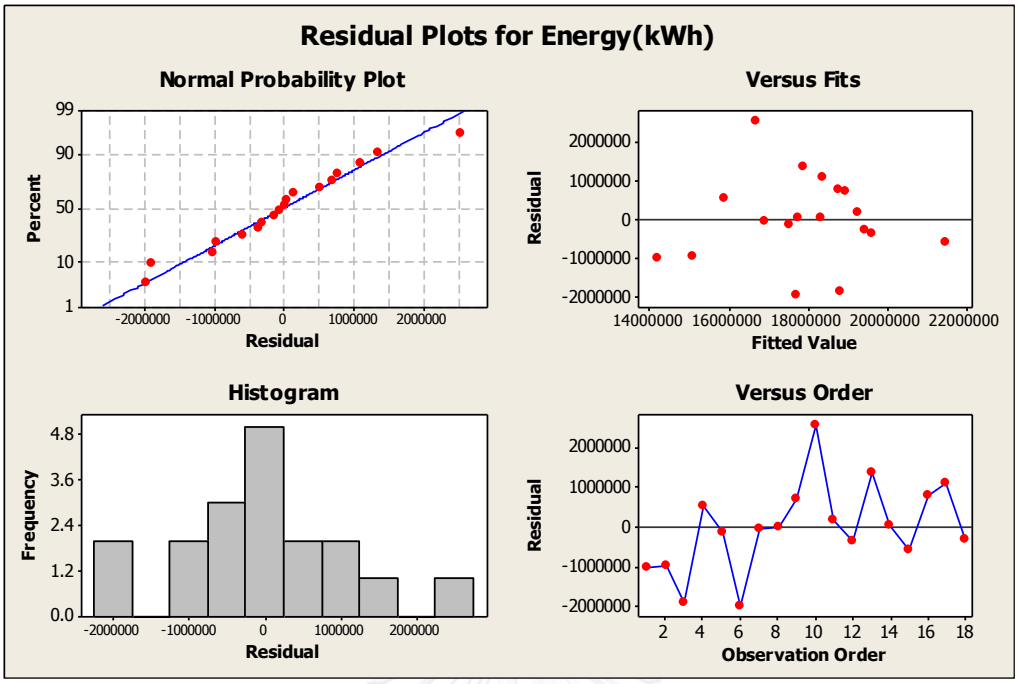
สมการนี้อยู่ในรูปแบบของสมการเส้นตรง *คือ* $y = mx + C$เมื่อ
Y : ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ (กิโลวัตต์ – ชั่วโมง) หรือ Energy(kWh)
X : ปริมาณผลผลิตรายเดือน (หน่วย) หรือ Product (unit)
M : ความชันของเส้นตรง (พลังงานที่ต้องใช้เมื่อทำการผลิตหนึ่งหน่วย หรือ productive dependent energy consumption: PEC)[15]



รูปที่ 3.8 แสดงกราฟเส้นความถดถอย (Regression Analysis) ระหว่างการใช้พลังงาน (kWh) เทียบกับปริมาณการผลิต (หน่วย)

จากสมการจะเห็นว่า ปริมาณพลังงานที่ใช้ในส่วนที่ไม่ขึ้นตรงกับปริมาณการผลิต ไม่ว่าจะเป็นระบบแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ รวมถึงพลังงานที่สูญเสียโดยไม่จำเป็น เช่น การรั่วไหลในระบบอัดอากาศ , การเปิดเครื่องปรับอากาศ หรือหลอดไฟในช่วงที่ไม่มีการใช้งาน การเดินเครื่องจักรหรือเครื่องทดสอบฮาร์ดดิสก์ตัวเปล่า ฯลฯ มีค่าสูงถึง 9.7 ล้านกิโลวัตต์ชั่วโมง/เดือน

Residual Plots แสดงการให้เห็นว่าข้อมูลด้านพลังงานชุดนี้มีการกระจายตัวแบบปกติ



รูปที่ 3.9 แสดง Residual Plots ของการใช้พลังงาน (kWh) ของโรงงานกรณีศึกษา

จากสมการข้างต้นที่ได้จากแบบจำลอง สามารถนำมาใช้คาดการปริมาณการใช้พลังงานของกรณีศึกษาได้

การนำสมการที่ได้ไปวิเคราะห์เพื่อคาดการการใช้พลังงานของกรณีศึกษาจะใช้เทคนิค Cumulative Sum Chart (CUSUM Chart) คือหาค่าพลังงานไฟฟ้าที่ควรจะเป็นสำหรับจำนวนการผลิต เพื่อใช้ดูพฤติกรรมการใช้พลังงานที่ผ่านมาและเป็นค่าอ้างอิงสำหรับพยากรณ์อนาคตของการใช้พลังงานว่าเป็นไปตามเป้าหมายที่ควรจะเป็นหรือไม่ [16]

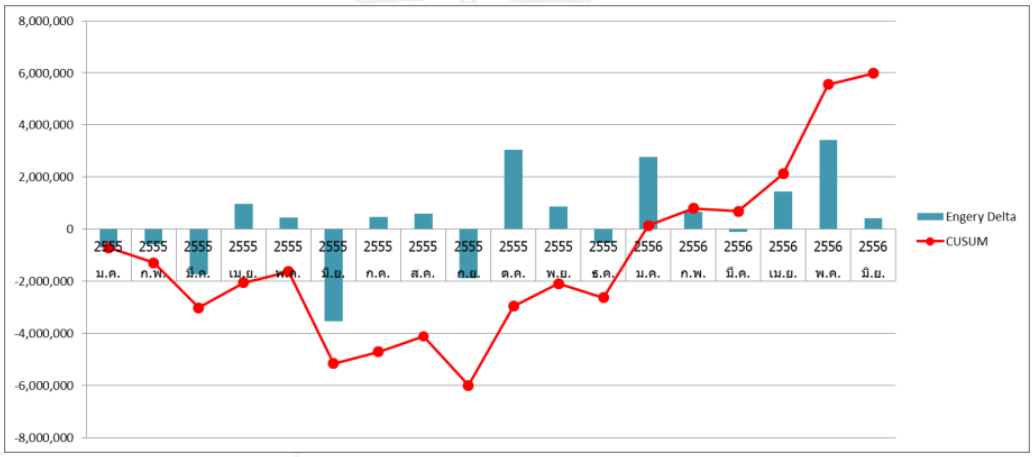
โดยนำหลักการ CUSUM (Cumulative sum of different) มาสร้างกราฟสำหรับระบุการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต กราฟ CUSUM จะสามารถตรวจพบความผิดปกติที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตได้อย่างรวดเร็ว [17]

ถือเป็นพื้นฐานในการกำหนดและคาดการณ์การใช้พลังงานเพื่อการควบคุมระดับการใช้พลังงานในปัจจุบันให้เป็นไปตามค่าที่ควรจะเป็นและเหมาะสม รวมไปถึงใช้ในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการทำงานหรือกระบวนการผลิตเดิมที่มีอยู่ให้ดีขึ้นและมีต้นทุนการใช้พลังงานที่ลดลง[18]

ซึ่งค่าผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าฐานจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานดังสมการ

ผลต่างการใช้พลังงาน = ค่าการใช้พลังงานจริง – ค่าการใช้พลังงานที่คาดว่าจะเป็น

หากค่าที่ได้จากการนำผลต่างมารวมกันเป็นบวก หมายความว่าค่าการใช้พลังงานจริงสูงเกินกว่าค่าพลังงานที่ควรจะเป็น ในทางตรงกันข้ามถ้าค่าผลรวมมีค่าเป็นลบ หมายถึงโรงงานมีการการใช้พลังงานจริงต่ำกว่าค่าคาดหมายที่ได้จากสมการ การตรวจติดตามการใช้พลังงาน (energy monitoring) เช่นนี้ ถือเป็นเทคนิคในการบริหารจัดการพลังงานเบื้องต้น โดยอาศัยข้อมูลการใช้พลังงานของโรงงานเพื่อควบคุมระดับการใช้พลังงานให้เป็นไปตามความเหมาะสม[19]



รูปที่ 3.10 แสดงผลต่างระหว่างค่าการใช้พลังงานจริงและค่าการใช้พลังงานที่ควรจะเป็นเมื่อผลิตผลิตภัณฑ์ในจำนวนหนึ่งๆ ระหว่างเดือน ม.ค. พ.ศ. 2555 – มิ.ย. พ.ศ.2556

ซึ่งจากกราฟ CUSUM ข้างต้นทำให้เห็นถึงความเปลี่ยนแปลงในช่วงต้นปี 2556 กล่าวคือโรงงานเริ่มมีการใช้พลังงานสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เส้นกราฟเปลี่ยนจากลบขึ้นไปเป็นบวกอย่างต่อเนื่องหลังจากเดือนธันวาคม 2555

Chulalongkorn University

3.2 ทบทวนและกำหนดเป้าหมายในการลดต้นทุนพลังงาน

เป้าหมายของโรงงานแห่งนี้คือต้องการจะลดค่าใช้จ่ายพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยการผลิตลงอย่างน้อย 14% จากปีฐาน 2/2555 (ระหว่างเดือน ก.ค. – ธ.ค. 2555)

ตารางที่ 3.9 ตารางแสดงปริมาณการใช้ไฟฟ้า ค่าไฟ จำนวนการผลิต SEC และต้นทุนพลังงานต่อหน่วย ระหว่าง กรกฎาคม – ธันวาคม พ.ศ.2555

ปี	เดือน	ปริมาณไฟฟ้า(kWh)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	ผลิตภัณฑ์	SEC	Cost/Unit(บาท/หน่วย)
2/2555	ก.ค.	16,855,303	52,566,682	5,526,189	3.05	9.51
	ส.ค.	17,747,655	54,866,451	6,160,834	2.88	8.91
	ก.ย.	19,636,954	64,390,452	7,087,675	2.77	9.08
	ต.ค.	19,225,024	63,383,758	5,343,172	3.60	11.86
	พ.ย.	19,415,911	64,447,702	7,341,614	2.64	8.78
	ธ.ค.	19,235,490	61,256,835	7,597,490	2.53	8.06
ค่าเฉลี่ย		18,686,056	60,151,980	6,509,496	2.91	9.37
การกระจายตัว(SD)		1,119,063	5,168,298	965,320	0.38	1.31
เป้าหมาย(ค่าเฉลี่ย - ค่าการกระจายตัว)					**2.53**	**8.06**
เปอร์เซนต์ต้นทุนพลังงานที่ต้องการลดระหว่างเดือน ก.ย. – ธ.ค. 2555					**13%**	**14%**

โดยเป้าหมายที่ได้คำนวณจากข้อมูลการใช้พลังงานในปี 2/2555 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

เป้าหมาย (target) = ค่าเฉลี่ย (Mean) – ค่าการกระจายตัว (SD)

ค่าเฉลี่ย (Mean) = 9.37 บาท/หน่วย

ค่าการกระจายตัว (SD) = 1.31 บาท/หน่วย

เป้าหมาย (target) = 8.06 บาท/หน่วย

บทที่ 4
การดำเนินงานวิจัย

ในส่วนของการดำเนินการวิจัยจะเป็นขั้นตอนการดำเนินการหลังจากที่ได้ทราบสถานะภาพการอนุรักษ์พลังงาน และการใช้พลังงานของกรณีศึกษา ผู้วิจัยจะหาสาเหตุและดำเนินมาตรการเพื่อลดต้นทุนพลังงานตามที่ตั้งเป้าหมายไว้ สำหรับมาตรการที่โรงงานแห่งนี้นำมาเพิ่มความสามารถในการจัดการกับระบบอนุรักษ์พลังงานให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น คือ การพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ให้มีความรู้ความเข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญของการอนุรักษ์พลังงานผ่านการอบรมความรู้ด้านพลังงานให้กับพนักงาน สำหรับการดำเนินมาตรการลดการใช้พลังงานอื่นๆ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบก่อนว่าสาเหตุหรือปัจจัยใดบ้างที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนพลังงานของโรงงาน [20]

4.1 หาสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนพลังงานของโรงงาน

ในส่วนของการหาสาเหตุและปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนพลังงานของโรงงาน จะใช้ C&E Diagram หรือ Fishbone Diagram มาเป็นเครื่องมือในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบและสาเหตุต่างๆที่เป็นไปได้ ซึ่ง Fishbone Diagram ถือเป็นแผนผังอย่างง่ายที่ทำให้สามารถวิเคราะห์สาเหตุต่างๆ ได้ครอบคลุมทุกหมวดหมู่ ทั้งนี้ทั้งนั้นควรประยุกต์ใช้ร่วมกับ Why-Why Analysis เพื่อเพิ่มระดับความลึกของการระบุสาเหตุ โดยอาจใช้วิธีการใส่น้ำหนักหรือคะแนนให้กับแต่ละสาเหตุ เพื่อการจัดลำดับความสำคัญ ก่อนนำไปวิเคราะห์หารากเง้าปัญหาและจัดหามาตรการแก้ไขต่อไป ทั้งนี้ทั้งนั้นควรอาศัยข้อมูลสถิติหรือตัวเลขในการพิจารณาการให้น้ำหนัก ในกรณีที่ข้อมูลสนับสนุนไม่เพียงพออาจอาศัยการให้คะแนนจากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญร่วมด้วย

4.1.1 ขั้นตอนการหาสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนพลังงานของโรงงาน

1. วิเคราะห์สาเหตุผ่าน C&E Diagram หรือ Fishbone Diagram โดยแบ่งหมวดหมู่การวิเคราะห์ออกเป็นส่วนๆได้ดังนี้
   - Methods ได้แก่ วิธีการ นโยบาย รวมไปถึงบุคลากร และ พนักงานในโรงงาน
   - Machine ได้แก่ เครื่องจักรที่เกี่ยวข้องกับการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในห้องสะอาด
   - System ได้แก่ ระบบความร้อน ความเย็น ระบบระบายอากาศ ระบบทดสอบฮาร์ดดิสก์ ระบบอัดอากาศ ระบบแสงสว่าง เป็นต้น

คัดเลือกสาเหตุของปัญหาผ่านการให้คะแนนจากข้อมูลสัดส่วนการใช้พลังงานและคะแนนเฉลี่ยจากคณะกรรมการ

2. นำสาเหตุที่ได้จากการคัดเลือกในข้อ 2 มาวิเคราะห์โดยใช้ Why-Why Analysis มาช่วยในการระบุปัญหาเชิงลึกพร้อมทั้งจัดเตรียมมาตรการในการแก้ไขปัญหา

เนื่องด้วยปริมาณการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้น สามารถเกิดได้จากหลายสาเหตุ หลายปัจจัย หากเราสามารถวิเคราะห์ปัญหาพลังงานหรือความสูญเปล่าที่เกิดขึ้น ว่ามีต้นเหตุจากสิ่งใดและทราบว่าจุดใดคือจุดที่ต้องเข้าไปจัดการแก้ไขอย่างเร่งด่วน จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อผู้ประกอบการในการดำเนินนโยบายลดต้นทุนพลังงาน ทั้งนี้ผู้วิจัยได้นำแผนผังเหตุและผล(C&E Diagram) และแผนผัง Why-Why Analysis มาเป็นเครื่องมือในการหาสาเหตุและแนวทางการแก้ไข

4.1.1.1 การวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาด้วยแผนผังเหตุและผล(C&E Diagram) หรือแผนภูมิก้างปลา

แผนผังก้างปลา(Fishbone Diagram) หรือเรียกเป็นทางการว่า แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) เป็นสิ่งที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น (Possible Cause) ในที่นี้จะใช้ แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ในการหาสาเหตุหลักและสาเหตุย่อยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่าง

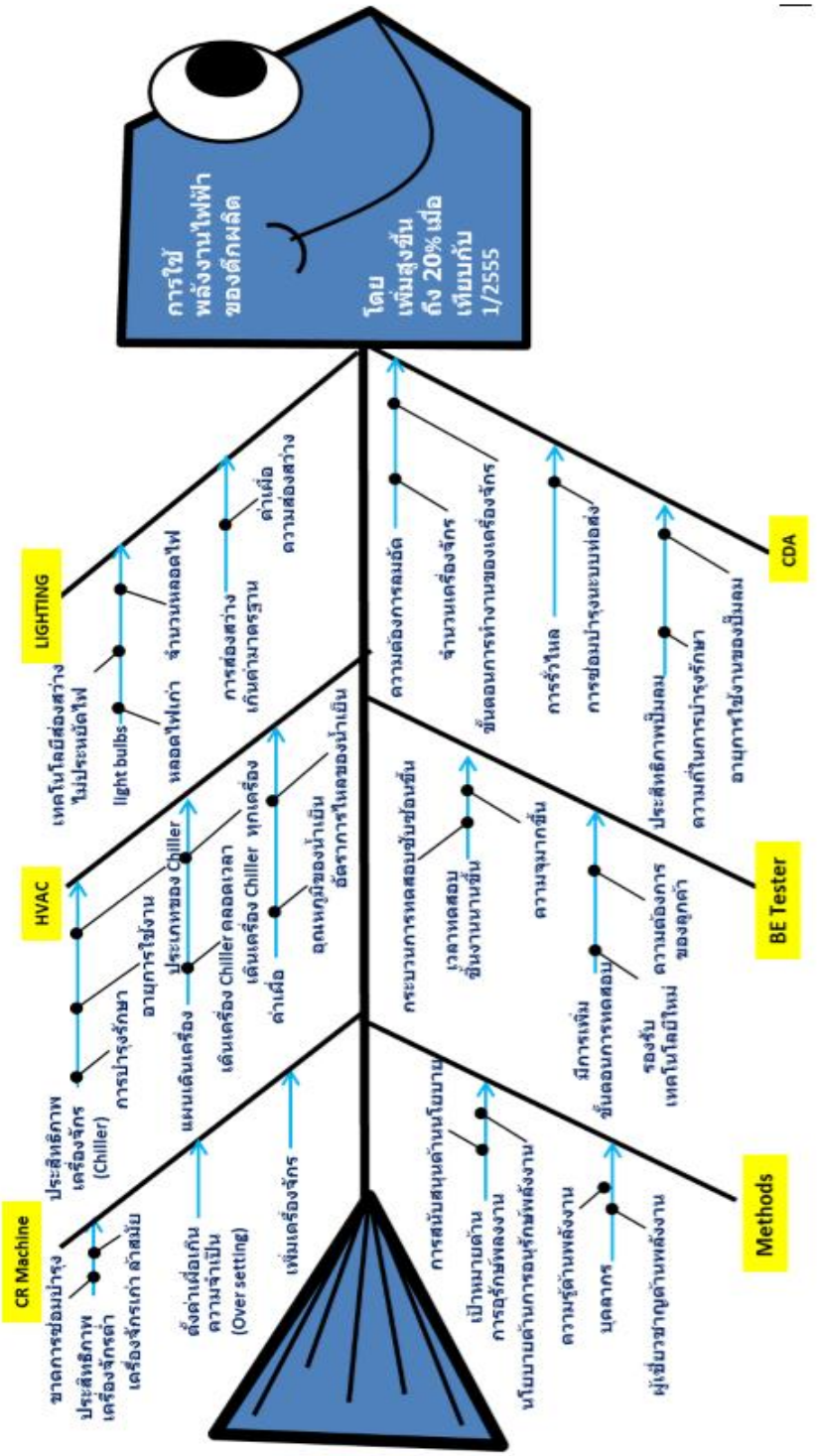
จากรูปที่ 4.1 แผนผังแสดงเหตุและผล (C&E Diagram) ข้างต้นทำให้ทราบว่า มีหลากหลายเหตุปัจจัยที่กระทบต่อการใช้พลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นของตึกผลิตเมื่อเทียบกับปีฐาน (พ.ศ. 2555) ดังนั้นการจัดลำดับความสำคัญของตัวแปรทั้งหมดจึงเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งสามารถคัดแยกตัวแปรต่างๆได้โดยทำแผนผังเหตุและผล(C&E Matrix) โดยการให้คะแนนตามความสำคัญของแต่ละตัวแปรเพื่อให้เกิดน้ำหนัก และง่ายต่อการคัดเลือกมาใช้แก้ไขต่อไป ซึ่งการให้คะแนนจะคำนึงถึง 2 ส่วนด้วยกันคือ

1. คำนวณเป็นน้ำหนักโดยนำคะแนนจากคะแนนเฉลี่ยที่คณะกรรมการพิจารณาคูณกับผลบวกของแต่ละสัดส่วนการใช้พลังงานที่ได้รับผลกระทบจากสาเหตุนั้นๆซึ่งจะได้ตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงคะแนนตามสัดส่วนการใช้พลังงานของกรณีศึกษา

รายละเอียด		คะแนน
HVAC	ระบบความร้อน ความเย็นและระบบระบายอากาศ	7
Tester	ระบบทดสอบฮาร์ดดิสก์	6
CR	กระบวนการผลิตในห้องสะอาด (Clean room Production)	5
CDA	ระบบอัดอากาศ (Compressed Dry Air System)	4
Lighting	ระบบแสงสว่าง	3
Vacuum	ระบบลมดูดอากาศ	2
Other	อื่นๆ	1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 4.1 แผนผังแสดงเหตุและผล (C&E Diagram) หรือ แผนภูมิก้างปลา

รูปที่ 4.1 แผนผังแสดงเหตุและผล หรือแผนภูมิก้างปลา

2. คะแนนเฉลี่ยจากการประเมินความเป็นไปได้ของสาเหตุจากคณะกรรมการทั้งสิ้น 42 คน โดยใช้การเก็บคะแนนจากแบบประเมินได้ผลดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลที่ได้จากการประเมินสาเหตุที่กระทบต่อการใช้พลังงาน

หัวข้อ	คณะกรรมการพิจารณา / สาเหตุ	คะแนน	HVAC	Tester	CR	CDA	Lighting	Vacuum	other	Total
			7	6	5	4	3	2	1	
Chiller	ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นต่ำ	9.04	x	x						117.52
	ต้องเดินเครื่องทำความเย็นตลอดเวลา (ไม่มีแผน)	8.32	x	x						108.16
	การอุดตันในระบบปรับอากาศ	7.84	x							54.88
	การปรับอุณหภูมิในอาคารต่ำเกินไป	6.80	x							47.6
	ไม่มีการควบคุมการเปิด-ปิดแอร์	6.60	x							46.2
Lighting	ระบบแสงสว่างที่เกินความจำเป็น	9.52			x		x			76.16
	เทคโนโลยีหลอดไฟเก่า (T8)	8.80			x		x			73.84
	ไม่มีการควบคุมการเปิด-ปิดไฟ	5.53					x			16.59
CDA	เกิดการรั่วไหลในระบบอากาศอัด	9.00			x	x				81
	ใช้อากาศอัดผิดประเภท	7.36			x	x				66.24
เครื่องจักร	เครื่องจักรมีอายุการใช้งานสูง	6.44		x	x					70.84
	มีการตั้งค่าเผื่อที่เกินความจำเป็น	5.64	x	x						73.32
	ขาดการซ่อมบำรุงที่เหมาะสม	6.48		x	x					71.28
บุคคลากร	พนักงานขาดความรู้ด้านการอนุรักษ์พลังงาน	6.04							x	6.04
	ขาดการปลูกจิตสำนึกจากหัวหน้างาน	4.12							x	4.12
	พนักงานไม่ให้ความสำคัญต่อการอนุรักษ์พลังงาน	2.80							x	2.8
	จำนวนพนักงานเพิ่มมากขึ้น	4.52							x	4.52
สภาพแวดล้อม	อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้น	7.36	x							51.52
นโยบาย/วิธีการ	การอนุรักษ์พลังงานไม่ใช่เป้าหมายหลัก	3.52							x	3.52
	ขาดบุคคลากร / ผู้เชี่ยวชาญด้านอนุรักษ์พลังงาน	6.04							x	6.04
	ไม่มีนโยบาย/เป้าหมายที่ชัดเจนด้านพลังงาน	4.12							x	4.12
	ไม่มีการประชาสัมพันธ์ที่ทั่วถึง	3.88							x	3.88
ผลิตภัณฑ์	กระบวนการผลิตมีความซับซ้อนมากขึ้น	4.48	x	x	x		x			94.08
	ปริมาณการผลิตเพิ่มสูงขึ้น	4.84	x	x	x					87.12
	ผลิตภัณฑ์มีขั้นตอนในการทดสอบมากขึ้น	4.36	x	x						56.68
	เวลาสำหรับการทดสอบฟังก์ชันยาวนานขึ้น	8.20	x	x						106.6

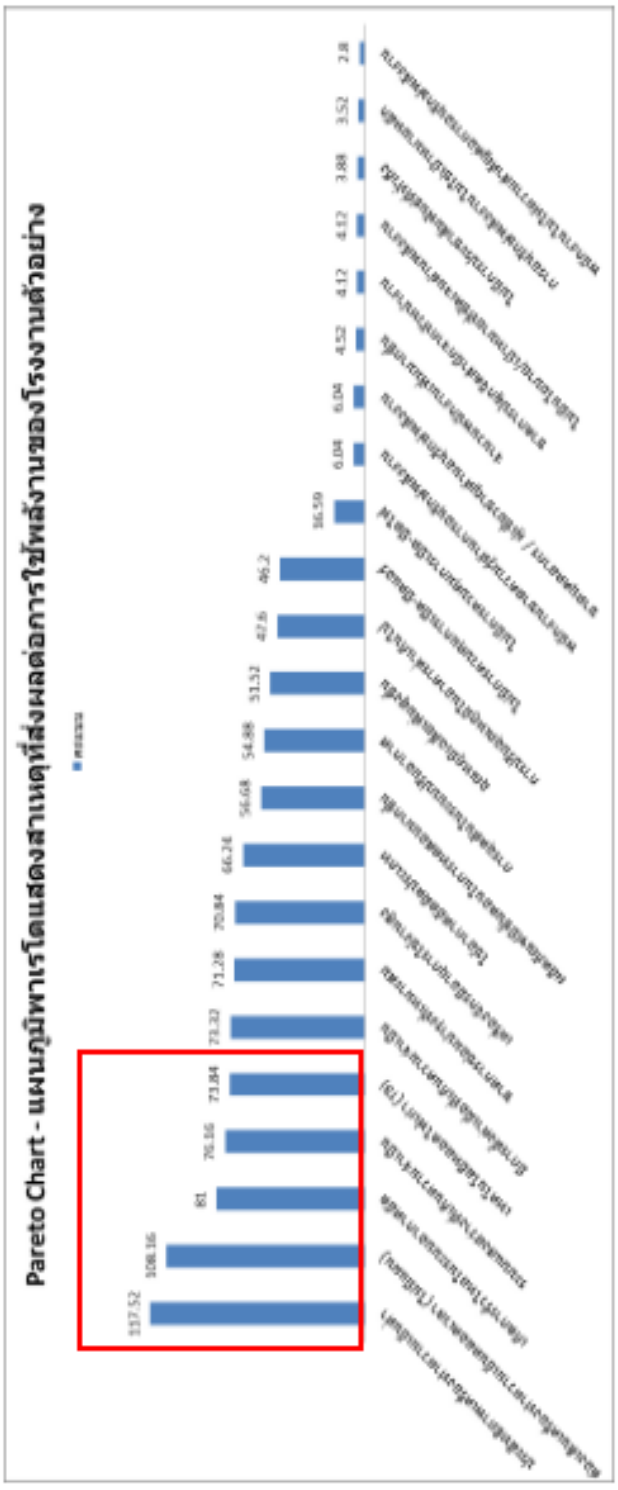
CHULALONGKORN UNIVERSITY

จากตารางที่ 4.2 สามารถจัดเรียงลำดับความสำคัญของสาเหตุตามคะแนนที่ได้จากการประเมิน ดังนี้คือ

ตารางที่ 4.3 แสดงผลของการจัดอันดับสาเหตุที่กระทบต่อการใช้พลังงานของกรณีศึกษา

C&E Matrix		
หัวข้อ	สาเหตุ	คะแนน
Chiller	ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นต่ำ	117.52
Chiller	ต้องเดินเครื่องทำความเย็นตลอดเวลา (ไม่มีแผน)	108.16
ผลิตภัณฑ์	เวลาสำหรับการทดสอบฟังก์ชันยาวนานขึ้น	106.6
ผลิตภัณฑ์	กระบวนการผลิตมีความซับซ้อนมากขึ้น	94.08
ผลิตภัณฑ์	ปริมาณการผลิตเพิ่มสูงขึ้น	87.12
CDA	เกิดการรั่วไหลในระบบอากาศอัด	81
Lighting	ระบบแสงสว่างที่เกินความจำเป็น	76.16
Lighting	เทคโนโลยีหลอดไฟเก่า (T8)	73.84
เครื่องจักร	มีการตั้งค่าเผื่อที่เกินความจำเป็น	73.32
เครื่องจักร	ขาดการซ่อมบำรุงที่เหมาะสม	71.28
เครื่องจักร	เครื่องจักรมีอายุการใช้งานสูง	70.84
CDA	ใช้อากาศอัดผิดประเภท	66.24
ผลิตภัณฑ์	ผลิตภัณฑ์มีขั้นตอนในการทดสอบมากขึ้น	56.68
Chiller	การอุดตันในระบบปรับอากาศ	54.88
สภาพแวดล้อม	อุณหภูมิเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้น	51.52
Chiller	การปรับอุณหภูมิในอาคารต่ำเกินไป	47.6
Chiller	ไม่มีการควบคุมการเปิด-ปิดแอร์	46.2
Lighting	ไม่มีการควบคุมการเปิด-ปิดไฟ	16.59
บุคคลากร	พนักงานขาดความรู้ด้านการอนุรักษ์พลังงาน	6.04
นโยบาย/วิธีการ	ขาดบุคคลากร / ผู้เชี่ยวชาญด้านอนุรักษ์พลังงาน	6.04
บุคคลากร	จำนวนพนักงานเพิ่มมากขึ้น	4.52
บุคคลากร	ขาดการปลูกจิตสำนึกจากหัวหน้างาน	4.12
นโยบาย/วิธีการ	ไม่มีนโยบาย/เป้าหมายที่ชัดเจนด้านพลังงาน	4.12
นโยบาย/วิธีการ	ไม่มีการประชาสัมพันธ์ที่ทั่วถึง	3.88
นโยบาย/วิธีการ	การอนุรักษ์พลังงานไม่ใช่เป้าหมายหลัก	3.52
บุคคลากร	พนักงานไม่ให้ความสำคัญต่อการอนุรักษ์พลังงาน	2.8

แต่เนื่องจากข้อจำกัดบางประการทำให้ไม่สามารถเข้าไป ดำเนินมาตรการที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์และนโยบายได้อย่างเต็มที่ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งไปแก้ไขในสาเหตุอื่นๆที่สามารถดำเนินการแก้ไขหรือปรับปรุงได้ทันทีดังนี้



รูปที่ 4.2 แผนภูมิพาเรโต้แสดงสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่าง

4.2 จัดหามาตรการอนุรักษ์พลังงานเพื่อให้บรรลุเป้าหมายที่กำหนด

เมื่อได้สาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานของโรงงานตัวอย่างจากการทำ C&E Diagram และ C&E Matrix แล้ว การนำสาเหตุเหล่านั้นมาวิเคราะห์อีกครั้งผ่านเทคนิค Why-Why Analysis จะทำให้ทราบถึงปัจจัยแฝงอื่นๆ และสาเหตุที่แท้จริงที่ส่งผลให้การใช้พลังงานของตึกผลิตฮาร์ดดิสก์สูงขึ้น ผ่านการนำ 5 อันดับแรกของกราฟ มาวิเคราะห์เพิ่มเติมเพื่อหาแนวทางในการแก้ไขที่ถูกต้องตรงจุดต่อไป 5 อันดับแรกของสาเหตุที่ได้จาก Pareto มีดังนี้คือ

1. Chiller ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นต่ำ
2. Chiller ต้องเดินเครื่องทำความเย็นตลอดเวลา (ไม่มีแผน)
3. CDA เกิดการรั่วไหลในระบบอากาศอัด
4. Lighting ระบบแสงสว่างที่เกินความจำเป็น
5. Lighting เทคโนโลยีหลอดไฟเก่า (T8)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.4 แสดงการวิเคราะห์ Why – Why Analysis

ปรากฏการณ์ : การใช้พลังงานไฟฟ้าของตึกผลิตเพิ่มสูงขึ้นจากปี 2555 เมื่อเปรียบเทียบในช่วงเวลาเดียวกัน

รายละเอียด	WHY - 1	WHY - 2	WHY - 3	WHY - 4	แก้ไข
System ระบบความร้อน เย็นและการระบายอากาศทำงานหนัก(HVAC)	ประสิทธิภาพของระบบแลกเปลี่ยนความร้อนต่ำ	พื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนไม่เหมาะสม	ขนาดท่อระบายความร้อนเล็กเกินไป		พิจารณาขนาดท่อระบายความร้อนให้เหมาะสม และดำเนินการปรับเปลี่ยน
		อัตราการไหลของน้ำเย็นเข้าน้อยเกินไป	มีการสูญเสียอัตรการไหลในระบบแลกเปลี่ยนความร้อน	ผังการเดินท่อน้ำเย็นท่อน้ำเย็นไม่เหมาะสม	ปรับเปลี่ยนระบบการเดินท่อระบายความร้อนใหม่
		ประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนต่ำ	ชิ้นส่วนและอุปกร์ของเครื่องทำความเย็นสึกหรอ	Chiller มีอายุการใช้งานมานานโดยไม่มีการซ่อมบำรุงที่เพียงพอ	ทำการแก้ไขปรับปรุงประสิทธิภาพให้ได้ตามค่ามาตรฐานเดิม
			มีการใช้งาน Air coolded chiller ที่มีประสิทธิภาพต่ำอยู่		เปลี่ยนไปใช้ Chiller ที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า หรือมีค่ากิโลวัตต์ต่อตันความเย็นต่ำ
	เดินเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนทุกเครื่องตลอดเวลา	ไม่มีการประเมิณประสิทธิภาพของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน และไม่มีการวางแผนการเดินเครื่องจักรตามภาระงานที่เกิดขึ้น			วางแผนเดินเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนโดยใช้ประสิทธิภาพของเครื่องจักรและภาระงานเป็นหลัก
System ระบบอัดอากาศใช้พลังงานไฟฟ้าสูง (CDA)	กระบวนการผลิตต้องการใช้ CDA มากขึ้น	ต้องการ High Vacuum โดยแปลงมาจาก CDA	มีการเพิ่ม Function การทำงานของเครื่องจักรโดยเพิ่ม CDA เข้าไปในระบบ	Main Vacuum ไม่เพียงพอ	ปรับขนาดของ Vacuum ให้เหมาะสมกับการใช้งาน
	มีการรั่วของ CDA ในระบบ	ข้อต่อบริเวณ Main CDA ไม่แนบสนิท	ข้อต่อคลายตัว หรือขันยึดไม่แน่น		ทำการตรวจสอบจุดที่รั่ว และทำการแก้ไข
		ขาดการตรวจเช็คที่เหมาะสม	ไม่ได้อยู่ในแผนการตรวจสอบ		เพิ่มหัวข้อการตรวจเช็คการรั่วซึมของ CDA ลงไปใน Check sheet
	ความหนาแน่นของอากาศที่เข้าเครื่องอัดอากาศมีความหนาแน่นต่ำ	อากาศบริเวณเครื่องอัดอากาศมีความร้อนสูง	ได้รับความร้อนจากเครื่องอัดอากาศ	ระบบระบายความร้อนของระบบอัดอากาศไม่เหมาะสม	ปรับปรุงพื้นที่ตั้งเครื่องอัดอากาศ
System ระบบแสงสว่าง(Lighting)ใช้พลังงานสูง	มีการเพิ่มจุดที่ต้องใช้แสงสว่าง	มีการเปลี่ยนแปลงพื้นที่การทำงาน	ปรับพื้นที่ให้เหมาะสมกับการทำงาน		ลดจำนวนหลอดและความต้องการแสงสว่างให้เหมาะสมกับค่ามาตรฐาน
			ลดการสูญเปล่าในกระบวนการผลิต	ปรับพื้นที่ทางเดินบางส่วนเป็นไลน์ผลิตเพื่อลดการขนส่ง	ลดจำนวนหลอดและความต้องการแสงสว่างให้เหมาะสมกับค่ามาตรฐาน
	มีจำนวนหลอดไฟมากเกินความจำเป็น	ขาดการพิจารณาความเหมาะสมระหว่างลักษณะงานกับความต้องการแสงสว่าง	มีแสงสว่าเกินความจำเป็นเมื่อเทียบกับกิจกรรมและพื้นที่ใช้สอย		ลดจำนวนหลอดและความต้องการแสงสว่างให้เหมาะสมกับค่ามาตรฐาน
	มีการเปิดใช้หลอดไฟเพื่อให้เกิดแสงสว่างตลอดเวลา	ขาดการวางแผนหรือจัดตารางในการเปิด ปิดไฟฟ้าในช่วงเวลาที่ไม่ใช้			ปิดไฟในพื้นที่ที่ไม่ได้ใช้งาน เช่นระหว่างช่วงพักกลางวัน
	หลอดไฟที่ใช้งานอยู่ ณ ปัจจุบัน เป็นหลอดไล T8 ซึ่งกินพลังงานไฟฟ้าสูง				เปลี่ยนมาใช้หลอดไฟที่ใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำกว่า หลอดไฟ T8 เช่นหลอด T5 หรือ LED

การวิเคราะห์ C&E Matrix และ Why-Why Analysis ทำให้ทราบถึงสาเหตุ และมาตรการที่เป็นไปได้ในการแก้ไขปัญหา เพื่อสะดวกในการคัดเลือกมาตรการที่สามารถตอบโจทย์ทั้งการแก้ปัญหาและง่ายต่อการคัดเลือก การจัดหมวดหมู่มาตรการตามความยากง่ายและผลลัพธ์ของมาตรการนี่จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยให้สามารถจัดหามาตรการที่เหมาะสมกับการลดต้นทุนด้านพลังงาน ทั้งนี้ต้องมีการประเมินผลประหยัดที่จะได้จากมาตรการต่างๆรวมไปถึงความยาก ง่ายที่โรงงานจะสามารถทำได้ เพื่อให้การจัดหามาตรการก่อเกิดประโยชน์และสะดวกสำหรับกรณีศึกษาที่จะบรรลุเป้าหมายที่กำหนดไว้

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงวิธีการจัดหมวดหมู่มาตรการ

	ทำได้ง่าย	ทำได้ยาก
ผลตอบแทนสูง	🟢	🟡
ผลตอบแทนต่ำ	🟡	🔴

🟢 มาตรการที่ควรนำมาใช้เป็นอันดับแรกๆ ถือเป็นมาตรการที่เหมาะสมต่อต้นทุนและความสามารถในการดำเนินมาตรการของโรงงาน

🟡 มาตรการที่ควรนำมาใช้เป็นอันดับถัดมาแล้วแต่กรณี ขึ้นอยู่กับการพิจารณาและความเห็นชอบจากคณะทำงานหรือผู้บริหารของโรงงาน

🔴 มาตรการที่ไม่ควรนำมาปรับปรุงอาจเป็นมาตรการที่ไม่เหมาะสมกับสถานการณ์ปัจจุบันหรือให้ผลในการประหยัดพลังงานค่อนข้างต่ำ

โดยมาตรการที่ควรเลือกนำมาปฏิบัติเป็นมาตรการแรกๆ คือมาตรการที่ทำได้ง่ายและได้ผลตอบแทนสูง ส่วนมาตรการที่ทำได้ยากและได้ผลตอบแทนต่ำควรเป็นมาตรการสุดท้าย หรือ เป็นมาตรการที่ไม่ควรคัดเลือกมาใช้เลย

การคัดแยกมาตรการต่างๆให้เป็นหมวดหมู่โดยคำนึงถึงความสามารถในการดำเนินงานและผลสัมฤทธิ์ที่จะได้ จึงเป็นสิ่งที่จะช่วยให้ทราบว่ามาตรการใดควรคัดเลือกมาดำเนินการเป็นอันดับต้นๆ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.6 หมวดหมู่โดยคำนึงถึงความสามารถในการดำเนินงานและผลสัมฤทธิ์

	Matrix of energy saving measures.	
High Result	เพิ่มความถี่ในการตรวจสอบและบำรุงเครื่องจักร วางแผนโหลดโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพเครื่องจักรร่วมด้วย ตรวจสอบรอยรั่วและแก้ไข (CDA) ลดการใช้ CDA ผิดประเภท พิจารณาความเหมาะสมของแสงสว่างและลดจำนวนหลอดไฟที่ไม่จำเป็น ใช้บัลลาสต์กำลังสูญเสียต่ำ ลดความดันอากาศอัด(CDA)ให้เหมาะสม ลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ ล้างเครื่องปรับอากาศ เดินเครื่องทำความเย็นโดยใช้ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นเป็นเกณฑ์	เปลี่ยนเครื่องจักรใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง ลดเวลาทดสอบชิ้นงาน ปรับเปลี่ยนขนาดท่อระบายความร้อนให้เหมาะสม (HVAC) เปลี่ยน Chiller ใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง เปลี่ยนหลอดไฟเป็น LED ปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตให้ดียิ่ง ๆขึ้น เปลี่ยนหลอดไฟ T8 เป็นหลอด T5 ร่วมกับโคมสะท้อนแสง ปรับปรุงชุดระบายความร้อนของระบบทำความเย็น
Low Result	จัดกิจกรรมและบอร์ดแสดงความรู้เกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงาน ปรับค่า Setting ให้เหมาะสม (ลด Over srtting) ตั้ง energy saving mode screen สำหรับจอคอมพิวเตอร์ ตรวจสอบและสังเกตุการใช้พลังงานของโรงงาน ตั้งเวลาเปิด ปิด ไฟหน้าอาคาร ทางเดิน และลานจอดรถ ปิดสวิตช์ไฟ-แอร์ เมื่อไม่ใช้งาน ลดเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศ อบรมพนักงานเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงาน	เปลี่ยนผังเครื่องจักร เพื่อลดความร้อนสะสมในส่วนท้ายการผลิต ปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต เพื่อลดปริมาณงานที่ต้องกลับมาทดสอบใหม่
	Easy	Hard

เราสามารถจัดหมวดหมู่มาตรการ โดยคำนึงถึงความสะดวกและผลสัมฤทธิ์ของแต่ละกระบวนการ ซึ่งทั้งนี้ทั้งนั้นต้องขึ้นอยู่กับความสามารถของแต่ละโรงงานด้วย อาทิเช่น บางโรงงานมีทุนสูงสำหรับสนับสนุนโครงการด้านการอนุรักษ์พลังงาน ดังนั้น การลงทุนเปลี่ยนเครื่องจักรจึงถือเป็นมาตรการที่ทำได้ง่ายและได้ผลสัมฤทธิ์สูง เป็นต้น ซึ่งการทำตารางในลักษณะนี้จะช่วยให้โรงงานสามารถประเมินมาตรการที่เหมาะสม และสามารถคัดเลือกมาตรการที่ควรนำมาปฏิบัติเป็นอันดับต้นๆได้ จากข้อมูลของกรณีศึกษาสามารถคัดแยกมาตรการได้ดังนี้คือ

1. มาตรการที่ทำได้ง่าย และได้ผลสัมฤทธิ์ผลสูง คือ มาตรการที่ได้รับการคัดเลือกมาทำการแก้ไขปัญหาด้านพลังงานเป็นอันดับแรก
    - 1.1 เพิ่มความถี่ในการตรวจสอบและบำรุงเครื่องจักร
    - 1.2 วางแผนโหลดโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพเครื่องจักรร่วมด้วย
    - 1.3 ตรวจสอบรอยรั่วและแก้ไข (CDA)
    - 1.4 ลดการใช้ CDA ผิดประเภท
    - 1.5 พิจารณาความเหมาะสมของแสงสว่างและลดจำนวนหลอดไฟที่ไม่จำเป็น
    - 1.6 ใช้บัลลาสต์กำลังสูญเสียต่ำ

1.7 ลดความดันอากาศอัด(CDA)ให้เหมาะสม

1.8 ลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ

1.9 ล้างเครื่องปรับอากาศ

1.10 เดินเครื่องทำความเย็นโดยใช้ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นเป็นเกณฑ์

2. มาตรการที่ทำได้ง่าย แต่ได้ผลสัมฤทธิ์ต่ำ (Low hanging fruit) หรือ มาตรการที่ทำได้ยาก แต่ได้ผลสัมฤทธิ์สูง เป็นมาตรการที่ควรได้รับการคัดเลือกเพื่อมาทำการแก้ไขปัญหาด้านพลังงานเป็นอันดับที่สองทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงินทุน ทรัพยากรบุคคล รวมถึงนโยบายสนับสนุนด้านการอนุรักษ์พลังงาน

2.1 เปลี่ยนเครื่องจักรใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง

2.2 ลดเวลาทดสอบชิ้นงาน

2.3 ปรับเปลี่ยนขนาดท่อระบายความร้อนให้เหมาะสม (HVAC)

2.4 เปลี่ยน Chiller ใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง

2.5 เปลี่ยนหลอดไฟเป็น LED

2.6 ปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตให้ดียิ่งๆขึ้น

2.7 เปลี่ยนหลอดไฟ T8 เป็นหลอด T5 ร่วมกับโคมสะท้อนแสง

2.8 ปรับปรุงชุดระบายความร้อนของระบบทำความเย็น

2.9 จัดกิจกรรมและบอร์ดแสดงความรู้เกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงาน

2.10 ปรับค่า Setting ให้เหมาะสม (ลด Over setting)

2.11 ตั้ง energy saving mode screen สำหรับจอคอมพิวเตอร์

2.12 ตรวจสอบและสังเกตการณ์ใช้พลังงานของโรงงาน

2.13 ตั้งเวลาเปิด ปิด ไฟหน้าอาคาร ทางเดิน และลานจอดรถ

2.14 ปิดสวิตซ์ไฟ- แอร์เมื่อไม่ใช้งาน

2.15 ลดเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศ

2.16 อบรมพนักงานเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงาน

3. มาตรการที่ทำได้ยาก และได้ผลสัมฤทธิ์ต่ำ จะเป็นมาตรการที่ได้รับการคัดเลือกมาทำการแก้ไขปัญหาด้านพลังงานเป็นอันดับสุดท้าย หรือไม่ควรนำมาปฏิบัติ

3.1 ปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต เพื่อลดปริมาณงานที่ต้องกลับมาทดสอบ

3.2 เปลี่ยนผังเครื่องจักร เพื่อลดความร้อนสะสมในส่วนท้ายการผลิต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สำหรับกรณีศึกษา มาตรการที่ถูกคัดเลือกเพื่อใช้ในการดำเนินการเพื่อลดการใช้พลังงานมีทั้งสิ้น 5 มาตรการ ดังนี้คือ

1. HVAC - เปลี่ยนไปใช้เครื่องทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง
2. HVAC - วางแผนโหลดโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นร่วมด้วย
3. CDA - ตรวจสอบรอยรั่วและแก้ไข
4. Lighting - พิจารณาความเหมาะสมของแสงสว่างและลดจำนวนหลอดไฟที่ไม่จำเป็น
5. Lighting – เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นหลอด LED

ตารางที่ 4.7 ตารางแสดงมาตรการที่ได้รับการคัดเลือกเพื่อการอนุรักษ์พลังงานของกรณีศึกษา

	Matrix of energy saving measures.	
High Result	เพิ่มความถี่ในการตรวจสอบและบำรุงเครื่องจักร	
	วางแผนโหลดโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพเครื่องจักรร่วมด้วย	เปลี่ยนเครื่องจักรใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง
	ตรวจสอบรอยรั่วและแก้ไข (CDA)	ลดเวลาทดสอบชิ้นงาน
	ลดการใช้ CDA ผิดประเภท	ปรับเปลี่ยนขนาดท่อระบายความร้อนให้เหมาะสม (HVAC)
	พิจารณาความเหมาะสมของแสงสว่างและลดจำนวนหลอดไฟที่ไม่จำเป็น	เปลี่ยน Chiller ใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง
	ใช้บัลลาสต์กำลังสูญเสียต่ำ	เปลี่ยนหลอดไฟเป็น LED
	ลดความดันอากาศอัด(CDA)ให้เหมาะสม	ปรับปรุงประสิทธิภาพกระบวนการผลิตให้ดียิ่ง ๆขึ้น
	ลดอุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องอัดอากาศ	เปลี่ยนหลอดไฟ T8 เป็นหลอด T5 ร่วมกับโคมสะท้อนแสง
	ล้างเครื่องปรับอากาศ	ปรับปรุงชุดระบายความร้อนของระบบทำความเย็น
	เดินเครื่องทำความเย็นโดยใช้ประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นเป็นเกณฑ์	
Low Result		
	จัดกิจกรรมและบอร์ดแสดงความรู้เกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงาน	เปลี่ยนผังเครื่องจักร เพื่อลดความร้อนสะสมในส่วนท้ายการผลิต
	ปรับค่า Setting ให้เหมาะสม (ลด Over srtting)	ปรับเปลี่ยนกระบวนการผลิต เพื่อลดปริมาณงานที่ต้องกลับมาทดสอบใหม่
	ตั้ง energy saving mode screen สำหรับจอคอมพิวเตอร์	
	ตรวจสอบและสังเกตุการใช้พลังงานของโรงงาน	
	ตั้งเวลาเปิด ปิด ไฟหน้าอาคาร ทางเดิน และลานจอดรถ	
	ปิดสวิตช์ไฟ-แอร์ เมื่อไม่ใช้งาน	
	ลดเวลาการใช้เครื่องปรับอากาศ	
	อบรมพนักงานเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงาน	
	Easy	Hard

มาตรการ 1 HVAC - เปลี่ยนไปใช้เครื่องทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง

หน่วยงานที่รับผิดชอบมาตรการ แผนก Facility

หลักการและเหตุผล

อ้างอิงจากสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของตึกผลิตพบว่า ระบบความร้อน และระบบความร้อน ความเย็น และการระบายอากาศ (HVAC : Heating , Ventilation and Air Condition) เป็นระบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนอื่น ประกอบกับโรงงานแห่งนี้ มี Air cooled chiller จำนวน 2 เครื่อง ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็นค่อนข้างสูง ดังนั้นการเปลี่ยนเครื่องทำความเย็นจาก Air cooled chiller มาเป็น Water cooled chiller ที่มีค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อตันความเย็นต่ำ(ประสิทธิภาพสูง) จึงเป็นมาตรการที่ควรนำมาดำเนินการ

เนื่องจาก Air cooled Chiller ของโรงงานมีอายุการใช้งานมายาวนานกว่า 9 ปี เมื่อเปรียบเทียบกับ Chiller เครื่องอื่นๆพบว่าประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นนี้ของ Air cooled Chiller ทั้ง 2 เครื่องค่อนข้างต่ำ ประกอบกับ Air cooled Chiller นี้จะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าระบบ Water Cooled Water Chiller

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นให้สูงขึ้น
2. เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษา
3. เพื่อลดค่าพลังงานไฟฟ้า
4. เพื่อลดปัญหาในการทำงานอันเกิดจากเครื่องทำความเย็นขัดข้อง หรือเสื่อมสภาพ

เป้าหมาย / ผลที่คาดว่าจะได้รับ

เป้าหมายเชิงปริมาณ : ต้องการลดปริมาณการใช้ไฟฟ้า	2,764,800	kWh/ปี
คิดเป็นต้นทุนพลังงานที่ต้องประหยัดได้	8,847,360	บาท/ปี
เป้าหมายเชิงเวลา : คืนทุนภายในระยะเวลา	1.58	ปี

วิธีดำเนินการ

1. วางแผนพิจารณาประเภทของเครื่อง Chiller ที่จะนำมาเปลี่ยนทดแทน เครื่อง Chiller เครื่องเดิม
2. คัดเลือกผู้ประกอบการ (Vender)
3. ดำเนินการตามแผนเพื่อเปลี่ยน Chiller เครื่องใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง

โดยเปลี่ยนจาก Air cooled Chiller จำนวน 2 เครื่อง มาเป็น Water cooled chiller จำนวน 1 เครื่อง ที่ Chiller plant room

4. ติดตามและประเมินผล

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

ขนาดเครื่องทำน้ำเย็นเดิม	=	400	TR
พลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นเดิม	=	1.1	kW/TR
ขนาดเครื่องทำน้ำเย็นใหม่	=	1000	TR
พลังไฟฟ้าต่อตันความเย็นใหม่	=	0.56	kW/TR
ระยะเวลาการใช้งาน	=	24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันทำงาน	=	360	วัน/ปี
	=	8,640	ชั่วโมง/ปี
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย	=	3.2	บาท/kWh

ก่อนปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	=	1.1 kW/TR * 400 TR * 2 Ea * 8640 ชั่วโมง/ ปี	
	=	7,603,200	kWh / ปี

หลังปรับปรุง

พลังงานไฟฟ้าที่ใช้	=	0.56 kW/TR * 1000 TR * 1 Ea * 8640 ชั่วโมง/ ปี	
	=	4,838,400	kWh / ปี

ผลการประหยัด

กำลังไฟฟ้าที่ลดลง	=	880-560 = 320	kW
พลังงานไฟฟ้าที่ลดลงทั้งปี	=	7603200 - 4838400	
	=	2,764,800.00	kWh/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	8,847,360	บาท/ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

การวิเคราะห์ทางการเงิน

เงินลงทุน	=	14,000,000	บาท
ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น	=	14,000,000 /8,847,360	
	=	1.58	ปี

งบประมาณ 14,000,000 ล้านบาท

ขอบเขตของงาน

ติดตั้ง water cooled chiller วาล์วควบคุมและอุปกรณ์ประกอบต่างๆ รวมถึงการทดสอบปรับสมดุลระบบ จนสามารถใช้งานได้สมบูรณ์

ตารางที่ 4.8 ตารางเปรียบเทียบ Air Cooled Chiller และ Water Cooled Chiller

รายละเอียด	**Chiller เครื่องเดิม**	**Chiller เครื่องใหม่**
TR Spec	400	1000
kW Spec	483.2 kW	605 kW
kW/TR Spec	1.208	0.605
Brand	York	TRANE
Model	YAEP 9999	CVHF 1070
Type	Air Cooled Chiller	Water Cooled water Chiller

ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

รวมระยะเวลา	9 เดือน
เริ่มต้นโครงการ	สิงหาคม 2555
สิ้นสุดโครงการ	เมษายน 2556

มาตรการ 2 HVAC - บริหารแผนการจัดการเครื่องทำความเย็น

หน่วยงานที่รับผิดชอบมาตรการ แผนก Facility และ แผนก Production

หลักการและเหตุผล

เนื่องจากไม่มีแผนการเดินเครื่องทำความเย็นที่ชัดเจน ดังนั้นกรณีศึกษา จึงเลือกที่จะใช้วิธีการเดินเครื่องทำความเย็นทั้งหมดโดยไม่คำได้คำนึงถึงประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นแต่ละชุด ซึ่งในบางช่วงเวลาที่มีภาระโหลดน้อย โรงงานไม่มีความจำเป็นต้องเดินเครื่องทำความเย็นทั้งหมด ดังนั้นการเลือกเดินเครื่องทำความเย็นเฉพาะเครื่องทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง จึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถลดการใช้พลังงานในระบบ HVAC ได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อทราบถึงประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นแต่ละเครื่อง (รวม 10 เครื่อง)
2. เพื่อลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานจากการลดปริมาณลดการเดินเครื่องทำความเย็น

วิธีดำเนินการ

1. ประเมินและตรวจเช็คประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นแต่ละเครื่อง
2. วางแผนการเดินเครื่องทำความเย็นโดยพิจารณาจากประสิทธิภาพ และการใช้พลังงานต่อตันความเย็น
3. ติดตามและประเมินผล

ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

รวมระยะเวลา	3 เดือน
เริ่มต้นโครงการ	มกราคม 2556
สิ้นสุดโครงการ	มีนาคม 2556

ขั้นตอนที่ 1 ประเมินและตรวจเช็คประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นแต่ละเครื่อง

โดยเก็บข้อมูลและคำนวณข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากเครื่องทำความเย็นทั้งหมด 10 เครื่อง ดังนี้

ตารางที่ 4.9 ตารางแสดงรายละเอียดเพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Chiller

รายละเอียดข้อมูล	ตัวแปร	หน่วย
อุณหภูมิของน้ำเย็นเข้า	T1	oC
อุณหภูมิของน้ำเย็นออก	T2	oC
อัตราการไหลของน้ำเย็น	V	l/s
กำลังไฟฟ้าที่ใช้	P	kW
% การใช้งาน	%	%
ชั่วโมงใช้งาน	H	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันต่อปี	d	วัน/ปี
ขนาดทำความเย็น (Spec.)	TRspec	TR
Tons of refrigerator	TR	TR
Flow น้ำไหลผ่านเครื่องระเหย	mw	dm3/s
ค่าความจุจำเพาะของน้ำ	CP	kJ/kg °C
ค่าสัมประสิทธิ์สมรรถนะ(Coefficient of Performance)	COP	-
ค่าพลังไฟฟ้าต่อตันความเย็น	kW/TR	kW/TR
อัตราส่วนประสิทธิภาพพลังงาน	EER	(Btu/hr)/Watt

ขั้นตอนที่ 2 วางแผนการเดินเครื่องทำความเย็นโดยพิจารณาจากประสิทธิภาพ และการใช้พลังงานต่อตันความเย็น

ขอบเขตงาน ดำเนินการวางแผนการเดินเครื่องทำความเย็น โดยพิจาณาถึงประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็นร่วมด้วย

ตัวอย่างเช่น โรงงานต้องการภาระการปรับอากาศ 4300 ตัน หากเราไม่มีการบริหารการเดินเครื่องโดยพิจารณาประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น อาจทำให้บริษัทเสียค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็นได้ดังนี้

รูปที่ 4.3 เครื่องทำความเย็น

ระยะเวลาการใช้งาน = 24 ชั่วโมง/วัน

จำนวนวันทำงาน = 360 วัน/ปี

= 8,640 ชั่วโมง/ปี

ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย = 3.2 บาท/kWh

ตารางที่ 4.10 ตารางแสดงรายละเอียดเพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ Chiller

Number	TRspec	kWspec	kW_0	TR_0	kW/TR	% Load	kW_1	TR_1	kW/TR	% Load
CH No.01	800	617	304.6423	272.912	1.116266	34%	308.5	276.3679	1.116266	50%
CH No.02	800	617	366.0113	287.7715	1.271882	36%	0	0	1.271882	0%
CH No.03	800	617	311.6865	293.8106	1.060842	37%	308.5	290.8068	1.060842	50%
CH No.04	800	617	400.1074	310.3548	1.289193	39%	0	0	1.289193	0%
CH No.05	800	617	382.3123	351.572	1.087437	44%	524.45	482.281	1.087437	85%
CH No.06	800	617	335.9761	370.0347	0.907958	46%	555.3	611.5919	0.907958	90%
CH No.07	1000	549	438.9562	585.2925	0.749977	59%	494.1	658.8198	0.749977	90%
CH No.08	1000	549	440.9913	568.4795	0.775738	57%	510.57	658.1731	0.775738	93%
CH No.09	1000	582	476.4731	770.4693	0.618419	77%	541.26	875.2313	0.618419	93%
CH No.10	1000	605	611.373	777.3347	0.786499	78%	586.85	746.1547	0.786499	97%

ตารางที่ 4.11 ตารางแสดงการใช้ไฟฟ้าของ Chiller ก่อนและหลังปรับปรุง

รายละเอียด	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลต่าง
ความสามารถในการทำความเย็น (TR)	4588	4599	-11
ไฟฟ้าที่ใช้ (kW)	4069	3830	239
ค่าไฟฟ้าที่ใช้ (บาท)	13019	12254	765

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

กำลังไฟฟ้าที่ลดลง

= [(kW/TRก่อนปรับปรุง – kW/TRหลังปรับปรุง)] x ตันความเย็นเดิม x ชั่วโมงต่อปี

= 239 kW x (24 ชั่วโมง/ วัน x 360 วัน/ปี)

= 2,064,960 kWh/ปี

เป็นค่าใช้จ่ายที่ลดลง = 2,064,960 kWh/ปี x 3.2 บาท/kWh

= 6,607,872 บาท/ปี

มาตรการ 3 CDA – มาตรการการลดการรั่วไหลในระบบอัดอากาศ

หน่วยงานที่รับผิดชอบมาตรการ แผนก Facility และ แผนก Tooling

หลักการและเหตุผล

จากการวิเคราะห์ Why – Why Analysis ทำให้ทราบว่าปัญหาการรั่วไหลในระบบอัดอากาศเป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้มีการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้น ทำให้เกิดความสูญเสียพลังงานไฟฟ้าในระบบอัดอากาศโดยเปล่าประโยชน์ ทางโรงงานจึงทำการสำรวจจุดที่มีการรั่วไหล และแจ้งส่วนงานที่เกี่ยวข้องทำการแก้ไขเพื่อลดการรั่วไหลของระบบอัดอากาศ บริเวณที่มักพบปัญหามากที่สุดคือ จุดเชื่อมต่อ หัวจ่าย ท่อและอุปกรณ์ติดตั้งต่างๆ อุปกรณ์ปรับควบคุมแรงดัน วาล์วควบคุมต่างๆข้อต่อท่อ ตัวตัดจ่ายและรอยปิดผนึก เป็นต้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อลดต้นทุนการใช้พลังงานในระบบอัดอากาศ
2. เพื่อลดปัญหาแรงดันในระบบอากาศอัดตก หรือไม่เพียงพอ
3. เพื่อลดการใช้พลังงานของเครื่องอัดอากาศ และการสิ้นเปลืองโดยเปล่าประโยชน์

เป้าหมาย / ผลที่คาดว่าจะได้รับ

เป้าหมายเชิงปริมาณ : ลดการใช้พลังงานในระบบอัดอากาศ รวมถึงลดต้นทุนด้านพลังงานให้กับระบบอัดอากาศอย่างน้อย 191,854 บาท/ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิธีดำเนินการ

1. ตรวจสอบการรั่ว โดยจะใช้วิธีทดสอบปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัดขณะไม่มีโหลด (No-Load Testing)

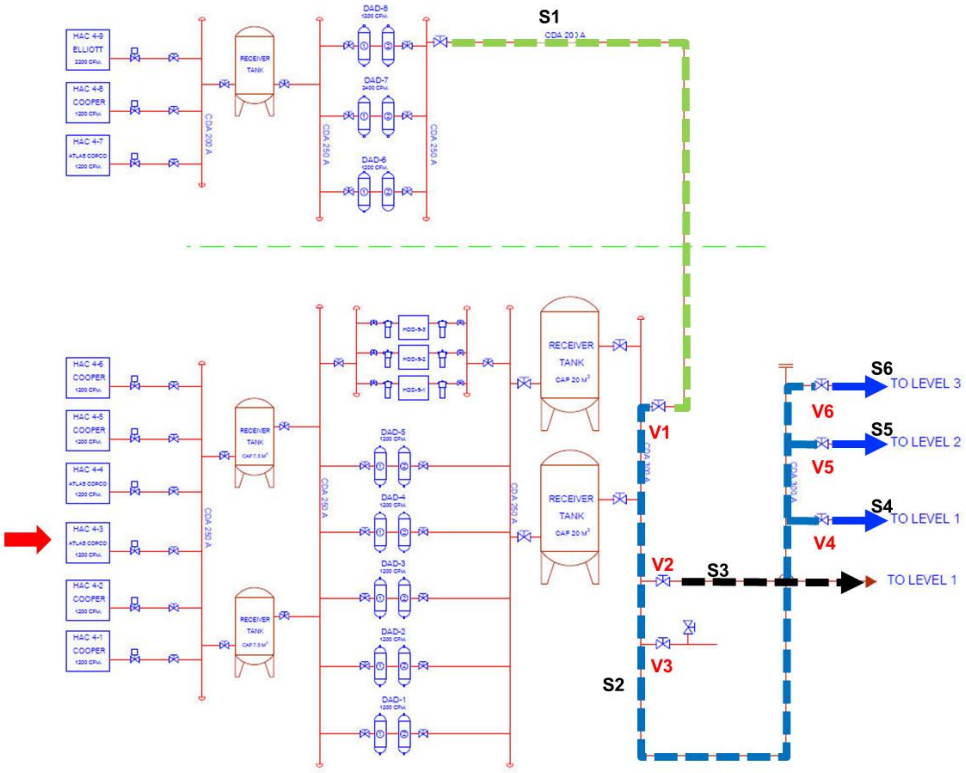
    1.1 ปิดอุปกรณ์ที่ใช้อากาศอัดในระบบทุกตัว (หยุดเดินเครื่องจักร)

    1.2 เริ่มเดินเครื่องอัดอากาศพร้อมทั้งจับเวลา (T_{ON}) รอจนเครื่องอัดอากาศได้ความดันตามที่ตั้งไว้ เครื่องจะหยุดทำงาน พร้อมทั้งยุติการจับเวลาช่วง T_{ON}

1.3 หลังจากนั้นปล่อยให้อากาศอัดรั่วออกมาตามรอยรั่วต่างๆ ทำการบันทึกเวลา T_{OFF}ก่อนที่เครื่องอัดอากาศจะกลับมาทำงาน T_{ON} อีกครั้ง

1.4 ให้ดำเนินขั้นตอนตามหัวข้อที่ 2 ทำเช่นนี้ 3- 5 ครั้งเพื่อความแม่นยำของข้อมูล

1.5 นำเวลาที่ได้ไปวิเคราะห์ เพื่อหาอัตราการรั่วไหลต่อไป

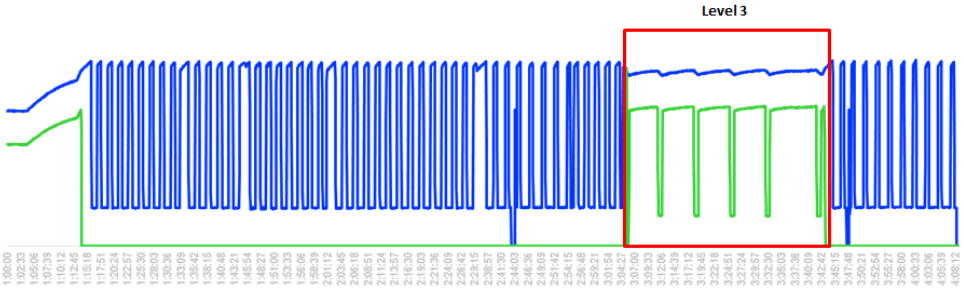


รูปที่ 4.4 ภาพแสดงเส้นทางการไหลและวาล์วของระบบอัดอากาศ

ตารางที่ 4.12ตารางแสดงเส้นทางการทดสอบและการเปิดปิดวาล์วของระบบอัดอากาศ

เส้นทางการทดสอบ		Valve					
		V1	V2	V3	V4	V5	V6
1	S2	Close	Close	Close	Close	Close	Close
2	S2 + S1	Open	Close	Close	Close	Close	Close
3	S2 + S3	Close	Open	Close	Close	Close	Close
4	S2 + S4	Close	Close	Close	Open	Close	Close
5	S2 + S5	Close	Close	Close	Close	Open	Close
6	S2 + S6	Close	Close	Close	Close	Close	Open

ผลการทดสอบ



รูปที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบเดินเครื่องอัดอากาศ

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

จำนวนชั่วโมงการทำงาน	=	24	ชั่วโมง / วัน
จำนวนวันทำงาน	=	360	วัน / ปี
ชั่วโมงการทำงานทั้งปี (24 x 360)	=	8640	ชั่วโมง / ปี
ค่ากำลังไฟฟ้าขณะ Load (PLoad)	=	40.12	kW
ค่ากำลังไฟฟ้าขณะ Unload (PUnload)	=	14.2	kW

ก่อนปรับปรุง

เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของลมอัดในระบบ

T load	=	43	Sec
T unload	=	18	Sec
การรั่วไหล(%) = [(T x 100) / (T + t)]	=	70.5%	
การใช้งานจริง	=	29.5%	

พลังงานไฟฟ้า	=	280554	kWh/ปี
ค่าไฟ (ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.2 บาท/kWh)	=	897,771	บาท/ปี

หลังปรับปรุง

เปอร์เซ็นต์การรั่วไหลของลมอัดในระบบ

T load	=	13	Sec
T unload	=	18	Sec
การรั่วไหล(%) = [(T x 100) / (T + t)]	=	41.9%	
การใช้งานจริง	=	58.1%	

พลังงานไฟฟ้า	=	216602	kWh/ปี
ค่าไฟ (ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 3.2 บาท/kWh)	=	693126	บาท/ปี

ผลประหยัด

พลังงานไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	=	280554	kWh/ปี
พลังงานไฟฟ้าหลังปรับปรุง	=	216602	kWh/ปี
พลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	=	63952	kWh/ปี

ค่าไฟก่อนปรับปรุง	=	897771	บาท/ปี
ค่าไฟหลังปรับปรุง	=	693126	บาท/ปี
ค่าไฟที่ประหยัดได้	=	204645	บาท/ปี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

%ประหยัดพลังงาน = 23%

ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

รวมระยะเวลา	4 เดือน
เริ่มต้นโครงการ	กุมภาพันธ์ 2556
สิ้นสุดโครงการ	พฤษภาคม 2556

มาตรการ 4 Lighting - พิจารณาความเหมาะสมของแสงสว่างและลดจำนวนหลอดไฟที่ไม่จำเป็น

หน่วยงานที่รับผิดชอบมาตรการ แผนก Facility

หลักการและเหตุผล

โดยทั่วไปการการออกแบบระบบแสงสว่างภายในโรงงานมักมีการเผื่อค่าความส่องสว่างให้สูงกว่าค่าที่คำนวณได้อยู่แล้ว ประกอบกับพื้นที่สำหรับปฏิบัติงานในระหว่างออกแบบกับการใช้งานจริงอาจมีการปรับเปลี่ยนเพื่อให้สอดคล้องกับโยบายและพื้นที่ใช้สอยที่มีจำกัด จึงทำให้พื้นที่บางส่วนที่ได้รับความส่องสว่างสูงเกินความจำเป็น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วัตถุประสงค์

เพื่อลดปริมาณแสงสว่างที่เกินความจำเป็นซึ่งส่งผลต่อการใช้พลังงาน

เป้าหมาย / ผลที่คาดว่าจะได้รับ

เป้าหมายเชิงปริมาณ : ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในระบบแสงสว่าง 625,398 บาท/ปี

วิธีดำเนินการ

ลดจำนวนหลอดไฟในพื้นที่ที่มีแสงสว่างเกินความจำเป็น โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. เก็บข้อมูลความส่องสว่างของแต่ละพื้นที่

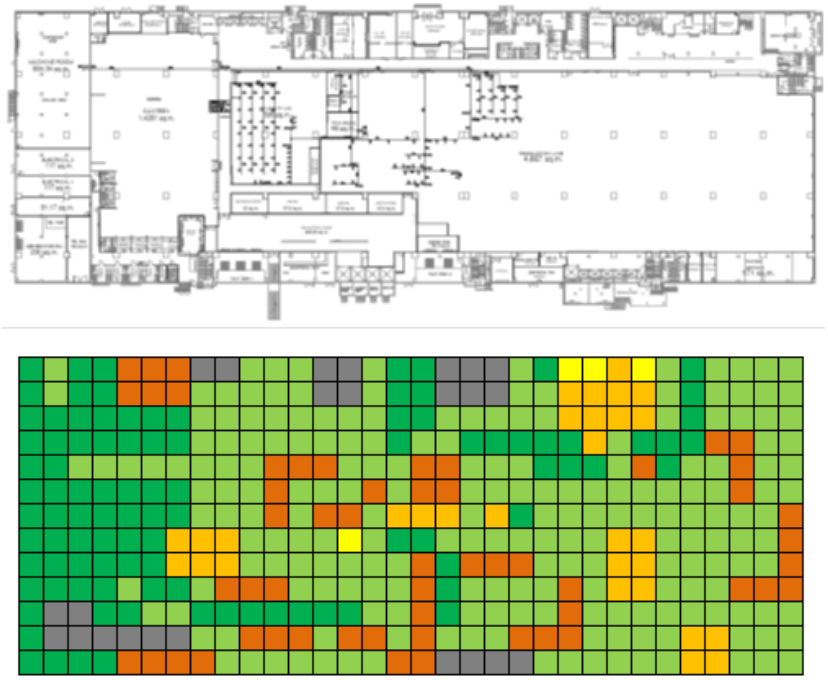
2. เปรียบเทียบความส่องสว่าง และกิจกรรมของแต่ละพื้นที่ว่าเหมาะสมหรือไม่
3. ถอดหลอดที่เกินความจำเป็นออก
4. วิเคราะห์ผลประหยัดที่ได้

ขั้นตอนที่ 1 เก็บข้อมูลความส่องสว่างของแต่ละพื้นที่
ใช้วิธีการวัดแสงเฉลี่ยแบบพื้นที่ทั่วไป (Area Measurement) โดยแบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วนย่อยๆ (6 x 6ตารางเมตร) ใช้เซลรับแสงวัดความส่องสว่างในแนวระนาบกับพื้น อ่านค่าที่วัดได้และหาค่าเฉลี่ย

กำหนดให้

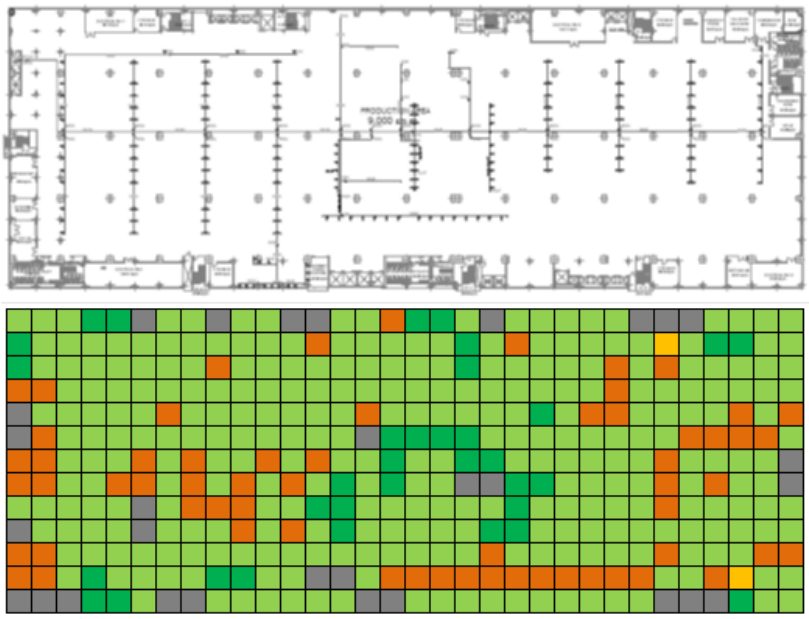
NA		ไม่สามารถวัด หรือเก็บข้อมูลได้
0 – 250		ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างอยู่ที่ 0 ถึง 250 ลักซ์ (LUX)
251 – 500		ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างอยู่ที่ 251 ถึง 500 ลักซ์ (LUX)
501 – 750		ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างอยู่ที่ 501 ถึง 750 ลักซ์ (LUX)
751 – 1000		ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างอยู่ที่ 751 ถึง 1000 ลักซ์ (LUX)
1001 – 1250		ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างอยู่ที่ 1001 ถึง 1250 ลักซ์ (LUX)
> 1250		ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างมากกว่า 1250 ลักซ์ (LUX)

ชั้นที่ 1 พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นห้องปฏิบัติการ ห้องบรรจุภัณฑ์ สำนักงาน ห้องประชุม และโรงอาหาร



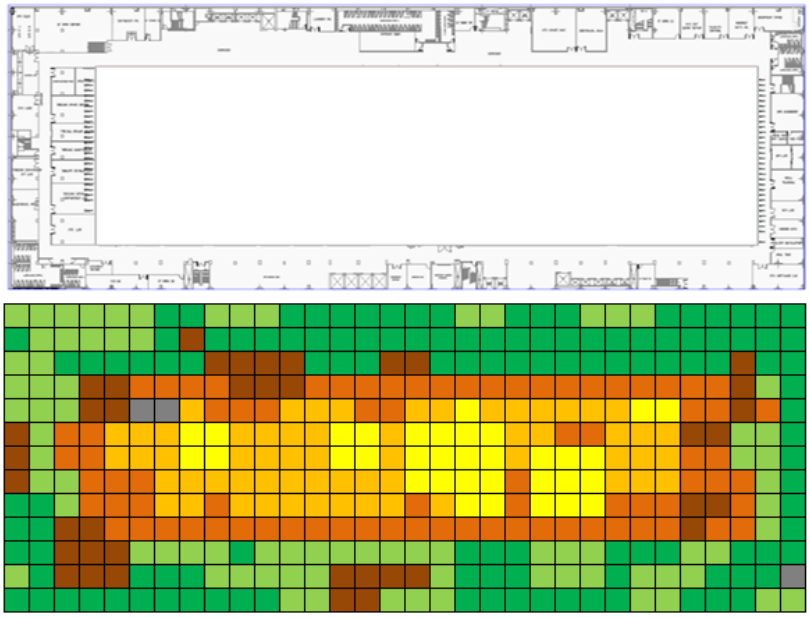
รูปที่ 4.6 พื้นที่ ห้องบรรจุภัณฑ์ สำนักงาน ห้องประชุม และโรงอาหาร

ชั้นที่ 2 พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นห้องทดสอบผลิตภัณฑ์ และห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 4.7 พื้นที่ห้องทดสอบผลิตภัณฑ์ และห้องปฏิบัติการ ชั้นที่ 2

ชั้นที่ 3 พื้นที่ส่วนใหญ่เป็นสายการผลิต



รูปที่ 4.8 พื้นที่ห้องทดสอบผลิตภัณฑ์ และห้องปฏิบัติการ ชั้นที่ 3

ขั้นตอนที่ 2 เปรียบเทียบความส่องสว่าง และกิจกรรมของแต่ละพื้นที่ว่าเหมาะสมหรือไม่ จากการตรวจวัดค่าความส่องสว่าง เปรียบเทียบกับกิจกรรมและพื้นที่ใช้งานพบว่า บางพื้นที่มีปริมาณแสงสว่างมากเกินความจำเป็นกว่าที่ระบุไว้ใน กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. ๒๕๔๙ นั่นแสดงให้เห็นว่าโรงงานมีโอกาสที่จะลดปริมาณการใช้แสงสว่างที่เกินความจำเป็นได้

อ้างอิงจากกฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. ๒๕๔๙

ตารางที่ 4.13 ตารางอ้างอิงค่ามาตรฐานเฉลี่ยความเข้มของแสง

มาตรฐานค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง ณ บริเวณพื้นที่ทั่วไป

ประเภทอุตสาหกรรม	อาคาร/พื้นที่	ค่าเฉลี่ยความเข้มของแสงสว่าง(ลักซ์)
บริเวณพื้นที่ทั่วไปของอาคาร	**ทางเข้า**	
	- ทางเข้าห้องโถง หรือห้องพักรอ	๒๐๐
	- บริเวณโต๊ะประชาสัมพันธ์ หรือโต๊ะติดต่อลูกค้า	๔๐๐
	- ประตูทางเข้าใหญ่ของสถานประกอบกิจการ	๕๐
	- ป้อมยาม	๑๐๐
	- จุดขนถ่ายสินค้า	๑๐๐
	พื้นที่สัญจร	
	- ทางเดินในพื้นที่สัญจรเบาบาง	๒๐
	- ทางเดินในพื้นที่สัญจรหนาแน่น	๕๐
	- บันได	๕๐
	ห้องฝึกอบรมและห้องบรรยาย	
	- พื้นที่ทั่วไป	๓๐๐
	อาคารสถานีขนส่ง(ท่าอากาศยาน ท่ารถ และสถานีรถไฟ)	
	- ห้องจองตั๋วหรือห้องขายตั๋ว	๔๐๐
	ห้องคอมพิวเตอร์	
	- บริเวณทั่วไป	๔๐๐
	ห้องประชุม	๓๐๐
	งานธุรการ	
	- ห้องถ่ายเอกสาร	๓๐๐
	- ห้องนิรภัย	๑๐๐
	โรงอาหาร	
	- พื้นที่ทั่วไป	๒๐๐
	- บริเวณโต๊ะเก็บเงิน	๓๐๐
	โรงซักรีด	
	- บริเวณห้องอบหรือห้องทำให้แห้ง	๑๐๐
	ห้องครัว	
	- พื้นที่ทั่วไป	๒๐๐
	- บริเวณที่ปรุงอาหารและที่ทำความสะอาด	๓๐๐

ที่มา กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. ๒๕๔๙

ตารางที่ 4.14 ตารางอ้างอิงค่ามาตรฐานเทียบเคียงความเข้มของแสงสว่าง ที่ลูกจ้างทำงาน

มาตรฐานเทียบเคียงความเข้มของแสงสว่าง ณ ที่ที่ให้ลูกจ้างคนใดคนหนึ่งทำงาน		
การใช้สายตาตามลักษณะงาน	**ความเข้มของแสงสว่าง (ลักซ์)**	**ตัวอย่าง**
งานละเอียดสูงมากเป็นพิเศษ	๒,๔๐๐ หรือมากกว่า	- การตรวจสอบชิ้นงานที่มีขนาดเล็ก
		(เช่น เครื่องมือที่มีขนาดเล็กมาก)
		- การทำเครื่องประดับและทำนาฬิกาในกระบวนการที่มีขนาดเล็ก
		- การถักถุงเท้า เสื้อผ้าที่มีสีเข้ม รวมทั้งการซ่อมแซมสินค้าที่มีสีเข้ม
งานละเอียดสูงมาก	1600	- งานละเอียดที่ต้องทำบนโต๊ะหรือเครื่องจักร เช่น ทำเครื่องมือและแม่พิมพ์ (ขนาดเล็กกว่า ๒๕ ไมโครเมตร) ตรวจวัด และตรวจสอบชิ้นส่วนที่มีขนาดเล็กและชิ้นงานที่มีส่วนประกอบขนาดเล็ก
		- การซ่อมแซมสินค้าสิ่งทอ สิ่งถักที่มีสีอ่อน
		- การตรวจสอบและตกแต่งชิ้นส่วนของสินค้า สิ่งทอ สิ่งถักที่มีสีเข้ม
		- การวัดระยะความยาวขั้นสุดท้าย
งานละเอียดสูง	1200	- การตรวจสอบการตัดเย็บเสื้อผ้าด้วยมือ
		- การตรวจสอบและการตกแต่งชิ้นส่วนสินค้าสิ่งทอ สิ่งถัก หรือเสื้อผ้าที่มีสีอ่อนขั้นสุดท้ายด้วยมือ
		- การแบ่งเกรดและเทียบสีของหนังที่มีสีเข้ม
		- การเทียบสีในงานย้อมผ้า
	800	- การระบายสี พ่นสี และตกแต่งชิ้นงานที่ละเอียดมากเป็นพิเศษ
		- การเทียบสีที่ระบายชิ้นงาน
		- งานย้อมสี
		- งานละเอียดที่ทำบนโต๊ะและที่เครื่องจักร (ขนาดเล็กถึง ๒๕ ไมโครเมตร) การตรวจสอบงานละเอียด (เช่น ตรวจ ปรับความถูกต้องของสเกล กลไก และเครื่องมือที่ต้องการความถูกต้องเที่ยงตรง)
งานละเอียดปานกลาง	600	- การทำงานสำนักงานที่มีสีติดกันน้อย
		- งานวาดภาพหรือเขียนแบบระบายสี พ่นสี และตกแต่งสีงานที่ละเอียด
		- งานพิสูจน์อักษร
		- การตรวจสอบขั้นสุดท้ายในโรงงานผลิตรถยนต์
		- งานบันทึกข้อมูลทางจอภาพ
งานละเอียดน้อย	400	- งานขนาดปานกลางที่ทำที่โต๊ะหรือเครื่องจักร (มีขนาดเล็กถึง ๑๒๕ ไมโครเมตร)
		- งานประจำในสำนักงาน เช่น การพิมพ์ การจัดเก็บแฟ้ม หรือการเขียน
		- การตรวจสอบงานที่มีขนาดปานกลาง
		(เช่น เกจทำงานหรือไม่ เครื่องโทรศัพท์)
		- การประกอบรถยนต์และตัวถัง
		- การทำงานไม้อย่างละเอียดบนโต๊ะหรือที่เครื่องจักร
		- การประดิษฐ์หรือแบ่งขนาดโครงสร้างเหล็ก
		- งานสอบถาม หรืองานประชาสัมพันธ์
	300	- การเขียนหรืออ่านกระดานดำหรือแผ่นชาร์ทในห้องเรียน
		- งานรับและจ่ายเสื้อผ้า
		- งานร้านขายยา
		- การทำงานไม้ชิ้นงานขนาดปานกลางซึ่งทำที่โต๊ะหรือเครื่องจักร
		- งานบรรจุน้ำลงขวดหรือกระป๋อง
		- งานทากาว เจาะรูและเย็บเล่มหนังสือ
		- งานเตรียมอาหาร ปรุงอาหาร และล้างจาน
งานละเอียดน้อยมาก	200	- งานหยาบที่ทำที่โต๊ะหรือเครื่องจักร (ขนาดใหญ่ต้นฉบับกว่า ๗๕๐ ไมโครเมตร) การตรวจงานหยาบด้วยสายตา การนับ หรือการตรวจเช็คสิ่งของที่มีขนาดใหญ่ในห้องเก็บของ

ที่มา กฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัยและสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ. ๒๕๔๙

ตารางที่ 4.15 ตารางแสดงจำนวนหลอดไฟในแต่ละพื้นที่ก่อนปรับปรุง

ชั้น	สถานที่	จำนวนหลอดไฟ (18 วัตต์)	จำนวนหลอดไฟ (36 วัตต์)
		ก่อนปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง
1	โรงอาหาร	276	2200
	ทางเดิน	367	437
	สำนักงาน	222	50
	ห้องทดสอบ		273
	ห้องน้ำ	93	50
	ห้องบรรจุภัณฑ์	2378	
	ห้องปฏิบัติการ	40	
	ห้องประชุม	42	
	ห้องพยาบาล	18	
	ห้องรับ-ส่งวัสดุ	139	
2	ไลน์ผลิตส่วนหลัง	78	
	ทางเดิน	70	1820
	สำนักงาน		18
	ห้อง IT	60	
	ห้องควบคุม	12	
	ห้องทดสอบ	4664	48
	ห้องน้ำ	90	
	ห้องปฏิบัติการ		76
3	ห้องน้ำ	141	
	production service		9
	ไลน์ผลิตในห้องสะอาด1		3060
	ไลน์ผลิตในห้องสะอาด2		4568
	ไลน์ผลิตส่วนหลัง	98	1890
	ทางเดิน	675	570
	สำนักงาน	18	
	ห้อง IT		135
	ห้องควบคุม	42	234
	ห้องซ่อมบำรุง		63
	ห้องซักรีด	12	
	ห้องทดสอบ	24	
	ห้องทดสอบชิ้นส่วน	76	
	ห้องปฏิบัติการ	24	102
	ห้องอุปกรณ์	24	

ขั้นตอนที่ 3 ถอดหลอดที่เกินความจำเป็นออก

ตารางที่ 4.16 ตารางแสดงจำนวนหลอดไฟและพื้นที่หลังการปรับปรุง

ชั้น	สถานที่	จำนวนหลอดไฟ (18 วัตต์)		จำนวนหลอดไฟ (36 วัตต์)	
		ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง
1	โรงอาหาร	276	**262**	2200	**1787**
	ทางเดิน	367	**341**	437	**355**
	สำนักงาน	222	**209**	50	50
	ห้องทดสอบ			273	**259**
	ห้องน้ำ	93	**88**	50	**50**
	ห้องบรรจุภัณฑ์	2378	**2212**		
	ห้องปฏิบัติการ	40	40		
	ห้องประชุม	42	42		
	ห้องพยาบาล	18	18		
	ห้องรับ-ส่งวัสดุ	139	**132**		
2	ไลน์ผลิตส่วนหลัง	78	78		
	ทางเดิน	70	70	1820	**1479**
	สำนักงาน			18	18
	ห้อง IT	60	60		
	ห้องควบคุม	12	12		
	ห้องทดสอบ	4664	**4338**	48	48
	ห้องน้ำ	90	90		
	ห้องปฏิบัติการ			76	76
3	ห้องน้ำ	141	**134**		
	production service			9	9
	ไลน์ผลิตในห้องสะอาด1			3060	3060
	ไลน์ผลิตในห้องสะอาด2			4568	4568
	ไลน์ผลิตส่วนหลัง	98	98	1890	**1536**
	ทางเดิน	675	675	570	**463**
	สำนักงาน	18	18		
	ห้อง IT			135	135
	ห้องควบคุม	42	42	234	**222**
	ห้องซ่อมบำรุง			63	63
	ห้องซักรีด	12	12		
	ห้องทดสอบ	24	24		
	ห้องทดสอบชิ้นส่วน	76	76		
	ห้องปฏิบัติการ	24	24	102	102
	ห้องอุปกรณ์	24	24		

โรงงานแห่งนี้สามารถปลดหลอดไฟในบริเวณที่มีแสงสว่างเกินความจำเป็นในบริเวณต่างๆได้ทั้งสิ้น 590 หลอด โดยเป็นหลอด 28 วัตต์(T5) จำนวน 565 หลอด และเป็นหลอด 36 วัตต์(T8) จำนวน 1322 หลอด

ตารางที่ 4.17 ตารางแสดงจำนวนการใช้หลอดไฟก่อนและหลังการปรับปรุง

จำนวนหลอด T5 (28 Watt)			จำนวนหลอด T8 (36 Watt)		
ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลต่าง	ก่อนปรับปรุง	หลังปรับปรุง	ผลต่าง
9683	9118	565	15603	14281	1322

ขั้นตอนที่ 4 วิเคราะห์ผลประหยัดที่ได้

จำนวนหลอดที่ลดลง T5 (ขนาด 28 วัตต์)		565	หลอด
จำนวนหลอดที่ลดลง T8 (ขนาด 36 วัตต์)		1,322	หลอด
ชั่วโมงการทำงาน = 24 ชั่วโมง x 360 วัน		8,640	ชั่วโมง/ ปี
กำหนดการสูญเสียในตัวบัลลาสต์ = 10 วัตต์/ชุด		10	วัตต์/ชุด
รวมกำลังไฟฟ้าที่ใช้			
	T5	38	วัตต์/ชุด
	T8	46	วัตต์/ชุด
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้า			
	T5	185,501	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
	T8	525,416	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
	รวม	710,916	กิโลวัตต์-ชั่วโมง/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้		2,274,933	บาท/ปี

ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

รวมระยะเวลา	2 เดือน
เริ่มต้นโครงการ	มิถุนายน 2556
สิ้นสุดโครงการ	กรกฎาคม 2556

มาตรการ 5 Lighting – เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นหลอด LED

หน่วยงานที่รับผิดชอบมาตรการ แผนก Facility

หลักการและเหตุผล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากข้อมูลการประเมินการใช้พลังงานเบื้องต้นของโรงงานตัวอย่างพบว่า การใช้ไฟฟ้าในระบบแสงสว่างสูงถึง 10 % ของการใช้ไฟฟ้าทั้งหมด ดังนั้น การส่งเสริมให้เกิดการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าในระบบแสงสว่างที่มีประสิทธิภาพสูงจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งต่อการลดการใช้พลังงาน มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นหลอด LED ถือเป็นอีกหนึ่งมาตรการที่ได้รับความสนใจอย่างมากเพราะ LED นับเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยลดการใช้พลังงานในระบบส่องสว่างได้ดี อีกทั้งยังมีอายุการใช้งานสูง เหมาะกับการใช้ในพื้นที่ที่บำรุงรักษายาก มีความทันสมัย ทนต่อแรงสั่นสะเทือน ไร้สารปรอทไม่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อม เหมาะอย่างยิ่งที่จะนำมาใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องเดินเครื่องจักรตลอด 24 ชั่วโมง

วัตถุประสงค์

1. เพื่อลดการใช้ไฟฟ้าในระบบส่องสว่าง
2. เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานให้กับหลอดไฟ

เป้าหมาย / ผลที่คาดว่าจะได้รับ

เป้าหมายเชิงปริมาณ : ต้องการติดตั้งหลอด LED จำนวน 5,620 หลอดใน พื้นที่ที่กำหนดไว้อันได้แก่ โรงอาหาร ทางเดิน สายผลิตส่วนหลัง ซึ่งจะประหยัดพลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างได้ 874,022 kwh/ปี หรือ ประหยัดได้ 2,796,872 บาท/ ปี

วิธีดำเนินการ

ลดจำนวนหลอดไฟในพื้นที่ที่มีแสงสว่างเกินความจำเป็นเมื่อเปรียบเทียบจำนวน Lux ที่ต้องใช้กับลักษณะงานจากนั้นทำการเปลี่ยนหลอดไฟ T8 เป็น LED โดยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1. เก็บข้อมูลความส่องสว่างของแต่ละพื้นที่
2. เปรียบเทียบความส่องสว่าง และกิจกรรมของแต่ละพื้นที่ว่าเหมาะสมหรือไม่
3. ถอดหลอดที่เกินความจำเป็นออกและติดตั้งหลอด LED เข้าไปแทนหลอดไฟ T8 แบบเดิม
4. วัดปริมาณความส่องสว่างเทียบกับกิจกรรมและลักษณะงานอีกครั้ง
5. วิเคราะห์ผลประหยัดที่ได้

ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

รวมระยะเวลา	2 เดือน
เริ่มต้นโครงการ	กรกฎาคม 2556
สิ้นสุดโครงการ	สิงหาคม 2556

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

จำนวนหลอดที่ต้องการเปลี่ยนจากหลอดT8 เป็น LED	5,620	หลอด
ชั่วโมงการทำงาน = 24 ชั่วโมง x 360 วัน	8,640	ชั่วโมง/ ปี

กำลังไฟฟ้าที่ใช้

T8 = 36 W x 8640 ชั่วโมง/ปี x จำนวนหลอด	1,748,045	kwh/ปี
LED = 18 W x 8640 ชั่วโมง/ปี x จำนวนหลอด	874,022	kwh/ปี
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้	874,022	kwh/ปี
คิดเป็นต้นทุนพลังงานที่ประหยัดได้	2,796,872	บาท/ ปี

ขอบเขตของงาน

ติดตั้งหลอด LED (ขนาด T8) Model : LED T8 – 2000 LM ที่บริเวณ โรงอาหาร ทางเดินชั้น 1 ทางเดินชั้น 2 บริเวณสายการผลิตส่วนหลัง และบริเวณทางเดินชั้น 3 รวมทั้งสิ้น 5,620 หลอด

ตารางที่ 4.18 ตารางแสดงจำนวนการติดตั้ง LED ต่อพื้นที่

ชั้น	สถานที่	LED (หลอด)
1	โรงอาหาร	1788
	ทางเดิน	355
2	ทางเดิน	1479
3	สายผลิตส่วนหลัง	1536
	ทางเดิน	463
รวม		5620

มาตรการที่ 6 จัดอบรมด้านพลังงานให้กับพนักงาน

หน่วยงานที่รับผิดชอบมาตรการ แผนก HR & Training

หลักการและเหตุผล จากการประเมินการทำให้การอนุรักษ์พลังงานในโรงงานมีประสิทธิภาพและได้รับความร่วมมืออย่างดีจากพนักงานในโรงงาน หน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรจัดกิจกรรม ให้ความรู้แก่พนักงาน เพื่อให้เห็นคุณประโยชน์ของการจัดการด้านพลังงานที่ดีในโรงงาน ร่วมกับการสร้างจิตสำนึกที่ดีให้พนักงานเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน

กลุ่มเป้าหมาย

โรงงานจะแบ่งกลุ่มเป้าหมายออกเป็น 3 กลุ่มด้วยกันคือ

1.กลุ่มพนักงานฝ่ายการผลิต

2.กลุ่มวิศวกร และ พนักงานสำนักงาน

3.กลุ่มผู้เชี่ยวชาญและคณะกรรมการการจัดการด้านพลังงานของโรงงาน

การวิเคราะห์ข้อมูลผ่านการประเมินของผู้เข้าอบรม

ทุกกิจกรรมจะมีแบบสอบถามเพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลไปใช้ทำการวิเคราะห์ ผ่านการหาค่าเฉลี่ยทางสถิติ โดยกำหนดเกณฑ์ในการประเมินไว้ 5 ระดับ ดังนี้ คือ

ตารางที่ 4.19 แบบสอบถามเพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลไปใช้ทำการวิเคราะห์

ระดับคะแนน	ความหมาย
5	เห็นด้วย หรือพึงพอใจ**มากที่สุด**
4	เห็นด้วย หรือพึงพอใจ**มาก**
3	เห็นด้วย หรือพึงพอใจ**ปานกลาง**
2	เห็นด้วย หรือพึงพอใจ**น้อย**
1	เห็นด้วย หรือพึงพอใจ**น้อยที่สุด**

มาตรการที่ 6.1 โครงการอบรมนโยบายและการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานให้กับพนักงานใหม่

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่รายชื่อคณะกรรมการ ตลอดจนนโยบายด้านการอนุรักษ์พลังงานของโรงงานให้กับพนักงานใหม่ได้ทราบ
2. เพื่อสร้างความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการดำเนินนโยบายด้านการอนุรักษ์พลังงานในองค์กรและขยายผลองค์ความรู้ในการดำเนินกิจกรรมการอนุรักษ์พลังงานต่อไป
3. เพื่อสร้างจิตสำนึกที่ดีให้กับพนักงานโดยชี้ให้เห็นผลดีของการอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน

กลุ่มเป้าหมาย

ดำเนินการฝึกอบรมให้กับพนักงานใหม่(ฝ่ายผลิต)ทุกๆ เดือน จำนวนประมาณ 200 คน/เดือน

สถานที่

ห้องประชุมใหญ่ อาคาร 3

ระยะเวลาในการดำเนินกิจกรรม 4 เดือน

เป้าหมาย มีพนักงานใหม่เข้าร่วมในโครงการไม่น้อยกว่า 600 คน ต่อ 1 ไตรมาส

วิธีการประเมินโครงการและการเก็บรวบรวมข้อมูล

วิธีการประเมินโครงการ “อบรมนโยบายและการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานให้กับพนักงานใหม่” จะใช้วิธีรวบรวมข้อมูลเพื่อการสรุปผลการดำเนินโครงการโดยการแจกแบบประเมินให้กับผู้เข้ารับการอบรม ดังรายละเอียดการประเมินต่อไปนี้

Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.20 แบบสอบถามแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงาน

แบบสอบถามความคิดเห็น

โครงการ/กิจกรรม โครงการอบรมนโยบายและการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานให้กับพนักงานใหม่

วันที่ ..... เดือน..... พ.ศ.2557

สถานที่ ห้องประชุมใหญ่ อาคาร 3

หน่วยงานที่จัดโครงการ ฝ่ายพัฒนาทรัพยากรบุคคล และ คณะกรรมการฝ่ายอนุรักษ์พลังงาน

วัตถุประสงค์ เพื่อสอบถามความคิดเห็นของพนักงานใหม่เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงในการจัดโครงการครั้งต่อไป

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าอบรม

1. เพศ ☐ **(1) ชาย** ☐ **(2) หญิง**

2. การศึกษา ☐ **(1) ประถม** ☐ **(2) มัธยมต้น** ☐ **(3) มัธยมปลาย** ☐ **(4) ปวช.** ☐ **(5) ปวส.** ☐ **(6) ปริญญาตรี** ☐ **(7)สูงกว่าปริญญาตรี**

3. อายุ .....

ส่วนที่ 2 ความพึงพอใจ

กรุณากาเครื่องหมาย ✔ ตามความคิดเห็นของท่าน

ข้อ	หัวข้อที่ประเมิน	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด (1)
1	ความเหมาะสมของข้อมูลและเนื้อหาสาระ					
2	ความเหมาะสมของวิทยากร					
3	เทคนิคการนำเสนอของวิทยากร					
4	ความเหมาะสมของระยะเวลาในการอบรม					
5	ความเหมาะสมของห้องสถานที่อบรม					
6	ประโยชน์ที่ได้รับจากการอบรม					
7	สามารถนำความรู้ความเข้าใจไปประยุกษ์ใช้กับการอนุรักษ์พลังงาน					
8	ท่านมีความพึงพอใจที่ได้เข้าร่วมกิจกรรม					
9	การอบรมนี้ควรจัดให้กับพนักงานใหม่ต่อไป					

ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นเพิ่มเติม

.....

มาตรการที่ 6.2 โครงการอบรมการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุม

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเข้าใจเกี่ยวกับข้อกำหนดของกฎหมายและมาตรฐาน ISO 50001:2011 เกี่ยวกับระบบการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุม
2. เพื่อทราบแนวทางในการประหยัดพลังงานในโรงงาน

กลุ่มเป้าหมาย

ดำเนินการฝึกอบรมให้กับวิศวกร และพนักงานสำนักงาน จำนวน 50 คน (4 รอบ)
รวมทั้งสิ้น 200 คน

สถานที่

ห้องประชุม อาคาร 2

ระยะเวลาในการดำเนินกิจกรรม 4 เดือน

วิธีการประเมินโครงการและการเก็บรวบรวมข้อมูล

วิธีการประเมินโครงการ “อบรมการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุม”
จะใช้วิธีรวบรวมข้อมูลเพื่อการสรุปผลการดำเนินโครงการโดยการแจกแบบประเมินให้กับผู้เข้ารับการอบรม รวมไปถึงการทำแบบทดสอบก่อนและหลังเข้ารับการอบรมดังรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไปนี้

ตารางที่ 4.21 แบบสอบถามแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับโครงการจัดการพลังงาน

Chulalongkorn University

แบบสอบถามความคิดเห็น

โครงการ/กิจกรรม โครงการอบรมการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุม

วันที่ ..... เดือน..... พ.ศ.2557

สถานที่ ห้องประชุม อาคาร 2

หน่วยงานที่จัดโครงการ ฝ่ายพัฒนาทรัพยากรบุคคล และ คณะกรรมการฝ่ายอนุรักษ์พลังงาน

วัตถุประสงค์ เพื่อสอบถามความคิดเห็นของพนักงานใหม่เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงในการจัดโครงการครั้งต่อไป

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าอบรม

1. เพศ ☐ **(1) ชาย** ☐ **(2) หญิง**

2. การศึกษา ☐ **(1) ปวส.** ☐ **(2) ปริญญาตรี** ☐ **(3)สูงกว่าปริญญาตรี**

3. อายุ .....

4. แผนก.....

ส่วนที่ 2 ความพึงพอใจ

กรุณากาเครื่องหมาย ✔ ตามความคิดเห็นของท่าน

ข้อ	หัวข้อที่ประเมิน	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด (1)
1	ก่อนอบรมท่านมีความรู้เกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานมากน้อยเพียงใด					
2	ความเหมาะสมของข้อมูล หลักสูตร และเนื้อหา					
3	ความเหมาะสมของวิทยากรต่อการอบรม					
4	เทคนิคการนำเสนอของวิทยากร					
5	ความเหมาะสมของระยะเวลาในการอบรม					
6	ความเหมาะสมของห้องสถานที่อบรม					
7	ประโยชน์ที่ได้รับจากการอบรม					
8	การอบรมทำให้ท่านมีความเข้าใจเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานมากขึ้น					
9	สามารถนำความรู้ความเข้าใจไปประยุกษ์ใช้กับการอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน					
10	ท่านมีความพึงพอใจที่ได้เข้าร่วมกิจกรรม					
11	การอบรมนี้ควรจัดให้กับพนักงานใหม่ต่อไป					

ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นเพิ่มเติม

.....

มาตรการที่ 6.3 โครงการอบรม Energy Management Technique for industry

วัตถุประสงค์

1. เพื่อให้ทราบถึงวิธีการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานในโรงงาน
2. สามารถจัดทำ Energy Baseline และกำหนดตัวชี้วัดด้านพลังงานได้
3. สามารถประเมินศักยภาพและแนวทางการประหยัดพลังงานในแต่ละระบบได้

กลุ่มเป้าหมาย

ผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงานของบริษัท คณะกรรมการด้านการอนุรักษ์พลังงาน ตลอดจนผู้สนใจและผู้เกี่ยวข้อง จำนวนประมาณ 40 คน

สถานที่

ห้องประชุมใหญ่ (คอมพิวเตอร์) อาคาร 2

วิธีการประเมินโครงการและการเก็บรวบรวมข้อมูล

วิธีการประเมินโครงการ “**Energy Management Technique for industry**” จะใช้วิธีเก็บคะแนนจากแบบทดสอบและกิจกรรมในการอบรม ผู้เข้าร่วมต้องมีคะแนนรวมเกิน 80% จึงจะถือว่าผ่านการอบรม รวมไปถึงการรวบรวมข้อมูลผ่านแบบประเมินเพื่อการสรุปผลในการดำเนินโครงการ ดังรายละเอียดการประเมินต่อไปนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.22 แบบสอบถามแสดงความคิดเห็นเกี่ยวกับ Energy Management Technology for Industry

แบบสอบถามความคิดเห็น

โครงการ/กิจกรรม Energy Management Technique for industry

วันที่ ..... เดือน..... พ.ศ.2557

สถานที่ ห้องประชุมใหญ่ (คอมพิวเตอร์) อาคาร 2

หน่วยงานที่จัดโครงการ ฝ่ายพัฒนาทรัพยากรบุคคล และ คณะกรรมการฝ่ายอนุรักษ์พลังงาน

วัตถุประสงค์ เพื่อสอบถามความคิดเห็นของพนักงานใหม่เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงในการจัดโครงการครั้งต่อไป

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าอบรม

1. เพศ ☐ (1) ชาย ☐ (2) หญิง

2. การศึกษา ☐ (1) ปวส. ☐ (2) ปริญญาตรี ☐ (3)สูงกว่าปริญญาตรี

3. อายุ .....

4. แผนก.....

ส่วนที่ 2 ความพึงพอใจ

กรุณากาเครื่องหมาย ✔ ตามความคิดเห็นของท่าน

ข้อ	หัวข้อที่ประเมิน	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด (1)
1	ความเหมาะสมของข้อมูล หลักสูตร และเนื้อหา					
2	ความเหมาะสมของวิทยากรต่อการอบรม					
3	เทคนิคการนำเสนอของวิทยากร					
4	ตัวอย่างและการทำกิจกรรมทำให้เข้าใจมากขึ้น					
5	ความเหมาะสมของระยะเวลาในการอบรม					
6	ความเหมาะสมของห้องสถานที่อบรม					
7	หลักสูตรนี้ทำให้ท่านทราบวิธีการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานมากขึ้น					
8	เข้าใจปัญหาด้านพลังงานในระบบต่าง ๆมากขึ้น					
9	ท่านเข้าใจเทคนิคในการแก้ไขปัญหาด้านพลังงานของโรงงาน					
10	สามารถนำความรู้ความเข้าใจไปประยุกษ์ใช้กับการอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน					
11	ท่านมีความพึงพอใจที่ได้เข้าร่วมกิจกรรม					
12	การอบรมนี้ควรจัดให้กับพนักงานต่อไป					

ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นเพิ่มเติม

.....

จากการหาสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงานและมาตรการตอบสนองเพื่อลดต้นทุนด้านพลังงาน สามารถสรุปรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.23 ตารางแสดงสาเหตุที่ส่งผลกระทบต่อการใช้พลังงาน และมาตรการตอบสนองเพื่อลดต้นทุนด้านพลังงาน

ระบบ	สาเหตุ	มาตรการ	เป้าหมาย ที่คาดว่าจะได้รับ
Chiller	ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นต่ำ	เปลี่ยนไปใช้เครื่องทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง	737,280 บาท/เดือน
Chiller	ต้องเดินเครื่องทำความเย็นตลอดเวลา (ไม่มีแผน)	บริหารแผนการจัดการเครื่องทำความเย็น	550,656 บาท/เดือน
CDA	เกิดการรั่วไหลในระบบอากาศอัด	มาตรการการลดการรั่วไหลในระบบอัดอากาศ	17,054 บาท/เดือน
Lighting	ระบบแสงสว่างที่เกินความจำเป็น	พิจารณาความเหมาะสมของแสงสว่างและลดจำนวนหลอดไฟที่ไม่จำเป็น	189,578 บาท/เดือน
Lighting	เทคโนโลยีหลอดไฟเก่า (T8)	เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นหลอด LED	233,073 บาท/เดือน
Human	ขาดการจัดการระบบและการประชาสัมพันธ์การอนุรักษ์พลังงาน	จัดอบรมด้านพลังงานให้กับพนักงาน	ปรับปรุงระบบการอนุรักษ์พลังงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 5
ผลการดำเนินงานวิจัย

หลังจากที่เข้าไปศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้กรณีตัวอย่างในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ ตามระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน ระหว่าง ส.ค. พ.ศ.2555 – ธ.ค. พ.ศ.2556

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงรายละเอียดและแผนการดำเนินงานของแต่ละมาตรการ

ระบบ	มาตรการ	ผู้รับผิดชอบ	ระยะเวลาดำเนินการ	ช่วงเวลาในการดำเนินการ																	
				2/2555						1/2556						2/2556					
				ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
Chiller	เปลี่ยนไปใช้เครื่องทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง	Facility	9 เดือน		■	■	■	■	■	■	■	■	■								
Chiller	บริหารแผนการจัดการเครื่องทำความเย็น	Facility & Production	3 เดือน							■	■	■									
CDA	มาตรการการลดการรั่วไหลในระบบอัดอากาศ	Facility & Tooling	4 เดือน								■	■	■	■							
Lighting	พิจารณาความเหมาะสมของแสงสว่างและลดจำนวนหลอดไฟที่ไม่จำเป็น	Facility	2 เดือน											■	■						
Lighting	เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นหลอด LED	Facility	2 เดือน												■	■					
Human	จัดอบรมด้านพลังงานให้กับพนักงาน	HR & Training	9 เดือน										■	■	■	■	■	■	■	■	■

สามารถอธิบายผลการดำเนินมาตรการได้ดังรายละเอียดต่อไปนี้คือ

มาตรการ 1 HVAC – เปลี่ยนไปใช้เครื่องทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง

หน่วยงานที่รับผิดชอบมาตรการ แผนก Facility

ลักษณะการดำเนินมาตรการ

เปลี่ยน Chiller เครื่องใหม่ที่มีประสิทธิภาพสูง โดยเปลี่ยนจาก Air cooled Chiller จำนวน 2 เครื่อง มาเป็น Water cooled chiller จำนวน 1 เครื่อง ที่ Chiller plant room

ผลการดำเนินมาตรการ

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงผลการเปลี่ยนไปใช้เครื่องทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง

ผู้รับผิดชอบ	ช่วงเวลาในการดำเนินการ	ระยะเวลาดำเนินการ	เป้าหมาย ที่คาดว่าจะได้รับ	ผลที่ได้จากการดำเนินมาตรการ
Facility	ส.ค.55 - เม.ย.56	9 เดือน	737,280 บาท/เดือน	645,857 บาท/เดือน

รูปที่ 5.1 ก่อนการปรับปรุงมาตรการ 1 (เปลี่ยนไปใช้เครื่องทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง)

รูปที่ 5.2 หลังการปรับปรุงมาตรการ 1 (เปลี่ยนไปใช้เครื่องทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง

มาตรการ 2 HVAC – บริหารแผนการจัดการเครื่องทำความเย็น

หน่วยงานที่รับผิดชอบมาตรการ แผนก Facility และ แผนก Production

ลักษณะการดำเนินมาตรการ

ประเมินประสิทธิภาพของ Chiller แต่ละเครื่อง และวางแผนการเดินเครื่องโดยพิจารณาประสิทธิภาพของ Chiller แต่ละเครื่องร่วมด้วย

ผลการดำเนินมาตรการ

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงผลการบริหารแผนการจัดการเครื่องทำความเย็น

ผู้รับผิดชอบ	ช่วงเวลาในการดำเนินการ	ระยะเวลาดำเนินการ	เป้าหมาย ที่คาดว่าจะได้รับ	ผลที่ได้จากการดำเนินมาตรการ
Facility & Production	ม.ค.56 - มี.ค.56	3 เดือน	550,656 บาท/เดือน	495,590 บาท/เดือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.4 ตารางสรุปผลการประเมินประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็น (Chiller)

Chiller Efficiency

Number	TRspec	kWspec	kW/TRspec	BTUspec	Brand	Install	MODEL	Type	kW	TR	kW/TR	COP	EER	% Load
CH No.01	800	617	0.771	9,600,000	YORK	2005	YKKKKLH95CRF	Water Cool	304.64	272.91	**1.12**	3.15	10.75	34.11
CH No.02	800	617	0.771	9,600,000	YORK	2005	YKKKKLH95CRF	Water Cool	366.01	287.77	**1.27**	2.77	9.44	35.97
CH No.03	800	617	0.771	9,600,000	YORK	2005	YKKKKLH95CRF	Water Cool	311.69	293.81	**1.06**	3.32	11.31	36.73
CH No.04	800	617	0.771	9,600,000	YORK	2005	YKKKKLH95CRF	Water Cool	400.11	310.35	**1.29**	2.73	9.31	38.79
CH No.05	800	617	0.771	9,600,000	YORK	2006	YKKKKLH95CRF	Water Cool	382.31	351.57	**1.09**	3.23	11.04	43.95
CH No.06	800	617	0.771	9,600,000	YORK	2006	YKKKKLH95CRF	Water Cool	335.98	370.03	**0.91**	3.87	13.22	46.25
CH No.07	1,000	549	0.549	12,000,000	TRANE	2011	CVHG 1100	Water Cool	438.96	585.29	**0.75**	4.69	16.00	58.53
CH No.08	1,000	549	0.549	12,000,000	TRANE	2012	CVHG 1100	Water Cool	440.99	568.48	**0.78**	4.53	15.47	56.85
CH No.09	1,000	582	0.582	12,000,000	TRANE	2013	CVHG 1100	Water Cool	476.47	770.47	**0.62**	5.69	19.41	77.05
CH No.10	1,000	605	0.605	12,000,000	TRANE	2013	CVHF 1070	Water Cool	611.37	777.33	**0.79**	4.47	15.26	77.73

มาตรการ 3 CDA – มาตรการการลดการรั่วไหลในระบบอัดอากาศ

หน่วยงานที่รับผิดชอบมาตรการ แผนก Facility และ แผนก Tooling

ลักษณะการดำเนินมาตรการ

ตรวจสอบการรั่ว โดยจะใช้วิธีทดสอบปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัดขณะไม่มีโหลด (No-Load Testing) ของระบบอัดอากาศของทั้งระบบ ซึ่งมีอัตราการรั่วที่ 70.5% เมื่อทราบแล้วว่าบริเวณที่มีการรั่วไหลของระบบอัดอากาศส่วนใหญ่อยู่ที่ชั้น 3 ผู้วิจัยและทีมงานด้านพลังงานของโรงงานจึ่งทำการตรวจหารอยรั่วที่บริเวณต่างๆของระบบอัดอากาศ

ผลการดำเนินมาตรการ

จากผลการสำรวจและค้นหาจุดรั่วไหลของอากาศอัด โดยพนักงานใช้สติ๊กเกอร์สีแดงติดไว้เพื่อเป็นสัญลักษณ์บ่งบอกถึงสถานะและจุดที่มีการรั่วไหลของอากาศอัด หลังจากนั้นได้ดำเนินการซ่อมแซมรอยรั่วดังกล่าว

ตารางที่ 5.5 ตารางแสดงผลมาตรการการลดการรั่วไหลในระบบอัดอากาศ

ผู้รับผิดชอบ	ช่วงเวลาในการดำเนินการ	ระยะเวลาดำเนินการ	เป้าหมาย ที่คาดว่าจะได้รับ	ผลที่ได้จากการดำเนินมาตรการ
Facility & Tooling	ก.พ.56 - พ.ค.56	4 เดือน	17,054 บาท/เดือน	14,708 บาท/เดือน

ถึงแม้ว่าจะมีการตรวจหาจุดรั่วไหลและแก้ไขแล้ว แต่จะสังเกตได้ว่าผลประหยัดที่ได้หลังจากแก้ไขก็ยังไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับปริมาณการรั่วไหล ทั้งนี้อาจเป็นผลมาที่ชั้น 3 นำอากาศอัดไปใช้กับการทำงานของเครื่องจักรด้วย อาทิเช่น การหยิบจับชิ้นงาน การทำความสะอาด หรือการนำอากาศอัดไปขับเคลื่อนกระบอกสูบ เป็นต้น

ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

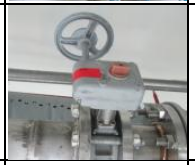
การที่โรงงานตรวจสอบการรั่วไหลของระบบอัดอากาศอย่างสม่ำเสมอ โดยทำ No load test ถือเป็นอีกวิธีหนึ่งในการอนุรักษ์พลังงานให้กับโรงงาน เพราะหากเราสามารถตรวจพบการรั่วไหลและแก้ไขได้

อย่างรวดเร็วก็จะช่วยลดค่าใช้จ่ายที่ไม่จำ อีกทั้งยังส่งผลให้การทำงานของระบบอัดอากาศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ โรงงานอาจจัดทำแผนการตรวจสอบ และบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่างๆ ตลอดจนการพิจารณาความเหมาะสมว่าโรงงานนำอากาศอัดไปใช้งานได้เหมาะสมหรือไม่ เป็นต้น

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลการตรวจหาจุดรั่วไหลของระบบอากาศอัด

ตารางที่ 5.6 ตารางแสดงการลดการรั่วไหลในระบบอัดอากาศ

ลำดับ	บริเวณที่ตรวจวัด	รูปภาพ	จำนวนจุดรั่วที่ตรวจพบ	จำนวนจุดรั่วที่แก้ไข	แก้ไข
1	ท่อหลักของระบบส่งอากาศอัด		23	21	91%
2	**ท่อสาขาย่อย ชั้น 1 (S3)**		14	14	100%
	ท่อสาขาย่อย ชั้น 1 (S4)		18	18	100%
	ท่อสาขาย่อย ชั้น 2 (S5)		16	16	100%
	ท่อสาขาย่อย ชั้น 3 (S6)		21	21	100%
3	จุดเชื่อมต่อ หัวจ่าย ท่อและอุปกรณ์ติดตั้งต่างๆ		33	33	100%
4	วาล์วควบคุมของระบบอัดอากาศ		8	8	100%
5	อุปกรณ์ปรับควบคุมแรงดันของเครื่องจักร		121	119	98%
รวม			254	250	98%

มาตรการ 4 Lighting – พิจารณาความเหมาะสมของแสงสว่างและลดจำนวนหลอดไฟที่ไม่จำเป็น

หน่วยงานที่รับผิดชอบมาตรการ แผนก Facility

ลักษณะการดำเนินมาตรการ

ลดจำนวนหลอดไฟในพื้นที่ที่มีแสงสว่างเกินความจำเป็น โดยเก็บข้อมูลความส่องสว่างของแต่ละพื้นที่ จากนั้นเปรียบเทียบความส่องสว่าง และกิจกรรมของแต่ละพื้นที่ว่าเหมาะสมหรือไม่ ถอดหลอดที่เกินความจำเป็นออกเพื่อเป้าหมายในการลดการใช้พลังงานในระบบแสงสว่าง

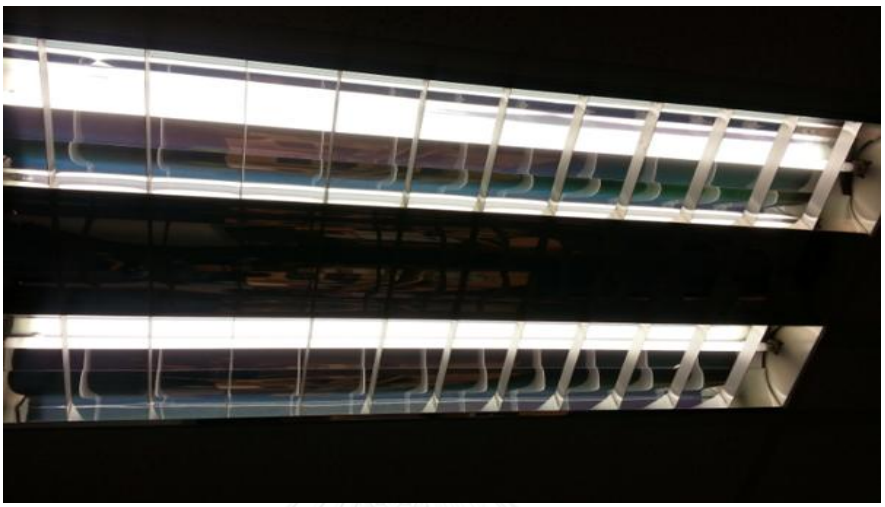
ผลการดำเนินมาตรการ

ตารางที่ 5.7 ตารางแสดงการลดจำนวนหลอดไฟในพื้นที่ที่มีแสงสว่างเกินความจำเป็น

ผู้รับผิดชอบ	ช่วงเวลาในการดำเนินการ	ระยะเวลาดำเนินการ	เป้าหมาย ที่คาดว่าจะได้รับ	ผลที่ได้จากการดำเนินมาตรการ
Facility	พ.ค.56 - มิ.ย.56	2 เดือน	189,578 บาท/เดือน	146,762 บาท/เดือน

รูปที่ 5.3 ก่อนการปรับปรุงมาตรการ 4 (พิจารณาความเหมาะสมของแสงสว่างและลดจำนวนหลอดไฟที่ไม่จำเป็น)

รูปที่ 5.4 หลังการปรับปรุงมาตรการ 4 (พิจารณาความเหมาะสมของแสงสว่างและลดจำนวนหลอดไฟที่ไม่จำเป็น)



มาตรการ 5 Lighting – เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นหลอด LED

หน่วยงานที่รับผิดชอบมาตรการ แผนก Facility

ลักษณะการดำเนินมาตรการ

เปลี่ยนหลอดไฟขนาด T8 เป็นหลอด LED โดยเก็บข้อมูลความส่องสว่างของแต่ละพื้นที่ จากนั้นเปรียบเทียบความส่องสว่าง และกิจกรรมของแต่ละพื้นที่ว่าเหมาะสมหรือไม่ หากแสงสว่างเกินความจำเป็นให้ถอดหลอดออกและติดตั้งหลอด LED เข้าไปแทนหลอดไฟ T8 แบบเดิม จากนั้นวัดปริมาณความส่องสว่างเทียบกับกิจกรรมและลักษณะงานอีกครั้งเพื่อวิเคราะห์และสรุปผล

ตารางที่ 5.8 ตารางแสดงการเปลี่ยนหลอดไฟขนาด T8 เป็นหลอด LED

ผู้รับผิดชอบ	ช่วงเวลาในการดำเนินการ	ระยะเวลาดำเนินการ	เป้าหมาย ที่คาดว่าจะได้รับ	ผลที่ได้จากการดำเนินมาตรการ
Facility	มิ.ย.56 - ก.ค.56	2 เดือน	233,073 บาท/เดือน	216,758 บาท/เดือน

รูปที่ 5.5 ก่อนการปรับปรุงมาตรการ 5 (เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นหลอด LED)

รูปที่ 5.6 หลังการปรับปรุงมาตรการ 5 (เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นหลอด LED)

มาตรการที่ 6 จัดอบรมด้านพลังงานให้กับพนักงาน

หน่วยงานที่รับผิดชอบมาตรการ แผนก HR & Training

ลักษณะการดำเนินมาตรการ

จัดการฝึกอบรมและกิจกรรมเพื่อการกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจให้กับพนักงานเกี่ยวกับการประหยัดพลังงานในโรงงาน ระบบข้อมูลข่าวสาร ตลอดจนประชาสัมพันธ์กิจกรรมด้านการอนุรักษ์พลังงานในองค์กร ผ่าน 3 กลุ่มเป้าหมายดังนี้คือ

1.กลุ่มพนักงานฝ่ายการผลิต

2.กลุ่มวิศวกร และ พนักงานสำนักงาน

3.กลุ่มผู้เชี่ยวชาญและคณะกรรมการการจัดการด้านพลังงานของโรงงาน

โดยมาตรการที่คัดเลือกมาเพื่อพัฒนาระบบสามารถแบ่งได้เป็น 3 มาตรการดังนี้คือ

มาตรการที่ 6.1 โครงการอบรมนโยบายและการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานให้กับพนักงานใหม่

มาตรการที่ 6.2 โครงการอบรมการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุม

มาตรการที่ 6.3 โครงการอบรม Energy Management Technique for industry

ผลการดำเนินมาตรการ (ประเมินผ่าน EMM)

ตารางที่ 5.9 ตารางแสดงผลของการจัดอบรมด้านพลังงานให้กับพนักงาน

ผู้รับผิดชอบ	ช่วงเวลาในการดำเนินการ	ระยะเวลาดำเนินการ	การดำเนินการ	เป้าหมาย ที่คาดว่าจะได้รับ	ผลที่ได้จากการดำเนินมาตรการ
HR & Training	เม.ย.56 - ธ.ค.56	9 เดือน	จัดการอบรมด้านพลังงานให้กับพนักงาน โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มได้แก่ กลุ่มพนักงานฝ่ายการผลิต กลุ่มวิศวกร และกลุ่มผู้เชี่ยวชาญด้านการจัดการด้านพลังงานของโรงงาน	ปรับปรุงระบบการอนุรักษ์พลังงาน โดยวัดผลจากการประเมินผ่าน EMM คะแนนก่อนปรับปรุงคือ 2.68	ปรับปรุงระบบการอนุรักษ์พลังงาน โดยวัดผลจากการประเมินผ่าน EMM คะแนนก่อนปรับปรุงคือ 3.38

ผลการดำเนินมาตรการ (ประเมินผ่าน ผู้เข้าอบรมแต่ละโครงการ)

ทุกกิจกรรมจะมีแบบสอบถามเพื่อนำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลไปใช้ทำการวิเคราะห์ ผ่านการหาค่าเฉลี่ยทางสถิติ โดยกำหนดเกณฑ์ในการประเมินไว้ 5 ระดับ ดังนี้ คือ มากที่สุด มาก ปานกลาง น้อย และน้อยที่สุด จากคะแนน 5 4 3 2 และ 1 ตามลำดับ

มาตรการที่ 6.1 โครงการอบรมนโยบายและการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานให้กับพนักงานใหม่

ตารางที่ 5.10 ตารางแสดงผลของการโครงการอบรมนโยบายและการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานให้กับพนักงานใหม่

ผลประเมินจากแบบสอบถามความคิดเห็น

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าอบรม

1. เพศ 22% (1) ชาย 78% (2) หญิง

2. การศึกษา

3% (1) ประถม 24% (2) มัธยมต้น

29% (3) มัธยมปลาย 22% (4) ปวช.

14% (5) ปวส. 8% (6) ปริญญาตรี

- (7)สูงกว่าปริญญาตรี

3. อายุ 20% 18 - 25 ปี 35% 26 - 30 ปี

28% 31 - 35 ปี 11% 36 - 40 ปี

6% มากกว่า 40 ปี

ผลการประเมินความพึงพอใจ

ข้อ	หัวข้อที่ประเมิน	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด (1)	คะแนนเฉลี่ย
1	ความเหมาะสมของข้อมูลและเนื้อหาสาระ	16%	36%	29%	18%	1%	3.48
2	ความเหมาะสมของวิทยากร	35%	30%	20%	11%	4%	3.70
3	เทคนิคการนำเสนอของวิทยากร	30%	33%	27%	7%	3%	3.66
4	ความเหมาะสมของระยะเวลาในการอบรม	27%	20%	37%	9%	7%	3.33
5	ความเหมาะสมของห้องสถานที่อบรม	17%	19%	30%	20%	14%	2.65
6	ประโยชน์ที่ได้รับจากการอบรม	15%	30%	35%	18%	2%	3.02
7	สามารถนำความรู้ความเข้าใจไปประยุกษ์ใช้กับการอนุรักษ์พลังงาน	15%	32%	36%	14%	3%	3.14
8	ท่านมีความพึงพอใจที่ได้เข้าร่วมกิจกรรม	14%	28%	39%	16%	3%	3.02
9	การอบรมนี้ควรจัดให้กับพนักงานใหม่ต่อไป	29%	40%	12%	18%	1%	3.42

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นเพิ่มเติม

1. ความประทับใจในการเข้ารับการฝึกอบรม
   - โดยรวมวิทยากรมีความสามารถในการถ่ายทอดความรู้ได้ชัดเจน กระตุ้นให้เกิดการเรียนรู้ ผ่านกรณีตัวอย่าง
   - เนื้อหากระชับ เข้าใจง่าย ไม่ทำให้น่าเบื่อ
2. ข้อควรปรับปรุง
   - ระยะเวลาในการอบรมมีจำกัด
   - กรณีตัวอย่างและกิจกรรมมีน้อยเกินไป
3. ความพึงพอใจในการจัดฝึกอบรมโดยภาพรวม
   - พนักงานใหม่ที่ผ่านการอบรมโดยมากมีความพึงพอใจอยู่ในเกณฑ์ “ปานกลาง”

มาตรการที่ 6.2 มาตรการอบรมการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมให้กับวิศวกรและพนักงาน

ตารางที่ 5.11 ตารางแสดงผลของมาตรการอบรมการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุมให้กับวิศวกรและพนักงาน

แบบสอบถามความคิดเห็น

โครงการ/กิจกรรม โครงการอบรมการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุม

วันที่ ..... เดือน..... พ.ศ.2557

สถานที่ ห้องประชุม อาคาร 2

หน่วยงานที่จัดโครงกฝ่ายพัฒนาทรัพยากรบุคคล และ คณะกรรมการฝ่ายอนุรักษ์พลังงาน

วัตถุประสงค์ เพื่อสอบถามความคิดเห็นของพนักงานใหม่เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงในการจัดโครงการครั้งต่อไ

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าอบรม

1. เพศ 68% (1) ชาย 32% (2) หญิง

2. การศึกษา
   - 7% (5) ปวส.
   - 62% (6) ปริญญาตรี
   - 31% (7)สูงกว่าปริญญาตรี

3. อายุ 24% 18 - 25 ปี 39% 26 - 30 ปี 25% 31 - 35 ปี 9% 36 - 40 ปี 3% มากกว่า 40 ปี

กรุณากาเครื่องหมาย ✔ ตามความคิดเห็นของท่าน

ข้อ	หัวข้อที่ประเมิน	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด (1)	คะแนนเฉลี่ย
1	ก่อนอบรมท่านมีความรู้เกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานมากน้อยเพียงใด	4%	9%	32%	51%	4%	2.58
2	ความเหมาะสมของข้อมูล หลักสูตร และเนื้อหา	25%	45%	21%	7%	2%	3.84
3	ความเหมาะสมของวิทยากรต่อการอบรม	7%	25%	51%	11%	6%	3.16
4	เทคนิคการนำเสนอของวิทยากร	4%	27%	54%	14%	1%	3.19
5	ความเหมาะสมของระยะเวลาในการอบรม	13%	30%	48%	6%	3%	3.44
6	ความเหมาะสมของห้องสถานที่อบรม	22%	53%	14%	9%	2%	3.84
7	ประโยชน์ที่ได้รับจากการอบรม	27%	59%	10%	3%	1%	4.08
8	การอบรมทำให้ท่านมีความเข้าใจเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานมากขึ้น	46%	32%	9%	9%	4%	4.07
9	สามารถนำความรู้ความเข้าใจไปประยุกษ์ใช้กับการอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน	19%	38%	27%	12%	4%	3.56
10	ท่านมีความพึงพอใจที่ได้เข้าร่วมกิจกรรม	49%	24%	19%	5%	3%	4.11
11	การอบรมนี้ควรจัดให้กับพนักงานต่อไป	63%	23%	12%	1%	1%	4.46

ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นเพิ่มเติม

1. ความประทับใจในการเข้ารับการฝึกอบรม

- ทำให้เข้าใจการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานมากขึ้น
- เข้าใจและเล็งเห็นถึงประโยชน์ที่ได้จากการอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน
- กิจกรรมระหว่างอบรมทำให้เข้าใจเนื้อหามากขึ้น

2. ข้อควรปรับปรุง
   - กรณีตัวอย่างและกิจกรรมมีน้อยเกินไป
   - เนื้อหาบางส่วนลึกและไม่เหมาะกับพนักงานบางกลุ่ม
3. ความพึงพอใจในการจัดฝึกอบรมโดยภาพรวม
   - พนักงานที่ผ่านการอบรมโดยมากมีความพึงพอใจอยู่ในเกณฑ์ “ปานกลาง”

ผลการประเมินผ่านแบบทดสอบความรู้เกี่ยวกับการจัดการพลังงานในโรงงานควบคุม

ตารางที่ 5.12 ตารางแสดงผลความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน

รอบการอบรม	จำนวนผู้อบรม	คะแนนประเมิน(20 คะแนน)	
		ก่อนเข้ารับการอบรม	หลังเข้ารับการอบรม
1	47	12	17
2	50	10	16
3	55	13	19
4	52	11	17
รวม/เฉลี่ย	204	11.5	17.25

จากตารางแสดงผลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าพนักงานที่เข้าร่วมการอบรมมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานควบคุมมากขึ้นถึง 28% กล่าวคือจากเดิมพนักงานมีความรู้เรื่องการอนุรักษ์พลังงานเฉลี่ยอยู่ที่ 57.5% แต่หลังจากที่พนักงานได้รับการอบรม ทำให้พนักงานกลุ่มนี้มีความเข้าใจเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานเพิ่มมากขึ้นเป็น 86.25%

มาตรการที่ 6.3 มาตรการอบรม Energy Management Technique for Industry ให้กับคณะกรรมการและผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงานของบริษัท

ตารางที่ 5.13 ตารางแสดงผลการอบรม Energy Management Technique for Industry ให้กับคณะกรรมการและผู้เชี่ยวชาญด้านพลังงานของบริษัท

แบบสอบถามความคิดเห็น

โครงการ/กิจกรรม Energy Management Technique for industry

วันที่ ..... เดือน..... พ.ศ.2557

สถานที่ ห้องประชุมใหญ่ (คอมพิวเตอร์) อาคาร 2

หน่วยงานที่จัดโครงการ ฝ่ายพัฒนาทรัพยากรบุคคล และ คณะกรรมการฝ่ายอนุรักษ์พลังงาน

วัตถุประสงค์ เพื่อสอบถามความคิดเห็นของพนักงานใหม่เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงในการจัดโครงการครั้งต่อไป

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้เข้าอบรม

1. เพศ 85% (1) ชาย 15% (2) หญิง

2. การศึกษา
5% (5) ปวส. 80% (6) ปริญญาตรี
15% (7)สูงกว่าปริญญาตรี

3. อายุ 8% 18 - 25 ปี 18% 26 - 30 ปี
25% 31 - 35 ปี 20% 36 - 40 ปี
30% มากกว่า 40 ปี

ส่วนที่ 2 ความพึงพอใจ

กรุณากาเครื่องหมาย ✔ ตามความคิดเห็นของท่าน

ข้อ	หัวข้อที่ประเมิน	มากที่สุด (5)	มาก (4)	ปานกลาง (3)	น้อย (2)	น้อยที่สุด (1)	คะแนนเฉลี่ย
1	ความเหมาะสมของข้อมูล หลักสูตร และเนื้อหา	30%	38%	28%	5%	0%	3.93
2	ความเหมาะสมของวิทยากรต่อการอบรม	35%	43%	20%	3%	0%	4.10
3	เทคนิคการนำเสนอของวิทยากร	30%	45%	23%	3%	0%	4.03
4	ตัวอย่างและการทำกิจกรรมทำให้เข้าใจมากขึ้น	38%	43%	15%	3%	3%	4.10
5	ความเหมาะสมของระยะเวลาในการอบรม	30%	40%	28%	3%	0%	3.98
6	ความเหมาะสมของห้องสถานที่อบรม	23%	38%	30%	5%	5%	3.68
7	หลักสูตรนี้ทำให้ท่านทราบวิธีการประเมินประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานมากขึ้น	35%	40%	18%	8%	0%	4.03
8	เข้าใจปัญหาด้านพลังงานในระบบต่าง ๆมากขึ้น	43%	40%	10%	8%	0%	4.18
9	ท่านเข้าใจเทคนิคในการแก้ไขปัญหาด้านพลังงานของโรงงาน	33%	48%	15%	5%	0%	4.08
10	สามารถนำความรู้ความเข้าใจไปประยุกษ์ใช้กับการอนุรักษ์พลังงานในโรงงาน	28%	45%	15%	13%	0%	3.88
11	ท่านมีความพึงพอใจที่ได้เข้าร่วมกิจกรรม	50%	28%	23%	0%	0%	4.28
12	การอบรมนี้ควรจัดให้กับพนักงานต่อไป	30%	40%	30%	0%	0%	4.00

ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นเพิ่มเติม

.....

ข้อเสนอแนะและความคิดเห็นเพิ่มเติม

1. ความประทับใจในการเข้ารับการฝึกอบรม

- ทำให้เข้าใจปัญหาด้านพลังงานของโรงงานมากขึ้น
- กิจกรรมเก็บคะแนนทำให้ได้ฝึกการคำนวณ และเทคนิคการวิเคราะห์พลังงาน

2. ข้อควรปรับปรุง
   - เนื้อหาค่อนข้างมาก ไม่เหมาะกับระยะเวลาที่กำหนดไว้สำหรับอบรม
3. ความพึงพอใจในการจัดฝึกอบรมโดยภาพรวม
   - พนักงานที่ผ่านการอบรมโดยมากมีความพึงพอใจอยู่ในเกณฑ์“มาก”

ค่าเฉลี่ยการประเมินแต่ละกิจกรรมผ่านการเก็บคะแนนจากแบบทดสอบและกิจกรรมในการอบรมจากผู้เข้าร่วมทั้ง 40 คน ผ่านการประเมิน (ได้คะแนนมากกว่า 80%)

ตารางที่ 5.14 ตารางแสดงผลการประเมินแต่ละกิจกรรมผ่านการเก็บคะแนนจากแบบทดสอบและกิจกรรมในการอบรม

กิจกรรม	เปอร์เซนต์คะแนนเฉลี่ย
	100%
จัดทำ Energy Baseline	100.00%
คำนวณและประเมินระบบ Air conditioners	88.25%
คำนวณและประเมินระบบ Lighting	86.13%
คำนวณและประเมินระบบ Pumps	84.75%
คำนวณและประเมินระบบ Chilled water system	85.88%
คำนวณและประเมินระบบ Cooling water system	88.88%
รวม	89.00%

บทที่ 6
สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาวิจัยเพื่อลดต้นทุนด้านพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ กรณีศึกษาโรงงานฮาร์ดดิสก์ ผ่านการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงานให้ดีขึ้น และลดการสูญเสียพลังงานให้น้อยลง โดยวิเคราะห์สาเหตุผ่านการประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติอาทิเช่น C&E Diagram , C&E Matrix , Pareto , Why-Why Analysis และกราฟต่างๆ ในการระบุสาเหตุของปัญหาและแนวทางในการดำเนินการแก้ไข

โดย 5 อันดับแรกของสาเหตุที่ได้มีดังนี้คือ

Chiller - ประสิทธิภาพเครื่องทำความเย็นต่ำ

Chiller - ต้องเดินเครื่องทำความเย็นตลอดเวลา (ไม่มีแผน)

CDA - เกิดการรั่วไหลในระบบอากาศอัด

Lighting - ระบบแสงสว่างที่เกินความจำเป็น

Lighting - เทคโนโลยีหลอดไฟเก่า (T8)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หลังจากวิเคราะห์สาเหตุที่แท้จริงผ่าน Why-Why analysis ทำให้ทราบหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหาและสามารถจัดเตรียมมาตรการมาใช้แก้ไขปัญหาพลังงานได้อย่างเหมาะสม ทั้งนี้สามารถคัดเลือกมาตรการผ่านการประเมินทรัพยากร และผลสัมฤทธิ์ที่จะได้ ดัง 6 มาตรการนี้คือ

1. มาตรการเปลี่ยนไปใช้เครื่องทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูง โดยเปลี่ยนจาก Air cooled Chiller จำนวน 2 เครื่อง มาเป็น Water cooled chiller จำนวน 1 เครื่อง ทำให้สามารถส่งผลประหยัดให้โรงงานฮาร์ดดิสก์ได้ด้านไฟฟ้าลงได้ 645,857 บาทต่อเดือน
2. มาตรการบริหารแผนการจัดการเครื่องทำความเย็น โดยทำการประเมินประสิทธิภาพของ Chiller แต่ละเครื่อง และวางแผนการเดินเครื่องโดยพิจารณาประสิทธิภาพของ Chiller แต่ละเครื่องร่วมด้วย ทำให้สามารถส่งผลประหยัดให้โรงงานฮาร์ดดิสก์ได้ด้านไฟฟ้าลงได้ 495,590 บาทต่อเดือน

3. มาตรการการลดการรั่วไหลในระบบอัดอากาศตรวจสอบการรั่ว โดยทดสอบหาปริมาณการรั่วไหลของอากาศอัดขณะไม่มีโหลด (No-Load Testing) ของระบบอัดอากาศของทั้งระบบ ซึ่งมีอัตราการรั่วที่ 70.5% เมื่อทราบแล้วว่าบริเวณที่มีการรั่วไหลของระบบอัดอากาศแล้วทำการแก้ไขอุดรอยรั่วที่พบทั้งหมดและออกมาตรการในการตรวจสอบ ทำให้สามารถส่งผลประหยัดให้โรงงานฮาร์ดดิสก์ได้ด้านไฟฟ้าลงได้ 14,706 บาทต่อเดือน
4. มาตรการลดจำนวนหลอดไฟที่ไม่จำเป็น โดยทำการเก็บข้อมูลความส่องสว่างของแต่ละพื้นที่ จากนั้นเปรียบเทียบความส่องสว่าง และกิจกรรมของแต่ละพื้นที่ว่าเหมาะสมแล้วทำการลดปริมาณการใช้หลอดไฟให้เหมาะสมกับค่ามาตรฐานที่ได้ระบุไว้ ทำให้สามารถส่งผลประหยัดให้โรงงานฮาร์ดดิสก์ได้ด้านไฟฟ้าลงได้ 45,883 บาทต่อเดือน
5. มาตรการเปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นหลอด LED โดยเปลี่ยนหลอดไฟขนาด T8 เป็นหลอด LED โดยเก็บข้อมูลความส่องสว่างของแต่ละพื้นที่จากนั้นเปรียบเทียบความส่องสว่าง และกิจกรรมของแต่ละพื้นที่ว่าเหมาะสมหรือไม่หากแสงสว่างเกินความจำเป็นให้ถอดหลอดออกและติดตั้งหลอด LED เข้าไปแทนหลอดไฟ T8 แบบเดิม ทำให้สามารถส่งผลประหยัดให้โรงงานฮาร์ดดิสก์ได้ด้านไฟฟ้าลงได้ 216,758 บาทต่อเดือน
6. มาตรการจัดการอบรมด้านพลังงานให้กับพนักงาน ไม่ว่าจะเป็นระดับหน้างาน วิศวกร ผู้ชำนาญการด้านพลังงาน ตลอดจนคณะกรรมการในส่วนของการจัดการพลังการอบรมทำให้มีมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานควบคุมมากขึ้นถึง 28% กล่าวคือจากเดิมพนักงานมีความรู้เรื่องการอนุรักษ์พลังงานเฉลี่ยอยู่ที่ 57.5% แต่หลังจากที่พนักงานได้รับการอบรม ทำให้พนักงานกลุ่มนี้มีความเข้าใจเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานเพิ่มมากขึ้นเป็น 86.25%

จากมาตรการที่ได้นำมาใช้เพื่อทำการลดต้นทุนด้านพลังงานไฟฟ้าของโรงงานฮาร์ดดิสก์ทั้ง 6 มาตรการสามารถทำให้โรงงานกรณีศึกษาบรรลุเป้าหมายการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่วางไว้คือลดต้นทุนพลังงานต่อหน่วยลง 19.5% (1.83 บาทต่อหนึ่งไดร์ฟ) จากที่การคาดการไว้ 14% จากปีฐาน (ก.ค. - ธ.ค. พ.ศ.2555) ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 ตารางแสดงผลการปรับปรุงระบบการจัดการพลังงาน

ปี	ปริมาณไฟฟ้า(kWh)	ค่าไฟฟ้า (บาท)	SEC	Cost/Units
2/2555 (Base line)	18,686,056	60,151,980	2.91	9.37
2/2556 (วัดผล)	17,941,326	59,417,448	2.28	7.54
เปอร์เซนต์ที่ประหยัดได้	4.0%	1.2%	21.8%	19.5%

6.1.1 ประเมินการใช้พลังงานและการจัดการพลังงานเบื้องต้น

ทำการรวบรวมข้อมูลด้านพลังงานของกรณีศึกษา ไม่ว่าจะเป็น นโยบาย การจัดการองค์กร ปริมาณการใช้พลังงาน สัดส่วนการใช้ไฟฟ้า ตลอดจนค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในแต่ละเดือน มาใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์การใช้พลังงาน และความสามารถในการจัดการพลังงาน ผ่านค่าทางสถิติและกราฟต่างๆ เพื่อเป็นข้อมูลในการปรับปรุงประสิทธ์ภาพ และลดต้นทุนด้านพลังงานต่อไปเป็นการประเมินการใช้และการจัดการพลังงานเบื้องต้น โดยจะแบ่งการประเมิน

ออกเป็น 2 ส่วน

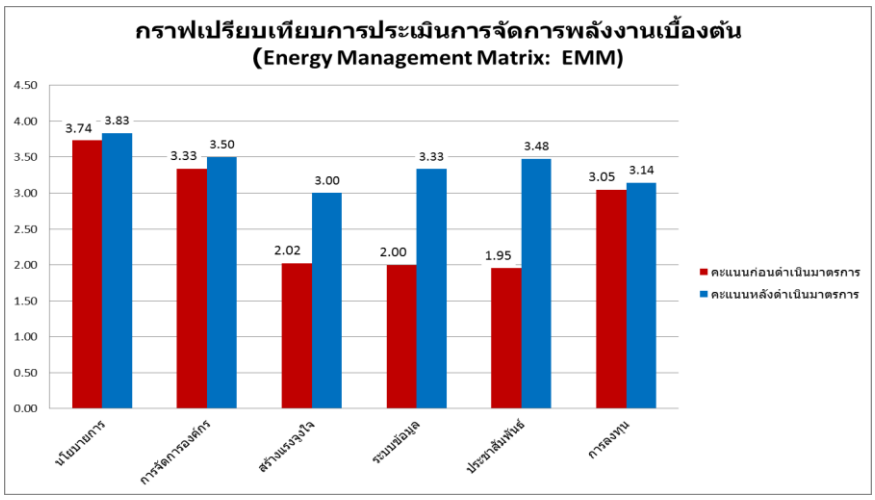
6.1.1.1 สถานะภาพการอนุรักษ์พลังงานของกรณีศึกษา พบว่าหลังจากการดำเนินมาตรการและกิจกรรมด้านพลังงานต่างๆ เพื่อปรับปรุงสถานะภาพการอนุรักษ์พลังงานของกรณีศึกษาให้ดีขึ้น โดยมุ่งเน้นในส่วยของการ การจัดการองค์กร การกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ การจัดการระบบข้อมูลข่าวสาร ตลอดจนการประชาสัมพันธ์ด้านการจัดการพลังงานของโรงงานสามารถสรุปผล

โดยใช้แบบประเมินการจัดการพลังงานเบื้องต้น (Energy Management Matrix: EMM)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.2 ตารางแสดงผลการประเมินการจัดการพลังงานเบื้องต้น

รายละเอียด	คะแนนก่อนดำเนินมาตรการ	คะแนนหลังดำเนินมาตรการ	เปอร์เซนต์ที่เพิ่มขึ้น
นโยบายการ	3.74	3.83	2%
การจัดการองค์กร	3.33	3.50	4%
สร้างแรงจูงใจ	2.02	3.00	24%
ระบบข้อมูล	2.00	3.33	33%
ประชาสัมพันธ์	1.95	3.48	38%
การลงทุน	3.05	3.14	2%

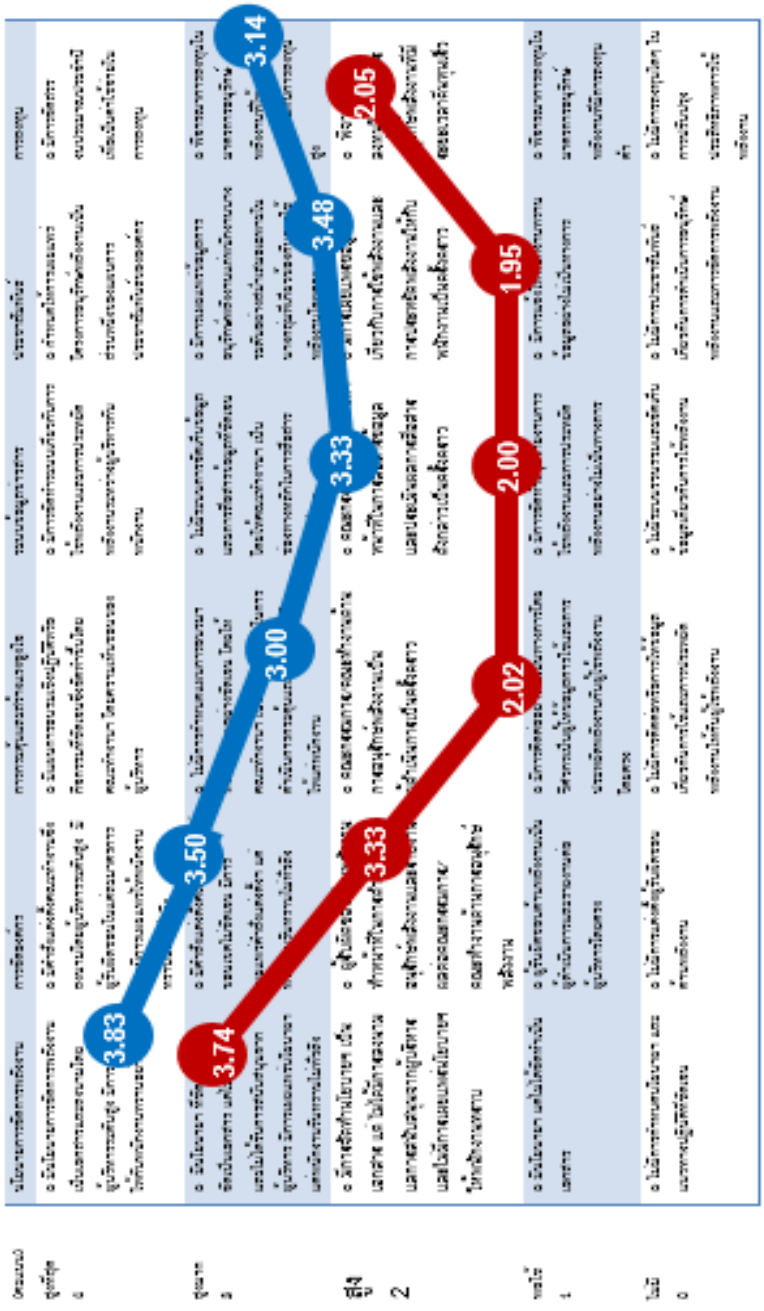


รูปที่ 6.1 กราฟเปรียบเทียบการประเมินการจัดการพลังงานเบื้องต้น

หลังจากได้ทำการอบรมและให้ความรู้แก่บุคลากรที่เกี่ยวข้องทำให้ผลลัพธ์หรือคะแนนที่มีต่อผลการประเมินด้านการอนุรักษ์พลังงานในด้านต่างๆ คือ ด้านนโยบาย ด้านการจัดองค์กร ด้านการกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจ ระบบข้อมูลข่าวสาร ด้านการระชาสัมพันธ์ และด้านการลงทุน ดีขึ้นอย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 6.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 6.3 ตารางแสดงผลประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นของโรงงานกรณีศึกษา ผ่าน Energy Management Matrix (EMM)



จากประเมินสถานภาพการจัดการพลังงานเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่า มาตรการที่ดำเนินการนั้นสามารถยกระดับระบบการจัดการพลังงานของกรณีศึกษาได้อย่างทั่วถึง และเห็นถึงการพัฒนาอย่างชัดเจนในส่วนของการกระตุ้นแรงจูงใจ การจัดการระบบข้อมูลข่าวสารและการประชาสัมพันธ์ ดังจะเห็นได้จากคะแนนประเมินที่เพิ่มสูงขึ้นกว่า 30%

6.1.1.2 วิเคราะห์การใช้พลังงานของกรณีศึกษา

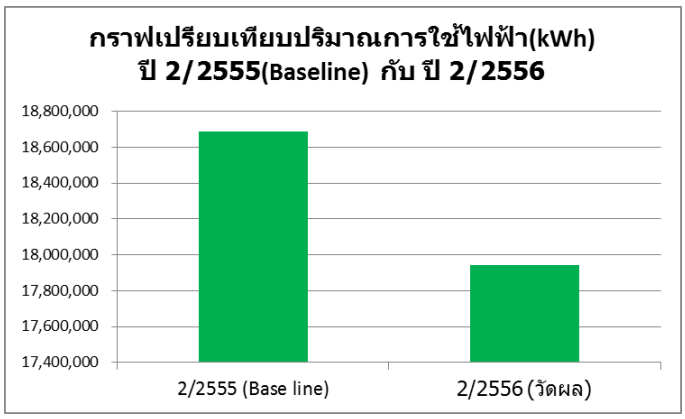
การดำเนินการวิเคราะห์การใช้พลังงานของกรณีศึกษาทำให้ทราบข้อมูลพื้นฐานของการใช้พลังงาน ไม่ว่าจะเป็นค่าดัชนีชี้วัดต่างๆ ความสัมพันธ์ระหว่างการใช้พลังงานกับปริมาณผลผลิต ต้นทุนพลังงานในแต่ละเดือน รวมไปถึงแบบจำลองการใช้พลังงานเพื่อพยากรณ์ปริมาณการใช้พลังงานที่ควรจะเป็นในอนาคต ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการดำเนินการจัดการพลังงาน การปรับปรุง หรือเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เพื่อให้การใช้พลังงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลยิ่งขึ้น เมื่อนำข้อมูลการการวิเคราะห์การใช้พลังงานของกรณีศึกษามาทำการเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังดำเนินมาตรการ สามารถสรุปผลได้ดังนี้คือ

6.1.1.2.1 ปริมาณการใช้ไฟฟ้า

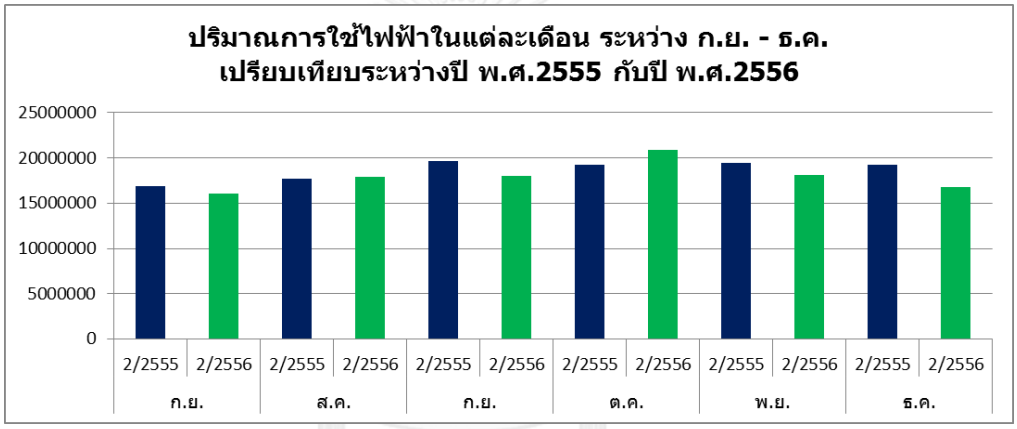
ปริมาณการใช้ไฟฟ้าของกรณีศึกษาลดลง 19% หรือลดลงประมาณ 744,730 kWh จากปีฐาน 2/2555

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปี	ปริมาณไฟฟ้า(kWh)
2/2555 (Base line)	18,686,056
2/2556 (วัดผล)	17,941,326
ลดลง	744,730



รูปที่ 6.2 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้า (kWh) ก่อนและหลังปรับปรุง



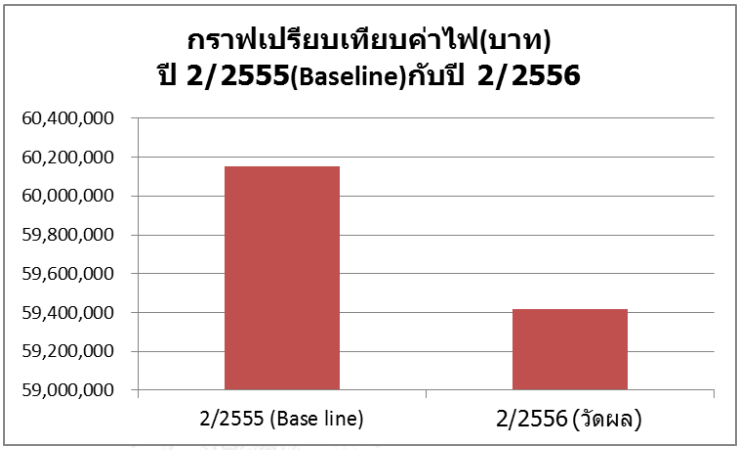
รูปที่ 6.3 กราฟเปรียบเทียบปริมาณการใช้ไฟฟ้าในแต่ละเดือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

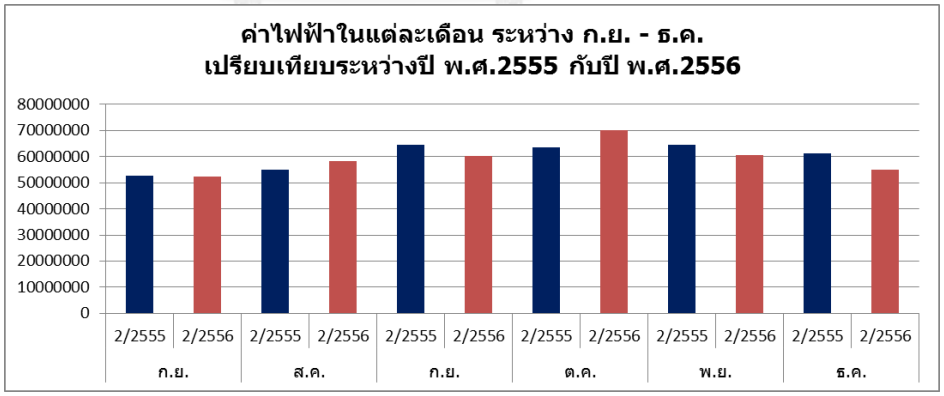
6.1.1.2.2 ค่าไฟฟ้า

ค่าไฟฟ้าลดลง 1.2% หรือค่าไฟฟ้าลดลงประมาณ 734,532 บาท จากปีฐาน 2/2555

ปี	ค่าไฟฟ้า (บาท)
2/2555 (Base line)	60,151,980
2/2556 (วัดผล)	59,417,448
ลดลง	734,532



รูปที่ 6.4 กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ใช้ ก่อนและหลังปรับปรุง

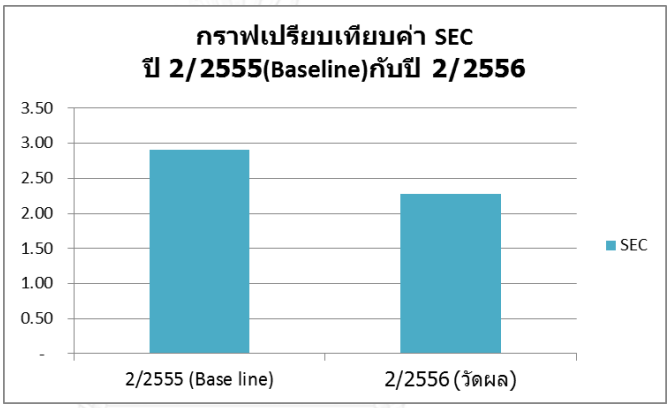


รูปที่ 6.5 กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ใช้ในแต่ละเดือนระหว่างปี 2556 กับ 2557

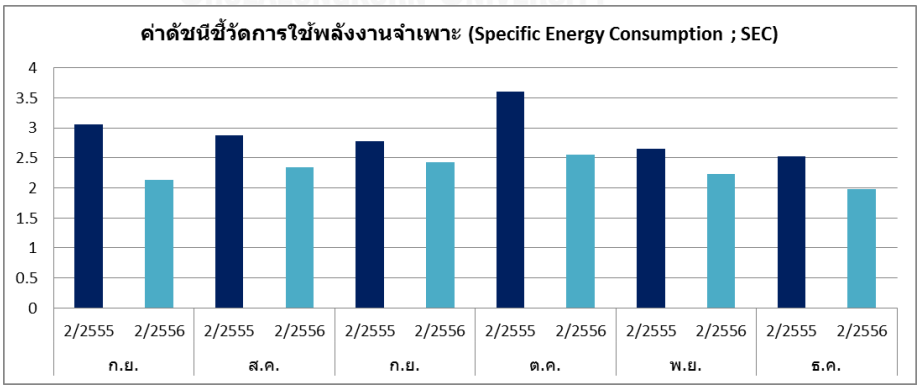
6.1.1.2.3 ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption ; SEC)

ค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC)ลดลง 21.8% หรือประมาณ 0.63 จากปีฐาน 2/2555

ปี	SEC
2/2555 (Base line)	2.91
2/2556 (วัดผล)	2.28
ลดลง	0.63



รูปที่ 6.6 กราฟเปรียบเทียบค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะก่อนและหลังปรับปรุง

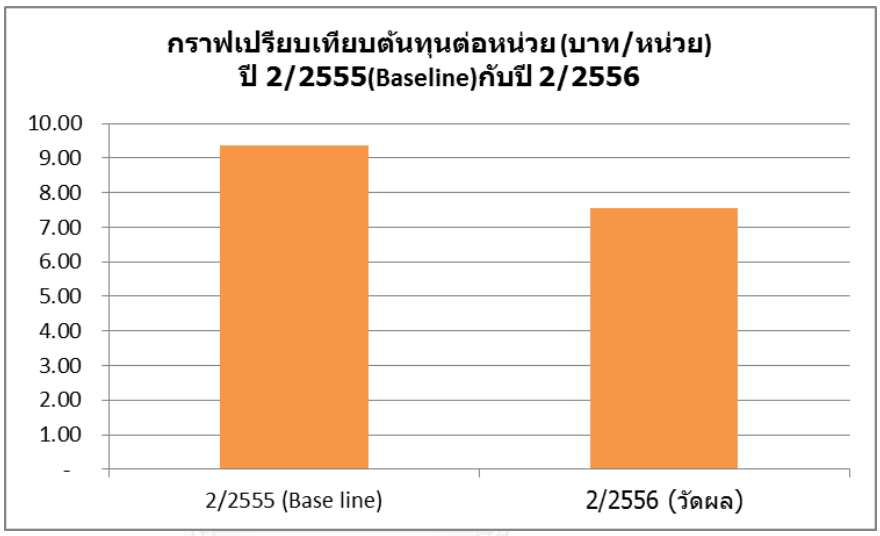


รูปที่ 6.7 กราฟเปรียบเทียบค่าดัชนีชี้วัดการใช้พลังงานจำเพาะในแต่ละเดือนระหว่างปี 2555 กับ 2556

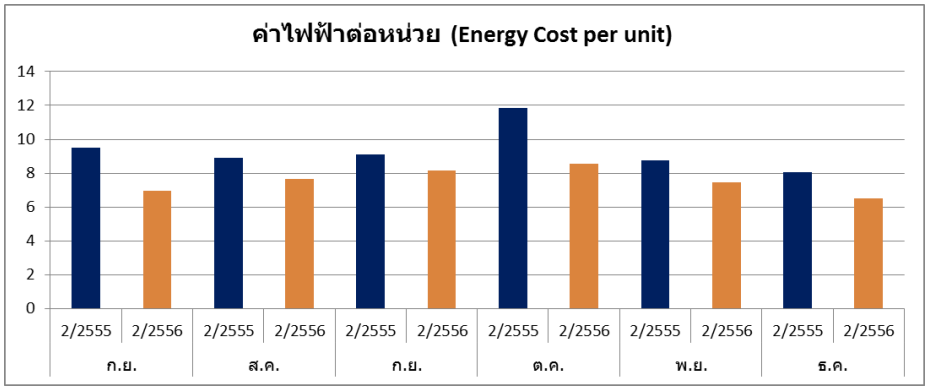
6.1.1.2.4 ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (Energy Cost per unit)

ค่าไฟฟ้าต่อหน่วยลดลง 19.5 % หรือประมาณ 1.83 บาทต่อหน่วย จากปีฐาน 2/2555

ปี	Cost/Units
2/2555 (Base line)	9.37
2/2556 (วัดผล)	7.54
ลดลง	1.83



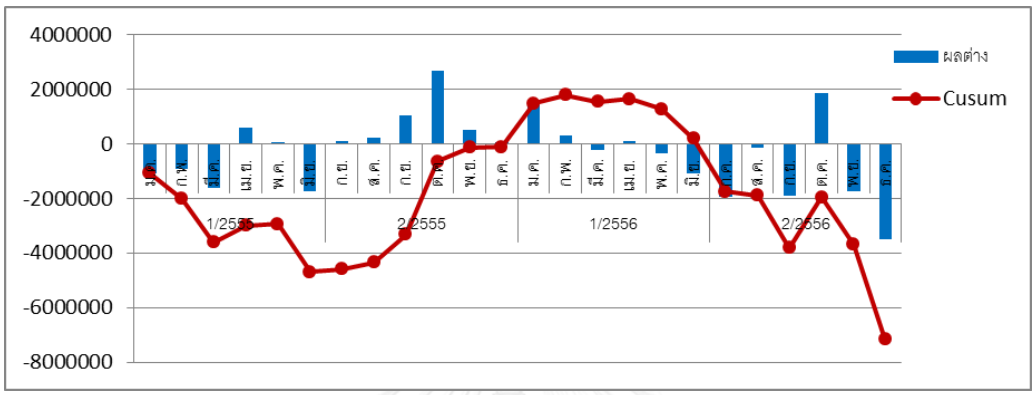
รูปที่ 6.8 กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าต่อหน่วยก่อนและหลังปรับปรุง



รูปที่ 6.9 กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าต่อหน่วยก่อนในแต่ละเดือนระหว่างปี 2555 กับ 2556

6.1.1.2.5 แบบจำลองและสมการสำหรับพยากรณ์การใช้พลังงาน

จาก CUSUM แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงด้านการใช้พลังงานตั้งแต่ปลายเดือนพฤษภาคม พ.ศ.2556 เป็นต้นมา และมีแนวโน้มจะดีขึ้นเรื่อยๆ เหล่านี่แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการจัดการพลังงานของกรณีศึกษามีการปรับปรุงไปในทิศทางที่ดีขึ้น



รูปที่ 6.10 แสดงผลต่างระหว่างค่าการใช้พลังงานจริงและค่าการใช้พลังงานที่ควรจะเป็นเมื่อผลิตผลิตภัณฑ์ในจำนวนหนึ่งๆ ระหว่างเดือน ม.ค. พ.ศ. 2555 – ธ.ค. พ.ศ.2556

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.2 ข้อเสนอแนะ / ปัญหาและอุปสรรค์

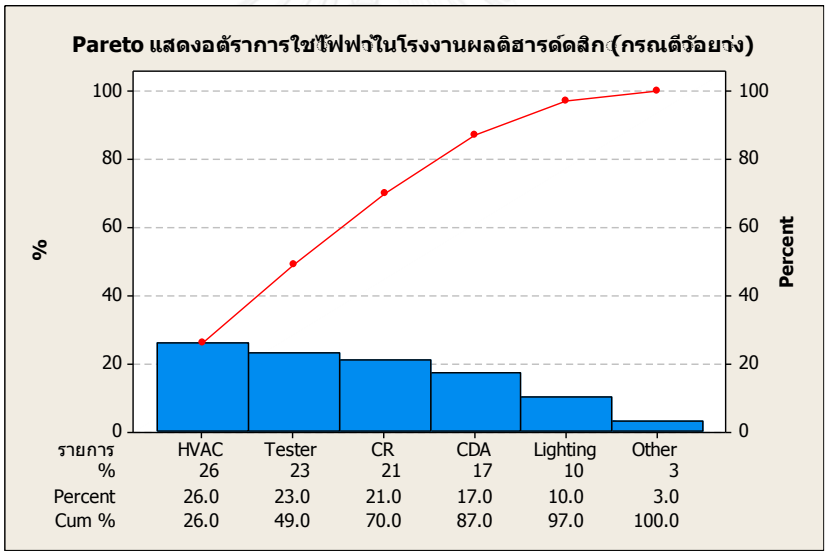
6.2.1 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการดำเนินมาตรการเพื่อทำการลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในงานวิจัยชิ้นนี้ได้นำมาตรการมาใช้เพียง 6 มาตรการที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานไฟฟ้าอันได้แก่

1. มาตรการ HVAC – เปลี่ยนไปใช้เครื่องทำความเย็นที่มีประสิทธิภาพสูงกว่า

2. มาตรการ HVAC – บริหารแผนการจัดการเครื่องทำความเย็น
3. มาตรการ CDA – มาตรการการลดการรั่วไหลในระบบอัดอากาศมาตรการ
4. มาตรการ 4 Lighting – พิจารณาความเหมาะสมของแสงสว่างและลดจำนวนหลอดไฟที่ไม่จำเป็น
5. มาตรการ Lighting – เปลี่ยนหลอดไฟฟ้าเป็นหลอด LED

จาก 5 มาตรการที่ดำเนินการ สามารถลดการใช้พลังงานทั้งหมดของโรงงานฮาร์ดดิสก์ได้เพียง 4% (ลดลง 744,730 kWh จาก 18,686,056 kWh) เท่านั้น ทั้งนี้หากโรงงานสามารถดำเนินมาตรการหลักในส่วนของเครื่องทดสอบ(Tester) และส่วนการผลิตในห้องสะอาด (Clean Room) ร่วมด้วย จะช่วยให้การลดการใช้พลังงานมีประสิทธิภาพและประสิทธิผลมากยิ่งขึ้น



รูปที่ 6.11 แสดงการใช้พลังงานที่ยังไม่ได้ออกมาตรการในการอนุรักษ์พลังงาน

ตัวอย่างมาตรการที่น่าสนใจแต่ยังไม่สามารถดำเนินการได้ ด้วยข้อจำกัดทางระยะเวลา งบประมาณ และอาจกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ทั้งนี้โรงงานสามารถศึกษาหาแนวทางในการลดการใช้พลังงานเพิ่มเติมได้อีกมากหากเทียบกับการใช้พลังงานของโรงงาน

1. HVAC – การเดินท่อของระบบส่งน้ำเย็นให้มีประสิทธิภาพ
2. Tester – ทำการลดรอบเวลาการทดสอบงาน

3. CR assembly machine – ทำการปรับเปลี่ยนไปใช้อุปกรณ์ที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ต่ำกว่า

โรงงานอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ควรมีการตรวจสอบและดำเนินมาตรการในการจัดการพลังงานให้มีประสิทธิภาพ เป็นไปตามค่าที่เหมาะสม รวมไปถึงใช้ในการปรับปรุงพัฒนากระบวนการทำงานหรือกระบวนการผลิตเดิมที่มีอยู่ให้ดีขึ้น[18]เพราะนอกจากจะช่วยลดต้นทุนการผลิตแล้ว ยังเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับโรงงานได้อีกด้วย หากสามารถทำการหาสาเหตุที่ทำให้เกิดการใช้พลังงานไฟฟ้าที่สูงและออกมาตรการเพื่อทำการลดการใช้พลังงานได้ครอบคลุมทุกอุปกรณ์ทีใช้พลังงานจะทำให้สามารถลดต้นทุนโดยรวมยังเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับโรงงานได้อีกด้วย

โรงงานควรมีการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานและข้อมูลการผลิต มาสร้างสมการ เพื่อคาดการคาดการพลังงานที่คาดว่าจะใช้ในการผลิตฮาร์ดดิสก์จำนวนหนึ่งๆ ในอนาคต จากนั้นเปรียบเทียบผลต่างที่เกิดขึ้นจริง หากพบว่าการใช้พลังงานไฟฟ้าช่วงไหนเกินกว่าที่ควรจะเป็น คณะทำงานด้านพลังงานควรมีการตรวจสอบหาสาเหตุ จัดหามาตรการเพื่อควบคุมและลดการใช้พลังงานในอนาคต ทั้งนี้ต้องมีการกำหนดเป้าหมายในการดำเนินการให้ชัดเจน ต่อเนื่อง เหล่านี้จะสร้างความยั่งยืนในการจัดการด้านพลังงานให้กับโรงงาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

6.2.2 ปัญหาและอุปสรรค์

6.2.2.1 ข้อจำกัดด้านข้อมูล ในการดำเนินการวิจัยข้อมูลด้านพลังงานและปริมาณการผลิตถือเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญยิ่งต่อการศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงาน แต่ด้วยการจัดเก็บข้อมูลของโรงงานยังไม่มีการเชื่อมโยง และจัดการอย่างเป็นระบบที่ชัดเจน ทำให้การวิเคราะห์ผลอาจเกิดความผิดพลาด หรือคลาดเคลื่อนได้ ทั้งนี้ต้องมีการดำเนินการแก้ไขการจัดการระบบการเก็บข้อมูลด้านพลังงานเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าถึงและสะดวกต่อการตรวจติดตามปัญหาด้านพลังงาน ในที่นี้กรณีศึกษาใช้การจัดเก็บข้อมูลลง Intranet เพื่อความสะดวกในการนำข้อมูลไปใช้ในอนาคตต่อไป

6.2.2.2 ไม่สามารถดำเนินมาตรการปรับปรุงการใช้พลังงานในส่วนที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ อย่างที่ทราบจากการศึกษาการว่าหนึ่งในสัดส่วนการใช้พลังงานหลักของโรงงานเกิดจากการทดสอบที่ใช้เวลานาน การปรับปรุงกระบวนการทดสอบ ปรับเปลี่ยนรูปแบบผลิตภัณฑ์

หรือลดฟังก์ชั่นการทำงานยังไม่เป็นที่สนับสนุนจากทางโรงงาน เนื่องด้วยอาจกระทบต่อการผลิต ซึ่งโรงงานต้องหามาตรการและดำเนินการลดการใช้พลังงานภายในต่อไป

6.2.2.3 การดำเนินมาตรการต้องใช้ความร่วมมือจากหลายฝ่าย กล่าวคือในการดำเนินมาตรการลดใช้พลังงาน จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องได้รับความร่วมมือจากผู้ชำนาญการในโรงงานและเจ้าของพื้นที่ที่จะปรับปรุง การสื่อสารและการประสานงานถือเป็นสิ่งสำคัญยิ่งในการดำเนินมาตรการให้บรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ผลประเมินประสิทธิภาพของเครื่องทำความเย็น Chiller แต่ละเครื่อง

ประสิทธิภาพของ Chiller - Water Cool No.01 : 800 TR

ข้อมูลการคำนวณ

	ตัวแปร		Units
อุณหภูมิของน้ำเย็นเข้า	T_1	7.98	^oC
อุณหภูมิของน้ำเย็นออก	T_2	6.34	^oC
อัตราการไหลของน้ำเย็น	V	140.41	l/s
กำลังไฟฟ้าที่ใช้	**P**	304.64	kW
% การใช้งาน	%	34.11	%
ชั่วโมงใช้งาน	H	24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันต่อปี	d	292	วัน/ปี
ขนาดทำความเย็น (Spec.)	TR_{spec}	800	TR
		2,134,933	kWh/ปี

การคำนวณ

	Tons of refrigerator (TR)	TR_H	272.91	TR
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้		304.64	kW
	หรือเทียบเท่าตันความเย็น	TR_E	86.61	TR
	Flow น้ำไหลผ่านเครื่องระเหย	m_w	140.41	dm^3/s
	ค่าความจุจำเพาะของน้ำ	C_P	4.187	kJ/kg °C
	COP		**3.15**	
ChP =	**kW/TR**		**1.12**	
	EER		**10.75**	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประสิทธิภาพของ Chiller - Water Cool No.02 : 800 TR

ข้อมูลการคำนวณ

	ตัวแปร		Units
อุณหภูมิของน้ำเย็นเข้า	T_1	8.15	^oC
อุณหภูมิของน้ำเย็นออก	T_2	6.34	^oC
อัตราการไหลของน้ำเย็น	V	133.03	l/s
กำลังไฟฟ้าที่ใช้	**P**	366.01	kW
% การใช้งาน	%	35.97	%
ชั่วโมงใช้งาน	H	24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันต่อปี	d	292	วัน/ปี
ขนาดทำความเย็น (Spec.)	TR_{spec}	800	TR
		2,565,007	kWh/ปี

การคำนวณ

	Tons of refrigerator (TR)	TR_H	287.77	TR
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้		366.01	kW
	หรือเทียบเท่าตันความเย็น	TR_E	104.06	TR
	Flow น้ำไหลผ่านเครื่องระเหย	m_w	133.03	dm^3/s
	ค่าความจุจำเพาะของน้ำ	C_P	4.187	kJ/kg °C
	COP		**2.77**	
ChP =	**kW/TR**		**1.27**	
	EER		**9.44**	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประสิทธิภาพของ Chiller - Water Cool No.03 : 800 TR

ข้อมูลการคำนวณ

	ตัวแปร		Units
อุณหภูมิของน้ำเย็นเข้า	T_1	8.04	^oC
อุณหภูมิของน้ำเย็นออก	T_2	5.55	^oC
อัตราการไหลของน้ำเย็น	V	99.12	l/s
กำลังไฟฟ้าที่ใช้	**P**	311.69	kW
% การใช้งาน	%	36.73	%
ชั่วโมงใช้งาน	H	24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันต่อปี	d	292	วัน/ปี
ขนาดทำความเย็น (Spec.)	TR_{spec}	800	TR
		2,184,299	kWh/ปี

การคำนวณ

	Tons of refrigerator (TR)	TR_H	293.81	TR
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้		311.69	kW
	หรือเทียบเท่าตันความเย็น	TR_E	88.61	TR
	Flow น้ำไหลผ่านเครื่องระเหย	m_w	99.12	dm^3/s
	ค่าความจุจำเพาะของน้ำ	C_P	4.187	kJ/kg °C
	COP		**3.32**	
ChP =	**kW/TR**		**1.06**	
	EER		**11.31**	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประสิทธิภาพของ Chiller - Water Cool No.04 : 800 TR

ข้อมูลการคำนวณ

	ตัวแปร		Units
อุณหภูมิของน้ำเย็นเข้า	T_1	7.86	^oC
อุณหภูมิของน้ำเย็นออก	T_2	5.81	^oC
อัตราการไหลของน้ำเย็น	V	127.23	l/s
กำลังไฟฟ้าที่ใช้	**P**	400.11	kW
% การใช้งาน	%	38.79	%
ชั่วโมงใช้งาน	H	24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันต่อปี	d	292	วัน/ปี
ขนาดทำความเย็น (Spec.)	TR_{spec}	800	TR
		2,803,953	kWh/ปี

การคำนวณ

	Tons of refrigerator (TR)	TR_H	310.35	TR
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้		400.11	kW
	หรือเทียบเท่าตันความเย็น	TR_E	113.75	TR
	Flow น้ำไหลผ่านเครื่องระเหย	m_w	127.23	dm^3/s
	ค่าความจุจำเพาะของน้ำ	C_P	4.187	kJ/kg °C
	COP		**2.73**	
ChP =	**kW/TR**		**1.29**	
	EER		**9.31**	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประสิทธิภาพของ Chiller - Water Cool No.05 : 800 TR

ข้อมูลการคำนวณ

	ตัวแปร		Units
อุณหภูมิของน้ำเย็นเข้า	T_1	7.81	^oC
อุณหภูมิของน้ำเย็นออก	T_2	5.63	^oC
อัตราการไหลของน้ำเย็น	V	135.30	l/s
กำลังไฟฟ้าที่ใช้	**P**	382.31	kW
% การใช้งาน	%	43.95	%
ชั่วโมงใช้งาน	H	24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันต่อปี	d	292	วัน/ปี
ขนาดทำความเย็น (Spec.)	TR_{spec}	800	TR
		2,679,244	kWh/ปี

การคำนวณ

	Tons of refrigerator (TR)	TR_H	351.57	TR
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้		382.31	kW
	หรือเทียบเท่าตันความเย็น	TR_E	108.69	TR
	Flow น้ำไหลผ่านเครื่องระเหย	m_w	135.30	dm^3/s
	ค่าความจุจำเพาะของน้ำ	C_P	4.187	kJ/kg °C
	COP		**3.23**	
ChP =	**kW/TR**		**1.09**	
	EER		**11.04**	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประสิทธิภาพของ Chiller - Water Cool No.06 : 800 TR

ข้อมูลการคำนวณ

	ตัวแปร		Units
อุณหภูมิของน้ำเย็นเข้า	T_1	8.32	^oC
อุณหภูมิของน้ำเย็นออก	T_2	5.88	^oC
อัตราการไหลของน้ำเย็น	V	127.33	l/s
กำลังไฟฟ้าที่ใช้	**P**	335.98	kW
% การใช้งาน	%	46.25	%
ชั่วโมงใช้งาน	H	24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันต่อปี	d	292	วัน/ปี
ขนาดทำความเย็น (Spec.)	TR_{spec}	800	TR
		2,354,521	kWh/ปี

การคำนวณ

	Tons of refrigerator (TR)	TR_H	370.03	TR
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้		335.98	kW
	หรือเทียบเท่าตันความเย็น	TR_E	95.52	TR
	Flow น้ำไหลผ่านเครื่องระเหย	m_w	127.33	dm^3/s
	ค่าความจุจำเพาะของน้ำ	C_P	4.187	kJ/kg °C
	COP		**3.87**	
ChP =	**kW/TR**		**0.91**	
	EER		**13.22**	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประสิทธิภาพของ Chiller - Water Cool No.07 : 1,000 TR

ข้อมูลการคำนวณ

	ตัวแปร		Units
อุณหภูมิของน้ำเย็นเข้า	T_1	8.93	^oC
อุณหภูมิของน้ำเย็นออก	T_2	6.09	^oC
อัตราการไหลของน้ำเย็น	V	172.90	l/s
กำลังไฟฟ้าที่ใช้	**P**	438.96	kW
% การใช้งาน	%	58.53	%
ชั่วโมงใช้งาน	H	24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันต่อปี	d	292	วัน/ปี
ขนาดทำความเย็น (Spec.)	TR_{spec}	1,000	TR
		3,076,205	kWh/ปี

การคำนวณ

	Tons of refrigerator (TR)	TR_H	585.29	TR
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้		438.96	kW
	หรือเทียบเท่าตันความเย็น	TR_E	124.80	TR
	Flow น้ำไหลผ่านเครื่องระเหย	m_w	172.90	dm^3/s
	ค่าความจุจำเพาะของน้ำ	C_P	4.187	kJ/kg °C
	COP		**4.69**	
ChP =	**kW/TR**		**0.75**	
	EER		**16.00**	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประสิทธิภาพของ Chiller - Water Cool No.08 : 1,000 TR

ข้อมูลการคำนวณ

	ตัวแปร		Units
อุณหภูมิของน้ำเย็นเข้า	T_1	8.88	^oC
อุณหภูมิของน้ำเย็นออก	T_2	6.47	^oC
อัตราการไหลของน้ำเย็น	V	198.49	l/s
กำลังไฟฟ้าที่ใช้	**P**	440.99	kW
% การใช้งาน	%	56.85	%
ชั่วโมงใช้งาน	H	24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันต่อปี	d	292	วัน/ปี
ขนาดทำความเย็น (Spec.)	TR_{spec}	1,000	TR
		3,090,467	kWh/ปี

การคำนวณ

	Tons of refrigerator (TR)	TR_H	568.48	TR
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้		440.99	kW
	หรือเทียบเท่าตันความเย็น	TR_E	125.37	TR
	Flow น้ำไหลผ่านเครื่องระเหย	m_w	198.49	dm^3/s
	ค่าความจุจำเพาะของน้ำ	C_P	4.187	kJ/kg °C
	COP		**4.53**	
ChP =	**kW/TR**		**0.78**	
	EER		**15.47**	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประสิทธิภาพของ Chiller - Water Cool No.09 : 1,000 TR

ข้อมูลการคำนวณ

	ตัวแปร		Units
อุณหภูมิของน้ำเย็นเข้า	T_1	9.33	^oC
อุณหภูมิของน้ำเย็นออก	T_2	5.45	^oC
อัตราการไหลของน้ำเย็น	V	166.92	l/s
กำลังไฟฟ้าที่ใช้	**P**	476.47	kW
% การใช้งาน	%	77.05	%
ชั่วโมงใช้งาน	H	24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันต่อปี	d	292	วัน/ปี
ขนาดทำความเย็น (Spec.)	TR_{spec}	1,000	TR
		3,339,124	kWh/ปี

การคำนวณ

	Tons of refrigerator (TR)	TR_H	770.47	TR
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้		476.47	kW
	หรือเทียบเท่าตันความเย็น	TR_E	135.46	TR
	Flow น้ำไหลผ่านเครื่องระเหย	m_w	166.92	dm^3/s
	ค่าความจุจำเพาะของน้ำ	C_P	4.187	kJ/kg °C
	COP		**5.69**	
ChP =	**kW/TR**		**0.62**	
	EER		**19.41**	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประสิทธิภาพของ Chiller - Water Cool No.10 : 1,000 TR

ข้อมูลการคำนวณ

	ตัวแปร		Units
อุณหภูมิของน้ำเย็นเข้า	T_1	8.58	^oC
อุณหภูมิของน้ำเย็นออก	T_2	5.05	^oC
อัตราการไหลของน้ำเย็น	V	185.08	l/s
กำลังไฟฟ้าที่ใช้	**P**	611.37	kW
% การใช้งาน	%	77.73	%
ชั่วโมงใช้งาน	H	24	ชั่วโมง/วัน
จำนวนวันต่อปี	d	292	วัน/ปี
ขนาดทำความเย็น (Spec.)	TR_{spec}	1,000	TR
		4,284,502	kWh/ปี

การคำนวณ

	Tons of refrigerator (TR)	TR_H	777.33	TR
	กำลังไฟฟ้าที่ใช้		611.37	kW
	หรือเทียบเท่าตันความเย็น	TR_E	173.81	TR
	Flow น้ำไหลผ่านเครื่องระเหย	m_w	185.08	dm^3/s
	ค่าความจุจำเพาะของน้ำ	C_P	4.187	kJ/kg °C
	COP		**4.47**	
ChP =	**kW/TR**		**0.79**	
	EER		**15.26**	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

1. เหล่าวัฒนา, ด.ช., ความสำคัญของอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไทย เข้าถึงจาก. ASTVผู้จัดการออนไลน์, 2552.
2. Lomax, R.G., *Statistical Concepts: A Second Course for Education And the Behavioral Sciences. London.* Lawrence Erlbaum Associates, Inc, 1992.
3. แก้ววิมลรัตน์, พ., การพัฒนาแบบจำลองดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ ด้วยเทคนิคหน่วยเทียบเท่า ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ. , 2552. ปีการศึกษา 2552.
4. และคณะ, ก.ส., ฮาร์ดดิสก์ (*Hard Disk)* 2552.
5. วิกิพีเดีย, ฮาร์ดดิสก์. 2556.
6. แสงปิยะ, บ., การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อศักยภาพการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานควบคุม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ 2553.
7. นิรมิตวสุ, เ., การประยุกต์ใช้เครื่องมือทางสถิติเพื่อการตรวจติดตามผลการอนุรักษ์พลังงาน. วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 8 2554(2554/2).
8. มณีโชติ., เ., การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานควบคุม : *TSIC 33, 36,* 37 และ 38. วารสารวิจัยพลังงาน ปีที่ 8 2554(2554/2).
9. พิทักษ์, ส., การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรม กรณีศึกษา บริษัท อีพีอี แพคเกจจิ้ง (ประเทศไทย) จำกัด ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา) บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพฯ 2550.
10. Saving, E., ประเมินสถานะการจัดการพลังงานอย่างมีระบบ *;* เทคนิคการประเมินสถานะภาพโดยใช้ *Energy Management Matrix*. 2555.
11. พัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, ก., ความหมายการจัดกลุ่มอุตสาหกรรม
12. แซ่มช้อย, ไ., การใช้ข้อมูลเชิงสถิติเพื่อการกำหนดเป้าหมายและการตรวจสอบสัมฤทธิผลการอนุรักษ์พลังงา. เทคนิค ไฟฟ้า เครื่องกล วิศวกรรมอุตสาหการ, 2553: p. 91 - 101.
13. Wua, L., Chenb, B., Borc, Y., and Wu, Y., *Structure model of energy efficiency indicators and applications.* Energy Policy, 2007: p. 3768–3777.
14. Christina Galitsky, S.-c.C., Ernst Worrell and Eric Masanet *Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Pharmaceutical Industry.* ERNEST ORLANDO LAWRENCE BERKELEY NATIONAL LABORATORY, 2008.

15. พัฒนสุขเกษม, อ., แผนภูมิควบคุมคุณภาพสำหรับการตรวจวัดการเปลี่ยนแปลงค่าของกระบวนการ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย., 2548.
16. Worrell, C., Block, and Turkenburg, *Energy Consumption by Industrial Processes in The European Union.* Energy, 1994: p. 1113-1129.
17. Puranik, *CUSUM Quality Control Chart for Monitoring Energy Use Performance.* Proceedings of the IEEM, 2007: p. 1231-1237.
18. ธนาปิยะกุล, ป., การประยุกต์ใช้ระบบตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน. เทคนิค ไฟฟ้า เครื่องกล วิศวกรรมอุตสาหการ, 2552: p. 73-84.
19. (BEE), B.o.E.E., *Chapter* 8 *Energy Monitoring and Targeting.* General Aspects of Energy Management and Energy Audit: p. 172-183.
20. Clara, *Energy efficiency developments in the manufacturing industries of Germany and Colombia.* Energy for Sustainable Development, 2009: p. 189-200.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ – ชื่อสกุล ภาชนีย์ ฤทธิบุญ

วัน เดือน ปี เกิด 14 ธันวาคม พ.ศ.2531

ที่อยู่ปัจจุบัน 15/155 ซอย พัฒนาการ 54 ถ.พัฒนาการ เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ 10250

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2546 (มัธยมศึกษาตอนต้น) โรงเรียนเซนต์ฟรังซีสเซเวียร์ มัธโนทัย จังหวัดตาก

พ.ศ. 2549 (มัธยมศึกษาตอนปลาย) โรงเรียนผดุงปัญญา จังหวัดตาก

พ.ศ. 2553 (วศ.บ.) คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University