การศึกษาแนวทางบำรุงรักษาที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี

นายสุวิทย์ ภูลี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน (สหสาขาวิชา)
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
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 Graduate School.

A STUDY OF APPROPRIATE MAINTENANCE ACTIVITY TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY IN PRODUCTION OF PETROCHEMICAL INDUSTRY

Mr. Suwit Phoolee

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 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาแนวทางบำรุงรักษาที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี
โดย	นายสุวิทย์ ภูลี
สาขาวิชา	เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.พรพจน์ เปี่ยมสมบูรณ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

…… ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.บัณฑิต เอื้ออาภรณ์)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

…… กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทยา ยงเจริญ)

…… กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก)

สุวิทย์ ภูลี : การศึกษาแนวทางบำรุงรักษาที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของอุตสาหกรรมปิโตรเคมี. (A STUDY OF APPROPRIATE MAINTENANCE ACTIVITY TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY IN PRODUCTION OF PETROCHEMICAL INDUSTRY) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.ปารเมศ ชุติมา, 262 หน้า.

ปัจจุบันค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมมีจำนวนสูงมากขึ้นทุกปี ทำให้หลายๆองค์กรตระหนักเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและมีแนวทางในการใช้พลังงานให้ได้ประโยชน์สูงสุด การพิจารณาประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตสินค้านั้นสามารถใช้ดัชนีตรวจติดตามค่าการใช้พลังงานต่อความสามารถเชิงปริมาณในการผลิตสินค้าประเภทนั้นๆซึ่งหมายถึงค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption : SEC) มาเป็นดัชนีติดตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตได้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอแนวทางการพิจารณาเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตโดยอ้างอิงค่าการใช้พลังงานจำเพาะ ในมิติของการดำเนินการด้านงานบำรุงรักษาด้วยการปรับปรุงการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาที่เหมาะสมเพื่อลดเวลาการปฏิบัติงานบำรุงรักษาลงแล้วตรวจติดตามตัวแปรในมิติด้านบำรุงรักษา (Maintenance) ด้านการผลิต (Production) และด้านพลังงาน (Energy) ที่สัมพันธ์กัน พร้อมกับเสนอมาตรการประหยัดพลังงานและคำนวณผลการประหยัดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน โดยใช้ข้อมูลด้านงานบำรุงรักษาไฟฟ้าจากโรงงานประเภทปิโตรเคมีตัวอย่างมาเป็นกรณีศึกษา ผลจากการศึกษาพบว่าการบำรุงรักษาที่เหมาะสมช่วยให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตเพิ่มขึ้น

สาขาวิชา เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน ลายมือชื่อนิสิต .....

ปีการศึกษา 2554 ..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

5287651520 : MAJOR ENERGY TECHNOLOGY AND MANAGMENT
KEYWORDS: REDUCING MAINTENANCE TIME /INCREASE ENERGY EFFICIENCY

SUWIT PHOOLEE: A STUDY OF APPROPRIATE MAINTENANCE ACTIVITY TO INCREASE ENERGY EFFICIENCY IN PRODUCTION OF PETROCHEMICAL INDUSTRY. ADVISOR : ASSOC.PROF PARAMES CHUTIMA Ph D, 262 pp.

The current cost of energy in industry are very high every year. Many organizations make a conscious about energy costs and ways to optimize energy use. Consideration of energy efficiency for industrial production, it can use the index to monitor the energy consumption of a quantity in the production of that type, which refers to the use of energy-specific (Specific Energy Consumption: SEC) came into being index to track energy efficiency in the manufacturing process. This thesis presents a way to increase energy efficiency in the production process with reference SEC in the dimensions of the maintenance management to improve appropriate to reduce the maintenance time. The monitoring variables in Maintenance Production and Energy related and proposed energy saving measures and calculate the savings to increase energy efficiency. The data used in the electrical maintenance of petrochemical plant as examples. The results of the study showed that proper maintenance can help keep energy efficiency in the production process increases.

Field of Study : Energy Technology and Management Student's Signature .....
Academic Year : 2011 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีนั้น ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้แนะนำแนวทางการทำการวิจัยเป็นอย่างดี และผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณท่านคณะอาจารย์ ประจำหลักสูตร เทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้แนวคิดและองค์ความรู้ต่างๆจากการสอนในหลักสูตรเทคโนโลยีและการจัดการพลังงานที่ผู้จัดทำได้ศึกษาอยู่

ขอขอบคุณพี่ๆเพื่อนและน้องๆที่โรงงานโดยเฉพาะหน่วยงานบำรุงรักษาไฟฟ้าที่ผู้วิจัยได้ทำงานอยู่ ซึ่งให้การสนับสนุนข้อมูลที่จำเป็นในงานวิจัยตลอดจนให้ความร่วมมือในการทดลองปฏิบัติตามแนวทางดำเนินงานในงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วงในการได้มาซึ่งข้อมูลที่จำเป็นต่างๆต่อการดำเนินการวิจัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย…… ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญรูป..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา……... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย……. 1

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย……. 2

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย……..…... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ……. 4

บทที่ 2 หลักการพื้นฐานและการสำรวจวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง……... 5

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย……... 5

1) แนวคิดและทฤษฎีการใช้ค่าพลังงานจำเพาะ……... 5

2) แนวคิดและทฤษฎีการเพิ่มผลผลิต…….. 5

3) แนวคิดและทฤษฎีการผลิตแบบลีน…… 6

4) แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับวิศวกรรมคุณค่า…… 7

5) แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการบำรุงรักษา…….. 7

6) แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับหลักการและประเภทการบำรุงรักษา…… 8

7) แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการวิเคราะห์รากเหง้าปัญหา……. 12

8) ความสัมพันธ์เกี่ยวกับประสิทธิภาพการใช้พลังงานกับการผลิต……. 15
และการบำรุงรักษา

9) การจัดเก็บข้อมูล…… 18

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……..... 20

1) ด้านการบำรุงรักษา (Maintenance)…… 20

2) ด้านการปรับปรุง การวัดและการเพิ่มผลผลิต…… 22

หน้า

3) ด้านดัชนีวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน…….. 25
บทที่ 3 สภาพทั่วไปและการวิเคราะห์ปัญหาโรงงาน…….. 27
3.1 ข้อมูลโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษา……... 27
3.2 ปัญหาและการเก็บรวบรวมข้อมูล……..…..... 47
3.3 การวิเคราะห์ปัญหาและแนวทางปรับปรุง…… 60
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์สาเหตุและการดำเนินการแก้ไขปรับปรุง……... 68
4.1 ผลการวิเคราะห์สาเหตุและแนวทางปรับปรุง……... 68
4.2 วิธีการและขั้นตอนการปรับปรุง……... 71
4.3 ผลการปรับปรุง…… 98
4.4 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังปรับปรุง……. 106
และสรุปผลการปรับปรุง
บทที่ 5 การนำเสนอมาตรการประหยัดพลังงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน…… 112
5.1 การวิเคราะห์ปัญหาและสภาพการณ์ในงานบำรุงรักษาและแนวทาง…… 112
ปรับปรุงที่พิจารณาถึงการเพิ่มศักยภาพด้านพลังงาน
5.2 รายละเอียดมาตรการและการประเมินผลการประหยัดพลังงาน……...… 114
1) มาตรการติดตั้ง Inverter ให้ปั๊มน้ำหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower)……. 115
2) มาตรการการหยุด Cooling Fan 1 Unit ในช่วงที่มีการ Shutdown……... 120
เปลี่ยน Grade เม็ดพลาสติก
3) มาตรการการลด Blending Time เม็ดพลาสติก……..…….. 126
4) มาตรการการปรับวิธีการกลั่น Crude Hexane……. 131
5) มาตรการการย้ายโหลดหม้อแปลงที่ Product Warehouse เพื่อลด……... 140
ความสูญเสียที่แกนเหล็กหม้อแปลง
6) มาตรการการลดใช้งานระบบแสงสว่าง…….. 148
5.3 ศักยภาพผลประเมินการดำเนินมาตรการประหยัดพลังงาน……... 165
5.4 การเปรียบเทียบผลประเมินศักยภาพประหยัดพลังงาน…… 166
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ……..... 169
6.1 สรุปผลการวิจัย…… 169
6.2 ข้อเสนอแนะ…… 176

หน้า

รายการอ้างอิง…… 178
ภาคผนวก…….. 182
ภาคผนวก ก กิจกรรมบำรุงรักษาและเวลาในแผนบำรุงรักษา……... 183
ภาคผนวก ข คำสั่งแต่งตั้งทีมงานวิเคราะห์สาเหตุและปรับปรุงงานบำรุงรักษา…..... 189
ภาคผนวก ค Status งานตามขั้นตอนบำรุงรักษาในระบบ CMMS ……... 191
ภาคผนวก ง Step of Work การปฏิบัติงานบำรุงรักษาตามวิธีบำรุงรักษา…….. 194
แยกตามแผนบำรุงรักษา
ภาคผนวก จ ตัวอย่างผลการฝึกอบรม OJT…… 220
ภาคผนวก ฉ เอกสารตัวอย่าง Knowledge Sharing…… 228
ภาคผนวก ช Cooling Tower Data Sheet และโครงสร้างพื้นฐาน Inverter……... 253

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์…… 262

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	หลักการในการเพิ่มผลผลิต……...	17
3.1	ข้อมูลการใช้พลังงานและผลผลิตประจำปี 2553 ของโรงงาน……..	33
3.2	ค่า SEC ข้อมูลการใช้พลังงานประจำปี 2553 ของโรงงาน……	35
3.3	จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แบ่งตามประเภทต่างๆของอุปกรณ์ไฟฟ้า…….	39
3.4	การเก็บข้อมูลเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา……... ประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2553 ประเภทงาน Preventive Maintenance	48
3.5	การเก็บข้อมูลเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา……... ประจำเดือน มีนาคม 2553 ประเภทงาน Preventive Maintenance	50
3.6	การเก็บข้อมูลเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุง…… รักษา ประจำเดือน เมษายน 2553 ประเภทงาน Preventive Maintenance	52
3.7	การเก็บข้อมูลเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา……... ประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2553 ประเภทงาน Corrective Maintenance และ Breakdown Maintenance	54
3.8	การเก็บข้อมูลเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา……... ประจำเดือน มีนาคม 2553 ประเภทงาน Corrective Maintenance และ Breakdown Maintenance	55
3.9	การเก็บข้อมูลเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา……... ประจำเดือน เมษายน 2553 ประเภทงาน Corrective Maintenance และ Breakdown Maintenance	56
3.10	ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษาต่อชั่วโมงแยกตามตำแหน่งงาน…….. ทั้งประเภท Preventive Maintenance และ Corrective Maintenance	56
3.11	ผลการเก็บข้อมูลแสดง Plant Reliability ประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2553……... มีนาคม 2553 เมษายน 2553	57
3.12	ผลการเก็บข้อมูลแสดงค่าการใช้พลังงาน และ การคำนวณ…….. เป็นค่า SEC ประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2553 มีนาคม 2553 เมษายน 2553	57

ตารางที่		หน้า
3.13	สรุปผลของการเก็บข้อมูลตัวแปรที่สนใจตรวจติดตาม…… ประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2553 มีนาคม 2553 เมษายน 2553	58
4.1	สรุปสาเหตุของปัญหาใช้เวลามากในการปฏิบัติงานบำรุงรักษา……	68
4.2	แนวทางแก้ไขปรับปรุงปัญหาใช้เวลามากในการปฏิบัติงานบำรุงรักษา……....	70
4.3	รายการวิธีปฏิบัติงานบำรุงรักษา……	88
4.4	แผนบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าแยกตามประเภทอุปกรณ์……	93
4.5	ความต้องการการฝึกอบรมของพนักงานตามตำแหน่ง……..	95
4.6	รายการ Knowledge Sharing……	97
4.7	ผลการเก็บข้อมูลแสดงเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการ…….. บำรุงรักษา ประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2554 ประเภทงาน Planned Maintenance	98
4.8	ผลการเก็บข้อมูลแสดงเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการ…….. บำรุงรักษา ประจำเดือน มีนาคม 2554 ประเภทงาน Planned Maintenance	100
4.9	ผลการเก็บข้อมูลแสดงเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายใน……. การบำรุงรักษา ประจำเดือน เมษายน 2554 ประเภทงาน Planned Maintenance	101
4.10	ผลการเก็บข้อมูลแสดงเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการ…….. บำรุงรักษา ประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2554 ประเภทงาน Unplanned Maintenance	102
4.11	ผลการเก็บข้อมูลแสดงเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการ…….. บำรุงรักษา ประจำเดือน มีนาคม 2554 ประเภทงาน Unplanned Maintenance	103
4.12	ผลการเก็บข้อมูลแสดงเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการ…….. บำรุงรักษา ประจำเดือน เมษายน 2554 ประเภทงาน Unplanned Maintenance	103
4.13	ผลการเก็บข้อมูลแสดง Plant Reliability ประจำเดือน ……. กุมภาพันธ์ 2554 มีนาคม 2554 เมษายน 2554	104
4.14	ผลการเก็บข้อมูลแสดงค่าการใช้พลังงาน และ การคำนวณเป็น…… ค่า SEC ประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2554 มีนาคม 2554 เมษายน 2554	104
4.15	สรุปผลของข้อมูลตัวแปรที่สนใจตรวจติดตามเก็บข้อมูลภายหลัง…… ปรับปรุงประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2554 มีนาคม 2554 เมษายน 2554	105
4.16	ผลการเปรียบเทียบข้อมูลของตัวแปรที่ตรวจติดตามในงานวิจัย…… ก่อนและหลังปรับปรุง	107

ตารางที่		หน้า
5.1	วิเคราะห์ปัญหางานบำรุงรักษาเพื่อหาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพ…… การใช้พลังงาน	112
5.2	แนวทางการการปรับ Flow rate เพื่อประหยัดพลังงาน……. มาตรการติด Inverter	117
5.3	การคำนวณผลประหยัดพลังงาน มาตรการหยุด Cooling Fan 1 Unit……..	124
5.4	ข้อมูล MFR เฉลี่ยแยกแต่ละ Silo และการคำนวณค่าทางสถิติการลด…….. Blending Time	127
5.5	เกณฑ์การลด Blending Time ……...	129
5.6	ผลการคำนวณการประหยัดพลังงานมาตรการลด Blending Time……	130
5.7	การตรวจวัดปริมาณ Steam ที่ใช้เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่ม Feed Hexane …… มาตรการปรับวิธีกลั่น	134
5.8	ปริมาณกระแสไฟฟ้าของ P-702 ที่เพิ่มขึ้นขณะทำ Crude Hexane…….. ให้เป็น Pure Hexane	134
5.9	ราคาของ Steam แยกตามประเภทที่ใช้ในโรงงาน…….	135
5.10	สรุปการใช้พลังงานตามประเภทสำหรับการกลั่น Crude Hexane วิธีเก่า…….	136
5.11	ผลการทดลอง Record การเพิ่ม LS Steam กับการเพิ่ม Feed…….	138
5.12	ข้อมูลหม้อแปลงที่อาคาร Product Warehouse…….	140
5.13	การตรวจวัด โหลดและการคำนวณโหลดปัจจุบันของหม้อแปลง TR2501……..	142
5.14	การตรวจวัด โหลดและการคำนวณโหลดปัจจุบันของหม้อแปลง TR2502……..	143
5.15	สรุปการคำนวณมาตรการลดการใช้แสงสว่างห้องอุปกรณ์ไฟฟ้า…….	153
5.16	การปิด-เปิด ระบบแสงสว่างที่อาคาร Pelletizing สภาพปัจจุบัน……. (ก่อนปรับปรุง).	156
5.17	การปิด-เปิด ระบบแสงสว่างที่อาคาร Pelletizing สภาพถ้าปรับปรุง……. ตามมาตรการ	158
5.18	สรุปการคำนวณ (วงจร NORMAL LIGHTING) อาคาร Pelletizing……	161
5.19	สรุปการคำนวณ (วงจร EMERGENCY LIGHTING) อาคาร Pelletizing……	163
5.20	สรุปการคำนวณ (วงจร EMERGENCY LP-32, 35 ปิด 24 ชั่วโมง) ……. อาคาร Pelletizing	164

ตารางที่		หน้า
5.21	สรุปศักยภาพการประหยัดพลังงานจากการดำเนินมาตรการ……	165
5.22	ข้อมูลใช้พลังงานและผลผลิตประจำปี 2553 ของโรงงานแสดงผลกรณี…….. ลดการใช้พลังงานตามมาตรการประหยัดพลังงาน	166
5.23	สรุปผลเปรียบเทียบการลดลงของการใช้พลังงานและ SEC ……. จากมาตรการประหยัดพลังงาน	168
6.1	เปรียบเทียบข้อมูลตัวแปรที่ตรวจติดตามก่อนทำการปรับปรุงและ……... หลังปรับปรุง	170
6.2	เปรียบเทียบข้อมูลตัวแปรที่ตรวจติดตามค่า SEC ก่อนปรับปรุงและ…… หลังปรับปรุง	171
6.3	สรุปศักยภาพการลดการใช้พลังงาน…….	172
6.4	ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการใช้พลังงานกับการลดเวลา…… งานบำรุงรักษา เปรียบเทียบกับหลักการเพิ่มผลผลิต	174

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	จุดเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างปัญหาการวิเคราะห์ ทำไม ทำไม…….	15
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตและการบำรุงรักษา……	16
2.3	ความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานกับกระบวนการผลิต…….	18
3.1	แผนผังองค์กรโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษา……	28
3.2	Block Diagram ขั้นตอนการผลิตของโรงงาน…….....	30
3.3	Simplified LLDPE PROCESS……	31
3.4	Overview Process of LLDPE……..	32
3.5	ความสัมพันธ์แบบอนุกรมเวลาของการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ใช้…….. เทียบกับผลผลิต	34
3.6	ความสัมพันธ์แบบกระจายตัวของการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ใช้……. เทียบกับผลผลิต	34
3.7	ความสัมพันธ์แบบอนุกรมเวลาของการเปลี่ยนแปลงค่า SEC…….	36
3.8	ความสัมพันธ์แบบกระจายตัวของการเปลี่ยนแปลงค่า SEC……	37
3.9	โครงสร้างองค์กรบำรุงรักษาไฟฟ้าของโรงงาน……...	38
3.10	SIMPLIFY SINGLE LINE DIAGRAM ระบบจ่ายไฟฟ้าของโรงงาน……	40
3.11	SINGLE LINE DIAGRAM ของระบบไฟฟ้าโรงงาน…….	41
3.12	โครงสร้างการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาของโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษา……	43
3.13	กิจกรรมต่างๆในงานบำรุงรักษา……..	45
3.14	ระบบบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าของโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษา……	47
3.15	กราฟเส้นและแผนภูมิแท่งพลังงานที่ใช้กับผลผลิต…….	58
3.16	กราฟเส้นของการเก็บข้อมูลตัวแปรที่ตรวจติดตาม……..	59
3.17	แผนผังก้างปลาแสดงการหาสาเหตุของปัญหาใช้เวลามากในการปฏิบัติงาน…….. บำรุงรักษา	61
3.18	แผนภาพการวิเคราะห์ ทำไม ทำไม สำหรับสาเหตุของปัญหา …… ด้านผู้ปฏิบัติงานบำรุงรักษา	63
3.19	แผนภาพการวิเคราะห์ ทำไม ทำไม สำหรับสาเหตุของปัญหา…… ด้านกระบวนการปฏิบัติงานบำรุงรักษา	64

รูปที่		หน้า
3.20	แผนภาพการวิเคราะห์ ทำไม ทำไม สำหรับสาเหตุของปัญหา…….. ด้านเครื่องจักร	65
3.21	แผนภาพการวิเคราะห์ ทำไม ทำไม สำหรับสาเหตุของปัญหา…….. ด้านอะไหล่วัสดุอุปกรณ์ในงานบำรุงรักษา	66
3.22	แผนภาพการวิเคราะห์ ทำไม ทำไม สำหรับสาเหตุของปัญหา…….. ด้านสิ่งแวดล้อมการปฏิบัติงานบำรุงรักษา	67
4.1	ขั้นตอนการทำงานงานบำรุงรักษาโดยรวมแบบเดิม……..	72
4.2	ขั้นตอนการทำงานบำรุงรักษาประเภท Preventive Maintenance แบบเดิม……..	73
4.3	ขั้นตอนการทำงานบำรุงรักษาประเภท Corrective Maintenance แบบเดิม……	74
4.4	ขั้นตอนดำเนินงานบำรุงรักษา สำหรับงานประเภท Preventive Maintenance ….. ที่ออกแบบปรับปรุงใหม่	75
4.5	ขั้นตอนดำเนินงานบำรุงรักษา สำหรับงานประเภท Corrective Maintenance ….. ที่ออกแบบปรับปรุงใหม่	76
4.6a	ขั้นตอนงานบำรุงรักษาประเภท Preventive Maintenance หมายเลข 1……..	79
4.6b	ขั้นตอนงานบำรุงรักษาประเภท Preventive Maintenance หมายเลข 2……..	80
4.6c	ขั้นตอนงานบำรุงรักษาประเภท Preventive Maintenance หมายเลข 3……..	81
4.6d	ขั้นตอนงานบำรุงรักษาประเภท Preventive Maintenance หมายเลข 4……..	82
4.7a	ขั้นตอนงานบำรุงรักษาประเภท Corrective Maintenance หมายเลข 1……..	83
4.7b	ขั้นตอนงานบำรุงรักษาประเภท Corrective Maintenance หมายเลข 2……..	84
4.7c	ขั้นตอนงานบำรุงรักษาประเภท Corrective Maintenance หมายเลข 3……..	85
4.7e	ขั้นตอนงานบำรุงรักษาประเภท Corrective Maintenance หมายเลข 4……..	86
4.7d	ขั้นตอนงานบำรุงรักษาประเภท Corrective Maintenance หมายเลข 5 ……. รวมถึงกรณีงาน บำรุงรักษาแบบฉุกเฉิน (Emergency Work)	87
4.8	แผนผังงานบำรุงรักษาตามชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า……..	92
4.9	กราฟเส้นและแผนภูมิแท่งพลังงานที่ใช้กับผลผลิต……..	105
4.10	กราฟเส้นของการเก็บข้อมูลตัวแปรที่ตรวจติดตามในงานวิจัยหลังการปรับปรุง..	106
4.11	กราฟเส้นตัวแปรด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานก่อนและหลังปรับปรุง……..	107

รูปที่		หน้า
4.12	กราฟเส้นตัวแปรด้านเวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษาก่อนและหลังปรับปรุง……	107
4.13	กราฟเส้นตัวแปรด้านค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาก่อนและหลังปรับปรุง……	108
4.14	กราฟเส้นตัวแปรด้าน Plant Reliability ก่อนและหลังปรับปรุง……..	108
4.15	ความสัมพันธ์แบบอนุกรมเวลาของการเปลี่ยนแปลงค่า SEC ก่อนและหลัง…….. ปรับปรุง	109
4.16	ความสัมพันธ์แบบกระจายตัว ของค่า SEC กับผลผลิตของปี 2553 จนถึง……. ปี 2554 ในช่วงเวลาหลังปรับปรุง	109
4.17	ความสัมพันธ์แบบกระจายตัว ของค่า SEC กับผลผลิต ของปี 2553……	110
5.1	Cooling Tower และปั๊มน้ำติดตั้งในโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษา……...	115
5.2	Flow rate และ Temperature CWR, CWS Record ปัจจุบัน……	116
5.3	ความสัมพันธ์อัตราการไหล ความแรงของน้ำ และพลังงานที่ใช้เทียบกับ…….. ความเร็วรอบ	118
5.4	Block Diagram ในช่วง Normal Operation (ใช้ Cooling Fan 2 Unit)……..	120
5.5	Block Diagram ในช่วง Shutdown เปลี่ยนเกรดการผลิต (ใช้ Cooling Fan 1 Unit)..	121
5.6	Temperature Trend ของระบบ Cooling Tower เมื่อทดลองหยุด……. Cooling Fan 1 Unit	122
5.7	Temperature Trend ของระบบ Cooling Tower ในรอบเวลาที่มีการ S/D…… เปลี่ยนเกรด	123
5.8	ผังการทำงาน (Flow Chart Diagram) การ Blending เม็ดพลาสติก……..	126
5.9	การตั้งหลักเกณฑ์การลด Blending Time……	128
5.10	Storage Tank Hexane ที่ใช้ในกระบวนการผลิต…….	131
5.11	หอกลั่นที่ใช้ในกระบวนการกลั่น Hexane ให้เป็น Pure Hexane ……	132
5.12	Block Diagram การทำ Crude Hexane เป็น Pure Hexane วิธีเก่า…… ตามวิธีการของ Licensor	132
5.13	Block Diagram การทำ Crude Hexane เป็น Pure Hexane วิธีใหม่……...	133
5.14	ปริมาณ Steam ที่ใช้เพิ่มขึ้นของ T-704 หลังเพิ่ม Feed ขึ้นไป 2 Tons……..	135
5.15	ผังการทำงานหม้อแปลงไฟฟ้า (SINGLE LINE DIAGRAM); สภาพปัจจุบัน……	141

รูปที่		หน้า
5.16	รูปถ่ายหม้อแปลงและ MAIN DISTRIBUTION BOARD; สภาพปัจจุบัน……	141
5.17	Main Distribution Board และเครื่องวัดทางไฟฟ้า (ตัวอย่างแสดงค่าที่เครื่องวัด)…	143
5.18	SINGLE LINE DIAGRAM หม้อแปลงไฟฟ้า สภาพหลังปรับปรุงตามมาตรการ...	143
5.19	MDB ด้านแรงดันต่ำสภาวะการใช้งานในการจ่ายโหลดหลังดำเนินมาตรการ……	144
5.20	ผังแสดงการควบคุมการปิด-เปิด ระบบแสงสว่างที่ห้องหม้อแปลงไฟฟ้า; ……. สภาพปัจจุบัน	148
5.21	ผังแสดงการควบคุมการปิด-เปิดระบบแสงสว่างที่ห้อง MCC; ……... สภาพปัจจุบัน (ก่อนปรับปรุง)	149
5.22	ระบบแสงสว่างห้อง MCC และห้องหม้อแปลงไฟฟ้าที่นำมาพิจารณา……	149
5.23	ผังการใช้งานวงจรแสงสว่างห้องเครื่องจักรหลังดำเนินการตามมาตรการ……...	150
5.24	ผังการใช้งานวงจรแสงสว่างห้อง MCC หลังดำเนินการตามมาตรการ……	151
5.25	รูปถ่ายระบบแสงสว่างห้องหม้อแปลงไฟฟ้า หลังปรับปรุง…….	151
5.26	สภาพการใช้งานแสงสว่างที่อาคาร PELLETIZER สภาพปัจจุบัน……..	157
5.27	ความสัมพันธ์แบบกระจายตัวการเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงานกับผลผลิต…..	167
5.28	ความสัมพันธ์แบบกระจายตัวของ SEC กับผลผลิต…….	167
6.1	ความสัมพันธ์ระหว่าง Production Maintenance และ Energy…….	173
6.2	สรุปขั้นตอนการปรับปรุงงานบำรุงรักษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน…..	175

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตนั้นมีวิธีการต่างๆในหลายๆวิธี ไม่ว่าจะเป็น การพัฒนาเทคโนโลยีในเรื่องการผลิต ตลอดจนการพัฒนาบุคลากรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ รวมไปถึงการจัดการเรื่องวัสดุ คุณภาพ ความปลอดภัย การจัดส่งและการลดต้นทุนในด้านต่างๆ ซึ่งในระยะหลังมานี้ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรมมีจำนวนสูงมากขึ้นทุกปี ทำให้หลายองค์กรเริ่มตระหนักเกี่ยวกับค่าใช้จ่ายด้านพลังงานในโรงงานของตน รวมทั้งค้นหาวิธีการต่าง ๆ ที่จะก่อให้เกิดการใช้พลังงานในรูปที่มีอยู่ให้ได้ประโยชน์สูงสุด โดยการพิจารณาด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานว่ามีความเหมาะสมคุ้มค่าหรือไม่ หลายองค์กรในอุตสาหกรรมการผลิตยังคงมุ่งเน้นไปที่การใช้ดัชนีตรวจติดตามค่าการใช้พลังงานต่อความสามารถเชิงปริมาณในการผลิตสินค้าอยู่ คือ การใช้ดัชนีอัตราส่วนของพลังงานที่ใช้ต่อผลผลิตหรือที่เรียกกันว่า ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption : SEC) การใช้ดัชนีนี้เพื่อวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานดังกล่าวนั้นถือเป็นการมองภาพรวมของการประกอบกิจการขององค์กรนั้นว่ามีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเป็นอย่างไร ในส่วนของระบบการจัดการบำรุงรักษาโดยปกติจะมีจุดประสงค์สำคัญคือการมุ่งเน้นเรื่องการบริหารสินทรัพย์ประเภทเครื่องจักร เพื่อให้เครื่องจักรมีความพร้อมในการใช้งานได้เสมอ อันจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ดังนั้นในองค์กรส่วนมากจะมุ่งไปที่การหาวิธีการที่ดีที่สุดในการจัดการระบบการจัดการบำรุงรักษาเพื่อสนับสนุนประสิทธิภาพการผลิตในด้านความพร้อมใช้งานเครื่องจักร เช่น การมีความพยายามที่จะจัดโครงสร้างองค์กรใหม่ เปลี่ยนแปลงโครงสร้างระบบสารสนเทศโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มาใช้จัดการระบบบำรุงรักษาที่เรียกว่า Computerized Maintenance Management System (CMMS) ตลอดจนได้มีการจัดทีมงานที่ทำหน้าที่ควบคุมระบบการจัดการบำรุงรักษา เป็นต้น แต่เมื่อมองมิติด้านพลังงาน เวลาในการบำรุงรักษาก็ถือว่าเป็นตัวแปรหนึ่งที่จะส่งผลกระทบให้การใช้พลังงานในการผลิตนั้นเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ในทางอ้อม การใช้เวลาในการบำรุงรักษาที่มากขึ้นจะหมายถึงการเพิ่มทรัพยากรผลิตในกระบวนการนั้นด้วย ซึ่งจะส่งผลให้เวลาในการเดินเครื่องจักรเพื่อผลิตน้อยลง ทำให้ผลิตผลน้อยลง หรือ หากมองในด้านค่าใช้จ่ายแล้วการใช้เวลาในการบำรุงรักษาทั้งตามแผน และไม่ตามแผนที่มากขึ้นจะทำให้ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษามากขึ้น และในที่สุดหมายถึงการเพิ่มทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตมากขึ้นนั่นเอง ผลที่ตามมาคือ ผลผลิตที่ลดลง และเมื่อพิจารณาค่า SEC จะพบว่าเมื่อผลผลิตที่น้อยลงในขณะที่มีการใช้พลังงานในการผลิตเท่าเดิมหรือมากกว่าเดิม ค่า SEC นี้จะมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งหมายถึง

ประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผลิตที่ต่ำลง เช่นเดียวกันเมื่อสามารถที่จะลดเวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษาลง ก็จะหมายถึงการใช้ทรัพยากรผลิตลดลงทำให้ผลิตผลเพิ่มขึ้น หรือ ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาลดลง รวมทั้งค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ผันแปรไปตามปริมาณการผลิตลดลง ซึ่งในที่สุด ค่า SEC นี้จะลดลงตามไปด้วยนั่นหมายถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผลิตที่ดีขึ้น นอกจากนี้แนวทางบำรุงที่เหมาะสมโดยลดเวลาปฏิบัติงานบำรุงรักษาลงจะนำสู่การค้นหาแนวทางปรับปรุงปัญหาหรือสภาพการณ์ในงานบำรุงรักษาที่ยังไม่เหมาะสมในบางลักษณะปัญหาสามารถที่จะใช้แนวทางปรับปรุงที่ให้ผลในมิติด้านการประหยัดพลังงานเครื่องจักรได้ด้วยนั่นหมายถึงการประหยัดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตนั่นเอง ดังนั้นการหาแนวทางบำรุงรักษาที่เหมาะสมโดยลดเวลาในการดำเนินกิจกรรมบำรุงรักษาลงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาแนวทางบำรุงรักษาที่เหมาะสมโดยลดเวลาในงานบำรุงรักษาและนำเสนอแนวทางประหยัดพลังงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตโดยการอ้างอิงจากค่าดัชนีพลังงานจำเพาะของโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีกรณีศึกษา

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) ศึกษาและวิเคราะห์โครงสร้างกิจกรรมในงานบำรุงรักษาไฟฟ้าของโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีกรณีศึกษา เพื่อใช้เป็นข้อมูลในงานวิจัย โดยการศึกษาและวิเคราะห์แนวคิดเกี่ยวกับการจัดการบำรุงรักษาจากวรรณกรรมและบทความต่างๆนำมาประกอบกับข้อมูลที่ศึกษาและวิเคราะห์ระบบจัดการบำรุงรักษาที่เป็นอยู่ในปัจจุบัน แล้วทำการสังเคราะห์เป็นข้อมูลด้านวิธีการบำรุงรักษา, เวลาในการบำรุงรักษา ในแผนงานบำรุงรักษา แล้วนำมาพิจารณาเป็นข้อมูลสำหรับการหาแนวทางปรับปรุงงานบำรุงรักษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต

2) นำผลจากข้อ 1 มาพิจารณาร่วมกับข้อมูลการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีกรณีศึกษา โดยสนใจในข้อมูลด้านพลังงานที่ใช้ในกระบวนการผลิตกับเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานบำรุงรักษา แล้ววิเคราะห์ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพพลังงานที่ใช้ กับกิจกรรมบำรุงรักษาในตัวแปรด้านเวลาที่ใช้ในการดำเนินงาน ซึ่งจะนำสู่การชี้บ่งปัญหาการใช้เวลาปฏิบัติงานบำรุงรักษาที่มากเกินไปโดยมีสมมติฐานว่าถ้าสามารถลดเวลาปฏิบัติงานบำรุงรักษาลงแล้วประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตจะดีขึ้น โดยการใช้ค่า SEC เป็นตัวแปรชี้วัด

3) วิเคราะห์สาเหตุและเสนอแนวทางปรับปรุงปัญหาการปฏิบัติงานบำรุงรักษาการดำเนินงานเพื่อลดเวลาดำเนินงานบำรุงรักษาลงในแต่ละกิจกรรมงานบำรุงรักษา

4) นำผลการปรับปรุงการดำเนินงานบำรุงรักษาที่ได้จากข้อ 3 มาทดลองใช้แล้วตรวจติดตามตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่า SEC จำนวนชั่วโมงทำงานในงานบำรุงรักษา, ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษาตามกิจกรรมงานบำรุงรักษา และค่าความน่าเชื่อถือในการเดินเครื่องของโรงงาน (Plant Reliability) เพื่อสรุปความสัมพันธ์ถึงการลดเวลาในงานบำรุงรักษาลงกับประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีกรณีศึกษา นำเสนอมาตรการประหยัดพลังงานจากปัญหาและสภาพการณ์ในงานบำรุงรักษาไฟฟ้าของโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตแล้วสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1) สำรวจ ทฤษฎี งานวิจัย และบทความ ที่เกี่ยวข้องกับ ค่า SEC การเพิ่มผลผลิต การบำรุงรักษา เทคนิคการวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าของปัญหาและหาปัจจัยต้นเหตุ รวมทั้งวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องกันในมิติด้าน ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การผลิตและการบำรุงรักษา

2) ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลพื้นฐานเบื้องต้น กระบวนการผลิต โครงสร้างการบริหารงานบำรุงรักษา เครื่องจักรอุปกรณ์และกิจกรรมการปฏิบัติงานบำรุงรักษาไฟฟ้า ข้อมูลด้านการใช้พลังงานของโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีกรณีศึกษา

3) จากข้อมูลที่ได้ในข้อ 2 สังเคราะห์เป็นข้อมูลด้าน วิธีการบำรุงรักษา เวลาในการบำรุงรักษา และเก็บรวบรวมข้อมูลตัวแปรต่างๆที่สนใจติดตามผล ได้แก่ ค่า SEC จำนวนชั่วโมงทำงานในงานบำรุงรักษา (Man Hour), ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษาตามกิจกรรมงานบำรุงรักษา และค่าความน่าเชื่อถือในการเดินเครื่องของโรงงาน (Plant Reliability) เพื่อเป็นข้อมูล เปรียบเทียบกับหลังดำเนินการปรับปรุง

4) ค้นหาสาเหตุของปัญหาและหาแนวทางปรับปรุงงานบำรุงรักษาเพื่อลดเวลาการปฏิบัติงานโดยแต่งตั้งคณะทำงานระดมสมองวิเคราะห์ค้นหาสาเหตุและจัดทำขั้นตอนวิธีการปรับปรุง

5) ดำเนินการทดลองใช้แผนงานที่ปรับปรุงกับโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีกรณีศึกษา

6) วัดผลการดำเนินการทดลองโดยเก็บข้อมูลตัวแปรต่างๆที่ต้องการตรวจติดตามผลหลังการปรับปรุง ได้แก่ ค่า SEC จำนวนชั่วโมงทำงานในงานบำรุงรักษา (Man Hour) ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษาตามกิจกรรมงานบำรุงรักษา และค่าความน่าเชื่อถือในการเดินเครื่องของโรงงาน (Plant Reliability)

7) เปรียบเทียบตัวแปรที่ตรวจติดตามก่อนการปรับปรุงกับหลังการปรับปรุง

8) วิเคราะห์ปัญหาและสภาพการณ์ในงานบำรุงรักษาไฟฟ้าที่ไม่เหมาะสมของโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษาและนำเสนอมาตรการประหยัดพลังงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการ

9) สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ใช้เป็นแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในงานบำรุงรักษาโดยพิจารณากิจกรรมการดำเนินงานกับประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต ซึ่งจะเป็นแนวทางในการปรับปรุงและพัฒนาด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่อไป

2) สามารถประยุกต์ใช้กับงานบำรุงรักษาในโรงงานประเภทอื่นๆได้

3) ใช้เป็นแนวทางในการทำวิจัยต่อเนื่องไปยังการหาแนวทางที่เหมาะสมในการดำเนินงานประเภทอื่นๆเพื่อพิจารณาเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้ เช่น กระบวนการควบคุมการผลิต เป็นต้น

บทที่ 2

หลักการพื้นฐานและการสำรวจวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการจัดทำงานวิจัย ผู้ทำวิจัยได้ทำการศึกษาแนวคิดและทฤษฎี บทความ งานวิจัย และเอกสารที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้อง เพื่อนำมาเป็นแนวทางในการดำเนินการตามขอบเขตของงานวิจัย โดยผู้ทำวิจัยได้สรุปเนื้อหาโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่ใช้ในงานวิจัย

1) แนวคิดและทฤษฎีค่าการใช้พลังงานจำเพาะ

ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption : SEC) คือ ดัชนีอัตราส่วนของพลังงานที่ใช้ต่อผลผลิต เป็นดัชนีติดตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต ซึ่งค่า SEC เป็นตัวชี้วัดประสิทธิภาพพลังงานในระดับรายผลผลิตโดยวัดปริมาณพลังงานที่ใช้เทียบกับหน่วยนับของผลผลิตทางกายภาพ เช่นต่อตัน ต่อตารางเมตร ต่อลิตร ฯลฯ ถือว่า SEC เป็นการวัดประสิทธิภาพพลังงานในระดับมูลฐานที่สุด ในระดับโรงงานหรือกลุ่มโรงงานที่มีผลผลิตเหมือนกัน โดยปกติจะเป็นดัชนีแสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของสถานประกอบการ เพื่อใช้ในการตรวจสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของตนเองตามช่วงเวลา หรือเพื่อประมาณการความต้องการใช้พลังงานในภาพรวมในกระบวนการผลิตของตนเอง แสดงความสัมพันธ์ด้วยสมการ (2-1) ดังนี้

$$SEC = \frac{\text{พลังงานที่ใช้ (ไฟฟ้าหรือเชื้อเพลิง)}}{\text{ปริมาณผลผลิตหรือตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงาน}} \qquad (2\text{-}1)$$

2) แนวคิดและทฤษฎีการเพิ่มผลผลิต

ในการลดต้นทุนการผลิตในด้านต่างๆเพื่อทำให้สินค้าและบริการมีต้นทุนต่ำ มีคุณภาพดีส่งมอบสินค้าได้ทันตามที่กำหนด ลดโอกาสเสี่ยงภัยจากอุบัติเหตุในสถานประกอบการให้ต่ำลงและไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้การเพิ่มผลผลิตจะเกี่ยวเนื่องสัมพันธ์กับการหาวิธีในการลดค่าใช้จ่าย เนื่องจากผลผลิตคือ อัตราส่วนระหว่างผลิตผล (Output) ที่ได้จากอุตสาหกรรมนั้นๆกับทรัพยากร (Input) ที่ใช้ในกระบวนการผลิต แสดงความสัมพันธ์ด้วยสมการ (2-2) ดังนี้

$$\text{ผลผลิต (Productivity)} = \frac{\text{ผลิตผล (Output)}}{\text{ทรัพยากรผลิต (Input)}} \qquad (2\text{-}2)$$

3) แนวคิดและทฤษฎีการผลิตแบบลีน

ระบบการผลิตแบบลีน (Lean Manufacturing System) เป็นระบบการผลิตที่ได้รับการยอมรับทั่วโลกว่าเป็นระบบการผลิตที่ดีที่สุดในขณะนี้ เป็นระบบที่ทำให้เกิดมาตรฐานการผลิตที่มีประสิทธิภาพสูง โดยมุ่งเน้นในการขจัดความสูญเปล่าในงานต่าง ๆ ซึ่งใช้แนวคิดในเรื่องคุณค่าของงานที่กระทำโดยผลที่คาดหวังก็คือ การมีต้นทุนที่ต่ำ เพิ่มผลผลิต และทำให้ลูกค้าพึงพอใจทั้งในแง่ของคุณภาพ ราคา และการจัดส่งที่ตรงกับความต้องการของลูกค้ามากที่สุด

การผลิตแบบลีน คือ วิธีการที่มีระบบแบบแผนในการระบุและกำจัดความสูญเสีย หรือสิ่งที่ไม่เพิ่มคุณค่าภายในกระแสคุณค่าของกระบวนการ โดยอาศัยการดำเนินตามจังหวะความต้องการของลูกค้าด้วยระบบดึง ทำให้เกิดสภาพการไหลอย่างต่อเนื่อง ราบเรียบ และทำการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องเพื่อสร้างคุณค่าให้แก่ระบบอยู่เสมอ โดยแบ่งเป็นขั้นตอนหลักได้ 5 ขั้นตอน

1) ระบุคุณค่า (Value) ของสินค้าและบริการในมุมมองของลูกค้าไม่ว่าจะเป็นลูกค้าภายในและลูกค้าภายนอก

2) สร้างกระแสคุณค่า (Value Stream) ในทุกๆ ขั้นตอนการดำเนินงาน เริ่มตั้งแต่การออกแบบ การวางแผน และการผลิตสินค้า การจัดจำหน่ายฯลฯเพื่อพิจารณาว่ากิจกรรมใดที่ไม่เพิ่มคุณค่าและเป็นความสูญเปล่า

3) ทำให้กิจกรรมต่างๆ ที่มีคุณค่าเพิ่มดำเนินไปได้อย่างต่อเนื่อง (Flow) โดยปราศจากการติดขัด การอ้อม การย้อนกลับ การคอย หรือการเกิดของเสีย

4) ใช้ระบบดึง (Pull) โดยให้ความสำคัญเฉพาะสิ่งที่ลูกค้าต้องการเท่านั้น โดยระบบดึงหมายถึง ระบบที่กระบวนการถัดไปเป็นผู้ดึงชิ้นงานจากกระบวนการก่อนหน้าเมื่อมีความต้องการจากนั้นกระบวนการก่อนหน้าจะผลิตชิ้นงานชดเชยเท่ากับปริมาณชิ้นงานที่ถูกดึง

5) สร้างคุณค่า และกำจัดความสูญเปล่า (Perfection) โดยค้นหาส่วนเกินที่ถูกซ่อนไว้ซึ่งเป็นความสูญเปล่าและกำจัดออกไปอย่างต่อเนื่อง

4) แนวคิดและทฤษฎีวิศวกรรมคุณค่า

วิศวกรรมคุณค่า (Value Engineering - VE) เป็นการศึกษาคุณค่าของ ผลิตภัณฑ์ ขั้นตอนการทำงาน สินค้า เครื่องมือ หรือ บริการอย่างเป็นขั้นตอน เพื่อพัฒนาให้สิ่งที่ถูกนำมาศึกษานั้นมีคุณค่ามากขึ้น โดยยังคงมีคุณค่าพื้นฐานของตัวมันเอง วิศวกรรมคุณค่านั้นถูกกล่าวถึงควบคู่ไปกับการบริหารโครงการ เป้าหมายของวิศวกรรมคุณค่า จะเน้นที่การพัฒนาคุณค่าของสิ่งที่นำมาศึกษา เช่น เพิ่มคุณภาพ สมรรถภาพ ความปลอดภัย ลดค่าใช้จ่ายทั้งทางตรงและค่าใช้จ่ายตลอดวงจรชีวิต ตัวอย่างของวิศวกรรมคุณค่าเช่น การเปลี่ยนเครื่องปรับอากาศจากรุ่นเก่าที่ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงไปเป็นเครื่องปรับอากาศที่ราคาเครื่องสูงกว่าแต่ใช้พลังงานไฟฟ้าต่ำกว่า ซึ่งเมื่อทำการคำนวณคุณค่าในระยะยาวตลอดวงจรชีวิตของเครื่องปรับอากาศ ราคาที่ต้องเสียไปจะมีค่ารวมน้อยกว่า หรือตัวอย่างการก่อสร้างถนนโดยการเปลี่ยนขั้นตอนการสร้างถนนเป็นรูปแบบใหม่แม้ว่าค่าใช้จ่ายจะสูงขึ้น แต่คุณค่าด้านความปลอดภัยสูงขึ้น และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาลดลง ซึ่งทำให้คุณค่าโดยรวมสูงกว่า

5) แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการบำรุงรักษา

การบำรุงรักษา (MAINTENANCE) เป็นการสงวนหรือรักษา เครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการผลิตให้เป็นไปตามคุณลักษณะเงื่อนไขการทำงาน ซึ่งการบำรุงรักษานี้สามารถคลอบคลุมไปถึงกิจกรรมหรืองานที่มีความสัมพันธ์กับการสงวนรักษาเครื่องจักรอุปกรณ์หรือเป็นการซ่อมเครื่องจักรอุปกรณ์ต่างๆให้อยู่ในสภาพปกติ โดยกิจกรรมการบำรุงรักษานี้จำเป็นต้องใช้อะไหล่สำรอง (Spare parts) กำลังคน (Manpower) เครื่องมือ (Tools) และสิ่งอำนวยความสะดวก (Facility) ซึ่งความพร้อมและการใช้งานทรัพยากรเหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญ นอกจากนี้ยังมีการกำหนดงานหรือกิจกรรมรวมไปถึงการทำความสะอาด การหล่อลื่น การเฝ้าติดตาม การวางแผนและจัดลำดับงาน โดยสรุปแล้ววัตถุประสงค์หลักของงานบำรุงรักษาคือ

1) ต้องการควบคุมความสามารถในการจัดหาเครื่องจักรอุปกรณ์โดยให้มีต้นทุนต่ำที่สุด

2) ต้องการขยายอายุใช้งานเครื่องจักรอุปกรณ์

จากความหมายของการบำรุงรักษาดังกล่าวจะเห็นว่าการบำรุงรักษามีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการผลิต และเมื่อทำการศึกษาในรายละเอียดของกิจกรรมการบำรุงรักษาและการผลิตพบว่า วัตถุประสงค์ของการผลิตคือ ทำการผลิตให้ได้มาซึ่งผลผลิต (Productivity) ที่ต้องการด้วยคุณภาพ (Quality)ที่ได้มาตรฐาน ต้นทุน (Cost) ต่ำ การส่งมอบต้องเป็นไปตามกำหนดการและแผนงานที่วางไว้ การผลิตต้องอยู่ในระดับที่สร้างความมั่นใจด้านความปลอดภัย (Safety) ให้แก่พนักงานและทำให้พนักงานมีขวัญและกำลังใจ (Morale) ที่ดี ซึ่งในการผลิตต้องใช้ทรัพยากรในการผลิต และเครื่องจักรอุปกรณ์ก็เป็นส่วนหนึ่งของทรัพยากรการผลิต ส่วนการได้มาซึ่งความพร้อมใน

การใช้งานของเครื่องจักรอุปกรณ์ก็เป็นวัตถุประสงค์หลักของการบำรุงรักษา หรืออาจกล่าวได้ว่า วัตถุประสงค์หลักของการบำรุงรักษา คือ ต้องการควบคุมความสามารถในการจัดหาเครื่องจักรอุปกรณ์ให้มีต้นทุนต่ำที่สุดและต้องขยายอายุการใช้งานของเครื่องจักรอุปกรณ์

การลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาโดยการปรับลดเวลาดำเนินกิจกรรมงานบำรุงรักษาลงจะช่วยลดค่าใช้จ่ายได้ส่วนหนึ่ง หรือ กล่าวได้ว่า การลดต้นทุนค่าใช้จ่ายของงานบำรุงรักษาให้ต่ำลงอันจะช่วยลดทรัพยากรและเพิ่มผลผลิตนั้น วิธีหนึ่งที่ทำได้คือการลดจำนวนชั่วโมง-แรงงานของการทำงาน แสดงความสัมพันธ์ด้วยสมการ (2-3) ดังนี้

$$\text{ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่อชั่วโมง} = \frac{\text{ผลรวมของค่าใช้จ่ายของงานบำรุงรักษา}}{\text{จำนวนชั่วโมงแรงงานของการทำงาน}} \qquad (2\text{-}3)$$

การลดจำนวนชั่วโมง-แรงงานของการทำงานบำรุงรักษาลง จะทำให้ผลรวมของค่าใช้จ่ายของงานบำรุงรักษาลดลงไป หรือ กล่าวได้ว่าค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่อหน่วยผลิตจะลดลงเมื่อผลผลิตเท่าเดิมหรือเพิ่มขึ้น แสดงความสัมพันธ์ด้วยสมการ (2-4) ดังนี้

$$\text{ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่อหน่วยผลิต} = \frac{\text{ผลรวมของค่าใช้จ่ายของงานบำรุงรักษา}}{\text{จำนวนหน่วยผลิตผลที่ผลิตได้}} \qquad (2\text{-}4)$$

6) แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับหลักการและประเภทการบำรุงรักษา

a) การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) เป็นการบำรุงรักษาเพื่อป้องกันการหยุดผลิตของเครื่องจักรเนื่องจากเหตุฉุกเฉิน ซึ่งการที่ต้องหยุดการผลิตไม่ว่าด้วยสาเหตุใดๆก็ตามถือเป็นความเสียหายต่อหน่วยผลิตอย่างมาก เพราะนอกจากจะไม่สามารถใช้เครื่องจักรผลิตได้แล้ว ยังต้องเสียค่าอะไหล่ ค่าแรงในการซ่อม ค่าแรงของพนักงานของฝ่ายผลิตที่ไม่ได้ทำงาน โอกาสในการขายสินค้า ค่าทำงานล่วงเวลา ซึ่งในที่สุดแล้วความสูญเสียต่างๆเหล่านี้จะกลายมาเป็นสิ่งที่ทำให้ต้นทุนสูงขึ้น ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเกิดขึ้น เพื่อการป้องกันการหยุดผลิตของเครื่องจักรเนื่องจากเหตุฉุกเฉินต่างๆ โดยการบำรุงรักษาเชิงป้องกันมุ่งเน้นในการระบุต้นตอของปัญหาและทำการแก้ไขก่อนที่จะเกิดการเสียหายจนสู่การหยุดกระบวนการผลิต

ความสัมฤทธิ์ผลของการดำเนินการบำรุงรักษาเชิงป้องกันขึ้นกับความถี่ของกิจกรรมการตรวจสอบและการดำเนินการแก้ไข (Corrective Action) ซึ่งความถี่ของการขัดข้องจึง

เกี่ยวข้องกับความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์และ การถอดแบ่งชิ้นส่วน โดยกิจกรรมดังกล่าวจะมีการดำเนินการตามแผนที่กำหนดเอาไว้ เช่น การบำรุงรักษาเครื่องยนต์ในเครื่องบินโดยสารที่ถูกตรวจเช็คทำความสะอาด และสอบเทียบ เป็นประจำตามกำหนดการในแผนเพื่อลดปัญหาขัดข้องที่อาจเกิดขึ้นขณะทำการบิน โดยปกติกิจกรรมที่สำคัญของการบำรุงรักษาเชิงป้องกันมีดังต่อไปนี้

1) การดูแลทำความสะอาดเครื่องจักร และสิ่งอำนวยความสะดวก โดยสาเหตุหนึ่งของปัญหาเครื่องจักร ก็คือ ความสกปรก ดังนั้นกิจกรรมพื้นฐานอย่าง 5ส อาจสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ รวมทั้งการมอบหมายให้บุคลากรในกระบวนการผลิตอย่างเช่นพนักงานเดินเครื่อง เป็นผู้ดูแลและทำความสะอาดเครื่องจักรประจำวัน จะทำให้ง่ายต่อการค้นพบข้อบกพร่อง

2) การรักษาเงื่อนไขการเดินเครื่องให้อยู่ในสภาวะที่ปกติ เนื่องจากเครื่องจักรทุกชนิดได้รับการออกแบบให้สามารถทำงานภายใต้ข้อกำหนด (Specification) โดยมีข้อแนะนำที่ระบุในคู่มือปฏิบัติการ ซึ่งสภาพการใช้งานเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการเร่งการเสื่อมสภาพและการขัดข้องของเครื่องจักร โดยมีปัจจัยที่สำคัญ เช่น ความเร็ว อุณหภูมิ ความดันเป็นต้น ซึ่งกิจกรรมการบำรุงรักษาเชิงป้องกันจะมุ่งรักษาสภาวะการใช้งานไม่ให้เกินจากข้อกำหนด เพื่อเป็นการรักษาสภาพเครื่องจักรไม่ให้เสื่อมสภาพก่อนกำหนดและลังยืดอายุการใช้งาน

3) การตรวจสอบตามรอบเวลา เพียงแค่กิจกรรมการทำความสะอาดเครื่องคงไม่พอ ดังนั้นการตรวจติดตามการปฏิบัติการ (Operation Monitoring) จึงเป็นการตรวจจับอาการที่เป็นสัญญาณเตือน ซึ่งผู้ปฏิบัติการจะดำเนินการตรวจเช็คทั้งภายนอกและภายใน โดยที่การตรวจสอบภายนอกกระทำโดยการสังเกตและการใช้ความรู้สึกในการตรวจจับความผิดปกติ เช่นการสั่นสะเทือน ความร้อนที่สูงขึ้น เสียง เป็นต้น ส่วนการตรวจสอบภายในสามารถดำเนินการโดยตรวจสอบชิ้นส่วนภายใน (Internal part) เช่น เกียร์ ลูกปืน พิกัดเผื่อของชิ้นส่วน เมื่อเกิดอาการขึ้นก็ดำเนินการแก้ไขเบื้องต้นโดยผู้ปฏิบัติงาน เช่นการขันตัวยึดให้แน่น การเติมน้ำมัน หรือการเปลี่ยนชิ้นส่วน ถ้าหากไม่มีการตรวจจับอาการหรือปัญหาเบื้องต้น ก็อาจเกิดปัญหาลุกลามจนก่อให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นความถี่ของการตรวจสอบควรจะกำหนดและพิจารณาอย่างรอบคอบ ถ้าทำการตรวจสอบบ่อยครั้งก็อาจทำให้เกิดความสูญเปล่าของเวลาเดินเครื่องและผลิตภาพทางแรงงาน ซึ่งการกำหนดระยะเวลาและความถี่ในการตรวจสอบอาจใช้ประสบการณ์และกำหนดการที่จำเป็นตามประเภทเครื่องจักร ดังนี้

a) เครื่องจักรที่มีความสำคัญสูง หากมีการหยุดเดินเครื่องก็จะส่งผลกระทบต่อสายงานการผลิตและใช้เวลาในการซ่อมแซมมาก จึงต้องทำกำหนดการสำหรับการตรวจสอบ การทำความสะอาด การหล่อลื่นอย่างเข้มงวด เพื่อป้องกันความผิดพลาด

b) เครื่องจักรโดยทั่วไป จะมีความถี่ในการตรวจสอบน้อย เนื่องจากเครื่องจักรดังกล่าวไม่กระทบต่อสายการผลิตมากนัก

4) การบันทึกและการจัดเก็บข้อมูล เป็นกิจกรรมที่มีจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำเนินกิจกรรมงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน โดยเฉพาะการจัดเก็บประวัติการบำรุงรักษา จัดได้ว่าเป็นแหล่งข้อมูลสำคัญที่จะสนับสนุนต่อการวางแผนและการจัดทำแผนบำรุงรักษา

5) การวางแผนเพื่อกำหนดตารางการบำรุงรักษา สำหรับในทุกกิจกรรมของ PM ควรมีการวางแผนล่วงหน้าในรายละเอียดโดยใช้ข้อมูลจากประวัติการบำรุงรักษาที่ถูกบันทึก ดังนั้นการจัดทำแผนงานจะต้องทำอย่างรอบคอบ โดยมีการระบุรายละเอียดในแต่ละกิจกรรมอย่างชัดเจน

6) การฝึกอบรมบุคลากร ที่เป็นปัจจัยแห่งความสำเร็จในการดำเนินกิจกรรมบำรุงรักษา โดยเฉพาะบุคลากรที่เป็นทรัพยากรที่สำคัญ เช่น ช่างเทคนิคและผู้ควบคุมงานควรได้รับการฝึกอบรม ให้สามารถดำเนินกิจกรรมต่างๆได้อย่างเป็นระบบ เช่น การบำรุงรักษา การตรวจติดตามและการซ่อมแซม

b) การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุง

การบำรุงรักษาเชิงแก้ไขปรับปรุง (Corrective Maintenance) เป็นการดัดแปลงปรับปรุงแก้ไข เครื่องจักรหรืออุปกรณ์การผลิตให้มีสมรรถภาพในการผลิตสูงขึ้น หรือขจัดอาการขัดข้องที่เกิดขึ้นเป็นประจำให้หมดสิ้นไป การซ่อมบำรุงแบบนี้เกิดขึ้นเมื่อประสิทธิภาพการผลิตด้อยลงทั้งคุณภาพและปริมาณ

c) การบำรุงรักษาเมื่อเกิดขัดข้อง

งานบำรุงรักษาเมื่อเกิดเหตุขัดข้อง (Breakdown Maintenance) เป็นการซ่อมบำรุงที่จะต้องกระทำเมื่อเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ไม่สามารถใช้งานได้ตามปกติได้ ถ้ายังไม่มีเหตุขัดข้องเกิดขึ้นการซ่อมบำรุงแบบนี้ก็จะไม่เกิดขึ้น ซึ่งจะเหมาะสำหรับการบำรุงรักษาเครื่องจักรที่มีความเป็นเอกเทศ ไม่มีความสำคัญต่อความปลอดภัยหรือเป็นเครื่องจักรที่มีชุดสำรอง หรือมีลักษณะที่สามารถทำการซ่อมบำรุงได้โดยใช้เวลาอันสั้น

d) การบำรุงรักษาแบบลีน

การบำรุงรักษาแบบลีน (Lean Maintenance) เป็นการประสานแนวคิดการผลิตแบบลีนร่วมกับกิจกรรมทางบำรุงรักษา สำหรับความสูญเปล่าในระบบบำรุงรักษาแบบลีนมักเกิดจากสาเหตุ ดังเช่นวิธีการทำงานไม่เหมาะสม การจัดเก็บสต๊อกอะไหล่มากเกินความจำเป็น อัตราการใช้เครื่องจักรต่ำ การขนถ่ายและความสูญเปล่าทางแรงงาน เป็นต้นดังนั้นจากแนวคิดความสูญเสียแบบลีนนี้สามารถจำแนกได้ 7 ข้อในงานบำรุงรักษา

1) การผลิตที่มากเกินไป สำหรับความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันหรือการคาดการณ์มากเกิน ความจำเป็น ซึ่งส่งผลต่อความสูญเสียเวลาและแรงงาน

2) การรอคอย เช่นการซ่อมเครื่องจักร การรอปรับเครื่อง การหาเครื่องมือ เป็นต้น

3) การขนส่ง ปัญหาที่พบเสมอเช่นการเดินหาเครื่องมือเมื่อต้องการใช้งาน เป็นต้น

4) ความสูญเสียทางกระบวนการ โดยเฉพาะการบำรุงรักษาหลังเกิดเหตุขัดข้องที่มุ่งการซ่อมเครื่องจักรให้ใช้งานได้ภายในระยะเวลาอันสั้นที่สุด และอาจละเลยต่อคุณภาพงานแก้ไขซึ่งจะส่งผลในระยะยาว

5) การจัดเก็บสินค้าคงคลัง ซึ่งในกรณีที่มีการจัดพวกอะไหล่ วัสดุอุปกรณ์มากเกินจำเป็นจะส่งผลให้เกิดความสูญเปล่าด้านพื้นที่ในการจัดเก็บ ค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา เป็นต้น

6) ความสูญเสียจากการเคลื่อนไหว การดำเนินกิจกรรม PM ที่ระบุความถี่ในการตรวจสอบมากเกินความจำเป็น ทำให้เกิดความสูญเปล่าในการปฏิบัติงานที่ไม่จำเป็น

7) ของเสีย ได้แก่งานในลักษณะที่ต้องซ่อมแซมซ้ำๆๆ โดยมีสาเหตุหลักเนื่องจากการดำเนินการซ่อมที่ไม่เหมาะสม ดังนั้นก่อนดำเนินการแก้ไขหรือซ่อมแซมควรมีการวิเคราะห์หาสาเหตุหลักและเสนอรายละเอียดวิธีการแก้ปัญหาเพื่อให้การดำเนินการซ่อมแก้ไขเป็นไปอย่างมีประสิทธิผล

แนวทางดำเนินงานตามขั้นตอน Lean Maintenance ได้แก่

1) จัดเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์งานบำรุงรักษาอย่างเป็นระเบียบ

2) ใช้หลักการควบคุมด้วยสายตา

3) จัดเก็บมาตรฐานเครื่องจักรในรูปเอกสารหรือฐานข้อมูล

4) จัดทำ Standard Operation Procedure เพื่อใช้ในการปฏิบัติงาน

5) ใช้เทคนิคและเครื่องมือสำหรับวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา เพื่อใช้เป็นตัวกำหนดแนวทางแก้ไขปัญหา และป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาเดิมขึ้นอีก

7) แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการวิเคราะห์รากเหง้าปัญหา (Root Cause)

a) แผนผังก้างปลา

แผนผังก้างปลาเรียกเป็นทางการว่า แผนผังสาเหตุและผล (Cause and Effect Diagram) ซึ่งแผนผังสาเหตุและผลเป็นแผนผังที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัญหา (Problem) กับสาเหตุทั้งหมดที่เป็นไปได้ที่อาจก่อให้เกิดปัญหานั้น (Possible Cause) เราอาจคุ้นเคยกับแผนผังสาเหตุและผล ในชื่อของ "ผังก้างปลา (Fish Bone Diagram)" เนื่องจากหน้าตาแผนภูมิมีลักษณะคล้ายปลาที่เหลือแต่ก้าง หรือหลายๆ คนอาจรู้ จักในชื่อของแผนผังอิชิกาว่า (Ishikawa Diagram) ซึ่งได้รับการพัฒนาครั้งแรกเมื่อปี ค.ศ. 1943 โดย ศาสตราจารย์คาโอรุ อิชิกาว่า แห่งมหาวิทยาลัยโตเกียว

จุดประสงค์ที่จะใช้แผนผังก้างปลา คือ

1) เมื่อต้องการค้นหาสาเหตุแห่งปัญหา

2) เมื่อต้องการทำการศึกษา ทำความเข้าใจ หรือทำความรู้จักกับกระบวนการอื่น ๆ เพราะว่าโดยส่วนใหญ่พนักงานจะรู้ปัญหาเฉพาะในพื้นที่ของตนเท่านั้น แต่เมื่อมีการทำผังก้างปลาแล้ว จะทำให้เราสามารถรู้กระบวนการของแผนกอื่นได้ง่ายขึ้น

3) เมื่อต้องการให้เป็นแนวทางใน การระดมสมอง ซึ่งจะช่วยให้ทุกๆ คนให้ความสนใจในปัญหาของกลุ่มซึ่งแสดงไว้ที่หัวปลา

วิธีการสร้างแผนผังสาเหตุและผลหรือผังก้างปลาสิ่งสำคัญในการสร้างแผนผัง คือ ต้องทำเป็นทีม เป็นกลุ่ม โดยใช้ขั้นตอน 6 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) กำหนดประโยคปัญหาที่หัวปลา

2) กำหนดกลุ่มปัจจัยที่จะทำให้เกิดปัญหานั้นๆ

3) ระดมสมองเพื่อหาสาเหตุในแต่ละปัจจัย

4) หาสาเหตุหลักของปัญหา

5) จัดลำดับความสำคัญของสาเหตุ

6) ใช้แนวทางการปรับปรุงที่จำเป็น

การกำหนดปัจจัยบนก้างปลาสามารถที่จะกำหนดกลุ่มปัจจัยอะไรก็ได้ แต่ต้องมั่นใจว่ากลุ่มที่เรากำหนดไว้เป็นปัจจัยนั้นสามารถที่จะช่วยให้เราแยกแยะและกำหนดสาเหตุต่างๆได้อย่างเป็นระบบ และเป็นเหตุเป็นผลโดยส่วนมากมักจะใช้หลักการ 4M1E เป็นกลุ่มปัจจัย (Factors) เพื่อจะนำไปสู่การแยกแยะสาเหตุต่างๆ ซึ่ง 4M1E นี้มาจาก

1) M - Man คนงาน หรือพนักงาน หรือบุคลากร

2) M - Machine เครื่องจักรหรืออุปกรณ์อำนวยความสะดวก

3) M - Material วัตถุดิบหรืออะไหล่ อุปกรณ์อื่นๆ ที่ใช้ในกระบวนการ

4) M - Method กระบวนการทำงาน

5) E - Environment อากาศ สถานที่ ความสว่าง และบรรยากาศการทำงาน

ผังก้างปลาประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

1) ส่วนปัญหาหรือผลลัพธ์ (Problem or Effect) ซึ่งจะแสดงอยู่ที่หัวปลา

2) ส่วนสาเหตุ (Causes) จะสามารถแยกย่อยออกได้อีกเป็น

a) ปัจจัย (Factors) ที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา (หัวปลา)

b) สาเหตุหลัก จะเขียนไว้ในก้างปลา

c) สาเหตุย่อย จะเขียนไว้ในก้างย่อย

หลักการเบื้องต้นของแผนภูมิก้างปลา (Fish Bone Diagram) คือการใส่ชื่อของปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์ ลงทางด้านขวาสุดหรือซ้ายสุดของแผนภูมิ โดยมีเส้นหลักตามแนวยาวของกระดูกสันหลัง จากนั้นใส่ชื่อของปัญหาย่อย ซึ่งเป็นสาเหตุของปัญหาหลักหัวข้อ โดยลากเป็นเส้นก้างปลา (sub-bone) ทำมุมเฉียงจากเส้นหลัก เส้นก้างปลาแต่ละเส้นให้ใส่ชื่อของสิ่งที่ทำให้เกิดปัญหานั้นขึ้นมา ระดับของปัญหาสามารถแบ่งย่อยลงไปได้อีก ถ้าปัญหานั้นยังมีสาเหตุที่เป็นองค์ประกอบย่อยลงไปอีก โดยทั่วไปมักจะมีการแบ่งระดับของสาเหตุย่อยลงไปมากที่สุด 4 – 5 ระดับ เมื่อมีข้อมูลในแผนภูมิที่สมบูรณ์แล้ว จะทำให้มองเห็นภาพขององค์ประกอบทั้งหมด ที่จะเป็นสาเหตุของปัญหาที่เกิดขึ้น

b) การวิเคราะห์ ทำไม-ทำไม (Why-Why Analysis)

เป็นเทคนิคการวิเคราะห์หาปัจจัยที่เป็นต้นเหตุให้เกิดปรากฏการณ์อย่างเป็นระบบ มีขั้นตอนไม่เกิดการตกหล่น ซึ่งไม่ใช่ความคิดแบบคาดเดาหรือนั่งเทียน สำหรับข้อบกพร่องหนึ่งๆอาจมีสาเหตุได้หลายประการด้วยกัน และไม่จำเป็นต้องเกิดขึ้นพร้อมๆกันและสาเหตุของข้อบกพร่องจะอยู่ในลักษณะตามลำดับขั้น จึงมีความจำเป็นต้องทำการวิเคราะห์ตั้งแต่สาเหตุเบื้องต้น สาเหตุระดับรอง เรื่อยๆไปจนถึงสาเหตุรากเหง้า (Root cause) โดยอาจนิยามสาเหตุรากเหง้าได้ว่า เป็นสาเหตุของลักษณะข้อบกพร่องเมื่อทำการแก้ไขหรือควบคุมแล้วจะทำให้ลักษณะข้อบกพร่องดังกล่าวไม่สามารถเกิดขึ้นซ้ำอีก ในการวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าของลักษณะข้อบกพร่อง สามารถดำเนินการได้โดย การวิเคราะห์ ทำไม-ทำไม (Why-Why Analysis) ซึ่งแบ่งได้เป็น

1) การวิเคราะห์ผ่านแนวความคิดของกระบวนการ เป็นการวิเคราะห์สาเหตุรากเหง้าของลักษณะข้อบกพร่อง โดยการวิเคราะห์จากแนวความคิดในการทำงานของกระบวนการ ซึ่งในกรณีนี้มีความจำเป็นที่ผู้วิเคราะห์ต้องมีความรู้ด้านเทคนิคเฉพาะด้านค่อนข้างดีโดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความรู้ทางวิทยาศาสตร์พื้นฐาน (Pure Science) และวิธีคิดเชิงตรรกะ (Logical Thinking) โดยการวิเคราะห์จะต้องเริ่มต้นจากการทำความเข้าใจอย่างถ่องแท้ถึงโครงสร้างและหน้าที่ของส่วนที่เป็นปัญหาก่อนเสมอ หรือถ้าว่าง่ายๆว่ากระบวนการคือระบบของสาเหตุแล้วอาจกล่าวให้กระชับว่า การวิเคราะห์จะต้องเริ่มต้นจากการบ่งชี้ถึงกระบวนการก่อนเสมอ และเมื่อบ่งชี้ถึงกระบวนการที่เป็นปัญหาได้แล้ว ให้วิเคราะห์โดยคำนึงถึงหลักการหรือทฤษฎีต่างๆที่เป็นแนวคิดในการทำงานได้ตามหน้าที่ของกระบวนการนั้นๆ หลังจากนั้นให้พิจารณารายละเอียดถึงโอกาสหรือหนทางที่จะทำให้กระบวนการดังกล่าวไม่สามารถทำหน้าที่ตามแนวคิดดังกล่าวได้

2) การวิเคราะห์จากสภาพจริงของกระบวนการ เป็นกระบวนการที่ดำเนินงานด้วยการวิเคราะห์จากสภาวะจริงของกระบวนการ ซึ่งในกรณีนี้ผู้วิเคราะห์จะต้องทราบก่อนเสมอว่าสภาวะที่ควรจะเป็น หรือ มาตรฐาน ของกระบวนการอยู่ในลักษณะใด และทำการเปรียบเทียบกับสภาวะที่ควรจะเป็น โดยอาศัยหลักพื้นฐาน 3 จริง ซึ่งประกอบด้วยการไปพื้นที่จริง (Genba) แล้วดำเนินการสังเกตปัญหาหรือลักษณะข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นจริง (Genbutsu) ภายใต้สถานการณ์จริง (Genjitsu) เพื่อกำหนดสภาวะที่เป็นปกติ โดยพิจารณาหาสภาวะผิดปกติ ควรดำเนินการผ่านการมองที่อาจแบ่งออกเป็น 4 ระดับคือ

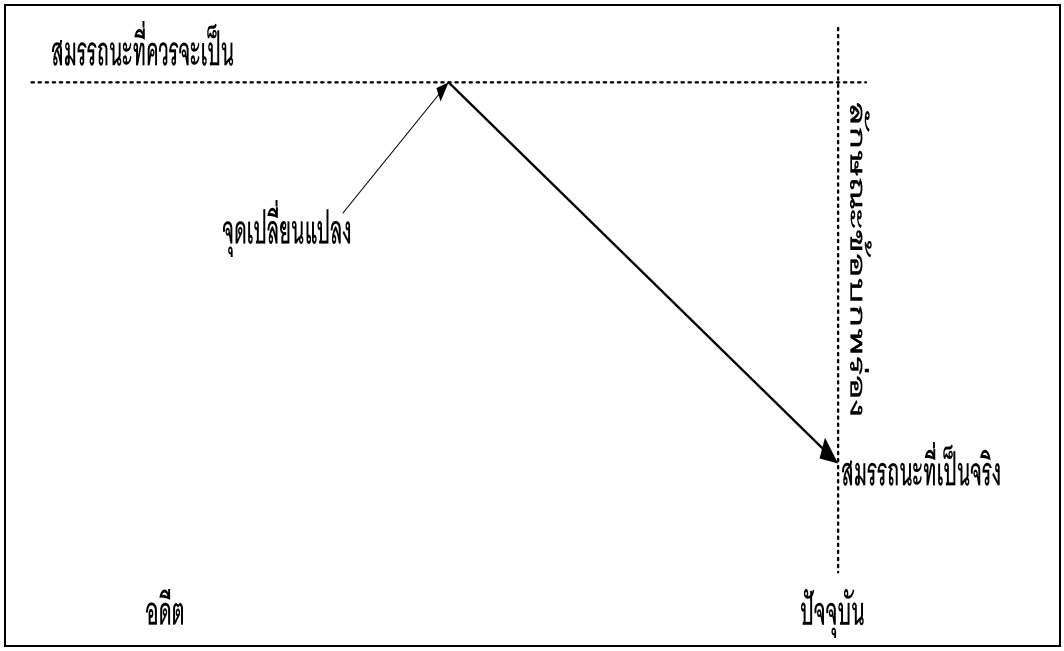
1) ระดับที่ 1 การมองเห็น คือ การมองเห็นเฉพาะสิ่งที่สนใจ

2) ระดับที่ 2 การเฝ้ามอง คือ การมองเห็นเฉพาะจุดที่สายตาเฝ้ามองอยู่

3) ระดับที่ 3 การเพ่งมอง คือ การเพ่งสิ่งของเฉพาะด้วยความพินิจ พิจารณา

4) ระดับที่ 4 การจ้องมอง คือ การมองด้วยวิจารณญาณ และวิเคราะห์

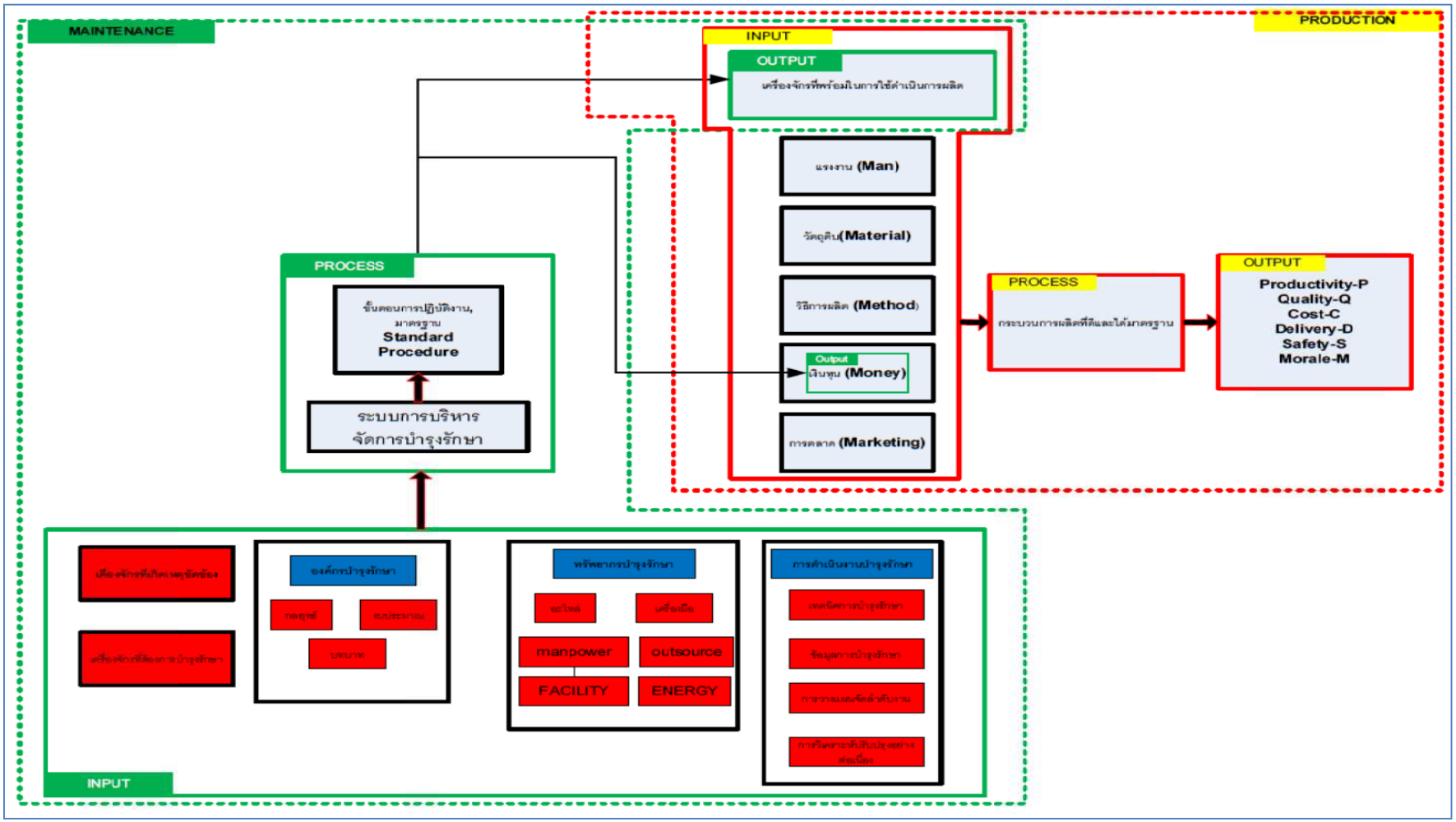
ในการวิเคราะห์สภาวะที่เป็นจริง ควรพิจารณาจากจุดที่เปลี่ยนแปลงของการเกิดปัญหาดังรูปที่ 2.1 เพื่อตรวจสอบสภาพของกระบวนการ และให้จำแนกสาเหตุที่ตรวจพบออกเป็น 3 กรณีด้วยคือ มีการเปลี่ยนแปลงของสภาวะที่เกิดขึ้นจริงจากสภาวะที่ควรจะเป็น (แทนด้วยสัญลักษณ์**O**) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงจากสภาวะที่ควรจะเป็น (แทนด้วยสัญลักษณ์ **X**) และกรณีสุดท้ายไม่มั่นใจในสภาวะที่ตรวจพบและมีความจำเป็นต้องสังเกตเพิ่มเติม (แทนด้วยสัญลักษณ์Δ)



รูปที่ 2.1 จุดเปลี่ยนแปลงในโครงสร้างปัญหาการวิเคราะห์ ทำไม ทำไม

8) ความสัมพันธ์เกี่ยวกับประสิทธิภาพการใช้พลังงานกับการผลิตและการบำรุงรักษา

ทรัพยากรที่ใช้ในกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรม โดยทั่วไปคือ 6M คือ คนหรือแรงงาน (Man) วัตถุดิบ (Material) เครื่องจักรกล (Machine) เงิน (Money) วิธีการหรือการจัดการ (Method or Management) และการตลาด (Marketing) โดยในทรัพยากรการผลิตด้านเครื่องจักรกลที่ต้องมีความพร้อมใช้งานนั้นจะต้องมีการบำรุงรักษา (Maintenance) มาเป็นวิธีการจัดการให้บรรลุวัตถุประสงค์ โดยสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตและการบำรุงรักษา ได้ดังรูปที่ 2.2 ดังนั้นหากต้องการเพิ่มผลผลิตสามารถดำเนินการได้ตามตารางที่ 2.1



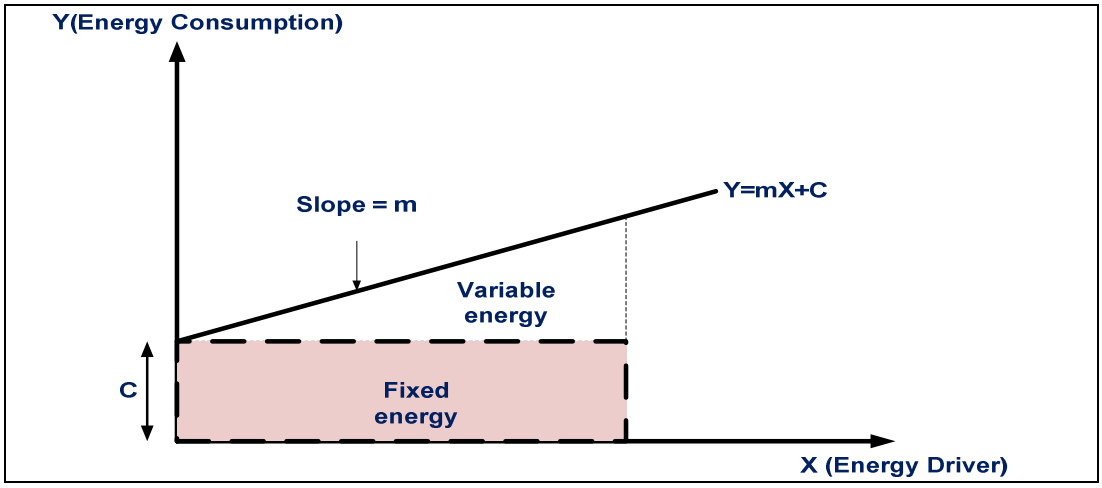
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการผลิตและการบำรุงรักษา

ตารางที่ 2.1 หลักการในการเพิ่มผลผลิต

กรณีที่	ผลผลิต (Productivity)	ผลิตผล (Output)	ทรัพยากรการผลิต (Input)	หมายเหตุ
1	เพิ่มขึ้น	เพิ่ม	คงที่	-
2	เพิ่มขึ้น	เพิ่ม	ลด	-
3	เพิ่มขึ้น	คงที่	ลด	-
4	เพิ่มขึ้น	เพิ่ม	เพิ่ม	ต้องสามารถทำให้ได้ผลผลิตมากกว่าที่ทำได้ในปัจจุบัน
5	เพิ่มขึ้น	ลด	ลด	ต้องสามารถทำให้ได้ผลผลิตมากกว่าที่ทำได้ในปัจจุบัน

จะเห็นว่าเครื่องจักรกล (Machine) คือหนึ่งในทรัพยากรการผลิต ซึ่งนอกจากความพร้อมของเครื่องจักรในการผลิตจะเป็นวัตถุประสงค์หนึ่งของการบำรุงรักษาแล้ว การลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาถือได้ว่าเป็นอีกวัตถุประสงค์หนึ่ง

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ร่วมกับการวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) จะพบว่า ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานนั้น ถ้ามองการใช้พลังงานที่สัมพันธ์กับกระบวนการผลิต ในรูปแบบสมการเชิงเส้น $\mathbf{Y = mX + C}$ เมื่อ **Y** คือพลังงานที่ใช้ทั้งหมด ส่วน **m** คือค่าพลังงานส่วนที่ผันแปรตามปริมาณผลผลิต (Variable energy) **X** คือ ปริมาณผลผลิต และ **C** คือค่าพลังงานคงที่ (Fixed Energy) ที่ต้องใช้แม้ในขณะที่ไม่มีปริมาณผลผลิตเกิดขึ้น แสดงความสัมพันธ์ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของการใช้พลังงานกับกระบวนการผลิต

จากสมการเชิงเส้น **Y = mX + C** ในรูปที่ 2.3 ถ้าเอา **X** ซึ่งคือปริมาณผลผลิตหารตลอดจะได้สมการคือ **Y/X = m + C/X** โดยที่ **Y/X** คือ ค่า SEC นั่นเอง จะเห็นว่าตามสมการนี้พบว่าค่า SEC ต่ำสุดที่เป็นไปได้ในทางทฤษฎีคือเท่ากับค่า **m** ซึ่งคือค่าพลังงานส่วนที่ผันแปรตามปริมาณผลผลิต (Variable energy) โดยค่า **C/X** จะแปรเปลี่ยนไปตามปริมาณการผลิตในแต่ละเดือน ดังนั้นถ้าสามารถลดทรัพยากรผลิตโดยปรับปรุงกิจกรรมงานบำรุงรักษาโดยลดเวลาทำงานลงจะส่งผลให้ผลผลิตนี้มากขึ้น นั่นคือ ค่า **X** เพิ่มขึ้น และเมื่อมีการดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานจะทำให้ค่า **m** ลดลง ผลที่ตามมาตามสมการ **Y/X = m + C/X** จะทำให้ค่า **SEC (Y/X)** ที่เป็นดัชนีดัชนีติดตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตนั้นลดลง

9) การจัดเก็บข้อมูล

เพื่อให้ทราบถึงผลดำเนินการตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย จึงได้ตรวจติดตามตัวแปรในการดำเนินงานวิจัยนี้ ดังต่อไปนี้

1) ประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยค่าดัชนีการใช้พลังงานจำเพาะ (SEC)

อ้างอิงตามสมการ (2-1) โดยการติดตามค่า SEC ก่อนดำเนินการปรับปรุงงานบำรุงรักษาตามงานวิจัยกับหลังปรับปรุงจะเปรียบเทียบได้ว่าถ้าประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นหลังการปรับปรุงนั่นคือ ค่า SEC ลดลงที่ผลผลิตเดียวกัน จะหมายถึงการปรับปรุงตามงานวิจัยนี้ทำให้ได้ผลด้านเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

2) จำนวนชั่วโมงการปฏิบัติงานบำรุงรักษา (Man Hour) โดยการติดตามตัวแปรนี้ ก่อนดำเนินการปรับปรุงงานบำรุงรักษาตามงานวิจัยกับหลังปรับปรุงจะเปรียบเทียบได้ว่าถ้า

Man Hour ลดลงหลังการปรับปรุง จะหมายถึงการปรับปรุงตามงานวิจัยนี้ทำให้ได้ผลด้านการลดเวลาปฏิบัติงานบำรุงรักษาได้

3) ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษาตามกิจกรรมงานบำรุงรักษา (Maintenance Cost) โดยการติดตามตัวแปรนี้ ก่อนดำเนินการปรับปรุงงานบำรุงรักษาตามงานวิจัยกับหลังปรับปรุงจะเปรียบเทียบได้ว่าถ้าค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษาตามกิจกรรมงานบำรุงรักษาลดลงหลังการปรับปรุง จะหมายถึงการปรับปรุงตามงานวิจัยนี้ทำให้ได้ผลด้านการลดค่าใช้จ่ายงานบำรุงรักษาจากการลดเวลาปฏิบัติงานบำรุงรักษาลงได้ (ความสัมพันธ์ของ จำนวนชั่วโมงการปฏิบัติงานบำรุงรักษา กับ ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษาตามกิจกรรมงานบำรุงรักษาอ้างอิงตามสมการ (2-3))

4) ค่าความน่าเชื่อถือในการเดินเครื่องของโรงงาน (Plant Reliability) โดยตัวแปรนี้จะแสดงผลเป็นร้อยละตามความสัมพันธ์ ในสมการ (2-5) ดังนี้

$$\text{Plant Reliability } (\%) = \frac{(A - B) - C}{(A - B)} \times 100 \qquad (2\text{-}5)$$

A = Nameplate Capacity B= Planned shutdown C= Reliability Loss

ที่มา: การวัดร้อยละของ Plant Reliability ที่ลดลงจากเป้าหมายที่ระบุไว้ใน SLA (Service Level Agreement) ตาม BSC (Balance Score Card) ของกลุ่มโรงงานที่มีสาเหตุมาจากความบกพร่องของงานบำรุงรักษา

โดยการติดตามตัวแปรนี้ ก่อนดำเนินการปรับปรุงงานบำรุงรักษาตามงานวิจัยกับหลังปรับปรุงจะเปรียบเทียบได้ว่าถ้าค่า Plant Reliability ไม่ลดลงไปจากเดิมแสดงให้เห็นว่าการบริการงานบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์ของโรงงานยังอยู่ในสภาพที่พร้อมเดินเครื่องผลิตผลิตภัณฑ์ที่ On-specification ได้อย่างต่อเนื่องตามที่ออกแบบ

2.2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1) ด้านการบำรุงรักษา (Maintenance)

โกศล ดีศีลธรรม (2547) หนังสือเล่มนี้ได้เสนอเกี่ยวกับการจัดการบำรุงรักษา โดยมีหัวข้อที่เกี่ยวกับแนวคิดวิศวกรรมบำรุงรักษา, การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน, การจัดทำแผนบำรุงรักษาเครื่องจักร, การบริหารอะไหล่สำหรับงานบำรุงรักษา, ระบบสารสนเทศงานบำรุงรักษา ตลอดจนการบำรุงรักษาแบบทวีผล

วงกต วงศ์อภัย (2543) การบำรุงรักษา (Maintenance) หมายถึงการธำรงไว้ซึ่งสภาพเดิมหรือการสงวนหรือการบำรุงรักษาไว้ซึ่งการปฏิบัติที่อยู่ในสภาวะที่ดีอย่างต่อเนื่องและเป็นการป้องกัน

กิตติณัฐ ภัทรวงศ์หิรัญ (2547) โครงงานวิจัยอุตสาหกรรมนี้เป็นการศึกษาวิธีการปรับปรุงกระบวนการบำรุงรักษาในเครื่องบรรจุยาสระผมชนิดซองเพื่อลดเวลาสูญเสียจากการหยุดผลิตโดยได้ทำการศึกษาข้อมูลของเครื่องบรรจุยาสระผมอัตโนมัติในส่วนของอาการขัดข้องของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นในระหว่างการผลิต ซึ่งจากการวิเคราะห์เวลาที่สูญเสียในการเกิดอาการขัดข้องนั้นสรุปได้ว่าอาการโรตารีวาล์วเป็นอาการขัดข้องที่ทำให้เกิดเวลาสูญเสียมากที่สุดจากอาการที่เกิดขึ้นทั้งหมด จึงได้ทำการศึกษาถึงสาเหตุที่ทำให้โรตาริ่วาล์วรั่วโดยใช้หลักการวิเคราะห์ทำไม ทำไม เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์หาสาเหตุรากเหง้าของการเกิดโรตาริ่วาล์วรั่วของเครื่องจักร และเมื่อทราบถึงสาเหตุรากเหง้าที่ทำให้โรตาริ่วาล์วรั่วแล้วจึงได้นำเอาหลักการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และการป้องกันการเผอเรอมาใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการปรับปรุงแก้ไขสาเหตุดังกล่าว

ธานี อ่วมอ้อ (2547) หนังสือเล่มนี้ได้กล่าวถึงการบำรุงรักษาทวีผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม (Total Productive Maintenance - TPM) เป็นการบำรุงรักษาที่ไม่ได้หวังผลเพียงแค่เครื่องจักรไม่เสีย หากแต่เป็นการบำรุงรักษาที่หวังผลไปถึงสมรรถนะขององค์การที่ต้องดีขึ้นในรูปของคุณภาพสินค้า (Quality) ต้นทุนการผลิต (Cost) การส่งมอบ (Delivery) ความปลอดภัย (Safety) ขวัญและกำลังใจของพนักงาน (Morale) และการรักษาสิ่งแวดล้อม (Environment) จึงนับว่าเป็นระบบบำรุงรักษาที่มีความจำเป็น ในหนังสือเล่มนี้จะเริ่มจากการสร้างพื้นฐานความเข้าใจเพื่อนำไปสู่ TPM ในส่วนผลิตและต่อเนื่องไปยังการขยายผลสู่ TPM ทั่วทั้งองค์การ ในตอนท้ายจะกล่าวถึงเรื่องปัจจัยสู่ความสำเร็จของ TPM ในทุกส่วนจะแสดงแนวคิดและวัตถุประสงค์การเรียนรู้

กุสุมา สุนประชา (2546) การบำรุงรักษานับว่าเป็นสิ่งสำคัญในอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในอุตสาหกรรมปิโตรเคมี ซึ่งเป็นรูปแบบการไหลของสายงานผลิตที่ยึดผลิตภัณฑ์เป็นหลัก ดังนั้นหากเครื่องจักรเกิดความเสียหายย่อมส่งผลให้กระบวนการผลิตทั้งสายหยุดชะงัก เกิดปัญหาการสูญเสียของวัสดุและวัตถุดิบ รวมทั้งการสูญเสียโอกาส ดังนั้นการบำรุงรักษาจึงนับได้ว่าเป็นสิ่งที่ทางองค์กรจำเป็นต้องมี และจำเป็นจะต้องมีการเสียค่าใช้จ่ายเพื่อให้การบำรุงรักษาเป็นเสาหลักในการรักษาระบบคุณคุณภาพของระบบการผลิตอย่างยั่งยืน

ฐิตินันท์ ชัยพัฒนาการ (2537) มุ่งศึกษาออกแบบระบบการวางแผนบำรุงรักษาสำหรับโรงงานผลิตกล่องกระดาษลูกฟูก เพื่อลดระยะเวลาการชำรุดของเครื่องจักรเมื่อเสียเป็นปัญหาหลักของการผลิตที่ไม่ทันเวลา จากการศึกษาระบบการซ่อมบำรุงของโรงงาน พบว่า ยังขาดการวางแผนที่ดีการซ่อมแซมจะกระทำเมื่อมีการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรการประสานงานในงานซ่อมบำรุงขาดประสิทธิภาพการทำงานอาศัยประสบการณ์เพียงอย่างเดียวทำให้ไม่มีการติดตามผลการปฏิบัติงานการเก็บประวัติการซ่อมบำรุง และไม่มีการจัดเตรียมอะไหล่สำรอง การศึกษานี้ได้มีการออกแบบการวางแผนการบำรุงรักษา โดยการจัดโครงสร้างการซ่อมบำรุง การจัดแบ่งหน้าที่การรับผิดชอบของพนักงานซ่อมบำรุง และพนักงานฝ่ายผลิตจัดทำแผนงานการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน การจัดระบบเอกสารการบำรุงรักษา และการจัดอะไหล่สำรองที่ควรมีจากการศึกษาและประเมินผลโดยเปรียบเทียบผลจากระบบการซ่อมบำรุงเดิมกับระบบการซ่อมบำรุงที่ได้ปรับปรุงแล้วพบว่า เครื่องทำกล่องกระดาษลูกฟูกและเครื่องพิมพ์เซาะร่องมีระยะเวลาชำรุดใช้งานไม่ได้ลดลงเฉลี่ยเดือนละ 347 และ 540 นาที ตามลำดับ และอัตราขัดข้องของเครื่องทั้งสองลดลงเฉลี่ยร้อยละ 2.5 % และ 2.3 % นอกจากนี้อัตราโอกาสของการขัดข้องทั้งสองเครื่องลดลงเฉลี่ย 0.10 และ 0.34 ครั้งต่อ 8 ชั่วโมง ตามลำดับ

ชัยยศ วัชรอยู่ (2533) วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาระบบการซ่อมบำรุงโรงงานทอผ้าขนาดกลางและทำการปรับปรุงซ่อมบำรุงของโรงงานนี้ เพื่อเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้นจากการศึกษาพบว่าการซ่อมบำรุงส่วนใหญ่ยังขาดการวางแผน และขาดมาตรฐานการบำรุงรักษาที่ดีแต่จะใช้เพียงประสบการณ์และทำการซ่อมเมื่อเครื่องจักรเสียหรือชำรุด การวิจัยนี้ ได้จัดทำระบบการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันวางแผนการซ่อมบำรุงและกำหนดมาตรฐานในการปฏิบัติการซ่อมบำรุงเพื่อไปใช้กับโรงงานตัวอย่างพบว่าสามารถลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและความถี่ในการซ่อมลงได้

พูลพร แสงบางปลา (2538) หนังสือเล่มนี้ได้เรียบเรียงมาจากเอกสารการสัมมนาของผู้เชี่ยวชาญในประเทศญี่ปุ่น และเอกสารประกอบการบรรยายของผู้เชี่ยวชาญด้านการบำรุงรักษาจากโรงงาน

อุตสาหกรรมต่างๆในประเทศไทย ซึ่งได้นำเสนอในรายละเอียดเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการบำรุงรักษา , การบำรุงรักษาทวีผลที่ทุกคนมีส่วนร่วม (TPM) รวมทั้งได้นำเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับการบริหารข้อมูลการบำรุงรักษา ตั้งแต่การเก็บรวบรวมข้อมูลไปจนถึงการใช้ประโยชน์ข้อมูลนั้นๆการกำหนดมาตรฐานและแผนกการซ่อมบำรุง การวิเคราะห์เหตุขัดข้อง การบำรุงรักษาด้วยตนเอง การกำหนดมาตรฐานในการบำรุงรักษา ตลอดจนการควบคุมและการวัดผลงานบำรุงรักษา

Tomlinson (1992) หนังสือเล่มนี้ได้กล่าวถึง การบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งจะเป็นกุญแจสำคัญที่จะมุ่งไปสู่การการเพิ่มขึ้นของผลกำไรองค์กร โดยได้กล่าวในรายละเอียดของหลักการของการบำรุงรักษา การซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ระบบข้อมูลของการบำรุงรักษา การบำรุงรักษาเชิงวิศวกรรม การพัฒนาองค์กรบำรุงรักษา โปรแกรมการบำรุงรักษา การประเมินและการปรับปรุง ผลการปฏิบัติงานบำรุงรักษา กลยุทธ์การประเมินและการปรับปรุง เพื่อทำให้องค์กรมีผลกำไรเพิ่มขึ้น

2) ด้านการปรับปรุง การวัดและการประเมินผลผลิต (Productivity Improvement Measurement and Evaluation)

ปารเมศ ชุติมา (2551) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการทำงานและเสนอแนะแนวทางการลดความสูญเปล่าในกระบวนการทำงานของหน่วยงานรัฐวิสาหกิจตัวอย่างที่ประกอบกิจการเกี่ยวกับการขนส่งมวลชนและขนส่งสินค้า โดยเน้นไปที่แผนกบุคคลและแผนกบัญชี ซึ่งปัญหาหลักของหน่วยงานอยู่ที่การทำกิจกรรมที่ไม่จำเป็น การขนส่งที่ไม่จำเป็น และการรอคอยงาน งานวิจัยนี้จึงนำเอาแนวคิดการลดความสูญเปล่าอันเนื่องจากกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าเพิ่มของลีน (Lean) มาประยุกต์ ซึ่งประกอบด้วย 4 แนวทางคือ การกำจัด (Eliminate: E) การผสมผสาน (Combine: C) การจัดลำดับใหม่ (Re-sequence: R) และการทำให้ง่ายขึ้น (Simplify: S) โดยอาจมีการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยเสริมเพื่อให้การทำงานมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ขนิษฐา วาริชวัฒนะ (2550) วิทยานิพนธ์นี้ได้พัฒนาแผนการบริหารการเปลี่ยนแปลงสำหรับกระบวนการซ่อมบำรุง เพื่อลดระยะเวลาที่ใช้ในการซ่อมบำรุง เพิ่มความพึงพอใจแก่ผู้รับบริการและความพึงพอใจในการทำงานของบุคลากรภายใน หน่วยงาน โดยงานวิจัยนี้เริ่มต้นจากศึกษาสภาพของปัญหาและการทบทวนผังการไหลของกระบวน การซ่อมบำรุง (Flow chart) ซึ่งพบว่ายูนิตทำฟัน/เก้าอี้ทำฟันและเครื่องปรับอากาศมีความถี่ในการเข้ารับ บริการมากที่สุด และมีปัญหาในการซ่อมล่าช้า ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะปรับปรุงการซ่อมบำรุงในสองส่วนนี้ หลังจากนั้นจึง

วิเคราะห์สาเหตุโดยใช้แผนผังก้างปลา (Causes and effect diagram) จัดกลุ่มสาเหตุย่อยโดยใช้แผนผังกลุ่มเชื่อมโยงหรือแผนผังกลุ่มเครือญาติ (Affinity diagram) แล้วจึงวิเคราะห์ประเด็นกลุ่มสาเหตุนั้นโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์ Why-Why analysis จนได้มาตรการในการแก้ไข พร้อมทั้งให้ผู้บริหารของหน่วยงานประเมินคัดเลือกมาตรการ เพื่อนำไปวิเคราะห์จัดทำข้อเสนอการเปลี่ยนแปลง

เกียรติขจร โฆมมานะสิน (2550) ระบบการผลิตแบบลีน เป็นเครื่องมือในการจัดการกระบวนการที่ช่วยเพิ่มขีดความสามารถให้แก่องค์การ โดยการพิจารณาคุณค่าในการดำเนินงานเพื่อมุ่งตอบสนองความต้องการของลูกค้า มุ่งสร้างคุณค่าในตัวสินค้าและบริการ และกำจัดความสูญเสียที่เกิดขึ้นตลอดทั้งกระบวนการอย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิต เพิ่มผลกำไรและผลลัพธ์ที่ดีทางธุรกิจในที่สุด ในขณะเดียวกันก็ให้ความสำคัญกับการผลิตสินค้าที่มีคุณภาพควบคู่ไปด้วย

วิจิตร ตัณฑสุทธิ์ และคณะ (2539). วิศวกรรมคุณค่า (Value Engineering) เป็นเทคนิคที่สามารถนำไปใช้ในการลดต้นทุน การผลิตได้เป็นอย่างดี โดยทุ่มเทให้กับการวิเคราะห์ถึงประโยชน์การใช้งานของผลิตภัณฑ์หรือบริการ เพื่อให้ได้มาซึ่งประโยชน์ในการใช้งานที่จำเป็นด้วยต้นทุนที่ต่ำที่สุด แต่ยังสามารถสนองความพึงพอใจของลูกค้า หรือผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี วิศวกรรมคุณค่าจึงเป็นเทคนิคที่ช่วยให้ ผลิตภัณฑ์หรือบริการมีคุณค่า ขณะที่มีต้นทุนการผลิตต่ำลง

ไกรวิทย์ เศรษฐวนิจ (2546) ได้กำหนดวัตถุประสงค์ของการวัดประสิทธิภาพ ไว้ดังต่อไปนี้

1) เพื่อเป็นการกำหนดเป้าหมายในการปฏิบัติงานของฝ่ายบำรุงรักษา เมื่อวัดผลการทำงานเทียบกับเป้าหมายเหล่านั้นไว้ใช้งานสำหรับประเมินกิจกรรมระบบบำรุงรักษา โดยการวัดประสิทธิภาพการบำรุงรักษานั้นเป็นขั้นตอนการตรวจสอบหรือวัดผลการทำงานซึ่งจะช่วยให้สามารถวางแผนและดำเนินการตามขั้นตอนได้อย่างเหมาะสม ถ้ามีระบบการวัดประสิทธิภาพที่ดีจะช่วยให้ฝ่ายซ่อมบำรุงรักษาสามารถปฏิบัติตามแผนได้ง่ายขึ้นและสามารถบรรลุเป้าหมายได้ โดยปกติการกำหนดเป้าหมายมักจะอาศัยจากการศึกษาข้อมูลที่ได้จากในอดีต
2) เพื่อเรียงลำดับความสำคัญในการปรับปรุงเทคนิคการบำรุงรักษาโดยใช้ตัวเลขต่างๆที่เก็บได้ ทำให้สามารถพัฒนากิจกรรมบำรุงรักษาให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นโดยทำการวิเคราะห์ว่ากิจกรรมในระบบการจัดการบำรุงรักษากิจกรรมใดที่ควรได้รับการปรับปรุงพัฒนาอย่างเร่งด่วน ก็ให้ดำเนินกิจกรรมนั้นก่อน โดยข้อที่ควรคำนึงถึงในการวัด

ประสิทธิภาพการบำรุงรักษาคือ ควรเป็นการวัดประสิทธิภาพหรือวัดสมรรถนะคลอบคลุมกิจกรรมโดยรวมทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบจัดการบำรุงรักษา

นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร (2545) วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์หลักคือการประยุกต์ใช้หลักการศึกษางานแก้ไขปัญหาการผลิตในโรงงานผลิตเครื่องครัวจากเหล็กแผ่นขนาดกลางแห่งหนึ่งโรงงานมักประสบกับปัญหาในการผลิตอยู่เป็นประจำ จากการค้นหาปัญหาที่แท้จริงของการผลิตโดยใช้แผนภูมิก้างปลาค้นหาปัญหาที่เกิดขึ้นในการผลิต สามารถสรุปสาเหตุของการเกิดปัญหาการผลิต

ธารารินอร่ามเจริญ (2545) การวัดประสิทธิภาพระบบการบำรุงรักษา เป็นการแสดงผลถึงความสามารถในการจัดการระบบการบำรุงที่องค์กรหนึ่งๆสามารถทำได้ ซึ่ง Atherton และ White (2001) กล่าวว่า การที่องค์กรใดองค์กรหนึ่งไม่มีประสิทธิภาพระบบการจัดการบำรุงรักษาแล้วองค์กรนั้นจะไม่สามารถที่จะทำการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงในสิ่งที่กำลังจะมีการดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิผล เนื่องจากองค์กรนั้นจะไม่สามารถรู้ถึงสมรรถนะที่แท้จริงของตนเอง และเมื่อได้ปรับปรุงเปลี่ยนแปลงไปแล้ว ก็จะไม่สามารถที่จะทราบได้ว่าสิ่งที่ลงมือทำไปแล้วนั้นส่งผลให้สมรรถนะของระบบการจัดการดีขึ้นหรือไม่เพียงใด

Bain (1982) หนังสือนี้ได้กล่าวถึงหลักการเกี่ยวกับการเพิ่มผลผลิตซึ่งเป็นแนวทางให้ผู้บริหารสามารถปรับปรุงผลผลิต เพื่อให้ได้มาซึ่งผลกำไร โดยในเนื้อหาจะกล่าวถึง การทำความเข้าใจถึงผลผลิต (Productivity) ความสำคัญของการเพิ่มผลผลิต ปัจจัยที่มีผลต่อการเพิ่มผลผลิต ศักยภาพและการปรับปรุง การกำหนดเป้าหมายขององค์กร รวมทั้ง การจัดการเพื่อให้ได้มาซึ่งเป้าหมายกำหนดไว้ นอกจากนั้นหนังสือเล่มนี้ยังได้กล่าวถึง การวัดผลผลิต ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการปรับปรุงผลผลิต ได้กล่าวถึงรายละเอียดเกี่ยวกับ การพัฒนาตัวชี้วัดผลการทำงาน เกณฑ์ในการจัดการวัดผล การตรวจสอบการวัดผลผลิต คุณภาพ และมาตรฐานต่างๆ ท้ายสุดยังมีกรณีศึกษาซึ่งใช้เป็นตัวอย่างเพื่อให้ง่ายในการทำความเข้าใจและลงมือปฏิบัติ

Scott (1985) หนังสือเล่มนี้ได้อธิบายถึงการจัดการเพื่อการเพิ่มผลผลิต โดยเน้นในเรื่องการวางแผนการวัดผล และการประเมินผล การควบคุมและการปรับปรุง ซึ่งในเนื้อหาจะกล่าวถึงแนวคิดที่เกี่ยวกับการเพิ่มผลผลิต ภาพรวมเกี่ยวกับผลผลิต การจัดการเกี่ยวกับการเพิ่มผลผลิต ขบวนการพื้นฐานในการจัดการเพื่อเพิ่มผลผลิต ความแตกต่างระหว่างการจัดการเพื่อเพิ่มผลผลิตและการจัดการเกี่ยวกับสมรรถนะขององค์กร ประเภทของระบบการควบคุมสมรรถนะ การวัดสมรรถนะและผลการทำงานขององค์กร เทคนิคและยุทธ์ที่ใช้ในการวัดและการประเมินผลผลิตไม่ว่าจะเป็นวิธี NPMM, วิธี MFPMM หรือวิธี MCP-PMT รวมทั้งกรณีศึกษา นอกจากนั้นยังได้กล่าวถึงการควบคุม

และการปรับปรุงผลผลิต โดยกล่าวถึงทฤษฎี กลยุทธ์ และเทคนิค รวมทั้งพื้นฐานและเทคนิคในการสร้างแรงจูงใจในการทำงานของพนักงาน ซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการเพิ่มผลผลิต

3) ด้านดัชนีวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy Index)

ประพันธ์ ธนาปิยกุล (2552) แนวทางในการวิเคราะห์และตีความข้อมูลการใช้พลังงานที่นำเสนอในบทความมีทั้งหมด 4 แนวทาง คือ 1. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบอนุกรมเวลา (Time series analysis) 2. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์แบบกระจายตัว (XY Scatter) 3. การวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) 4. การวิเคราะห์และติดตามแนวโน้มการใช้พลังงานด้วยวิธี CUSUM (Cumulative Sum)

ศุภชัย ปัญญาวีร์ (2553) การประเมินศักยภาพในการอนุรักษ์พลังงานของโรงงานและอาคารนั้นจะต้องดำเนินการวิเคราะห์อย่างเป็นระบบและเป็นขั้นตอนโดยเริ่มจากการวิเคราะห์ภาพรวมการใช้พลังงานของโรงงานหรืออาคาร เพื่อให้ทราบว่าแต่ละเดือนและรอบปีของโรงงานหรืออาคารมีการใช้พลังงานเปลี่ยนแปลงอย่างไรและต้นทุนการผลิตด้านพลังงานเปลี่ยนแปลงอย่างไร เพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้การใช้พลังงานสูง หรือ ดัชนีการใช้พลังงาน (Specific Energy Consumption :SEC) ที่สูงนั้นว่าเกิดจากสาเหตุใด การลด SEC สามารถดำเนินการได้ทั้ง 2 ส่วนคือ การลดการใช้พลังงานและการเพิ่มผลผลิต การดำเนินการให้ SEC ลดลงนั้นประกอบด้วย 2 ส่วนหลักๆบุคลากรที่เป็นผู้ใช้ระบบอุปกรณ์ต่างๆ (คน) และระบบอุปกรณ์ที่ใช้พลังงาน (ของ) ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตนั้นจะต้องทำการพัฒนาและแก้ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นโดยใช้หลัก 5M คือ

1) Man จะต้องพัฒนาคนให้มีประสิทธิภาพในการบริหารจัดการใช้เครื่องจักรอุปกรณ์ให้เกิดการสูญเสียน้อยที่สุด และใช้ในจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด รวมทั้งกำหนดมาตรฐานการใช้งานโดยพนักงานทุกคนใช้เครื่องจักรในจุดที่มีประสิทธิภาพสูงสุด
2) Material จะต้องตรวจสอบคัดเลือกและพัฒนาวัตถุดิบให้ได้คุณภาพดีที่สุด ได้ผลผลิตมากที่สุด ราคาต่ำที่สุดหรือลดการใช้วัตถุดิบลงให้ได้มากที่สุด
3) Material ระบบ/อุปกรณ์ในการสนับสนุนการผลิต และเครื่องจักร/อุปกรณ์การผลิตจะต้องมีประสิทธิภาพสูงสุด เสถียรภาพในการทำงานดีที่สุด ต้นทุนด้านพลังงานต่ำที่สุด
4) Method ขั้นตอน กรรมวิธีการผลิต จะต้องง่ายที่สุด ขั้นตอนสั้นที่สุด ใช้เวลาน้อยที่สุดและได้ผลผลิตมากที่สุด

5) Management การบริหารจัดการทั้ง 4M ที่กล่าวมาจะต้องมีความสัมพันธ์กัน โดยได้คุณภาพสินค้าที่ดีและลูกค้าเกิดความพึงพอใจ

รุ่งชัย วิจิตรยืนยง (2549) ศึกษาโครงสร้างการใช้พลังงานและเสนอแผนการอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในโรงงานผลิตวงจรรวมการวิจัยจะศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม ศึกษากระบวนการผลิต และเก็บรวบรวมข้อมูลด้านการผลิต กำลังการผลิต และการใช้พลังงานของโรงงานกรณีศึกษา นำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าดัชนีการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยผลผลิต (SEC) ในปี 2548 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.506 เมกะจูล/ชิ้น (หน่วยผลผลิตเทียบเท่า) จากนั้นเริ่มคิดหามาตรการอนุรักษ์พลังงานและการประหยัดพลังงาน โดยจัดตั้งคณะกรรมการอนุรักษ์พลังงานและนำไปสู่แนวคิดในการอนุรักษ์พลังงาน เช่น การควบคุมการเปิด-ปิดเครื่องจักรให้เป็นไปตามแผนการผลิตและอื่นๆ แล้วนำข้อมูลมาเปรียบเทียบ ปรากฏว่า ประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่อหน่วยผลิตในช่วง 6 เดือนแรกของปี 2549 ดีขึ้น โดยค่า SEC อยู่ที่ 0.452 เมกะจูล/ชิ้น (หน่วยผลผลิตเทียบเท่า) ผลสรุปจากการดำเนินดังกล่าว เราสามารถเขียนเป็นคู่มือปฏิบัติการ (Procedure manual) และเอกสารขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Work instruction) โดยใช้หลักการของ SPER (Standard, Performance, Evaluate, Review) เพื่อให้โรงงานกรณีศึกษานั้นมีการอนุรักษ์พลังงานที่ยั่งยืน เพื่อที่จะเป็นประโยชน์ต่อโรงงานกรณีศึกษา และเป็นประโยชน์ในการวางแผนด้านพลังงานไฟฟ้าของประเทศชาติต่อไป

บทที่ 3

สภาพทั่วไปและการวิเคราะห์ปัญหาของโรงงาน

3.1 ข้อมูลโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษา

3.1.1) ข้อมูลเบื้องต้นโรงงาน

ชื่อโรงงาน: โรงงานผลิตเม็ดพลาสติก LLDPE

ที่ตั้ง: นิคมอุตสาหกรรมมาบตาพุด จังหวัดระยอง บนเนื้อที่ประมาณ 70 ไร่

ก่อตั้งเมื่อ: วันที่ 18 เมษายน 2551

เงินทุนจดทะเบียน: 285 MUSD

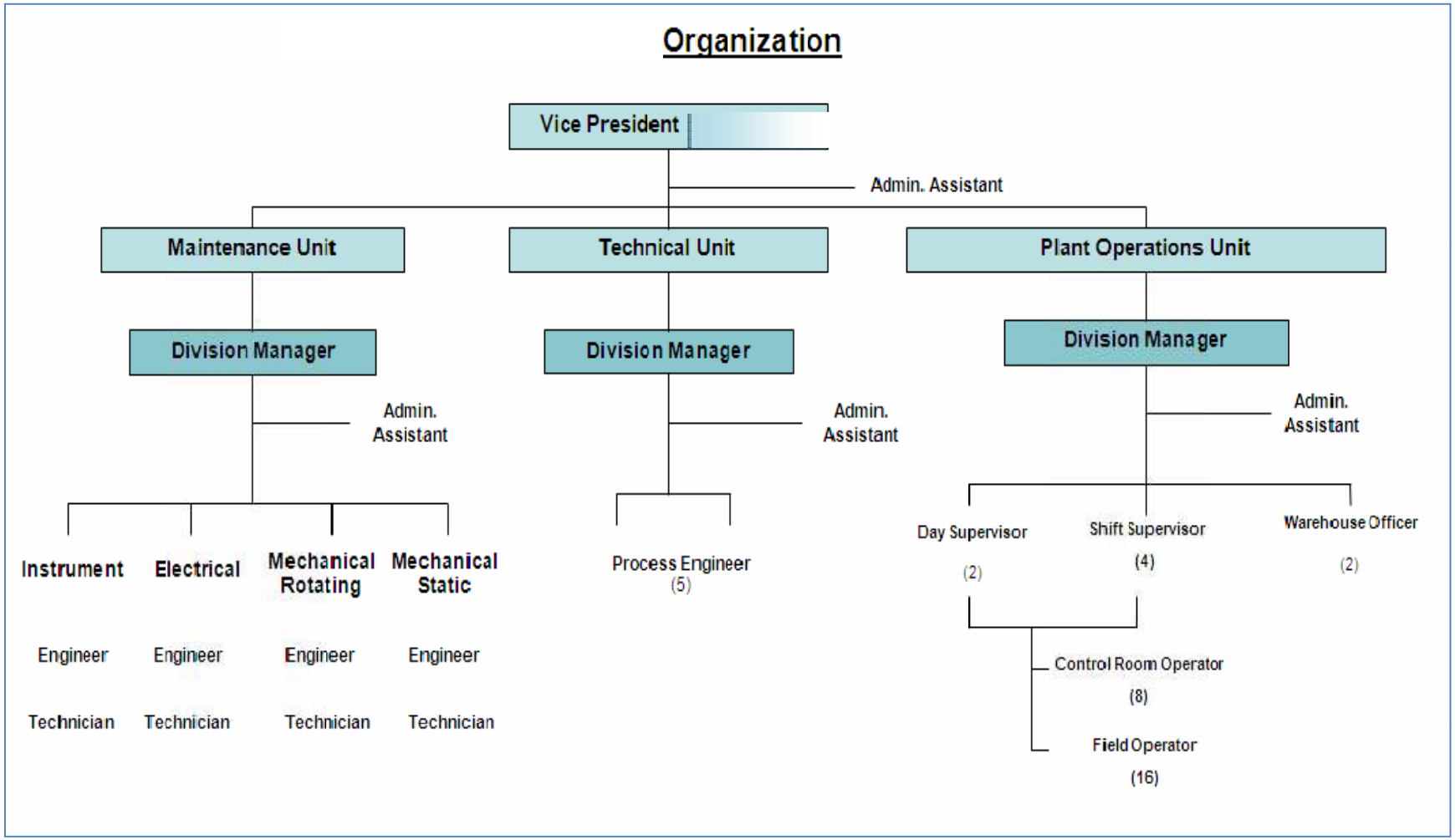
ธุรกิจหลัก: ผลิตเม็ดพลาสติกชนิด LLDPE

กำลังการผลิต: ผลิตเม็ดพลาสติกได้ประมาณ 400,000 ตันต่อปี

จำนวนพนักงาน: 57 คน (โดยนับเฉพาะพนักงานที่อยู่ในสายงานฝ่ายผลิต)

3.1.2) โครงสร้างองค์กร

โครงสร้างองค์กร แสดงไว้ในรูปที่ 3.1 โดยมีการจัดแบ่งองค์กรแบ่งออกเป็นสายงาน 3 ส่วน งานคือ ส่วนงานบำรุงรักษา ซึ่งจะรับผิดชอบดูแลงานบำรุงรักษาด้านความน่าเชื่อถือในการเดินเครื่องของโรงงาน (Plant Reliability) ส่วนงานเทคนิคการผลิตจะรับผิดชอบดูแลงานด้านเทคนิคกระบวนการผลิตรวมถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานด้วย และส่วนงานปฏิบัติการผลิต (Operation) จะรับผิดชอบดูแลงานด้านการเดินเครื่องโรงงานผลิต กล่าวคือแต่ละส่วนงานที่ถูกจัดแบ่งงานนั้นก็จะมีการรับหน้าที่และความรับผิดชอบตามสายงานกันไป และในสายงานบังคับบัญชา แต่ละส่วนงานจะมีผู้จัดการส่วน คือผู้รับผิดชอบในการสั่งการ ควบคุมดูแลส่วนงานให้ปฏิบัติหน้าที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และผู้จัดการส่วนก็จะอยู่ภายใต้การกำกับดูแลบังคับบัญชาจากทางผู้จัดการฝ่ายอีกที ซึ่งถือได้ว่าเป็นผู้ตัดสินใจสูงสุด และรับผิดชอบดูแลองค์กรทั้งหมด



รูปที่ 3.1 แผนผังองค์กรโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษา

3.1.3) ขั้นตอนการผลิตของโรงงาน

การดำเนินการผลิตกระบวนการผลิต LLDPE ซึ่ง LLDPE ย่อมาจาก Lineor Low Density Polyethylene เป็นผลิตภัณฑ์พลาสติกชนิดหนึ่งที่ผลิตมาจากก๊าซโอเลฟินส์ ซึ่งเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทอัลคีน (เอทิลีน) โดยใช้สารเร่งปฏิกิริยาทางเคมีเป็นตัวช่วยทำให้เกิดกระบวนการ โพลิเมอร์ไรเซชั่น ในสภาวะความดันต่ำ โดย ขั้นตอนการผลิตแอลแอลดีพีอี (Process LLDPE) แสดงดัง Block Diagram ขั้นตอนการผลิตดังรูปที่ 3.2 Simplify Process ดังรูปที่ 3.3 และ Overview Process ดังรูปที่ 3.4 ตามลำดับ ซึ่งจะอธิบายขั้นตอนการผลิตโดยสังเขป ประกอบด้วย

1) ส่วนปรับปรุงคุณภาพสารตั้งต้นและจ่าย Catalyst

- กำจัดสารปนเปื้อน (เช่น น้ำ ออกซิเจน เป็นต้น) ออกจากสารตั้งต้น ก่อนป้อนเข้าสู้ส่วนทำปฏิกิริยา
- สารตั้งต้นแต่ละชนิดถูกป้อนเข้าถังดูดซับ (ซึ่งภายในบรรจุสารดูดซับ) ที่มีหน้าดูดซับสารปนเปื้อนต่างๆ
- เตรียมสาร และจ่าย Catalyst เข้าสู่ส่วนทำปฏิกิริยา

2) ส่วนทำปฏิกิริยา

- ส่วนทำปฏิกิริยามีหน้าที่เปลี่ยนสารเอทิลีน (ที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพแล้ว) ให้กลายเป็นสารโพลิเมอร์หรือพลาสติกแอลแอลดีพีอี
- โดยการนำสารเอทิลีนจากวัตถุดิบและสารที่เหลือใน Recycle gas (จาก Vent Recovery Unit) มาทำปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชั่นในถังปฏิกิริยาร่วมกับโมโนเบอร์ร่วม โดยมี Induce Condensing Agent ช่วยในการทำงานของถังปฏิกิริยา
- ใช้สารเร่งปฏิกิริยาและสารเร่งปฏิกิริยาร่วมเป็นสารช่วยทำให้เกิดปฏิกิริยาอย่างเหมาะสม

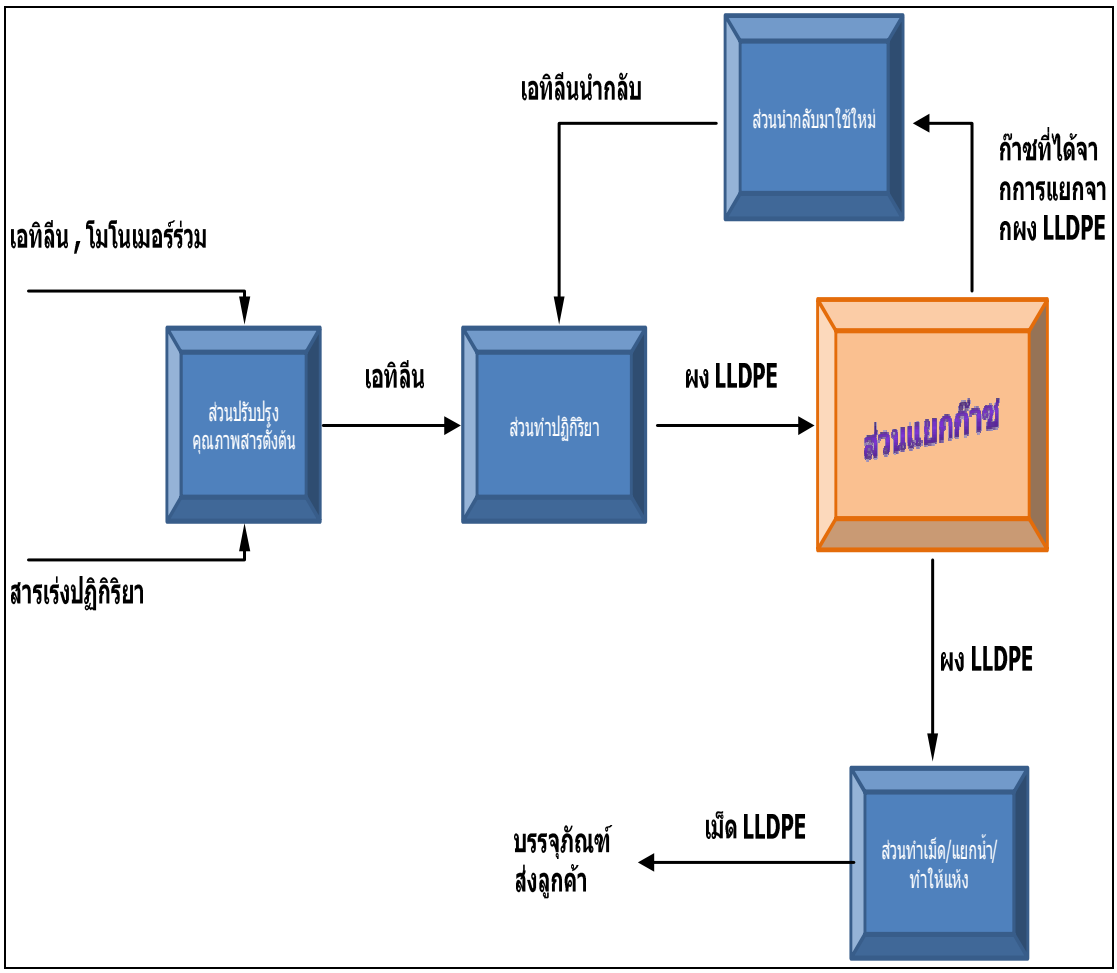
3) ส่วนแยกก๊าช และนำก๊าซกลับมาใช้ใหม่

- ส่วนแยกก๊าซ (Degassing Unit) ทำหน้าที่แยกก๊าซต่างๆ (เอทิลีนโมโนเมอร์ร่วม และ Induce Condensing Agent) ที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา และปะปนมากับผงโพลิเมอร์ ให้นำออกจากผงโพลิเมอร์
- โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวเป่าเพื่อแยกก๊าซต่างๆ ออกจากผงโพลิเมอร์ ก๊าซที่ได้จากส่วนแยกก๊าซ จะถูกส่งต่อไปยัง Vent Recovery Unit เพื่อควบแน่นโมโนเมอร์ร่วม และ Induce Condensing Agent และนำสารดังกล่าวกลับมาใช้ใหม่
- ส่วน Vent Recovery Unit มีจุดประสงค์เพื่อควบแน่นก๊าซที่เหลือจากการทำปฏิกิริยา (ที่ได้จากส่วนแยกก๊าซ) เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ในถังทำปฏิกิริยา Vent Recovery

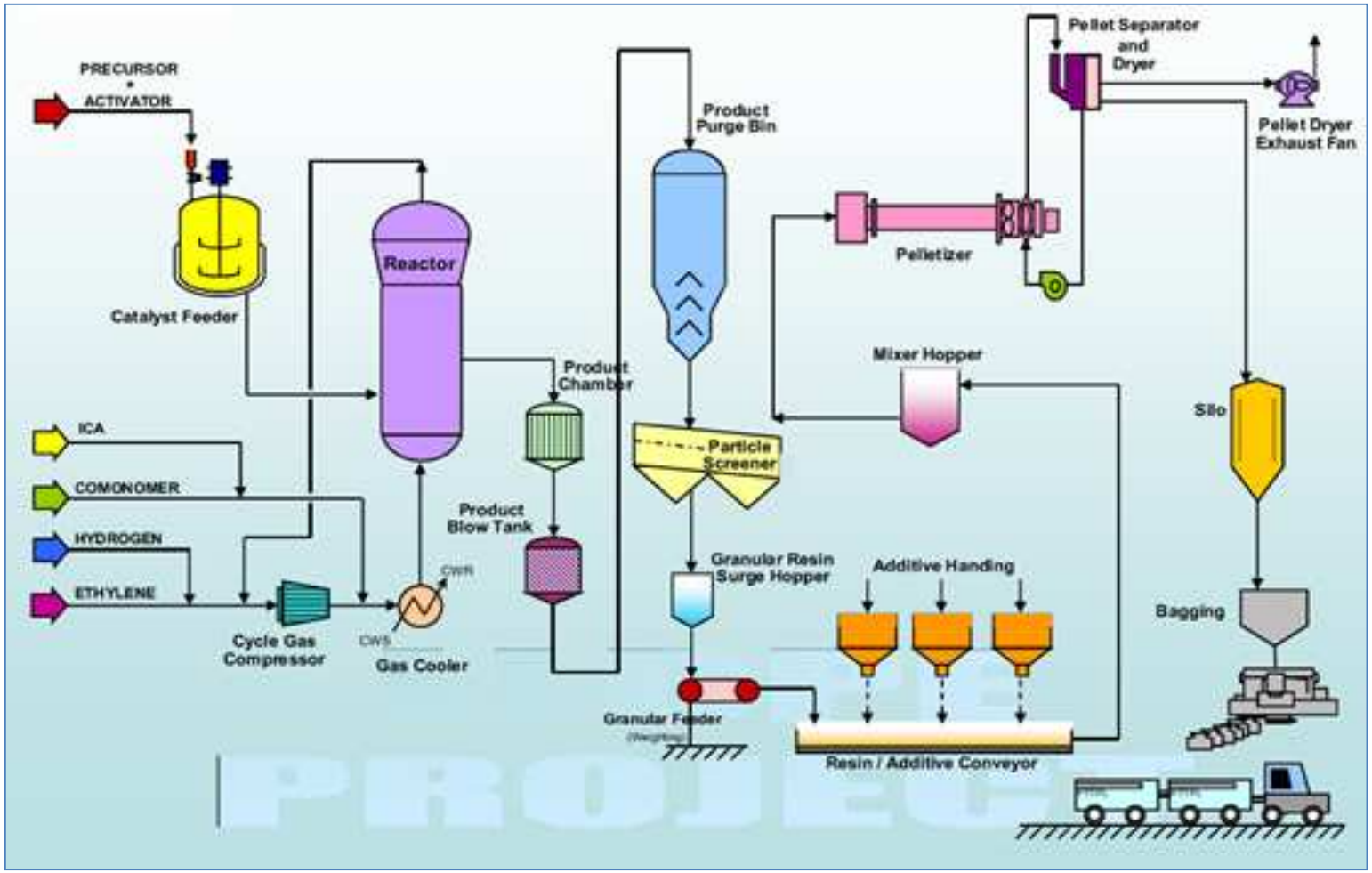
Unit มีประสิทธิภาพร้อยละ 93.4 สำหรับก๊าซส่วนที่ไม่สามารถควบแน่นได้ จะถูกส่งไปทำลายที่หอเผา (0.5 ตัน/ชม.)

4) ส่วนทำเม็ด

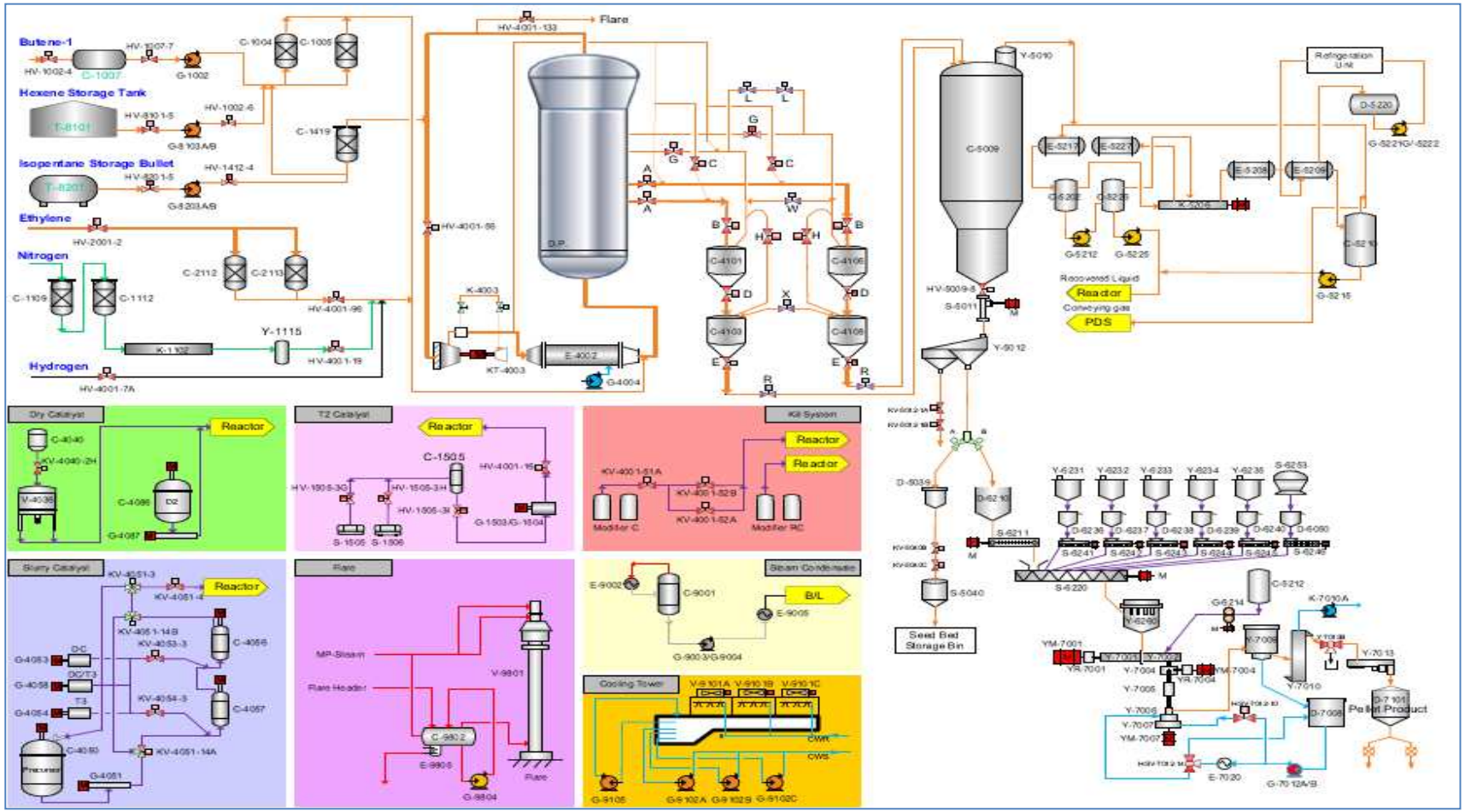
- นำผงโพลีเมอร์ที่ได้จากส่วนแยกก๊าซมาผสมกับสารเติมแต่งอัดรีดเป็นเส้นและตัดทำเม็ด
- เม็ดพลาสติกที่ได้ข้างต้นนำไปคัดแยกขนาด แยกน้ำ และทำแห้ง (เป่าอากาศ) ก่อนนำไปบรรจุถุงเพื่อรอการจำหน่ายต่อไป



รูปที่ 3.2 Block Diagram ขั้นตอนการผลิตของโรงงาน



รูปที่ 3.3 Simplified LLDPE PROCESS



รูปที่ 3.4 Overview Process of LLDPE

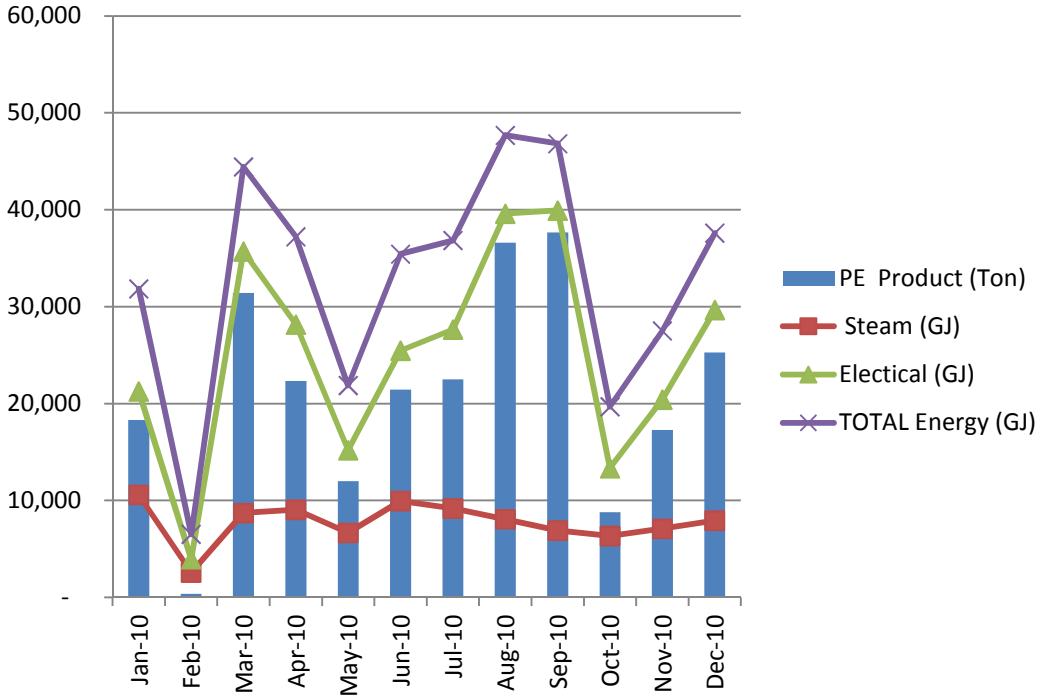
3.1.4) ข้อมูลและการวิเคราะห์ผลการใช้พลังงานของโรงงาน

โรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษามีการใช้พลังงานหลักๆในกระบวนการผลิตคือพลังงานไฟฟ้า (Power) และพลังงานไอน้ำ (Steam) โดยข้อมูลการใช้พลังงานประจำปี 2553 ที่เก็บรวบรวมเทียบกับผลผลิต และการวิเคราะห์และตีความข้อมูลการใช้พลังงาน แสดงดังนี้

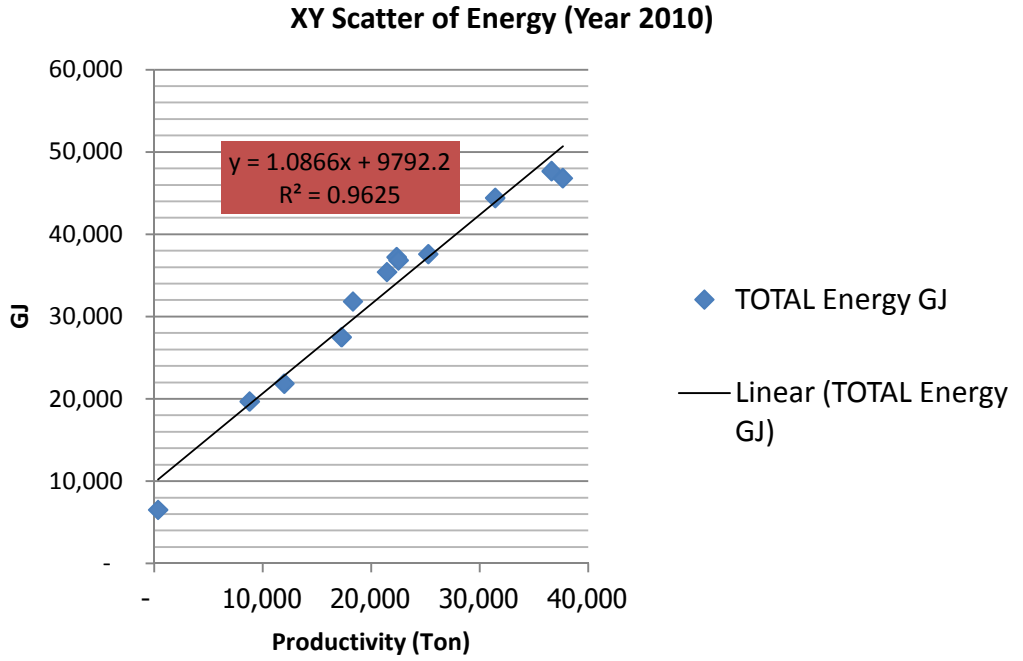
ตารางที่ 3.1 ข้อมูลการใช้พลังงานและผลผลิตประจำปี 2553 ของโรงงาน

Month	PE Product (Ton)	Electrical (MWH)	Steam (Ton)	Transfer unit to GJ		
				Steam (GJ)	Electrical (GJ)	TOTAL Energy (GJ)
January 2010	18,317	5,906	4,066	10,588	21,260	31,848
February 2010	362	1,097	989	2,575	3,948	6,523
March 2010	31,429	9,923	3,346	8,712	35,720	44,432
April 2010	22,345	7,823	3,481	9,065	28,161	37,226
May 2010	11,989	4,224	2,561	6,668	15,206	21,874
June 2010	21,449	7,076	3,824	9,957	25,470	35,427
July 2010	22,512	7,683	3,528	9,186	27,657	36,843
August 2010	36,611	11,003	3,102	8,077	39,606	47,683
September 2010	37,650	11,091	2,651	6,903	39,924	46,827
October 2010	8,800	3,707	2,436	6,342	13,344	19,686
November 2010	17,267	5,674	2,722	7,087	20,426	27,513
December 2010	25,258	8,244	3,044	7,927	29,674	37,601
Total	253,989	83,452	35,748	93,087	300,396	393,483
Average	21,166	6,954	2,979	7,757	25,033	32,790

จากข้อมูลการใช้พลังงานที่เก็บรวบรวมดังตารางที่ 3.1 สามารถนำมาแสดงความสัมพันธ์แบบอนุกรมเวลา (Time series analysis) เพื่อการเปรียบเทียบให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ใช้เทียบกับผลผลิต แสดงดังกราฟแท่งและกราฟเส้นรูปที่ 3.5 และแสดงความสัมพันธ์แบบกระจายตัว (XY Scatter) ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์แบบอนุกรมเวลาของการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ใช้เทียบกับผลผลิต



รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์แบบกระจายตัวของการเปลี่ยนแปลงของพลังงานที่ใช้เทียบกับผลผลิต

จากรูปที่ 3.5 ทำให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงานในแต่ละเดือนของปี 2553 ซึ่งจะเห็นเป็นปกติคือปริมาณการใช้พลังงานเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับปริมาณผลผลิตในแต่ละเดือน และเมื่อพิจารณารูปที่ 3.6 เป็นความสัมพันธ์แบบกระจายตัวของข้อมูลที่เก็บรวบรวม ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์แบบเชิงเส้นของค่า X (ผลผลิต) และค่า Y (พลังงานที่ใช้) ในปี 2553 คือ $Y=1.0866X+9702.2$ โดยมีค่าความแม่นยำของข้อมูล (R^2) เท่ากับ 0.96 ซึ่งเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ XY ตามสมการเชิงเส้นที่ได้จากการวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บรวบรวมแบบกระจายตัวนี้มีความแม่นยำน่าเชื่อถือได้ สามารถเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้พยากรณ์ค่าการใช้พลังงานที่ควรจะเป็น (Baseline) ได้เมื่อทราบปริมาณผลผลิตในแต่ละเดือนของปีถัดไป เนื่องจากค่า R^2 เป็นค่าที่บอกถึงความแม่นยำและน่าเชื่อถือของสมการว่าอยู่ในระดับใดอันเป็นผลมาจากข้อมูลที่เก็บด้วยว่ามีการเบี่ยงเบนมากน้อย หรือมีการเก็บข้อมูลได้ถูกต้องหรือไม่ โดยปกติค่า R^2 จะมีค่าระหว่าง 0 – 1 (น้อย – มาก) นั่นหมายถึงค่ายิ่งมาก การควบคุม การตั้งเป้าหมาย และการประเมินผลลัพธ์จะทำได้แม่นยำมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามค่ายิ่งน้อยความแม่ยำก็จะยิ่งลดลง

นอกจากนี้จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมตามตารางที่ 3.1 สามารถที่จะแสดงผลเป็นค่า SEC เพื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตของโรงงานตัวอย่างว่ามีภาพรวมเป็นอย่างไร แสดงค่า SEC ของข้อมูลการใช้พลังงานปี 2553 ได้ดังตารางที่ 3.2

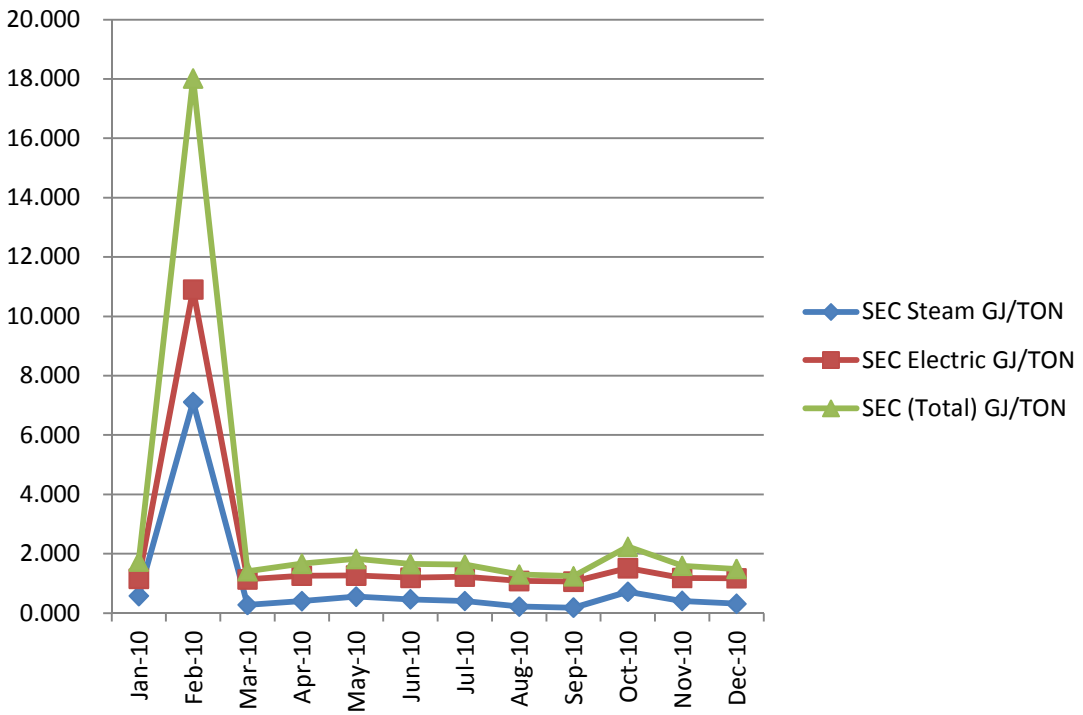
ตารางที่ 3.2 ค่า SEC ข้อมูลการใช้พลังงานประจำปี 2553 ของโรงงาน

Month	PE Product (Ton)	Steam (GJ)	Electrical (GJ)	TOTAL Energy (GJ)	SEC (Steam)	SEC (Electrical)	SEC (Total Energy)
January 2010	18,317	10,588	21,260	31,848	0.578	1.161	1.739
February 2010	362	2,575	3,948	6,523	7.113	10.905	18.018
March 2010	31,429	8,712	35,720	44,432	0.277	1.137	1.414
April 2010	22,345	9,065	28,161	37,226	0.406	1.260	1.666
May 2010	11,989	6,668	15,206	21,874	0.556	1.268	1.825
June 2010	21,449	9,957	25,470	35,427	0.464	1.187	1.652
July 2010	22,512	9,186	27,657	36,843	0.408	1.229	1.637
August 2010	36,611	8,077	39,606	47,683	0.221	1.082	1.302
September 2010	37,650	6,903	39,924	46,827	0.183	1.060	1.244

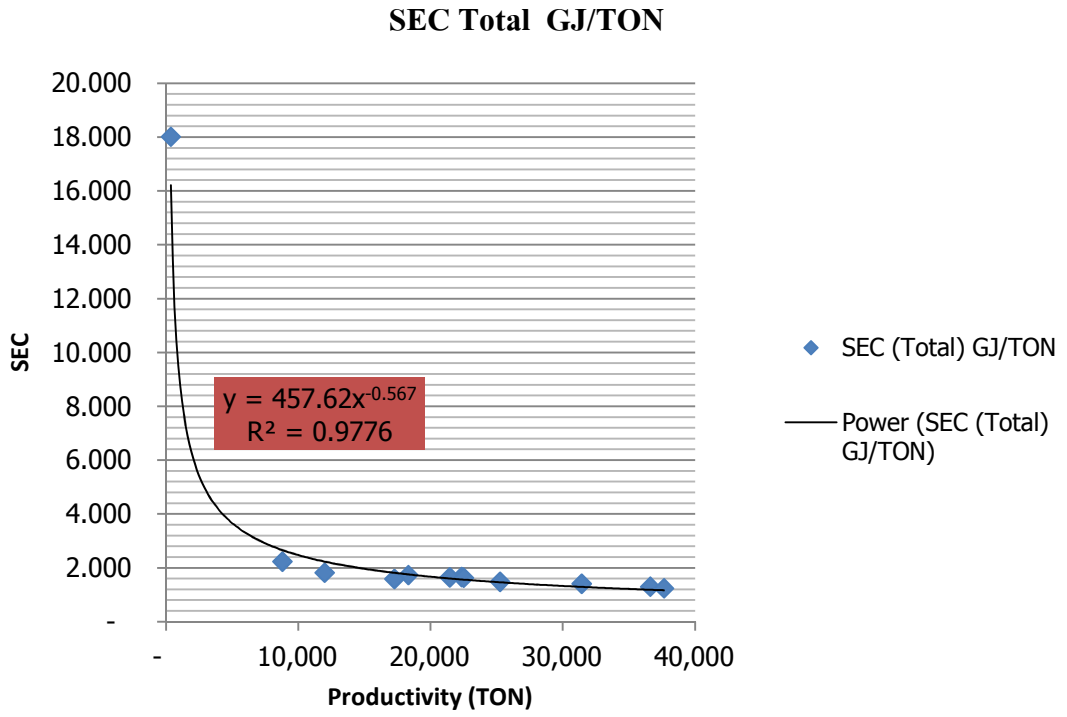
ตารางที่ 3.2 ค่า SEC ข้อมูลการใช้พลังงานประจำปี 2553 ของโรงงาน (ต่อ)

Month	PE Product (Ton)	Steam (GJ)	Electrical (GJ)	TOTAL Energy (GJ)	SEC (Steam)	SEC (Electrical)	SEC (Total Energy)
October 2010	8,800	6,342	13,344	19,686	0.721	1.516	2.237
November 2010	17,267	7,087	20,426	27,513	0.410	1.183	1.593
December 2010	25,258	7,927	29,674	37,601	0.314	1.175	1.489

จากข้อมูลค่า SECดังตารางที่ 3.2 สามารถนำมาแสดงความสัมพันธ์แบบอนุกรมเวลา (Time series analysis) เพื่อการเปรียบเทียบให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของค่า SEC แสดงความสัมพันธ์แบบอนุกรมเวลาดังรูปที่ 3.7 และแสดงความสัมพันธ์แบบกระจายตัว (XY Scatter) ดังรูปที่ 3.8



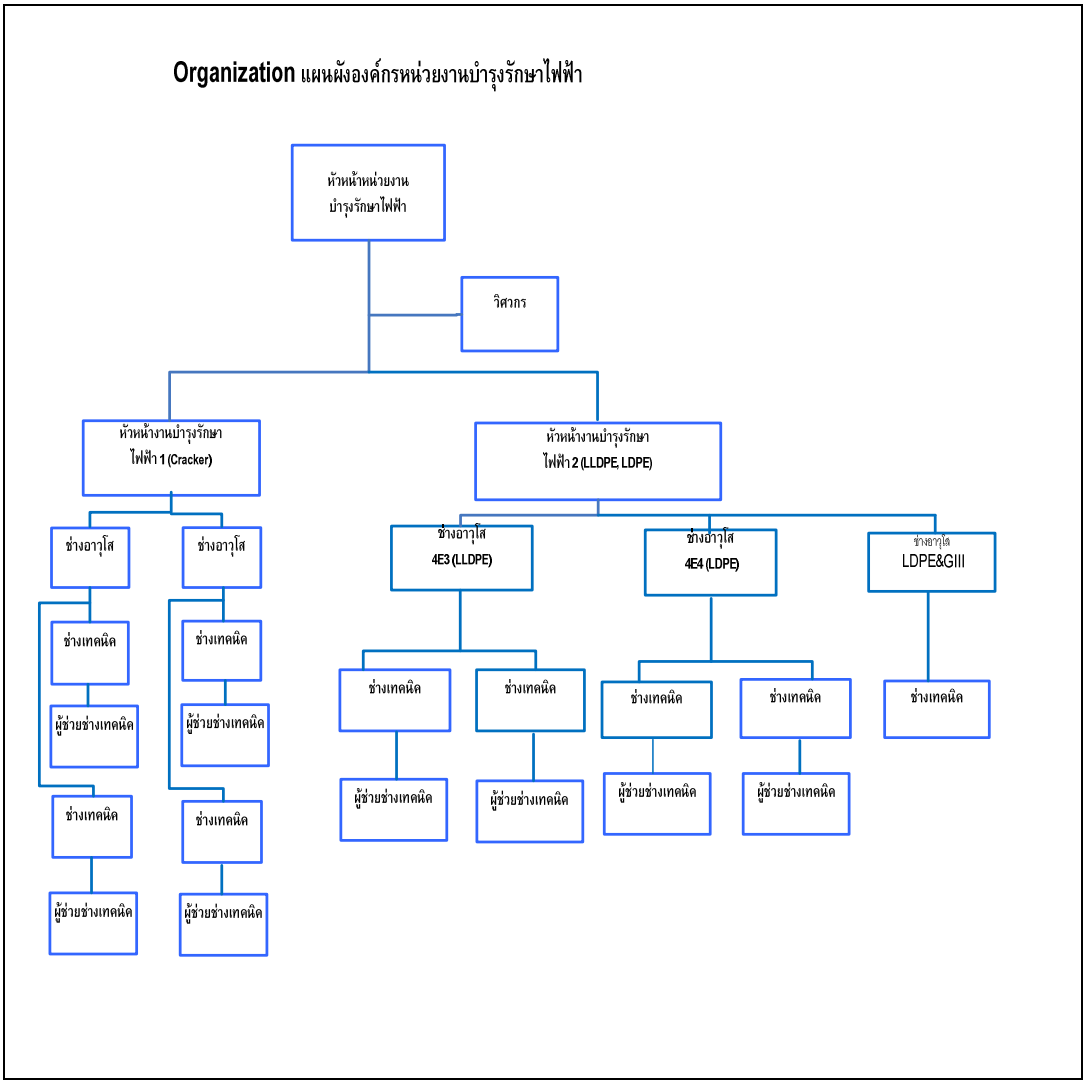
รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์แบบอนุกรมเวลาของการเปลี่ยนแปลงค่า SEC



รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์แบบกระจายตัวของการเปลี่ยนแปลงค่า SEC

3.1.5) โครงสร้างองค์กรของหน่วยงานบำรุงรักษาไฟฟ้า

นอกเหนือไปจากโครงสร้างองค์กรที่ได้นำเสนอไปในข้อ 3.1.2) ดังรูปที่ 3.1 ในส่วนงานบำรุงรักษายังได้มีการจัดแบ่งส่วนงานสนับสนุนในแต่ละส่วนงานโดยแยกเป็นส่วนงานบำรุงรักษาเครื่องจักรกล ส่วนงานบำรุงรักษาเครื่องมือวัด และส่วนงานบำรุงรักษาไฟฟ้า ซึ่งส่วนงานสนับสนุนนี้จะมีหน้าที่รับผิดชอบดูแลงานบำรุงรักษาทั้งหมดในกิจกรรมงานบำรุงรักษาเพื่อสนับสนุน Plant Reliability เป็นวัตถุประสงค์หลัก พร้อมทั้งให้บรรลุประสิทธิภาพด้านต้นทุนและความสามารถบำรุงรักษาด้วยเช่นกัน โดยตามขอบข่ายงานวิจัยนี้ที่จะศึกษาตัวอย่างงานบำรุงรักษาไฟฟ้า จึงได้ศึกษาโครงสร้างองค์กรของงานบำรุงรักษาไฟฟ้า ซึ่งมีลักษณะการจัดองค์กรแบบผสมระหว่างการจัดองค์กรแบบตามหน้าที่ (Function) และแบบตามพื้นที่ (Area) โดยมีจำนวนพนักงานซ่อมบำรุงรักษาไฟฟ้าทั้งหมด 26 คนแบ่งออกเป็น 2 แผนกและรับผิดชอบงานตามพื้นที่ และหน้าที่โครงสร้างองค์กรบำรุงรักษาแสดงไว้ในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 โครงสร้างองค์กรบำรุงรักษาไฟฟ้าของโรงงาน

3.1.6) ข้อมูลเครื่องจักรและระบบไฟฟ้า

โรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษามีจำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้า 1,087 เครื่อง ซึ่งแยกตามประเภทอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยกำหนดเป็น EQUIPMENT TYPE และใช้รหัสแทนเรียกว่า OBJECT TYPE แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 3.3

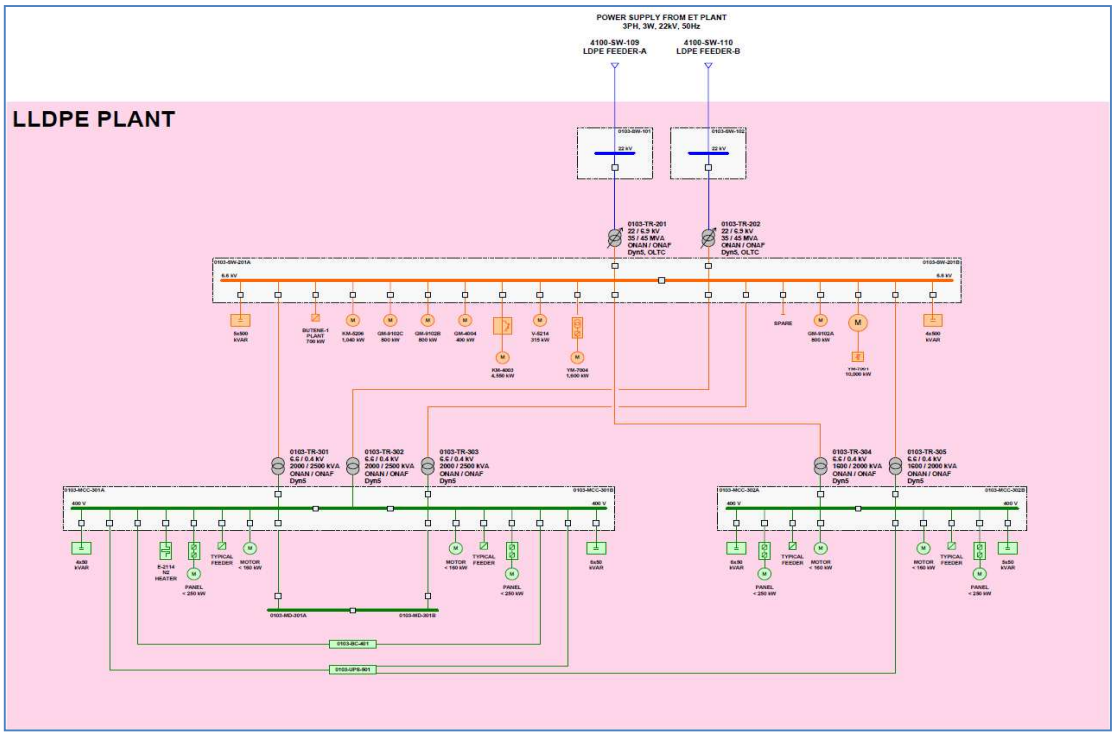
ตารางที่ 3.3 จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แบ่งตามประเภทต่างๆของอุปกรณ์ไฟฟ้า

OBJECT TYPE	EQUIPMENT TYPE	COUNT OF EQUIPMENT
ELSWLV	< 600 V SWITCHGEAR	159
SFIGFM	FM-200	118
ELMTMB	< 600 V INDUCTION MOTOR	114
ELLCSS	LOCAL SWITCH STATION	92
FASVIC	SERVICEFAC-INTERCOM	88
FASVFA	SERVICEFAC-FIRE ALARM	62
FASVLN	SERVICEFAC-LIGHTNING	53
FASVGR	SERVICEFAC-GROUNDING	43
ELSWMV	22, 6.6 kV SWITCHGEAR	31
ELELEL	EMERGENCY LAMPS	30
FASVCC	SERVICEFAC-CCTV	23
ELFCNS	CONVERTERS&VSD	17
ELEPCP	CONTROL PANEL	16
ELMTMA	6.6 KV INDUCTION MOTOR	15
FALFCR	CRANE	12
ELELLP	LIGHTING PANELS	11
FASVCT	SERVICEFAC-CATHODIC PROTECTION	10
ELSWBD	SWITCHGEAR-BUS-DUCT	7
ELTROT	TRANSFORMER-OILTYPE	7
ELOHCA	CAPACITORS (DETUNED FILTER)	6
ELOHEH	ELECTRIC HEATERS	6
ELMTMC	DC. MOTORS	6
FALFHO	HOIST	6
ELBABT	BATTERY BANK	4
ELRPIP	INTERPOSING RELAY PANEL	4
FALFEL	ELEVETOR	3

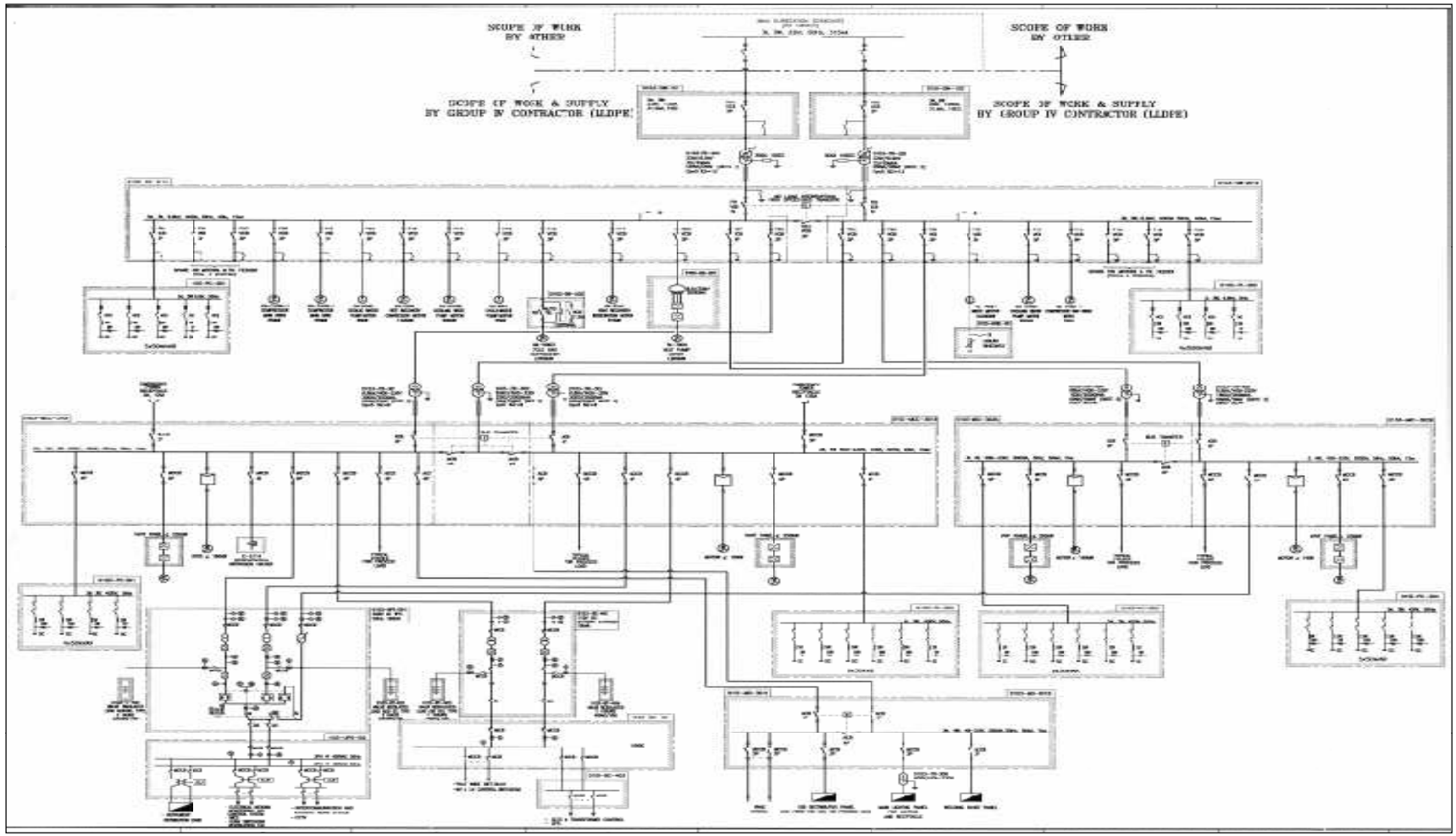
ตารางที่ 3.3 จำนวนอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แบ่งตามประเภทต่างๆของอุปกรณ์ไฟฟ้า (ต่อ)

OBJECT TYPE	EQUIPMENT TYPE	COUNT OF EQUIPMENT
ELUPPS	UPS	2
ELGRNG	NEUTRAL GROUNDING RESISTOR	2
ELALMP	LOCAL FAILURE MONITORING ALARM PANEL	2
ELTRDT	TRANSFORMER-DRYTYPE	2
ELRCDR	DIGITAL FAULT RECODER	1
ELUPBC	BATTERY CHARGERS	2
	Grand Total	954

โรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษามีการออกแบบระบบไฟฟ้าโดยมี SIMPLIFY SINGLE LINE DIAGRAM ระบบจ่ายไฟฟ้าแสดงไว้ในรูปที่ 3.10 และ SINGLE LINE DIAGRAM ระบบจ่ายไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.11 โดยรับไฟฟ้าในระบบ 22 kV.จาก Power Plant ในกลุ่มโรงงาน



รูปที่ 3.10 SIMPLIFY SINGLE LINE DIAGRAM ระบบจ่ายไฟฟ้าของโรงงาน



รูปที่ 3.11 SINGLE LINE DIAGRAM ของระบบไฟฟ้าโรงงาน

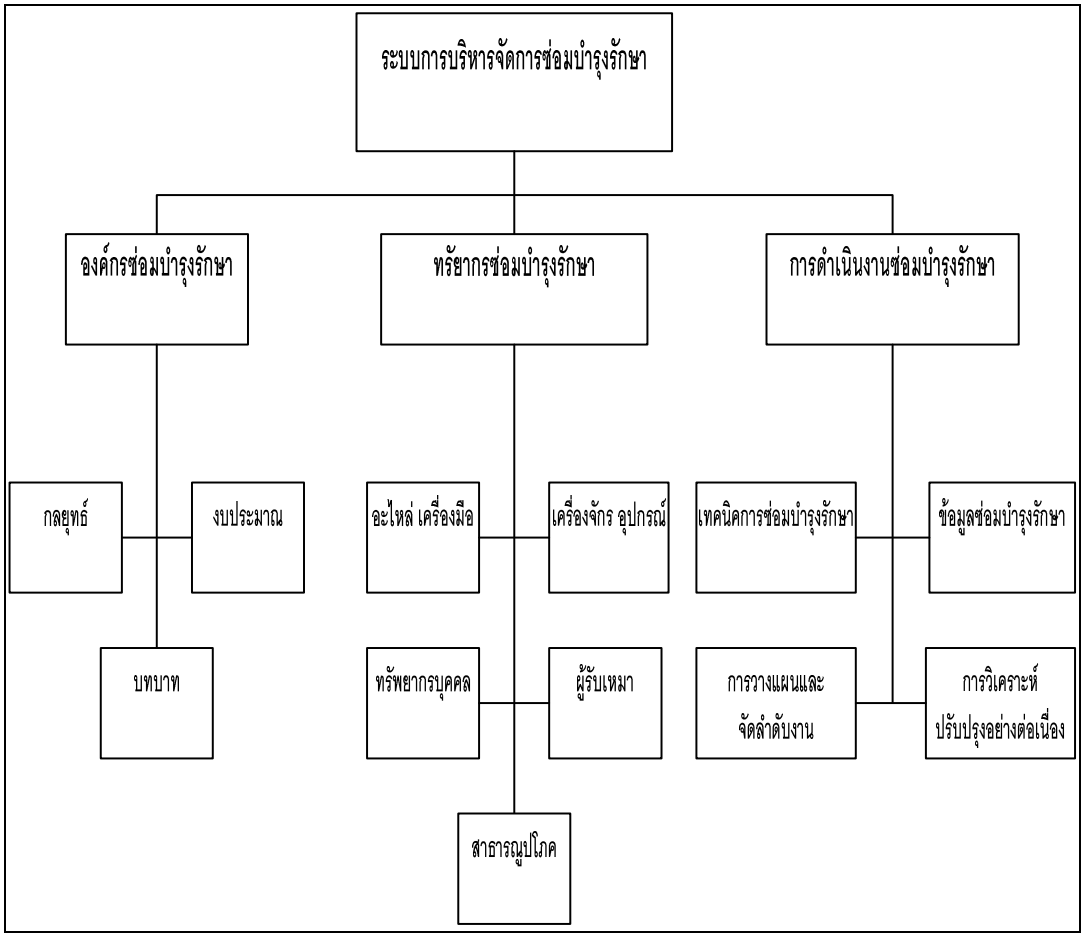
3.1.7) ข้อมูลระบบการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาไฟฟ้า

โครงสร้างระบบบริหารจัดการงานบำรุงรักษาไฟฟ้าของโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษาแบ่งระบบบริหารจัดการออกเป็น 3 องค์ประกอบหลัก คือ

1) การบริหารจัดการเกี่ยวกับองค์กรบำรุงรักษาไฟฟ้าซึ่งเป็นเรื่องการจัดการเกี่ยวกับองค์กรบำรุงรักษาที่ประกอบด้วยกลยุทธ์ในการจัดการระบบ การกำหนดภารกิจหลัก การกำหนดวัตถุประสงค์และเป้าหมายตลอดจนนโยบายขององค์กรบำรุงรักษารวมทั้งบทบาทรับผิดชอบของหน่วยงานบำรุงรักษาไฟฟ้าที่มีต่อองค์กร ตลอดจนการพิจารณาจัดการด้านงบประมาณซ่อมบำรุงรักษาเพื่อให้เพียงพอต่อการบริหารจัดการองค์กรและสามารถควบคุมการใช้งบประมาณในงานบำรุงรักษา

2) การบริหารจัดการเกี่ยวกับทรัพยากรบำรุงรักษาไฟฟ้าซึ่งเป็นเรื่องเกี่ยวกับการจัดสรรทรัพยากรให้สามารถจัดหาได้ (Availability) ในเวลาและปริมาณที่เหมาะสม ประกอบด้วย การจัดการอะไหล่สำรอง (Spare part) เครื่องมือที่ใช้ในการบำรุงรักษา (Tools) การจัดการเครื่องจักรในกระบวนการผลิต (Machine) การจัดการด้านทรัพยากรบุคคลทั้งในส่วนของพนักงานบำรุงรักษาและผู้รับเหมา (Manpower) และการจัดการระบบสาธารณูปโภคและสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆในการดำเนินงานบำรุงรักษา (Facility)

3) การบริหารจัดการด้านการดำเนินงานบำรุงรักษาไฟฟ้าซึ่งประกอบด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคงานบำรุงรักษา (Implement Maintenance Technics) การจัดการข้อมูลบำรุงรักษา (Maintenance Information Management) การวางแผนและจัดลำดับงานบำรุงรักษา (Maintenance Planning and Scheduling) และการดำเนินงานการวิเคราะห์และปรับปรุงระบบ (Maintenance Analysis and Improvement) ระบบบริหารจัดการบำรุงรักษาของโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษาจะแสดงรายละเอียดไว้ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 โครงสร้างการบริหารจัดการงานบำรุงรักษาของโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษา

นอกจากการบริหารจัดการจะแบ่งได้ตาม 3 องค์ประกอบหลักที่กล่าวข้างต้นแล้ว จากการศึกษาการดำเนินงานในส่วนของการบำรุงรักษาไฟฟ้าสามารถสรุปรายละเอียดการดำเนินงานได้ 5 ประการ ดังนี้

1) การจัดองค์กรบำรุงรักษาไฟฟ้าได้จัดหน่วยงานเป็นลักษณะแบบผสมระหว่างการจัดการองค์กรตามหน้าที่ (Function) และการจัดการองค์กรตามพื้นที่ (Area) ซึ่งเป็นการนำเอาข้อดีของทั้ง 2 รูปแบบมาผสมผสานกันคือแบ่งตามลักษณะของประเภทงานโดยดูจากความสามารถ ประสบการณ์ ตามวิชาชีพและคุณวุฒิเป็นหลัก รวมทั้งได้มีการจัดแบ่งตามพื้นที่ที่หน่วยงานบำรุงรักษาให้บริการเพื่อความคล่องตัวของการเข้าไปดำเนินงานบำรุงรักษา

2) การวางแผนบำรุงรักษาไฟฟ้าได้มีการจัดเตรียมข้อมูลต่างๆในการวางแผนบำรุงรักษาประกอบด้วย

a) อัตรากำลังคน จำนวนผู้ปฏิบัติงานทั้งหมด ระดับพื้นฐานความรู้ ประสบการณ์ ความสามารถ ความชำนาญพิเศษ รวมถึงแหล่งที่จะจัดหาผู้รับเหมาในการดำเนินการ

b) ประวัติและข้อมูลของเครื่อง ได้แก่ ชนิด ประเภท ผู้จำหน่าย ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง และประวัติการบำรุงรักษา

c) ประเภทของเครื่องที่จะต้องบำรุงรักษาตามประเภทและวิธีของการบำรุงรักษา

d) ความถี่ในการบำรุงรักษาและเวลาที่ต้องใช้ในการบำรุงรักษา

e) เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่จะต้องใช้ในงานบำรุงรักษา

f) ชนิดและจำนวนอะไหล่ที่ต้องใช้

3) การดำเนินการและการประเมินผลการบำรุงรักษาไฟฟ้า หน่วยงานบำรุงรักษาไฟฟ้าจะมีการดำเนินงานบำรุงรักษาตามขั้นตอนตามที่มีการจัดทำขึ้นและสื่อสารกันให้เข้าใจในหน่วยงาน โดยมีการจัดทำเป็นแบบแผนการดำเนินงานตามประเภทของงานบำรุงรักษาที่จำเป็นต้องมีซึ่งในการปฏิบัติงานจะมีการสั่งงานทางระบบ CMMS (COMPUTERIZED MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM)โดยงานในส่วนนี้ถือว่าเป็นงานที่ประเมินและวิเคราะห์งานโดยสายงานบำรุงรักษา แต่ในส่วนที่เป็นประเภทการแก้ไขตามอาการหรือการซ่อมเมื่อชำรุดจะแก้ไขตามอาการโดยประวัติและวิธีการบำรุงรักษาจะทำบันทึกเป็นการวิเคราะห์การตรวจสอบแก้ไขส่งให้ทางหน่วยผลิตพิจารณารวมทั้งทางหน่วยงานบำรุงรักษาก็จะทำการเก็บประวัติไว้ในระบบ CMMS เช่นเดียวกัน นอกจากนี้การประเมินผลงานบำรุงรักษาจะมีการสรุปข้อมูลเป็น KPI (KEY PERFORMANCE INDEX) ตาม SLA (SERVICE LEVEL AGREEMENT) ที่ได้มีการตกลงกันไว้เพื่อสรุปการส่งมอบงานทุกเดือน

4) การควบคุมการดำเนินงานบำรุงรักษาไฟฟ้า จากการศึกษาพบว่า หน่วยงานบำรุงรักษาไฟฟ้ามีขั้นตอนดำเนินงานเพื่อควบคุมงานบำรุงรักษา ดังนี้

a) ใช้ระบบสั่งงานและรายงานผลผ่านทางระบบ CMMS และการรายงานเบื้องต้นด้วยวาจา

b) มีการวางแผนงาน ได้แก่ การวางแผนงานประจำวัน แผนงานประจำสัปดาห์ และแผนงานประจำเดือน โดยในงานส่วนใหญ่ที่เป็นประเภทงานที่วางแผนการดำเนินงานล่วงหน้าได้ เช่น งานประเภทบำรุงรักษาเชิงป้องกัน จะมีฐานข้อมูลในระบบ CMMS พนักงานซ่อมบำรุงจะมีหน้าที่ตาม Function ในการตรวจสอบข้อมูลและดำเนินการจัดการข้อมูลในระบบ รวมทั้งมีความพยายามที่จะดำเนินการเพื่อให้เป็นไปตามแผนที่ตกลงกันไว้

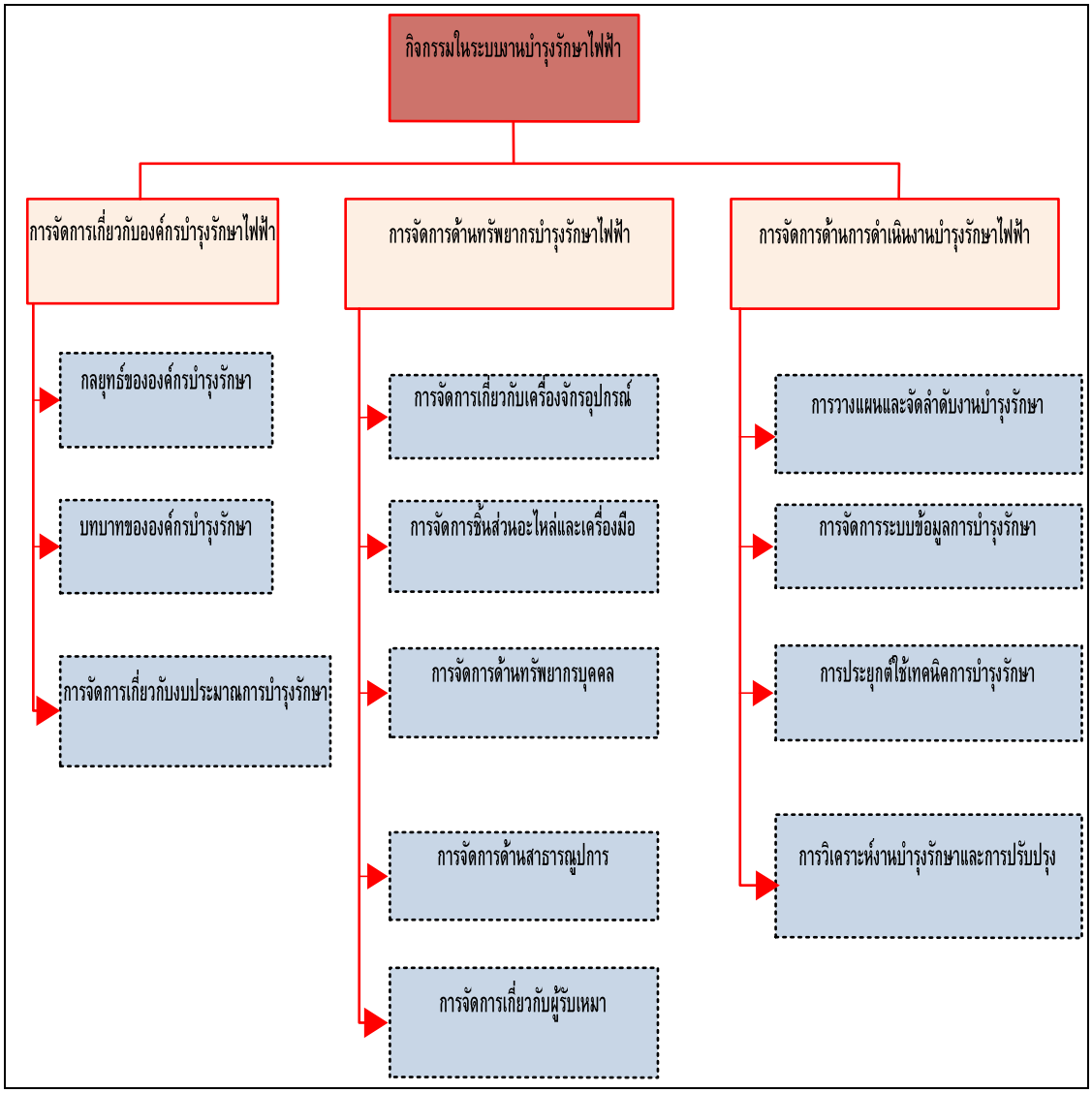
c) มีการควบคุมจำนวนช่างหรือผู้ปฏิบัติงาน โดยพิจารณาถึงความเหมาะสมของจำนวนผู้ปฏิบัติงานกับลักษณะงานแต่ละประเภทตามที่ได้จัดเตรียมไว้ในระบบ CMMS

d) มีการควบคุมอะไหล่สำรอง โดยจัดระดับความสำคัญของชิ้นอะไหล่โดยใช้หลักการ ABC Analysis มากำหนดความสำคัญและกำหนดจุดสั่งซื้อ

e) มีการวางแผนงบประมาณและควบคุมการใช้งบประมาณในงานบำรุงรักษา

f) มีขั้นตอนดำเนินงานตามประเภทของงานที่ชัดเจนเพื่อดำเนินการในระบบ CMMS

5) กิจกรรมบำรุงรักษาไฟฟ้าแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ กิจกรรมเกี่ยวกับการจัดองค์กรบำรุงรักษา กิจกรรมเกี่ยวกับการจัดการด้านทรัพยากรบำรุงรักษา กิจกรรมด้านการดำเนินงานบำรุงรักษาไฟฟ้าแต่ละส่วนมีรายละเอียดกิจกรรม แสดงดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 กิจกรรมต่างๆในงานบำรุงรักษา

โดยจากกิจกรรมบำรุงรักษาไฟฟ้าที่สรุปไว้ดังแสดงในรูปที่ 3.13 นั้น กิจกรรมด้านการดำเนินงานบำรุงรักษาได้แก่ กิจกรรมด้านการวางแผนและจัดลำดับงานบำรุงรักษา กิจกรรมการจัดการระบบข้อมูลการบำรุงรักษา กิจกรรมบำรุงรักษาอันเป็นผลมาจากการประยุกต์ใช้เทคนิคการบำรุงรักษา และกิจกรรมการวิเคราะห์งานบำรุงรักษาและการปรับปรุง ทั้งหมดนี้ผลการดำเนินกิจกรรมจะเกี่ยวข้องกับเวลาในการปฏิบัติงานบำรุงรักษาค่อนข้างมาก เนื่องจากกิจกรรมดังกล่าวเปรียบเสมือนกระบวนการหลักของงานบำรุงรักษา สำหรับโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษานี้จะมีหลักการดำเนินงานในกิจกรรมด้านการดำเนินงานบำรุงรักษาไฟฟ้า ดังนี้

1) การดำเนินการด้านการวางแผนงานบำรุงรักษาไฟฟ้า

a) จากการศึกษาพบว่าหน่วยงานบำรุงรักษาไฟฟ้าของโรงงานมีการกำหนดวัตถุประสงค์หลักของการวางแผนบำรุงรักษา และมีการวางแนวทางการทำงานไว้อย่างกว้างๆ เพื่อให้สามารถมองเห็นแนวทางการทำงานว่าสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ตามที่ตั้งไว้

b) จากการศึกษาพบว่าหน่วยงานบำรุงรักษาไฟฟ้าของโรงงานมีการการคำนวณการใช้ทรัพยากรต่างๆในงานบำรุงรักษา รวมไปกับหน่วยงานบำรุงรักษาทุกหน่วยงาน ได้แก่ ทรัพยากรบุคคลหรือ Man power ในงาน ทรัพยากรการใช้เครื่องมือในงานบำรุงรักษา การใช้ทรัพยากรชิ้นส่วนอะไหล่ งบประมาณและระยะเวลาการดำเนินงาน

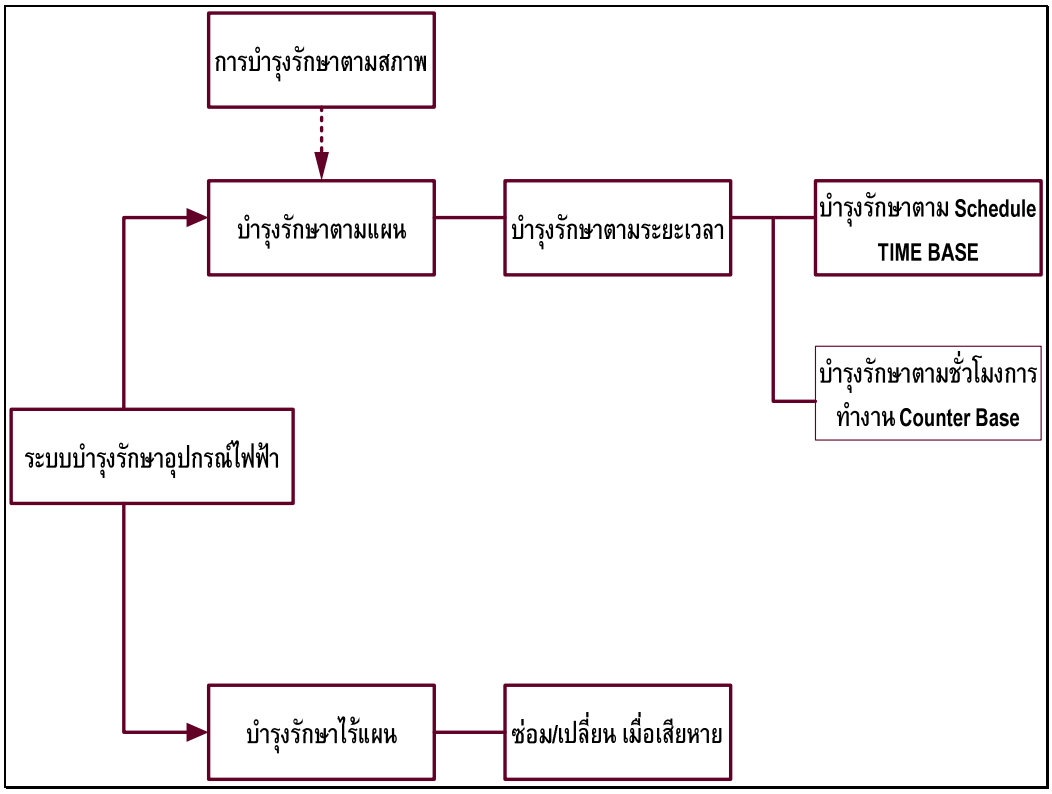
c) จากการศึกษาพบว่าหน่วยงานบำรุงรักษาไฟฟ้าของโรงงานมีการเตรียมแผนการปฏิบัติงานไว้เฉพาะงานที่ต้องใช้ความชำนาญพิเศษในการปฏิบัติงาน ไม่ได้คลอบคลุมงาน/กิจกรรมในงานบำรุงรักษาไฟฟ้าไว้ทั้งหมด

d) จากการศึกษาพบว่าหน่วยงานบำรุงรักษาไฟฟ้าของโรงงานมีการเตรียมแผนผังการไหลของงานในแต่ละกิจกรรมไว้อย่างกว้างๆ ไม่มีรายละเอียดในขั้นตอนงานที่ชัดเจนในการปฏิบัติงานและมีการปฏิบัติงานที่ซ้ำซ้อนในขั้นตอนการทำงาน

2) การจัดลำดับงานบำรุงรักษาไฟฟ้า ทางหน่วยงานบำรุงรักษาไฟฟ้าของโรงงานมีการจัดแบ่ง Class ของอุปกรณ์ที่มีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตและความปลอดภัยเป็น Class A B C โดยมีผู้พิจารณาร่วมกันระหว่างฝ่ายผลิต ฝ่ายบำรุงรักษา ฝ่ายเทคนิคการผลิต และฝ่ายความปลอดภัย โดยใช้เกณฑ์การแบ่งที่พิจารณาทั้งทางด้าน Specification Safety ทางด้าน Productivity และทางด้านกฎหมายมาเป็นเกณฑ์ กล่าวโดยสรุปคือ อุปกรณ์ที่เป็น Class A จะมีผลกระทบมากที่สุดในเกณฑ์การแบ่งทุกด้านที่กล่าวมา และ อุปกรณ์ Class B และอุปกรณ์ Class C จะมีผลกระทบลดหลั่นลงมาตามลำดับ

3) การจัดการระบบข้อมูลบำรุงรักษา ทางหน่วยงานบำรุงรักษาไฟฟ้าของโรงงานมีการใช้ CMMS โดยเป็นโปรแกรมชื่อ SAP ในการจัดการข้อมูลงานบำรุงรักษาทั้งหมด

4) การประยุกต์ใช้เทคนิคบำรุงรักษา ทางหน่วยงานบำรุงรักษาไฟฟ้ามีการใช้เทคนิคบำรุงรักษาโดยวางแผนประเภทงานบำรุงรักษาไว้ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 ระบบบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าของโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษา

จากข้อมูลการศึกษาโครงสร้างและกิจกรรมการดำเนินงานในระบบงานบำรุงรักษาไฟฟ้าโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษาข้างต้น จะสามารถนำมาเป็นข้อมูลในการพิจารณาสภาพปัญหาที่เกิดขึ้นในงานบำรุงรักษาแล้วส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตได้ โดยเมื่อสังเคราะห์เป็นข้อมูลด้าน วิธีการบำรุงรักษา เวลาในการบำรุงรักษาแผนงานบำรุงรักษา จะได้ข้อมูลเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุเพื่อแนวทางปรับปรุงและเก็บข้อมูลแสดงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่ตรวจติดตามเป็นข้อมูลก่อนการปรับปรุง ซึ่งจะได้นำเสนอในหัวข้อต่อไป

3.2 ปัญหาและการเก็บรวบรวมข้อมูล

จากการสังเคราะห์ข้อมูลบำรุงรักษาสำหรับงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน จะได้ข้อมูลด้านระยะเวลาบำรุงรักษาตามชนิดอุปกรณ์ เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงานบำรุงรักษา ในแผนงานบำรุงรักษาดังตารางที่ ก.1 ในภาคผนวก ก ซึ่งจะแสดงเวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษาสำหรับงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันตามชนิดอุปกรณ์และแผนงานที่ดำเนินการในปัจจุบัน และโดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้มุ่งสนใจปรับปรุงงานบำรุงรักษาโดยลดเวลาปฏิบัติงานบำรุงรักษาที่เกิดขึ้นทั้งหมดทั้งประเภทงาน

บำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) และงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Corrective Maintenance) และงานบำรุงรักษาเมื่อเสียหาย (Breakdown Maintenance) เพื่อพิจารณาความสัมพันธ์กับการวัดประสิทธิภาพด้านพลังงานโดยใช้ค่า SEC ซึ่งจะนำมาซึ่งการระบุปัญหาวิเคราะห์หาสาเหตุรวมทั้งแนวทางแก้ไขปรับปรุงต่อไป ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เก็บรวบรวมข้อมูลก่อนการปรับปรุงได้แก่ เวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษาที่แสดงเป็นชั่วโมงทำงานในงานบำรุงรักษา (Man Hour) และค่า SEC รวมถึงตัวแปรตัวแปรต่างๆที่สนใจตรวจติดตามผล คือ ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในงานบำรุงรักษา และ Plant Reliability ซึ่งจะเก็บข้อมูลในเดือน กุมภาพันธ์ 2553 มีนาคม2553 และเมษายน 2553 ผลการเก็บข้อมูล แยกตามตัวแปรที่สนใจตรวจติดตามแสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3.4 การเก็บข้อมูลเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2553 ประเภทงาน Preventive Maintenance

รายการงานบำรุงรักษา	Work/Month	ค่าบำรุงรักษาต่อชั่วโมงตามระดับแรงงาน (บาท)				Time (Hr)	Total Time (Hrs)	Maintenance Cost (Baht)
		A	B	C	D			
กุมภาพันธ์ 2553		1045.06	723.52	606.53	430.7			
1M-DC CHARGER INSPECTION	2			1	1	1	2	2,074.46
1M-ELEVATOR INSPECTION	4			1	1	1	4	4,148.92
1M- FIRE ALARM INSPECTION	1			1	1	1	1	1,037.23
1M-INSPECTION BATTERY	4			1	1	1	4	4,148.92
1M-INSPECTION UPS	2			1	1	1	2	2,074.46

ตารางที่ 3.4 การเก็บข้อมูลเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2553 ประเภทงาน Preventive Maintenance (ต่อ)

รายการงานบำรุงรักษา	Work/ Month	ค่าบำรุงรักษาต่อชั่วโมงตามระดับแรงงาน (บาท)				Time (Hr)	Total Time (Hrs)	Maintenance Cost (Baht)
		A	B	C	D			
กุมภาพันธ์ 2553		1045.06	723.52	606.53	430.7			
2M - CATHODIC INSPECTION	8			1	1	1	8	8,297.84
2M-EMER. LIGHTING INSPECTION	5			1	1	0.5	2.5	2,593.08
3M-DC MOTOR INSPECTION	2			1	1	1	2	2,074.46
3M-DC MOTOR INSPECTION	1			1	1	2	2	2,074.46
3M-HIGH VOLTAGE MOTOR INSPECTION	5			1	1	1	5	5,186.15
3M-HIGH VOLTAGE MOTOR INSPECTION	2			1	1	2	4	4,148.92
3M-LOW VOLTAGE MOTOR INSPECTION	30			1	1	1	30	31,116.90
3M-LOW VOLTAGE MOTOR INSPECTION	4			1	1	1.5	6	6,223.38
Total Maintenance Cost							**72.5**	**75,199.18**

ตารางที่ 3.5 การเก็บข้อมูลเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ประจำเดือน มีนาคม 2553 ประเภทงาน Preventive Maintenance

รายการงานบำรุงรักษา	Work/ Month	ค่าบำรุงรักษาต่อชั่วโมงตามระดับแรงงาน (บาท)				Time (Hr)	Total Time (Hrs)	Maintenance Cost (Baht)
		A	B	C	D			
มีนาคม 2553		1045.06	723.52	606.53	430.7			
1M-DC CHARGER INSPECTION	2			1	1	1	2	2,074.46
1M-ELEVATOR INSPECTION	2			1	1	1	2	2,074.46
1M-ELEVATOR INSPECTION	1			1	1	2	2	2,074.46
1M-FIRE ALARM INSPECTION	1			1	1	1	1	1,037.23
1M-INSPECTION BATTERY	4			1	1	1	4	4,148.92
1M-INSPECTION UPS	2			1	1	1	2	2,074.46
2M - CATHODIC INSPECTION	2			1	1	1	2	2,074.46
2M-EMERGENCY LIGHTING INSPECTION	10			1	1	0.5	5	5,186.15
2M-INSPECTION CATHODIC PANEL	1			1	1	1	1	1,037.23
3M-HIGH VOLTAGE MOTOR INS.	4			1	1	2	8	8,297.84

ตารางที่ 3.5 การเก็บข้อมูลเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ประจำเดือน มีนาคม 2553 ประเภทงาน Preventive Maintenance (ต่อ)

รายการงานบำรุงรักษา	Work/ Month	ค่าบำรุงรักษาต่อชั่วโมงตามระดับแรงงาน (บาท)				Time (Hr)	Total Time (Hrs)	Maintenance Cost (Baht)
		A	B	C	D			
มีนาคม 2553		1045.06	723.52	606.53	430.7			
3M-LOW VOLTAGE MOTOR INSPECTION	23			1	1	1	23	23,856.29
3M-LOW VOLTAGE MOTOR INSPECTION	1			1	1	5	5	5,186.15
3M-LOW VOLTAGE MOTOR INSPECTION	1			1	1	3	3	3,111.69
3M-TRANSFORMER GENERAL INSPECTION	1			1	1	1	1	1,037.23
Total Maintenance Cost							**61**	**63,271.03**

ตารางที่ 3.6 การเก็บข้อมูลเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ประจำเดือน เมษายน 2553 ประเภทงาน Preventive Maintenance

รายการงานบำรุงรักษา	Work/ Month	ค่าบำรุงรักษาต่อชั่วโมงตามระดับแรงงาน (บาท)				Time (Hr)	Total Time (Hrs)	Maintenance Cost (Baht)
		A	B	C	D			
เมษายน 2553		1045.06	723.52	606.53	430.7			
1M-DC CHARGER INSPECTION	2			1	1	0.5	1	1,037.23
1M-ELEVATOR INSPECTION	4			1	1	2	8	8,297.84
1M-INSPECTION BATTERY	4			1	1	0.5	2	2,074.46
1M-INSPECTION UPS	2			1	1	1	2	2,074.46
2M - CATHODIC INSPECTION	8			1	1	1	8	8,297.84
2M-EMERGENCY LIGHTING INSPECTION	23			1	1	0.5	11.5	11,928.15
3M-DC MOTOR INSPECTION	1			1	1	1	1	1,037.23

ตารางที่ 3.6 การเก็บข้อมูลเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ประจำเดือน เมษายน 2553 ประเภทงาน Preventive Maintenance (ต่อ)

รายการงานบำรุงรักษา	Work/ Month	ค่าบำรุงรักษาต่อชั่วโมงตามระดับแรงงาน (บาท)				Time (Hr)	Total Time (Hrs)	Maintenance Cost (Baht)
		A	B	C	D			
เมษายน 2553		1045.06	723.52	606.53	430.7			
3M-LOW VOLTAGE MOTOR INSPECTION	8			1	1	1	8	8,297.84
6M - CCTV INSPECTION	11			1	1	1	11	11,409.53
6M-FIRE ALARM INSPECTION	1			1	1	1	1	1,037.23
6M-LOW VOLTAGE MOTOR INSPECTION	5			1	1	2	10	10,372.30
6M-OVERHEAD CRANE & HOIST INSPECTION	15			1	1	1	15	15,558.45
Total Maintenance Cost							**78.5**	**81,422.56**

ตารางที่ 3.7 การเก็บข้อมูลเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาประจำเดือนกุมภาพันธ์ 2553 ประเภทงาน Corrective Maintenance และ Breakdown Maintenance

รายการงานบำรุงรักษา	Work/ Month	ค่าบำรุงรักษาต่อชั่วโมงตามระดับแรงงาน (บาท)				Time (Hr)	Total Time (Hrs)	Maintenance Cost (Baht)
		A	B	C	D			
กุมภาพันธ์ 2553		1045.06	723.52	606.53	430.7			
ปลด และ ต่อสายไฟเข้า J/B Motor Y-4052	1			1	1	2	2	2,074.4
FM200 alarm trouble failure No.034	1			1	1	2	2	2,074.4
กล้องเบอร์ 7 ไม่มีภาพส่งมาที่ CCB 0101-SSTV-607	1			1	1	4	4	4,148.8
ซ่อม LIFT ไม่สามารถใช้งานได้ SM-6225	1			1	1	4	4	4,148.8
The door for power cable compartment out SW-201B	1			1	1	4	4	4,148.8
Record parameter and visual inspect. VSD-304	1			1	1	4	4	4,148.8
G-4054 ไม่สามารถ control flow ได้	1	1	3	2		5	5	2,2143
Inspect. cable box for outdoor motor	1			2	2	6	6	12,446.4
Inspection/Recheck Parameter of LV VSD VSD-202	1			2	1	1	1	1,643.7
Total Maintenance Cost							**32**	**56,977.1**

ตารางที่ 3.8 การเก็บข้อมูลเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาประจำเดือน มีนาคม 2553 ประเภทงาน Corrective Maintenance และ Breakdown Maintenance

รายการงานบำรุงรักษา	Work/ Month	ค่าบำรุงรักษาต่อชั่วโมงตามระดับแรงงาน (บาท)				Time (Hr)	Total Time (Hrs)	Maintenance Cost (Baht)
		A	B	C	D			
มีนาคม 2553		1045.06	723.52	606.53	430.7			
Repair ตู้ Control ของ CO2 Alarm System	1			1		4	4	606.5
Install Pressure Gauge for Liquid Rheostat	1			2	2	4	4	8297.6
SM-7111B out of order 0103-VSD-305-2	1			1	1	4	4	4148.8
Drawer for KM-7109A-2 out of order	1			2	2	4	4	8297.6
Total Maintenance Cost							**16**	**21,350.5**

ตารางที่ 3.9 การเก็บข้อมูลเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาประจำเดือน เมษายน 2553 ประเภทงาน Corrective Maintenance และ Breakdown Maintenance

รายการงานบำรุงรักษา	Work/ Month	ค่าบำรุงรักษาต่อชั่วโมงตามระดับแรงงาน (บาท)				Time (Hr)	Total Time (Hrs)	Maintenance Cost (Baht)
		A	B	C	D			
เมษายน 2553		1045.06	723.52	606.53	430.7			
Abnormal noise occurred at the motor YM-7001	1			1		8	8	4,852
Total Maintenance Cost							**8**	**4,852**

ตารางที่ 3.10 ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษาต่อชั่วโมงแยกตามตำแหน่งงานทั้งประเภท Preventive Maintenance และ Corrective Maintenance

ตำแหน่ง	**Unit rate (Baht)**
ช่างเทคนิค CODE D	430.70
ช่างอาวุโส CODE C	606.53
วิศวกร CODE B	723.52
ช่างชำนาญงาน / ผู้จัดการแผนก CODE A	1045.06

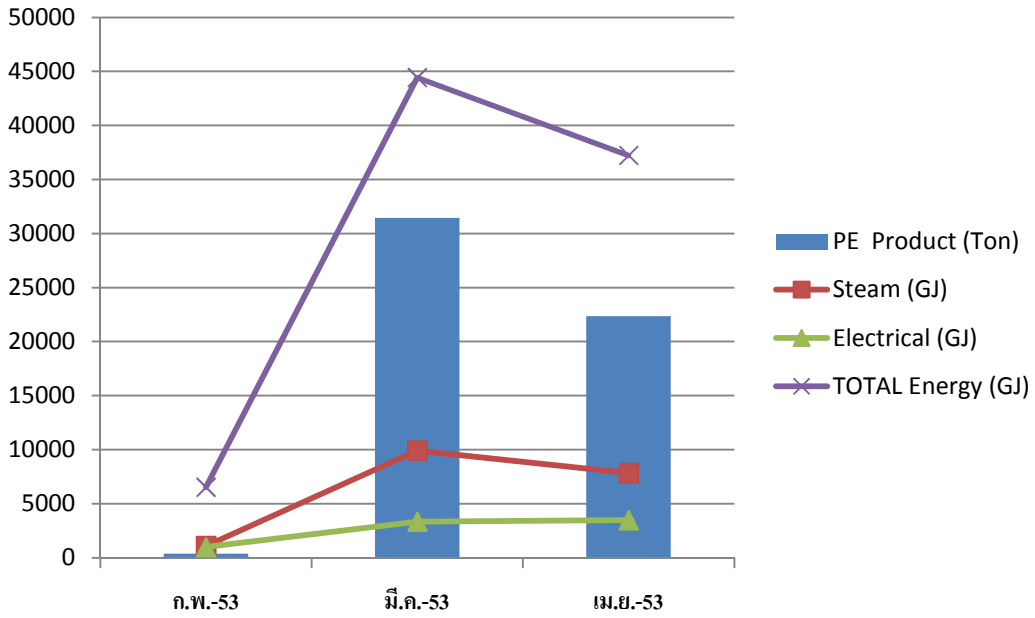
ตารางที่ 3.11 ผลการเก็บข้อมูลแสดง Plant Reliability ประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2553 มีนาคม 2553 เมษายน 2553

รายงานผลการปฏิบัติงานบำรุงรักษา	Key Performance Indicators	กุมภาพันธ์ 2553 Actual Score (%)	มีนาคม 2553 Actual Score (%)	เมษายน 2553 Actual Score (%)
การบริการงานบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์ของโรงงานให้อยู่ในสภาพที่พร้อมเดินเครื่องผลิตผลิตภัณฑ์ที่ On-specification ได้อย่างต่อเนื่องตามที่ออกแบบ *Plant Reliability (%)* = (Nameplate Capacity - Planned shutdown- Reliability Loss) x 100% /(Nameplate Capacity- Planned Shutdown) *Reliability Loss (Production Unit)* = Off Specification Product + Loss Production due to Derating + Loss Production due to Unplanned Shutdown	วัดร้อยละของ Plant Reliability ที่ลดลงจากเป้าหมายที่ระบุไว้ใน BSC ที่มีสาเหตุมาจากความบกพร่องของงานบำรุงรักษา	42.40%	98.40%	90.80%

ตารางที่ 3.12 ผลการเก็บข้อมูลแสดงค่าการใช้พลังงาน และ การคำนวณเป็นค่า SEC ประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2553 มีนาคม 2553 เมษายน 2553

เดือน	PE Product (Ton)	Steam (GJ)	Electrical (GJ)	TOTAL Energy (GJ)	SEC (Steam)	SEC (Electrical)	SEC (Total Energy)
กุมภาพันธ์ 2553	362	1,097	989	6,523	7.113	10.905	18.018
มีนาคม 2553	31,429	9,923	3,346	44,432	0.277	1.137	1.414
เมษายน 2553	22,345	7,823	3,481	37,226	0.406	1.260	1.666

กราฟเส้นและแผนภูมิแท่งแสดงถึงพลังงานที่ใช้เปลี่ยนแปลงตามผลผลิต ดังรูปที่ 3.15

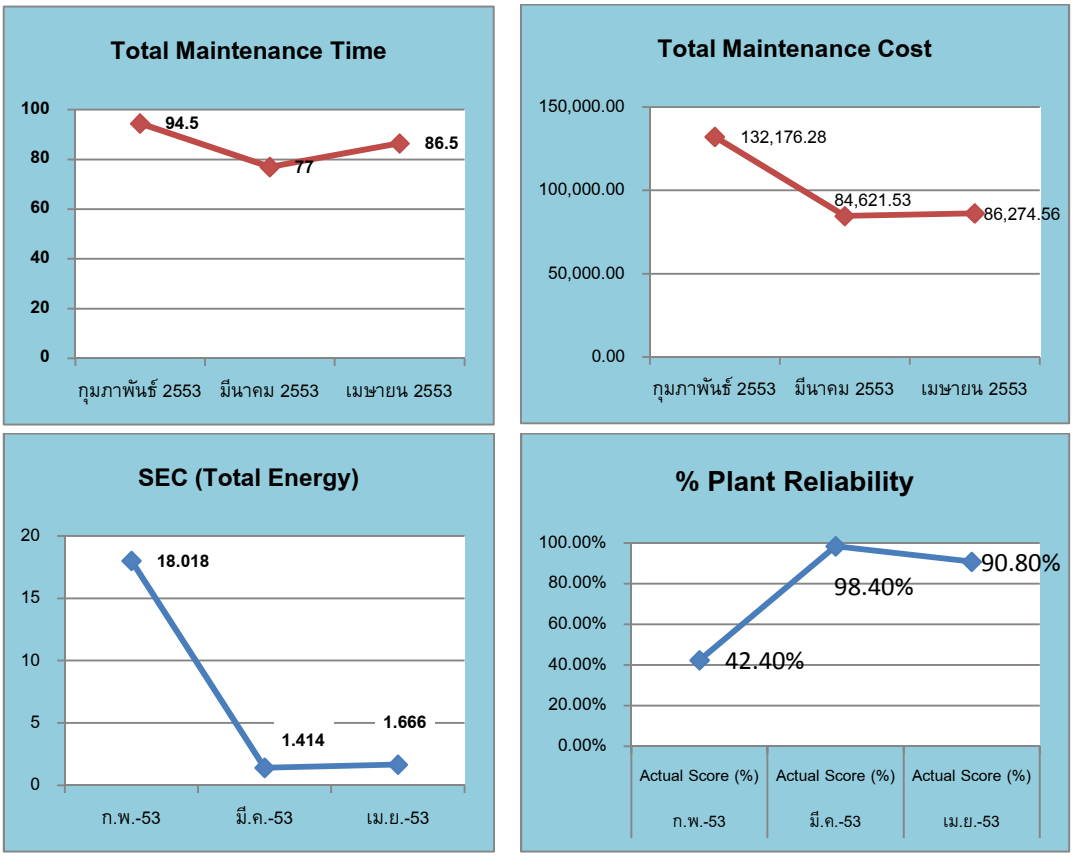


รูปที่ 3.15 กราฟเส้นและแผนภูมิแท่งพลังงานที่ใช้กับผลผลิต

ตารางที่ 3.13 สรุปผลของการเก็บข้อมูลตัวแปรที่สนใจตรวจติดตาม ประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2553 มีนาคม 2553 เมษายน 2553

เดือน	SEC	เวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษา(Hrs)			Maintenance Cost (Baht)			Plant Reliability (%)
		PM	CM	Total	PM	CM	Total	
กุมภาพันธ์ 2553	18.018	72.5	32	94.5	75,199.18	56,977.1	132,176.28	42.40
มีนาคม 2553	1.414	61	16	77	63,271.03	21,350.5	84,621.53	98.40
เมษายน 2553	1.666	78.5	8	86.5	81,422.56	4,852	86,274.56	90.80

แสดงกราฟเส้นการเก็บข้อมูลของตัวแปรที่สนใจตรวจติดตามในงานวิจัย ดังรูปที่ 3.16

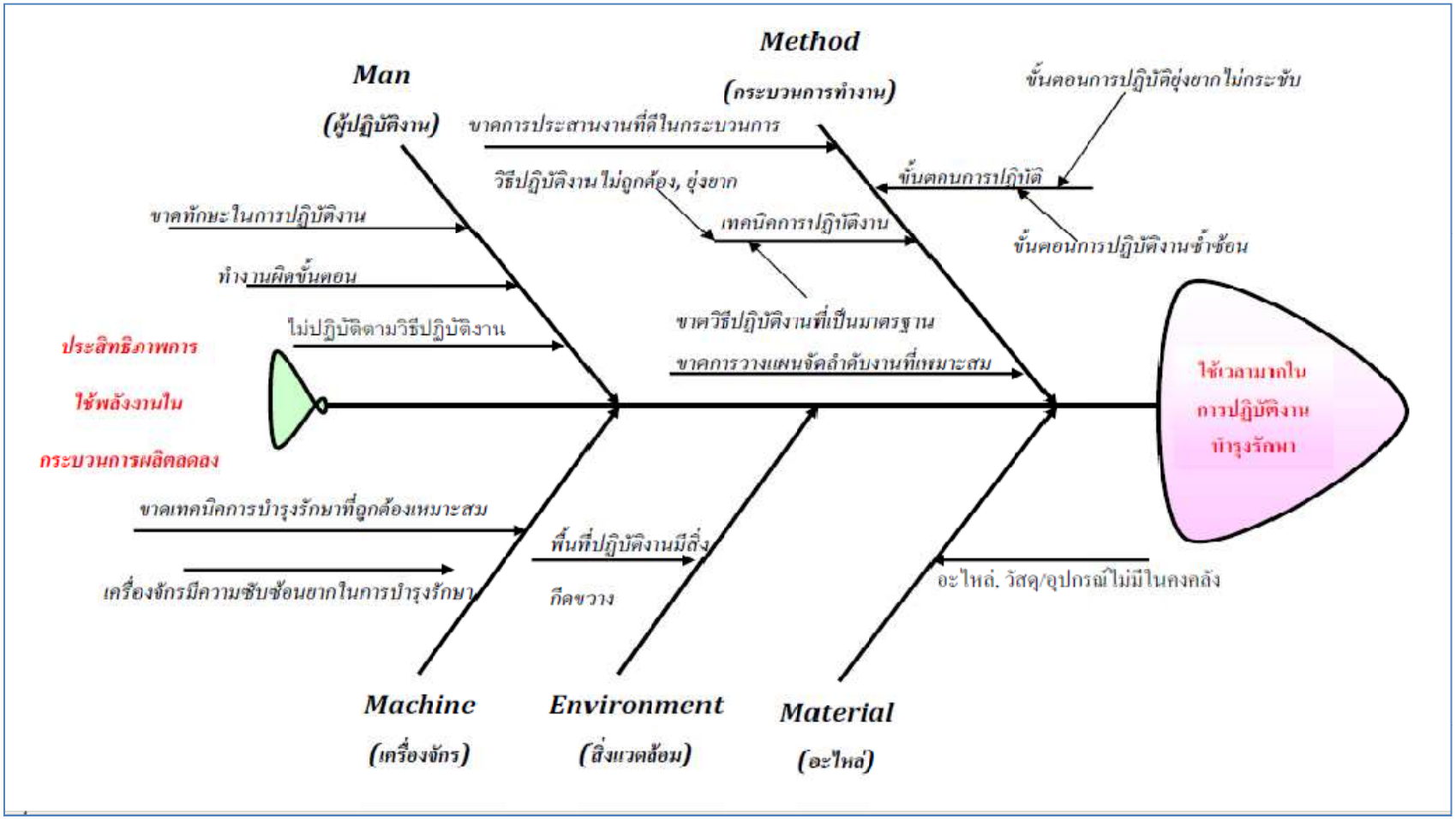


รูปที่ 3.16 กราฟเส้นของการเก็บข้อมูลตัวแปรที่ตรวจติดตาม

จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมที่สรุปดังรูปที่ 3.15 และรูป 3.16 พิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรที่จะตรวจติดตามได้ว่าพลังงานที่ใช้ในการผลิตจะเปลี่ยนแปลงตามผลผลิตโดยแปรตามกัน และเวลาในการปฏิบัติงานบำรุงรักษาที่มากขึ้นจะหมายถึงการใช้ทรัพยากรผลิตที่เพิ่มขึ้นดังจะเห็นจาก Maintenance Cost ที่เพิ่มขึ้นตามเวลาบำรุงรักษาที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และเมื่อพิจารณาค่า SEC จากข้อมูลที่เก็บรวบรวมแสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่เปลี่ยนแปลงตามเวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษาในขณะที่ Plant Reliability เปลี่ยนแปลงผกผันกับค่า SEC และเวลาในการปฏิบัติงานบำรุงรักษา ดังนั้นในงานวิจัยนี้ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตโดยลดเวลาปฏิบัติงานบำรุงรักษาลงขณะเดียวกันต้องไม่ทำให้ Plant Reliability ลดลงไปมากแบบมีนัยสำคัญที่มีสาเหตุจากการลดเวลาปฏิบัติงานบำรุงรักษาลงด้วย จึงสามารถระบุปัญหาเพื่อการวิเคราะห์สาเหตุและหาแนวทางปรับปรุงต่อไปได้ว่าปัญหาคือการใช้เวลาบำรุงรักษาที่มากเกินความจำเป็น การลดเวลาในการปฏิบัติงานลงได้จะเป็นผลให้เกิดการเพิ่มผลผลิตขณะเดียวกันก็ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตได้ ซึ่งจะทำการวิเคราะห์ปัญหาและแนวทางปรับปรุงดังข้อ 3.3

3.3 การวิเคราะห์ปัญหาและแนวทางปรับปรุง

จากข้อมูลและการระบุปัญหาเรื่องการใช้เวลาที่มากในการปฏิบัติงานบำรุงรักษาในข้อ 3.2 นั้น เพื่อที่จะลดเวลาการปฏิบัติงานบำรุงรักษาลง ในงานวิจัยนี้จะได้ค้นหาสาเหตุของปัญหาเพื่อนำสู่การวิเคราะห์ปรับปรุงโดยใช้แนวทางของการระดมความคิด (Brainstorming) ในการวิเคราะห์สาเหตุและแนวทางปรับปรุงจากผู้มีประสบการณ์ในงานบำรุงรักษา ซึ่งได้มีการแต่งตั้งผู้มีความรู้และประสบการณ์ตรงในงานทุกระดับงานมาเป็นคณะทำงานเพื่อร่วมประชุมวิเคราะห์หาสาเหตุ กำหนดแนวทางปรับปรุงขั้นตอนและวิธีการในงานบำรุงรักษาไฟฟ้าโดยพิจารณาลดเวลาในการปฏิบัติงานลง ดังแสดงคำสั่งแต่งตั้งคณะทำงานภาคผนวก ข ภายหลังจากที่คณะทำงานได้ Brainstorming เพื่อวิเคราะห์สาเหตุของปัญหา โดยใช้ผังก้างปลา (Fish Bone Diagram) ซึ่งเป็นวิธีการใช้ความคิดเห็นส่วนตัวและประสบการณ์ของผู้ร่วมวิเคราะห์ในคณะทำงานมาค้นหาสาเหตุใหญ่ๆเพื่อกำหนดแนวทางคร่าวๆในการแก้ปัญหา โดยผังก้างปลาที่วิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหาแล้วเสร็จแสดงดังรูปที่ 3.17

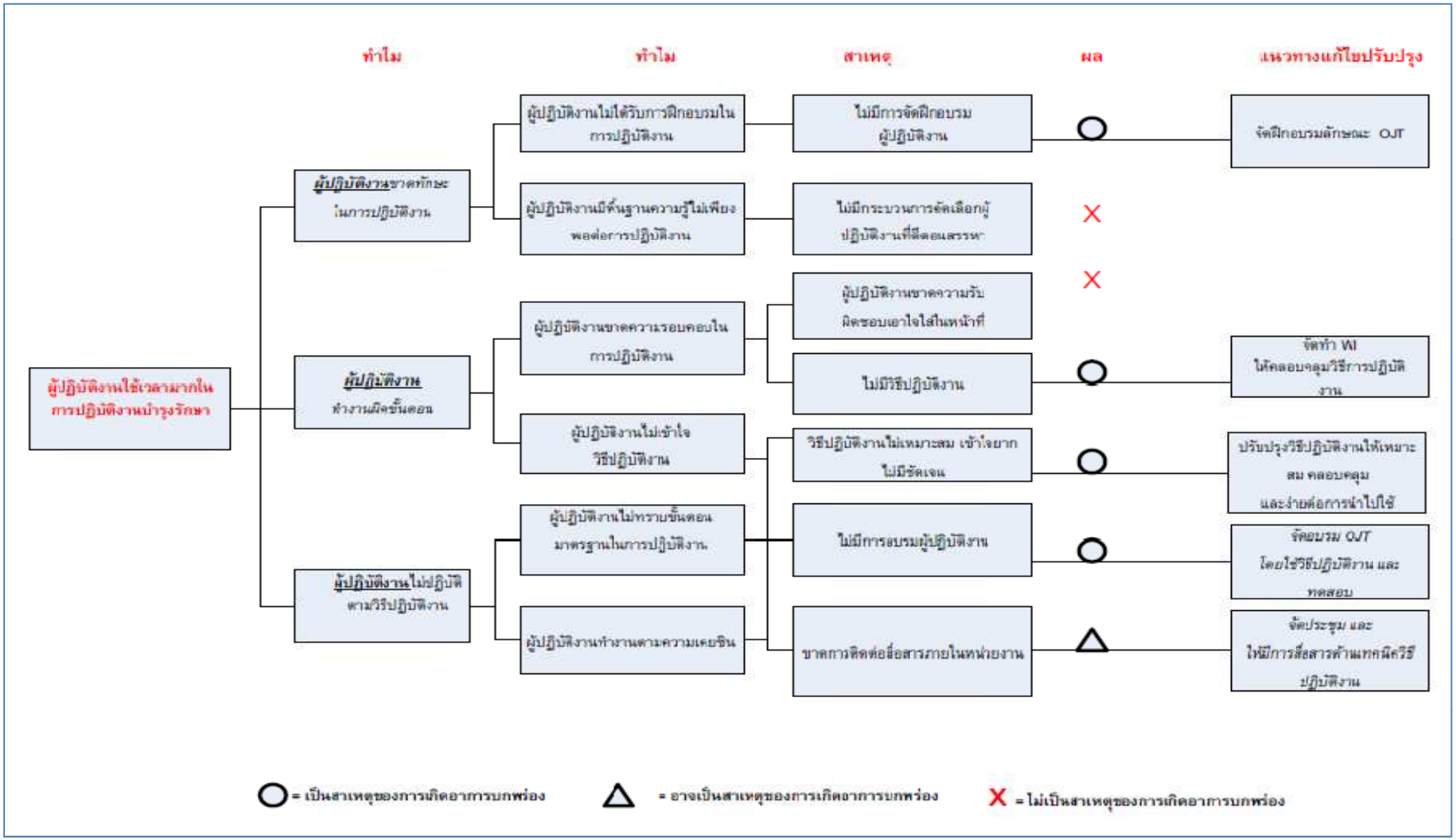


รูปที่ 3.17 แผนผังก้างปลาแสดงการหาสาเหตุของปัญหาใช้เวลามากในการปฏิบัติงาน

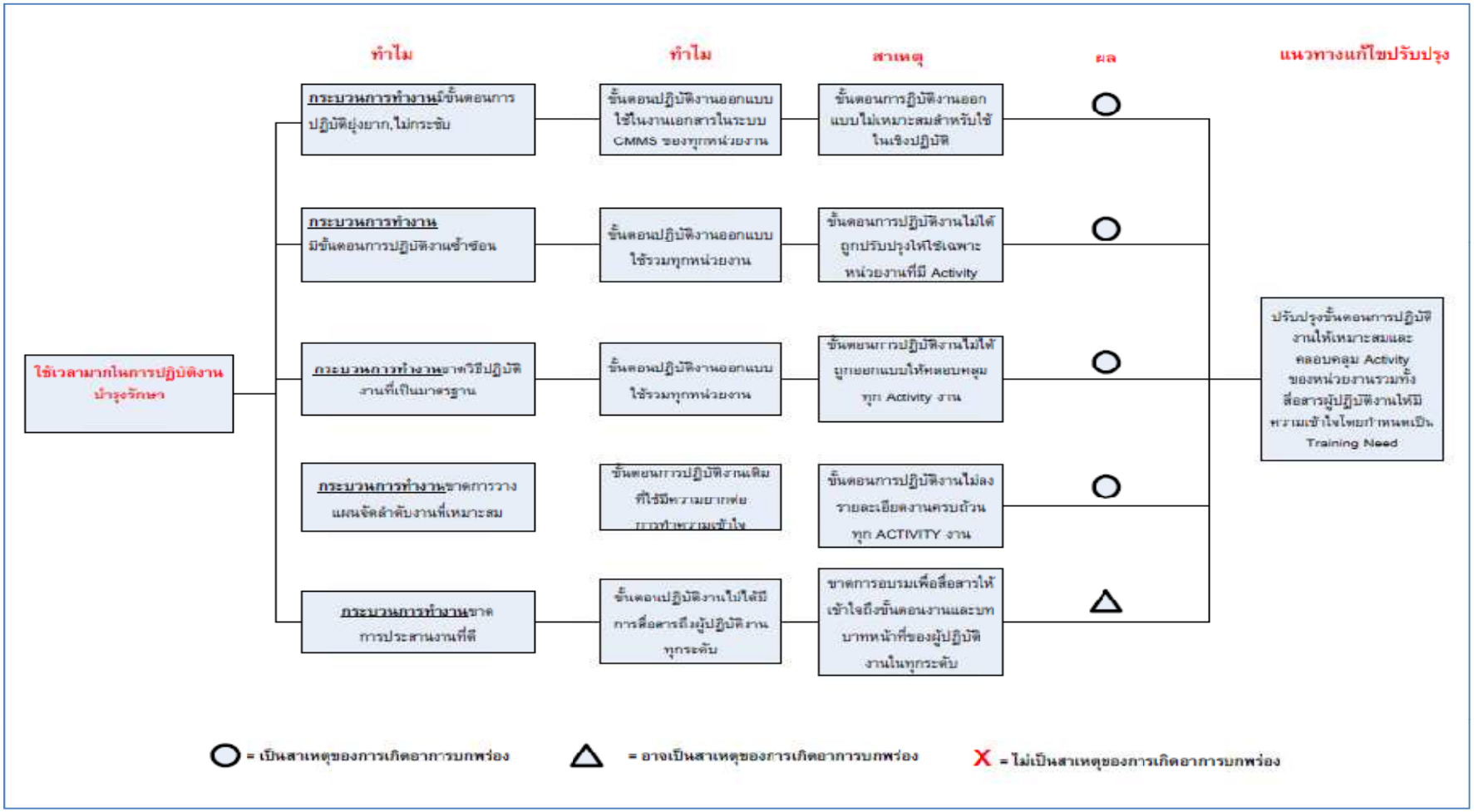
จากสาเหตุหลักๆของปัญหาที่ได้จากการวิเคราะห์โดยใช้ผังก้างปลา แยกออกได้เป็นสาเหตุจากปัจจัยด้าน 4M1E ซึ่ง 4M1E หมายถึง

- ผู้ปฏิบัติงาน (MAN)
- กระบวนการ (METHOD)
- เครื่องจักร (MACHINE)
- อะไหล่วัสดุอุปกรณ์ (MATERIAL)
- สิ่งแวดล้อม (ENVIRONMENT)

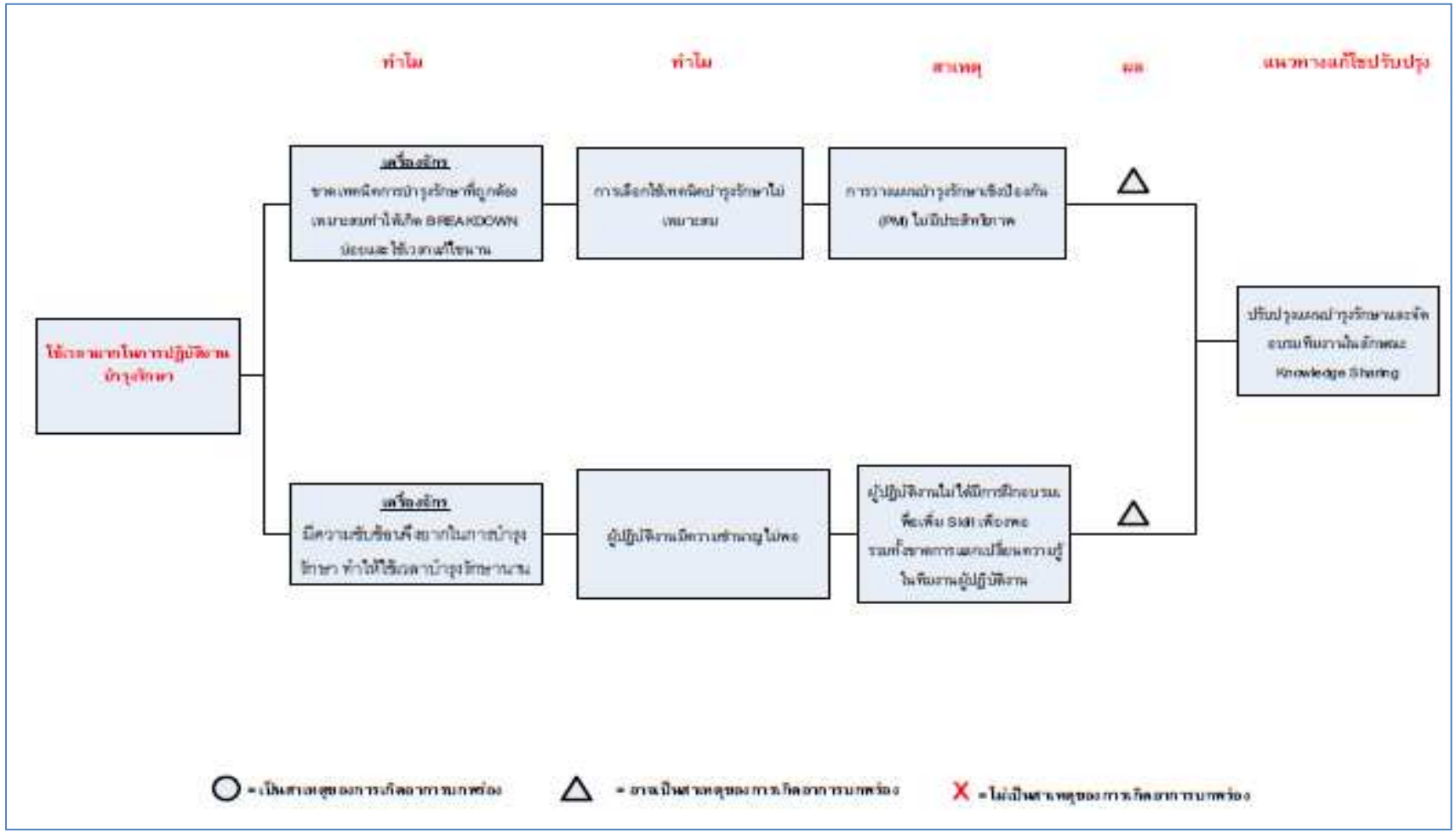
ทางคณะทำงานได้ทำการค้นหาต้นตอของปัญหาต่อเนื่องเพื่อกำหนดมาตรการการป้องกันไม่ให้ปัญหานั้นเกิดขึ้นอีกอันจะช่วยให้ลดเวลาในการปฏิบัติงานบำรุงรักษาลง โดยใช้หลักการวิเคราะห์ทำไม ทำไม (Why-Why Analysis) ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์แยกตามสาเหตุของปัญหา 4M1E ดังรูปที่ 3.18 รูปที่ 3.19 รูปที่ 3.20 รูปที่ 3.21 และรูปที่ 3.22 ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์สาเหตุของปัญหาและแนวทางปรับปรุงตาม Fish bone และ Why-Why Analysis จะนำสู่การดำเนินการปรับปรุงที่จะแสดงรายละเอียดในบทที่ 4 ต่อไป



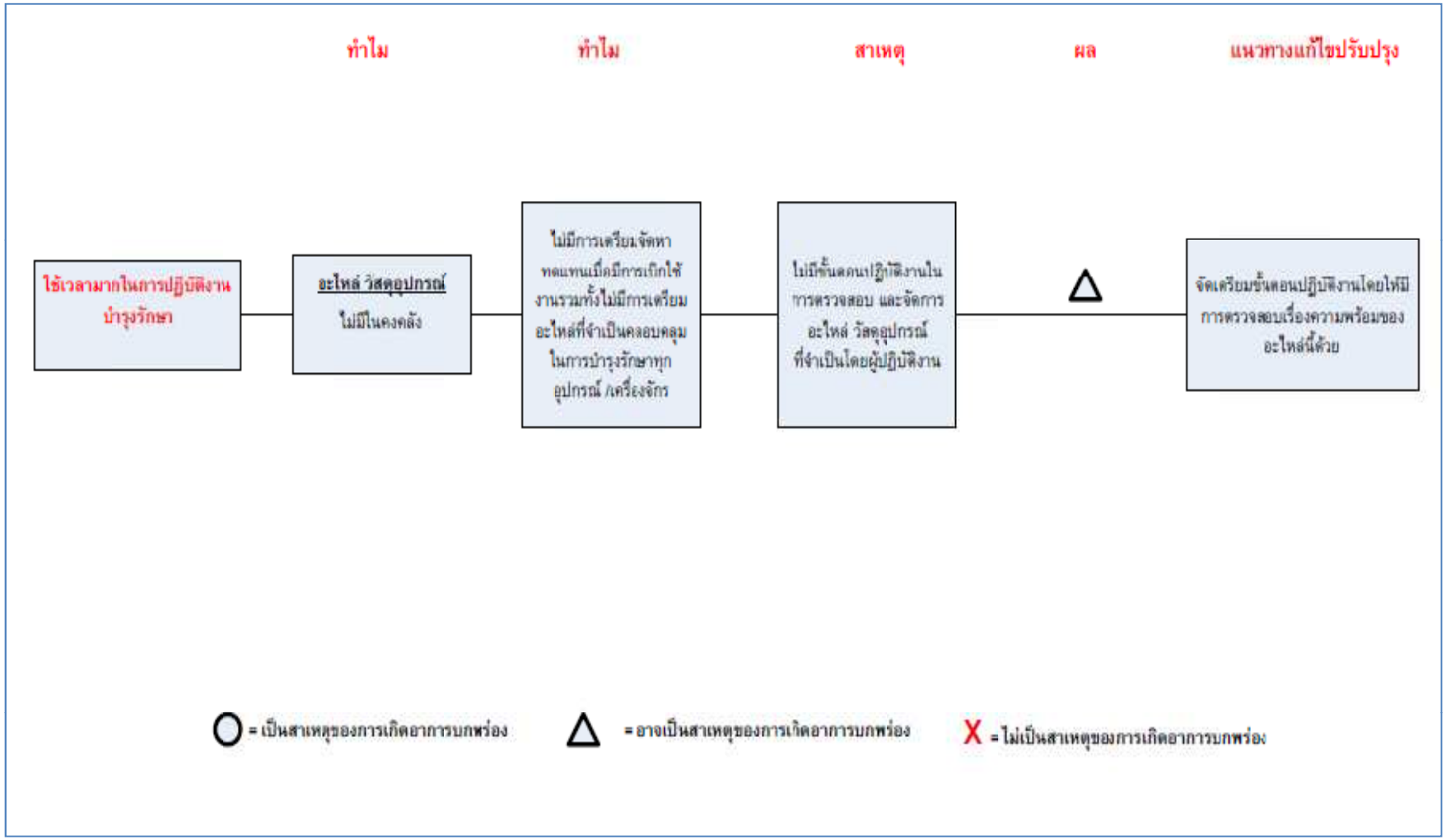
รูปที่ 3.18 แผนภาพการวิเคราะห์ ทำไม ทำไม สำหรับสาเหตุของปัญหา ด้านผู้ปฏิบัติงานบำรุงรักษา



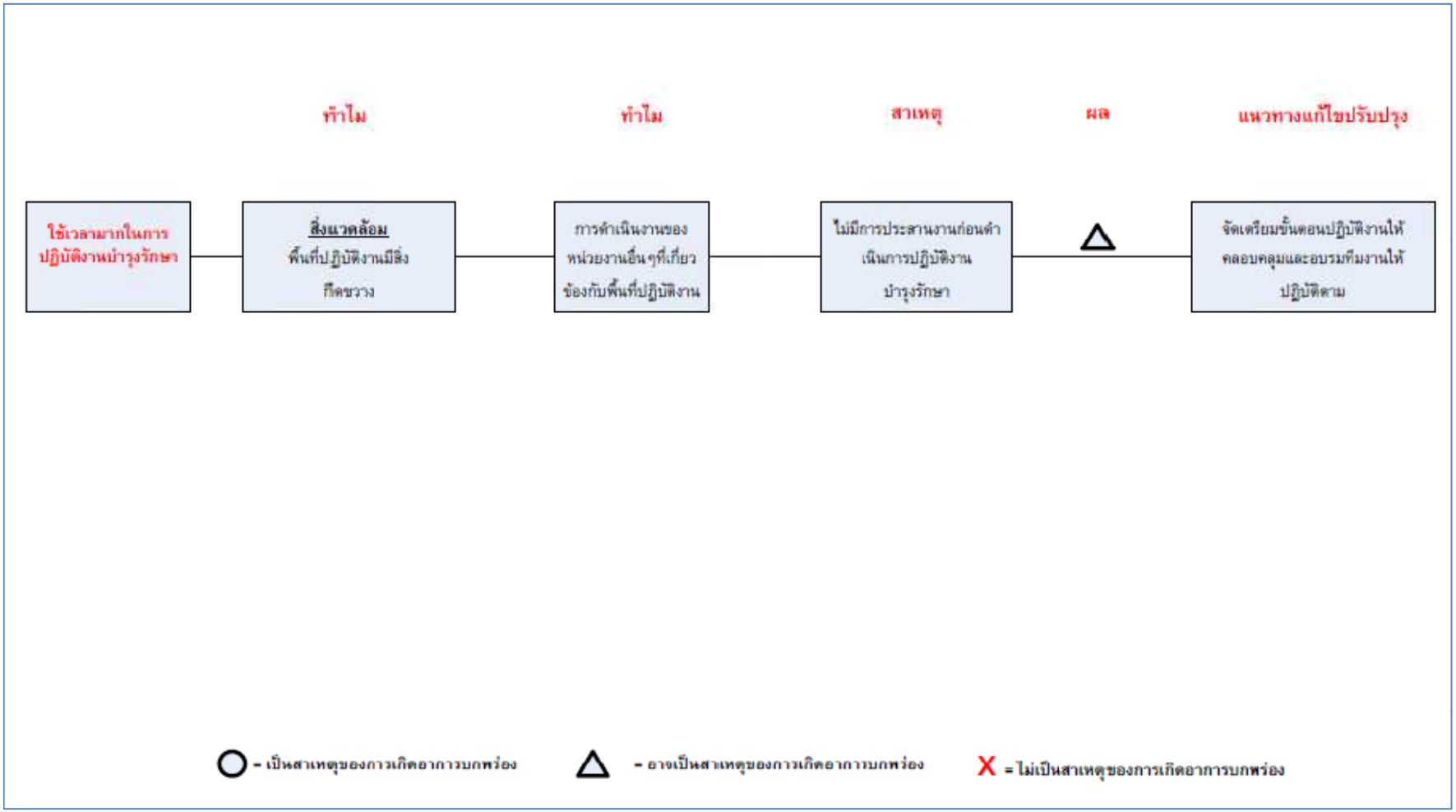
รูปที่ 3.19 แผนภาพการวิเคราะห์ ทำไม ทำไม สำหรับสาเหตุของปัญหาด้านกระบวนการปฏิบัติงานบำรุงรักษา



รูปที่ 3.20 แผนภาพการวิเคราะห์ ทำไม ทำไม สำหรับสาเหตุของปัญหาด้านเครื่องจักร



รูปที่ 3.21 แผนภาพการวิเคราะห์ ทำไม ทำไม สำหรับสาเหตุของปัญหา ด้านอะไหล่วัสดุอุปกรณ์ในงานบำรุงรักษา



รูปที่ 3.22 แผนภาพการวิเคราะห์ ทำไม ทำไม สำหรับสาเหตุของปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมการปฏิบัติงานบำรุงรักษา

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์สาเหตุและการดำเนินการแก้ไขปรับปรุง

4.1 ผลการวิเคราะห์สาเหตุและแนวทางปรับปรุง

จากรูปที่ 3.17 แผนผังก้างปลาแสดงการหาสาเหตุของปัญหาใช้เวลามากในการปฏิบัติงานบำรุงรักษา และรูปที่ 3.18 ถึง รูปที่ 3.22 แผนภาพการวิเคราะห์ ทำไม ทำไม ที่งานวิจัยนี้ได้ทำการ Brainstorming คณะทำงาน เพื่อวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่ส่งผลต่อการเกิดปัญหาการใช้เวลามากในการปฏิบัติงานบำรุงรักษา จึงสามารถสรุปถึงสาเหตุรากเหง้าที่ส่งผลต่อการเกิดปัญหาใช้เวลามากในการปฏิบัติงานบำรุงรักษาได้ดังตาราง 4.1

ตาราง 4.1 สรุปสาเหตุของปัญหาใช้เวลามากในการปฏิบัติงานบำรุงรักษา

ปัญหาใช้เวลามากในการปฏิบัติงานบำรุงรักษา	
ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปัญหา	สาเหตุหลัก
ผู้ปฏิบัติงาน (MAN)	1. ไม่มีการจัดฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงาน ทำให้ผู้ปฏิบัติงานขาดทักษะ 2. งานบางงานไม่มีวิธีปฏิบัติงาน ทำให้ผู้ปฏิบัติงานปฏิบัติตามวิธีของตน 3. วิธีปฏิบัติงานบางงานไม่เหมาะสม ทำให้ผู้ปฏิบัติงานทำความเข้าใจยากในการปฏิบัติตาม 4. ขาดการติดต่อสื่อสารภายในหน่วยงาน ทำให้ผู้ปฏิบัติงานตามเคยชิน
กระบวนการ (METHOD)	1. ขั้นตอนการปฏิบัติงานออกแบบไม่เหมาะสมสำหรับใช้ในเชิงปฏิบัติ 2. ขั้นตอนการปฏิบัติงานไม่ได้ถูกปรับปรุงให้ใช้เฉพาะหน่วยงานที่มีกิจกรรมการปฏิบัติงาน 3. ขั้นตอนการปฏิบัติงานไม่ได้ถูกออกแบบให้คลอบคลุมทุกกิจกรรมการปฏิบัติงาน 4. ขั้นตอนการปฏิบัติงานไม่ลงรายละเอียดงานครบถ้วนทุกลักษณะงาน 5. ขาดการอบรมเพื่อสื่อสารให้เข้าใจถึงขั้นตอนงานและบทบาทหน้าที่ของผู้ปฏิบัติงานในทุกระดับ

ตารางที่ 4.1 สรุปสาเหตุของปัญหาใช้เวลามากในการปฏิบัติงานบำรุงรักษา (ต่อ)

เครื่องจักร (MACHINE)	1. การวางแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกันไม่มีประสิทธิภาพ ทำให้เครื่องจักรเสียบ่อย 2. ผู้ปฏิบัติงานไม่ได้มีการฝึกอบรมเพื่อเพิ่มความรู้ ความเชี่ยวชาญในงานเพียงพอ เพื่อปฏิบัติงาน รวมทั้งขาดการแลกเปลี่ยนความรู้ในทีมงานผู้ปฏิบัติงานในหน่วยงานทำให้บำรุงรักษาเครื่องจักรได้ไม่มีประสิทธิภาพ
อะไหล่วัสดุอุปกรณ์ (MATERIAL)	- ไม่มีขั้นตอนปฏิบัติงานในการตรวจสอบ และจัดการ อะไหล่ วัสดุอุปกรณ์ ที่จำเป็นโดยผู้ปฏิบัติงาน
สิ่งแวดล้อม (ENVIRONMENT)	- ไม่มีการประสานงานก่อนดำเนินการปฏิบัติงานบำรุงรักษา

เมื่อวิเคราะห์หาสาเหตุหลักของปัญหาที่สรุปได้ตามตารางที่ 4.1 นั้น ต่อจากนั้นผู้วิจัยได้นำเอาสาเหตุหลักของปัญหาการใช้เวลามากในการบำรุงรักษาเหล่านี้ มาทำการแก้ไขปรับปรุงโดยการ Brainstorming จากคณะทำงานเพื่อทำให้ปัญหาที่เกิดขึ้นลดลงหรือไม่เกิดปัญหาขึ้นอีก โดยแนวทางแก้ไขปรับปรุงที่ได้จากการ Brainstorming ตามวิธีวิเคราะห์ ทำไม ทำไม แสดงดังตารางที่ 4.2 ส่วนรายละเอียดวิธีการและขั้นตอนการแก้ไขปรับปรุงจะนำเสนอในหัวข้อต่อไป

ตารางที่ 4.2 แนวทางแก้ไขปรับปรุงปัญหาใช้เวลามากในการปฏิบัติงานบำรุงรักษา

สาเหตุหลัก	แนวทางแก้ไขปรับปรุง
1. ไม่มีการจัดฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงาน ทำให้ผู้ปฏิบัติงานขาดทักษะ	จัดเตรียมวิธีปฏิบัติงานให้ครบถ้วนและปรับปรุงวิธีปฏิบัติงานให้เหมาะสมและจัดฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานในลักษณะให้ผู้เรียนลงไปปฏิบัติในสถานที่จริง หรือที่เรียกกันว่า On the job Training (OJT)
2. งานบางงานไม่มีวิธีปฏิบัติงาน ทำให้ผู้ปฏิบัติงานปฏิบัติตามวิธีของตน	
3. วิธีปฏิบัติงานบางงานไม่เหมาะสม ทำให้ผู้ปฏิบัติงานทำความเข้าใจยากในการปฏิบัติตาม	
4. ขาดการติดต่อสื่อสารภายในหน่วยงาน ทำให้ผู้ปฏิบัติงานตามเคยชิน	จัดประชุมภายในเพื่อให้มีการสื่อสารแลกเปลี่ยนด้านเทคนิควิธีปฏิบัติงาน

ตารางที่ 4.2 แนวทางแก้ไขปรับปรุงปัญหาใช้เวลามากในการปฏิบัติงานบำรุงรักษา (ต่อ)

สาเหตุหลัก	แนวทางแก้ไขปรับปรุง
5.ขั้นตอนการปฏิบัติงานออกแบบไม่เหมาะสมสำหรับใช้ในเชิงปฏิบัติ	ออกแบบขั้นตอนปฏิบัติงานใหม่ให้สามารถนำไปใช้ได้ในทางปฏิบัติและคลอบคลุมทุกกิจกรรมการปฏิบัติงาน
6. ขั้นตอนการปฏิบัติงานไม่ได้ถูกปรับปรุงให้ใช้เฉพาะหน่วยงานที่มีกิจกรรมการปฏิบัติงาน	
7. ขั้นตอนการปฏิบัติงานไม่ได้ถูกออกแบบให้คลอบคลุมทุกกิจกรรมการปฏิบัติงาน	ปรับปรุงขั้นตอนการปฏิบัติงานให้เหมาะสมและคลอบคลุมกิจกรรม (Activity) ของหน่วยงานรวมทั้งสื่อสารผู้ปฏิบัติงานให้มีความเข้าใจโดยกำหนดเป็นความจำเป็นของการฝึกอบรม (Training Need)
8. ขั้นตอนการปฏิบัติงานไม่ลงรายละเอียดงานครบถ้วนทุกลักษณะงาน	
9. ขาดการอบรมเพื่อสื่อสารให้เข้าใจถึงขั้นตอนงานและบทบาทหน้าทีของผู้ปฏิบัติงานในทุกระดับ	
10. การวางแผนบำรุงรักษาเชิงป้องกันไม่มีประสิทธิภาพ	ปรับปรุงแผนบำรุงรักษาและจัดอบรมทีมงานในลักษณะแลกเปลี่ยนความรู้ (Knowledge Sharing)
11. ผู้ปฏิบัติงานไม่ได้มีการฝึกอบรมเพื่อเพิ่มความรู้ ความเชี่ยวชาญในงาน เพียงพอ เพื่อปฏิบัติงาน รวมทั้งขาดการแลกเปลี่ยนความรู้ในทีมงานผู้ปฏิบัติงานในหน่วยงาน	
12. ไม่มีขั้นตอนปฏิบัติงานในการตรวจสอบและจัดการ อะไหล่ วัสดุอุปกรณ์ ที่จำเป็นโดยผู้ปฏิบัติงาน	จัดเตรียมขั้นตอนปฏิบัติงานโดยให้มีการตรวจสอบเรื่องความพร้อมของอะไหล่นี้ด้วย
13. ไม่มีการประสานงานก่อนดำเนินการปฏิบัติงานบำรุงรักษา	จัดเตรียมขั้นตอนปฏิบัติงานให้คลอบคลุมและอบรมทีมงานให้ปฏิบัติตาม

4.2 วิธีการและขั้นตอนการแก้ไขปรับปรุง

จากการพิจารณาแนวทางแก้ไขปรับปรุงตามตารางที่ 4.2 นั้นพบว่าสามารถจัดกลุ่มของการแก้ไขปรับปรุงได้ดังนี้

4.2.1) ปรับปรุงและออกแบบขั้นตอนปฏิบัติงานใหม่

4.2.2) จัดทำและปรับปรุงวิธีการปฏิบัติงาน

4.2.3) ปรับปรุงแผนงานบำรุงรักษา

4.2.4) จัดสอนพัฒนาทักษะการปฏิบัติงานให้กับผู้ปฏิบัติงาน

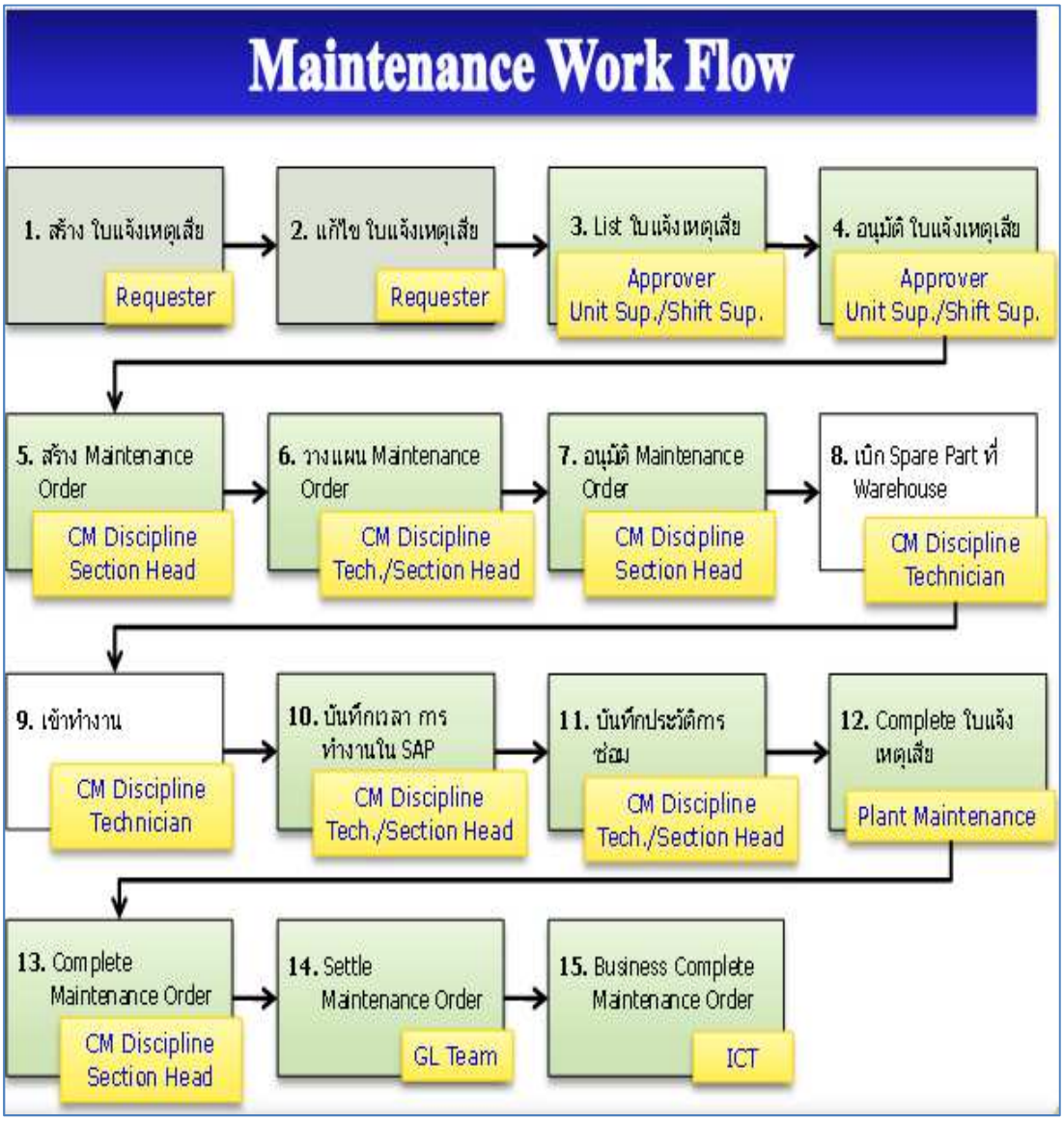
4.2.5) ประชุมสื่อสารภายในแลกเปลี่ยนความรู้ในการปฏิบัติงาน

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการการแก้ไขปรับปรุงทั้ง 5 แนวทางโดยมีรายละเอียดการดำเนินงานดังนี้

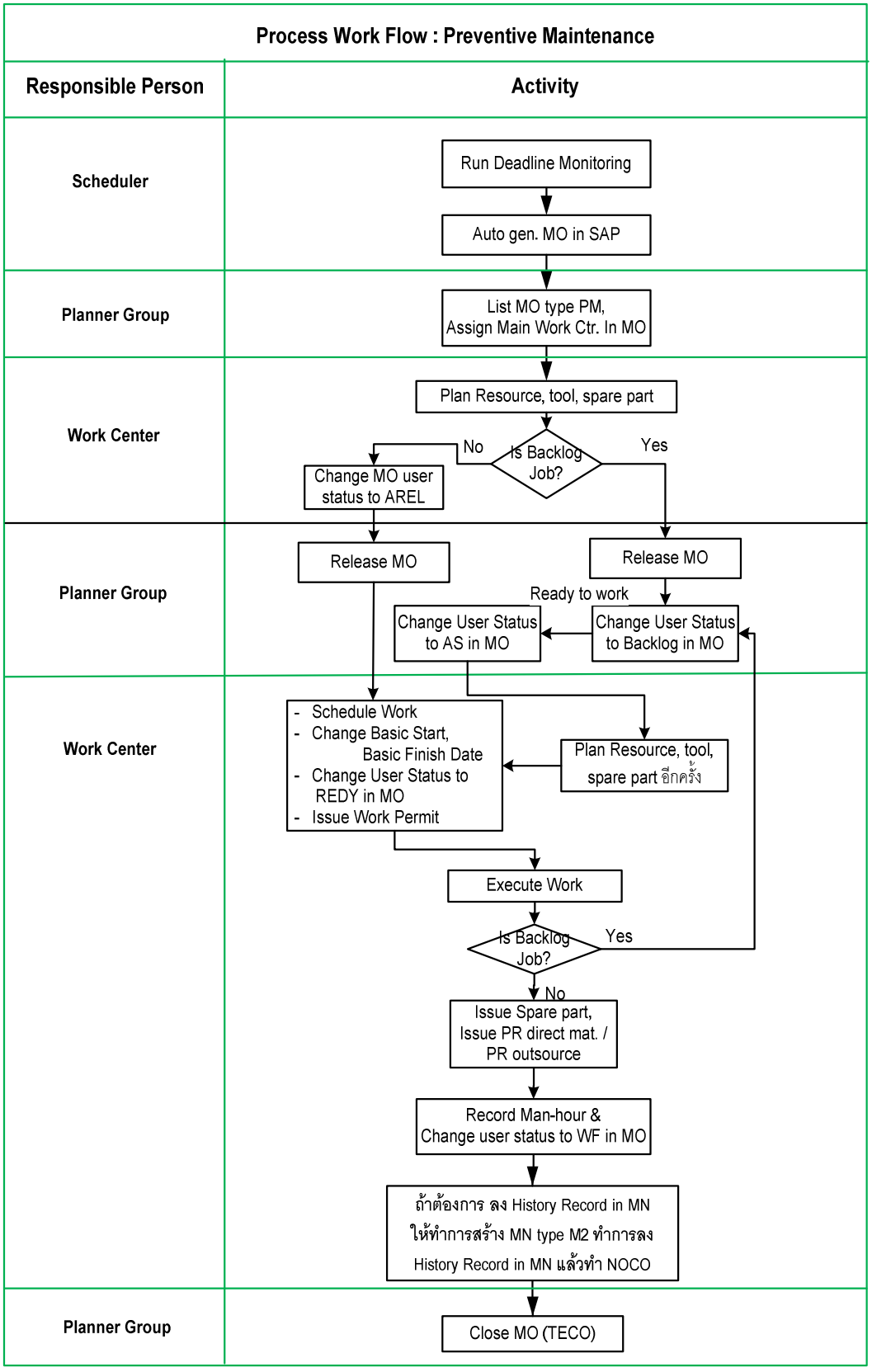
4.2.1) ปรับปรุงและออกแบบขั้นตอนปฏิบัติงานใหม่

จากการพิจารณาขั้นตอนปฏิบัติงานบำรุงรักษาในโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษา ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบปรับปรุงขั้นตอนปฏิบัติงานบำรุงรักษาขึ้นใหม่โดยนำแนวคิดการลดความสูญเปล่าอันเนื่องมาจากกิจกรรมที่ไม่ก่อให้เกิดคุณค่าเพิ่มของลีน (Lean) และวิศวกรรมคุณค่า (Value Engineering) มาประยุกต์ใช้พิจารณาผสมผสานหลักการบริหารงานบำรุงรักษากับเทคนิคงานบำรุงรักษาตามประเภทต่างๆซึ่งขั้นตอนปฏิบัติงานบำรุงรักษาที่ออกแบบขึ้นใหม่จะลดเวลาในการปฏิบัติงานลง กล่าวคือพิจารณาแนวทางการไหลของงานเป็นหลักและกำจัดขั้นตอนงานที่สูญเปล่าซ้ำซ้อนตามหลักการบำรุงรักษาแบบลีน และลดการปฏิบัติงานที่ไม่ทำให้เกิดคุณค่า พิจารณางานที่จำเป็นและทำให้เกิดประโยชน์เพื่อลดเวลาการปฏิบัติงานบำรุงรักษาแท้จริงตามหลักการวิศวกรรมคุณค่า (Value Engineering) ซึ่งจะทำให้งานบำรุงรักษามีคุณค่าเพิ่มจากหน้าที่ (Function) การปฏิบัติงานเฉพาะที่จำเป็นรวมถึงการจัดระเบียบขั้นตอนปฏิบัติงานโดยหลักการและเทคนิคการจัดการงานบำรุงรักษาตามประเภทอย่างเหมาะสมโดยยังคงวัตถุประสงค์เดิมของงานบำรุงรักษาไว้

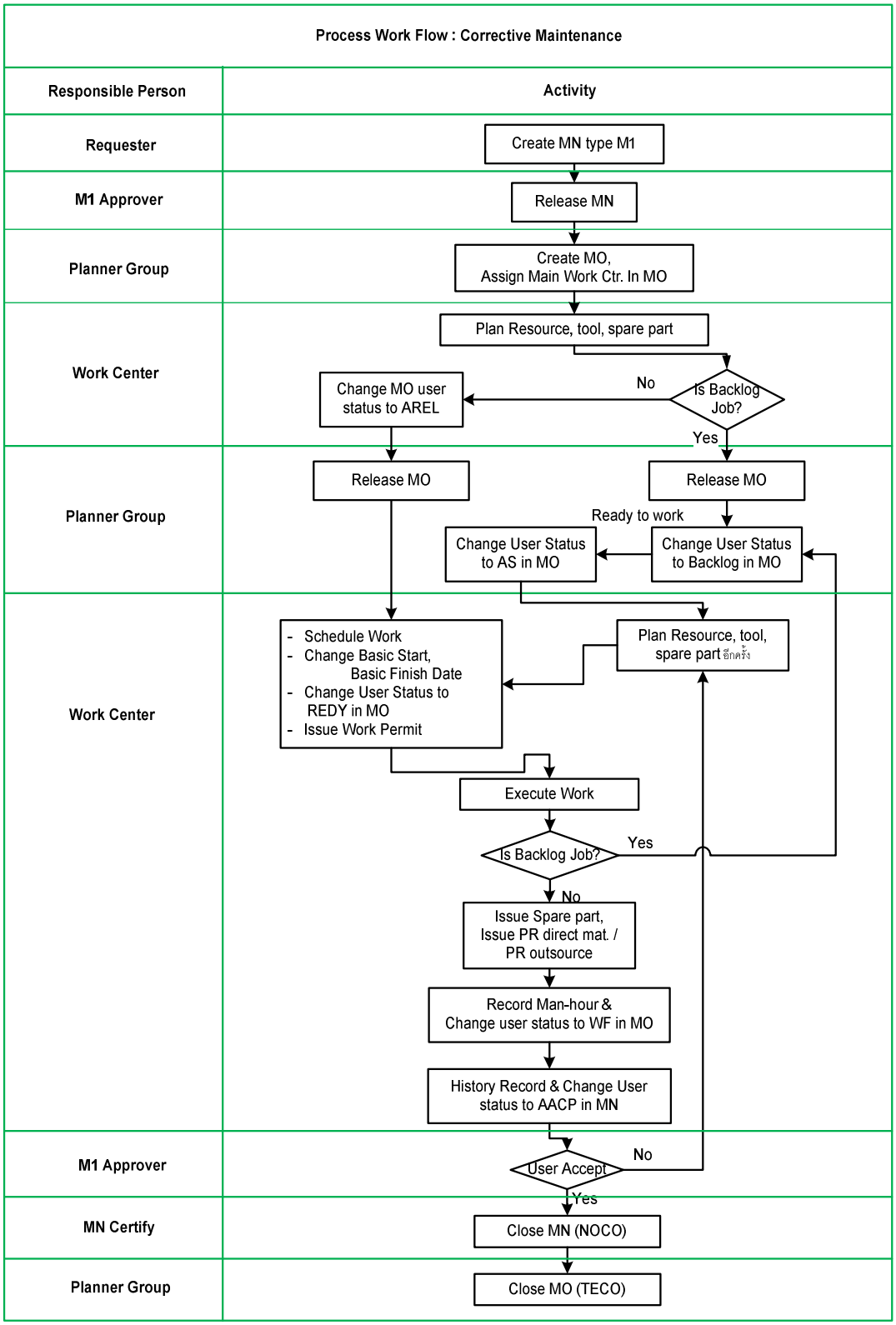
เมื่อนำทั้งเทคนิคการบำรุงรักษาแบบลีน วิศวกรรมคุณค่า มาพิจารณาร่วมกับเทคนิคการจัดการงานบำรุงรักษาตามประเภทงานบำรุงรักษาแล้ว สามารถพิจารณาออกแบบและปรับปรุงขั้นตอนปฏิบัติงานใหม่ด้วยแนวทาง การกำจัด (Eliminate) ขั้นตอนงานที่ไม่จำเป็น การผสมผสาน (Combine) ขั้นตอนงานตามประเภทอุปกรณ์ การจัดลำดับใหม่ (Re-sequence) และ การทำให้ง่ายขึ้น (Simplify) ในขั้นตอนงานที่ยุ่งยากและซับซ้อน จะได้ขั้นตอนการปฏิบัติงานที่ออกแบบปรับปรุงใหม่ตามประเภทงานบำรุงรักษาดังรูปที่ 4.4 รูปที่ 4.5 ซึ่งสามารถเปรียบเทียบกับขั้นตอนการปฏิบัติงานที่มีอยู่เดิมแสดงดังรูป 4.1 รูปที่ 4.2 และรูปที่ 4.3 ดังต่อไปนี้



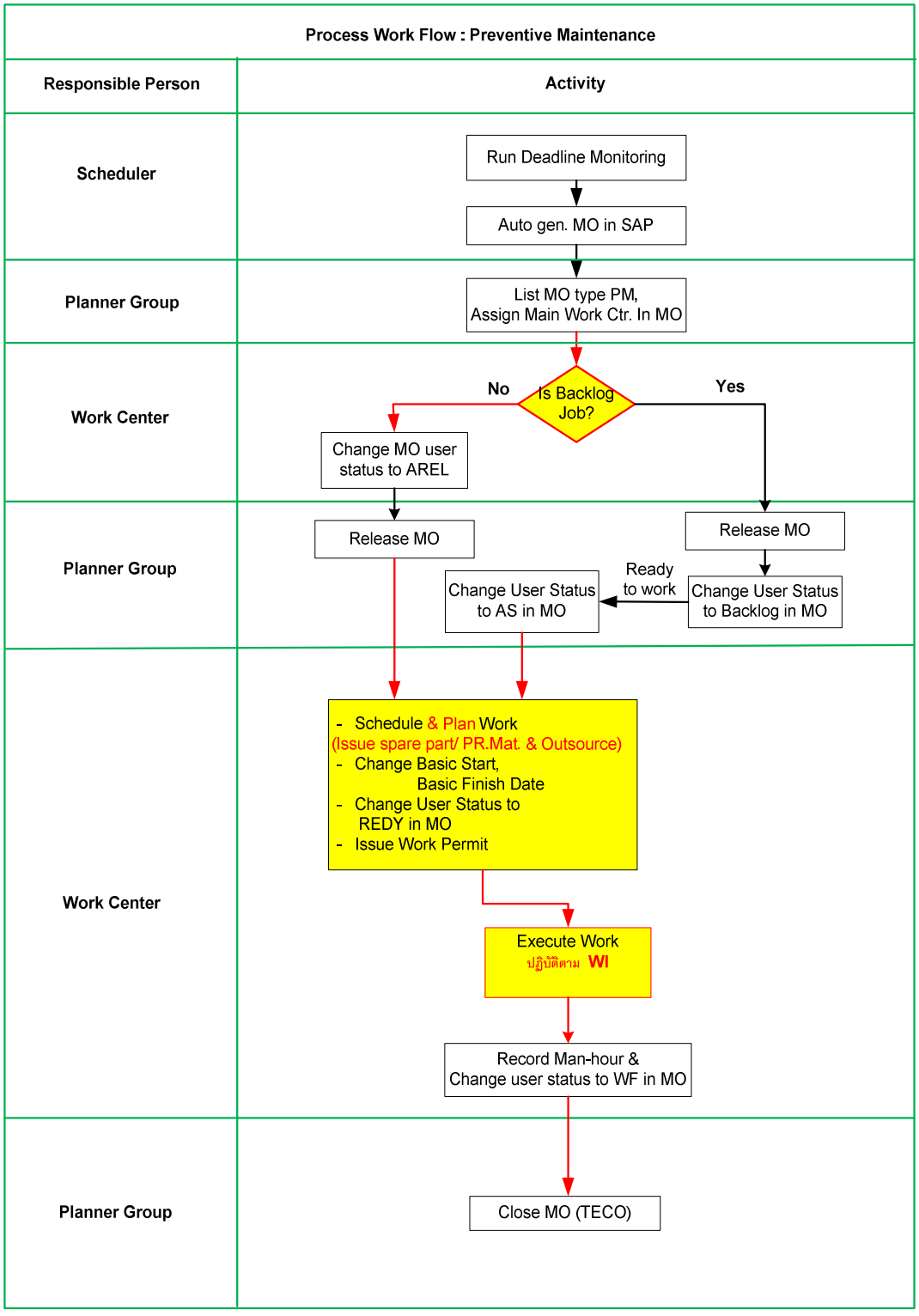
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการทำงานงานบำรุงรักษาโดยรวมแบบเดิม



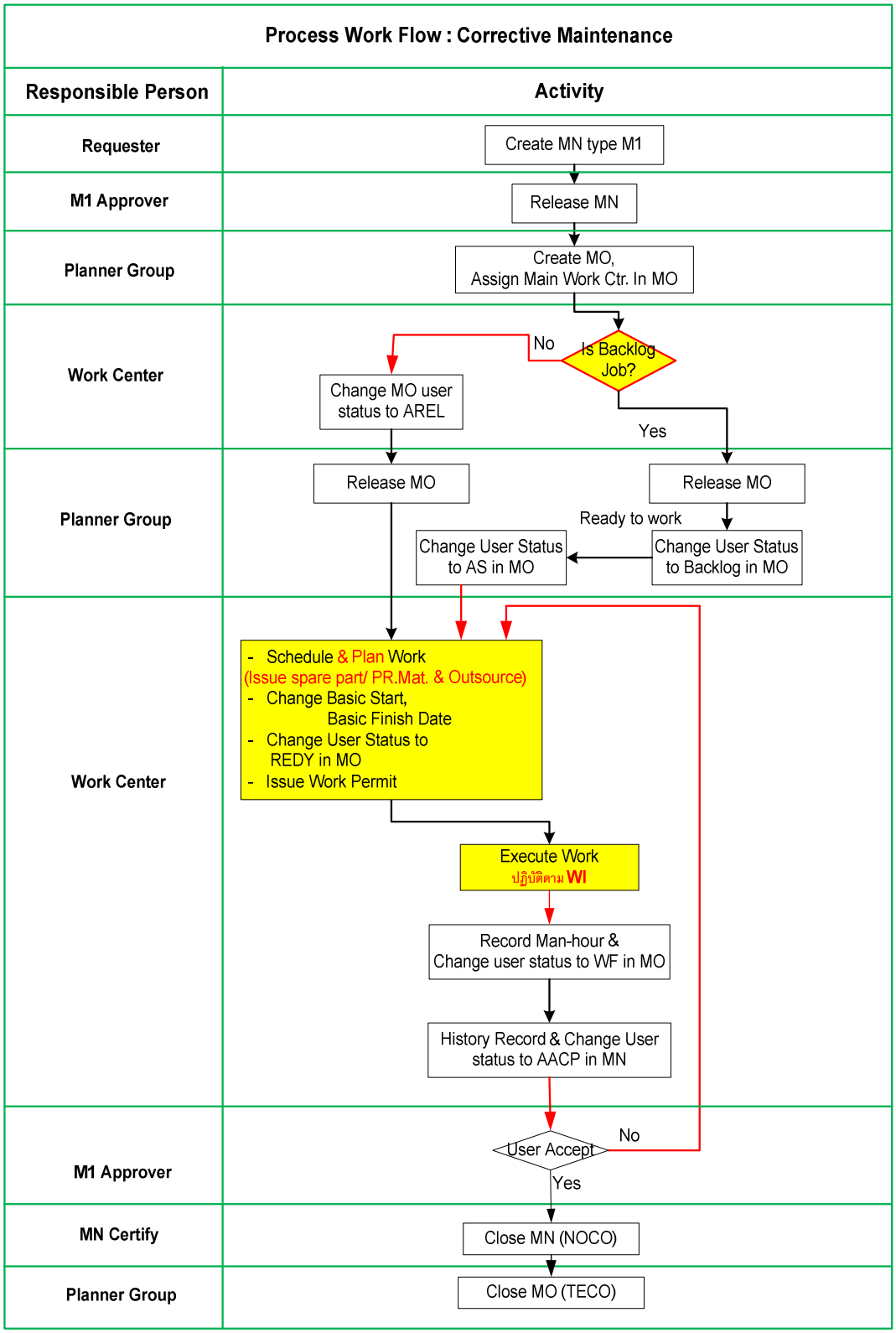
รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการทำงานบำรุงรักษาประเภท Preventive Maintenance แบบเดิม



รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการทำงานบำรุงรักษาประเภท Corrective Maintenance แบบเดิม



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนดำเนินงานบำรุงรักษา สำหรับงานประเภท Preventive Maintenance ที่ออกแบบปรับปรุงใหม่



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนดำเนินงานบำรุงรักษา สำหรับงานประเภท Corrective Maintenance ที่ออกแบบปรับปรุงใหม่

จากการเปรียบเทียบ Work Flow Diagram ขั้นตอนการทำงานบำรุงรักษาก่อนปรับปรุงคือ รูปที่ 4.2 และ รูปที่ 4.3 สำหรับงานประเภท Preventive Maintenance และ Corrective Maintenance ตามลำดับ เปรียบเทียบกับ Work Flow Diagram ขั้นตอนการทำงานบำรุงรักษาที่ปรับปรุงคือ รูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 สำหรับงานประเภท Preventive Maintenance และ Corrective Maintenance ตามลำดับ จะพบว่าจะสามารถลดขั้นตอนปฏิบัติงานลง ได้แก่

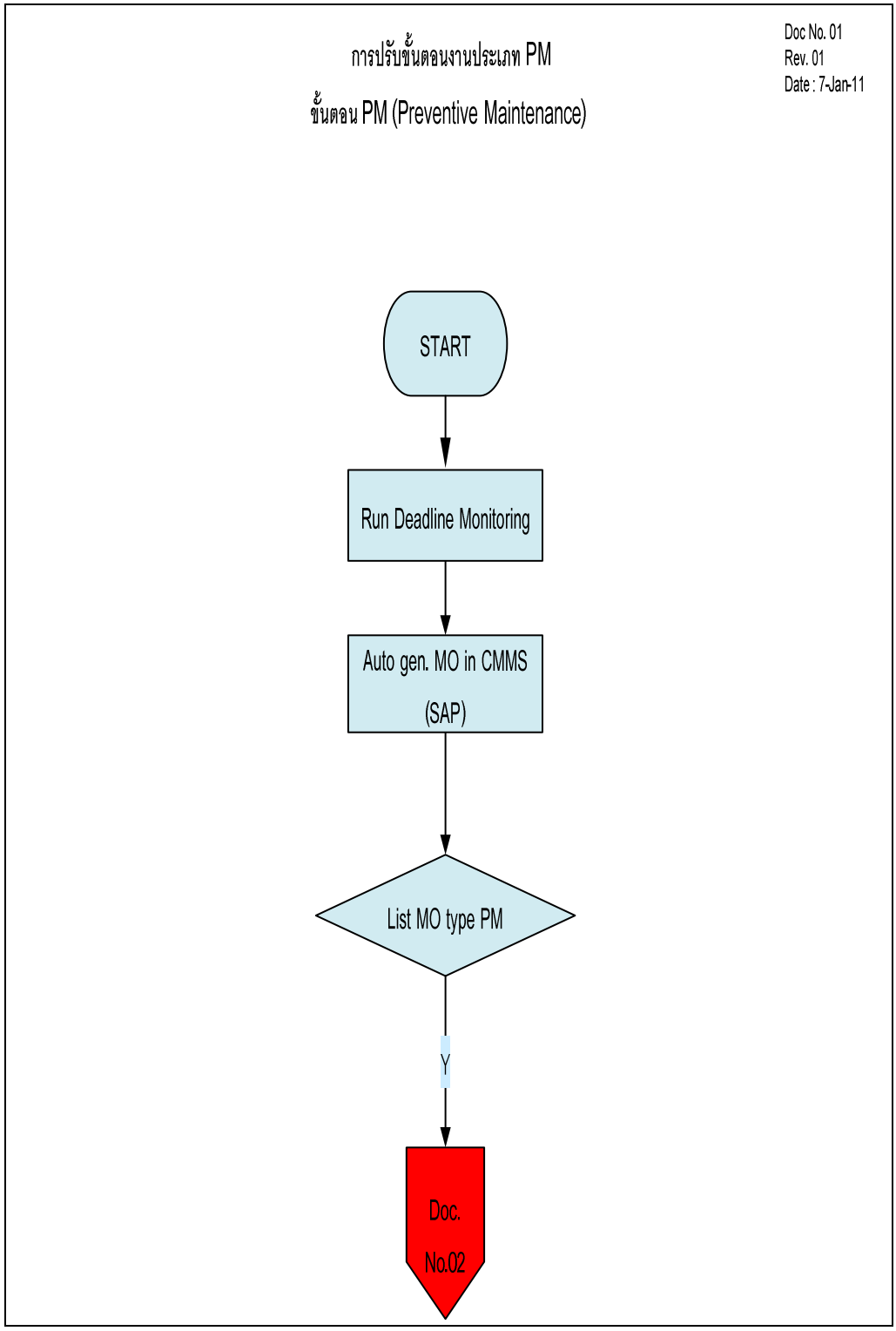
1) การลดขั้นตอนงานทั้งในประเภท Preventive Maintenance และ Corrective Maintenance โดยเลิกทำงานที่ซ้ำซ้อนและทำงานซ้ำๆกันอันอาจมีผลให้เกิดการปฏิบัติงานที่เสียเปล่า คือ การทำงานในขั้นตอนพิจารณาว่าเป็นงานค้าง (Backlog) หรือไม่ โดยการนำมาพิจารณาตั้งแต่ขั้นตอนที่มีการสั่งงานในระบบออกมา โดยถ้ามีการพิจารณาว่าเป็นงานค้าง อาจมีเหตุผลที่ไม่สามารถดำเนินการได้ขณะนั้น เช่น งานค้างเพราะกระบวนการผลิตหยุดให้ตรวจสอบแก้ไขไม่ได้ขณะนั้น หรือ งานค้างจากการรอผู้เชี่ยวชาญ หรือ วัสดุอุปกรณ์ที่อยู่ระหว่างสั่งซื้อแต่แรก นั่นหมายถึงถ้าเป็นงานที่พิจารณาแล้วเข้าข่ายงานค้างแต่แรกตามขั้นตอนที่ปรับปรุง ก็ไม่ต้องไปเสียเวลาดำเนินการไปก่อนในกิจกรรมงานบำรุงรักษาที่ต้องเริ่มดำเนินการไปแล้วเช่นการเตรียมคน เครื่องมือ และ อะไหล่ต่างๆ ตลอดจนการติดต่อเพื่อเข้าทำงาน

2) การลดขั้นตอนงานที่ไม่จำเป็นสำหรับงานบำรุงรักษาในประเภท Preventive Maintenance ได้แก่การทำงานในการบันทึกประวัติความเสียหายงานบำรุงรักษาในระบบ CMMS เมื่อมีการปฏิบัติงาน ทั้งนี้เพราะโดยปกติงานประเภทบำรุงรักษาเชิงป้องกันคือการดำเนินงานเพื่อลดความเสียหายของเครื่องจักรที่อาจจะเกิดขึ้นโดยผลหรือรายงานจากการปฏิบัติงานโดยมากมักเป็น Check sheet สภาพเครื่องจักรทั่วๆไปซึ่งไม่จำเป็นต้องบันทึกประวัติความเสียหาย จะต่างกับการทำงาน Corrective Maintenance ที่มีประวัติความเสียหายจากการซ่อมให้บันทึกและต้องบันทึกตามขั้นตอนงานปกติ

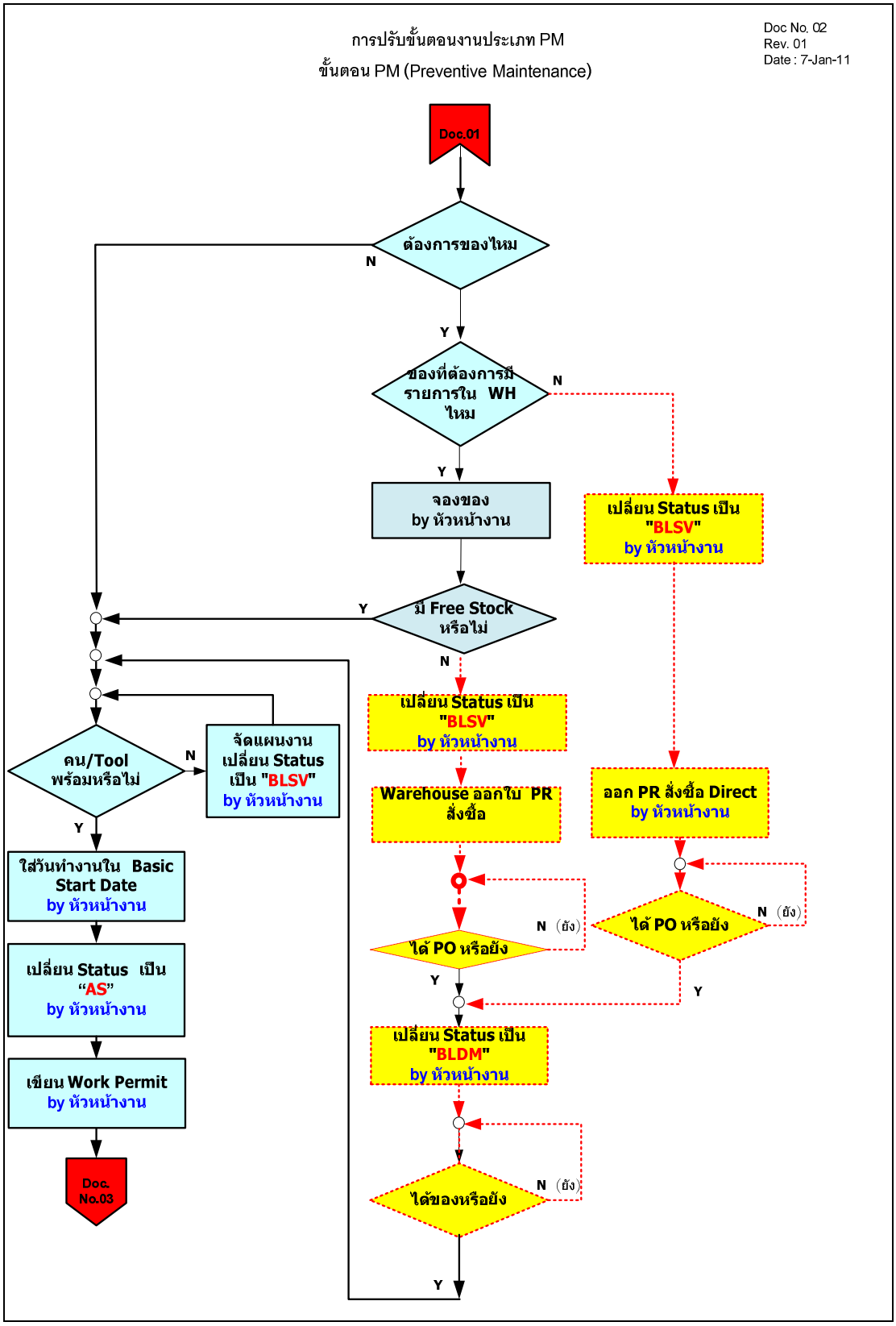
3) ในขั้นตอนการปฏิบัติงาน (Execute Work) นั้นด้วยการ การพิจารณาปรับปรุงและจัดทำคู่มือและเอกสารเพื่อการดำเนินกิจกรรม Preventive Maintenance รวมทั้งประเภทงาน Corrective Maintenance ที่เกิดขึ้นบ่อยครั้งกำกับไว้ในลักษณะวิธีปฏิบัติงาน (Work Instruction) และระบุในขั้นตอนการปฏิบัติงาน จะช่วยลดเวลาในการดำเนินการในขั้นตอนนี้เมื่อเทียบกับขั้นตอนการปฏิบัติงานก่อนปรับปรุงที่ส่วนมากแล้วจะอาศัยประสบการณ์และความรู้ของผู้ทำงานเป็นหลักซึ่งแน่นอนว่าแต่ละผู้ปฏิบัติย่อมมีความแตกต่างกัน ดังนั้นการปรับปรุงโดยพิจารณาจัดทำปรับปรุง Work Instruction ในงานแล้วฝึกอบรมในลักษณะ OJT เพื่อใช้เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานในลักษณะเดียวกันโดยวิธีการปฏิบัติที่เป็นมาตรฐานเดียวกันจะช่วยให้ลดความผิดพลาดจากผู้ดำเนินการและวิธีการปฏิบัติงานลงได้อันจะช่วยลดเวลาปฏิบัติงานได้ในที่สุด นอกจากนี้การฝึกอบรมแก่พนักงานเพื่อยกระดับความสามารถในการบำรุงรักษาโดยมีการถ่ายทอดและเผยแพร่

ความรู้การดำเนินกิจกรรมบำรุงรักษา ให้กับผู้ปฏิบัติการ ด้วยแนวทางการจัดประชุมแลกเปลี่ยนประสบการณ์ (Knowledge Sharing) และ กรณีศึกษา (Case study) ในงานบำรุงรักษา เพื่อให้เกิดการเรียนรู้อย่างทั่วถึง จะช่วยให้การดำเนินงานในขั้นตอน Execute Work นี้ลดลงอย่างแน่นอน ซึ่งรายละเอียดเรื่องการจัดทำและปรับปรุงวิธีปฏิบัติงานและการฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานรวมถึงการทำ Knowledge Sharing จะกล่าวถึงรายละเอียดในวิธีการปรับปรุงในหัวข้อต่อไป

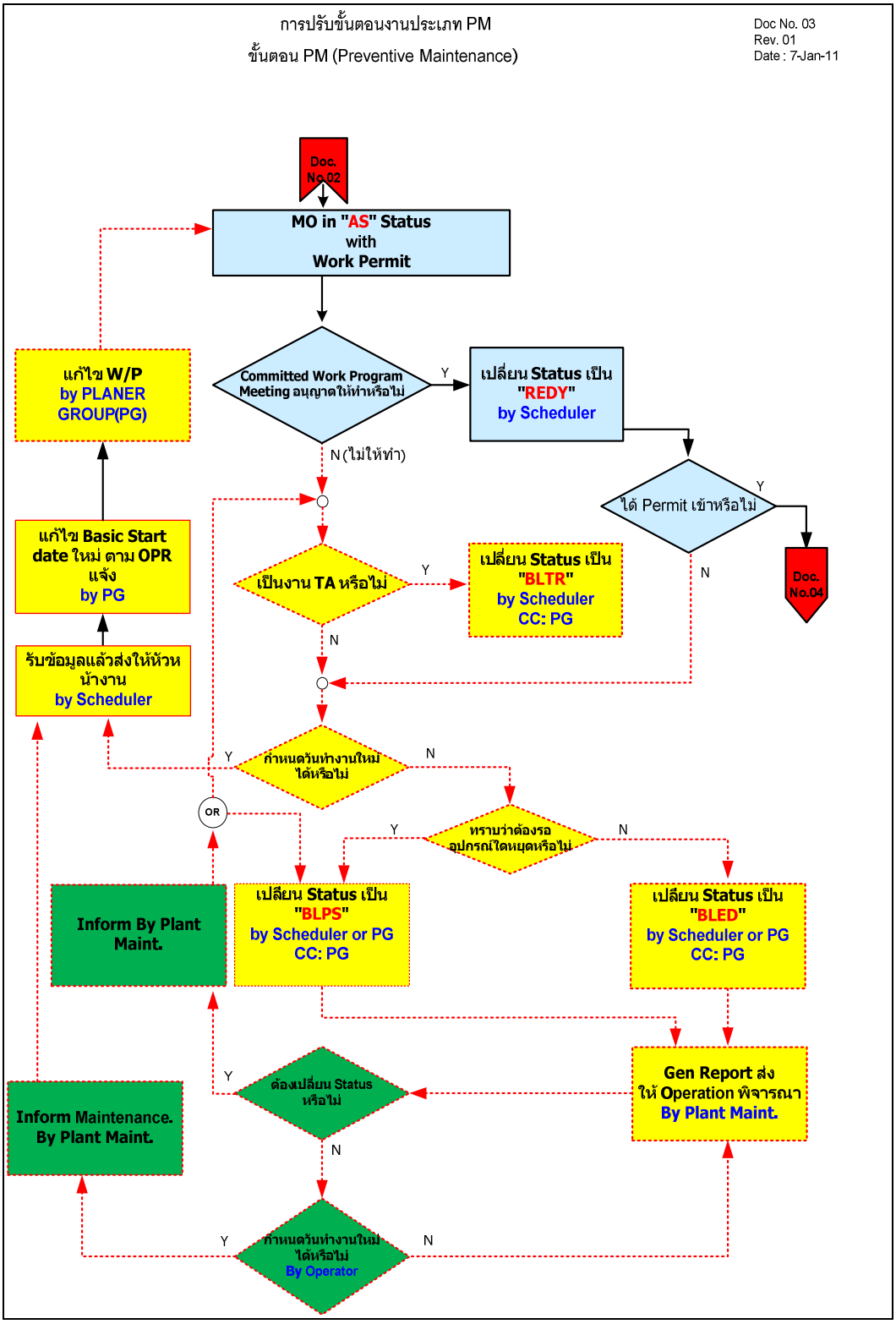
จากขั้นตอนดำเนินงานบำรุงรักษาที่ออกแบบปรับปรุงคือ รูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.5 สำหรับงานประเภท Preventive Maintenance และ Corrective Maintenance ตามลำดับ จะสามารถจัดทำเป็นรายละเอียดขั้นตอนปฏิบัติงานใหม่ เพื่อความเข้าใจในการปฏิบัติงานของทีมงานบำรุงรักษา โดยแสดงในลักษณะแผนผังการไหลของงาน (Work Flow) ตามขั้นตอน ซึ่งจะแสดง Work Flow ที่คลอบคลุมการดำเนินงานบำรุงรักษาตามประเภทงานบำรุงรักษาที่เชื่อมโยงถึงกัน ดังรูปที่ 4.6a 4.6b 4.6c 4.6d สำหรับงานประเภท Preventive Maintenance และรูปที่ 4.7a 4.7b 4.7c 4.7d 4.7e สำหรับงานประเภท Corrective Maintenance และ Breakdown Maintenance (สำหรับการอธิบายความหมายคำย่อต่างๆใน Work Flow จะแสดงรายละเอียดดังภาคผนวก ค ซึ่งเป็นข้อมูลที่นำมาจากระบบ CMMS ที่โรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษาใช้เป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการข้อมูลด้านงานบำรุงรักษา)



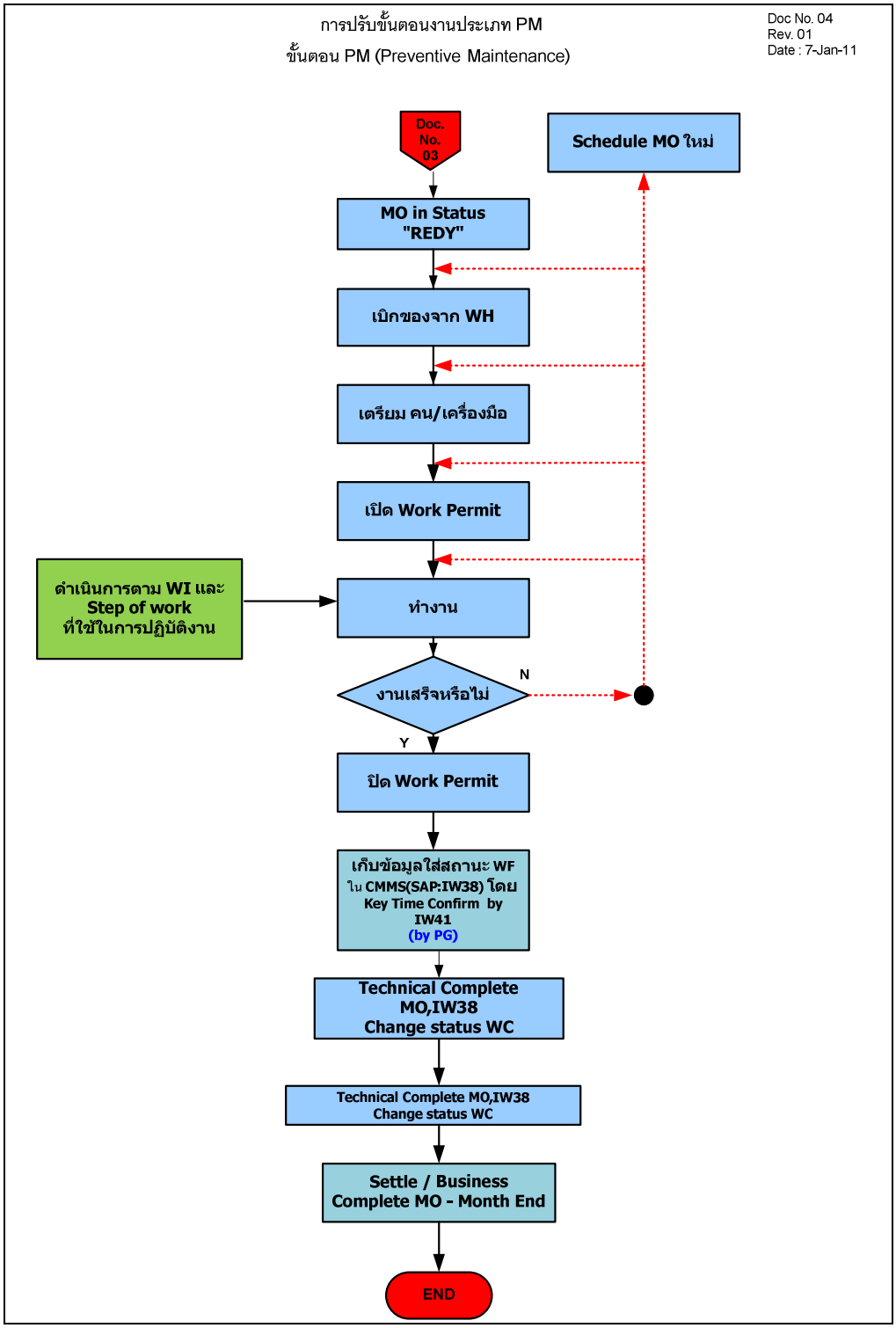
รูปที่ 4.6a ขั้นตอนงานบำรุงรักษาประเภท Preventive Maintenance หมายเลข 1



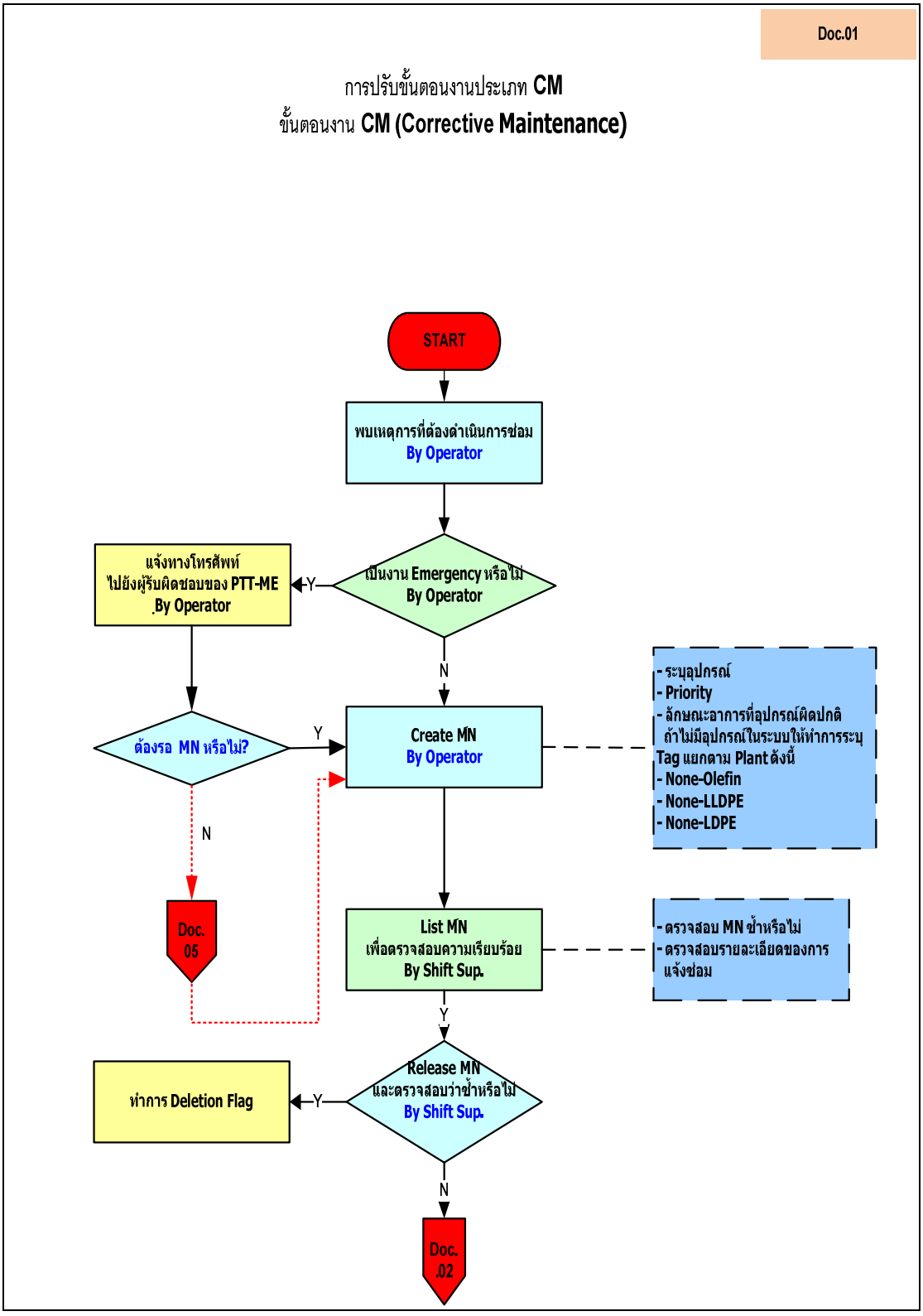
รูปที่ 4.6b ขั้นตอนงานบำรุงรักษาประเภท Preventive Maintenance หมายเลข 2



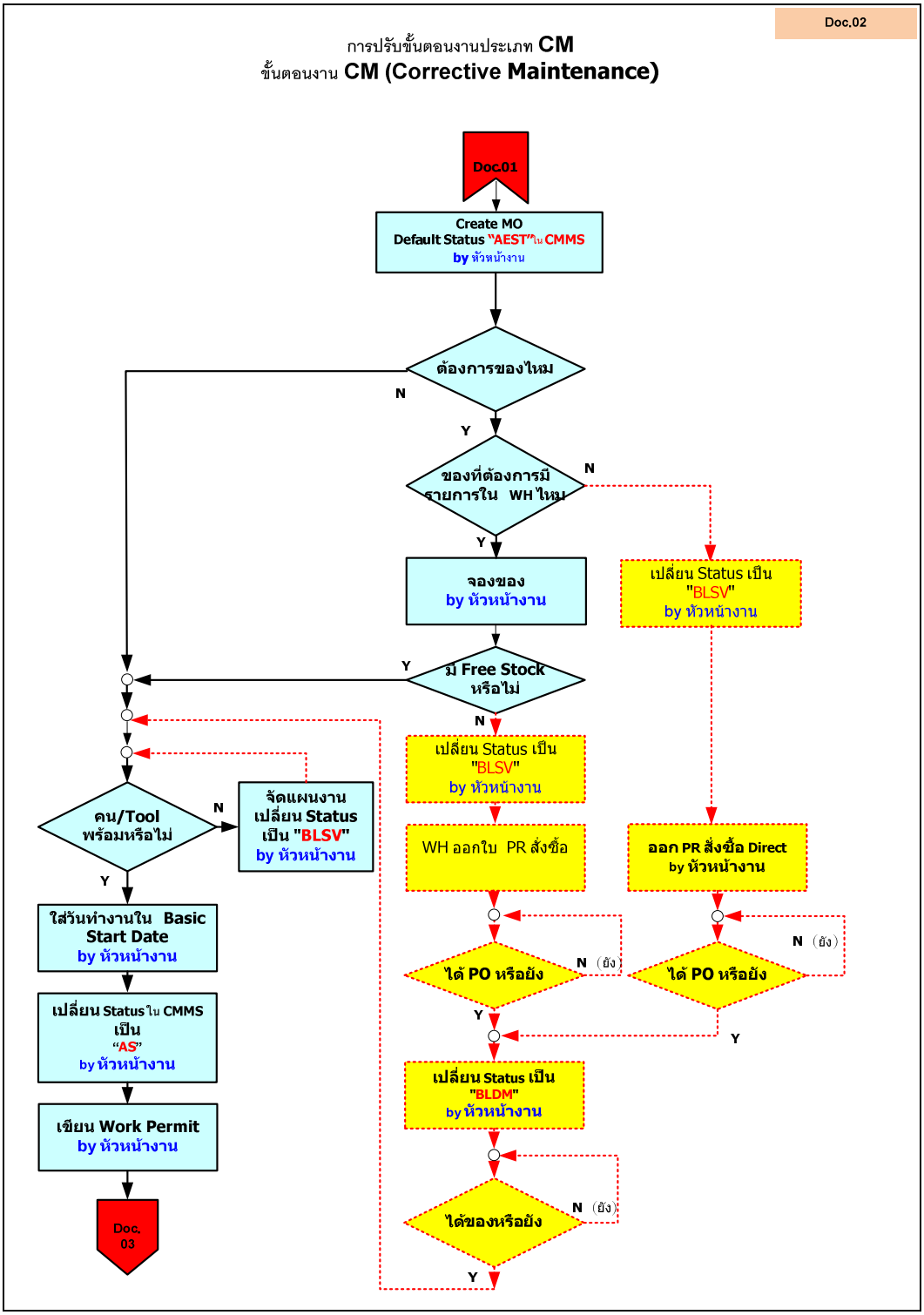
รูปที่ 4.6c ขั้นตอนงานบำรุงรักษาประเภท Preventive Maintenance หมายเลข 3



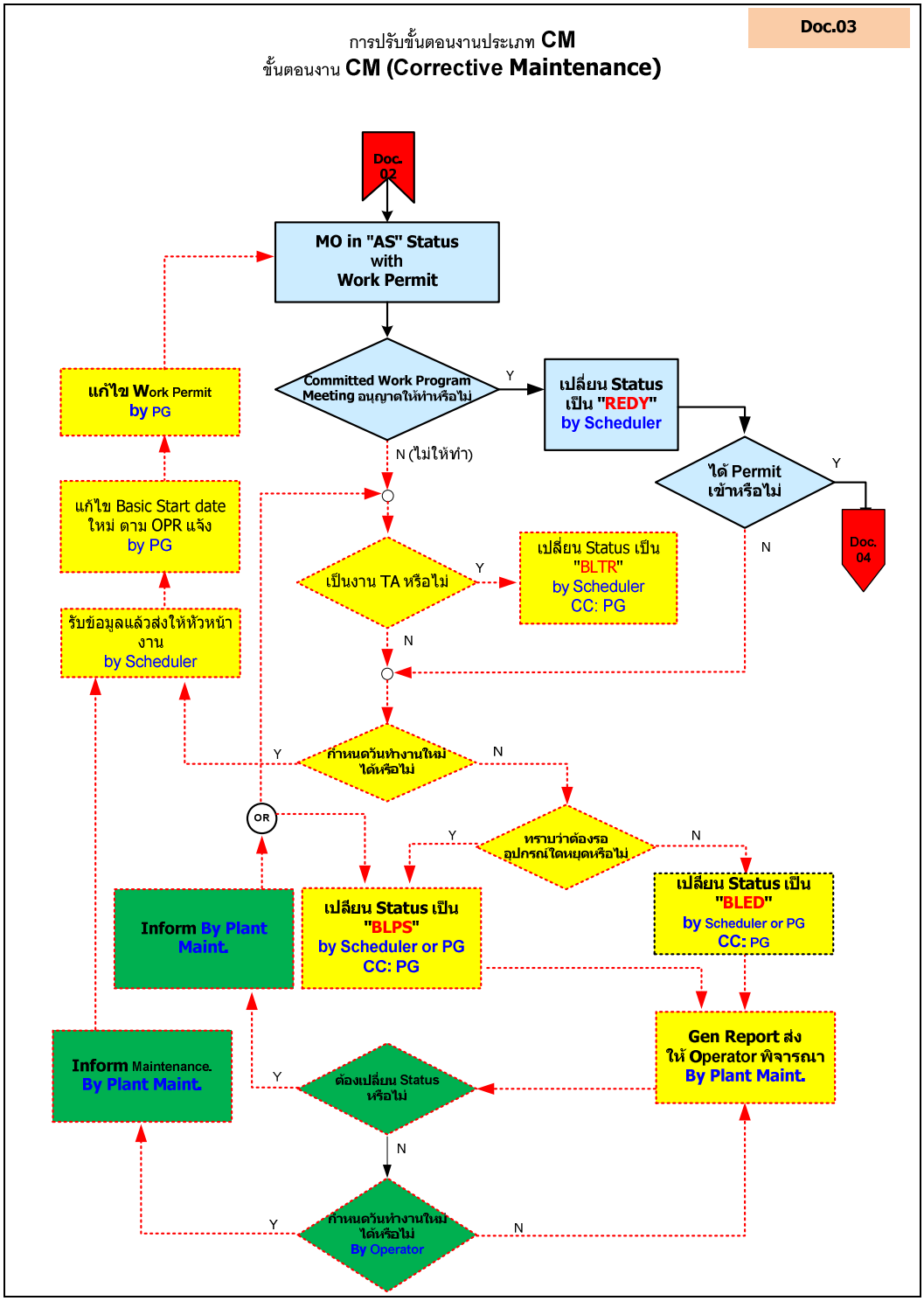
รูปที่ 4.6d ขั้นตอนงานบำรุงรักษาประเภท Preventive Maintenance หมายเลข 4



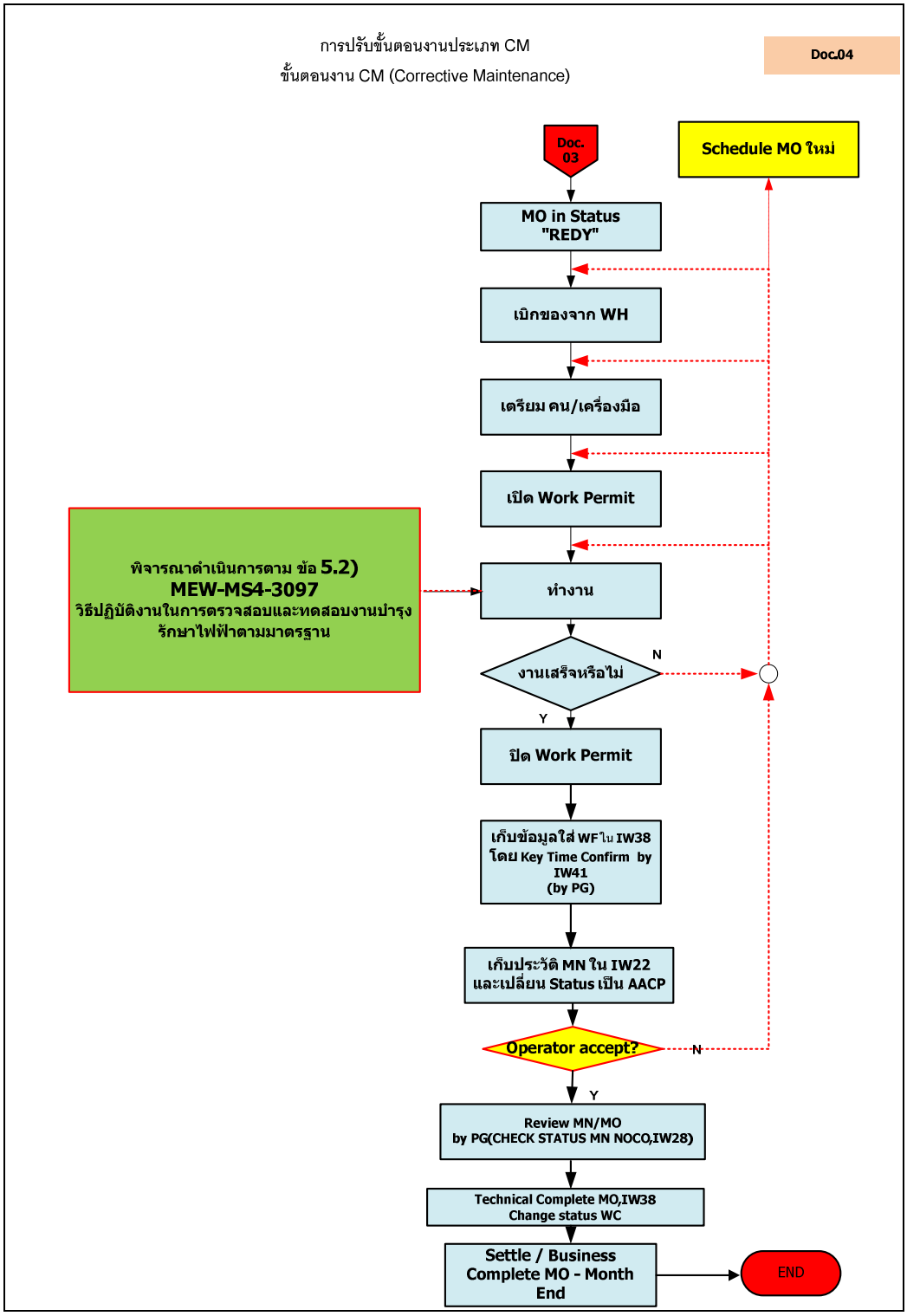
รูปที่ 4.7a ขั้นตอนงานบำรุงรักษาประเภท Corrective Maintenance หมายเลข 1



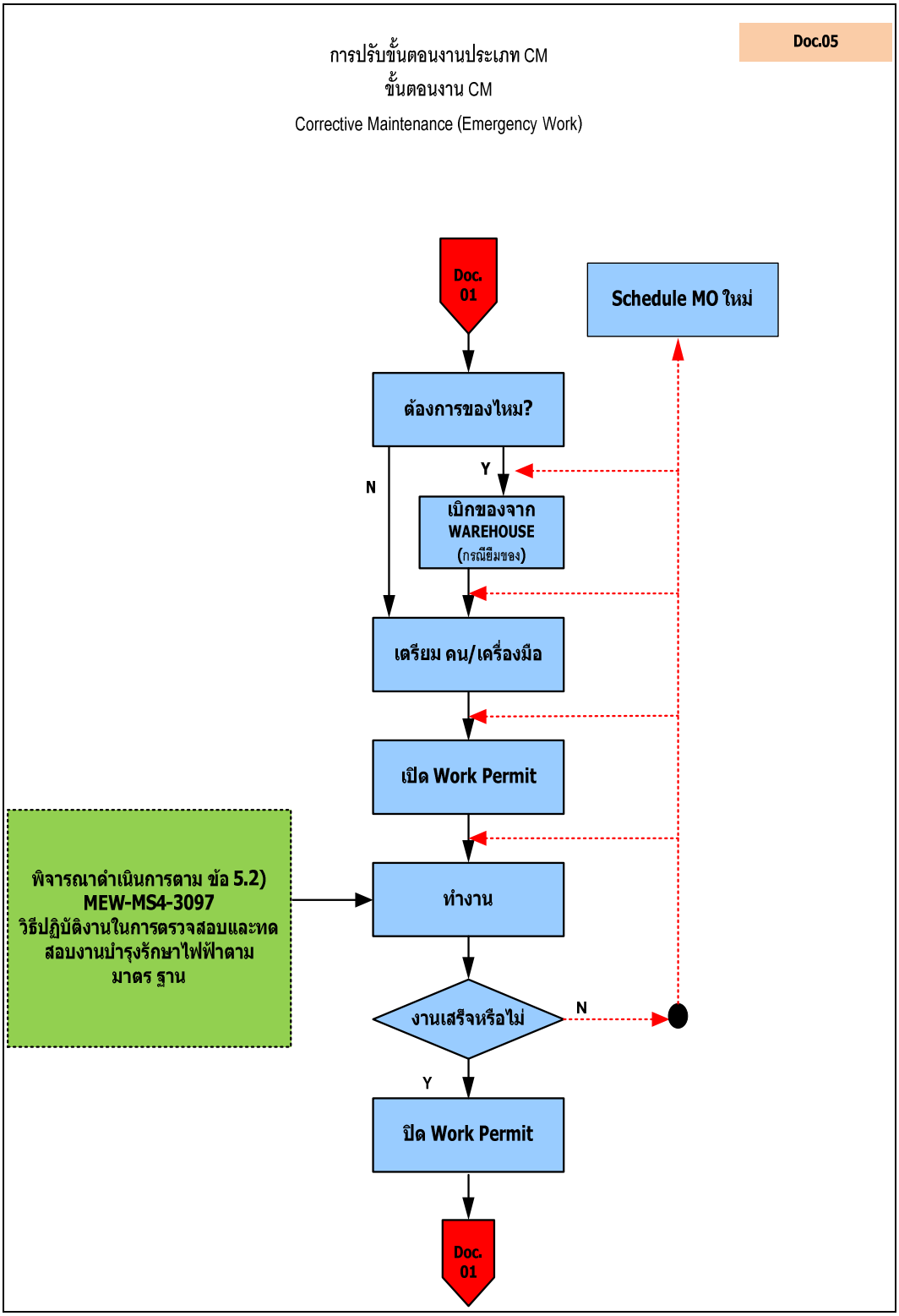
รูปที่ 4.7b ขั้นตอนงานบำรุงรักษาประเภท Corrective Maintenance หมายเลข 2



รูปที่ 4.7c ขั้นตอนงานบำรุงรักษาประเภท Corrective Maintenance หมายเลข 3



รูปที่ 4.7d ขั้นตอนงานบำรุงรักษาประเภท Corrective Maintenance หมายเลข 4



รูปที่ 4.7e ขั้นตอนงานบำรุงรักษาประเภท Corrective Maintenance หมายเลข 5 รวมถึงกรณีงานบำรุงรักษาแบบฉุกเฉิน (Emergency Work)

จากการปรับปรุงลำดับขั้นตอนการทำงานข้างต้นมีจุดประสงค์เพื่อให้เกิดความคล่องตัวในการปฏิบัติงานอันจะช่วยลดเวลาในการบำรุงรักษาลง โดยคลอบคลุมในกิจกรรมงานบำรุงรักษา ได้แก่ การทำงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance :PM) การทำงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Corrective Maintenance :CM) การทำงานบำรุงรักษากรณีฉุกเฉิน (Emergency Maintenance : EM) และรวมถึงการบำรุงรักษาเมื่อเครื่องเสีย (Breakdown Maintenance :BD) ตลอดจนการดำเนินการจัดเตรียมชิ้นส่วนอะไหล่ วัสดุและเครื่องมือต่างๆ ให้พร้อมเพื่อสะดวกต่อการหยิบใช้ในงานบำรุงรักษาอันจะช่วยลดเวลาในการแก้ไขเครื่องจักรลง รวมทั้งการประสานงานเพื่อจัดเตรียมอุปกรณ์สำรอง (Stand by)ใช้งานแทนในขณะทำการถอดเปลี่ยนชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่ทำการแก้ไขซึ่งจะช่วยให้การดำเนินการแก้ไขเป็นไปอย่างคล่องตัวไม่ถูกกดดันอันอาจจะนำไปสู่การบำรุงรักษาหรือแก้ไขที่ผิดพลาดจนต้องเริ่มใหม่และเวลาในการบำรุงรักษาเพิ่มขึ้น

4.2.2) จัดทำและปรับปรุงวิธีการปฏิบัติงาน

จัดทำวิธีปฏิบัติงานเพื่อการดำเนินกิจกรรมงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไขที่เคยเกิดขึ้นบ่อยครั้ง การบำรุงรักษาเมื่อเครื่องเสีย และ การบำรุงรักษากรณีฉุกเฉิน เพื่อให้มีการปฏิบัติที่เหมาะสมถูกต้องตามขั้นตอนและวิธีแก้ไขปัญหา และ เป็นไปในทางเดียวกันอันจะช่วยลดเวลาในการปฏิบัติงานลง โดยรายการวิธีปฏิบัติงานที่งานวิจัยนี้ได้จัดทำและปรับปรุงแสดงตามวัตถุประสงค์แยกตามประเภทงานบำรุงรักษาดังตารางที่ 4.3 ซึ่งแสดงเป็น Step of Work การปฏิบัติงานบำรุงรักษาตามวิธีการบำรุงรักษาแยกตามแผนบำรุงรักษาดังภาคผนวก ง

ตารางที่ 4.3 รายการวิธีปฏิบัติงานบำรุงรักษา

ลำดับ	รายการวิธีปฏิบัติงาน	ใช้บำรุงรักษา ประเภท
1	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบสภาพของมอเตอร์แรงดันสูง แบบที่ 1	PM CM
2	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบสภาพของมอเตอร์แรงดันสูง แบบที่ 2	PM CM
3	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบสภาพของมอเตอร์แรงดันสูง แบบที่ 3	PM BD
4	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบสภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ แบบที่ 1	PM CM
5	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบสภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ แบบที่ 2	PM CM
6	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบสภาพของมอเตอร์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ แบบที่ 3	PM BD
7	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบสภาพหม้อแปลงไฟฟ้าชนิด Oil Immerseแบบที่ 1	PM

ตารางที่ 4.3 รายการวิธีปฏิบัติงานบำรุงรักษา (ต่อ)

ลำดับ	รายการวิธีปฏิบัติงาน	ใช้บำรุงรักษา ประเภท
8	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบสภาพหม้อแปลงไฟฟ้า Oil Immerse แบบที่ 2	CM
9	วิธีปฏิบัติงานการทดสอบความเป็นฉนวนของน้ำมันหม้อแปลง	PM CM
10	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบสภาพฉนวนของขดลวดหม้อแปลงไฟฟ้า	PM CM BD
11	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบสภาพ Neutral Grounding Resistor ของหม้อแปลง	PM CM
12	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบ UPS แบบที่ 1	PM
13	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบ UPS แบบที่ 2	PM CM BD EM
14	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบ UPS แบบที่ 3	PM CM BD
15	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบแบตเตอรี่ แบบที่ 1	PM
16	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบ DC Charger แบบที่ 1	PM
17	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบ DC. Charger แบบที่ 2	PM CM BD EM
18	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบ Control Panel แบบที่ 1	PM BD EM
19	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบ Switchgear แรงดันสูงปานกลาง แบบที่ 1	PM CM BD EM
20	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบสภาพ Overhead Crane & Hoist แบบที่ 1	PM
21	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบสภาพ Overhead Crane & Hoist แบบที่ 2	PM CM
22	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบ Motor Control Center (MCC) แบบที่ 1	PM CM BD EM
23	วิธีปฏิบัติการตรวจสอบ Lighting and Receptacle Panel แบบที่ 1	PM CM
24	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบ ON-Load tap Changer แบบที่ 1	PM CM
25	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบ Capacitor (Detuned Filter) แบบที่ 1	PM CM
26	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบ Local Failure Monitoring Panel (LFMP) แบบที่ 1	PM
27	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบ IPRP แบบที่ 1	PM CM BD EM
28	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบ Low Voltage Inverter แบบที่ 1	PM CM
29	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบ Medium Voltage Inverter แบบที่ 1	PM CM EM
30	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบ Slip Ring Wound Rotor Motor แบบที่ 1	PM CM
31	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบสภาพ SSTV แบบที่ 1	PM CM
32	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบระบบ Cathodic Protection แบบที่ 1	PM CM

ตารางที่ 4.3 รายการวิธีปฏิบัติงานบำรุงรักษา (ต่อ)

ลำดับ	รายการวิธีปฏิบัติงาน	ใช้บำรุงรักษา ประเภท
33	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบระบบ Cathodic Protection แบบที่ 2	PM CM
34	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบระบบสายดิน แบบที่ 1	PM CM
35	วิธีปฏิบัติงานตรวจสอบระบบ Electric Heater แบบที่ 1	PM CM EM
36	วิธีปฏิบัติงานตรวจสอบ DFR Panel แบบที่ 1	PM
37	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบ Auto Transformer แบบที่ 1	PM CM
38	วิธีการปฏิบัติงานการตรวจสอบ Auto Transformer แบบที่ 2	PM CM
39	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบ Dry Type Transformer แบบที่ 1	PM CM
40	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบระบบ Emergency Light แบบที่ 1	PM
41	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบระบบ Emergency Light แบบที่ 2	PM
42	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบลิฟท์ แบบที่ 1	PM BD EM
43	วิธีปฏิบัติงานการตรวจสอบลิฟท์ แบบที่ 2	PM CM
44	วิธีปฏิบัติงานในการตรวจสอบและทดสอบงานบำรุง รักษาไฟฟ้าตามมาตรฐาน	CM BD
45	วิธีการปฏิบัติงานตรวจสอบระบบ FM-200 แบบที่ 1	PM
46	วิธีการปฏิบัติงานตรวจสอบ DC Motor แบบที่ 1	PM
47	วิธีการปฏิบัติงานตรวจสอบ DC Motor แบบที่ 2	PM CM
48	วิธีการปฏิบัติงานตรวจสอบ DC Motor แบบที่ 3	PM CM BD EM
49	วิธีการปฏิบัติงานตรวจสอบระบบ สัญญาณเตือนอัคคีภัย แบบที่ 1	PM
50	วิธีการปฏิบัติงานตรวจสอบ Switchgear แรงดันสูงปานกลาง แบบที่ 2	PM CM BD
51	วิธีการปฏิบัติงานตรวจสอบ Switchgear แรงดันสูงปานกลาง แบบที่ 2	CM
52	วิธีการปฏิบัติงานตรวจสอบ Motor Control Center (MCC) แบบที่ 3	PM CM BD EM
53	วิธีการปฏิบัติงานตรวจสอบ Air Circuit Breaker แบบที่ 1	PM CM BD EM

PM หมายถึง Preventive Maintenance CM หมายถึง Corrective Maintenance

EM หมายถึง Emergency Maintenance BD หมายถึง Breakdown Maintenance

4.2.3) ปรับปรุงแผนงานบำรุงรักษา

ในงานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงแผนงานบำรุงรักษาโดยพิจารณาปรับปรุงแผนบำรุงรักษาในแต่ละชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้าตามหลักการบำรุงรักษาเพื่อช่วยลดเวลาการปฏิบัติงานที่ไม่จำเป็นและจัดแผนบำรุงรักษาที่เหมาะสมตามชนิดของเครื่องจักร โดยอ้างอิงจากคู่มือปฏิบัติงานที่จะช่วยลดเรื่องการเกิดความเสียหายทำให้ต้องใช้เวลาในการแก้ไข หลักการบำรุงรักษาที่นำมาพิจารณาปรับปรุงมีดังต่อไปนี้

1) การบำรุงรักษาแบบมีแผน (Planned Maintenance) การบำรุงรักษาแบบมีแผน จะหมายความรวมถึงการบำรุงรักษาแบบต่าง ๆ ทั้งหมดที่กระทำไปโดยมีการวางแผนล่วงหน้า มีการควบคุมและมีการบันทึกข้อมูลต่างๆ ไว้ แบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

1.1) การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) หมายถึงงานบำรุงรักษามีแผนที่กระทำไปโดยมีจุดมุ่งหมายที่จะป้องกันมิให้เครื่องจักรชำรุดโดยการบำรุงรักษาแบบป้องกัน แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

a) การบำรุงรักษาขณะเดินเครื่อง (Running Maintenance) ซึ่งหมายถึงงานบำรุงรักษาทำได้โดยไม่ต้องหยุดเครื่อง

b) การบำรุงรักษาขณะหยุดเครื่อง (Shutdown Maintenance) ซึ่งเป็นการหยุดโดยมีแผนกำหนดไว้แน่นอน เช่น การเปลี่ยนชิ้นส่วน

1.2) การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Corrective Maintenance) หมายถึงงานบำรุงรักษาที่มีแผนที่จะทำเพื่อแก้ไข ปรับยกสถานะ การปฏิบัติของเครื่องจักรให้คืนสู่สภาพปกติ การบำรุงรักษาแบบแก้ไข ก็แบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ เช่นกัน คือ

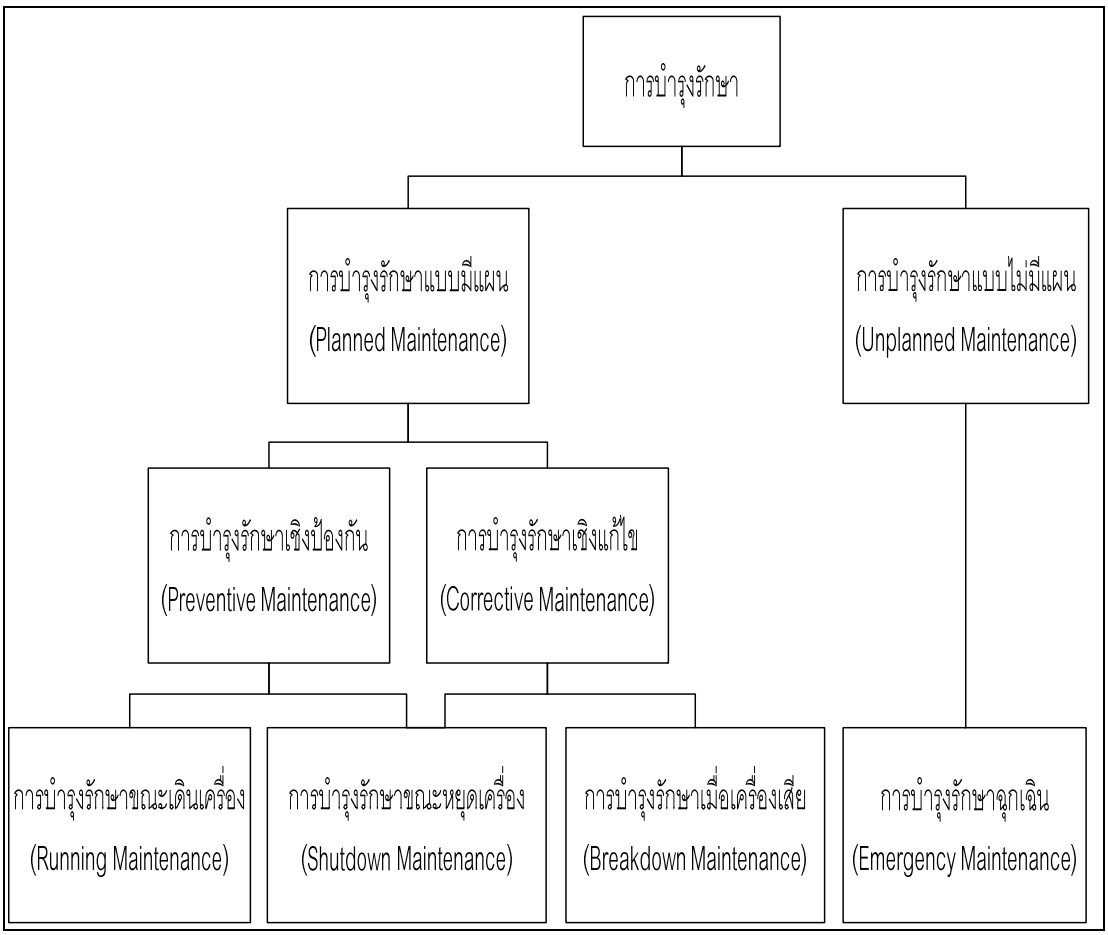
a) การบำรุงรักษาขณะหยุดเครื่อง (Shutdown Maintenance) โดยมีแผนที่กำหนดแน่นอน เช่น การซ่อมเครื่องจักรสำรองซึ่งเสียหายแต่ไม่จำเป็นต้องซ่อมในทันทีที่เครื่องเสีย จึงกำหนดแผนการซ่อม

b) การบำรุงรักษาเมื่อเครื่องเสีย (Breakdown Maintenance) ที่ได้มีการเตรียมการไว้แล้วว่าเมื่อเครื่องเกิดเสียขึ้นจะมีวิธีปฏิบัติอย่างไร จึงจะดูแลแก้ไขให้คืนสู่สภาพเดิมได้เร็วที่สุด

2) การบำรุงรักษาแบบไม่มีแผน (Unplanned Maintenance) การบำรุงรักษาแบบไม่มีแผนนั้นก็คือ การบำรุงรักษาฉุกเฉินนั่นเอง จะต่างจากการบำรุงรักษาเมื่อเครื่องเสียโดยการบำรุงรักษาฉุกเฉินนั้นจะไม่มีการเตรียมงานไว้ล่วงหน้าก่อน เมื่อเครื่องจักรเกิดการชำรุดเสียหายขึ้น จะดำเนินการแก้ไขซ่อมแซมความเสียหายตามสภาพที่เกิดขึ้น แต่สำหรับการบำรุงรักษาเมื่อเครื่องเสียนั้นจะมีการ

คาดคะเนไว้ล่วงหน้าก่อน เมื่อมีรายงานว่าเครื่องเสีย ส่วนใหญ่จะทราบได้ทันทีจากอาการที่เครื่องเสียว่าจะต้องปฏิบัติงานอะไรบ้าง ผู้ปฏิบัติงานสามารถที่จะเตรียมอุปกรณ์ อะไหล่ เครื่องมือที่ต้องใช้และอาจสามารถประมาณการได้ว่าจะใช้เวลาปฏิบัติงานสักเท่าใดด้วย

โดยจากหลักการบำรุงรักษาที่กล่าวมาแสดงเป็นแผนผังแผนบำรุงรักษาได้ตามรูปที่ 4.8 และเมื่อนำประเภทของอุปกรณ์ไฟฟ้าของโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษามาปรับปรุงแผนงานจะแสดงแผนงานบำรุงรักษาและแนวทางดำเนินการตามชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า ดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.8 แผนผังงานบำรุงรักษาตามชนิดอุปกรณ์ไฟฟ้า

ตารางที่ 4.4 แผนบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าแยกตามประเภทอุปกรณ์

EQUIPMENT TYPE	การจัดให้มีแผนบำรุงรักษา (✓ = จัดให้มีแผนบำรุงรักษา)				
	Planned Maint.				Unplanned Maint.
	Preventive Maint.		Corrective Maint.		
	Running Maint.	Shutdown Maint.	Running Maint.	Shutdown Maint.	(Emer. Maint.
< 600 V SWITCHGEAR	✓	✓		✓	✓
FM-200	✓			✓	
< 600 V INDUCTION MOTOR	✓	✓	✓	✓	✓
LOCAL SWITCH STATION		✓		✓	✓
INTERCOM	✓			✓	
FIRE ALARM	✓			✓	
LIGHTNING			✓	✓	
GROUNDING	✓	✓	✓	✓	
22, 6.6 kV SWITCHGEAR	✓	✓		✓	✓
EMERGENCY LAMPS	✓			✓	
CCTV	✓			✓	
CONVERTERS&VSD	✓	✓	✓	✓	✓
CONTROL PANEL		✓		✓	✓
6.6 KV INDUCTION MOTOR	✓	✓	✓	✓	✓
CRANE		✓		✓	
LIGHTING PANELS				✓	
CATHODIC PROTECTION	✓			✓	
BUS-DUCT		✓		✓	
TRANSFORMER-OILTYPE	✓	✓	✓	✓	✓
DETUNED FILTER	✓		✓	✓	
ELECTRIC HEATERS	✓	✓		✓	✓
DC. MOTORS	✓	✓	✓	✓	✓
HOIST		✓		✓	
BATTERY BANK	✓	✓		✓	
INTERPOSING RELAY		✓		✓	✓
ELEVETOR		✓		✓	✓

ตารางที่ 4.4 แผนบำรุงรักษาอุปกรณ์ไฟฟ้าแยกตามประเภทอุปกรณ์ (ต่อ)

EQUIPMENT TYPE	การจัดให้มีแผนบำรุงรักษา (✓ = จัดให้มีแผนบำรุงรักษา)				
	Planned Maint.				Unplanned Maint..
	Preventive Maint.		Corrective Maint.		
	Running Maint.	Shutdown Maint.	Running Maint.	Shutdown Maint.	(Emer. Maint.
BATTERY CHARGERS	✓	✓		✓	✓
NEUTRAL GROUNDING RESISTOR		✓		✓	
UPS	✓	✓		✓	✓
LOCAL FAILURE MONITORING ALARM PANEL	✓	✓		✓	
TRANSFORMER-DRYTYPE	✓	✓		✓	✓
DIGITAL FAULT RECODER	✓			✓	

จากแผนงานบำรุงรักษาที่ได้ปรับปรุงจะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าได้รับการจัดแผนบำรุงรักษาที่ถูกต้องเหมาะสมอันจะช่วยลดงานบำรุงรักษาที่ไม่จำเป็นในบางอุปกรณ์ และได้แผนบำรุงรักษาที่อุปกรณ์ต้องการจริงๆซึ่งจะส่งผลให้อุปกรณ์ไม่เกิดการเสียหายบ่อยครั้งซึ่งจะเป็นผลให้ลดเวลาในการปฏิบัติงานบำรุงรักษาลงได้

4.2.4) จัดสอนพัฒนาทักษะการปฏิบัติงานให้กับผู้ปฏิบัติงาน

จากขั้นตอนปฏิบัติงานที่ปรับปรุงและออกแบบใหม่ตามข้อ 4.2.1) การจัดทำและปรับปรุงวิธีการปฏิบัติงาน ตามข้อ 4.2.2) และการปรับปรุงแผนบำรุงรักษาตามข้อ 4.2.3) เพื่อนำมาใช้ปฏิบัติให้บรรลุจุดประสงค์เรื่องการลดเวลาในการบำรุงรักษาลงโดยให้ผู้ปฏิบัติงานมีความเข้าใจขั้นตอนงานและปฏิบัติงานไปในทางเดียวกันตามวิธีปฏิบัติงานจึงต้องมีการฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานซึ่งในการดำเนินการตามงานวิจัยนี้ได้กำหนดแผนการฝึกอบรมที่จำเป็นตามตำแหน่งงาน แล้ว ฝึกอบรมผู้ปฏิบัติงานตามแผนฝึกอบรมสำหรับวิธีปฏิบัติงานโดยการฝึกปฏิบัติงานในสถานที่จริง ที่เรียกว่า On the Job Training (OJT) แล้วประเมินผลโดยหัวหน้างานผู้ฝึกสอน แผนการฝึกอบรมตาม

ตำแหน่งงานที่งานวิจัยนี้ได้จัดทำขึ้นแสดงดังตารางที่ 4.5 และตัวอย่างการฝึกอบรม OJT แสดงดัง ภาคผนวก จ

ตารางที่ 4.5 ความต้องการการฝึกอบรมของพนักงานตามตำแหน่ง

หลักสูตร / กิจกรรม	ภายใน (วัน)	ประเภทของหลักสูตร		ตำแหน่งที่ต้องอบรม				
		INH	OJT	A	B	C	D	E
Functional Development Program (FDP)								
1. ความปลอดภัยในงานบำรุงรักษาไฟฟ้า	60 วัน	✓		✓	✓	✓	✓	✓
2. ขั้นตอนการดำเนินงานบำรุงรักษารวม	60 วัน	✓		✓	✓	✓	✓	✓
3. ขั้นตอนการดำเนินงานบำรุงรักษาฉุกเฉิน	60 วัน	✓		✓	✓	✓	✓	✓
4. ขั้นตอนการดำเนินงานการปฏิบัติงานบำรุงรักษาโดยใช้ระบบคอมพิวเตอร์ (CMMS)	60 วัน	✓		✓	✓	✓	✓	✓
5. ขั้นตอนการดำเนินงานการเบิกยืมเครื่องมือไฟฟ้า	60 วัน	✓		✓	✓	✓	✓	✓
6. ขั้นตอนการดำเนินงานการบริหารบัญชีพัสดุสำรองคงคลัง	60 วัน	✓		✓	✓	✓	✓	✓
7. วิธีการตรวจสอบสภาพของมอเตอร์แรงดันสูง	90 วัน		✓			✓	✓	✓
8. วิธีการตรวจสอบสภาพของมอเตอร์แรงดันต่ำ	90 วัน		✓			✓	✓	✓
9. วิธีการตรวจสอบสภาพหม้อแปลงไฟฟ้า Oil Immerse Type & Dry Type	90 วัน		✓			✓	✓	✓
10. วิธีการตรวจสอบสภาพ Neutral Grounding Resistor ของหม้อแปลงไฟฟ้า	90 วัน		✓			✓	✓	✓
11. วิธีการตรวจสอบ UPS	90 วัน		✓			✓	✓	✓
12. วิธีการตรวจสอบแบตเตอรี่	90 วัน		✓			✓	✓	✓
13. วิธีการตรวจสอบ DC. Charger	90 วัน		✓			✓	✓	✓
14. วิธีการตรวจสอบ Switchgear แรงดันสูงปานกลาง	90 วัน		✓			✓	✓	✓
15. วิธีการตรวจสอบ Bus duct	90 วัน		✓			✓	✓	✓

ตารางที่ 4.5 ความต้องการการฝึกอบรมของพนักงานตามตำแหน่ง (ต่อ)

หลักสูตร / กิจกรรม	ภายใน (วัน)	ประเภทของหลักสูตร		ตำแหน่งที่ต้องอบรม				
		INH	OJT	A	B	C	D	E
Functional Development Program (FDP)								
16. วิธีการตรวจสอบสภาพ Overhead Crane & Hoist	90 วัน		✓			✓	✓	✓
17. วิธีการตรวจสอบ Air Circuit Breaker (ACB)	90 วัน		✓			✓	✓	✓
18. วิธีการตรวจสอบ Motor Control Center	90 วัน		✓			✓	✓	✓
19.วิธีการตรวจสอบ Main Distribution Panel	90 วัน		✓			✓	✓	✓
20. วิธีการตรวจสอบ Sub Distribution Panel	90 วัน		✓			✓	✓	✓
21. วิธีการตรวจสอบ CAPACITOR	90 วัน		✓			✓	✓	✓
22. วิธีการตรวจสอบ LOW VOLTAGE INVERTER	90 วัน		✓			✓	✓	✓
23. วิธีการตรวจสอบระบบ Cathodic Protection	90 วัน		✓			✓	✓	✓
24. วิธีการตรวจสอบระบบป้องกันฟ้าผ่า	90 วัน		✓			✓	✓	✓
25. วิธีการการตรวจสอบระบบ FM-200	90 วัน		✓			✓	✓	✓
26. วิธีการตรวจสอบ Electric heater	90 วัน		✓			✓	✓	✓
27. วิธีการตรวจสอบ Auto Transformer	90 วัน		✓			✓	✓	✓
28. วิธีการตรวจสอบระบบ Emergency Light	90 วัน		✓			✓	✓	✓
29. วิธีการปฏิบัติงานการตรวจสอบลิฟท์	90 วัน		✓			✓	✓	✓

INH : การฝึกอบรม / สัมมนาภายในองค์กร **OJT :** การฝึกอบรมด้วยการปฏิบัติงาน

A : หัวหน้าหน่วยงาน **B :** วิศวกร **C :** หัวหน้างาน/ผู้จัดการแผนก

D : ช่างอาวุโส **C :** ช่างเทคนิค **E :** ผู้ช่วยช่างเทคนิค

4.2.5) ประชุมสื่อสารภายในแลกเปลี่ยนความรู้ในการปฏิบัติงาน

เนื่องจากความสามารถในการปฏิบัติงานของผู้ปฏิบัติงานจะแตกต่างกัน โดยนอกเหนือจากการพัฒนาทักษะที่ฝึกอบรม OJT ตามข้อ 4.2.4) แล้ว ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้มีการประชุมแบ่งปันแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์ (Knowledge Sharing) ซึ่งได้พิจารณา 2 กรณีคือกรณีเป็นความรู้ที่ชัดแจ้งได้จัดทำเป็น เอกสาร เพื่อเป็นฐานความรู้ และกรณีเป็นความรู้ที่ฝังลึกในบุคคล ได้จัดเป็นการประชุมแลกเปลี่ยนความรู้ในหน่วยงานซึ่งงานวิจัยนี้ได้นำเอาตัวอย่างกรณีศึกษาในงานบำรุงรักษาที่เคยเกิดปัญหามาทั้งจากในโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษา และจากโรงงานอื่นๆในกลุ่มบริษัทเดียวกันที่ได้แบ่งปันข้อมูล มาสรุปลำดับปัญหา สาเหตุ และวิธีการแก้ไข เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถที่จะเรียนรู้แนวทางแก้ปัญหา วิธีการปฏิบัติงานที่ถูกต้องในแนวทางเดียวกันหากเกิดปัญหาลักษณะนี้ขึ้นมาอีก ซึ่งจะช่วยลดเวลาในการปฏิบัติงานลงได้ รายการ Knowledge Sharing ที่งานวิจัยนี้ได้จัดทำในรอบเวลาที่ดำเนินงานวิจัย และมีการประชุมแลกเปลี่ยนความรู้ในหน่วยงาน แสดงดังตารางที่ 4.6 และแสดงเอกสารตัวอย่างดังภาคผนวก ฉ

ตารางที่ 4.6 รายการ Knowledge Sharing

กรณีศึกษาลำดับที่	ชื่อ Knowledge Sharing	วันที่จัดประชุม
1	Mixer Motor 6.9 kV. 10 MW. (Slip ring type) ไม่ทำงานตาม Start Sequence ตามที่ออกแบบ เมื่อเดินเครื่องใช้งานได้ส่งผลกระทบต่อความเสียหายกับชุด Slip ring และStarting Component Equipment	9 ธันวาคม 2553
2	Motor Protection Relay มีอาการ Hang ส่งผลให้ Motor หยุดทำงานเป็นผลให้ กระบวนการผลิตต้อง Shutdown	23 ธันวาคม 2553
3	ปัญหา Motor Boiler feed pump พิกัด 6.9 kV. 1.5 MW. เมื่อ Overhaul เสร็จแล้วนำมาติดตั้งพบการเกิด Vibration เนื่องจากสาเหตุ Soft foot	6 มกราคม 2554
4	มอเตอร์ใช้งาน Driven Load ประเภท PUMP พิกัด 380 V 30 kW เกิดปัญหาเสียงดังขณะเดินเครื่องใช้งาน	31 มกราคม 2554
5	Cracking Heater ที่ใช้ใน Process Trip เนื่องจากระบบ Interlocking ทำงาน จากปัญหาสัญญาณ Status Valve OPEN ของ Motor Operate Valve หายไป จึงทำให้ระบบ Interlocking ทำงานสั่ง Trip	3 กุมภาพันธ์ 2554

4.3 ผลการปรับปรุง

ภายหลังจากดำเนินการปรับปรุงตามข้อ 4.2 งานวิจัยนี้จึงได้เก็บรวบรวมเวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษาที่แสดงเป็นชั่วโมงทำงานในงานบำรุงรักษา (Man Hour) และค่า SEC รวมถึงตัวแปรตัวแปรต่างๆที่สนใจตรวจติดตามผล ได้แก่ ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในงานบำรุงรักษา และ Plant Reliability ซึ่งจะเก็บข้อมูลในเดือนกุมภาพันธ์ 2554 มีนาคม2554 และเมษายน 2554 ผลการเก็บข้อมูลแยกตามตัวแปรที่สนใจตรวจติดตาม ดังนี้

ตารางที่ 4.7 ผลการเก็บข้อมูลแสดงเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2554 ประเภทงาน Planned Maintenance

รายการงานบำรุงรักษา	Work/ Month	ค่าบำรุงรักษาต่อชั่วโมงตามระดับแรงงาน(บาท)				Time (Hr)	Total Time (Hrs)	Maintenance Cost (Baht)
		A	B	C	D			
กุมภาพันธ์ 2554		1045.06	723.52	606.53	430.7			
1M-DC CHARGER INSPECTION	2			1	1	0.75	1.5	1,555.85
1M-ELEVATOR INSPECTION	3			1	1	0.75	2.25	2,333.77
1M-FIRE ALARM INSPECTION	1			1	1	0.75	0.75	777.92
1M-INSPECTION BATTERY	4			1	1	1	4	4,148.92
1M-INSPECTION UNINTERRUPTIBLE POWER SUPP	2			1	1	1	2	2,074.46
2M - CATHODIC INSPECTION	8			1	1	0.75	6	6,223.38
2M-EMERGENCY LIGHTING INSPECTION	5			1	1	0.5	2.5	2,593.08
3M-DC MOTOR INSPECTION	2			1	1	0.75	1.5	1,555.85

ตารางที่ 4.7 ผลการเก็บข้อมูลแสดงเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2554 ประเภทงาน Planned Maintenance (ต่อ)

รายการงานบำรุงรักษา	Work/ Month	ค่าบำรุงรักษาต่อชั่วโมงตามระดับแรงงาน (บาท)				Time (Hr)	Total Time (Hrs)	Maintenance Cost (Baht)
		A	B	C	D			
กุมภาพันธ์ 2554		1045.06	723.52	606.53	430.7			
3M-DC MOTOR INSPECTION	1			1	1	0.75	0.75	777.92
3M-HIGH VOLTAGE MOTOR INSPECTION	2			1	2	1.75	3.5	5,137.76
3M-HIGH VOLTAGE MOTOR INSPECTION	5			1	1	1.75	8.75	9,075.76
3M-LOW VOLTAGE MOTOR INSPECTION	30			1	1	0.75	22.5	23,337.68
3M-LOW VOLTAGE MOTOR INSPECTION	4			1	1	0.5	2	2,074.46
Total Maintenance Cost							**58**	**61,666.79**

ตารางที่ 4.8 ผลการเก็บข้อมูลแสดงเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาประจำเดือน มีนาคม 2554 ประเภทงาน Planned Maintenance

รายละเอียดการตรวจสอบ	Work/ Month	ค่าบำรุงรักษาต่อชั่วโมงตามระดับแรงงาน (บาท)				Time (Hr)	Total Time (Hr)	Maintenance Cost (Baht)
		A	B	C	D			
มีนาคม 2554		1045.06	723.52	606.53	430.7			
1 Y-LFMP INSPECTION	1			1	1	0.75	0.75	777.92
1M-DC CHARG. INSPECTION	2			1	1	0.75	1.5	1,555.85
1M-ELEVATOR INSPECTION	5			1	1	0.75	3.75	3,889.61
1M-F/A INSPECTION	2			1	1	0.75	1.5	1,555.85
1M- BATTERY INSPECTION	4			1	1	1	4	4,148.92
1M- UPS INSPECTION	2			1	1	0.5	1	1,037.23
1Y-CAPACITOR INSPECTION	2			1	1	1	2	2,074.46
1Y-INSPECTION HEAT TRACING	1			1	1	1	1	1,037.23
1Y-LV MOTOR INSPECTION	1			1	1	2	2	2,074.46
2M - CATHODIC INSPECTION	9			1	1	0.5	4.5	4,667.54
2M- EMER. LIGHT INSPECTION	23			1	1	0.5	11.5	11,928.15
3M-DC MOTOR INSPECTION	4			1	1	0.75	3	3,111.69
3M-LV MOTOR	24			1	1	1	24	24,893.52
Total Maintenance Cost							**60.5**	**62,752.42**

ตารางที่ 4.9 ผลการเก็บข้อมูลแสดงเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาประจำเดือน เมษายน 2554 ประเภทงาน Planned Maintenance

รายละเอียดการตรวจสอบ	Work/ Month	ค่าบำรุงรักษาต่อชั่วโมงตามระดับแรงงาน (บาท)				Time (Hr)	Total Time (Hr)	Maintenance Cost (Baht)
		A	B	C	D			
เมษายน 2554		1045.06	723.52	606.53	430.7			
1M-DC CHARG. INSPECTION	2			1	1	0.75	1.5	1,555.85
1M-FIRE ALARM INSPECTION	2			1	1	0.75	1.5	1,555.85
1M-INSPECTION BATTERY	4			1	1	1	4	4,148.92
1M-INSPECTION UPS	2			1	1	1	2	2,074.46
2M-CATHODIC INSPECTION	2			1	1	1	2	2,074.46
2M-EMER. LIGHTING INSPECTION	8			1	1	0.5	4	4,148.92
3M-DC MOTOR INSPECTION	1			1	1	0.75	0.75	777.92
3M-LV. MOTOR INSPECTION	7			1	1	1	7	7,260.61
3M-TRANSFORMER INSPECTION	1			1	1	1	1	1,037.23
6M-F/A INSPECT.	2			1	1	1	2	2,074.46
6M-L V. MOTOR INSPECTION	12			1	1	2	24	24,893.52
6M-LV. MOTOR INSPECTION	1			1	1	2	2	2,074.46
Total Maintenance Cost							**51.75**	**53,676.65**

ตารางที่ 4.10 ผลการเก็บข้อมูลแสดงเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2554 ประเภทงาน Unplanned Maintenance

รายละเอียดการตรวจสอบ	Work/ Month	ค่าบำรุงรักษาต่อชั่วโมงตามระดับแรงงาน (บาท				Time (Hrs)	รวมระยะเวลาที่ใช้ (Hrs)	Maintenance Cost (บาท)
		A	B	C	D			
กุมภาพันธ์ 2554		1045.1	723.5	606.5	430.7			
- TI-4056-3/4,TI-4057-3/4-->Temp high (0103-HTR-301)	1		1	1	1	3	3	5,282.1
Install barriers at MCC-301 & 302	1		1	1	1	3	3	5,282.1
GM-7031A Trip from relay Hang	1			1	1	3	3	3,111.6
Tesys-T hang sent to GM-7012B Trip	1			1	1	3	3	3,111.6
Repair motor for sample pump L-AT-6260-9	1			1	1	4	4	4,148.8
ENMCS Communication Failure see Attach	1			2		3	3	3,639
YM-9101C changed speed low to high ทันที	1			1	1	1	1	1,037.2
Total Maintenance Cost							**20**	**25,612.4**

ตารางที่ 4.11 ผลการเก็บข้อมูลแสดงเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาประจำเดือน มีนาคม 2554 ประเภทงาน Unplanned Maintenance

รายละเอียดการตรวจสอบ	Work/ Month	ค่าบำรุงรักษาต่อชั่วโมงตามระดับแรงงาน (บาท)				Time (Hrs)	รวมระยะเวลาที่ใช้(Hrs)	Maintenance Cost (บาท)
		A	B	C	D			
มีนาคม 2554		1045.1	723.5	606.5	430.7			
Measure Temp and adjust Thermostat	1		1	1		2	2	2,660
Total Maintenance Cost							**2**	**2,660**

ตารางที่ 4.12 ผลการเก็บข้อมูลแสดงเวลาในการบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาประจำเดือน เมษายน 2554 ประเภทงาน Unplanned Maintenance

รายละเอียดการตรวจสอบ	Work/ Month	ค่าบำรุงรักษาต่อชั่วโมงตามระดับแรงงาน (บาท)				Time (Hrs)	รวมระยะเวลาที่ใช้(Hrs)	Maintenance Cost (บาท)
		A	B	C	D			
เมษายน 2554		1045.1	723.5	606.5	430.7			
หลอดไฟเสีย	1			1	1	3	3	3,111.6
Flame Detector during test not function	1		1	1	1	4	4	7,042.8
ที่ Lock JB ของ CCTV ที่ Flare ชำรุด	1			1	1	4	4	4,148.8
C-4086 Heater fail.	1			1	1	4	4	4,148.8
V-9101C mal-function	1		1	1	1	4	4	7,042.8
Air craft warning fail	1		1	1	1	4	4	7,042.8
Total Maintenance Cost							**23**	**32,537.6**

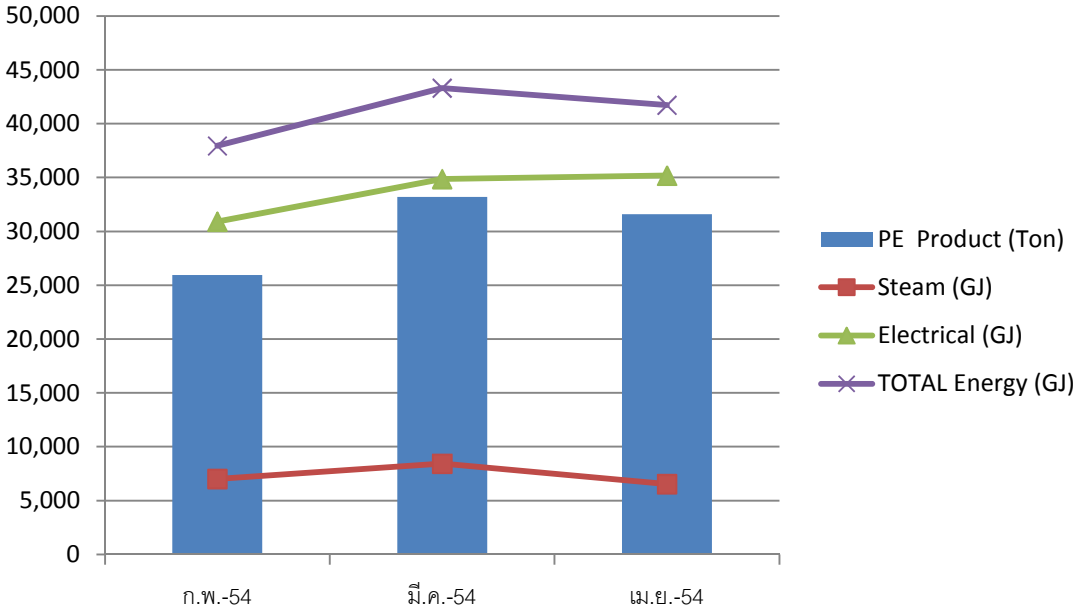
ตารางที่ 4.13 ผลการเก็บข้อมูลแสดง Plant Reliability ประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2554 มีนาคม 2554 เมษายน 2554

รายงานผลการปฏิบัติงานบำรุงรักษา	Key Performance Indicators	กุมภาพันธ์ 2554 Actual Score (%)	มีนาคม 2554 Actual Score (%)	เมษายน 2554 Actual Score (%)
การบริการงานบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์ของโรงงานให้อยู่ในสภาพที่พร้อมเดินเครื่องผลิตผลิตภัณฑ์ที่ On-specification ได้อย่างต่อเนื่องตามที่ออกแบบ *Plant Reliability (%)* = (Nameplate Capacity - Planned shutdown-Reliability Loss) x 100% /(Nameplate Capacity- Planned Shutdown) *Reliability Loss (Production Unit)* = Off Specification Product + Loss Production due to Derating + Loss Production due to Unplanned Shutdown	วัดร้อยละของ Plant Reliability ที่ลดลงจากเป้าหมายที่ระบุไว้ใน BSC ที่มีสาเหตุมาจากความบกพร่องของงานบำรุงรักษา	95.71%	97.02%	97.28%

ตารางที่ 4.14 ผลการเก็บข้อมูลแสดงค่าการใช้พลังงาน และ การคำนวณเป็นค่า SEC ประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2554 มีนาคม 2554 เมษายน 2554

เดือน	PE Product (Ton)	Steam (GJ)	Electrical (GJ)	TOTAL Energy (GJ)	SEC (Steam)	SEC (Electrical)	SEC (Total Energy)
กุมภาพันธ์ 2554	25,957	7,022	30,919	37,941	0.271	1.191	1.462
มีนาคม 2554	33,190	8,433	34,869	43,302	0.254	1.051	1.305
เมษายน 2554	31,599	6,540	35,178	41,718	0.207	1.113	1.320

กราฟเส้นและแผนภูมิแท่งแสดงถึงพลังงานที่ใช้เปลี่ยนแปลงตามผลผลิต ดังรูปที่ 4.9

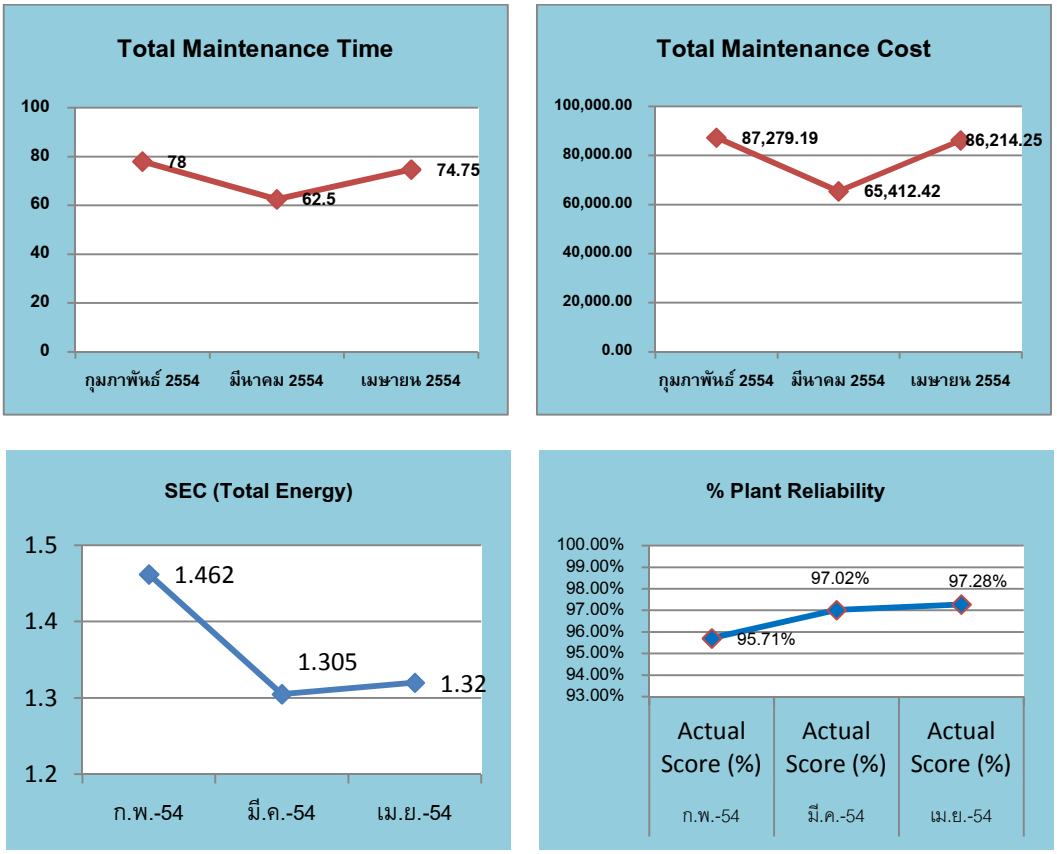


รูปที่ 4.9 กราฟเส้นและแผนภูมิแท่งพลังงานที่ใช้กับผลผลิต

ตารางที่ 4.15 สรุปผลของข้อมูลตัวแปรที่สนใจตรวจติดตามเก็บข้อมูลภายหลังปรับปรุงประจำเดือน กุมภาพันธ์ 2554 มีนาคม 2554 เมษายน 2554

เดือน	SEC	เวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษา(Hrs)			Maintenance Cost (Baht)			Plant Reliability (%)
		PM	CM	Total	PM	CM	Total	
กุมภาพันธ์ 2554	1.462	58	20	78	61,666.79	25,612.4	87,279.19	95.71
มีนาคม 2554	1.305	60.5	2	62.5	62,752.42	2,660	65,412.42	97.02
เมษายน 2554	1.320	51.75	23	74.75	53,676.65	32,537.6	86,214.25	97.28

แสดงกราฟเส้น ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟเส้นของการเก็บข้อมูลตัวแปรที่ตรวจติดตามในงานวิจัยหลังการปรับปรุง

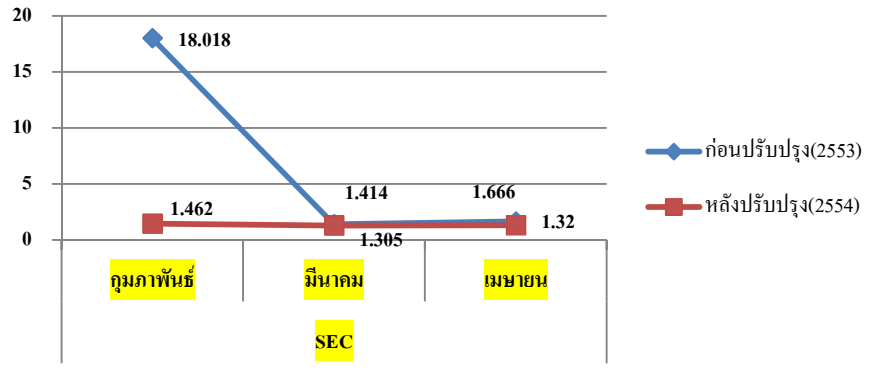
4.4 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังปรับปรุงและสรุปผลการปรับปรุง

จากการเก็บข้อมูลตัวแปรต่างๆที่สนใจตรวจติดตามผล ได้แก่ ค่า SEC จำนวนชั่วโมงทำงานในงานบำรุงรักษา (Man Hour) ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในงานบำรุงรักษา และ Plant Reliability สามารถเปรียบเทียบข้อมูลที่เก็บบันทึกตัวแปรที่สนใจติดตามผลระหว่างข้อมูลก่อนปรับปรุงจากบทที่ 3 ข้อ 3.2 และข้อมูลหลังทำการปรับปรุงงานบำรุงรักษาโดยลดเวลาในการปฏิบัติงานลงตามข้อ 4.3 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลแสดงดังตารางที่ 4.16

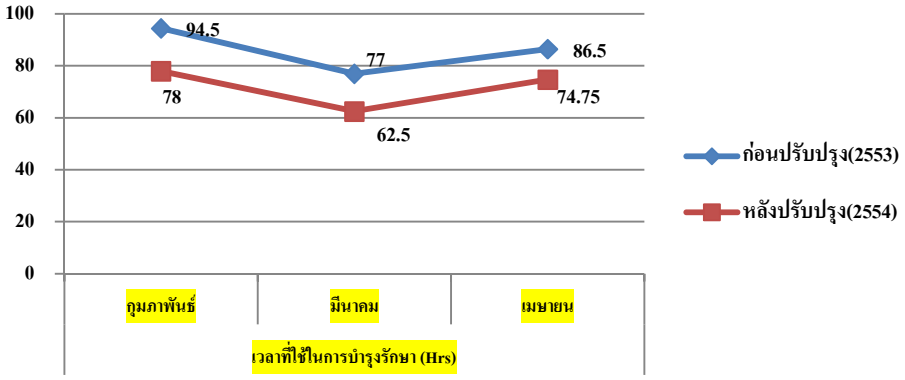
ตารางที่ 4.16 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลของตัวแปรที่ตรวจติดตามในงานวิจัยก่อนและหลังปรับปรุง

ช่วงการเก็บข้อมูล	เดือน	ตัวแปรที่ตรวจติดตาม			
		SEC	เวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษา (Hrs)	Maintenance Cost (Baht)	Plant Reliability (%)
ก่อนปรับปรุง	ก.พ.-53	18.018	94.5	132,176.28	42.40
หลังปรับปรุง	ก.พ.-54	1.462	78.00	87,279.19	95.71
ก่อนปรับปรุง	มี.ค.-53	1.414	77.00	84,621.53	98.40
หลังปรับปรุง	มี.ค.-54	1.305	62.50	65,412.42	97.02
ก่อนปรับปรุง	เม.ย.-53	1.666	86.50	86,274.56	90.80
หลังปรับปรุง	เม.ย.-54	1.320	74.75	86,214.25	97.28

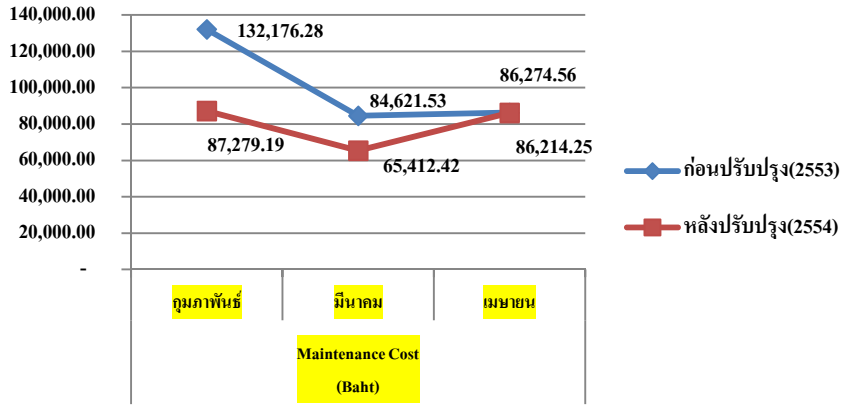
แสดงผลการเปรียบในแต่ละตัวแปรที่ตรวจติดตามก่อนและหลังปรับปรุงดังกราฟเส้นรูปที่ 4.11 4.12 4.13 4.14 ตามลำดับ



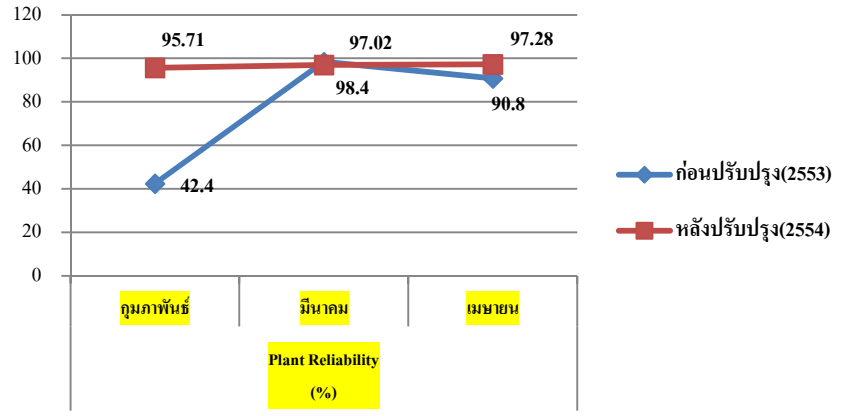
รูปที่ 4.11 กราฟเส้นตัวแปรด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานก่อนและหลังปรับปรุง



รูปที่ 4.12 กราฟเส้นตัวแปรด้านเวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษาก่อนและหลังปรับปรุง



รูปที่ 4.13 กราฟเส้นตัวแปรด้านค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาก่อนและหลังปรับปรุง

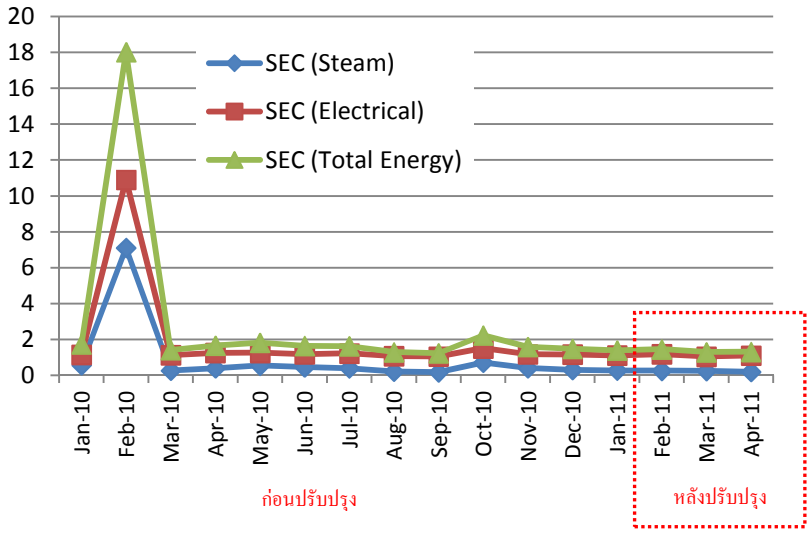


รูปที่ 4.14 กราฟเส้นตัวแปรด้าน Plant Reliability ก่อนและหลังปรับปรุง

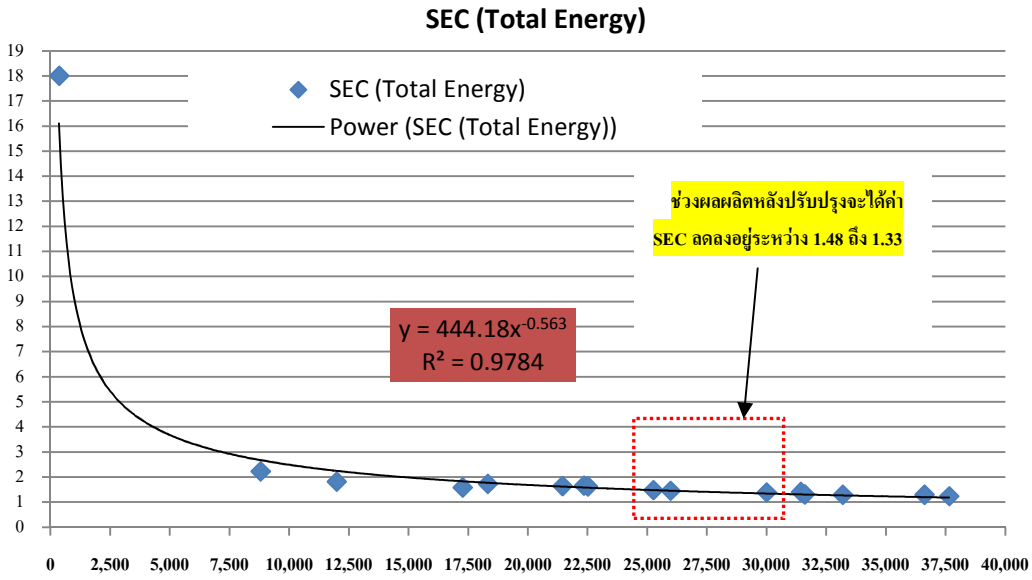
จากข้อมูลของตัวแปรที่เก็บรวบรวมเปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงงานบำรุงรักษาโดยลดเวลาในการปฏิบัติงานลง สามารถวิเคราะห์และสรุปผลการปรับปรุงดังนี้

1. ตัวแปรด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษาจากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าภายหลังจากการปรับปรุงแล้วค่าดัชนี SEC เมื่อเปรียบเทียบในช่วงเวลาเดียวกันจะลดลง แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากค่า SEC นี้การนำไปพิจารณาใช้จะไม่นำค่าคงที่ไปใช้เปรียบเทียบโดยตรงเพราะค่า SEC จะเปลี่ยนแปลงผกผันไปตามการผลิตในแต่ละเดือน จึงไม่ถูกต้องที่จะยึดเอาค่า SEC ที่เกิดขึ้น 2 ช่วงเวลามาเปรียบเทียบผลซึ่งแม้จะเป็นรอบเวลาเดียวกันแต่คนละปีก็ตาม ดังนั้นการตรวจติดตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานโดยใช้ค่า SEC มาเปรียบเทียบลักษณะนี้จะต้องมีการระบุว่าเป็นค่า SEC ที่ผลผลิตเท่าใดจึงจะบอกได้ว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานดีขึ้นหรือไม่ เพื่อพิจารณาเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงได้สร้างกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์แบบอนุกรมเวลาของค่า SEC ปี 2553 จนถึงปี 2554 ที่ครอบคลุมช่วงเวลาติดตามผลหลังปรับปรุงตาม

รูปที่ 4.15 และกราฟเส้นแสดงความสัมพันธ์แบบกระจายตัวของค่า SEC กับผลผลิตของปี 2553 จนถึงปี 2554 ที่ครอบคลุมช่วงเวลาติดตามผลหลังปรับปรุงตามรูปที่ 4.16 รายละเอียดการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลจะกล่าวต่อไป

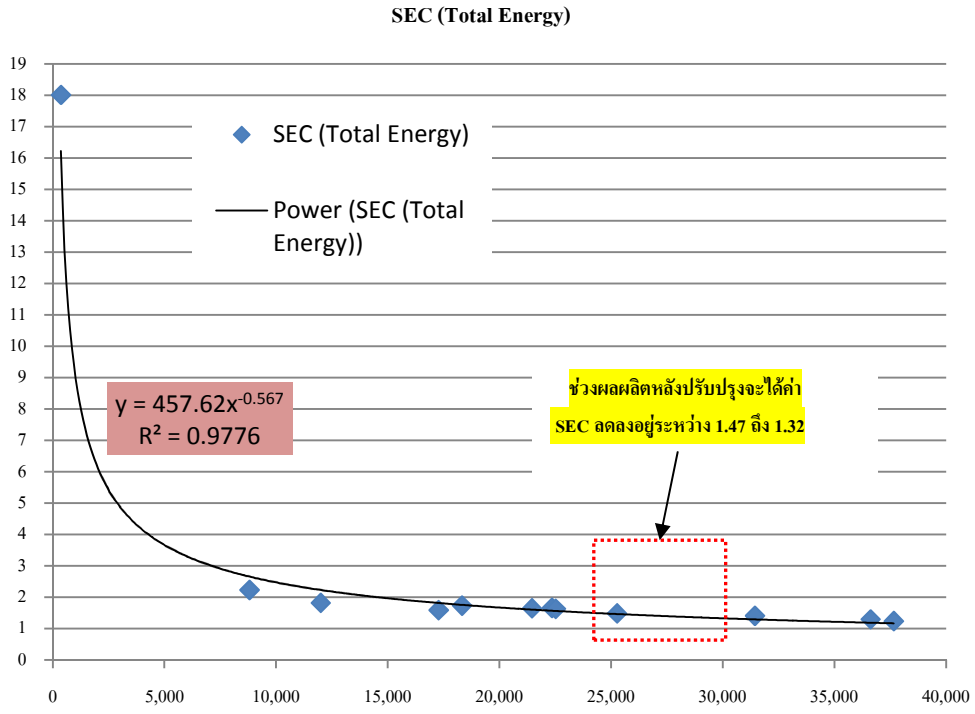


รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์แบบอนุกรมเวลาของการเปลี่ยนแปลงค่า SEC ก่อนและหลังปรับปรุง



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์แบบกระจายตัว ของค่า SEC กับผลผลิต ของปี 2553 จนถึงปี 2554 ในช่วงเวลาหลังปรับปรุง

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นว่าเมื่อแสดงความสัมพันธ์ข้อมูลแบบอนุกรมเวลา ค่า SEC ที่ตรวจติดตามภายหลังการปรับปรุงจะลดลงจากเดิมน้อยมากซึ่งจะเห็นได้ชัดจากความสัมพันธ์ข้อมูลแบบกระจายตัวดังรูปที่ 4.16 โดยที่ผลผลิตในเดือนที่ตรวจติดตามหลังการปรับปรุงในงานวิจัยพบว่าผลผลิตช่วงประมาณ 25,000 ตันถึง 30,000 ตัน จะมีค่า SEC ลดลงอยู่ระหว่าง 1.48 ถึง 1.33 (ซึ่งได้ค่า SEC โดยประมาณจากสมการ $Y=444.18X^{-0.563}$) เมื่อเปรียบเทียบกับ ความสัมพันธ์แบบกระจายตัวของการเปลี่ยนแปลงค่า SEC ในปี 2553 ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าถ้าผลผลิตเดียวกันคือประมาณ 25,000 ตันถึง 30,000 ตัน จะมีค่า SEC ลดลงอยู่ระหว่าง 1.47 ถึง 1.32 (ซึ่งได้ค่า SEC โดยประมาณจากสมการ $Y=457.62X^{-0.567}$) ดังนั้นผลการเปรียบเทียบค่า SEC โดยพิจารณาค่า SEC ต่อผลิตผลที่ได้นั้นแสดงให้เห็นว่าก่อนวิจัยกับหลังวิจัย การปรับปรุงโดยการลดเวลาปฏิบัติงานบำรุงรักษาลงมีผลให้ค่า SEC เปลี่ยนแปลงแบบมีนัยสำคัญน้อยมากแทบจะไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์แบบกระจายตัว ของค่า SEC กับผลผลิต ของปี 2553

2. ตัวแปรด้านเวลาที่ใช้ในการบำรุงรักษาของโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษาภายหลังจากการปรับปรุงแล้วเวลาที่ใช้จะลดลงตามไปด้วยนั่นหมายถึงการใช้ทรัพยากรผลิตลดลง

3. ตัวแปรด้านค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาของโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษา ภายหลังจากการปรับปรุงแล้วพบว่า ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาลดลง นั่นหมายถึงการใช้ทรัพยากรผลิตลดลง

4. ตัวแปรด้าน %Plant Reliability ของโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษา ภายหลังจากการปรับปรุงแล้วพบว่า %Plant Reliability นี้เพิ่มขึ้น แต่เนื่องจากการคำนวณ % Plant Reliability มีตัวแปรที่เกี่ยวข้องหลายตัวแปรนอกจาก Planned Shutdown และ Unplanned Shutdown ซึ่งเกี่ยวข้องกับงานบำรุงรักษา ยังมี Reliability Loss ที่มีส่วนมาจากการการผลิตเองด้วย ดังที่ได้แสดงความสัมพันธ์ตัวแปรที่เกี่ยวข้องต่อค่า %Plant Reliability ดังสมการ (2-5) ในบทที่ 2 รวมทั้งในการคำนวณจะพิจารณาภาพรวมของงานบำรุงรักษาทั้งหมดที่เกิดขึ้นไม่เฉพาะงานบำรุงรักษาไฟฟ้าดังที่ศึกษาในขอบข่ายงานวิจัยนี้ ดังนั้นจากผลของข้อมูลตัวแปรที่ติดตามด้าน%Plant Reliability ที่เพิ่มขึ้นภายหลังจากการปรับปรุงงานบำรุงรักษาโดยลดเวลาในการปฏิบัติงานลงกรณีศึกษางานบำรุงรักษาไฟฟ้านี้จะสรุปไม่ได้ว่าการเพิ่มเวลาทำให้ความน่าเชื่อถือของการเดินเครื่องจักรเพื่อผลิตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เพราะจะต้องศึกษาอีกหลายปัจจัยอื่นๆเพิ่มเติม

จากผลการเปรียบเทียบค่า SEC ตามที่สรุปในข้อ 1 นั้นแสดงให้เห็นว่าก่อนวิจัยกับหลังวิจัย การปรับปรุงงานบำรุงรักษาโดยการลดเวลาปฏิบัติงานบำรุงรักษาลงมีผลให้ค่า SEC เปลี่ยนแปลงแบบมีนัยสำคัญน้อยมาก ดังนั้นเพื่อจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตให้มากขึ้น งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอมาตรการประหยัดพลังงานโดยวิเคราะห์ต่อยอดจากปัญหางานบำรุงรักษาที่พบ พร้อมทั้งประเมินผลตอบแทนในแต่ละมาตรการด้านการประหยัดพลังงานรวมทั้งด้านการเงิน สำหรับมาตรการที่ต้องมีการลงทุนซึ่งถือเป็นการเพิ่มคุณค่าเพิ่มในหน้าที่การทำงานบำรุงรักษาตามหลักวิศวกรรมคุณค่า รายละเอียดมาตรการประหยัดพลังงานจะนำเสนอในบทที่ 5

บทที่ 5

การนำเสนอมาตรการประหยัดพลังงานเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

5.1 การวิเคราะห์ปัญหาและสภาพการณ์ในงานบำรุงรักษาและแนวทางปรับปรุงที่พิจารณาถึงการเพิ่มศักยภาพด้านพลังงาน

จากการดำเนินการปรับปรุงงานบำรุงรักษาโดยพิจารณาลดเวลาปฏิบัติงานลงนั้นจะให้ผลเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพพลังงานทางอ้อมตามที่กล่าวมาในบทที่ 4 แต่เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต สามารถนำปัญหาในงานบำรุงรักษามาพิจารณาแนวทางปรับปรุงเพื่อให้ผลด้านประหยัดพลังงานได้ โดยนำปัญหาที่รวบรวมได้จากการปฏิบัติงานบำรุงรักษามาสรุปวิเคราะห์แนวทางปรับปรุงและนำเสนอมาตรการประหยัดพลังงานที่เป็นไปได้และคำนวณผลการประหยัดพลังงาน ทั้งนี้ถือได้ว่าเป็นการเพิ่มคุณค่าในหน้าที่ปฏิบัติงานบำรุงรักษาได้อีกด้วยตามหลักวิศวกรรมคุณค่า ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์ปัญหางานบำรุงรักษาและแนวทางเพื่อการปรับปรุงในด้านการประหยัดพลังงานตามรายละเอียดในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 วิเคราะห์ปัญหางานบำรุงรักษาเพื่อหาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

รายการที่	ปัญหาสภาพการณ์ที่ไม่เหมาะสมในงานบำรุงรักษา	สมมติฐานการปรับปรุง	แนวทางปรับปรุงและได้ผลเรื่องการประหยัดพลังงานตามมา	ประเภทมาตรการ
1	Motor Cooling Pump ขนาด 800 kW. 6.6 kV. 3 EA. ออกแบบวงจรเริ่มเดินเครื่อง แบบสตาร์ทโดยตรง ทำให้เกิด Trip บ่อยครั้งเมื่อเริ่มเดินเครื่องจากความต้องการกระแสสูง	- สามารถแก้ปัญหาเรื่องกระแส Start สูงแทนการแก้ไขโดยปรับ Setting ที่ Over current Relay ในปัจจุบันด้วยการปรับปรุงวิธีการสตาร์ทที่จะลดกระแสสตาร์ทลง	- เสนอมาตรการติดตั้ง Inverter เพื่อช่วยเรื่อง Function Soft start และได้ผลตามมาเรื่องการปรับ Speed มอเตอร์ซึ่งจะส่งผลให้ปรับ Flow rate ปั๊มได้ตามที่กระบวนการผลิตต้องการซึ่งจะได้ผลเรื่องการประหยัดพลังงานตามมา	ลงทุน

ตารางที่ 5.1 วิเคราะห์ปัญหางานบำรุงรักษาเพื่อหาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (ต่อ)

รายการที่	ปัญหาสภาพการณ์ที่ไม่เหมาะสมในงานบำรุงรักษา	สมมติฐานการปรับปรุง	แนวทางปรับปรุงและได้ผลเรื่องการประหยัดพลังงานตามมา	ประเภทมาตรการ
2	Motor Cooling Fan ขนาด 220 kW. 6.6 kV. 3EA.ไม่สามารถบำรุงรักษาตอนเครื่องหยุดได้ เนื่องจากต้องเดินเครื่องตลอด	-พิจารณาช่วง S/D เปลี่ยนเกรดการผลิตจะมีการหยุดการผลิตประมาณ 16 ชั่วโมง ใน 1 เดือน ซึ่งการใช้ระบบ Heat Transfer ใน Process จะน้อยลง ทำให้พิจารณาหยุดเดินเครื่องมอเตอร์ Cooling Fan 1 ชุด	-เสนอมาตรการหยุด Cooling Fan 1 Unit โดยที่ Heat Transfer ในระบบยังเท่าเดิม ซึ่งจะทำให้สามารถเข้าทำงานบำรุงรักษาตามแผนและได้ผลเรื่องการประหยัดพลังงานเพราะมอเตอร์ 1 EA. หยุดเดินเครื่อง 16 ชั่วโมงต่อเดือน	ไม่ต้องลงทุน
3	Motor Blending เม็ดพลาสติก ขนาด 220 kW. 6.6kV. 2 EAตรวจสอบ Status ปัจจุบันพบว่าเป็น Critical Class A ทำให้เพิ่มค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่มากตามไปด้วย	- ตรวจสอบทางกระบวนการผลิตโดยสมรรถนะการ Blending จะสามารถลดเวลา Blending ลงหรืออาจไม่ต้อง Blending ถ้ากระบวนการผลิตควบคุมคุณภาพได้ดี	- เบื้องต้นเสนอมาตรการลดเวลา Blending ลง ซึ่งจะได้ผลเรื่องการประหยัดพลังงานคือการลดเวลาเดินมอเตอร์ ลงทำให้ Running Hour Motor น้อยลงและเพิ่มอายุการใช้งานของมอเตอร์	ไม่ต้องลงทุน

ตารางที่ 5.1 วิเคราะห์ปัญหางานบำรุงรักษาเพื่อหาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (ต่อ)

รายการที่	ปัญหาสภาพการณ์ที่ไม่เหมาะสมในงานบำรุงรักษา	สมมติฐานการปรับปรุง	แนวทางปรับปรุงและได้ผลเรื่องการประหยัดพลังงาน	ประเภทมาตรการ
4	Motor ในระบบการกลั่น Crude Hexane เดินเครื่องใช้งานที่กระแสต่ำ ไม่ได้ใช้มอเตอร์ตามพิกัดที่ออกแบบไว้อย่างเหมาะสม	- พิจารณากระบวนการผลิตโดยไม่ต้องใช้งานมอเตอร์ชุดนี้โดยหากสามารถปรับวิธีการกลั่นใหม่ได้	-เสนอหยุดใช้งานมอเตอร์และเก็บเป็น Spare Part ไว้กรณีเกิดปัญหาและทำให้ลดอุปกรณ์ที่จะบำรุงรักษาลง และได้ผลเรื่องประหยัดพลังงานมอเตอร์	ไม่ต้องลงทุน
5	หม้อแปลงไฟฟ้าที่ Product W/H ออกแบบระบบไฟฟ้าเกินความต้องการใช้งานทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา	-การยุบภาระหม้อแปลงรวมกันเพื่อลดความสูญเสียในแกนเหล็ก	- เสนอยุบภาระหม้อแปลงรวมกันลดการเกิด Loss ในแกนเหล็กหม้อแปลงลงได้ ซึ่งสามารถยืดอายุใช้งานหม้อแปลงและได้ผลเรื่องการประหยัดพลังงานตามมา	ไม่ต้องลงทุน
6	ห้อง Substation Transformer, Pelletizing มีการเปิดไฟฟ้าใช้งานไว้ทุกโคมไฟและตลอด 24 ชั่วโมง	- การใช้งานเพียง 50% จะยังคงมีแสงสว่างเพียงพอหรือการเปิดไฟใช้เฉพาะที่จำเป็นในพื้นที่ Pelletizing	-เสนอปิดระบบแสงสว่าง 50% และเปิดเฉพาะที่จำเป็นสำหรับ Condition เดินเครื่องปกติได้ผลเรื่องยืดอายุใช้งานหลอดไฟฟ้าและทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าลงได้	ไม่ต้องลงทุน

5.2 รายละเอียดมาตรการและการประเมินผลการประหยัดพลังงาน

มาตรการประหยัดพลังงานตามที่กล่าวข้างต้นจะมีรายละเอียดแต่ละมาตรการดังต่อไปนี้

1) มาตรการติดตั้ง Inverter ให้กับปั๊มน้ำหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower)

ความเป็นมาและลักษณะการใช้พลังงาน

โรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษา มีการใช้หอผึ่งน้ำเป็นระบบที่มี 3 Cells ใช้ Supply น้ำเพื่อ Heat removal ในกระบวนการผลิต ซึ่งขนาดของปั๊มถูกออกแบบมาให้ครอบคลุมปริมาณการใช้ทั้งหมดและรองรับการขยายกำลังการผลิตในอนาคตตามแผนธุรกิจ แต่กำลังการผลิตในปัจจุบันยังไม่ได้มีการขยาย ทำให้ปั๊มมีขนาดใหญ่เกินจำเป็น จึงเดินเครื่อง Cooling Tower โดยการลด Flow rate ลง แล้วยังสามารถทำ Cooling Water Supply Temperature ที่เพียงพอที่จะ Heat Removal กระบวนการผลิตได้ ดังนั้นการติด Inverter เพื่อปรับความเร็วรอบมอเตอร์เพื่อลด Flow rate ของน้ำจะทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้ามากกว่าปัจจุบันที่ปรับ Flow Rate โดยการหรี่วาล์ว

ปัญหาของอุปกรณ์/ระบบก่อนปรับปรุง

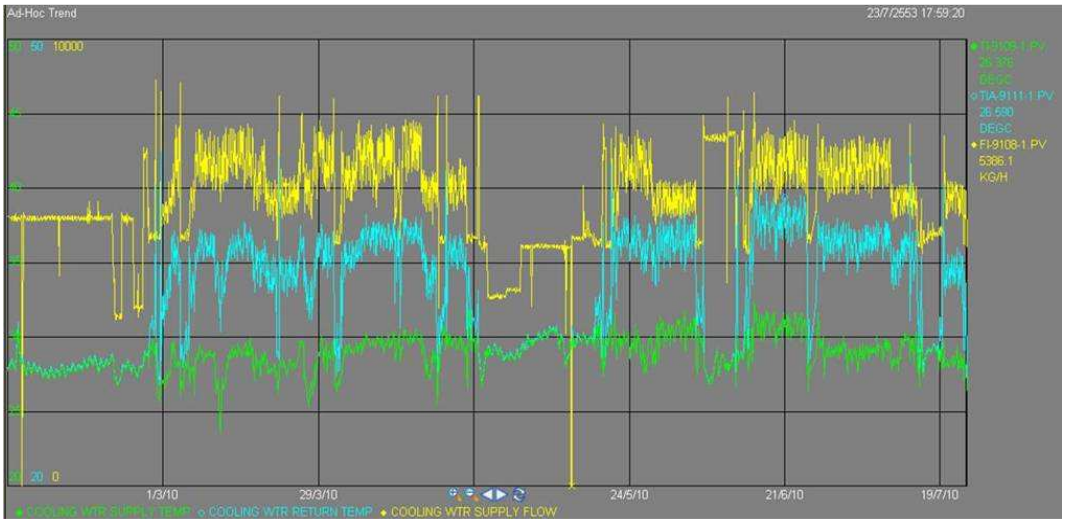
มอเตอร์ปั๊มน้ำ Cooling Tower 3 เครื่อง ขนาดพิกัดกำลังแต่ละเครื่องคือ 800 kW. ระบบแรงดัน 6600 Volt. ใหญ่เกินความจำเป็น ทางโรงงานต้องหรี่วาล์วลงเพื่อปรับ Flow rate ให้เหมาะสมโดยที่ยังสามารถทำ Cooling Water Supply Temperature ที่เพียงพอ และ ΔT averageในระบบยังเป็นไปตามที่ออกแบบไว้

รูป 5.1 Cooling Tower และปั๊มน้ำติดตั้งในโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษา

<u>แนวคิดการดำเนินงาน</u>

1) การคำนวณด้าน Heat Removal ของ Plant และแนวทางประหยัดพลังงาน

- Cooling Tower ออกแบบมี Performance ทำ Flow rate ได้ประมาณ 9,000 m^3/hr ที่Head = 50 M
- ปัจจุบันมีการหรี่วาล์วเพื่อปรับ Flow rate ให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิต โดยมีการใช้ Cooling Water Flow rate Average = 8,200 m^3/hr , ΔT = 6.67 ^oC โดยขนาน Pump 2 Unit Flow rate ของแต่ละ Pump = 4,100 m^3/hr (มี Pump 3 Unit ปกติใช้งาน 2 Unit และอีก 1 Unit สำหรับ Stand by) ดังนั้นในช่วง Normal Operation จะมี Heat Removal = m x Cp x ΔT = 8,200 x 6.67 x1,000 = 54,694,000 kcal/hr (Cp, water = 1 kcal/kg C, 1m^3=1,000 kg)
- Cooling Tower Design Criteria Maximum Temperature CWR=45 ^oC และ Guarantee Diff. Temperature = 10 ^oC ดังนั้น Maximum CWS=35 ^oC จึงคำนวณหา Optimum Flow rate = 5,469 m^3/hr
- ตรวจสอบ Flow rate และ Temperature CWR, CWS ปัจจุบัน โดยแสดงตามรูป 5.2



รูป 5.2 Flow rate และ Temperature CWR, CWS Record ปัจจุบัน

- ทำการเปลี่ยน Flow Rate จากปัจจุบันคือ 8,200 m^3/hr เป็น 5,600 m^3/hr (Optimum Flow rate)
- พิจารณามาตรการประหยัดพลังงานโดยปรับความเร็วรอบมอเตอร์ แล้วคำนวณผลการประหยัดพลังงานโดยสรุปแนวทางดังตารางที่ 5.2

ตาราง 5.2 แนวทางการการปรับ Flow rate เพื่อประหยัดพลังงานมาตรการติด Inverter

Method	Optimum Flow rate = 5,600 m^3/hr	
	Flow rate Pump 1 = 2,800 m^3/hr	Flow rate Pump 2 = 2,800 m^3/hr
Adjust % Valve Pump 1,2	Pump1: Fix Speed	Pump 2: Fix Speed
Install Inverter at Pump 1,2	Pump1:Adjust Speed	Pump 2: Adjust Speed

- พิจารณา Control รอบมอเตอร์ของ Cooling Pump 2 ตัวโดยติด Inverter เพื่อปรับรอบมอเตอร์ของ Pump 1 และ Pump 2 ให้ลด Flow rate จาก 4,100 เป็น 2800 m^3/hr ของแต่ละ Pump จะทำให้ Cooling pump ได้ Flow rate รวม=5,600 m^3/hr

2) การคำนวณศักยภาพการประหยัดพลังงานสภาพหลังปรับปรุง

วิธีคำนวณ

อ้างอิงข้อมูล Pump performance curve และ Data Sheet Motor แสดงดังภาคผนวก ช

Cooling tower system head=50m.

Cooling Motor Pump 6.6 kV, 745 RPM ขนาด 800 kW / 1 Unit Cooling Tower

Motor Efficiency =95%, Pump Efficiency=87.5

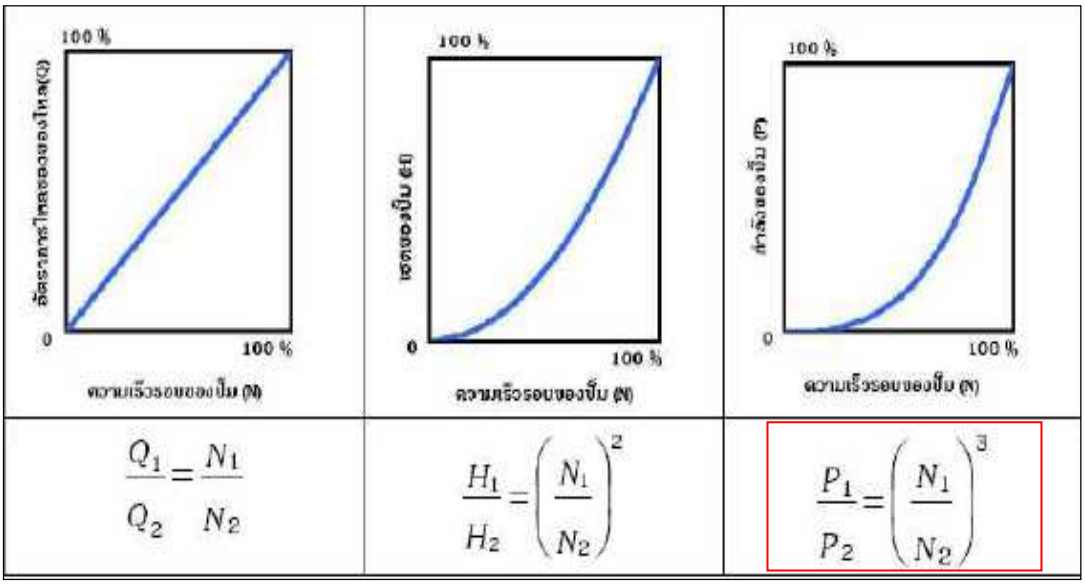
ปกติเดินเครื่อง Cooling Pump 2 Unit, Unit ละ4,100 m^3/hr รวม 8,200 m^3/hr

เมื่อคิด Optimum Flow rate ที่ 5,600 โดย $\Delta T = 10\ ^{o}C$

1. คำนวณการประหยัดพลังงานกรณีลด Flow rate จาก 8,200 m^3/hr เป็น 5,600 m^3/hr และให้Pump 1,2 เดินเครื่องที่ Flow rate = 2,800 m^3/hr โดยการปรับวาล์ว (จาก PERMANCE PUMP CURVE)

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อนลด Flow Rate / Pump	711	kW
กำลังไฟฟ้าที่ใช้หลังลด Flow Rate Pump	590	kW
คิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ลดลงรวม	**= (711-590) x 2 = 242.10**	**kW**

2. คำนวณการประหยัดพลังงานกรณีลด Flow rate เป็น 5,600 m^3/hr และให้Pump 1,2 เดินเครื่องที่ Flow rate = 2,800 m^3/hr โดยการปรับความเร็วรอบด้วย Inverter โดยคำนวณพลังงานจากความสัมพันธ์ตามรูปที่ 5.3



รูป 5.3 ความสัมพันธ์อัตราการไหล ความแรงของน้ำ และพลังงานที่ใช้เทียบกับความเร็วรอบ

ปัจจุบัน ความเร็วรอบมอเตอร์ = 745 RPM , มอเตอร์ต้องการ Input Power = 711 kW

สำหรับ Flow Rate m^3/hr 4,100 P1= 711, N1=745

- คำนวณหา N2 จากความสัมพันธ์ Q1/Q2=N1/N2 โดยที่ Q1=4,100 m^3/hr, Q2=2,800 m^3/hr, ดังนั้น N2=(745X2800)/4100= 508 RPM
- คำนวณหา P2 จากความสัมพันธ์ P1/P2=$N1^3/N2^3$; แทนค่าในความสัมพันธ์ P2= ((711x$508^{3)}$/745^3)/Eff %Inverter = 226/0.97 = 233 kW

<u>จึงสรุปได้ว่า:</u>

กำลังไฟฟ้าที่ใช้ก่อนปรับความเร็วรอบ Pump	711	kW
กำลังไฟฟ้าที่ใช้หลังปรับความเร็วรอบ Pump	233	kW
คิดเป็นกำลังไฟฟ้าที่ลดลง ทั้ง 2 Unit	**= 2x(711-233) = 956**	**kW**

(ด้วยการปรับความเร็วรอบ แทนการหรี่วาล์วจะลดพลังงานลงได้ = 956-242= 714 kW)

ชั่วโมงทำงานต่อปี	8,000	hrs/Year
คิดเป็นพลังงานไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี	**714 x 8,000**	**kWh/year**
	5,712,000	**kWh/year**
	20,563,200	**MJ/year**
คิดเป็น Ktoe/year (1 kWh=8.59x10^{-8} ktoe)	**0.49**	**ktoe/year**
ค่าไฟฟ้าต่อหน่วย (ของโรงงานกรณีศึกษา)	**2.61**	**Baht/kWh**

คิดเป็นค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี	**14,908,320**	**Baht/year**
ปริมาณ CO_2 ที่ลดลงต่อปี	**3,312.96**	**Tons/Year**
(Power 1MWh=CO_2 emission 0.58 Tons/MWh)		

3) การพิจารณาการลงทุนทางการเงิน

เงินลงทุน **20,000,000.00** Baht

ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษา (โดยอ้างอิงจากงานบำรุงรักษาอุปกรณ์แบบเดียวกันในโรงงาน)

- ค่า Spare parts, 2 Year Spare part= 100,000 Baht/Unit
- ค่าจ้าง External Service 300,000 / 3 Year / Unit
- ค่าจ้าง 0VERHAUL MOTOR 500,000 / 5 Year/Unit

ค่าไฟฟ้าที่ลดลงต่อปี	**14,908,320**	**Baht/year**
ระยะเวลาคืนทุน	**1.34**	**year**
IRR	**72.94**	**%**
NPV (SERVICE LIFE 10 Year)	**97,477,947.82**	**Baht**

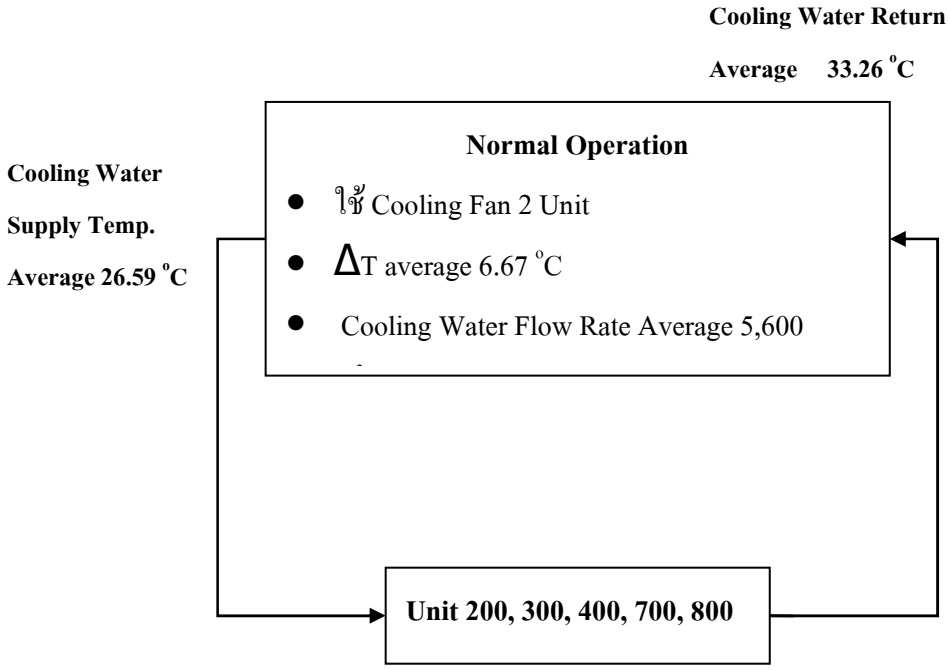
4) ข้อเสนอแนะ

- หากมีความต้องการใช้ที่ Design เพื่อรองรับการขยายกำลังการผลิต จะสามารถประหยัดพลังงานได้เช่นกัน และการพิจารณาผลตอบแทนจะน้อยกว่าตามที่คำนวณแบบ Optimum Flow ในปัจจุบัน
- ควรพิจารณาความเหมาะสมของสภาพการใช้งานจริงทั้งการ Operation และ Maintenance ประกอบการตัดสินใจลงทุนเพิ่มเติม

2) มาตรการการหยุด Cooling Fan 1 Unit ในช่วงที่มีการ Shutdown เปลี่ยน Grade เม็ดพลาสติก

ความเป็นมาและปัญหาก่อนปรับปรุง

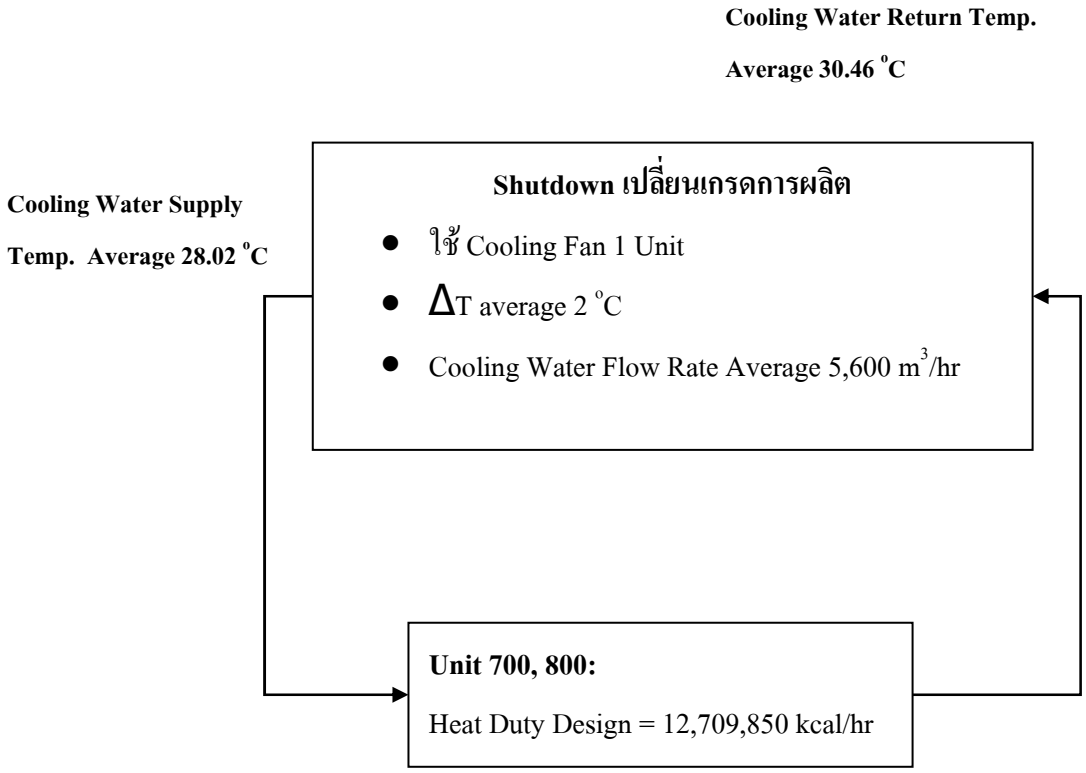
Cooling Tower ของโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษา ออกแบบระบบไว้มี 3 Cells และมี Cooling Fan 3 Unit โดยเป็นมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 220 kW แรงดัน 6600 Volt ในช่วง Normal Operation จะมีการใช้ Cooling Fan 2 Unit ซึ่งเพียงพอที่จะแลกเปลี่ยนความร้อนกับ Cooling Water เพื่อให้ได้ Cooling Water Supply Temperature ตามที่ต้องการ แต่เนื่องจากแผนการผลิตทั้งปี โดยเฉลี่ยจะมีช่วง Shutdown เปลี่ยนเกรดการผลิต 1 ครั้ง/เดือน ทำให้ Heat Load ภายใน Process ลดลง ดังนั้นจะสามารถหยุด Cooling Fan ได้ 1 Unit แต่ทั้งนี้ไม่สามารถหยุด Cooling Fan ทั้ง 2 Unit ได้ เนื่องจากจะมี Unit ส่วนทำปฏิกิริยา (Reactor) และ ส่วนแยกก๊าซ (Degassing Unit) ที่ยังเดินเครื่องอยู่ ดังนั้นการหยุด Cooling Fan 1 Unit ในช่วง Shutdown เปลี่ยนเกรดการผลิต จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าใน Plant ได้



รูป 5.4 Block Diagram ในช่วง Normal Operation (ใช้ Cooling Fan 2 Unit)

แนวคิดการดำเนินการ

ทำการตรวจสอบอุณหภูมิของ Supply and Return และ Flow Rate ของ Cooling Water ในช่วงที่มีการ Shutdown เปลี่ยนเกรดการผลิต เพื่อนำมาคำนวณ Heat Removal จริงๆ ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาดังกล่าวที่มีการ Run Cooling Fan 2 Unit และทำการตรวจสอบค่า Heat Duty Design ของ Unit ที่ยังเดินเครื่องอยู่ เพื่อใช้สำหรับเปรียบเทียบกับค่าคำนวณ Heat Removal ที่เกิดขึ้นจริงในช่วงที่มีการ Shutdown เปลี่ยนเกรดการผลิต เพื่อดูว่า การ Run Cooling Fan 1 Unit เพียงพอที่จะ Remove Heat ของ Unit ที่ยังเดินเครื่องอยู่ได้หรือไม่ ซึ่งถ้าจากการคำนวณ Heat Removal ในช่วง Shutdown เปลี่ยนเกรดการผลิต แล้วมีค่าไม่น้อยกว่า Heat Duty Design ของ Unit ที่ยังเดินเครื่องอยู่ ก็จะแสดงให้เห็นว่า การ Run Cooling Fan เพียง 1 Unit ก็เพียงพอที่จะสามารถ Remove Heat ที่เกิดจากส่วนนี้ได้ ซึ่งต่อไปทุกๆ ครั้งที่มีการ Shutdown เปลี่ยนเกรดการผลิต ก็จะสามารถหยุด Cooling Fan ได้ 1 Unit โดยไม่ส่งผลกระทบกับ Process และทำให้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้าภายใน Plant ได้



รูป 5.5 Block Diagram ในช่วง Shutdown เปลี่ยนเกรดการผลิต (ใช้ Cooling Fan 1 Unit)

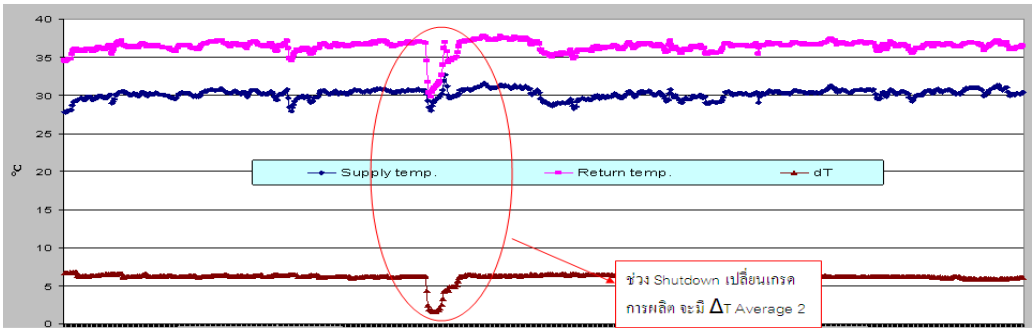
วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน

1) หลักการพิจารณา

- เนื่องจากแผนการผลิตทั้งปี โดยเฉลี่ยจะมีช่วง Shutdown เปลี่ยนเกรดการผลิต 1 ครั้ง/เดือน ทำให้ Heat Load ภายใน Process ลดลง ดังนั้นจะสามารถหยุด Cooling Fan ได้ 1 Unit แต่ทั้งนี้ไม่สามารถหยุด Cooling Fan ทั้ง 3 Unit ได้ เนื่องจาก จะมีบาง Unit ที่ยังเดินเครื่องอยู่ ดังนั้นการหยุด Cooling Fan 1 Unit ในช่วง Shutdown เปลี่ยนเกรดการผลิต จะช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าใน Plant ได้
- ในช่วง Shutdown เปลี่ยนเกรดการผลิต จะใช้เวลาประมาณ 16 hrs
- ใน 1 ปีสามารถหยุด Cooling Fan 1 Unit ได้เฉลี่ยประมาณ 192 hrs/year

2) การคำนวณในด้าน Heat Removal ของ Plant

- ปัจจุบัน จะมีการใช้ Cooling Water Flow rate Average = 8,200 m^3/hr , ΔT average = 6.67 ^oC ดังนั้นในช่วง Normal Operation จะมี Heat Removal= m x Cp x ΔT = 8,200 x 6.67 x 1,000 = 54,694,000 kcal/hr (Cp,water = 1 kcal/kg C, 1 m^3=1000 kg)
- จาก Heat Duty Design ของ Unit ที่เดินเครื่องอยู่จะมี Heat Duty = 12,709,850 kcal/hr
- ในช่วง Shutdown เปลี่ยนเกรดการผลิต จะมี Heat Duty เฉพาะที่ส่วนทำปฏิกิริยาและส่วนแยกก๊าซ
- ในช่วงที่มีการ Shutdown เปลี่ยนเกรดการผลิต ยังมีการเดิน Cooling Water Pump ตามปกติ ไม่ได้มีการปรับ Cooling Water Flow rate ที่ไปใช้ใน Plant ดังนั้นยังมีการใช้ Flow Rate เท่าเดิม คือเฉลี่ยประมาณ 8,200 m^3/hr
- จากการ ดู Trend ของ ΔT ที่ผ่านมาในช่วงที่มีการ Shutdown เปลี่ยนเกรดการผลิต ซึ่งมีการหยุด Cooling Fan 1 Unit พบว่ามี ΔT average = 2 ^oC แสดงตามรูป 5.6

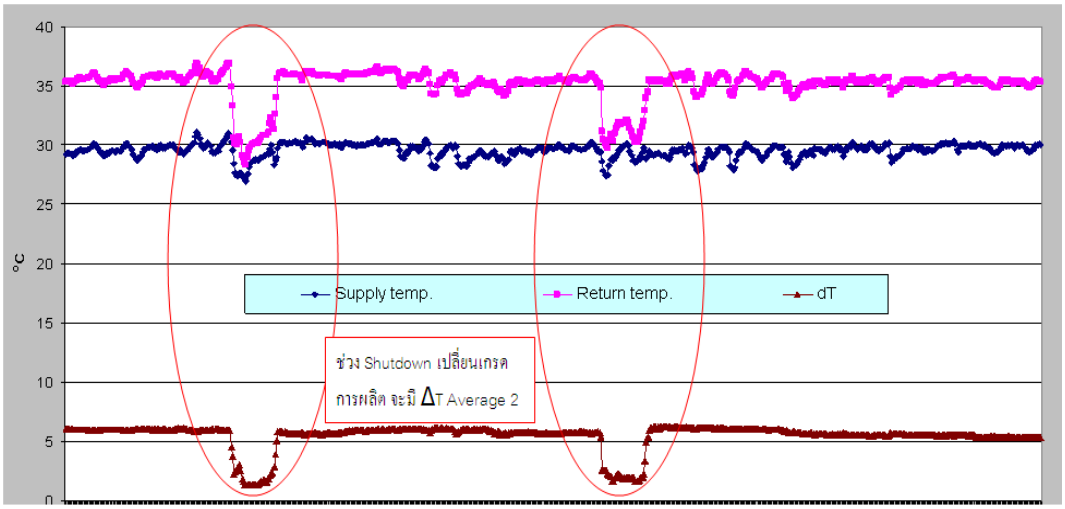


รูป 5.6 Temperature Trend ของระบบ Cooling Tower เมื่อทดลองหยุด Cooling Fan 1 Unit

- จากสมการ; q = m x Cp x ΔT (Cp,water = 1 kcal/kg C) ดังนั้น จะสามารถ Remove Heat ได้ = 8,200 x 2 x 1,000 = 16,400,000 kcal/hr ซึ่งจะพบว่า Heat Removal ที่ทำได้มีค่ามากกว่า Heat Duty Design ของ Unit 700 และ 800 (12,709,850 kcal/hr) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การ Run Cooling Fan 1 Unitในช่วง Shutdown เปลี่ยนเกรดการผลิต เพียงพอต่อการ Remove Heat Duty ที่เกิดขึ้นได้จริง

3) <u>ข้อมูลสนับสนุนในการคำนวณ Heat Removal ที่เกิดขึ้นใน Plant</u>

จากข้อมูลที่ Record ใน Process จะพบว่ามีช่วงที่ใช้ Cooling Fan 1 Unit และ 2 Unit ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าในแต่ละเดือนมี Production Plan ในการเปลี่ยนเกรดการผลิตอย่างไร ซึ่งจากรูป 5.7 จะพบว่าทุกช่วงของการผลิตจะมี ΔT (Return Temp.- Supply Temp.) ไม่เกินค่า Design (Design ΔT = 10 °C) โดยในช่วงที่มีการ Shutdown เปลี่ยนเกรดการผลิต (ตรงกับCooling Fan Running 1 Unit) จะมีค่า ΔT average ประมาณ 2 °C (ซึ่งจากการคำนวณด้านบน; ΔT = 2 °C สามารถ Remove Heat ของ Unit ที่ต้องเดินเครื่องได้เพียงพอต่อความต้องการ) ดังนั้นในช่วงที่มีการ Shutdown เปลี่ยนเกรดการผลิต จะสามารถหยุด Cooling Fan ได้ 1 Unit จริงโดยไม่ส่งผลผกระทบกับ Process



รูป 5.7 Temperature Trend ของระบบ Cooling Tower ในรอบเวลาที่มีการ S/D เปลี่ยนเกรด

ผลการคำนวณประหยัดพลังงาน

ตาราง 5.3 การคำนวณผลประหยัดพลังงานมาตรการหยุด Cooling Fan 1 Unit

1. Normal Operation: Run Cooling Fan 2 ตัว

Tag Eq.	Rated Output Power. (kW)	Rated Current. (A.)	Rated Nominal V. (V.)	P.F. at Full Load	Eff. At Full Load	Present Current (A.) (Monitoring)	Present kW. (Monitoring)	Present kW. (Cal.)	operating time hrs / day	operating time hrs / month	kWh / day	kWh / month
QM-B31A	220	24	6600	0.85	94.50%	0	0	0	24	720	0	0
QM-B31B	220	24	6600	0.85	94.50%	20	197	193.415904	24	720	4,641.98	139,259.45
QM-B31C	220	24	6600	0.85	94.50%	20	197	193.415904	24	720	4,641.98	139,259.45
												278,518.90

2. Shutdown Transition: Run Cooling Fan 1 ตัว, ส่วน Cooling Fan อีกตัวสามารถหยุด run ได้ค่าเฉลี่ยอย่างต่ำประมาณ 16 hrs

Tag Eq.	Rated Output Power. (kW)	Rated Current. (A.)	Rated Nominal V. (V.)	P.F. at Full Load	Eff. At Full Load	Present Current (A.) (Monitoring)	Present kW. (Monitoring)	Present kW. (Cal.)	operating time hrs / day	operating time hrs / month	kWh / day	kWh / month
QM-B31A	220	24	6600	0.85	94.50%	0	0	0	24	720	0	-
QM-B31B	220	24	6600	0.85	94.50%	20	197	193.415904	24	704	4,641.98	136,164.80
QM-B31C	220	24	6600	0.85	94.50%	20	197	193.415904	24	720	4,641.98	139,259.45
												275,424.25

สรุปผลการประหยัดพลังงาน

- หยุดการ Run Cooling Fan 1 Unitได้ในระหว่าง Shutdown เปลี่ยนเกรดการผลิต 16 hrs จะสามารถประหยัดพลังงานได้ = 278,518.9 - 275,424.25 = 3,094.65 kWh / month
- มีการ Shutdown เปลี่ยนเกรดการผลิต 12 ครั้งต่อปี จะสามารถคำนวณผลการประหยัดพลังงานได้ต่อปี = 12 x 3,094.65 = **37,135.85 kWh/year**

  คิดเทียบหน่วยการประหยัดเป็น ktoe / year

  พลังงานไฟฟ้า 234,714.24 kWh คิดเทียบเป็นผลการประหยัด 0.02 ktoe / year

  ดังนั้นพลังงานไฟฟ้า 37,135.85 kWh คิดเทียบเป็นผลการประหยัด 0.00316 ktoe / year

  ปริมาณ CO_2 ที่ลดลงต่อปี = (37,135.85 x 0.58) / 1000 = 21.53 Tons/Year
- **ค่าไฟฟ้า 2.61 Baht / kWh (ราคาค่าไฟฟ้าเฉลี่ยของค่าไฟฟ้าปี 2554 ที่รับจากโรงไฟฟ้าของกลุ่มโรงงาน) ดังนั้นจะสามารถประหยัดเงินได้ = 37,135 x 2.61 = 96,922.35 บาท/ปี**
- เป็นมาตรการที่ไม่ต้องมีการลงทุนทางการเงิน

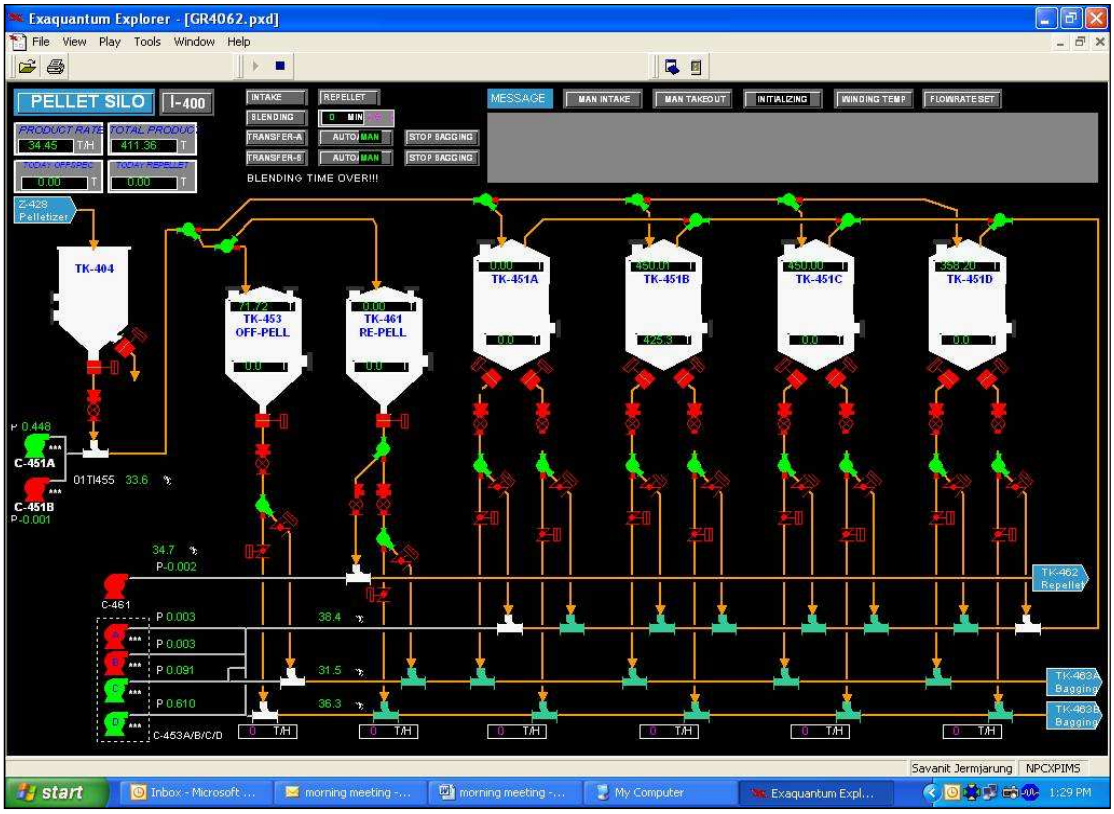
<u>ข้อเสนอแนะ</u>

- หากมีความต้องการใช้ที่ Design Flow Rate หรือมีการเปลี่ยนแปลง Flow rate ของ Cooling Tower เพื่อรองรับการขยายกำลังการผลิตหรือเพื่อวัตถุประสงค์ใดๆ จะต้องพิจารณาความเหมาะสมของการดำเนินมาตรการนี้อีกครั้ง
- ควรทำการพิจารณาความเหมาะสมของสภาพการใช้งานจริงประกอบ

3) มาตรการการลด Blending Time เม็ดพลาสติก

ความเป็นมาและปัญหาก่อนปรับปรุง

เนื่องจากเม็ดพลาสติกมีลักษณะเป็นสารประกอบ ของสารไฮโดรคาร์บอนที่มีน้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันซึ่งจะแสดงออกมาในลักษณะของความสามารถของการไหลที่อุณหภูมิสูง จึงทำให้ต้องมีการผสม (Blending) เม็ดพลาสติกเข้าหากันเพื่อทำให้มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด โดยปัจจัยที่ใช้ในการตัดสินความเป็นเนื้อเดียวกันคือ ค่า MFR (Melt Flow Rate) อย่างไรก็ตามเมื่อกระบวนการผลิตทำการผลิตได้อย่างราบรื่นจะทำให้ค่า MFR ของเม็ดพลาสติกที่ช่วงเวลาต่างๆ มีค่าเท่ากันหรืออาจกล่าวได้ว่าได้ผลผลิตที่มีลักษณะเหมือนกันตั้งแต่ต้น ดังนั้นการผสมเม็ดพลาสติกในกรณีนี้จึงไม่มีความจำเป็น ซึ่งเป็นการสูญเสียค่าไฟฟ้าเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการและโอกาสในการผลิต



รูป 5.8 ผังการทำงาน (Flow Chart Diagram) การ Blending เม็ดพลาสติก

ลักษณะเครื่องจักร

Blending System ประกอบด้วย Silo ทั้งหมด 4 Silo คือ TK-451A, TK-451B, TK-451C และ TK-451D มีปริมาตรบรรจุเท่ากับ 450 ตันต่อ 1 Silo ภายใน Silo ทั้ง 4 มีท่อสำหรับการผสม Silo ละ 9 ท่อโดยใช้ Blower จำนวน 2 ชุดคือ C-453A และ C-453B ระบบมีการใช้ระบบ Blending Pellet Transfer Blowing โดยมี อุปกรณ์ไฟฟ้าเป็น Motor 2 Ea. พิกัด 220 kW/Ea, 6600 V. ประสิทธิภาพ Full Load 95.2 %, Power Factor (Full load) = 83% Rated current 22 A.

ลักษณะการทำงานปัจจุบัน

ระหว่างการผสมจะทำการเดิน Blower ทั้ง 2 ชุด ด้วยอัตราการถ่ายโอนที่ 100 ตันต่อชั่วโมง โดยผสมในอัตรา 450 ตันต่อ 4 ชั่วโมง

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

การ Blending ของ Product ที่ Silo เพื่อทำให้เม็ดพลาสติกทั้ง Silo มีความเป็นเนื้อเดียวกัน ดังนั้นหากในกระบวนการผลิตสามารถควบคุมสมบัติของเม็ดพลาสติกที่ใส่ใน Silo ให้ใกล้เคียงกันได้ก็จะสามารถลดเวลาการ Blending ได้

การดำเนินการในการพิจารณาลด Blending Time ประกอบด้วยข้อมูลรองรับ 3 หัวข้อ ดังนี้

1. การเก็บข้อมูลช่วงการผลิตราบรื่นและวิเคราะห์เพื่อหาเกณฑ์ในการตัดสินใจเพื่อเก็บข้อมูล MFR จากตัวอย่าง อ้างอิงในห้อง Lab (100% Blending)

   โดยพิจารณาจากข้อมูล MFR ที่เก็บแยกแต่ละ Silo ในแต่ละเกรดจาก Stabilizer Control Sheet แสดงข้อมูลดังตาราง 5.4

ตาราง 5.4 ข้อมูล MFR เฉลี่ยแยกแต่ละ Silo และการคำนวณค่าทางสถิติการลด Blending Time

เกรด	ค่าเฉลี่ย MFR	Standard Deviation (SD)
HJ1100	18.5	0.11255
HJ2200	4.7	0.07162
HS5005	0.47	0.00946
HB5500	0.41	0.01147
HB6600	0.68	0.00885
HF7007	0.049	0.00068

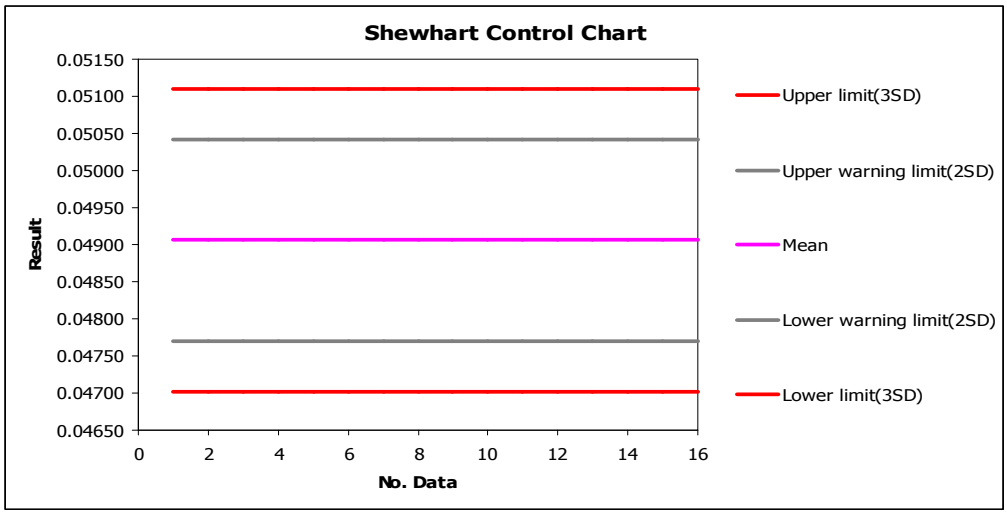
หมายเหตุ - Standard Deviation คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

2. ข้อมูลจากคำแนะนำของ Licenser

“Blending operation is carried out in principle only when product pellets whose MFR differs greatly from a specified one. Except the case of large variation of MFR as aforesaid, products pellets are packed without blending operation. However, at least 10 % pellets (approx. 50 ton) in the silo shall be blended before transferred to bagging unit.”

3. หลักการทางสถิติวิเคราะห์และสรุปหลักเกณฑ์การ Blending

Internal Quality Control (ISO8258 Shewhart Control Chart)



รูปที่ 5.9 การตั้งหลักเกณฑ์การลด Blending Time

เมื่อนำหลักเกณฑ์ของ Shewhart Control Chart มาพิจารณา หากค่า MFR ของเม็ดพลาสติกที่ใส่ใน Siloเบี่ยงเบน มากกว่า 2SD จะเป็นการเตือนว่าเม็ดพลาสติกเริ่มมีคุณสมบัติเบี่ยงเบน หากค่า MFR ของเม็ดพลาสติกที่ใส่ใน Silo เบี่ยงเบน มากกว่า 3SD แสดงว่าคุณสมบัติเบี่ยงเบนแล้ว

4. สรุปเกณฑ์การลด Blending Time ดังตาราง 5.5

ตาราง 5.5 เกณฑ์การลด Blending Time

SDw	HJ1100	HJ2200	HS5005	HB5500	HB6600	HF7007	Blending Time (hr.)
≤1SD	0.11255	0.07162	0.00946	0.01147	0.00885	0.00068	1
1SD< SDw ≤ 1.5SD	0.16882	0.10740	0.01420	0.01721	0.01328	0.00102	2
1.5SD < SDw ≤ 2SD	0.22509	0.14320	0.01893	0.02295	0.01770	0.00136	3
SDw > 2SD							4

SDw หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยน้ำหนักของ MFR จากเม็ดพลาสติกที่เติมเข้าสู่ Silo

การคำนวณในด้านผลการประหยัดพลังงาน

ระบบมีการใช้ระบบ Blending Pellet Transfer Blowing โดยมี อุปกรณ์ไฟฟ้าเป็น Motor 2 EA. พิกัด 220 kW/EA., 6600 Volt ประสิทธิภาพ Full Load 95.2 %, Power Factor (Full load) = 83% Rated current 22 A.

1) ลักษณะการเดินเครื่องใช้งาน

- การ Blending จะทำการ Blending ประมาณ 4 ชั่วโมง/ครั้ง โดยมีการเดินมอเตอร์ 2 Ea.
- การ Blending จะทำ Blending ประมาณ 2 ครั้ง / วัน
- ตรวจวัดกระแสมอเตอร์ขณะทำการ Blending = 14.5 A.
- Power Factor ระบบไฟฟ้าขณะที่มีการBlending 0.95
- ประสิทธิภาพขณะ Blending ประมาณ 69 %
- คำนวณเป็น kW ได้ประมาณ 110 kW / Ea.

2) เป้าหมายการประหยัดพลังงาน

- คิด การ Blending โดยเดินมอเตอร์ทั้ง A และ B และลดเวลาการ Blending จาก 4 ชั่วโมง เป็น 2 ชั่วโมง
- จะสามารถคำนวณผลการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ดังตารางที่ 5.6

ตาราง 5.6 ผลการคำนวณการประหยัดพลังงานมาตรการลด Blending Time

	KWh/Day	ประหยัดพลังงานไฟฟ้า (ค่าพลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยของโรงงานกรณีศึกษา = 2.61Bht/kWh)	บาท
Blending 4 HOUR	2 x (220 x 4) = 1760 kWh	1760 x 2.61	**4,593.60**
Blending 2 HOUR	2 x (220 x 2) = 880 kWh	880 x 2.61	**2,296.80**
จะคิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง / วัน คือ	**4,593.60 - 2,296.8 = 2,296.80**		
จะคิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง / เดือน คือ	**2,296.80 x 30 = 68,904 บาท**		
จะคิดพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง / ปี คือ **316,800 kWh หรือ 0.0272 ktoe**		จะคิดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ลดลง / ปี คือ **826,848 บาท**	
ปริมาณ CO_2 ที่ลดลงต่อปี = 183.744 Tons/Year			
เป็นมาตรการที่ไม่ต้องมีการลงทุน			

ข้อเสนอแนะ :

- ทำการเก็บข้อมูลและทดลองปฏิบัติในแต่ละการผลิตแต่ละเกรดผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้ผลสรุปที่ชัดเจนพร้อมกำหนดแนวทาง
- มีแนวทางการขยายผลอาจมีการพิจารณาไม่มีการ Blending เลยซึ่งถือเป็น Likely Case อันจะได้ผลเรื่องการประหยังพลังงานที่เพิ่มขึ้น

4) มาตรการการปรับวิธีการกลั่น Crude Hexane

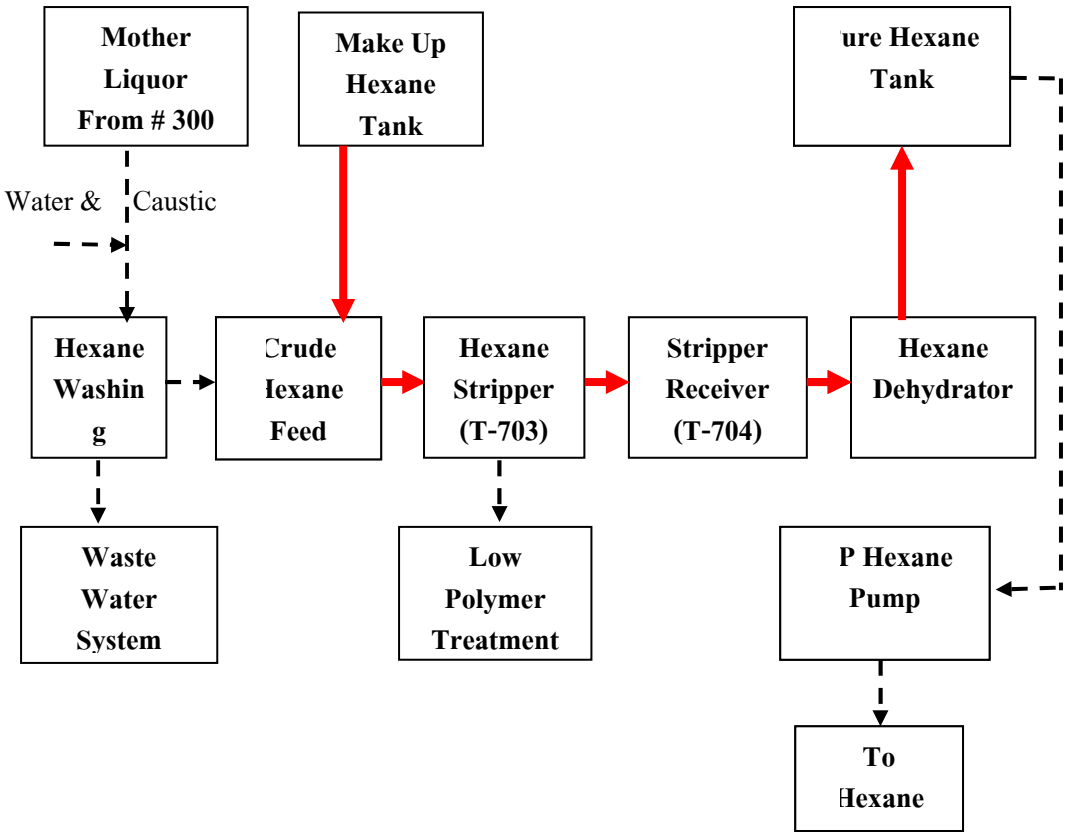
ความเป็นมาและปัญหาก่อนปรับปรุง

Hexane ที่ใช้ในกระบวนการผลิต สามารถ Recovery ให้เป็น Pure Hexane นำกลับมาหมุนเวียนใช้ในระบบได้ แต่จะมี Hexane ส่วนหนึ่งสูญเสียไปกับกระบวนการผลิต เช่น เป็น Oligomer, Vapor Loss, ติดไปกับ Low Polymer เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการรับ Hexane จากภายนอกมาเก็บไว้ที่ Make Up Hexane Tank เพื่อนำมากลั่นเก็บไว้ใน Pure Hexane Tank และใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป โดยปัจจุบันรับ Crude Hexane จาก บริษัทภายนอก

เมื่อรับ Crude Hexane มาเก็บที่ Make Up Hexane Tank ครบตามจำนวนแล้วจะนำเข้าสู่กระบวนการทำ Crude Hexane เป็น Pure Hexane ซึ่งการทำ Crude Hexane ให้เป็น Pure Hexane ในช่วงแรกนั้นจะผ่านกระบวนการกลั่นแยก ที่ Hexane Stripping ซึ่งหน้าที่หลักๆ ของ Hexane Stripping คือ แยก Low Polymer ออกจาก Hexane แต่เนื่องจาก Crude Hexane ที่รับมาจากภายนอกนั้นไม่มี Low Polymer ปนเปื้อนและมีคุณสมบัติตรงตาม Spec ดังนั้นเมื่อนำ Crude Hexane มากลั่นแยกที่ Hexane Stripping ทำให้ต้องสูญเสียพลังงานโดยไม่จำเป็น

รูป 5.10 Storage Tank Hexane ที่ใช้ในกระบวนการผลิต

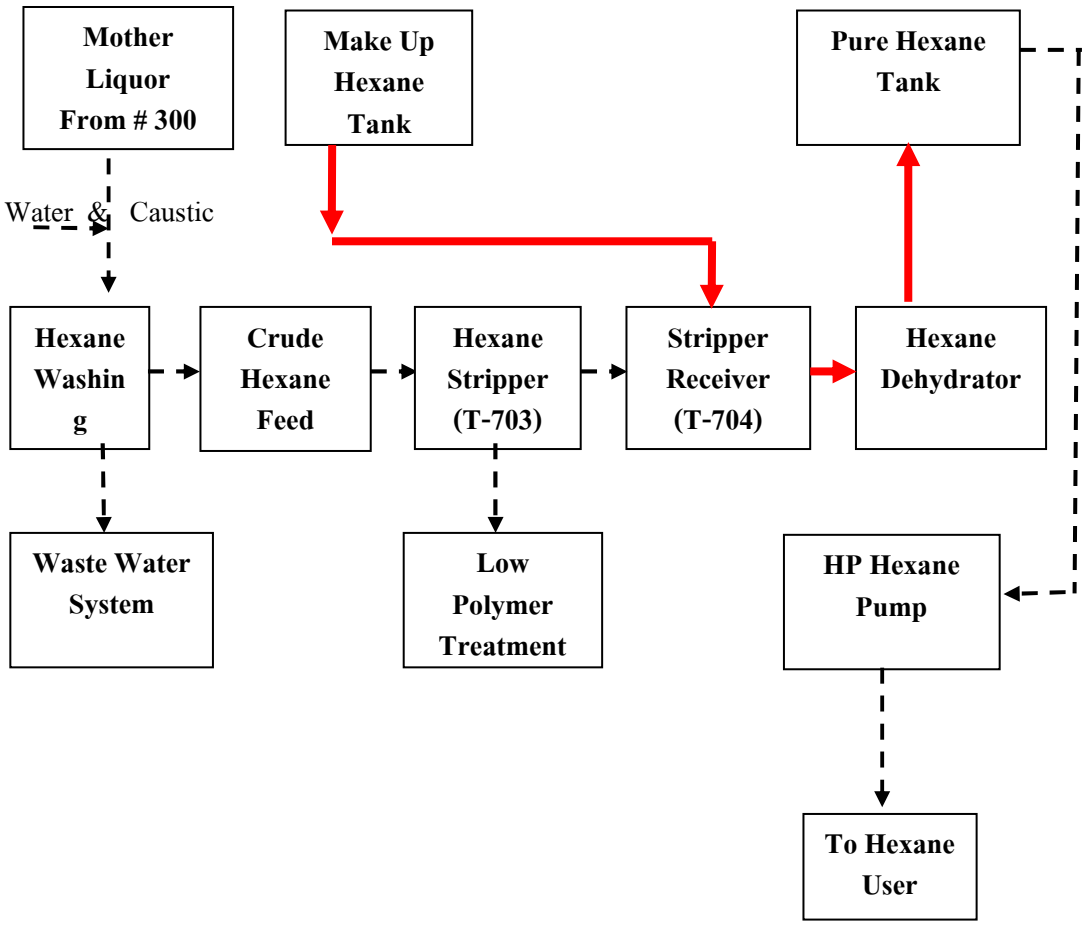
รูป 5.11 หอกลั่นที่ใช้ในกระบวนการกลั่น Hexane ให้เป็น Pure Hexane



รูป 5.12 Block Diagram การทำ Crude Hexane เป็น Pure Hexane วิธีเก่า ตามวิธีการของ Licensor

แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

หลังจากทำการวิเคราะห์เก็บข้อมูล Crude Hexane ที่รับมาไม่มี Low polymer ปนเปื้อนและมีค่ามาตรฐานตามที่กำหนด (ตาม Process Requirement Specification ที่รับจากทาง Vendor ต้องไม่มี Low Polymer เป็นองค์ประกอบ) สามารถที่จะนำมากลั่นแยกที่ Hexane Stripperได้ ดังนั้นจึงได้ปรับเปลี่ยนเส้นทาง ของ Crude Hexane จาก Make up Hexane Tank ไปเข้าที่ Crude Hexane Tank แทนและ จาก Crude Hexane Tank จะถูก Feed เข้า Hexane Dehydrator เพื่อกลั่นแยกน้ำออกจาก Hexaneเป็นการลดพลังงานที่ใช้ใน Hexane Stripper แสดง Block Diagram Hexane แบบใหม่ตามรูปที่ 5.13



รูป 5.13 Block Diagram การทำ Crude Hexane เป็น Pure Hexane วิธีใหม่

วิธีการคำนวณผลการประหยัดพลังงาน

ข้อมูลดิบ

- ข้อมูลการกลั่น Crude Hexane วิธีเก่า และการตรวจสอบ Steam และไฟฟ้าที่ใช้ในการกลั่นแบบเก่าขณะทำ Crude Hexane ให้เป็น Pure Hexane หลังมีการเพิ่ม Feed

ตาราง 5.7 การตรวจวัดปริมาณ Steam ที่ใช้เพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่ม Feed Hexane มาตรการปรับวิธีกลั่น

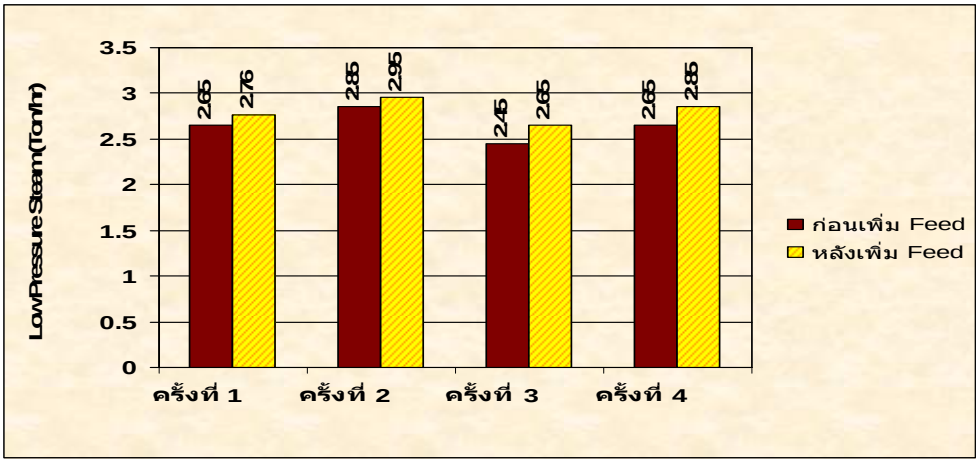
Hexane Feed (Ton/hr) / Steam (Ton/hr)	18	18.5	19	19.5	20
T-703 (Medium Pressure Steam : MS)	2.290	2.390	2.500	2.650	2.790
T-704 (Low Pressure Steam : LS)	2.650	2.678	2.706	2.734	2.760

ตาราง 5.8 ปริมาณกระแสไฟฟ้าของ Motor ที่เพิ่มขึ้นขณะทำ Crude Hexane ให้เป็น Pure Hexane

Hexane Feed (Ton/hr) / กระแสไฟฟ้า (Amps)	18	18.5	19	19.5	20
R (Amps)	58.5	58.3	67.9	69.0	69.3
S (Amps)	61.3	61.4	62.1	68.3	72.0
T (Amps)	59.4	59.6	67.7	68.9	69.5
Average (Amps)	59.7	59.8	65.9	68.7	70.2

หมายเหตุ: กระแสไฟฟ้าของ Motor สำหรับ ปั๊ม Equipment Tag. P-702 ซึ่งใช้ในการส่ง Crude Hexane ไปที่ Hexane Stripper

- ข้อมูลปริมาณ Steam ที่ใช้เมื่อทำการกลั่น Crude Hexane วิธีใหม่ (ทดลอง)



รูป 5.14 ปริมาณ Steam ที่ใช้เพิ่มขึ้นของ T-704 หลังเพิ่ม Feed ขึ้นไป 2 Tons

<u>การวิเคราะห์ผล</u>

คิดค่าใช้จ่ายในการประหยัดจากการปฏิบัติจริง

ตาราง 5.9 ราคาของ Steam แยกตามประเภทที่ใช้ในโรงงาน

Utilities	**ราคา (Baht/ton)***
High Pressure Steam (HS)	795
Medium Pressure Steam (MS)	718
Low Pressure Steam (LS)	672

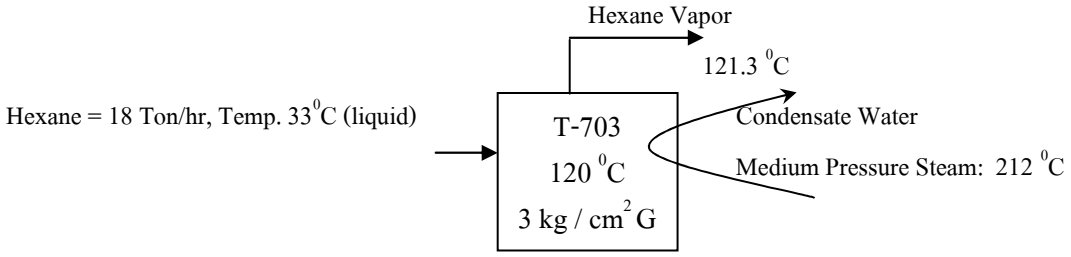
<u>Note :</u>

- *อัตราค่าไฟฟ้า = 2.61 Baht / kWh* (ของโรงงานกรณีศึกษา)
- ในรอบ 1 ปีมี Plan ที่จะรับ Hexane ทั้งหมด 1,207.5 Tons รับจาก Vendor (ตาม Process Requirement Specification, Hexane ที่รับมาจากทาง Vendor ต้องไม่มี Low Polymer เป็นองค์ประกอบ ดังนั้นสามารถกลั่น Crude Hexane วิธีใหม่ได้โดยไม่ต้องทำการตรวจสอบอีก)

ตาราง 5.10 สรุปการใช้พลังงานตามประเภทสำหรับการกลั่น Crude Hexane วิธีเก่า

Hexane Feed (Ton / hr)	18	20
Medium Pressure Steam (T-703) (Ton / hr)	2.290	2.790
Low Pressure Steam (T-704) (Ton / hr)	2.650	2.760
กระแสไฟฟ้าของ P-702, Average (3 Phase, Amps)	59.7	70.2

<u>การคิดค่าพลังงานความร้อนของ T-703 ที่ E-703</u>



จากกฎ Energy Balance: จะสามารถคำนวณค่าพลังงานความร้อนได้ตามความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ คือ

$$\left[M_{hx} \times Cp_{hx} (T_{out} - T_{in}) + h_{fg} \text{ at saturated} \right] = M_{MS} \times h_{fg,} \text{ at saturated}$$

- **Basis: คิดจากการ Feed Hexane ที่ 1 Ton / hr จะกลายเป็น Hexane Vapor ต้องใช้พลังงาน456,399.35 KJ หรือ 456.4 MJ จากการคำนวณ**: แสดงรายละเอียดการคำนวณโดยใช้ข้อมูลสนับสนุนดังต่อไปนี้
  - ใช้คิดเฉพาะ Pure Hexane ที่ไม่มี Low Polymer
  - ค่าของตัวแปรต่างๆ ได้แก่ ค่าความจุความร้อนเฉพาะของ Hexane; Cp_{hx} = 167.58 kJ / kmol K --> 1.9445 kJ / kg K ที่อุณหภูมิเฉลี่ย 77 °C (จากตาราง A-2 ของหนังสือ Thermodynamics ที่เขียนโดย Yanus A. Cengel และ Michael A. Boles), h_{fg} at Saturated (latent heat ของ Hexane ที่ 120 °C, 3 kg/cm² G) = 68 kcal / kg = 284.7 kJ/kg (จาก Enthalpy chart of Hexane ของ MCI (volume I, 8-27))

- Hexane กลายเป็น Vapor ที่ 121.3 ^{o}C, 3 kg / cm^{2} G เนื่องจาก T-703 จะมี Low Polymer ด้วย และ Hexane จะไม่เดือดใน T-703 จึงคิด Cp เฉพาะ Liquid phase

- ดังนั้น: M_{hx} = 1,000 kg, Cp_{hx} = 1.9445 kJ/kg K, T_{out} = 121.3 ^{o}C, T_{in} = 33 ^{o}C, h_{fg} at saturated. = 284.7 kJ / kg

- แทนค่าใน Energy Balance; พลังงานความร้อน = 1,000 (1.9445 x (121.3 – 33) + 284.7)
  = 456,399.35 KJ

Hexane 1 Ton ต้องใช้พลังงาน MS = 456.4 MJ --- (Result 1)

<u>คิดค่ากระแสไฟฟ้าที่ P-702 ต้องใช้ในการส่ง Hexane ไปที่ T-703</u>

Hexane feed เพิ่มขึ้น (20-18) = 2 Tons/hr P-702 ใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น (70.2-59.7) 10.5A

Hexane feed 1 Ton/hr ปั๊ม Equipment Tag. P-702 ใช้กระแสไฟฟ้า 5.25 A

P-702 มีการ Feed Hexane ที่มาจาก TK-703 ทั้งหมด 1,207.5 Tons

คิด กำลังไฟฟ้า (kW) ของปั๊ม Equipment Tag. P-702 รวมกับประสิทธิภาพของ Pump ดังนี้

กำลังไฟฟ้า = 1.732 x V x I x Power Factor x Efficiency

จาก Technical Data Sheet ของ ABB : motor มีประสิทธิภาพ 93 %, คิด Power Factor 0.85

กำลังไฟฟ้า = 1.732 x 0.4 x 5.25 x 0.85 x 0.93 = 2.875 kW

ดังนั้น Hexane 1 Ton/hr ใช้กำลังไฟฟ้า 2.875 kW

Hexane 1 Ton ใช้พลังงานไฟฟ้า 2.875 kWh

Hexane 1,207.5 Tons ใช้พลังงานไฟฟ้า 2.875 x1,207.5 = 3,471.56 kWh

- **ดังนั้นจะเสียค่าไฟฟ้าสำหรับการส่ง Hexane ไป T-703 = 3,471.56 x 2.61**
  = 9,060.77 Baht/year ---(Result 2)

<u>ที่ Heat Exchanger E-703 (T-703) : คิดการใช้ Steam เทียบ Hexane 1 ton ที่ได้จากตาราง 5.7</u>

Hexane feed เพิ่มขึ้น (20-18) = 2 Tons/hr ใช้ MS เพิ่มขึ้น (2.790 -2.290) = 0.5 Ton/hr

Hexane feed 1 Ton/hr ใช้ MS 0.25 Ton / hr

- **ดังนั้นที่ T-703 1 ปี มีการใช้ MS ทั้งหมด = 0.25 x1,207.5 = 301.875 Tons/year**
- **คิดเป็นเงิน = 301.875 Ton/year x 718 Baht/ton = 216,746 Baht/year ----- (Result 3)**

<u>ที่ T-704 คิดค่าใช้จ่ายของ LS ที่ใช้กับ Heat Exchanger E-705</u>

ข้อมูลจากกราฟรูป 5.14 ปริมาณ LS ที่ใช้เพิ่มขึ้นจากการเพิ่ม Feed ของ Hexane 2 Ton / hr (ทำการทดลอง 4 ครั้ง) แสดงผลดังตารางที่ 5.11

ตาราง 5.11 ผลการทดลอง Record การเพิ่ม LS Steam กับการเพิ่ม Feed

ครั้งที่	1	2	3	4
Hexane (Ton/hr)	2	2	2	2
Low Pressure Steam: LS (E-705) (Ton/hr)	0.110	0.100	0.200	0.200
Hexane/LS	0.055	0.05	0.1	0.1

Hexane 1 Ton ต้องใช้ LS = (0.055+0.05+0.1+0.1)/4 = 0.076 Ton

- **ดังนั้นที่ T-704 ต้องใช้ LS = 0.076 x 1,207 = 91.77 Tons/year**

  = 91.77 x 672 Baht/Ton = 61,669 Baht/year ---- (Result 4)

  (เพื่อแยกน้ำออกจาก Hexane)

<u>สรุปผลการคำนวณ</u>

- การกลั่น Crude Hexane วิธีเก่าเสียใช้ค่าใช้จ่าย = (Result 2)+(Result 3)+(Result 4)

  = 9,060.77 + 216,746 + 61,669

  = 287,475.77 Baht / year----(Result 5)

- **การกลั่น Crude Hexane วิธีใหม่ เสียค่าใช้จ่ายทั้งหมด = (Result 4) = 61,669 Baht / year เพื่อง่ายต่อการพิจารณาเรื่องการคำนวณให้เป็น (Result 6)**
- **จะประหยัดค่าใช้จ่ายเมื่อกลั่น Hexane วิธีใหม่ = (Result 5)-(Result 6)**

  = 287,475.77 - 61,669 = 225,806.77 Baht / year

  = 18,817.23 Baht / month

<u>คิดเทียบหน่วยการประหยัดเป็น ktoe/year</u>

- จากตารางปริมาณพลังงานของเชื้อเพลิง (ค่าความร้อนสุทธิ)

  0.02 ktoe / year = 234,714.24 kWh = 844,971.264 MJ

  (จากตาราง A-4 ของหนังสือ Thermodynamics ที่เขียนโดย Yanus A. Cengel และ Michael A. Boles พลังงานจำเพาะของ Medium Pressure Steam (1,716 kPa, 212 ^{o}C) = 2.604 MJ/kg)
- T-703 1ปีมีการใช้ MS ทั้งหมด 301.875 Tons คิดเป็นพลังงาน = 2.604 x 301,875=786,082.5 MJ
- พลังงานจำเพาะของ Low Pressure Steam (402 kPa, 152 ^{o}C) = 2.567 MJ/kg
- T-704 1 ปี มีการใช้ LS ทั้งหมด 91.77 Tons คิดเป็นพลังงาน = 2.567 x 91,770 = 235,573.6 MJ

- ดังนั้น; การกลั่น Crude Hexane 1,207.5 Tons/year คิดเทียบเป็นผลการประหยัด หน่วย ktoe/year ดังนี้

  1. P-702 ใช้พลังงานไฟฟ้า 3,471.56 kWh คิดเป็น 0.000296 ktoe /year

  2. T-703 1 ปี มีการใช้พลังงาน 786,082.5 MJ คิดเป็น 0.0186 ktoe /year

  3. T-704 1 ปี มีการใช้พลังงาน 235,573.6 MJ คิดเป็น 0.00557 ktoe /year

- **การกลั่น Crude Hexane วิธีเก่า คิดผลการใช้พลังงาน = 0.000296+0.0186 + 0.00557**
  = 0.02447 ktoe/year
- **การกลั่น Crude Hexaneวิธีใหม่ คิดผลการใช้พลังงาน = 0.00557 ktoe/year**
- **คิดเป็นผลการประหยัด เมื่อกลั่น Hexane วิธีใหม่ = 0.02447 - 0.00557 = 0.0189 ktoe/year**
- **ปริมาณ CO_2 ที่ลดลงต่อปี = 127.46 Tons/Year**

  (1 MWh = CO_2 emission 0.58 Tons/Year, 1kWh = 3.6 MJ, 1 ktoe =11,628 MWh)

- **เป็นมาตรการที่ไม่ต้องลงทุน**

<u>ข้อเสนอแนะ</u>

- ต้องพิจารณาจัดทำขั้นตอนปฏิบัติงานที่ชัดเจนและสื่อสารโดย Training ให้ผู้ปฏิบัติงานทราบวิธีปฏิบัติงานตามกระบวนการปรับเปลี่ยนขั้นตอนแบบใหม่
- ควรทำการพิจารณาความเหมาะสมของสภาพการใช้งานจริงประกอบ

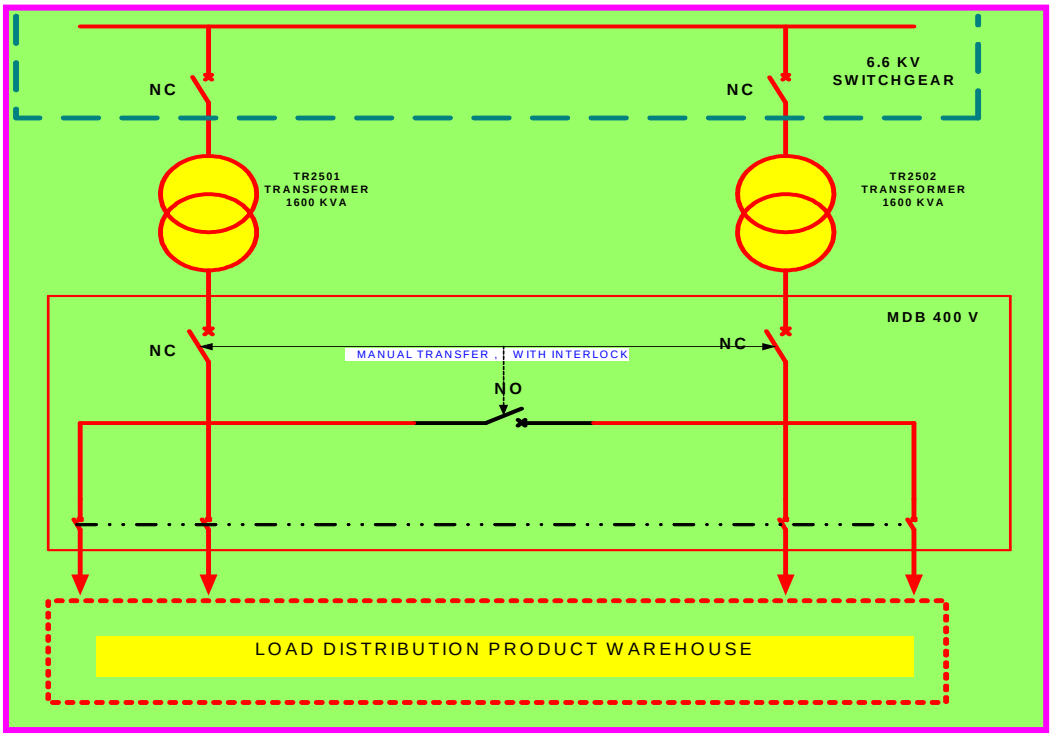
5) มาตรการการย้ายโหลดหม้อแปลงไฟฟ้าที่ Product Warehouse เพื่อลดความสูญเสียไฟฟ้าที่แกนเหล็กหม้อแปลง

ความเป็นมาและปัญหาก่อนปรับปรุง

หม้อแปลงไฟฟ้าทีอาคารเก็บเม็ดพลาสติก (Product Warehouse) หมายเลขอุปกรณ์ TR-2501 และ TR-2502 ปัจจุบันจ่ายโหลดน้อยกว่าพิกัดและโหลดที่ใช้งานส่วนมากเป็นแสงสว่าง ปลั๊กไฟ Air Condition ด้าน Low Voltage MCC. ไม่ได้ออกแบบให้มีการ Transfer Load อัตโนมัติ ดังนั้น การใช้งานอยู่โดยจ่ายไฟไว้ทั้ง 2 เครื่อง จะเกิดเรื่องความสูญเสียในแกนเหล็กหม้อแปลง โดยข้อมูลหม้อแปลง แสดงดังตาราง 5.12 และสภาพการออกแบบใช้งานแสดงดังรูป 5.15 และ 5.16

ตาราง 5.12 ข้อมูลหม้อแปลงที่อาคาร Product Warehouse

ข้อมูลหม้อแปลง (จาก Specification)	TR2501 (WH.PD. 1)	TR2502 (WH.PD. 2)
KVA Rated	1600	1600
HV. V SIDE	6.6kV.	6.6kV.
LV. V SIDE	0.4 kV.	0.4 kV.
Vector group	Dyn 5	Dyn 5
ข้อมูลด้าน LOSS ต่าง ๆ		
core loss (design)	2.4 kW	2.4 kW
copper loss (design)	20 kW	20 kW



รูป 5.15 ผังการทำงานหม้อแปลงไฟฟ้า (SINGLE LINE DIAGRAM); สภาพปัจจุบัน

รูป 5.16 หม้อแปลงและ MAIN DISTRIBUTION BOARD; สภาพปัจจุบัน

แนวคิดการดำเนินการ

สำรวจ Load ใช้งานของหม้อแปลงทั้ง 2 เครื่องแล้วพิจารณาย้าย Load ใช้งานหม้อแปลงไปรวมให้หม้อแปลง 1 เครื่องจ่าย Load ทั้งหมดขณะเดียวกันก็ทำแผน Switching หม้อแปลงใช้งานทุกเดือนจะสามารถลดเวลาบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้าลงและยืดอายุใช้งานหม้อแปลงและได้ผลเรื่องการประหยัดพลังงาน

1. การตรวจวัดโหลด: สภาพปัจจุบัน แสดงดังตาราง 5.13 และ ตาราง 5.14

ตาราง 5.13 การตรวจวัด โหลดและการคำนวณโหลดปัจจุบันของหม้อแปลง TR2501

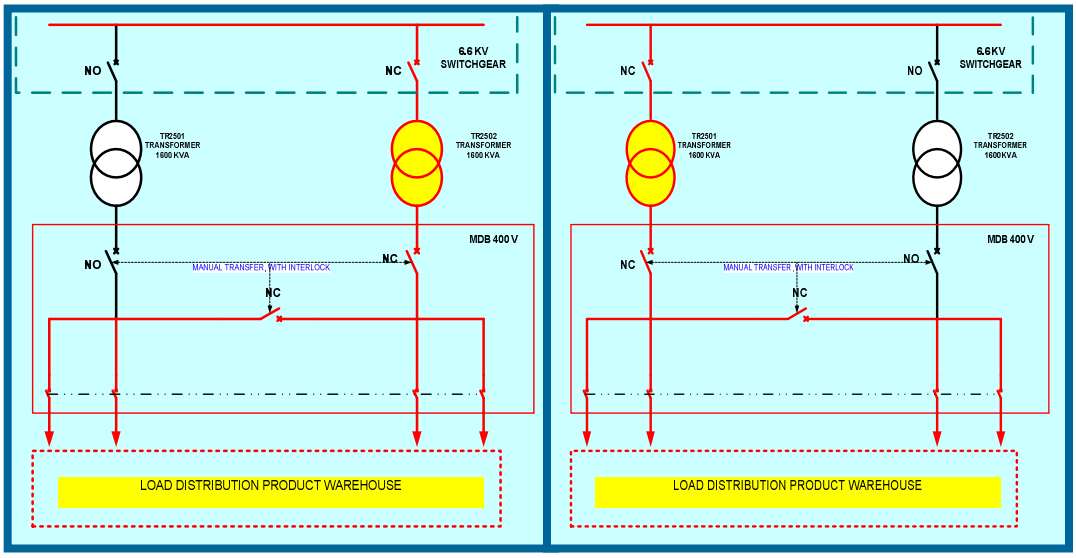
TR2501	I	P.F.	V	Power Cal. (kW)	kVA. ACTUAL
L1	41.15	0.839	230	7.9407155	9.4645
L2	38.9	0.783	230	7.005501	8.947
L3	56.2	0.901	230	11.646326	12.926
ผลรวมการตรวจวัด กำลังไฟฟ้า				26.5925425	31.3375

ตาราง 5.14 การตรวจวัด โหลดและการคำนวณโหลดปัจจุบันของหม้อแปลง TR2502

TR2502	I	P.F.	V	Power Cal. (kW)	kVA. ACTUAL
L1	21.2	0.82	230	3.99832	4.876
L2	18.9	0.79	230	3.43413	4.347
L3	12.5	0.81	230	2.32875	2.875
ผลรวมการตรวจวัด กำลังไฟฟ้า				9.7612	12.098

รูป 5.17 Main Distribution Board และเครื่องวัดทางไฟฟ้า (ตัวอย่างแสดงค่าที่เครื่องวัด)

2. แนวทางกำเนินการสภาพหลังปรับปรุง - ปลดหม้อแปลงออกจากระบบ 1 เครื่อง และย้ายโหลดไปรวมกับหม้อแปลงอีก 1 เครื่องและทำแผน Switching ทุก 1 เดือน



รูป 5.18 SINGLE LINE DIAGRAM หม้อแปลงไฟฟ้า สภาพหลังปรับปรุงตามมาตรการ

รูป 5.19 MDB ด้านแรงดันต่ำสภาวะการใช้งานในการจ่ายโหลดหลังดำเนินมาตรการ

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน :

ย้ายโหลดหม้อแปลง TR2501 ไปรวมกับโหลดหม้อแปลง TR2502

(คำนวณเป็นการประหยัดพลังงาน / ปี)

วิธีการคำนวณมาตรการลดหม้อแปลงไฟฟ้าขนาด 1,600 kVA

ข้อมูลเบื้องต้น

สถานที่ : ตู้ MDB หม้อแปลง TR2501 และ TR2502 อาคาร Product Warehouse

พิกัดติดตั้ง หม้อแปลง TR2501	=	1,600	kVA
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss)	=	2.4	kW
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด (Copper Loss)	=	20	kW
โหลดที่วัดได้	=	26.592	kW
โหลดที่วัดได้	=	31.337	kVA
เพาเวอร์แฟกเตอร์	=	0.85	
พิกัดติดตั้ง หม้อแปลง TR2502	=	1,600	kVA
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในแกนเหล็ก (Core Loss)	=	2.4	kW
กำลังไฟฟ้าสูญเสียในขดลวด (Copper Loss)	=	20	kW
โหลดที่วัดได้	=	9.7612	kW
โหลดที่วัดได้	=	12.098	kVA
เพาเวอร์แฟกเตอร์	=	0.80	
ระยะเวลาการใช้งาน	=	24	ชั่วโมง/วัน

จำนวนวันทำงาน	=	365	วัน/ปี
ระยะเวลาการใช้งาน	=	8,760	ชั่วโมง/ปี
ค่าไฟฟ้าเฉลี่ย (ของโรงงานกรณีศึกษา)	=	2.61	บาท/kWh

ก่อนปรับปรุง

ภาระโหลดหม้อแปลง TR2501 (kVA load)	=	26.592 / 0.85	
	=	31.3375	kVA

ค่าความสูญเสียในหม้อแปลง TR2501

Core Loss	=	Core loss rated x ชั่วโมงใช้งานหม้อแปลง	
	=	2.4 x 24 x 365	
	=	21,024	kWh/ปี
Copper Loss	=	Copper Loss rated x (kVA load / kVArated)^2 x ชั่วโมงจ่ายโหลดของหม้อแปลง	
	=	20 x (31.3375 / 1,600)^{2}x 24 x365	
	=	67.20	kWh/ปี
ความสูญเสียรวม	=	21,024 + 67.20	
	=	21,091.2	kWh/ปี
ภาระโหลดหม้อแปลง TR2502 (kVA load)	=	9.7611 / 0.8	
	=	12.098	kVA

ค่าความสูญเสียในหม้อแปลง TR2502

Copper Loss	=	Copper Loss rated x (kVA load / kVArated)^2 x ชั่วโมงจ่ายโหลดของหม้อแปลง
	=	20 x (12.098 / 1,600)^2 x 24 x 365
	=	10.02 kWh/ปี

<u>หลังปรับปรุง</u> : (ยกเลิกหม้อแปลง TR2501 ขนาด 1,600 kVA โดยนำโหลดไปรวมกับหม้อแปลง TR2502 ขนาด 1,600 kVA)

ภาระโหลดรวม (Active Power)	=	26.592 + 9.7612
	=	36.36 kW
ภาระโหลดรวม (Apparent Power)	=	31.337 + 12.098
	=	43.435 kVA
เพาเวอร์แฟกเตอร์หลังรวมโหลด	=	kW/ kVA = 36.36/43.435
	=	0.84

ค่าความสูญเสียในหม้อแปลง TR2502 ใหม่ที่มีโหลดเพิ่มขึ้น

Copper Loss	=	Copper Loss rated x (kVA load / kVArated)^2 X ชั่วโมงจ่ายโหลดของหม้อแปลง
	=	20 x (43.435 / 1,600)^2 x 24 x 365
	=	129.114 kWh/ปี

<u>ผลการประหยัด</u>

พลังงานไฟฟ้าที่สูญเสียลดลง	=	21,091.2+ 10.02 – 129.114
	=	20,972 kWh/ปี
	=	0.0018 ktoe/ปี

ปริมาณ CO_2 ที่ลดลง	=	12.16	Tons/ปี
คิดเป็นเงินที่ประหยัดได้	=	20972 x 2.61	
	=	54,736	บาท/ปี

<u>การวิเคราะห์ทางการเงิน</u>

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด	0	บาท
ระยะเวลาคืนทุนเบื้องต้น	0	ปี

ข้อเสนอแนะ

- ต้องมีการจัดทำแผน energized หม้อแปลง ว่าความถี่ควรเป็นเท่าไรถึงจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบกับหม้อแปลงที่มีการหยุด energized ตามแผน switching 1 เดือน
- แผน switching ทุก 1 เดือนจะสามารถทำพร้อมกับการ Shut down การเปลี่ยนเกรดการผลิต

แนวทางการขยายผล

- หลังจากมีการดำเนินผลตามมาตรการจะสามารถศึกษาต่อในเรื่องระดับแรงดันที่มีการใช้งานโดยหม้อแปลง 1เครื่อง ว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ และถ้าสามารถปรับระดับแรงดันโดยปรับ Tap Changer ได้จะสามารถทำเป็นมาตรการอนุรักษ์พลังงานได้

6) มาตรการการลดใช้งานระบบแสงสว่าง

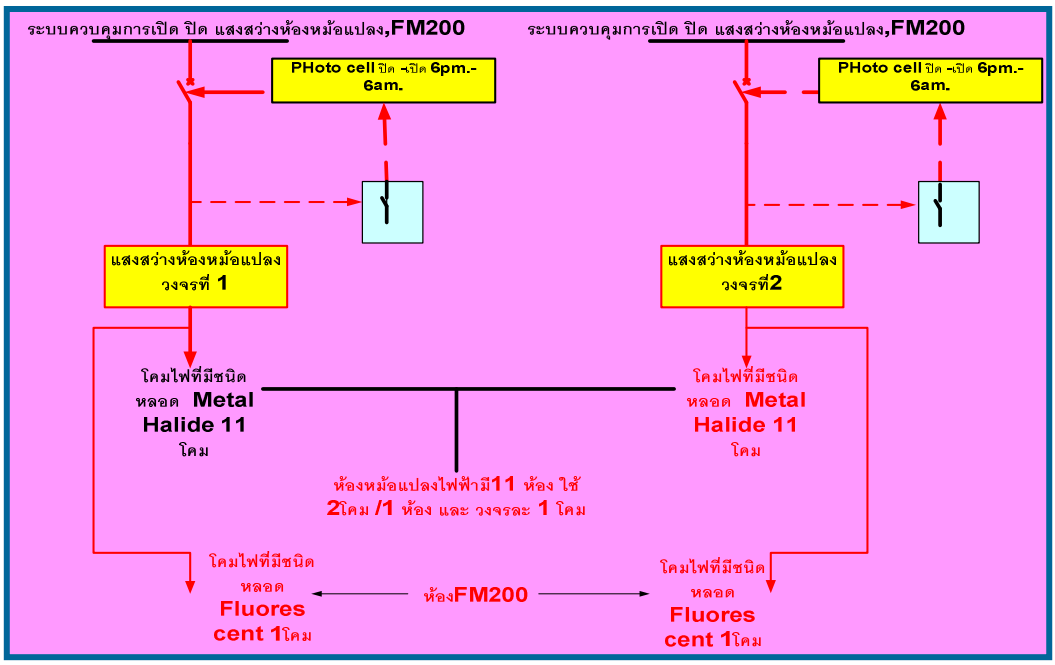
1. มาตรการลดการใช้แสงสว่างในพื้นที่ห้องหม้อแปลง ห้อง MCC อาคาร Substation

ความเป็นมาและปัญหาก่อนปรับปรุง

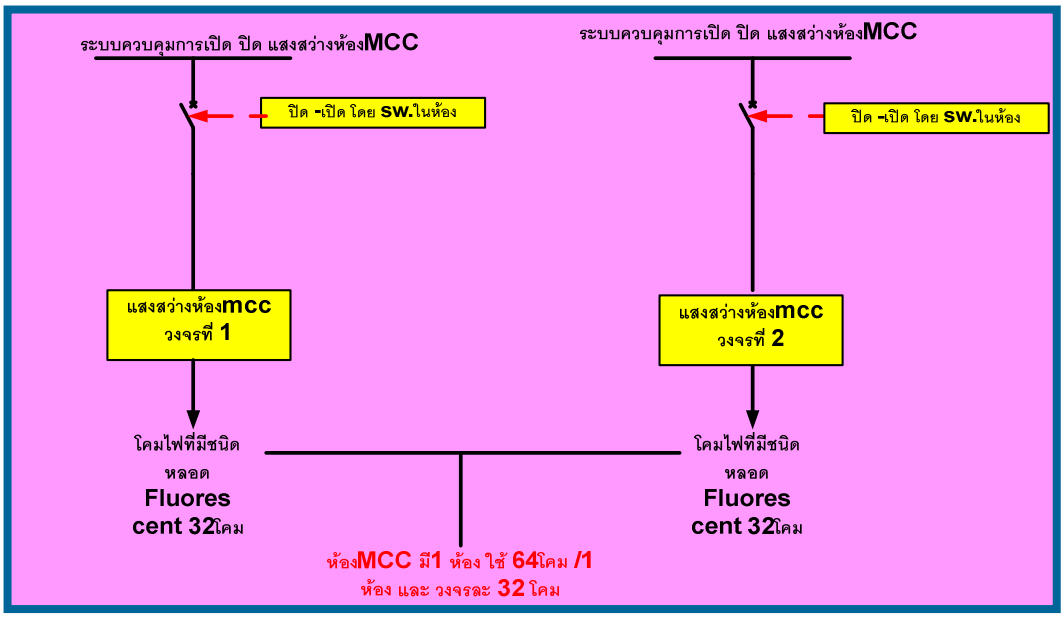
โรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษาในบริเวณ ห้องหม้อแปลงไฟฟ้า ห้อง MCC ที่อยู่ในความรับผิดชอบของฝ่ายผลิตมีการออกแบบระบบแสงสว่างไว้ 2 วงจร คือ วงจร Emergency และ Normal โดยมีการแบ่ง Load ไว้วงจรละ 50 % แต่จากการสำรวจพบว่าในบริเวณดังกล่าว สภาวะปกติไม่มีการปฏิบัติงาน ดังนั้นแสงสว่างที่มีการใช้งานอยู่ทั้งสองวงจรจะมากเกินความจำเป็น

ข้อมูลระบบแสงสว่าง

1. ห้องหม้อแปลงไฟฟ้า มีทั้งหมด 10 ห้อง, ห้อง Capacitor แรงสูง 1 ห้อง, ห้อง FM200 1 ห้อง หลอด Metal Halide 175 W จำนวน 23 หลอด, หลอด Fluorescent 36 W 4 หลอด
2. ห้อง MCC มีทั้งหมด 1 ห้อง แบ่งออกเป็นห้องBattery และ ห้อง Switchgear ใช้ หลอด Fluorescent 36 W จำนวน 128 หลอด หรือ 64 โคม



รูป 5.20 ผังการควบคุมการปิด-เปิด ระบบแสงสว่างที่ห้องหม้อแปลงไฟฟ้า; สภาพปัจจุบัน



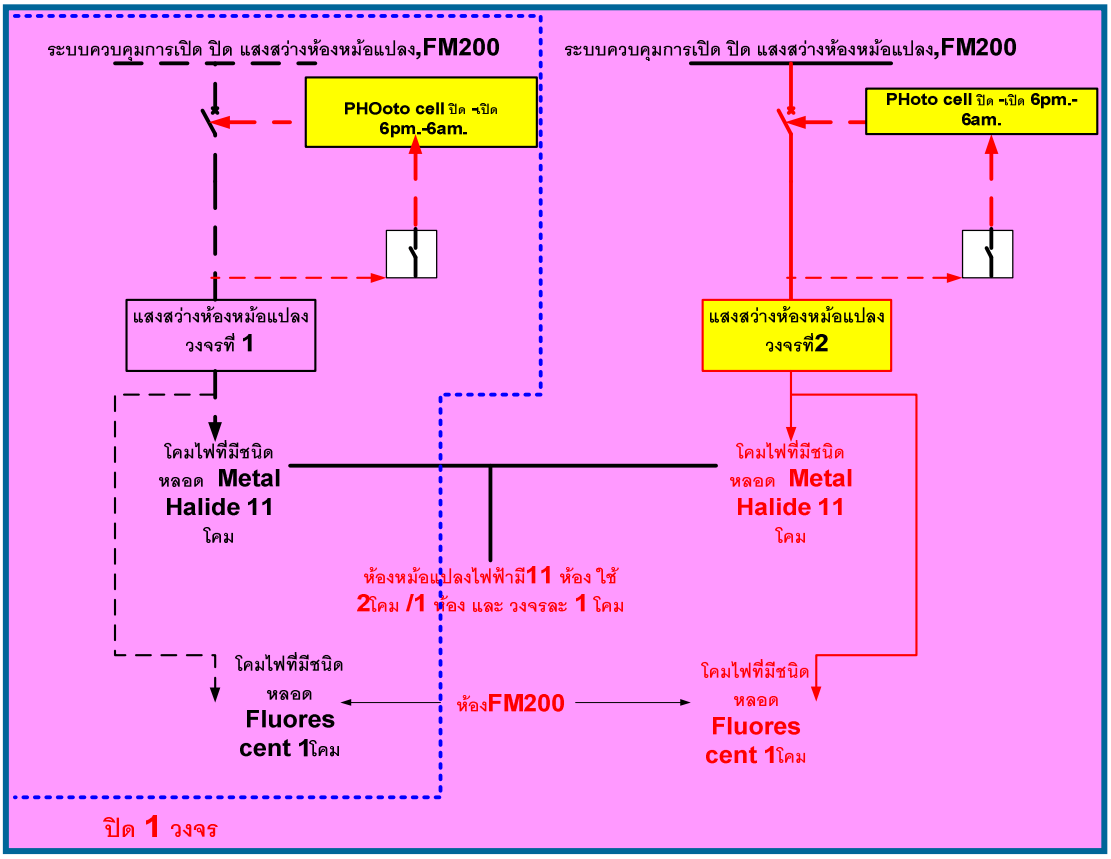
รูป 5.21 ผังการควบคุมการปิด-เปิดระบบแสงสว่างที่ห้อง MCC ; สภาพปัจจุบัน (ก่อนปรับปรุง)

รูป 5.22 ระบบแสงสว่างห้อง MCC และห้องหม้อแปลงไฟฟ้าที่นำมาพิจารณา

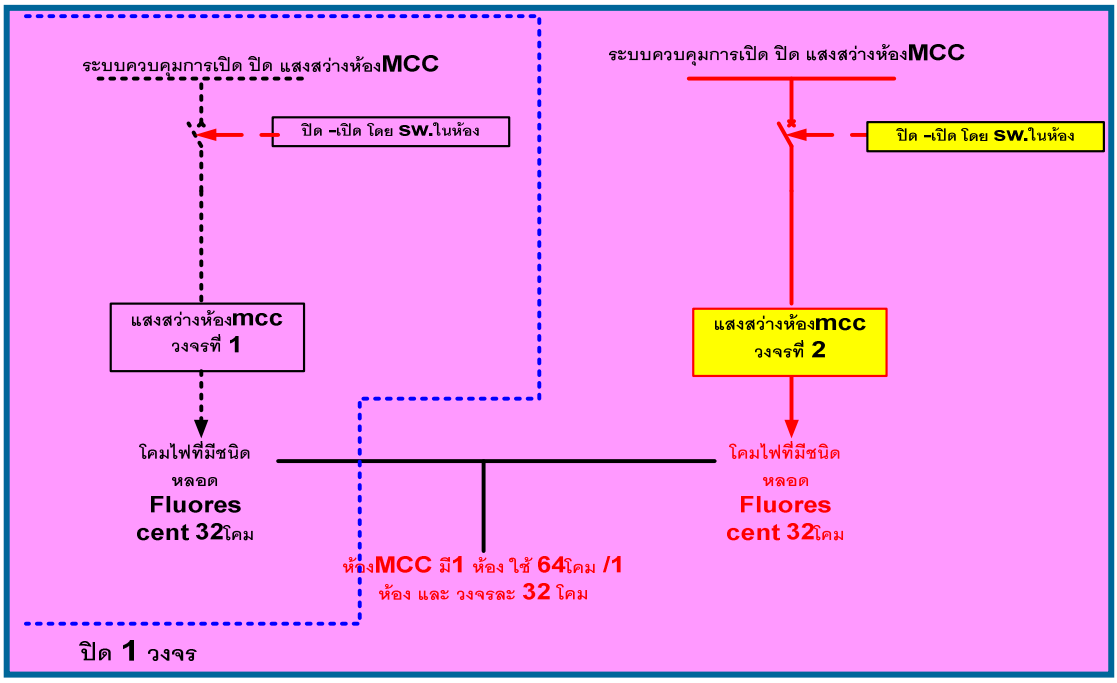
แนวคิดและขั้นตอนการดำเนินการ

ศึกษาและจัดทำเป็นมาตรการโดยการ ปิดไฟฟ้าแสงสว่างห้องหม้อแปลง ห้อง Cap และห้อง FM200 ไว้ 1 วงจร และสภาวะปกติที่ไม่มีการทำงานในห้อง MCC ให้ปิด Switch ภายในห้องไว้ 1 ชุดเสมอ ยกเว้นเวลาปฏิบัติงาน จะสามารถลดโหลดการใช้แสงสว่างลง 50% รายละเอียดแผนการดำเนินงาน ดังนี้

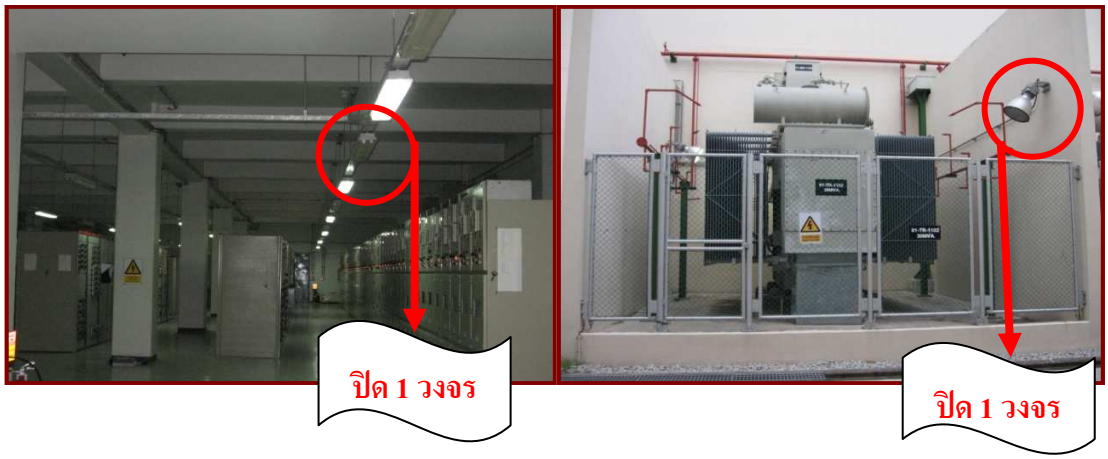
แนวทางเพื่อการปรับปรุง: ห้องหม้อแปลงไฟฟ้าและห้อง MCC แสดงดังผังต่อไปนี้



รูป 5.23 ผังการใช้งานวงจรแสงสว่างห้องเครื่องจักรหลังดำเนินการตามมาตรการ



รูป 5.24 ผังการใช้งานวงจรแสงสว่างห้อง MCC หลังดำเนินการตามมาตรการ



รูป 5.25 ระบบแสงสว่างห้องหม้อแปลงไฟฟ้า หลังปรับปรุง

การคำนวณผลประหยัดพลังงาน

ผลประหยัดที่ได้ : 23,253 kWh / year เท่ากับ 0.002 ktoe / year

: 60,690 บาท / ปี

ปริมาณ CO_2 ที่ลดลงต่อปี = 13.48 Tons/Year

(ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยของปี 2554ขอโรงงานกรณีศึกษา = 2.61 Baht / kWh)

เงินลงทุน: 0 บาท

ระยะเวลาคืนทุน: 0 year

ข้อเสนอแนะ:

- จัดทำ สติ๊กเกอร์รณรงค์ เพื่อเตือนในมาตรการให้มีจิตสำนึกในการปฏิบัติตาม

แนวทางการขยายผล:

- หลังจากมีการดำเนินผลตามมาตรการจะสามารถศึกษาต่อในการปรับตั้งเวลาการปิด – เปิด โดยศึกษาความเป็นไปได้ในการลดเวลาลง เช่น ตั้งเวลาเปิดระบบแสงสว่างจาก 6 pm. เป็น 7 pm. และตั้งเวลาปิดระบบแสงสว่างจาก 6 am. เป็น 5 pm. จะสามารถลดเวลาการใช้งานได้อีก 2 ชั่วโมง

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน:

1. จัดทำตารางแสดงข้อมูลหลอดไฟฟ้า ชนิดหลอดไฟฟ้า ขนาดกำลังไฟฟ้า (Watt) ที่ใช้งานในบริเวณห้องหม้อแปลงไฟฟ้า และห้อง Motor Control Center (MCC)
3. ทำการคำนวณหาผลรวมของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด
4. ใช้หลักการที่ว่าถ้า ปิด ไฟฟ้าแสงสว่าง 50 % แล้วคำนวณผลรวมของการประหยัดพลังงาน

แสดงผลคำนวณดังตาราง 5.15

ตาราง 5.15 สรุปการคำนวณมาตรการลดการใช้แสงสว่างห้องอุปกรณ์ไฟฟ้า

อาคาร	สถานที่	ชนิดหลอดไฟฟ้า	ขนาด (W)	จำนวนหลอด	วัตต์รวม	ชม.ทำงาน / วัน	kWh / ปี	ชม.ทำงาน / วัน (ลด)	kWh / ปี (ลด)
Transformer yard	transformer yard incoming 1	- Metal Halide Wather Proof Blacket mounted	175	2	350	12	1,533.00 - -	6	**766.50** - -
	transformer yard incoming 2	- Metal Halide Wather Proof Blacket mounted	175	2	350	12	1,533.00 - -	6	**766.50** - -
	transformer yard incoming 3	- Metal Halide Wather Proof Blacket mounted	175	2	350	12	1,533.00 - -	6	**766.50** - -
	transformer yard incoming 4	- Metal Halide Wather Proof Blacket mounted	175	2	350	12	1,533.00 - -	6	**766.50** - -
	transformer yard incoming 5	- Metal Halide Wather Proof Blacket mounted	175	2	350	12	1,533.00 - -	6	**766.50** - -

ตาราง 5.15 สรุปการคำนวณมาตรการลดการใช้แสงสว่างห้องอุปกรณ์ไฟฟ้า (ต่อ)

อาคาร	สถานที่	ชนิดหลอดไฟฟ้า	ขนาด (W)	จำนวนหลอด	วัตต์รวม	ชม. ทำงาน / วัน	kWh / ปี	ชม. ทำงาน / วัน (ลด)	kWh / ปี (ลด)
Transformer yard	transformer yard incoming 6	- Metal Halide Wather Proof Blacket mounted	175	2	350	12	1,533.00 - -	6	**766.50** - -
	transformer yard incoming 7	- Metal Halide Wather Proof Blacket mounted	175	2	350	12	1,533.00 - -	6	**766.50** - -
	transformer yard incoming 8	- Metal Halide Wather Proof Blacket mounted	175	2	350	12	1,533.00 - -	6	**766.50** - -
	transformer yard incoming 9	- Metal Halide Wather Proof Blacket mounted	175	2	350	12	1,533.00 - -	6	**766.50** - -
	transformer yard incoming 10	- Metal Halide Wather Proof Blacket mounted	175	2	350	12	1,533.00 - -	6	**766.50** - -

ตาราง 5.15 สรุปการคำนวณมาตรการลดการใช้แสงสว่างห้องอุปกรณ์ไฟฟ้า (ต่อ)

อาคาร	สถานที่	ชนิดหลอดไฟฟ้า	ขนาด (W)	จำนวนหลอด	วัตต์รวม	ชม. ทำงาน / วัน	kWh / ปี	ชม. ทำงาน / วัน (ลด)	kWh / ปี (ลด)
Cap. Room	Cap. Room	- Metal Halide Wather Proof Blacket mounted	175	2	350	12	1,533.00 - -	6	**766.50** - -
FM 200	FM 200 ROOM	- Metal Halide Wather Proof Blacket mounted	175	2	350	12	1,533.00 - -	6	**766.50** - -
Sustation	SWG. room	Fluores-cent dustr proof	36	92	3312	24	29,013.12	12	**14,506.56**
ผลรวม kWh ที่ลดลง / Year									**23,253.42**

2. ลดการใช้แสงสว่างโดยการปิดไฟแสงสว่างบางส่วนในพื้นที่ อาคาร Pelletizing

ความเป็นมาและปัญหาก่อนปรับปรุง

โรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษาภายในบริเวณอาคาร Pelletizing ที่อยู่ในความรับผิดชอบของฝ่ายผลิตมีการออกแบบระบบแสงสว่างไว้ 2 วงจร คือ วงจร Emergency และ Normal โดยมีการแบ่ง Load ไว้วงจรละ 50 % โดยประมาณแต่จากการสำรวจพบว่าในบริเวณดังกล่าว แสงสว่างที่มีการใช้งานอยู่ทั้งสองวงจรจะมากเกินความจำเป็นและแม้กระทั่งในเวลากลางวันเองก็มีการเปิดไฟฟ้าแสงสว่างไว้ทั้งหมด

ข้อมูล ระบบแสงสว่าง PELLETIZER BUILDING

1. ใช้หลอด Metal Halide 175 W 74 หลอด
2. ใช้ หลอด Incandescent 60 W 6 หลอด
3. ใช้ หลอด Fluorescent 36 W 44 หลอด

ตาราง 5.16 การปิด-เปิด ระบบแสงสว่างที่อาคาร Pelletizing สภาพปัจจุบัน

วงจรแสงสว่าง **Normal Lighting**	ชนิดหลอดไฟ	ขนาดกำลังไฟฟ้า	ผลสำรวจ ปัจจุบัน
LP06-01	Fluorescent Metal Halide	72 W. 875 W.	เปิด 24 ชั่วโมง เปิด 24 ชั่วโมง
LP06-02	Metal Halide Fluorescent	1400 W. 216 W.	เปิด 24 ชั่วโมง
LP06-03	Metal Halide	1050 W.	เปิด 24 ชั่วโมง
LP06-04	Metal Halide	1225 W.	เปิด 24 ชั่วโมง เปิด 24 ชั่วโมง
LP06-05	Metal Halide Fluorescent Incandescent	875 W. 504 W. 180 W.	เปิด 24 ชั่วโมง เปิด 24 ชั่วโมง เปิด 24 ชั่วโมง
LP06-06	Metal Halide	1225 W.	เปิด 24 ชั่วโมง

รวมแล้วคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าต่อปี = 66,782 kWh / Year

ตาราง 5.16 การปิด-เปิด ระบบแสงสว่างที่อาคาร Pelletizing (ต่อ)

วงจรแสงสว่าง **Emergency Lighting**	ชนิดหลอดไฟ	ขนาดกำลังไฟฟ้า	ผลสำรวจ ปัจจุบัน
LP06-31	Fluorescent Metal Halide	72 W. 875 W.	เปิด 24 ชั่วโมง เปิด 24 ชั่วโมง
LP06-32	Metal Halide Fluorescent	1400 W. 216 W.	เปิด 24 ชั่วโมง
LP06-33	Metal Halide	1225 W.	เปิด 24 ชั่วโมง
LP06-34	Metal Halide	875 W.	เปิด 24 ชั่วโมง เปิด 24 ชั่วโมง
LP06-35	Metal Halide Fluorescent Incandescent	700 W. 504 W. 180 W.	เปิด 24 ชั่วโมง เปิด 24 ชั่วโมง เปิด 24 ชั่วโมง
LP06-36	Metal Halide	1225 W.	เปิด 24 ชั่วโมง

รวมแล้วคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าต่อปี = 63,702 kWh / Year

รูป 5.26 สภาพการใช้งานแสงสว่างที่อาคาร Pelletizing สภาพปัจจุบัน

แนวคิดการดำเนินการเพื่อประหยัดพลังงาน

ศึกษาและจัดทำเป็นมาตรการโดยการสำรวจความต้องการไฟฟ้าแสงสว่างบริเวณอาคาร Pelletizing ใหม่ และจัดรูปแบบการปิดเปิดไฟใหม่โดยเปิด Switch ที่ Load Panel ไว้เฉพาะที่พิจารณาแล้วจำเป็นในการปฏิบัติงาน จะสามารถลดโหลดการใช้แสงสว่างลงได้ จากผลสำรวจสามารถเสนอผลการปรับปรุงดังตาราง 5.17

ตาราง 5.17 การปิด-เปิด ระบบแสงสว่างที่อาคาร Pelletizing สภาพถ้าปรับปรุงตามมาตรการ

วงจรแสงสว่าง **วงจร Normal Lighting**	ชนิดหลอดไฟ	ขนาด กำลังไฟฟ้า	ผลสำรวจ ปัจจุบัน	**การดำเนินการ ปรับปรุง**
LP06-01	Fluorescent Metal Halide	72 W. 875 W.	เปิด 24 ชั่วโมง เปิด 24 ชั่วโมง	**ปิด (7.00- 17.00 น) คิดเป็น 10ชั่วโมง**
LP06-02	Metal Halide Fluorescent	1400 W. 216 W.	เปิด 24 ชั่วโมง	**ปิด (7.00- 17.00 น) คิดเป็น 10ชั่วโมง**
LP06-03	Metal Halide	1050 W.	เปิด 24 ชั่วโมง	**ปิด (7.00- 17.00 น) คิดเป็น 10ชั่วโมง**
LP06-04	Metal Halide	700 W.	เปิด 24 ชั่วโมง เปิด 24 ชั่วโมง	**ปิด (7.00- 17.00 น) คิดเป็น 10ชั่วโมง**
LP06-05	Metal Halide Fluorescent Incandescent	875 W. 504 W. 180 W.	เปิด 24 ชั่วโมง เปิด 24 ชั่วโมง เปิด 24 ชั่วโมง	**ไม่สามารถปิดได้ มีวงจร VENTILATION**
LP06-06	Metal Halide	1225 W.	เปิด 24 ชั่วโมง	**ปิด (7.00- 17.00 น) คิดเป็น 10ชั่วโมง**

รวมแล้วคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าต่อปีที่ประหยัดได้ = 22,129.95 kWh / Year

ตาราง 5.17 การปิด-เปิด ระบบแสงสว่างที่อาคาร Pelletizing สภาพถ้าปรับปรุงตามมาตรการ (ต่อ)

วงจรแสงสว่าง **วงจร Emergency Lighting**	ชนิดหลอดไฟ	ขนาดกำลังไฟฟ้า	ผลสำรวจ ปัจจุบัน	**การดำเนินการปรับปรุง**
LP06-31	Fluorescent Metal Halide	72 W. 875 W.	เปิด 24 ชั่วโมง เปิด 24 ชั่วโมง	**ปิด (7.00- 17.00 น) คิดเป็น 10ชั่วโมง**
LP06-32	Metal Halide Fluorescent	1400 W. 216 W.	เปิด 24 ชั่วโมง	**ปิด24ชั่วโมง**
LP06-33	Metal Halide	1225 W.	เปิด 24 ชั่วโมง	**ปิด (7.00- 17.00 น) คิดเป็น 10ชั่วโมง**
LP06-34	Metal Halide	875 W.	เปิด 24 ชั่วโมง เปิด 24 ชั่วโมง	**ปิด (7.00- 17.00 น) คิดเป็น 10ชั่วโมง**
LP06-35	Metal Halide Fluorescent Incandescent	700 W. 504 W. 180 W.	เปิด 24 ชั่วโมง เปิด 24 ชั่วโมง เปิด 24 ชั่วโมง	**ปิด24ชั่วโมง**
LP05-36	Metal Halide	1225 W.	เปิด 24 ชั่วโมง	**ปิด (7.00- 17.00 น) คิดเป็น 10ชั่วโมง**

รวมแล้วคิดเป็นพลังงานไฟฟ้าต่อปีที่ประหยัดได้ = 41,872 kWh / Year

ผลการคำนวณการประหยัดพลังงาน

ผลประหยัดที่ได้ : 64,001.95 kWh / year หรือ 0.005 ktoe/year

= 167,045 Baht / year

(ค่าไฟฟ้าเฉลี่ยของโรงงานปี2554 = 2.61 Baht / kWh)

ลดปริมาณการใช้ CO_2 = 37.12 Tons /year

ระยะเวลาคืนทุน: 0 year

เงินลงทุน: 0 บาท

ข้อเสนอแนะ :

- จัดทำ สติ๊กเกอร์ รณรงค์ เพื่อเตือนในมาตรการให้มีจิตสำนึกในการปฏิบัติตาม

แนวทางการขยายผล :

- ศึกษาความเป็นไปได้ในการปิดวงจร Emergency ทั้งหมด โดยจัดทำแผน การย้ายโคมที่จำเป็น ในวงจร Emergency ไปรวมกับวงจร Normal แล้วสามารถเพิ่มเติมมาตรการโดยการปิดไฟฟ้าแสงสว่าง วงจรEmergency ได้ทั้งหมด

วิธีการคำนวณผลการอนุรักษ์พลังงาน :

1. จัดทำตารางแสดงข้อมูลหลอดไฟฟ้า ชนิดหลอดไฟฟ้า ขนาด watt ที่ใช้งานในบริเวณอาคาร Pelletizing
2. ทำการคำนวณหาผลรวมของการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด

แสดงการคำนวณดังตาราง 5.18

ตาราง 5.18 สรุปการคำนวณ (วงจร NORMAL LIGHTING) อาคาร Pelletizing

วงจรที่	ชั้นที่ / บริเวณ	ชนิดหลอดไฟฟ้า	ขนาด (W)	จำนวนหลอด	วัตต์รวม	ชม. ทำงาน /วัน	kWh / ปี	ชม. ทำงาน / วัน (ลด)	kWh / ปี (ลด)
LP06-01 ห้าม OFF CB	**ชั้นล่าง / EXTRUDER**	- METAL HALIDE WATHERPROOF PIPE PENDANT MOUNTED	175	5	875	24	7665	10	3,193.75
		- Fluorescent WATHERPROOF celling MOUNTED	36	2	72	24	630.72	10	262.80
LP06-02 OFF CB	ชั้นสอง / Z-406 , Z-428	- METAL HALIDE INCREASED SAFETY CELLING MOUNTED	175	8	1400	24	12264	10	5,110.00
		- Fluorescent INCREASED SAFETY celling MOUNTED	36	6	216	24	1892.16	10	788.40
LP06-03 **ห้าม OFF CB**	**ชั้นล่าง / EXTRUDER**	- METAL HALIDE WATHER PROOF	175	6	1050	24	9198	10	3,832.50

ตาราง 5.18 สรุปการคำนวณ (วงจร NORMAL LIGHTING) อาคาร Pelletizing (ต่อ)

วงจรที่	ชั้นที่ / บริเวณ	ชนิดหลอดไฟฟ้า	ขนาด (W)	จำนวนหลอด	วัตต์รวม	ชม. ทำงาน /วัน	kWh / ปี	ชม. ทำงาน / วัน (ลด)	kWh / ปี (ลด)
LP06-04	ชั้นสอง / Z-444 , Z-405,	- METAL HALIDE	175	7	1225	24	10731	10	4,471.25
ห้าม OFF CB	D-406	INCREASED SAFETY CELLING MOUNTED							
LP06-06	ชั้นสาม / TK462 , TKTK-403	- METAL HALIDE INCREASED SAFETY CELLING MOUNTED	175	7	1225	24	10731	10	4,471.25
Total									**22,129.95**

ตาราง 5.19 สรุปการคำนวณ (วงจร EMERGENCY LIGHTING) อาคาร Pelletizing

วงจรที่	ชั้นที่ / บริเวณ	ชนิดหลอดไฟฟ้า	ขนาด (W)	จำนวนหลอด	วัตต์รวม	ชม. ทำงาน / วัน	kwh / ปี	ชม. ทำงาน / วัน (ลด)	kwh / ปี (ลด)
LP06-31 ห้าม OFF CB	**ชั้นล่าง / EXTRUDER**	- METAL HALIDE WATHERPROOF PIPE PENDANT MOUNTED	175	5	875	24	7665	10	3,193.75
		- Fluorescent WATHERPROOF celling MOUNTED	36	2	72	24	630.72	10	262.80
LP06-33 **ห้าม OFF CB**	**ชั้นล่าง / EXTRUDER**	- METAL HALIDE WATHERPROOF PIPE PENDANT MOUNTED	175	7	1225	24	10731	10	4,471.25
LP06-34 **ห้าม OFF CB**	ชั้นสอง / Z-444 , Z-405, D-406	- METAL HALIDE INCREASED SAFETY CELLING MOUNTED	175	5	875	24	7665	10	3,193.75
LP06-36	ชั้นสาม / TK462 , TKTK-403	- METAL HALIDE INCREASED SAFETY CELLING MOUNTED	175	7	1225	24	10731	10	4,471.25
									15,592.80

ตาราง 5.20 สรุปการคำนวณ (วงจร EMERGENCY LP-32, 35 ปิด 24 ชั่วโมง) อาคาร Pelletizing

วงจรที่	ชั้นที่ / บริเวณ	ชนิดหลอดไฟฟ้า	ขนาด(W)	จำนวนหลอด	วัตต์รวม	ชม. ทำงาน / วัน	kWh / ปี	ชม. ทำงาน / วัน (ลด)	kWh / ปี (ลด)
LP06-32 OFF CB	ชั้นสอง / Z-406 , Z-428	- METAL HALIDE INCREASED SAFETY CELLING MOUNTED	175	8	1400	24	12,264	24	12,264.00
		- Fluorescent INCREASED SAFETY celling MOUNTED	36	6	216	24	18,92.16	24	1,892.16
LP06-35 **OFF CB**	ทุกชั้น +ห้อง Control EXTRUDER	- METAL HALIDE INCREASED SAFETY CELLING MOUNTED	175	4	700	24	6,132	24	6,132.00
		- Fluorescent INCREASED SAFETY celling MOUNTED	36	14	504	24	4,415.04	24	4,415.04
		- INCANDESCENT WATHER PROOF celling MOUNTED	60	3	180	24	1,576.8	24	1,576.80
Total									**26,280.00**

5.3 ศักยภาพผลประเมินการดำเนินมาตรการประหยัดพลังงาน

จากมาตรการประหยัดพลังงานที่นำเสนอในข้อ 5.2 ถ้ามีการดำเนินงานจะมีศักยภาพการประหยัดพลังงานตามตาราง 5.21

ตาราง 5.21 สรุปศักยภาพการประหยัดพลังงานจากการดำเนินมาตรการ

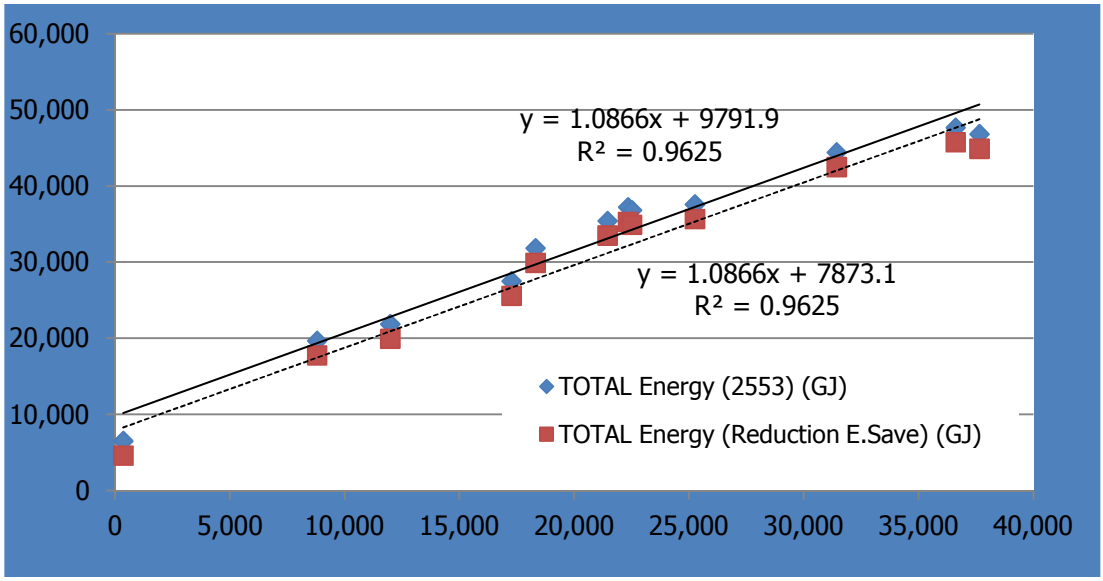
มาตรการประหยัดพลังงาน	ศักยภาพการประหยัดพลังงาน (บาท / ปี)	ศักยภาพการประหยัดพลังงาน			ศักยภาพด้านการลด CO_2 ต่อปี (Tons/ปี)
		kWh/ปี	MJ/ปี	ktoe/ปี	
1) มาตรการติดตั้ง Inverter ให้ปั๊มน้ำหอผึ่งน้ำ (Cooling Tower)	14,908,320	5,712,000	-	0.49	3,312.96
2) มาตรการการหยุด Cooling Fan 1 Unit ในช่วงที่มีการ Shutdown เปลี่ยน Grade เม็ดพลาสติก	96,922.35	37,135.85	-	0.003	21.53
3) มาตรการลด BLENDING TIME เม็ดพลาสติก	826,848	316,800	-	0.027	183.744
4) มาตรการการปรับวิธีการกลั่น Crude Hexane	225,806.77	3,471.56	786,082	0.019	127.46
5) มาตรการการย้ายโหลดหม้อแปลงที่ Product Warehouse ไปรวมกันเพื่อลดความสูญเสียเนื่องจากแกนเหล็ก	54,736	20,972	-	0.002	12.16
6) มาตรการการลดใช้งานระบบแสงสว่าง	227,735	87,254.90	-	0.007	50.60
รวมศักยภาพในการประหยัดพลังงาน	**16,340,368**	**6,177,634**	**786,082**	**0.548**	**3,708.45**

5.4 การเปรียบเทียบผลประเมินศักยภาพประหยัดพลังงาน

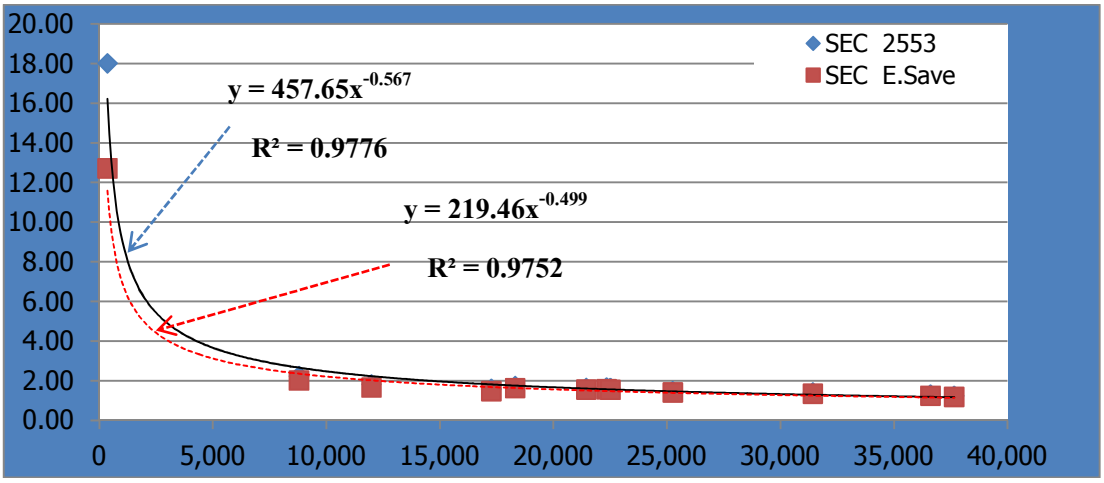
จากมาตรการประหยัดพลังงานที่คิดผลศักยภาพการประหยัดพลังงานตาราง 5.21 จะเห็นว่าพลังงานไฟฟ้าที่ประหยัดได้ตลอดทั้งปีถ้าดำเนินมาตรการเหล่านี้ คือ 6,177,634 kWh หรือ คิดเป็น 514,802 kWh/Month และพลังงานความร้อนตลอดทั้งปีคือ 786,082 MJ หรือคิดเป็น 65,506 MJ / Month เพื่อเปรียบเทียบผลของศักยภาพการประหยัดพลังงานสามารถนำผลการประหยัดนี้ไปปรับลดพลังงานในแต่ละเดือนของการใช้พลังงานโรงงานปิโตรเคมีกรณีศึกษาปี 2553 แล้วคำนวณหาค่า SEC ในกรณีที่มีการดำเนินมาตรการประหยัดพลังงาน ซึ่งแสดงผลของการเปรียบเทียบข้อมูลดังตาราง 5.22 และความสัมพันธ์แบบอนุกรมเวลาการเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงานกับผลผลิต ดังรูป 5.27 และความสัมพันธ์แบบกระจายตัวของ SEC กับผลผลิต ดังรูป 5.28

ตาราง 5.22 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานประจำปี 2553

Month	Product (Ton)	TOTAL Energy, GJ (2553)	TOTAL Energy, GJ (มาตรการประหยัด E)	SEC (2553)	SEC (มาตรการประหยัด E)
Jan-10	18,317	31,848	29,929.21	1.74	1.63
Feb-10	362	6,523	4,604.21	18.02	12.72
Mar-10	31,429	44,432	42,513.21	1.41	1.35
Apr-10	22,345	37,226	35,307.21	1.67	1.58
May-10	11,989	21,874	19,955.21	1.82	1.66
Jun-10	21,449	35,427	33,508.21	1.65	1.56
Jul-10	22,512	36,843	34,924.21	1.64	1.55
Aug-10	36,611	47,683	45,764.21	1.30	1.25
Sep-10	37,650	46,827	44,908.21	1.24	1.19
Oct-10	8,800	19,686	17,767.21	2.24	2.02
Nov-10	17,267	27,513	25,594.21	1.59	1.48
Dec-10	25,258	37,601	35,682.21	1.49	1.41



รูป 5.27 ความสัมพันธ์แบบอนุกรมเวลาการเปลี่ยนแปลงของการใช้พลังงานกับผลผลิต



รูป 5.28 ความสัมพันธ์แบบกระจายตัวของ SEC กับผลผลิต

จากผลเปรียบเทียบข้อมูลการใช้พลังงานตามตารางที่ 5.22 แสดงให้เห็นว่า ถ้ามีการดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานจะทำให้การใช้กระบวนการในการผลิตลดลงตามรูปที่ 5.27 และเมื่ออ้างอิง SEC สำหรับพิจารณาประสิทธิภาพการใช้พลังงานจะเห็นว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเนื่องจากค่า SEC ลดลงตามรูปที่ 5.28 สรุปผลการเปรียบเทียบข้อมูลได้ดังตาราง 5.23

ตาราง 5.23 สรุปผลเปรียบเทียบการลดลงของการใช้พลังงานและ SEC จากมาตรการประหยัดพลังงาน

Month	TOTAL Energy, GJ (2553)	TOTAL Energy, GJ (Reduction E.Save)	ลดพลังงาน %	SEC (2553)	SEC (E.Save)	SEC ลดลง %
Jan-10	31,848	29,929.21	6.02%	1.74	1.63	6.32%
Feb-10	6,523	4,604.21	29.42%	18.02	12.72	29.41%
Mar-10	44,432	42,513.21	4.32%	1.41	1.35	4.26%
Apr-10	37,226	35,307.21	5.15%	1.67	1.58	5.39%
May-10	21,874	19,955.21	8.77%	1.82	1.66	8.79%
Jun-10	35,427	33,508.21	5.42%	1.65	1.56	5.45%
Jul-10	36,843	34,924.21	5.21%	1.64	1.55	5.49%
Aug-10	47,683	45,764.21	4.02%	1.30	1.25	3.85%
Sep-10	46,827	44,908.21	4.10%	1.24	1.19	4.03%
Oct-10	19,686	17,767.21	9.75%	2.24	2.02	9.82%
Nov-10	27,513	25,594.21	6.97%	1.59	1.48	6.92%
Dec-10	37,601	35,682.21	5.10%	1.49	1.41	5.37%
	ค่าเฉลี่ย % การลดลง		7.85%			7.92%

จากตาราง 5.23 แสดงให้เห็นว่าถ้าดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานจะทำให้การใช้พลังงานลดลงเฉลี่ยที่ 7.85% ขณะเดียวกันประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตจะเพิ่มขึ้นจากค่า SEC ที่ลดลงโดยเฉลี่ย 7.92% นั่นหมายถึงหากสามารถเพิ่มเติมมาตรการประหยัดพลังงานได้และให้ผลด้านการประหยัดพลังงานที่มากขึ้นการใช้พลังงานจะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญมากกว่าการลดเวลาการปฏิบัติงานบำรุงรักษาเนื่องจากเป็นการลดตัวแปรที่มีผลต่อค่า SEC โดยตรงตามสมการ (2-1) ในขณะที่การลดเวลาปฏิบัติงานบำรุงรักษาเป็นการลดตัวแปรที่มีผลต่อค่า SEC ทางอ้อม

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงความสามารถในการบำรุงรักษาโดยลดเวลาปฏิบัติงานบำรุงรักษาลงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต โดยดำเนินการปรับปรุงแก้ไขสาเหตุของปัญหาการใช้เวลามากในการบำรุงรักษาที่ได้วิเคราะห์ค้นหาสาเหตุและแนวทางปรับปรุงโดยใช้เครื่องมือหา Root Cause คือ Fish bone และ Why Why Analysis จากคณะทำงานของโรงงานที่ได้รับการแต่งตั้ง และได้ดำเนินการปรับปรุงแก้ไขต่อมา ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่

1) ปรับปรุงและออกแบบขั้นตอนปฏิบัติงานใหม่
2) จัดทำและปรับปรุงวิธีการปฏิบัติงาน
3) ปรับปรุงแผนงานบำรุงรักษา
4) จัดสอนพัฒนาทักษะการปฏิบัติงานให้กับผู้ปฏิบัติงาน
5) ประชุมสื่อสารภายในแลกเปลี่ยนความรู้ในการปฏิบัติงาน

ด้วยการปฏิบัติงานจริงตามการปรับปรุงแก้ไขใน 5 ขั้นตอนข้างต้นได้วัดผลข้อมูลก่อนและหลังการปรับปรุงโดยติดตามตัวแปรสำคัญที่เกี่ยวข้องในมิติด้านพลังงาน งานบำรุงรักษา และการผลิต ได้แก่

1) SEC
2) ชั่วโมงเวลาปฏิบัติงานบำรุงรักษา
3) ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษา
4) Plant Reliability

โดยข้อมูลก่อนปรับปรุงได้รวบรวมข้อมูลเดือนกุมภาพันธ์ 2553 ถึงเดือนเมษายน 2553 และข้อมูลหลังปรับปรุงได้ติดตามรวบรวมข้อมูลเดือนกุมภาพันธ์ 2554 ถึงเดือนเมษายน 2554 ซึ่งผลจากข้อมูลเปรียบเทียบก่อนและหลังการปรับปรุงสามารถสรุปได้ว่าการปรับปรุงงานบำรุงรักษาด้วยการดำเนินงานใน 5 ขั้นตอนข้างต้นสามารถลดเวลาการปฏิบัติงานลงได้ประมาณ 16.57%โดยมีค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษาต่ำลงประมาณ 21.17% และไม่ทำให้ Plant Reliability ลดต่ำลงไปจนเกิดผลเสียกับกระบวนการผลิตแต่กลับเพิ่มขึ้นประมาณ 25.22% ตามข้อมูลที่ตรวจติดตาม แสดงข้อมูลสรุปผล

การติดตามตัวแปรที่ตรวจติดตามก่อนและหลังปรับปรุงในส่วนของ ชั่วโมงเวลาปฏิบัติงานบำรุงรักษา ค่าใช้จ่ายในงานบำรุงรักษา และ %Plant Reliability ดังตารางที่ 6.1

ตาราง 6.1 เปรียบเทียบข้อมูลตัวแปรที่ตรวจติดตามก่อนทำการปรับปรุงและหลังปรับปรุง

ตัวแปรที่ตรวจติดตาม	ค่าเฉลี่ยก่อนปรับปรุง	ค่าเฉลี่ยหลังปรับปรุง	ผลต่าง (%)
1. ชั่วโมงปฏิบัติงานบำรุงรักษา (ชั่วโมง)	86	71.67	ลดลง 16.67
2. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (บาท)	101,024	79,635	ลดลง 21.17
3. Plant Reliability (%)	77.20	96.67	เพิ่มขึ้น 25.22

อย่างไรก็ตามในส่วนของตัวแปร SEC นั้น จากการพิจารณาความสัมพันธ์ของการปรับปรุงงานบำรุงรักษาโดยลดเวลาปฏิบัติงานกับการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผลิตเมื่อพิจารณาจาก SEC ที่เปรียบเทียบก่อนและหลังปรับปรุงตาม รูปที่ 4.11 ข้อ 4.4 บทที่ 4 แสดงให้เห็นว่าค่า SEC ลดลงหลังจากปรับปรุงซึ่งถ้าพิจารณาเพียงเท่านี้ก็อาจหมายถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในการผลิตจะดีขึ้น แต่เนื่องจากการใช้ SEC เพื่อเปรียบเทียบที่ถูกต้องนั้นจะต้องมีการพิจารณา SEC ที่นำมาเปรียบเทียบว่าเป็น SEC ที่ผลผลิตเท่าไร จะไม่ใช้ค่าเฉลี่ยหรือค่าคงที่เพื่อเปรียบเทียบ เพราะถ้าเปรียบเทียบ SEC เป็นค่าคงที่นั้นจากรูปที่ 4.11 จะเห็นว่าในเดือนกุมภาพันธ์ 2553 กับเดือนกุมภาพันธ์ 2554 SEC ลดลงมากจาก 18.018 เป็น 1.462 ในขณะที่เดือนมีนาคม 2553 กับเดือนมีนาคม 2554 SEC ลดลงเล็กน้อยจาก 1.414 เป็น 1.305 และเดือนเมษายน 2553 กับเดือนเมษายน 2554 SEC ก็ลดลงเล็กน้อยเช่นกันจาก 1.666 เป็น 1.32 ซึ่งจะนำสู่การวิเคราะห์ตีความหมายประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตที่ผิดเช่นอาจไปสรุปว่าเดือนกุมภาพันธ์ 2554 มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตที่ดีมากเพราะ SEC ลดลงจากเดือนเดียวกันเมื่อปี 2553 มาก แต่เมื่อพิจารณากระบวนการผลิตเป็นข้อมูลประกอบการวิเคราะห์ SEC นั้นพบว่าค่า SEC ที่เพิ่มมากในเดือนกุมภาพันธ์ 2553 เป็นเพราะโรงงานประสบปัญหากระบวนการผลิตขัดข้องเนื่องจากการขาดวัตถุดิบในการผลิต ทำให้ผลผลิตของโรงงานต่ำลงมากขณะที่มีการใช้พลังงานในส่วนพลังงานคงที่ยังเป็นปกติ จึงส่งผลให้ค่า SEC เพิ่มขึ้นสูงมากและเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเดือนกุภาพันธ์ 2554 ที่กระบวนการผลิตคงที่แล้วนั้นค่า SEC จึงลดต่ำลงตามผลผลิตที่เพิ่มขึ้น จะสรุปไม่ได้ว่าเป็นเพราะประสิทธิภาพการใช้พลังงานดีขึ้นหรือมาจากการปรับปรุงงานบำรุงรักษาโดยลดเวลาการปฏิบัติงานลง

ดังนั้นเพื่อเปรียบเทียบ SEC โดยอ้างอิง SEC ที่ผลผลิตเทียบเท่า ตามรายละเอียดที่ได้สรุปผลการปรับปรุงไว้ท้ายบทที่ 4 รูปที่ 4.16 และรูปที่ 4.17 ข้อ 4.4 จะสรุปข้อมูลแสดงผลการเปรียบเทียบ

SEC ตามตารางที่ 6.2 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบ SEC ในกระบวนการผลิตก่อนและหลังปรับปรุงพบว่าค่า SEC จะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยจากก่อนปรับปรุงโดยเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงประมาณ 0.68% ถึง 0.75 % เมื่ออ้างอิงที่ผลผลิตเดียวกันคือประมาณ 25,000 ตัน ถึง 30,000 ตัน ตามผลผลิตเทียบเท่าในช่วงเวลาติดตามผลหลังการปรับปรุง นั่นหมายถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตจะเปลี่ยนแปลงน้อยมากหรืออาจกล่าวได้ว่าการลดเวลาปฏิบัติงานบำรุงรักษาลงนั้นไม่มีนัยสำคัญมากนักต่อการลดค่า SEC เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ตาราง 6.2 เปรียบเทียบข้อมูลตัวแปรที่ตรวจติดตามค่า SEC ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

ตัวแปรที่ตรวจติดตาม	ช่วงค่า SEC ก่อนปรับปรุง	ช่วงค่า SEC หลังปรับปรุง	% การเปลี่ยนแปลง
SEC (อ้างอิงที่ผลผลิตเทียบเท่า ประมาณ 25,000 ตันถึง 30,000 ตัน ตามผลผลิตหลังปรับปรุง)	1.47 ถึง 1.32	1.48 ถึง 1.33	0.68% ถึง 0.75%

จากผลการวิจัยแสดงให้เห็นว่าค่าดัชนี SEC จะขึ้นอยู่กับตัวแปรด้านปริมาณผลผลิตเป็นสำคัญ การลดเวลาในการปฏิบัติงานบำรุงรักษาเป็นเพียงกระบวนการหนึ่งที่มุ่งสนับสนุนให้ผลผลิตมากขึ้นโดยการลดทรัพยากรการผลิตลง ซึ่งงานบำรุงรักษาถือได้ว่าเป็นส่วนหนึ่งของทรัพยากรการผลิต ซึ่งก็เป็นไปตามสรุปความสัมพันธ์การวิเคราะห์ค่าการใช้พลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงานอย่างที่ได้แสดงความสัมพันธ์ไว้ในบทที่ 2 แล้วว่าถ้ามองการใช้พลังงานที่สัมพันธ์กับกระบวนการผลิต ในรูปแบบสมการเชิงเส้น $Y = mX + C$ เมื่อ Y คือพลังงานที่ใช้ทั้งหมด ส่วน m คือค่าพลังงานส่วนที่ผันแปรตามปริมาณผลผลิต (Variable energy) X คือ ปริมาณผลผลิต และ C คือค่าพลังงานคงที่ (Fixed Energy) ที่ต้องใช้แม้ในขณะที่ไม่มีปริมาณผลผลิตเกิดขึ้น เมื่อเอา X หารตลอดจะได้สมการที่แสดงความสัมพันธ์คือ $Y/X = m + C/X$ โดยที่ Y/X คือ SEC นั่นเอง เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรในสมการพบว่า ค่า Y/X หรือค่า SEC จะมีค่าต่ำสุดคือเท่ากับ m ซึ่งคือพลังงานที่ผันแปรตามปริมาณผลผลิต กล่าวคือเมื่อ X เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ค่า C/X จะลดน้อยลงเรื่อยๆจนเข้าใกล้ศูนย์ อย่างไรก็ตามการที่ค่า Y/X หรือ SEC นี้จะเท่ากับค่าต่ำสุดคือ m นี้เป็นไปในทางทฤษฎีเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากยังมีค่าพลังงานคงที่คือค่า C ที่ไม่ว่าจะผลิตหรือโรงงานหยุดเดินเครื่องผลิต จะยังคงมีการใช้พลังงานคงที่นี้เสมอ รวมทั้งในแง่ของการผลิตเองก็เป็นไปได้ยากที่จะทำการผลิตได้ตามพิกัดสูงสุดของเครื่องจักร ดังนั้นเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลที่เก็บรวบรวมแม้ว่าพบว่าเวลาที่ลดลงในการปฏิบัติงานบำรุงรักษาเป็นเพียงตัวแปร

หนึ่งที่เป็น Input ของงานบำรุงรักษาซึ่งงานบำรุงรักษานั้นก็เป็นเพียงหนึ่งในทรัพยากรการผลิตซึ่งเป็น Input ของกระบวนการผลิต การลดเวลาในการบำรุงรักษาลงจะมีนัยสำคัญต่อการเพิ่มผลผลิตโดยตรงและจะได้ประโยชน์ทางอ้อมในการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตที่ตรวจวัดด้วยดัชนี SEC เป็นผลพลอยได้จากการค้นหามาตรการประหยัดพลังงานในงานบำรุงรักษามากกว่าวัตถุประสงค์หลักของการลดเวลาบำรุงรักษาลง

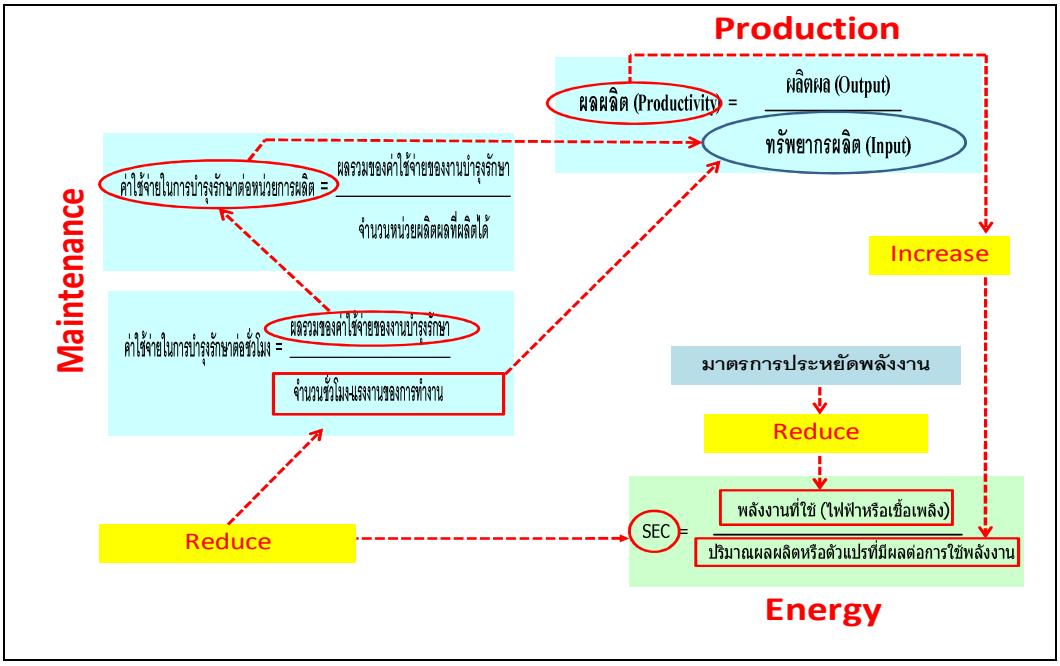
เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต งานวิจัยนี้จึงได้เสนอมาตรการประหยัดพลังงานและคำนวณผลการประหยัดพลังงานทั้งหมด 6 มาตรการ โดยมาตรการที่นำเสนอในงานวิจัยเป็นการวิเคราะห์หาแนวทางปรับปรุงจากปัญหาในงานบำรุงรักษาที่พบ ซึ่งนอกจากจะเป็นการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นในงานอันเป็นวัตถุประสงค์หนึ่งของงานบำรุงรักษาในเรื่องเพิ่มความพร้อมใช้งานเครื่องจักรแล้ว การปรับปรุงแก้ไขที่ได้ผลเรื่องการประหยัดพลังงานจากการดำเนินมาตรการนั้นจะทำให้เพิ่มคุณค่าตามหน้าที่งานบำรุงรักษาได้ด้วยเช่นกันตามหลักของวิศวกรรมคุณค่า โดยศักยภาพของการประหยัดพลังงานจากมาตรการบำรุงรักษาที่นำเสนอในบทที่ 5 นั้นแสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเนื่องจากมาตรการประหยัดพลังงานสามารถลดการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยลง 7.85% และค่า SEC ลดลงโดยเฉลี่ย 7.92% (ตามข้อมูลในตาราง 5.23) จากการเปรียบเทียบผลจากการใช้พลังงานของโรงงานกรณีศึกษาปัจจุบันที่ยังไม่มีการดำเนินการมาตรการตามที่เสนอในงานวิจัยนี้กับศักยภาพของการประหยัดพลังงานถ้ามีการดำเนินมาตรการประหยัดพลังงาน จะสรุปได้ตามตารางที่ 6.3

ตาราง 6.3 สรุปศักยภาพการลดการใช้พลังงาน

ผลรวมการใช้พลังงาน (GJ) (อ้างอิงข้อมูลปี 2553)	ผลรวมการใช้พลังงาน (GJ) (จากการดำเนินมาตรการประหยัดพลังงาน)	ศักยภาพการประหยัดพลังงาน
393,483	370,457	23,026 GJ/YEAR
คิดเป็นหน่วย ktoe (1 ktoe = 41,870 GJ)		0.55 ktoe/Year
ปริมาณ CO_2 ที่ลดลง (1 ktoe =11,628 MWh, 1 MWh = 0.58 Tons/Yesr CO2 emission)		3,708 Tons/Year

ผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าเมื่อปรับปรุงการบำรุงรักษาโดยลดเวลาในงานบำรุงรักษาลงนั้นประโยชน์หลักๆที่ได้จะหมายถึงการลดอินพุทในทรัพยากรการผลิตลง และสามารถเพิ่มผลผลิตได้นั่นหมายถึงหากสามารถเพิ่มความสามารถในการบำรุงรักษาโดยวิธีใดวิธีหนึ่งดังเช่นในงานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงงานบำรุงรักษาโดยมุ่งที่การเพิ่มความสามารถในการบำรุงรักษาโดยลดเวลาในการ

ปฏิบัติงานบำรุงรักษาลงซึ่งทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตลงจะได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นและช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตที่พิจารณาจากค่า SEC นี้เป็นผลตามมาจากการดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานนั่นเอง ดังสรุปความสัมพันธ์ใน 3 มิติที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ คือ มิติด้านการผลิต (Production) มิติด้าน พลังงาน (Energy) และมิติด้านการบำรุงรักษา (Maintenance) ในรูปแบบสมการแสดงความสัมพันธ์ที่นำเสนอในบทที่ 2 ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง Production Maintenance และ Energy

จากผลการวิจัยสามารถสรุปความสัมพันธ์แสดงความสัมพันธ์ใน 3 มิติที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยนี้ คือ มิติด้านการผลิต (Production) มิติด้านพลังงาน (Energy) และมิติด้านการบำรุงรักษา (Maintenance) โดยใช้เวลาปฏิบัติงานบำรุงรักษาเป็นตัวแทนสำหรับมิติด้านการบำรุงรักษาซึ่งเป็นองค์ประกอบหนึ่งของทรัพยากรผลิต และ Energy Consumption กับ Energy Efficiency ที่พิจารณาจากค่า SEC จะเป็นตัวแทนด้านมิติพลังงาน ได้ตามสมการที่ (6-1) และแสดงผลสรุปโดยพิจารณาเปรียบเทียบกับหลักในการเพิ่มผลผลิต 5 กรณี ดังตารางที่ 6.4

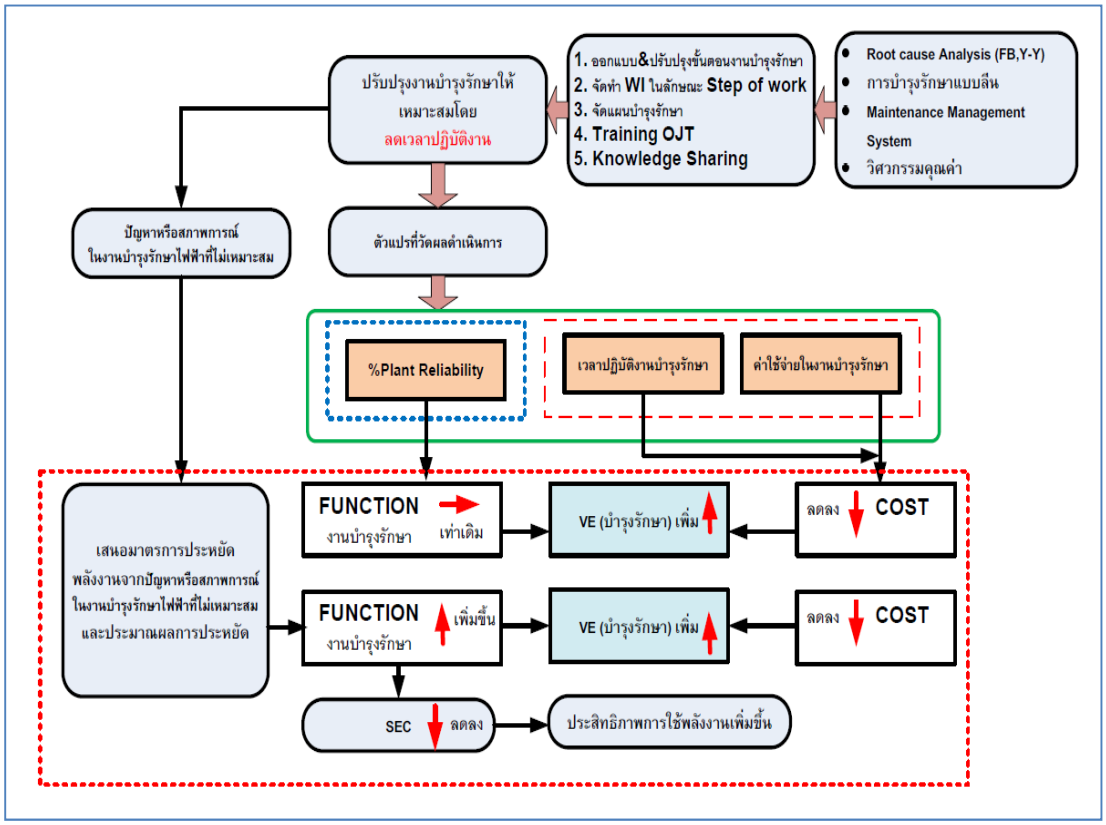
$$\text{Energy Efficiency (SEC)} = \frac{\text{Energy Consumption}}{\text{ผลผลิต (Productivity) x ทรัพยากรผลิต (Input)}} \qquad (6\text{-}1)$$

ตารางที่ 6.4 ความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการใช้พลังงานกับการลดเวลางานบำรุงรักษา เปรียบเทียบกับหลักการเพิ่มผลผลิต

กรณี	ผลผลิต (Productivity)	ผลิตผล (Output)	ทรัพยากรการผลิต (Input)	Energy Consumption	Energy Efficiency	Maintenance Time (Input)
1	เพิ่ม	เพิ่ม	คงที่	ลด	เพิ่ม (SEC ลดลง)	คงที่
2	เพิ่ม	เพิ่ม	ลด	คงที่	เพิ่ม (SEC ลดลง)	ลด
3	เพิ่ม	คงที่	ลด	เพิ่ม	ลด (SEC เพิ่มขึ้น)	ลด
4	เพิ่ม	เพิ่ม	เพิ่ม	เพิ่ม	บอกไม่ได้	เพิ่ม
5	เพิ่ม	ลด	ลด	ลด	บอกไม่ได้	ลด

จากตาราง 6.4 ในกรณีที่ 5 จะเห็นว่าการลดเวลาปฏิบัติงานบำรุงรักษาลงนั้นจะให้ผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นเมื่อสามารถลดการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตลงได้ด้วย การลดเวลาบำรุงรักษาเพียงอย่างเดียวจะไม่มีนัยสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิต การลดการใช้พลังงานในมิติงานบำรุงรักษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตนั้นสามารถดำเนินการได้โดยการค้นหามาตรการประหยัดพลังงานจากปัญหา

หรือสภาพการณ์ที่ไม่เหมาะสมในงานบำรุงรักษา ถือเป็นการเพิ่มคุณค่าในหน้าที่งานบำรุงรักษาในการดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานจากการวิเคราะห์ปัญหาในงานบำรุงรักษาแล้วหาแนวทางปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานจะทำให้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตได้ด้วยเช่นกัน ซึ่งภาพรวมของการศึกษาตามงานวิจัยนี้จะสรุปโดยแสดงความสัมพันธ์ในขั้นตอนและแนวทางดำเนินงานจนได้ข้อสรุป ดังรูปที่ 6.2



รูป 6.2 สรุปขั้นตอนการปรับปรุงงานบำรุงรักษาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

จากผลการดำเนินงานวิจัย สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

1) การปรับปรุงงานบำรุงรักษาโดยลดเวลาปฏิบัติงานบำรุงรักษาลงไม่มีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตที่พิจารณาจาก SEC
2) การดำเนินมาตรการประหยัดพลังงานที่เหมาะสมจะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานในกระบวนการผลิตโดยทำให้ SEC ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

6.2 ข้อเสนอแนะ

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้ทำการเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อๆไปดังนี้

1) ควรมีการติดตามวัดผลการปรับปรุงงานบำรุงรักษาที่เหมาะสมโดยการติดตามวัดตัวแปรด้าน Availability rate แทนตัวแปร Reliability rate ที่ใช้ตรวจวัดตามงานวิจัยนี้ เนื่องจากการปรับปรุงงานบำรุงรักษาที่เหมาะสมจะเพิ่ม Availability แต่จะไม่มีผลต่อ SEC ซึ่ง Availability คือ ความพร้อมของเครื่องจักรที่จะผลิตสินค้า

   ถ้ามีเวลาหยุดเครื่องจักร (Down time) มาก เวลาที่ใช้ผลิตสินค้าก็ลดลง จำนวนสินค้าที่ผลิตได้ก็จะลดลง ซึ่ง Availability rate แสดงความสัมพันธ์ตามสมการที่ 6-2

$$\text{Availability rate (\%)} = \frac{\text{เวลารับภาระของเครื่อง} - \text{เวลาหยุดเครื่อง}}{\text{เวลารับภาระของเครื่อง}} \times 100 \qquad (6\text{-}2)$$

2) ควรมีการพิจารณาข้อมูลการบันทึกด้านเวลาปฏิบัติงานบำรุงรักษาใน CMMS สำหรับโรงงานที่มีระบบจัดการงานบำรุงรักษาโดยใช้ CMMS ซึ่งจะมีการบันทึกเวลาในการปฏิบัติงานที่สามารถนำเวลาที่บันทึกไว้นี้มาพิจารณาเพื่อลดเวลาการปฏิบัติงานบำรุงรักษาลงโดยสามารถหาเวลามาตรฐาน (Standard time) ในการปฏิบัติงานบำรุงรักษาที่เหมาะสมได้เช่นเดียวกัน

3) ควรพิจารณาแนวทางลดเวลางานบำรุงรักษาที่เป็นประเภทงานบำรุงรักษาเมื่อเกิดเหตุขัดข้อง (Breakdown Maintenance) ลงจะได้ผลเรื่องการเพิ่ม Productivity มากกว่าการลดเวลาที่เป็น Time Base Maintenance เนื่องจาก Breakdown Maintenance จะทำให้เกิดการเสียโอกาสในการผลิตมาก การปรับปรุงโดยลดเวลา Breakdown Maintenance จะเกี่ยวข้องโดยตรงกับการเพิ่มความรู้ความชำนาญของผู้ปฏิบัติงานบำรุงรักษาเพื่อการแก้ไขเครื่องจักรขณะเกิดปัญหาได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ เวลาในการปฏิบัติงานก็จะลดลงไปด้วยในที่สุด

4) ควรพิจารณาเรื่องการจัดเก็บอะไหล่และวัสดุสำรองที่ใช้ในงานบำรุงรักษา (Spare parts) ร่วมด้วยสำหรับการปรับปรุงงานบำรุงรักษาที่เหมาะสม เนื่องจากการจัดเก็บอะไหล่ที่มีประสิทธิภาพจะลดเวลาการปฏิบัติงานบำรุงรักษาที่เกิดจากการรอคอยอะไหล่หรือไม่มีอะไหล่เปลี่ยนทดแทนเมื่อเกิดปัญหาได้ด้วย ซึ่งจะทำให้เวลาในการบำรุงรักษาโดยรวมลดลงได้เช่นกัน

5) ควรมีการพิจารณาดำเนินการในส่วนของงานบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Base Maintenance) ร่วมกับการบำรุงรักษาตามเวลาที่เหมาะสม (Time Base Maintenance) จะช่วยเพิ่ม Reliability เครื่องจักรได้เช่นกัน เช่น การวิเคราะห์ความสั่นสะเทือนเครื่องจักร การตรวจสอบความร้อนจุดต่ออุปกรณ์ไฟฟ้าด้วยการใช้กล้องส่องความร้อน (Thermal Image Camera) การวิเคราะห์ DGA (Dissolved Gas Analysis) ในฉนวนน้ำมันหม้อแปลง และการหล่อลื่นเครื่องจักรตามเวลาที่เหมาะสม เป็นต้น เพื่อช่วยให้สามารถแก้ไขป้องกันเครื่องจักรก่อนเกิดการเสียหายในลักษณะ Breakdown ได้

6) ควรนำแนวทางขั้นตอนที่ได้ปรับปรุงการบำรุงรักษาโดยลดเวลาปฏิบัติงานลงนี้ไปใช้กับกิจกรรมงานผลิตหรืองานบำรุงรักษาประเภทอื่นๆให้คลอบคลุมได้แก่งานบำรุงรักษาเครื่องจักรกล หรือ งานบำรุงรักษาเครื่องมือวัดคุมและกิจกรรมต่างๆในแต่ละส่วนที่เกี่ยวข้องกับการเดินเครื่องผลิตในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและพิจารณาพลังงานที่ใช้ทั้งหมดเพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ที่เป็นภาพรวมของของโรงงานประเภทนี้ อันจะนำสู่การได้แนวทางอีกรูปแบบหนึ่งสำหรับการส่งเสริมให้เกิดการใช้พลังงานที่มีประสิทธิภาพในอุตสาหกรรมประเภทนี้ต่อไป

7) สามารถประยุกต์ใช้แนวทางขั้นตอนที่ได้ปรับปรุงการบำรุงรักษาโดยลดเวลาปฏิบัติงานลงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานนี้ไปประยุกต์ใช้กับโรงงานประเภทอื่นๆได้โดยตัวแปรด้านตรวจติดตามประสิทธิภาพการใช้พลังงานอาจเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสม เช่น เพิ่มเติมการใช้ OEE (Overall Equipment Effectiveness) มาตรวจติดตามร่วมกับการติดตามค่า SEC เป็นต้น

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กิตติณัฐ ภัทรวงศ์หิรัญ. การปรับปรุงกระบวนการบำรุงรักษาในเครื่องบรรจุยาสระผมชนิดซองเพื่อลดเวลาสูญเสียจากการหยุดผลิต. โครงงานวิจัยอุตสาหกรรมปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมระบบการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. 2547.

กุสุมา สุนประชา. การพัฒนาระบบจัดการซ่อมบำรุงรักษาสำหรับอุตสาหกรรมปิโตรเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2546.

เกียรติขจร โฆมานะสิน. Lean: วิถีแห่งการสร้างคุณค่าสู่องค์กรที่เป็นเลิศ. กรุงเทพมหานคร: อมรินทร์พริ้นติ้ง, 2550.

โกศล ดีศีลธรรม. การจัดการบำรุงรักษาสำหรับอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: เอ็มแอนด์อี, 2547.

โกศล ดีศีลธรรม. กลยุทธ์ลดต้นทุนผลิตภัณฑ์แบบลีน. Industrial Technology Review 207 พฤษภาคม 2553: 104-120.

ไกรวิทย์ เศรษฐวนิช. Maintenance บริหารอย่างไรเพิ่มกำไรให้องค์กร. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2547.

ไกรวิทย์ เศรษฐวนิช. กลยุทธ์สำคัญของการบำรุงรักษากับความน่าเชื่อถือ. เทคโนโลยีอุตสาหกรรม 30,168 (เม.ย.-พ.ค. 2546): 139-145.

ขนิษฐา วาริชวัฒนะ. การพัฒนาแผนบริหารการเปลี่ยนแปลงสำหรับกระบวนการให้บริการซ่อมบำรุง กรณีศึกษา:หน่วยงานอาคารสถานที่และซ่อมบำรุง คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2550.

ชัยยศ วัชรอยู่. การศึกษาระบบซ่อมบำรุงของโรงงานอุตสาหกรรมทอผ้าขนาดกลางเพื่อเพิ่มผลผลิต. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2533.

ไชยะ แช่มช้อย. วิเคราะห์ต้นทุนค่าไฟฟ้าในภาคอุตสาหกรรม. เทคนิคพิเศษ 2554: 134-147.

ไชยะ แช่มช้อย. Data Visualization กับงานอนุรักษ์พลังงาน. เทคนิค เครื่องกล ไฟฟ้า อุตสาหการ ฉบับที่ 314 พฤษภาคม 2553: 95-103.

ไชยะ แช่มช้อย. การใช้ข้อมูลเชิงสถิติเพื่อการกำหนดเป้าหมายและตรวจสอบสัมฤทธิผลการอนุรักษ์พลังงาน (1). เทคนิค เครื่องกล ไฟฟ้า อุตสาหการ ฉบับที่ 312 มีนาคม 2553: 91-100.

ไชยะ แช่มช้อย. การใช้ข้อมูลเชิงสถิติเพื่อการกำหนดเป้าหมายและตรวจสอบสัมฤทธิผลการอนุรักษ์พลังงาน (2). เทคนิค เครื่องกล ไฟฟ้า อุตสาหการ ฉบับที่ 313 เมษายน 2553: 94-103.

ธานี อ่วมอ้อ. การบำรุงรักษาทวีผลแบบทุกคนมีส่วนร่วม. กรุงเทพมหานคร: พีค บลูส์, 2547.

ธาราริน อร่ามเจริญ. การวัดสมรรถนะระบบจัดการซ่อมบำรุงรักษา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2543.

นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร. การประยุกต์ใช้เทคนิคการศึกษางานเพื่อเพิ่มผลผลิต กรณีศึกษา หจก.รวมช่าง จำกัด. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2545.

นิพนธ์ บัวแก้ว. รู้จักระบบการผลิตแบบลีน. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2547.

ประพันธ์ ธนาปิยกุล. การประยุกต์ใช้ระบบตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (1). เทคนิค เครื่องกล ไฟฟ้า อุตสาหการ ฉบับที่ 304 สิงหาคม 2552: 73-84.

ประพันธ์ ธนาปิยกุล. การประยุกต์ใช้ระบบตรวจติดตามและกำหนดเป้าหมายการใช้พลังงาน (2). เทคนิค เครื่องกล ไฟฟ้า อุตสาหการ ฉบับที่ 305 กันยายน 2552: 89-95.

ปารเมศ ชุติมา. แนวทางการลดขั้นตอนกระบวนการทำงานในหน่วยงานรัฐวิสาหกิจด้านการขนส่งมวลชนและการขนสินค้า. วารสารรามคำแหง ฉบับวิศวกรรมศาสตร์ 2,2 (พฤศจิกายน 2551): 19-24.

พูลพร แสงบางปลา. การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตโดยการบำรุงรักษา TPM. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

รุ่งชัย วิจิตรยืนยง. การอนุรักษ์พลังงานไฟฟ้าในโรงงานประกอบวงจรรวม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2549.

วงกต วงศ์อภัย. บทความวิชาการการลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานโดยการปรับปรุงแผนการบำรุงรักษา (1). วารสารโลกพลังงาน (เมษายน - มิถุนายน 2543): 26-37.

วิจิตร ตัณฑสุทธิ์, วันชัย ริจิรวนิช และ ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. การวิจัยการดำเนินงาน. กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ด ยูเคชั่น, 2539.

วินัย เวชวิทยาขลัง. จะเลือกระบบบำรุงรักษาอย่างไรให้เหมาะสมกับเครื่องจักร. เทคนิคพิเศษ 2554: 166-174.

ศุภชัย ปัญญาวีร์. การอนุรักษ์พลังงานอย่างสมบูรณ์และยั่งยืน. เทคนิค เครื่องกล ไฟฟ้า อุตสาหการ ฉบับที่ 313 เมษายน 2553: 77-83.

อรรคพรรณ วนะชกิจ. การพัฒนาแบบจำลองอ้างอิงกระบวนการสำหรับการผลิตแบบลีน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2545.

ภาษาอังกฤษ

Bain, D. The productivity Prescription. First Edition. New York: McGraw-Hill Book, 1982.

Sink, S. D. Productivity Management : Planning, Measurement and Evaluate, Control and Improvement. First Edition. New York: John Wiley&Sons, 1985.

Tomlingson, P. D. Effective Maintenance: The key to profitability. First Edition. New York: Van Nostrand, 1992.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

กิจกรรมบำรุงรักษาและเวลาในแผนบำรุงรักษา

ตารางที่ ก.1 กิจกรรมบำรุงรักษาและเวลาในแผนบำรุงรักษา

กิจกรรมบำรุงรักษาตามแผนบำรุงรักษาประเภท Preventive Maintenance	เวลาประมาณการบำรุงรักษา (Hour)
3M - HIGH VOLTAGE MOTOR INSPECTION	2
6M - HIGH VOLTAGE MOTOR INSPECTION	3
1Y - HIGH VOLTAGE MOTOR INSPECTION	5
4Y- OVERHAUL HIGH VOLTAGE MOTOR	32
3M - LOW VOLTAGE MOTOR INSPECTION	1.5
6M - LOW VOLTAGE MOTOR INSPECTION	3
1Y - LOW VOLTAGE MOTOR INSPECTION	5
4Y- OVERHAUL LOW VOLTAGE MOTOR	16
3M-TRANSFORMER GENERAL INSPECTION	1
1Y-TRANSFORMER INSPECTION	2
2Y OIL TEST FOR TRANSFORMER	4
4Y-CONSERVATOR TANK INSPECTION	16
1Y INSPECTION MOV	4
4Y Overhaul MOV	8
1Y INSPECTION NGR	4
1M INSPECTION UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY	1

ตารางที่ ก.1 กิจกรรมบำรุงรักษาและเวลาในแผนบำรุงรักษา (ต่อ)

กิจกรรมบำรุงบำรุงรักษา/วิธีการบำรุงรักษาประเภท Preventive Maintenance	เวลาประมาณการบำรุงรักษา (Hour)
6M INSPECTION UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY	2
1Y INSPECTION UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY	3
1M INSPECTION BATTERY	1
1 M - OVERALL FLOAT VOLTAGE MEASURED	1
6 M INSPECTION BATTERY	2
1 Y INSPECTION BATTERY	3
1M DC CHARGER INSPECTION	1
6 M DC CHARGER INSPECTION	2
1Y HV,MV-SWITCHGEAR INSPECTION	1.5
2Y HV,MV-SWITCHGEAR INSPECTION	3
4Y HV,MV-SWITCHGEAR INSPECTION	4
1Y INSPECTION BUS DUCT	4
6 M OVERHEAD CRANE & HOIST INSPECTION	1.5
1 Y OVERHEAD CRANE & HOIST INSPECTION	3
1 Y LV DISTRIBUTION SWG. INSPECTION	1.5
2 Y - LV DISTRIBUTION SWG.	2.5

ตารางที่ ก.1 กิจกรรมบำรุงรักษาและเวลาในแผนบำรุงรักษา (ต่อ)

กิจกรรมบำรุงบำรุงรักษา/วิธีการบำรุงรักษาประเภท Preventive Maintenance	เวลาประมาณการบำรุงรักษา (Hour)
4 Y LV DISTRIBUTION SWG. INSPECTION	4
3 Y LIGHTING AND RECEPTACLE INSPECTION	0.5
1 Y ON-LOAD TAP CHANGER INSPECTION	2
4 Y MAJOR OVERHAUL ON-LOAD TAP CHANGER	8
1 Y CAPACITOR INSPECTION	4
1 Y LOCAL FAILURE MONITORINF PANEL INSPECTION	1
1 Y INTER POCESSING RELAY PANEL INSPECTION	1
1Y - DFR PANEL Inspection	1.5
6 M LOW VOLTAGE INVERTER INSPECTION	0.5
3 Y LOW VOLTAGE INVERTER INSPECTION	2
6 M MEDIUM VOLTAGE INVERTER INSPECTION	1.5
4 Y MEDIUM VOLTAGE INVERTER INSPECTION	8
1Y - SLIP RING WOUND ROTOR MOTOR INSPECTION	8
3Y - SLIP RING WOUND ROTOR MOTOR INSPECTION	16
6Y - SLIP RING WOUND ROTOR MOTOR INSPECTION	40
1Y - LIQUID RHEOSTAT INSPECTION	4

ตารางที่ ก.1 กิจกรรมบำรุงรักษาและเวลาในแผนบำรุงรักษา (ต่อ)

กิจกรรมบำรุงบำรุงรักษา/วิธีการบำรุงรักษาประเภท Preventive Maintenance	เวลาประมาณการบำรุงรักษา (Hour)
3Y - LIQUID RHEOSTAT INSPECTION	8
1M - FIRE ALARM INSPECTION	1
6M - FIRE ALARM INSPECTION	2
6M - INTERCOM INSPECTION	2
6M - CCTV INSPECTION	2
2M - CATHODIC INSPECTION	1.5
1Y - CATHODIC INSPECTION	3
1Y - Earthing System Inspection	2
6M - Lightning System Inspection	2
1M - FM-200 Inspection	1.5
6M - FM-200 Inspection	3
1Y - Electric Heater Inspection	2
1Y-AUTO TRANSFORMER GENERAL INSPECTION	2
4Y - AUTO TRANSFORMER INSPECTION	4

ตารางที่ ก.1 กิจกรรมบำรุงรักษาและเวลาในแผนบำรุงรักษา (ต่อ)

กิจกรรมบำรุงบำรุงรักษา/วิธีการบำรุงรักษาประเภท Preventive Maintenance	เวลาประมาณการบำรุงรักษา (Hour)
1Y - DRY TYPE TRANSFORMER Inspection	2
2M - EMERGENCY LIGHTING Inspection	0.5
1Y - EMERGENCY LIGHTING Inspection	1.5
1M - ELEVATOR Inspection	2
6M - ELEVATOR Inspection	3
1 Y LOCAL CONTROL PANEL INSPECTION	1
3M - DC MOTOR INSPECTION	1.5
4Y- DC MOTOR OVERHAUL	16

ภาคผนวก ข
คำสั่งแต่งตั้งทีมงาน

คำสั่ง หน่วยงานบำรุงรักษาไฟฟ้า 4

หน่วยงานบำรุงรักษา 4

บริษัท

ที่ 1 / 2553

เรื่อง แต่งตั้งคณะทำงานปรับปรุงขั้นตอนและวิธีการในงานบำรุงรักษาไฟฟ้าโดยพิจารณาลดเวลาในการปฏิบัติงาน

.....

เพื่อให้การบริหารงานบำรุงรักษาไฟฟ้าของหน่วยงานบำรุงรักษาไฟฟ้า 4 ของหน่วยงานบำรุงรักษา 4 สามารถสนับสนุนความเชื่อถือได้ของโรงงานที่มีการจัดการด้าน Reliability Base Production เพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานได้อย่างเป็นระบบ โดยอาศัยทีมงานที่มีความรู้ ประสบการณ์และความสามารถของหน่วยงานร่วมกันปรับปรุงขั้นตอนและวิธีการในงานบำรุงรักษาไฟฟ้าของโรงงาน เพื่อลดปัญหาความล่าช้าในงานบำรุงรักษาอันจะสนับสนุนงานด้านการผลิตของโรงงานเป็นไปอย่างต่อเนื่องและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการผลิตที่เป็นผลจากการปรับปรุงการบำรุงรักษาโดยการลดเวลาปฏิบัติงานลง

จึงขอประกาศแต่งตั้งคณะทำงาน ปรับปรุงขั้นตอนและวิธีการในงานบำรุงรักษาไฟฟ้าโดยพิจารณาลดเวลาในการปฏิบัติงาน ดังนี้

คณะทำงานประกอบด้วย

1. ผู้จัดการหน่วยงานบำรุงรักษาไฟฟ้า 4	หัวหน้าคณะทำงาน
2. ผู้จัดการแผนกบำรุงรักษาไฟฟ้า 4-1 และ 4-2	คณะทำงาน
3. ช่างเทคนิค แผนกบำรุงรักษาไฟฟ้า 4-1 และ 4-2	คณะทำงาน
4. ช่างเทคนิค แผนกบำรุงรักษาไฟฟ้า 4-1 และ 4-2	คณะทำงาน
5. วิศวกร หน่วยงานบำรุงรักษาไฟฟ้า 4	คณะทำงานและเลขานุการ

โดยมีหน้าที่และความรับผิดชอบ ดังนี้

- ร่วมประชุมวิเคราะห์หาสาเหตุปัญหาความล่าช้าในการปฏิบัติงานบำรุงรักษา
- ร่วมประชุมวิเคราะห์นำเสนอแนวทาง วิธีการปรับปรุงแก้ไขสาเหตุหลักๆของปัญหาอย่างเป็นระบบ
- สนับสนุนให้เกิดการปฏิบัติตามแนวทาง วิธีการปรับปรุง

ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ 1 เดือนมกราคม พ.ศ. 2553

(นาย)

ผู้จัดการหน่วยงานบำรุงรักษาไฟฟ้า 4

ภาคผนวก ค

Status งานตามขั้นตอนบำรุงรักษาในระบบ CMMS

ความหมายของ User Status ใน SAP ECC 6

New User	Status Name	ผู้เปลี่ยน Status มาเป็น Status นี้	เหตุผลที่เปลี่ยนมาเป็น Status นี้	Basic Start Date	Basic Finish Date	Responsibility
AEST	Awaiting to estimate work	ระบบใส่ให้เอง	เมื่อ Create MO ระบบจะใส่ Status นี้ให้อัตโนมัติ และหัวหน้างาน ทำการใส่ ID ของผู้ปฏิบัติงาน	ระบบจะ Default ให้เป็นวันที่ปัจจุบัน หรือตามกำหนด PM	ระบบจะ Default ให้เป็นวันที่ปัจจุบัน หรือตามกำหนด PM	Maintenance
AREL	Awaiting to release MO	Maint. Technician	เมื่อ MO มี Status AEST ผู้ปฏิบัติงานทำการวางแผนและเปลี่ยนเป็น Status นี้	ใส่วันที่ตามแผนงานที่คาดว่าจะเริ่มงานได้	ใส่วันที่ตามแผนงานที่คาดว่าจะเสร็จงาน	Maintenance
AS	Awaiting scheduler to commit	Maint. Section Head or Maint. Technician	งานที่ต้องทำการ Committed หลังจากได้ Status AREL หัวหน้างานตรวจสอบการวางแผน (จำนวนผู้ปฏิบัติงาน, ระยะเวลาในการดำเนินการ, Spare Part เอกสารใบสั่งซื้อ (PR. Direct Material, External Service), เครื่องมือ, เครื่องจักร (Heavy Tool)) ที่ต้องใช้กับงานซ่อม	ใส่วันที่ตามแผนงานที่คาดว่าจะเริ่มงานได้ โดยความเห็นชอบของหัวหน้างาน	ใส่วันที่ตามแผนงานที่คาดว่าจะเสร็จงานได้ โดยความเห็นชอบของหัวหน้างาน	Maintenance
REDY	Ready to work	Maintenance Scheduler หรือ Maintenance Section Head	หลังจากได้ Status AS แล้ว จะนำงานนี้เข้าประชุม Committed หากได้รับการอนุญาตเข้าทำงานจึงจะเปลี่ยนมาเป็น Status นี้	ใส่วันที่ เริ่มงาน โดยความเห็นชอบของ Operation	ใส่วันที่ เสร็จงาน โดยความเห็นชอบของ Operation	Maintenance
		Maint. Section Head or Maint. Technician	งานที่ทำได้เลยไม่ต้อง Committed หลังจากได้ Status AREL หัวหน้างานตรวจสอบการวางแผน งานซ่อมบำรุงรักษาใน MO เสร็จแล้วเปลี่ยนเป็น Status นี้	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	Maintenance
WF	Work finished	Maint. Technician	เมื่องานแล้วเสร็จ ผู้ปฏิบัติงานเข้าตรวจสอบ บันทึกข้อมูลใน MO แล้วเปลี่ยนเป็น Status นี้ ถ้าต้องการเก็บประวัติให้บันทึกใส่ MN	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	Maintenance
WC	Work Completed	ระบบเปลี่ยนให้อัตโนมัติ	หัวหน้างาน เข้าตรวจสอบการบันทึกข้อมูลใน MO และตรวจสอบการเก็บประวัติใน MN แล้วทำการปิดงาน	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	Maintenance
BLMT	Backlog material	Maint. Section Head	ไม่สามารถเข้าทำงานได้เพราะของไม่พร้อม (ทั้งของที่เป็น Direct, ของที่เป็น Stock) และจัดซื้อได้ออก PO ครบทุกรายการแล้ว	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	Purchasing

ความหมายของ User Status ใน SAP ECC 6

New User	Status Name	ผู้เปลี่ยน Status มาเป็น Status นี้	เหตุผลที่เปลี่ยนมาเป็น Status นี้	Basic Start Date	Basic Finish Date	Responsibility
BLVC	Backlog Vendor / Contractor	Maint. Section Head	ไม่สามารถเข้าทำงานได้เพราะแรงงานไม่พร้อมและ PR งานจ้าง ต้องมี PO ครบทุกรายการแล้ว	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	Purchasing
BLED	Backlog Equipment shutdown	Maint. Section Head	ไม่สามารถเข้าทำงานได้ เพราะไม่ทราบว่าต้องรออุปกรณ์ตัวไหนหยุดและยังไม่ทราบกำหนดการทำงานใหม่	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	Operation
BLPS	Backlog plant shutdown	Maint. Section Head	ไม่สามารถเข้าทำงานได้เพราะต้องรอ Status Plant หรือ รออุปกรณ์หยุดทำงาน ต้องใส่ EQ. ที่รอ ไว้ที่ช่อง Short Text ของงานนั้นทุกครั้ง การรอ BLPS นี้ อุปกรณ์/งานจ้าง ต้องพร้อมแล้ว เมื่อทาง Operation แจ้งว่าพร้อมให้ทำงาน ต้องเข้าทำงานได้	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	Operation
BLRS	Backlog for repair spare part	Maint. Section Head	เมื่อมีการ Create MO เพื่อการซ่อม Spare Part MO นั้น จะใส่ Status นี้ไว้ในระหว่างการซ่อม	ใส่วันที่เริ่มซ่อม	ใส่วันที่ plan ว่าจะซ่อมเสร็จ	Maintenance
BLSL	Backlog for on line stop leak	Maint. Section Head	เมื่อมีงานซ่อมด้วยการทำ Furmanite online stop leak ไม่ให้เปลี่ยน Status จนกว่าจะซ่อมแก้ไขถาวรเสร็จ	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	Plant Maint /Maintenance
BLSV	Backlog supervision	Maint. Section Head	ไม่สามารถเข้าทำงานได้ต้องรอการตัดสินใจของหัวหน้างาน และหน่วยงานอื่น ๆ ยกเว้น Operation แต่ในกรณีที่ อยู่ระหว่างรอ Test อุปกรณ์จนกว่าจะใช้งานได้สามารถใช้ Status นี้ได้	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	Maintenance
BLPO	Backlog Pending PO	Maint. Section Head	รอของ ทั้งของที่เป็น Direct, ของที่เป็น Stock และ PR งานจ้าง ที่ยังไม่ออก PO.	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	Purchasing
BLTA	Backlog TA -Not yet planned	Maint. Section Head	ไม่สามารถเข้าทำงานได้ เพราะต้องรอทำในช่วง Turnaround และ ยังไม่ได้วางแผน	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	Maintenance
BLTP	Backlog plan MO for TA -Planned	Maint. Section Head	เมื่อมีการ Create MO จะต้องรอการวางแผนงานใน MO เพื่อใช้กับงาน Turnaround Plant เช่น ซื้อของ ออก PR	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	ไม่ต้องเปลี่ยนวันที่	Maintenance

ความหมายของ User Status ใน SAP ECC 6

New User	Status Name	ผู้เปลี่ยน Status มาเป็น Status นี้	เหตุผลที่เปลี่ยนมาเป็น Status นี้	Basic Start Date	Basic Finish Date	Responsibility
RETA	Ready to work for TA	Maintenance Section Head หรือจะมอบหมายให้ Maintenance Technician	เป็นงาน Turnaround ที่พร้อมเข้าทำงานได้ (= REDY ในสภาวะปกติ)	ใส่วันที่ เริ่มงานตามงาน Turnaround	ใส่วันที่ เริ่มงานตามงาน Turnaround	Maintenance
AINC	Awaiting for inspection to complete	Maint. Section Head	งาน IN ที่เดิมอยู่ Status REDY และทำงานเสร็จแล้ว และพร้อมให้ Inspection เข้าตรวจและปิด MO แล้วเปลี่ยนเป็น WF เพื่อรอ Plant Maint ปิด MO	-	-	Inspection
WC	Inspection completed	ระบบเปลี่ยนให้อัตโนมัติ	Section Head เข้าตรวจสอบข้อมูลใน MO และการเก็บประวัติใน MN แล้วทำการปิดงาน	-	-	-

ภาคผนวก ง
Step of Work การปฏิบัติงานบำรุงรักษาตามวิธีการบำรุงรักษา แยกตามแผนบำรุงรักษา

Step of Work การปฏิบัติงานบำรุงรักษาตามวิธีการบำรุงรักษาแยกตามแผนบำรุงรักษา

3M - HIGH VOLTAGE MOTOR INSPECTION

1. Hot work
2. General inspection
3. Record current voltage temp winding
4. Record vibration
5. Re- grease motor
6. Cold work
7. Inspection terminal box and gasket cable support cable gland
8. Inspection cable condition
9. Inspection coupling guards, fan cool, holding-down bolts
10. Inspection space heater
11. Inspection condensate by open drain plug

6M - HIGH VOLTAGE MOTOR INSPECTION

1. Check follow 3m high voltage motor inspection
2. Cold work
3. Cleaning terminal box and retightening
4. Inspect CSS
5. Insulation resistance test

1Y - HIGH VOLTAGE MOTOR INSPECTION

1. Check follow 6m - high voltage motor inspection
2. Cold work
3. Disconnect power cable
4. Insulation resistance test motor and cable
5. Cleaning heat exchanger

6. **Inspect and cleaning RTD box space heater box**
7. **Measurement insulation bearing**
8. **Measurement resistance of RTD and space heater**

Overhaul

1. **Isolate breaker tagging**
2. **Disconnect coupling**
3. **Disconnect power cable**
4. **Loosen bolts &nut remove motor to w/s**
5. **Disassembly motor inspection, change bearing.**
6. **Assembly motor move to install at site**
7. **Power cable connect coupling connect &alignment**
8. **Alignment**
9. **Test run, keep record report**

3M - LOW VOLTAGE MOTOR INSPECTION

1. **Hot work**
2. **Record general information motor follow up inspection report**
3. **Inspect outside general and CSS**
4. **Cold work**
5. **Inspection terminal box and gasket cable support cable gland**
6. **Inspection cable condition ground connection**
7. **Inspection coupling guards fan cool holding-down bolt**

6M - LOW VOLTAGE MOTOR INSPECTION

1. **Check follow 3m-low voltage motor inspection**
2. **Re- grease motor**
3. **Cold work**
4. **Inspection condensate and test**
5. **Open terminal box motor and CSS and inspection**
6. **Check all connection tight**
7. **Check flange and grease condition**

8. Cleaning

1Y - LOW VOLTAGE MOTOR INSPECTION

1. Check follow 6m - low voltage motor inspection
2. Cold work
3. Disconnect power cable
4. Insulation resistance test motor and cable
5. Cleaning ventilation fan
6. Inspect and cleaning RTD box, space heater box
7. Measurement insulation bearing
8. Measurement resistance of RTD and space heater

Overhaul

1. Isolate breaker, tagging
2. Disconnect coupling
3. Disconnect power cable
4. Loosen bolts &nut, remove motor to w/s
5. Disassembly motor, inspection, change bearing
6. Assembly motor, move to install at site
7. Power cable connect , coupling connect & alignment
8. Alignment
9. Test run, keep record, report

3M-TRANSFORMER GENERAL INSPECTION

1. Hot work
2. Record V, A at primary and secondary side of transformer
3. Inspection via transparent glass (winding, terminals, tap connector
4. Support)
5. Inspect casing of transformer, grounding wires, corrosion
6. Inspect louver of tr. Case and clean by vacuum cleaner
7. Inspect control box
8. Check oil leak at radiator & tank

9. **Check silica gel of breather apparatus**
10. **Check grounding & cable grand**

1Y-TRANSFORMER INSPECTION

1. **Hot work**
2. **Check follow 3mtransformer general inspection**
3. **Oil dielectric test strength test of transformer oil**
4. **Cold work**
5. **Function & mechanical check**
6. **Bushing& terminal& terminal box inspect connection**
7. **Control panel internal inspection and retighten all**
8. **Cleaning internal cable box**
9. **Insulation resistance test**

2Y Oil test for :

1. **DGA**
2. **Water content**
3. **Dielectric dissipation factor**
4. **Neutralization value**
5. **Interfacial tension**
6. **Gas content**
7. **Flash point**
8. **Resistivity**

4Y-CONSERVATOR TANK INSPECTION

1. **Check follow 1y-transformer inspection**
2. **Cold work**
3. **Inspect oil level at conservator tank**
4. **Measurement the winding resistance all phase and tap**
5. **Measurement the exciting current all phase and tap**

1Y INSPECTION MOV

1. **Bypass Signals by Instrument**
2. **COLD WORK**
3. **GENERAL INSPECTION AND CLEANING**
4. **INSPECT Mechanical Interlock AND Torque Switch**
5. **INSPECT Connection**
6. **Insulation Resistance test**
7. **Full Function Test**

4Y Overhaul

1. **Cold work**
2. **Inspection**
3. **Equipment shutdown**
4. **Disconnect equipment**
5. **Check output contact resistance of MOV**
6. **Remove to overhaul**
7. **Reconnect equipment**
8. **All ready checked by instrument& operator**

1Y INSPECTION NGR

1. **Cold work**
2. **Tested dead line feeder at resistor by high-voltage tester**
3. **Inspection neutral grounding resistor and cleaning**
4. **Inspection high voltage cable termination**
5. **Insulation resistance test of NGR**
6. **Measurement resistance of resistor**
7. **insulation resistance test of neutral current transformer**
8. **inspect heater**
9. **Inspect ground point connection**

1M INSPECTION UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY

1. Hot work
2. Record rectifier input/output voltage
3. Record rectifier input/output current
4. Inspect lamp test, Annunciator alarm
5. Inspection earthing connection
6. Cleaning external part

6M INSPECTION UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY

1. Check follow 1m inspection ups
2. Cold work
3. Cleaning connector plate and nut
4. Check all connection tighten/cleaning
5. Check disconnecting switch
6. Internal cleaning

1Y INSPECTION UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY

1. Check follow 6m inspection ups
2. Cold work
3. Adjust or tuned value (if required)
4. Check any corrosion and damaged (all part)

1M INSPECTION BATTERY

1. Hot work
2. Record general information battery follow up inspection report

1 M - OVERALL FLOAT VOLTAGE MEASURED

1. Check condition of ventilation
2. Check corrosion at terminal, connection, rack, cabinet
3. Check leakage of electrolyte
4. DC. float current measured

6 M INSPECTION BATTERY

1. **Check follow up 1 m inspection battery**
2. **Cold work**
3. **Check cell internal ohm values**
4. **Check all connection tighten/cleaning**
5. **Measured voltage/temperature of each cell**
6. **Cleaning all connection**

1 Y INSPECTION BATTERY

1. **Check follow up 6 m inspection battery**
2. **Cold work**
3. **Cell-to-cell/terminal connection resistance measure**
4. **Measured of ac. Ripple current/imposed voltage**
5. **Check any corrosion and damaged (all connection)**
6. **Battery capacity calculation**

1M DC CHARGER INSPECTION

1. **Hot work**
2. **Record V, A at charger cubicle follow up inspection report**
3. **Check alarm indicator and lamp test**
4. **Check Earting connection**
5. **Cleaning external part , filter material**

6 M DC CHARGER INSPECTION

1. **Check follow up 1m dc charger inspection**
2. **Cold work**
3. **Check disconnecting switch**
4. **Check all connection tighten/cleaning**
5. **Internal cleaning**

1Y HV,MV-SWITCHGEAR INSPECTION

1. **Cold work**
2. **Inspect mechanism, cleaning and lubricant**
3. **Measurement insulation resistance**
4. **Check connection all protective relay**
5. **Check connection all GCB, VCB**
6. **interlock, function, trip test**

2Y HV,MV-SWITCHGEAR INSPECTION

1. **Check follow up 1y inspection**
2. **Cold work**
3. **Inspect sf6 pressure (for GCB type)**
4. **Measurement insulation resistance**
5. **Measurement contact resistance**
6. **Measurement cb. Timing operation**
7. **Test all protective relay**

4Y HV,MV-SWITCHGEAR INSPECTION

1. **Check follow up 2y inspection**
2. **Cold work**
3. **Internal cubicle inspect and cleaning**
4. **Inspect vacuum chamber (for vcb type)**
5. **Inspect and test ct, pt**
6. **Inspect metering meter**
7. **Measurement bus bar insulation resistance**
8. **Check all connection tighten/cleaning**

1Y INSPECTION BUS DUCT

1. Cold work
2. Check for over heat condition
3. Check for abnormal jointing bolt
4. Inspection external enclosure
5. Inspection internal enclosure
6. Check all connection /cleaning
7. Inspection corrosion damage
8. Tightening with torque wrench
9. Measure insulation resistance/record
10. Inspection grounding condition

6 M OVERHEAD CRANE & HOIST INSPECTION

1. Cold work
2. Check connection and condition in terminal box
3. Power and control cable of cable trolly inspection
4. Pendant and cable inspection
5. Limit sw. Inspection
6. Check contact of magnetic contactor and cleaning
7. Crane lighting inspection
8. Operate function test

1 Y OVERHEAD CRANE & HOIST INSPECTION

1. Cold work
2. Check follow 6 m inspect
3. Motor inspection
4. All function test
5. Weight test

1 Y LV DISTRIBUTION SWG. INSPECTION

1. Cold work
2. Inspect air circuit breaker

   (Arc chutes, main contact, internal accessories, tripping device)
3. Function test air circuit breaker
4. Inspect arc chute at magnetic contactor
5. inspect main &aux. Contact at magnetic contactor
6. Tighten electrical connections all components
7. lubricate and cleaning incoming &outgoing plug
8. Check mechanical interlock
9. Check operating function
10. LV distribution SWG. Inspection

2 Y - Check follow 1 Y Inspection

1. Cold work
2. Inspect and test at protective relay overload
3. Inspect at ct for protective relay
4. Inspect at ct for metering
5. Calibration all meter and transducer

4 Y LV DISTRIBUTION SWG. INSPECTION

1. Check follow 2 Y Inspection
2. Busbar inspection at horizontal& vertical
3. Equipment compartment inspection
4. Inspection at cable compartment
5. Insulation resistance test for busbar
6. Calibration All meter and transducer

3 Y LIGHTING AND RECEPTACLE INSPECTION

1. Cold work
2. Tighten electrical connections all components
3. Check at all MCCB condition
4. Check busbar (open cover)
5. Busbar inspection at horizontal& vertical
6. Equipment compartment inspection
7. inspection at cable compartment
8. Function test(for air craft warning light)
9. Cleaning internal panel

1 Y ON-LOAD TAP CHANGER INSPECTION

1. Cold work
2. Check oil level
3. Check breather
4. Operation test (±1 step) and monitor the motor and indicating device
5. Emergency stop test and restart to finish the cycle
6. Check motor ground fault protection
7. Check anti condensate heater
8. Check at LCP, RCP tighten &cleaning
9. Record operation counter

4 Y MAJOR OVERHAUL ON-LOAD TAP CHANGER

1. Cold work (by external contractor)
2. Check follow up 1 y on-load tap changer inspection
3. Oil testing and oil draining
4. Cleaning the on-load tap changer
5. Oil filtration (refer to oil test)
6. Check contact and contact wear
7. Check transition resistor
8. Check the pressure relay/pressure relief device

9. Check motor drive mechanism
10. Operation test
11. Oil filling (refer to inspection)

1 Y CAPACITOR INSPECTION

1. Cold work
2. Check and record unbalance current at relay protection
3. Check setting of protection relay
4. Inspect at insulators of capacitor and cleaning
5. Check and tightening all cable connection
6. Check bus bar, cable clearance and cleaning
7. Insulation resistance test for capacitor unit
8. Insulation resistance test for reactor unit
9. Insulation resistance test for auxiliary and control circuit
10. Check HRC power fuse condition
11. Check ventilation fan of cubicle and cleaning

1 Y LOCAL FAILURE MONITORINF PANEL INSPECTION

1. Cold work
2. Check push button switch condition
3. Check cable connection
4. Check at all auxiliary relay condition
5. Check at annunciators condition
6. Check at power supply condition
7. Check at annunciators window
8. Check all nameplate specify at annunciators window
9. Cleaning and tightening all part and connection

1 Y INTER POCESSING RELAY PANEL INSPECTION

1. Cold work
2. Check cable connection
3. Check at all relay condition
4. Check at power supply condition
5. Check all cable mark
6. Cleaning and tightening all part and connection

1Y - DFR PANEL Inspection

1. Cold work
2. Tightening all connection
3. Cleaning internal/external panel
4. Check at Power Supply condition
5. Check all cable Mark

6 M LOW VOLTAGE INVERTER INSPECTION

1. Hot work
2. Record general information inverter follow up inspection report
3. Check installation environment is normal
4. Check cooling system is operating as expected
5. Check for irregular vibrations or sounds during operation
6. Measuring ambient temperature and checking parameter

3 Y LOW VOLTAGE INVERTER INSPECTION

1. Cold work
2. Check follow up 6 m low voltage inverter inspection
3. Visual check of component at the panel and electronic boards
4. Visual check of all connection
5. Cleaning electronic boards , cooling fan and air filter
6. Cleaning main circuit and control circuit
7. Check tighten of input/output terminal
8. Check tighten connection of contactor and fuse

9. Check tighten connection on board
10. Insulation resistance test of power supply cable
11. Insulation resistance test of motor and cable
12. Measuring triggering pulse main circuit and control circuit
13. Measuring dc. Bus
14. Functional inspection of the fan and cooling system
15. Inspection of the emergency stop circuit
16. Functional testing of the inverter under normal condition

6 M MEDIUM VOLTAGE INVERTER INSPECTION

1. Hot work
2. Record general information inverter follow up inspection report
3. Check installation environment is normal
4. Check cooling system is operating as expected
5. Check for irregular vibrations or sounds during operation
6. Measuring ambient temperature and checking parameter

4 Y MEDIUM VOLTAGE INVERTER INSPECTION

1. Cold work (By external contractor; Manufacturer)
2. Check follow up 6 M medium voltage inverter inspection
3. Visual check of component at the panel and electronic boards
4. Visual check of all connection
5. Cleaning electronic boards , cooling fan and air filter
6. Cleaning main circuit and control circuit
7. Check tighten of input/output terminal
8. Check tighten connection at isolate transformer
9. Check tighten connection of contactor and fuse
10. Check tighten connection on board
11. Insulation resistance test of power supply cable
12. Insulation resistance test of motor and cable
13. Insulation resistance test of Isolate transformer

14. Measuring triggering pulse main circuit and control circuit
15. Inspection Capacitor of DC. BUS
16. Measuring leakage current of semiconductor device
17. Functional inspection of the fan and cooling system
18. Inspection of the emergency stop circuit
19. Recheck all parameter setting and configuration system
20. Functional testing of the inverter under normal condition

1Y - SLIP RING WOUND ROTOR MOTOR INSPECTION

1. Hot work
2. General inspection
3. Record current, voltage, temp., winding temp. Bearing temp.
4. Record vibration
5. Inspection cooling system
6. Check air leakage, surrounding heat exchanger
7. Shaft current measurement
8. Record operating hour
9. Cold work
10. General inspection sleeve bearing
11. Inspection brush lifting and short circuit device system
12. Check length of remaining brush
13. Check moving short end surface contact
14. Inspection terminal box and gasket, cable support, cable gland
15. Inspection cable condition
16. Inspection coupling guards, fan cool, holding-down bolts
17. Inspection barring gear motor
18. Inspection hydrostatic jacking pump motor
19. Visual check for oil contamination of sleeve bearing
20. Inspection space heater
21. Inspection secondary control panel

3Y - SLIP RING WOUND ROTOR MOTOR INSPECTION

1. Check follow 1Y Slip Ring Wound Rotor Motor Inspection
2. Cold work (add for 1y inspection by outsource)
3. Visual check for Oil ring sleeve bearing
4. Visual Check Metal Contact sleeve bearing
5. Inspect and Cleaning Stator Part
6. Inspect and Cleaning Rotor Part
7. Air Gap Measurement
8. Disconnect Power Cable
9. Insulation Resistance Test Motors (Stator, Rotor) & Cable
10. Insulation Resistance Test Brush Up Forward/Backward Motors
11. Air Cooler Inspection
12. Cleaning Heat Exchanger
13. Cleaning Earthing /Grounding and Retightening
14. Inspect and Cleaning RTD Box, Space Heater Box
15. Cleaning Terminal Box and Retightening
16. Functional Inspection Brush Lifting and Short Circuit Device system
17. Functional Inspection Temperature Measuring System

6Y - SLIP RING WOUND ROTOR MOTOR INSPECTION

1. Check follow 3Y Slip Ring Wound Rotor Motor Inspection
2. Cold work (add for 3y inspection by outsource)
3. Isolate Breaker, Tagging
4. Disconnect coupling
5. Disconnect power cable
6. Loosen bolts & nut disassembly motor
7. Inspection motor
8. Inspection Winding Stator and Rotor
9. Inspection Core, Spacer, Wedge of Stator and Rotor
10. Insulation Resistance Test Stator and Rotor

11. **Dielectric tangent test of stator winding, Tan Delta**
12. **AC Charging test for Stator winding**
13. **Partial Discharge test for Stator winding**
14. **Visual check at Stator Core and Coil**
15. **Visual check insulating material**
16. **Visual check at core end condition**
17. **Inspection sleeve bearing**
18. **Measurement Shaft Level**
19. **Inspection Brush Lifting and Short Circuit Device system**
20. **Check Brush Surface and change with spare**
21. **Check Surface of Slip Ring**
22. **Inspection and Cleaning Cooling System**
23. **Removed heat exchanger**
24. **Inspection fin and water leakage**
25. **Cleaning Interior wall of cooling tube &Air Cooler Fins**
26. **Check corrosion interior cooler**
27. **Hydraulic test water chamber**
28. **Functional Inspection Purging Air System**
29. **Power cable connect , coupling connect & alignment**
30. **Functional Inspection Sleeve Bearing and Oil Lubricant.**
31. **Functional Inspection Brush Lifting and Short Circuit Device system**
32. **Test run, Keep record, Report**

1Y - LIQUID RHEOSTAT INSPECTION

1. **Cold work**
2. **Check no leakage of Electrolyte from Tank, Valve, Piping Flanges**
3. **Inspection Level of Electrolyte at Level Gauge**
4. **ตรวจสอบ Secondary Control Panel สำหรับ Liquid Rheostat Starter**
5. **Tighten and Confirm not Loose**
6. **Measurement of Insulation Resistance**

7. **Check Magnetic Contactors and Relay at Control Circuit**
8. **Test for Electrolyte property**
9. **PH Test (PH Value with a Range of 8.5 to 6.5)**
10. **To Refill Electrolyte (If needed)**
11. **To Check Electrolyte Level**
12. **Inspection Terminal Box and Gasket, Cable Support, Cable gland**
13. **Inspection Cable condition**
14. **Inspection Tube and Flexible tube**
15. **Inspection Thermometer**
16. **Inspection Grounding and Earth Terminal**

3Y - LIQUID RHEOSTAT INSPECTION

1. **Check follow 1Y Liquid Rheostat Inspection**
2. **Cold work**
3. **Operating mechanism inspection**
4. **Check Operating Motor**
5. **Check Indicator Pointer**
6. **Visual Check Clean and Supply Oil for Gear Reducer**
7. **Check LRH Agitator Motor**
8. **Auxiliary Equipment Inspection**
9. **Check Float Switch**
10. **Check Liquid Thermometer**
11. **Check Limit Switches**
12. **Frame interior inspection**
13. **Check Dust Accumulated at Insulator**
14. **Check Accumulated at Insulator Clamp**
15. **Check Dust Accumulated at Frame bottom base**
16. **Inspection Electrode, Insulation Cylinders, Insulation Tube**

17. **Visual Check Degree of Electrode Corrosion**
18. **Visual Check for Insulation Cylinders**
19. **Insulation Resistance of Insulation Tube**
20. **Inspection of MV Vacuum Contactors**
21. **Lubrication Drawing Out Mechanism**
22. **Check to Confirm not Loose Termination**
23. **Insulation Resistance**
24. **Action of Operation Mechanism on Moving Portion**
25. **Check to Confirm not Loose Termination**
26. **Main Circuit Conductors Tightness**
27. **Functional Inspection Limits Switch, Level Switch and Temperature Switch**
28. **Functional Inspection Movement Part in Crank Mechanism**
29. **Functional Inspection Thermometer**

1M - FIRE ALARM INSPECTION

1. **Cold work**
2. **Check battery and charger**
3. **Check and Record Signal lamp status**
4. **Check status of selector switch**
5. **Retighten at the terminal**
6. **Check and clean internal /external panel**

6M - FIRE ALARM INSPECTION

1. **Check follow 1M FIRE ALARM INSPECTION**
2. **Cold work**
3. **Function test (follow inspection report)**

6M - INTERCOM INSPECTION

1. Cold work
2. Panel Inspection
3. Local Intercom Inspection
4. Control Desk Inspection
5. Loud Speaker
6. Mobile Socket Inspection
7. Operation Function test

6M - CCTV INSPECTION

1. Cold work
2. Camera Unit Inspection
3. Key Board Control unit / Monitor Inspection
4. UPS and Battery Inspection
5. Camera Control Operation Test

2M - CATHODIC INSPECTION

1. Cold work
2. Measurement Pipe to Soil Potential
3. Measurement Anode Current

1Y - CATHODIC INSPECTION

1. Check follow 2M Inspection
2. Cold work
3. General inspection (Insulation flange, spark gap, Test box, Junction box)
4. General inspection (Pipe Line, Test box, Junction box)
5. Check any mechanical damage, rust
6. Check and clean Transformer-rectifier panel

1Y - Earthing System Inspection

1. Cold work
2. General inspect
3. Inspect at connection equipment potential bonding bar
4. Measurement earthing resistance

6M - Lightning System Inspection

1. Cold work
2. General Inspection
3. Check air terminal, base, conductor, fastener

1M - FM-200 Inspection

1. Cold work
2. Record FM-200 Pressure
3. Inspection Battery and Charger

6M - FM-200 Inspection

1. Cold work
2. Check follow 1M FM-200 Inspection
3. Operation function test

1Y - Electric Heater Inspection

1. Cold work
2. Measurement resistance of Heater
3. Check connection ของ Heater of Heater
4. Inspect internal Junction Box of Heater
5. Cleaning Junction Box of Heater
6. Inspection Control Panel

1Y-AUTO TRANSFORMER GENERAL INSPECTION

1. Hot work
2. General inspection transformer
3. Inspection fluorescent and lamp of at1 cubicle
4. Visual inspection rc set
5. Inspection space heater of at1 cubicle
6. Cold work
7. Inspection terminal of transformer
8. Inspection earth terminal of transformer
9. Cleaning transformer and cubicle
10. Inspection space heater
11. Cleaning terminal box and re-tightening
12. Insulation resistance test of auto transformer system

4Y - AUTO TRANSFORMER INSPECTION

1. Check follow 1y auto transformer inspection
2. Cold work
3. Measurement the winding resistance all phase and tap
4. Measurement the exciting current all phase and tap
5. Insulation test of CR set
6. Measuring value of CR set

1Y - DRY TYPE TRANSFORMER Inspection

1. Cold work
2. Check during transformer energize on load
3. Record voltage, current, temp. And noise
4. Check during transformer not energize
5. Check ventilation
6. Tighten all cable connection
7. Cleaning pri./sec. Coil
8. Cleaning core and support

9. **Measurement winding resistance of coil**
10. **Check resistance of PTC**
11. **Check at the PTC connection**
12. **Check surface epoxy resin coil**
13. **Insulation resistance test**
14. **Check Earthing condition**
15. **Function check**

2M - EMERGENCY LIGHTING Inspection

1. **Cold work**
2. **Function check**
3. **Check any corrosion and damage**
4. **External cleaning**

1Y - EMERGENCY LIGHTING Inspection

1. **Cold work**
2. **Check follow 2M Inspection**
3. **Battery discharge test**
4. **Internal cleaning**
5. **Restoration any damage/corrosion**
6. **Tighten connection**

1M - ELEVATOR Inspection

1. **Cold work**
2. **Inspection part of cage interior**
3. **Inspection in unit part over cage top**
4. **Check floor switch**
5. **Check unit in pit**
6. **Check battery and charger**
7. **Lubrication**

6M - ELEVATOR Inspection

1. Cold work
2. Check follow 1M Inspection
3. Check all the electrical system for contamination with oil, water, or dust
4. Check all limit switch
5. Check the ventilation system
6. Turn off main switch and tighten all the screws, bolts and nuts
7. Visually inspect relay movements in the controller
8. Check that all the relay contacts have correct gaps
9. Insulation test of all motor
10. Cleaning and repair any damaged such as painting

1 Y LOCAL CONTROL PANEL INSPECTION

1. Cold work
2. Check cable connection
3. Check at all relay condition
4. Check at power supply condition
5. Check all cable mark
6. Cleaning and tightening all part and connection

3M - DC MOTOR INSPECTION

1. Hot work
2. Record general information motor follow up inspection report
3. Inspect outside general and css
4. Cold work
5. Inspection terminal box, gasket and cable gland
6. Inspection cable codition, ground connection
7. Insulation resistance test motor with cable

OVERHAUL DC MOTOR

1. **Isolate breaker and tagging**
2. **Disconnect coupling**
3. **Disconnect power cable**
4. **Loosen bolts & nut and remove motor to w/s**
5. **Disassembly motor and inspection**
6. **Assembly motor and move to install at site**
7. **Power cable and coupling connect**
8. **Alignment**
9. **Test run, keep record and report**

ภาคผนวก จ

ตัวอย่างผลการฝึกอบรม OJT

การทดสอบและประเมินผลการฝึกอบรมด้วยการปฏิบัติงาน

ชื่อผู้ถูกทดสอบ _____ เลขประจำตัว _____

ตำแหน่ง ผู้ช่วยช่างเทคนิค สังกัด _____

ชื่องาน/หลักสูตรที่ทดสอบ OJT ว/ด/ป ที่ทดสอบ 17/02/54

วิธีการ / ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	เกณฑ์การพิจารณา	ผลการทดสอบ	
		ผ่าน	ไม่ผ่าน
1.วิธีการปฏิบัติงานการตรวจสอบระบบ DRY TYPE TRANSFORMER แบบที่ 1	-ถูกต้อง,ครบถ้วน	✓	
2.การปฏิบัติงาน	-สามารถปฏิบัติงานการตรวจสอบได้ถูกต้องตาม MEW-MS4-3087	✓	
3.การทดสอบ Function การทำงาน	-สามารถปฏิบัติงานการตรวจสอบได้ถูกต้องตามขั้นตอน	✓	

สรุปผลการประเมิน ผ่านการทดสอบ

จุดที่ต้องปรับปรุงแก้ไข —

ลงชื่อ _____ ผู้ทดสอบ
( )
17 / 02 / 54

ลงชื่อ นายชัยรัช [illegible] ผู้ถูกทดสอบ
( )
17 / 02 / 54

ลงชื่อ _____ ผู้บังคับบัญชา
(ตำแหน่งตั้งแต่ผู้จัดการส่วนขึ้นไป)
17, 02, 54

ต้นฉบับ : หน่วยงาน
สำเนา File.pdf : นปท.

การทดสอบและประเมินผลการฝึกอบรมด้วยการปฏิบัติงาน

ชื่อผู้ถูกทดสอบ _____ เลขประจำตัว _____

ตำแหน่ง ผู้ช่วยช่างเทคนิค สังกัด ฝผป ๔

ชื่องาน/หลักสูตรที่ทดสอบ OJT ว/ด/ป ที่ทดสอบ 17/02/54

วิธีการ / ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	เกณฑ์การพิจารณา	ผลการทดสอบ	
		ผ่าน	ไม่ผ่าน
1.วิธีการปฏิบัติงานการตรวจสอบสภาพหม้อแปลงไฟฟ้า Oil Immerse Type แบบที่ 1	-ถูกต้อง,ครบถ้วน	✓	
2.การปฏิบัติงาน	-สามารถปฏิบัติงานการตรวจสอบได้ถูกต้องตาม MEW-MS4-3009	✓	
3.การทดสอบ Function การทำงาน	-สามารถปฏิบัติงานการตรวจสอบได้ถูกต้องตามขั้นตอน	✓	

สรุปผลการประเมิน ผ่านการทดสอบ

จุดที่ต้องปรับปรุงแก้ไข —

ลงชื่อ _____ ผู้ทดสอบ
( )
17/02/54

ลงชื่อ นายชัยธวัช สีนวล ผู้ถูกทดสอบ
( )
17/02/54

ลงชื่อ _____ ผู้บังคับบัญชา
(ตำแหน่งตั้งแต่ผู้จัดการส่วนขึ้นไป)
17/02/54

/ /

ต้นฉบับ : หน่วยงาน

สำเนา File.pdf : นปท.

FMEP-CF-1004-4 Rev. 1 April 29, 2010

การทดสอบและประเมินผลการฝึกอบรมด้วยการปฏิบัติงาน

ชื่อผู้ถูกทดสอบ _____ เลขประจำตัว _____

ตำแหน่ง ผู้ช่วยช่างเทคนิค สังกัด นขช 4

ชื่องาน/หลักสูตรที่ทดสอบ OJT ว/ด/ป ที่ทดสอบ 21/02/54

วิธีการ / ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	เกณฑ์การพิจารณา	ผลการทดสอบ	
		ผ่าน	ไม่ผ่าน
1.วิธีการปฏิบัติงานการตรวจสอบสภาพ Neutral Grounding Resistorของหม้อแปลงไฟฟ้า แบบที่ 1	-ถูกต้อง,ครบถ้วน	✓	
2.การปฏิบัติงาน	-สามารถปฏิบัติงานการตรวจสอบได้ถูกต้องตาม MEW-MS4-3018	✓	
3.การทดสอบ Function การทำงาน	-สามารถปฏิบัติงานการตรวจสอบได้ถูกต้องตามขั้นตอน	✓	

สรุปผลการประเมิน ผ่านการทดสอบ

จุดที่ต้องปรับปรุงแก้ไข –

ลงชื่อ _____ ผู้ทดสอบ
(_____)
21 / 02 / 54

ลงชื่อ นายชัยธวัช อินจันทร์ ผู้ถูกทดสอบ
(_____)
21 / 02 / 54

ลงชื่อ _____ ผู้บังคับบัญชา
(ตำแหน่งตั้งแต่ผู้จัดการส่วนขึ้นไป)
21 / 02 / 54

ต้นฉบับ : หน่วยงาน
สำเนา File.pdf : นปท.

FMEP-CF-1004-4 Rev. 1 April 29, 2010

การทดสอบและประเมินผลการฝึกอบรมด้วยการปฏิบัติงาน

ชื่อผู้ถูกทดสอบ _____ เลขประจำตัว _____

ตำแหน่ง ผู้ช่วยช่างเทคนิค สังกัด นวน 4

ชื่องาน/หลักสูตรที่ทดสอบ OJT ว/ด/ป ที่ทดสอบ 21/02/54

วิธีการ / ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	เกณฑ์การพิจารณา	ผลการทดสอบ	
		ผ่าน	ไม่ผ่าน
1.วิธีการปฏิบัติงานการตรวจสอบ UPS แบบที่ 1 2.การปฏิบัติงาน	-ถูกต้อง,ครบถ้วน	✓	
3.การทดสอบ Function การทำงาน	-สามารถปฏิบัติงานการตรวจสอบได้ถูกต้องตาม MEW-MS4-3019	✓	
	-สามารถปฏิบัติงานการตรวจสอบได้ถูกต้องตามขั้นตอน	✓	

สรุปผลการประเมิน ผ่านการทดสอบ

จุดที่ต้องปรับปรุงแก้ไข —

ลงชื่อ _____ ผู้ทดสอบ
(_____)
21 / 02 / 54

ลงชื่อ _____ ผู้ถูกทดสอบ
(_____)
21 / 02 / 54

ลงชื่อ _____ ผู้บังคับบัญชา
(ตำแหน่งตั้งแต่ผู้จัดการส่วนขึ้นไป)
21 / 02 / 54

ต้นฉบับ : หน่วยงาน
สำเนา File.pdf : นปท.

การทดสอบและประเมินผลการฝึกอบรมด้วยการปฏิบัติงาน

ชื่อผู้ถูกทดสอบ _____ เลขประจำตัว_____

ตำแหน่ง ผู้ช่วยช่างเทคนิค _____ สังกัด อนุบ ๔

ชื่องาน/หลักสูตรที่ทดสอบ OJT _____ ว/ด/ป ที่ทดสอบ 21/02/54

วิธีการ / ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	เกณฑ์การพิจารณา	ผลการทดสอบ	
		ผ่าน	ไม่ผ่าน
1.วิธีการปฏิบัติงานการตรวจสอบ UPS แบบที่ 2 2.การปฏิบัติงาน	-ถูกต้อง,ครบถ้วน	✓	
	-สามารถปฏิบัติงานการตรวจสอบได้ถูกต้องตาม MEW-MS4-3020	✓	
3.การทดสอบ Function การทำงาน	-สามารถปฏิบัติงานการตรวจสอบได้ถูกต้องตามขั้นตอน	✓	

สรุปผลการประเมิน ผ่านการทดสอบ

จุดที่ต้องปรับปรุงแก้ไข —

ลงชื่อ _____ผู้ทดสอบ
(_____)
21 / 02 / 54

ลงชื่อ _นายชัยธวัช วิ่นหนู_____ผู้ถูกทดสอบ
(_____)
21 / 02 / 54

ลงชื่อ _____ผู้บังคับบัญชา
(ตำแหน่งตั้งแต่ผู้จัดการส่วนขึ้นไป)
21 / 02 / 54

ต้นฉบับ : หน่วยงาน
สำเนา File.pdf : นปท.

การทดสอบและประเมินผลการฝึกอบรมด้วยการปฏิบัติงาน

ชื่อผู้ถูกทดสอบ _____ เลขประจำตัว _____

ตำแหน่ง ผู้ช่วยช่างเทคนิค สังกัด คนงาน

ชื่องาน/หลักสูตรที่ทดสอบ OJT ว/ด/ป ที่ทดสอบ 21/02/54

วิธีการ / ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	เกณฑ์การพิจารณา	ผลการทดสอบ	
		ผ่าน	ไม่ผ่าน
1.วิธีการปฏิบัติงานการตรวจสอบ แบตเตอรี่ แบบที่ 1	-ถูกต้อง,ครบถ้วน	✓	
2.การปฏิบัติงาน	-สามารถปฏิบัติงานการตรวจสอบได้ถูกต้องตาม MEW-MS4-3022	✓	
3.การทดสอบ Function การทำงาน	-สามารถปฏิบัติงานการตรวจสอบได้ถูกต้องตามขั้นตอน	✓	

สรุปผลการประเมิน ผ่านการทดสอบ

จุดที่ต้องปรับปรุงแก้ไข —

ลงชื่อ _____ ผู้ทดสอบ
(_____)
24 / 02 / 54

ลงชื่อ _____ ผู้ถูกทดสอบ
(_____)
21 / 02 / 54

ลงชื่อ _____ ผู้บังคับบัญชา
(ตำแหน่งตั้งแต่ผู้จัดการส่วนขึ้นไป)
21 / 02 / 54

ต้นฉบับ : หน่วยงาน
สำเนา File.pdf : นปท.

การทดสอบและประเมินผลการฝึกอบรมด้วยการปฏิบัติงาน

ชื่อผู้ถูกทดสอบ _____ เลขประจำตัว_____

ตำแหน่ง ผู้ช่วยช่างเทคนิค สังกัด นครพนม

ชื่องาน/หลักสูตรที่ทดสอบ OJT ว/ด/ป ที่ทดสอบ 22/02/54

วิธีการ / ขั้นตอนการปฏิบัติงาน	เกณฑ์การพิจารณา	ผลการทดสอบ	
		ผ่าน	ไม่ผ่าน
1.วิธีการปฏิบัติงานการตรวจสอบ DC. Charger แบบที่ 1	-ถูกต้อง,ครบถ้วน	✓	
2.การปฏิบัติงาน	-สามารถปฏิบัติงานการตรวจสอบได้ถูกต้องตาม MEW-MS4-3025	✓	
3.การทดสอบ Function การทำงาน	-สามารถปฏิบัติงานการตรวจสอบได้ถูกต้องตามขั้นตอน	✓	

สรุปผลการประเมิน ผ่านการทดสอบ

จุดที่ต้องปรับปรุงแก้ไข —

ลงชื่อ _____ ผู้ทดสอบ
(_____)
22/02/54

ลงชื่อ นายชัยชาญ สีนรมย์ ผู้ถูกทดสอบ
(_____)
22/02/54

ลงชื่อ _____ ผู้บังคับบัญชา
(ตำแหน่งตั้งแต่ผู้จัดการส่วนขึ้นไป)
22/02/54

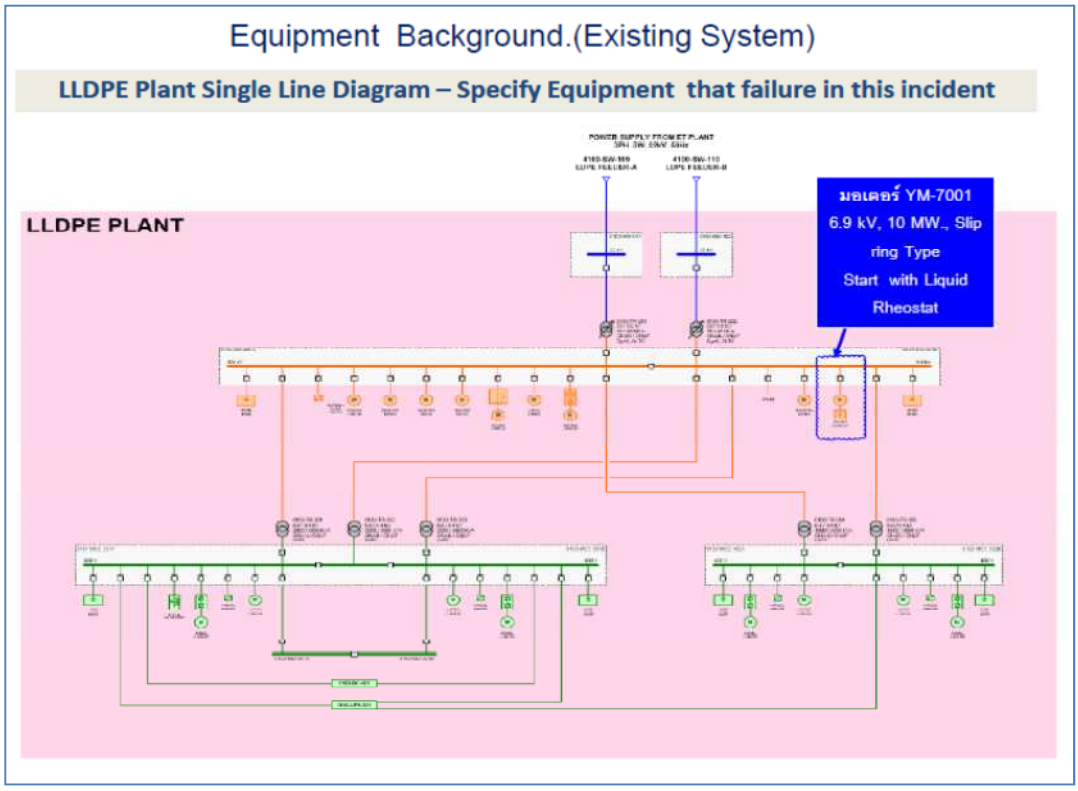
ต้นฉบับ : หน่วยงาน
สำเนา File.pdf : นปท.

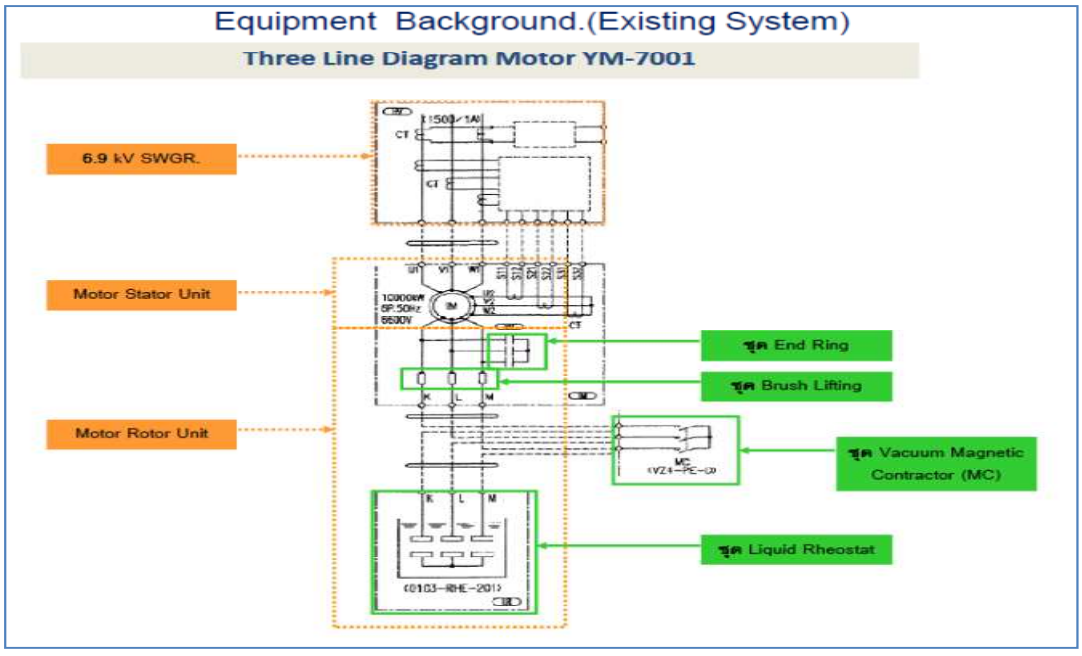
ภาคผนวก ฉ

เอกสารตัวอย่าง Knowledge Sharing

กรณีศึกษา ลำดับที่ 1

Mixer Motor 6.9 kV. 10 MW. (Slip ring type) ไม่ทำงานตาม Start Sequence ตามที่อี่ออกแบบ เมื่อเดินเครื่องใช้งานได้ส่งผลกระทบต่อความเสียหายกับชุด Slip ring และStarting Component





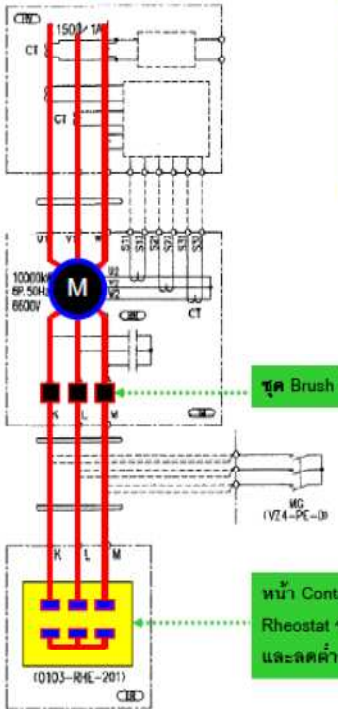
Equipment Background.(Existing System)

Starting Sequence Motor YM-7001

1	Start มอเตอร์ BRK. CLOSE จ่ายไฟ 6.9 kV เข้าสู่ Stator ของมอเตอร์
2	เริ่มการ Start ชุด Brush Lifting จะต่อกับ Slip Ring เพื่อต่อชุดขอลวด Rotor เข้ากับชุด Liquid Rheostat, ชุด Liquid Rheostat จะปรับค่าความต้านทานจากค่าสูง -> ต่ำ เพื่อลดกระแสขณะ Start มอเตอร์ (ใช้เวลาประมาณ 63 วินาที)
3	เมื่อมอเตอร์ Start ออกตัวได้และกระแสลดต่ำลง ชุด Vacuum Magnetic Contractor (MC) จะ "CLOSE" เพื่อ Short ตัดชุด Liquid Rheostat ออก
4	ชุด End Ring "CLOSE" และชุด Brush Lifting จะยกขึ้น (OPEN)
5	สิ้นสุดการ Start มอเตอร์

Equipment Background.(Existing System)

Starting Sequence Motor YM-7001 – Present Sequence of Step



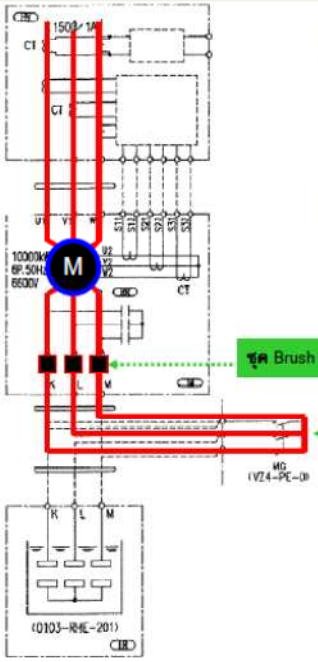
1	Start มอเตอร์ BRK. CLOSE จ่ายไฟ 6.9 kV เข้าสู่ Stator ของมอเตอร์
2	เริ่มการ Start ชุด Brush Lifting จะต่อกับ Slip Ring เพื่อต่อชุดขดลวด Rotor เข้ากับชุด Liquid Rheostat, ชุด Liquid Rheostat จะปรับค่าความต้านทานจากค่าสูง -> ต่ำ เพื่อลดกระแสขณะ Start มอเตอร์ (ใช้เวลาประมาณ 63 วินาที)

ชุด Brush Lifting "CLOSE"

หน้า Contact ของชุด Liquid Rheostat จะทำงานตั้งแต่จุดสูงสุดและลดต่ำลงมาเข้าหากันเรื่อยๆ

Equipment Background.(Existing System)

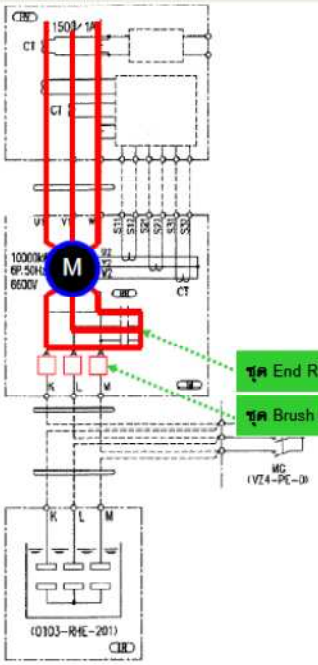
Starting Sequence Motor YM-7001 - Present Sequence of Step (Continuous)



1. Start มอเตอร์ BRK. CLOSE จ่ายไฟ 6.9 kV เข้าสู่ Stator ของมอเตอร์
2. เริ่มการ Start ชุด Brush Lifting จะต่อกับ Slip Ring เพื่อต่อชุดขอลวด Rotor เข้ากับชุด Liquid Rheostat, ชุด Liquid Rheostat จะปรับค่าความต้านทานจากค่าสูง -> ต่ำ เพื่อลดกระแสขณะ Start มอเตอร์ (ใช้เวลาประมาณ 63 วินาที)
3. เมื่อมอเตอร์ Start ออกตัวได้และกระแสลดต่ำลง ชุด Vacuum Magnetic Contractor (MC) จะ "CLOSE" เพื่อ Short ตัดชุด Liquid Rheostat ออก

Equipment Background.(Existing System)

Starting Sequence Motor YM-7001 - Present Sequence of Step (Continuous)



1. Start มอเตอร์ BRK. CLOSE จ่ายไฟ 6.9 kV เข้าสู่ Stator ของมอเตอร์
2. เริ่มการ Start ชุด Brush Lifting จะต่อกับ Slip Ring เพื่อต่อชุดขอลวด Rotor เข้ากับชุด Liquid Rheostat, ชุด Liquid Rheostat จะปรับค่าความต้านทานจากค่าสูง -> ต่ำ เพื่อลดกระแสขณะ Start มอเตอร์ (ใช้เวลาประมาณ 63 วินาที)
3. เมื่อมอเตอร์ Start ออกตัวได้และกระแสลดต่ำลง ชุด Vacuum Magnetic Contractor (MC) จะ "CLOSE" เพื่อ Short ตัดชุด Liquid Rheostat ออก
4. ชุด End Ring "CLOSE" และชุด Brush Lifting จะยกขึ้น (OPEN)
5. สิ้นสุดการ Start มอเตอร์

Sequence of event- ลำดับเหตุการณ์ที่มาของการเกิด Incident

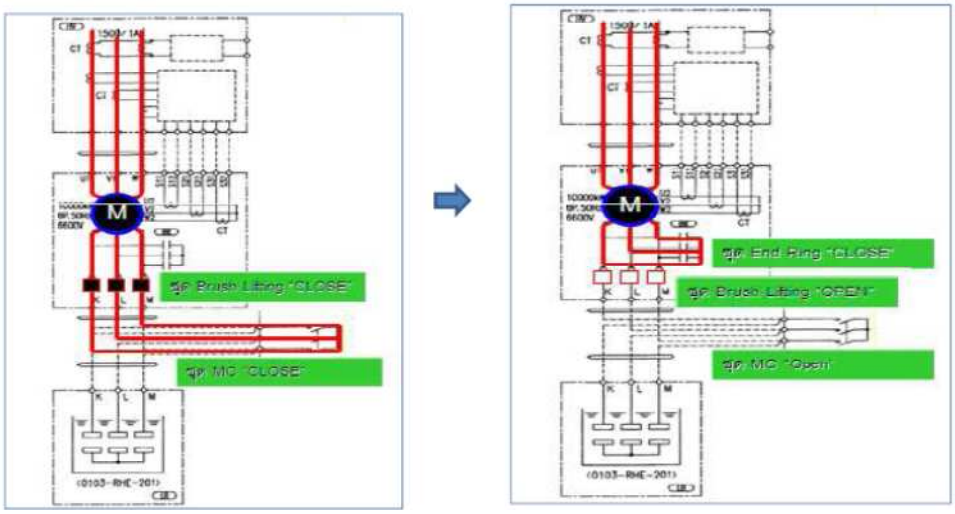
Time	Event
21/05/53 05:45 น.	LLDPE Plant Start มอเตอร์ YM-7001 Mixer Motor (Start up Plant ภายหลังจาก Shutdown)
10:00 น.	หน่วยงาน นบฟ.4 PTTME สำรวจตรวจสอบความเรียบร้อยของอุปกรณ์ไฟฟ้าและเหตุการณ์ทั่วไปที่ LLDPE Substation พบว่ามี ALARM ที่ชุด LFMP "Heavy Fault Liquid Rheostat" แต่มอเตอร์ YM-7001 ยังคง RUN
10:15 น.	จากการตรวจพบ ALARM ดังกล่าว, หน่วยงาน นบฟ.4 PTTME จึงเริ่มการตรวจสอบและพบว่า 1. ชุด Secondary Starting Panel ของมอเตอร์ YM-7001 แสดง ALARM "Start not complete" (ปกติถ้ากระบวนการ Start ไม่สมบูรณ์ จะมี ALARM "Start not complete" ชุด Package มอเตอร์ YM-7001 จะส่งสัญญาณ TRIP ไปยัง SWGR. เพื่อ STOP มอเตอร์) 2. Magnetic Contractor (MC) ทำงาน (ON) และยังมีกระแสไหลผ่านชุด MC อยู่ (ปกติถ้ามอเตอร์ YM-7001 Start โดยสมบูรณ์แล้ว ชุด End Ring จะต่อและ Brush Lifting ถูกยกขึ้น MC จะต้อง OFF และไม่มีกระแสไหลผ่าน) 3. Circuit Breaker ของชุดมอเตอร์ Brush Lifting TRIP ด้วย Overload

จากผลการตรวจสอบทั้งหมดข้างต้นทำให้ทราบว่ากระบวนการ Start ของมอเตอร์ YM-7001 ยังไม่สมบูรณ์ (Not completed)

Present Starting Sequence Motor YM-7001 Status not complete

– ตั้งแต่ Start Motor วันที่ 21/05/53 เวลา 05:45 น.เป็นต้นมาจนถึงเวลาที่ หน่วยงาน นบฟ.4 PTTME ตรวจพบ Alarm และเข้าตรวจสอบ พบว่า Motor Run ใช้งานโดยกระบวนการ Start ที่ยังไม่ Complete โดยถึง Step ที่ชุด Vacuum Magnetic Contractor (MC) "CLOSE" เพื่อ Short ลัดชุด Liquid Rheostat ออก แต่กระแสไฟฟ้ายังจ่ายผ่านชุด Brush ที่ลดอยู่บน Slip ring

– การ Start Motor และ ภาวะ Run ที่ Complete ต้องเป็นแบบนี้



Sequence of event
– ภายหลังจากตรวจสอบพบว่า Start not Complete & การแก้ไข

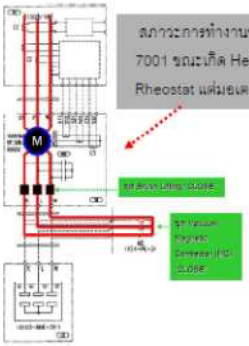
Time	Event
12:00 น.	หน่วยงาน นบพ.4 PTTME แจ้ง Operation ถึงปัญหาและ ขอ Stop มอเตอร์ YM-7001 เพื่อดำเนินการตรวจสอบโดยละเอียด
	<u>จากการตรวจสอบพบสาเหตุของปัญหา ดังนี้</u> - Stopper Pin ของชุด Brush Lifting อยู่ในตำแหน่งไม่ถูกต้อง "Manual Operation" ทำให้ Brush Lifting ไม่ Open ด้วยการทำงานของ Motor Brush Lifting เมื่อดำเนินการ Start ตาม Sequence ผลที่ตามมาคือ พบว่าชุดแปรงถ่านสึก และมีฝุ่นผงแปรงถ่านจำนวนมากภายใน Slip Ring Compartment จากการที่ Motor Run ใช้งานในสภาวะที่ Start not Complete -พบว่ามีสาย Bypass สัญญาณ TRIP ที่ชุด Package มอเตอร์ YM-7001ส่งไปให้ SWGR. Panel ซึ่งทำให้มอเตอร์ไม่ถูก Trip ออกไปเมื่อเกิดความผิดปกติจากการ Start not Complete ใน Function นี้ **<u>การแก้ไข</u>** 1. ปรับ Stopper Pin ของชุด Brush Lifting ให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องคือตำแหน่ง "Power Operation" 2. ทำความสะอาดภายใน Slip Ring Compartment 3. ถอดสาย Bypass สัญญาณ TRIP ออก และทดสอบการทำงาน (Functional Test) 4. ทดสอบการทำงานของชุด Brush Lifting (Functional Test) 3 ครั้ง

Sequence of event
– การ Start Motor ภายหลังจากที่ได้ทำการการแก้ไข

Time	Event
13:03 น.	ทำการ Start มอเตอร์ YM-7001 ภายหลังจากแก้ไข ขณะมอเตอร์เริ่มออกตัว (ประมาณ 3-5 Sec.) Protection Relay ของ SWGR. ทำงานสั่ง TRIP ด้วย Function "NOC3High" (50-Over current) และมีควันออกมาจาก Slip Ring Compartment
13:10 น.	เข้าตรวจสอบมอเตอร์ YM-7001 อีกครั้ง ที่ Slip Ring Compartment จากการตรวจสอบพบสาเหตุของปัญหาคือ -พบฝุ่นผงแปรงถ่านจำนวนมากอยู่ภายในชุด Slip Ring ซึ่งสะสมในร่องลึกเข้าไปของ Slip ring ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าการ Cleaning ในการแก้ไขครั้งแรกนั้น นำฝุ่นผงแปรงถ่านนี้ออกไม่หมดจึงส่งผลให้เมื่อมีการ Start เกิดการการ Arc ที่บริเวณ End Ring และ Main Motor จึงถูก Trip ด้วย Protection Relay ใน Function "Over current" -<u>การแก้ไข</u> 1. ตกแต่งและทำความสะอาดจุดที่เกิดการ Arc 2. ทำความสะอาดภายใน Slip Ring Compartment โดยละเอียด 3. ทดสอบค่าความเป็นฉนวน (Insulation Resistance Test) ระหว่างชุดขดลวด Rotor กับ Ground ที่ 1000VDC ได้ค่า 2.89 Gohm 4. ทดสอบการทำงานของชุด Brush Lifting (Functional Test)
15:07 น.	ทำการ Start มอเตอร์ YM-7001 อีกครั้ง และกระบวนการ Start เป็นปกติสมบูรณ์ (Completed)

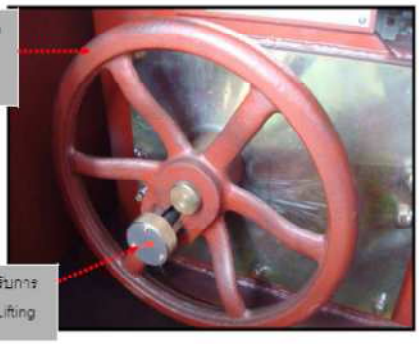
Investigate Cause of Incident

Item	Failure Equipment / Function for Incident	Cause
1	Brush Lifting ของมอเตอร์ YM-7001 ไม่ยก (OPEN) ตาม Starting Sequence ปกติที่ถูกต้อง จึงมีกระแสไฟฟ้าของ Rotor ไหลผ่านชุดแปรงถ่าน (Carbon Brush) ตลอดเวลา	จากการตรวจสอบพบว่าชุด Brush Lifting ถูกเลือกเป็น Manual Operation (จากตำแหน่ง ชุด Stopper Pin) จึงทำให้ชุด Brush Lifting ไม่ทำงานในสภาวะ Starting Sequence ปกติ
Investigate to find out cause of failure	การเข้าไปตรวจสอบ (PM Inspection) ของทีมงาน นบพ.4 PTTME ในช่วงงาน S/D ไม่ได้มีการตรวจสอบ / ทดสอบ Function การทำงานของชุด Brush Lifting วิธีการและInspection Sheet ที่ใช้ในการตรวจสอบเป็นเพียงการ Cleaning ทั่วไป อย่างไรก็ตามจาก Cause ที่เกิดขึ้นนี้และงาน PM ของ นบพ 4 ในช่วงงาน S/D เป็นการเปิดงานล่าสุด ดังนั้นเป็นไปได้ที่กระบวนการบำรุงรักษา/ ตรวจสอบของทีมงาน ไม่ละเอียดพอที่คลอบคลุมถึงการให้มีการตรวจสอบตำแหน่ง Stopper Pin และ Confirm ให้เป็นตำแหน่ง "Power Operation" ก่อนปิดงาน	



สภาวะการทำงานของมอเตอร์ YM-7001 ขณะเกิด Heavy Fault Liquid Rheostat แต่มอเตอร์ยังคง RUN อยู่

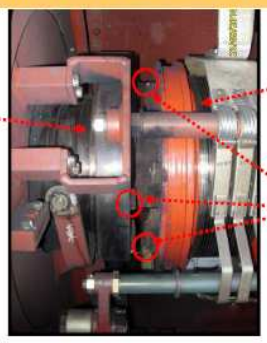
Hand wheel ของ Brush Lifting ใช้ใน Mode Manual Operation



Stopper Pin สำหรับปรับการทำงานของชุด Brush Lifting

Investigate Cause of Incident

Item	Failure Equipment / Function for Incident	Cause
2	Start มอเตอร์ YM-7001แล้ว TRIP ด้วย Protection Relay Function "NOC3High" (50-Overcurrent)	จากการตรวจสอบ พบการ Arc ที่บริเวณชุด End Ring เพราะมีฝุ่นผงแปรงถ่านจำนวนมากค้างอยู่ในช่องชุด Slip Ring ซึ่งเป็นร่องลึก เมื่อ Start มอเตอร์จึงทำให้ฝุ่นผงแปรงถ่านกระจายฟุ้ง จนทำให้เกิดการ Flash over ขึ้นที่ชุด Slip ring กับชุด End Ring
Investigate to find out cause of failure	ฝุ่นผงแปรงถ่านที่ตกอยู่ภายใน Slip ring มีบางส่วนไปตกอยู่ตามร่องลึกในโครงสร้างของ Slip ring จนทีมงาน นบพ.4 PTTME ที่ทำความสะอาดก่อนทำการ Start นั้นตรวจสอบไม่พบ (อาจด้วยความละเอียดของวิธีการ, เครื่องมือ, เพื่อใช้ในการตรวจสอบขณะนั้น) ประกอบกับ ความรีบเร่งเพื่อแก้ไขปัญหาให้กับทาง Plant จึงทำให้ตรวจสอบไม่ละเอียดพอทำให้เกิดปัญหานี้ขึ้น (โดยปกติการดำเนินงานแก้ไขเมื่อต้องตรวจสอบชุด Slip ring นั้นจะอยู่ในขอบข่ายงาน Major Inspection Motor นี้ซึ่งต้องเป็นการดำเนินการโดยใช้ Outsource ที่มี Skill ที่ Manufacturer รับรองหรือ Recommend ให้เป็นผู้ดำเนินการแต่กรณีดังกล่าวเป็นการแก้ปัญหาโดยเร่งด่วนซึ่งอาจทำให้เกิดความผิดพลาดจากความไม่ละเอียดนี้ขึ้น)	



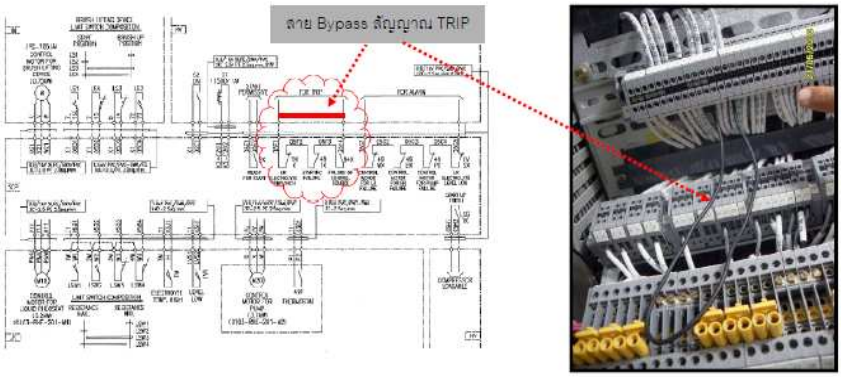
ชุด End Ring

ชุด Slip Ring

จุดที่เกิด Arcing

Investigate Cause of Incident

Item	Failure Equipment / Function for Incident	Cause
3	มอเตอร์ YM-7001 ไม่ถูก Trip ออกเมื่อไม่ Start ตาม Starting Sequence ปกติที่ถูกต้อง (เมื่อมี ALRAM "Start not complete" และ "Heavy Fault Liquid Rheostat" ควรสั่ง TRIP มอเตอร์ออกเพื่อตรวจสอบ)	จากการตรวจสอบ พบว่าสายสัญญาณ TRIP ที่ชุด Package มอเตอร์ YM-7001ส่งไปให้ SWGR. Panel เพื่อสั่ง STOP มอเตอร์ มีการ Bypass อยู่ จึงทำให้สัญญาณ TRIP ไม่ทำงาน
Investigate to find out cause of failure	ทาง นบพ.4 PTTME ไม่ทราบสาเหตุการ Bypass สัญญาณ TRIP เพราะที่ผ่านมาไม่ได้มีงานนี้เพื่อตรวจสอบหรือแก้ไข (อาจเกิดจากการทดสอบช่วงงาน Commissioning แล้วไม่ได้ปลดออก) ปกติระบบป้องกันที่ออกแบบไว้จะทำงานเพื่อป้องกันความเสียหายกับมอเตอร์เพื่อรองรับความผิดปกติ/Error จากหลายๆสาเหตุอยู่แล้วเมื่อมีการ Bypass สัญญาณนี้ไปจึงเกิดความเสียหายตามมา	

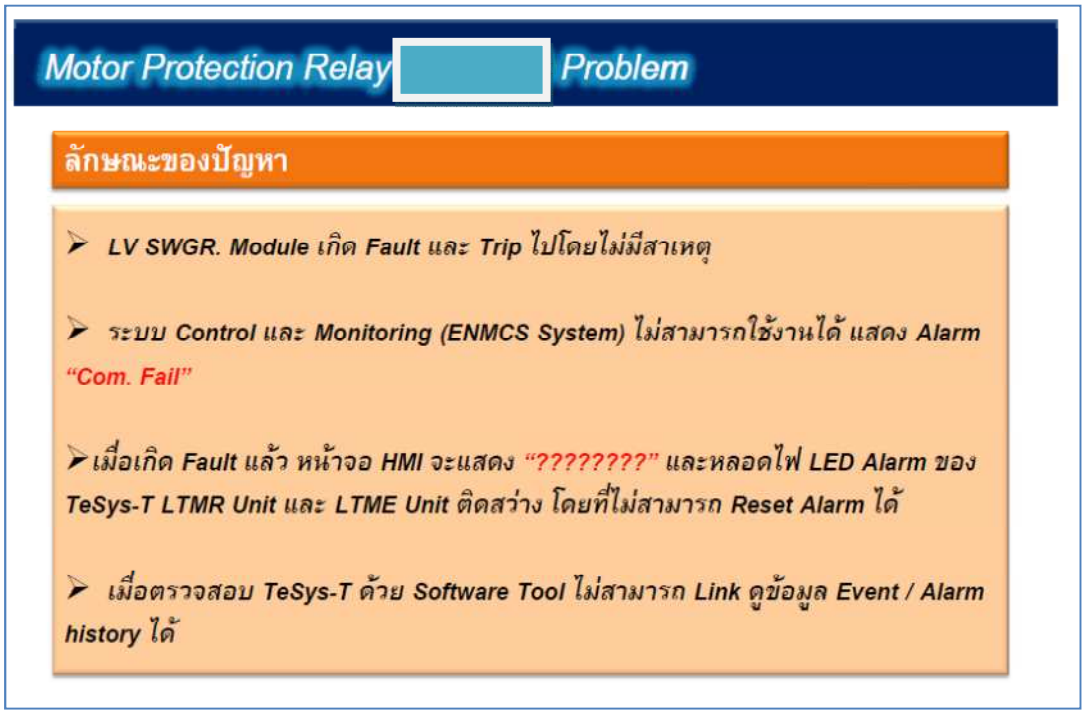


Plan to Correction : แนวทางการแก้ไขป้องกัน

Item	Cause	แนวทางแก้ไขป้องกัน
1	Brush Lifting ของมอเตอร์ YM-7001 ไม่ยก (OPEN) ตาม Starting Sequence ปกติที่ถูกต้อง จึงมีกระแสไฟฟ้าของ Rotor ไหลผ่านชุดแปรงถ่าน (Carbon Brush) ตลอดเวลาซึ่งจากการตรวจสอบพบว่าชุด Brush Lifting ถูกเลือกเป็น Manual Operation (จากตำแหน่ง ชุด Stopper Pin) จึงทำให้ชุด Brush Lifting ไม่ทำงานในสภาวะ Starting Sequence ปกติ	- นบพ.4 PTTME จัดทำ Work Instruction และ Inspection Report โดยทบทวนให้มีความเหมาะสมและครอบคลุมสำหรับการตรวจสอบตำแหน่ง Stopper Pin ก่อนปิดงาน Maintenance - นบพ.4 PTTME จัดอบรมทีมงานเพื่อให้ความรู้ในการปฏิบัติงานที่ถูกต้อง และการระมัดระวังในการปฏิบัติงาน Maintenance ใน Equipment นี้
2	Start มอเตอร์ YM-7001แล้ว TRIP ด้วย Protection Relay Function "NOC3High" (50-Overcurrent) ซึ่งจากการตรวจสอบ พบการ Arc ที่บริเวณชุด End Ring เพราะมีฝุ่นผงแปรงถ่านจำนวนมากค้างอยู่ในช่องชุด Slip Ring ซึ่งเป็นร่องลึก เมื่อ Start มอเตอร์จึงทำให้ฝุ่นผงแปรงถ่านกระจายฟุ้ง จนทำให้เกิดการ Flash over ขึ้นที่ชุด Slip ring กับชุด End Ring	-นบพ.4 PTTME จัดทำวิธีการ/ คู่มือ การตรวจสภาพ Slip ring รวมทั้งวิธีการทดสอบจุดต่างๆในโครงสร้างโดยละเอียดเพื่อเพิ่มความมั่นใจในกระบวนการ Cleaning Slip ring แล้วจัดอบรมทีมงานเพื่อให้ยึดถือปฏิบัติเมื่อต้องดำเนินงานลักษณะนี้ - นบพ.4 PTTME และ Plant Operation จะMonitoring Trend of Stater Current ของมอเตอร์ เพื่อตรวจสอบสิ่งผิดปกติและแก้ไข
3	มอเตอร์ YM-7001 ไม่ถูก Trip ออกเมื่อไม่ Start ตาม Starting Sequence ปกติที่ถูกต้อง *(เมื่อมี ALRAM "Start not complete" และ "Heavy Fault Liquid Rheostat" ควรสั่ง TRIP มอเตอร์ออกเพื่อตรวจสอบ)* จากการตรวจสอบพบว่าสายสัญญาณ TRIP ที่ชุด Package มอเตอร์ YM-7001ส่งไปให้ SWGR. Panel เพื่อสั่ง STOP มอเตอร์ มีการ Bypass อยู่ จึงทำให้สัญญาณ TRIP ไม่ทำงาน	-นบพ.4 PTTME ทบทวน Work Instruction และ Inspection Report ในงานบำรุงรักษา Switchgear ซึ่งเป็นชุดจ่ายไฟให้กับ Motor โดยพิจารณาเพิ่มการตรวจสอบ/ ทดสอบ Function Trip - ทาง Plant Operation ควรให้มีการปฏิบัติเพื่อตรวจสอบสัญญาณ Alarm ต่างๆที่เกิดขึ้นเป็นระยะจาก Control Room และ Substation และเมื่อพบสิ่งผิดปกติให้แจ้ง Maintenance ให้ดำเนินการโดยทันที

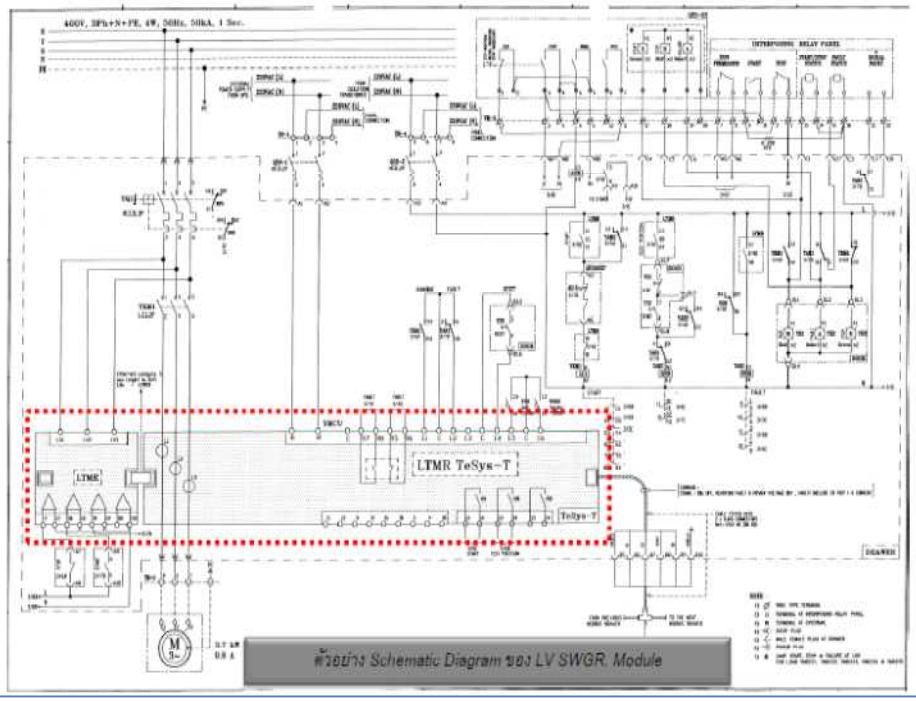
กรณีศึกษา ลำดับที่ 2

Motor Protection Relay มีอาการ Hang ส่งผลให้ Motor หยุดทำงาน เป็นผลให้ กระบวนการผลิตต้อง Shutdown



เมื่อ TeSys-T เกิดอาการ Hang หน้าตู้แสดงหลอดไฟ Alarm โดยไม่สามารถ Reset ได้ และ Front panel แสดง "???????"

Motor Protection Relay [redacted] Problem



ตัวอย่าง Schematic Diagram ของ LV SWGR Module

Motor Protection Relay [redacted] Problem

การแก้ไขปัญหาเบื้องต้น

- ต้องทำการ Rack-in (เพื่อตัด Power Supply ของ TeSys-T) และ Rack-out เข้าไปใหม่ จึงสามารถ Reset Alarm ได้
- สามารถ Start มอเตอร์และใช้งาน LV SWGR Module นั้นได้เป็นปกติ

Motor Protection Relay [redacted] Problem

วิธีการแก้ไขปัญหาที่เคยได้ดำเนินการแล้ว

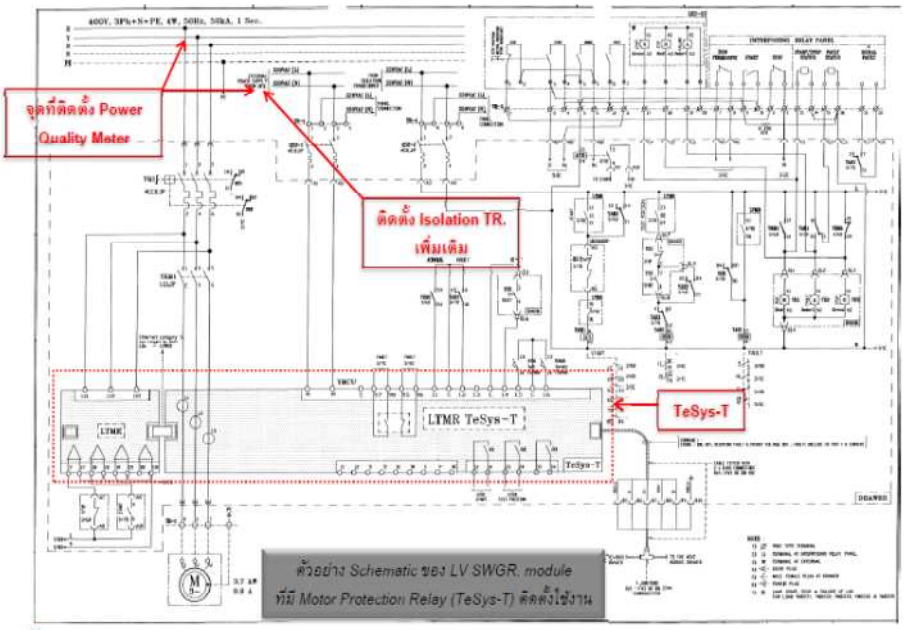
จากการประชุมร่วม PTTPE / PTTME / TTCL / Schneider ได้ข้อสรุปแก้ไขระบบ ดังนี้

- ตรวจสอบสาย Communication Cable Link ระหว่าง LTMR กับ LTME Unit
- ตรวจสอบสาย Ground ที่ต่อ SWGR. Module Casing
- Upgrade Firmware version ของ TeSys-T ให้สูงขึ้น
- แก้ไขค่า Protection Relay Setting ของ TeSys-T ใน Function "Voltage Load Shedding" เพื่อป้องกันปัญหาของ Voltage dip
- ติดตั้ง Isolation transformer ที่ Power Supply ที่จ่ายให้กับ TeSys-T เพื่อป้องกันปัญหาสัญญาณรบกวน (Noise)
- ติดตั้ง Special Firmware เพื่อใช้ดู Fault Code เมื่อ TeSys-T Hang
- ติดตั้ง Power Quality Meter ที่ระบบไฟฟ้า Power supply ของ TeSys-T และของ LV SWGR. module เพื่อเก็บข้อมูลนำไปวิเคราะห์
- ส่งปัญหาและข้อมูลต่าง ๆ ให้กับ Schneider ที่ France ช่วยวิเคราะห์

Motor Protection Relay [redacted] Problem

รูปแสดง การเปลี่ยนสาย Communication cable link เป็นสายสั้นเพื่อแก้ไขปัญหาสัญญาณรบกวน

Motor Protection Relay [redacted] Problem



Motor Protection Relay [redacted] Problem

การติดตั้ง Isolation Transformer ที่ Power Supply ที่จ่ายให้กับ TeSys-T
เพื่อป้องกันปัญหาสัญญาณไฟฟ้ารบกวน TeSys-T

Upgrade Firmware version ใหม่ที่สูงขึ้นให้กับ TeSys-T

Motor Protection Relay [redacted] Problem

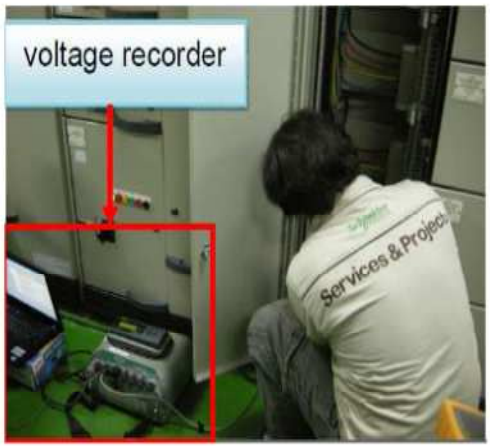
Old setting voltage Load shedding
Loss level = 65% Vnom
Restart level = 90% Vnom

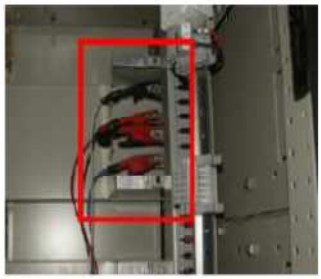
New setting voltage Load shedding
Loss level = 50% Vnom
Restart level = 100% Vnom

การแก้ไขค่า Protection Relay Setting ของ TeSys-T ใน Function "Voltage Load Shedding" เพื่อป้องกันปัญหาของ Voltage dip

ปรับตั้งค่า Relay Setting โดยยอมให้เกิด Voltage dip มากขึ้น จาก Nominal Voltage ค่าเดิม 65% >> 50% เพื่อให้ TeSys-T ทำงานช้าลง (Sensitive น้อยลง)

Motor Protection Relay [redacted] Problem





ติดตั้ง Power Quality Meter ที่ระบบไฟ Power supply ของ TeSys-T และระบบไฟ Power/Control ของ LV SWGR. module เพื่อเก็บข้อมูลนำไปวิเคราะห์

Motor Protection Relay [redacted] Problem

การตรวจสอบวิเคราะห์ปัญหา โดยผู้เชี่ยวชาญจาก SCHNEIDER

วันที่ 6-9 ธ.ค. 2553 - ผู้เชี่ยวชาญของ [redacted] จากประเทศจีน (Software Topic) และฝรั่งเศส (EMC Topic) ได้เข้ามาตรวจสอบข้อมูลเกี่ยวกับปัญหา TeSys-T Hang ที่ LDPE/LLDPE Plant โดยละเอียด พบข้อมูลดังนี้

1. LV SWGR. Module เกิด Fault และ Trip โดยไม่มีสาเหตุ

2. เมื่อเกิด Fault แล้ว หน้าจอ HMI จะแสดง "????????" และหลอดไฟ LED Alarm ของ LTMR Unit และ LTME Unit ติดสว่าง โดยที่ไม่สามารถ Reset Alarm ได้

3. เมื่อตรวจสอบ TeSys-T ด้วย Software Tool พบ Internal Fault Code-89 (Mailbox of voltage detection is overflow)

Motor Protection Relay [redacted] Problem

ผลการตรวจสอบวิเคราะห์ปัญหา โดยผู้เชี่ยวชาญจาก SCHNEIDER

1. อาการ Hang ของ TeSys-T หรือ Internal Fault Code-89 (Mailbox Of voltage detection is overflow) เกิดจากปัญหา Zero-Crossing Disturbance ซึ่งเกิดจากสัญญาณรบกวน (Noise) ในระบบไฟฟ้า ทำให้ TeSys-T ต้องตรวจจับสัญญาณที่ไม่พึงประสงค์เป็นจำนวนมากจน Memory หรือ Mailbox ของ Voltage Detection Task ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสัญญาณ Voltage ก่อนส่งให้ Microprocessor ประมวลผล ได้รับ Information มากเกินไปจนทำให้เกิด Mailbox Information Overflow จึงเป็นสาเหตุให้ TeSys-T Hang

2. ตรวจพบปัญหา EMC (Electromagnetic Compatibility) จากสัญญาณรบกวน (Noise) ทั้งในระบบไฟฟ้า Power Supply และระบบ Control

Motor Protection Relay [redacted] Problem

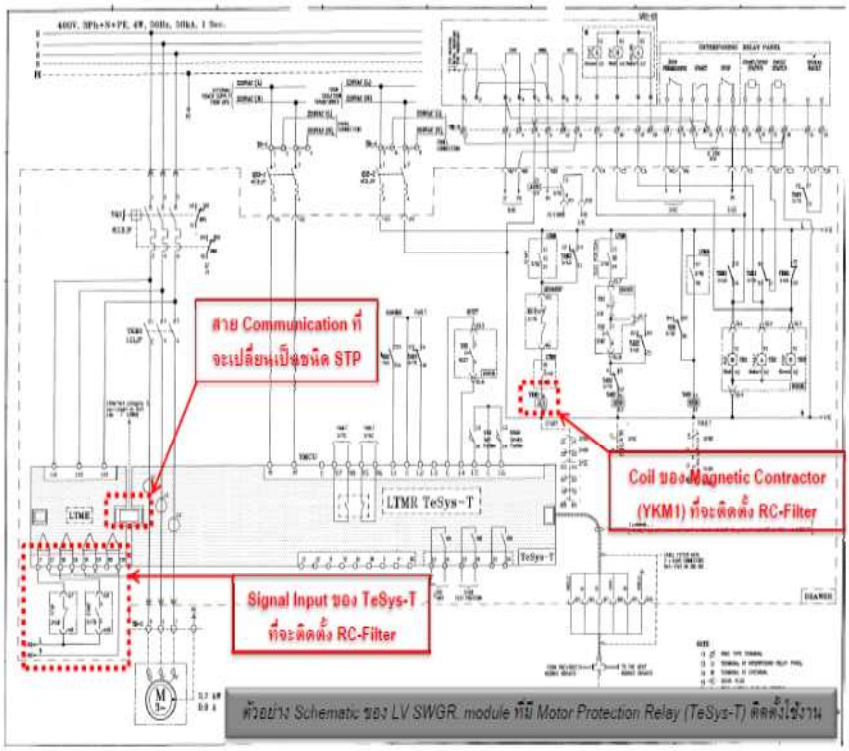
แนวทางแก้ไขปัญหา [redacted]

ด้าน HARDWARE

เพื่อป้องกันปัญหา EMC จากสัญญาณรบกวน (Noise) ทาง [redacted] จะทำการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมดังนี้

- ✓ *ติดตั้ง RC-Filter ที่ Coil ของชุด Main Magnetic Contactor*
- ✓ *ติดตั้ง RC-Filter ที่ Signal Input ของ TeSys-T ที่มาจาก LHS (Local Hand Switch) เพื่อลดผลของ Induce Voltage ที่เกิดขึ้นในสายสัญญาณ Input Signal ของ TeSys-T*
- ✓ *เปลี่ยนสาย Communication Cable ระหว่าง LTMR Unit กับ LTME Unit จากชนิด UTP Cable (Unshielded Twisted Pair) เป็น STP Cable (Shielded Twisted Pair) และติดตั้ง Metallic Clamp กับ Shield ต่อลง Ground เพิ่มเติม เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวน (Noise)*

Motor Protection Relay [redacted] Problem



Motor Protection Relay [redacted] Problem

แนวทางแก้ไขปัญหา โดย SCHNEIDER

ด้าน SOFTWARE

ทาง SCHNEIDER จะทำการพัฒนา Firmware Version ใหม่ของ TeSys-T เพื่อแก้ไขจุดบกพร่องต่าง ๆ ของ Firmware Version เก่าจากปัญหา Internal Fault Code-89 (Mailbox Of voltage detection is overflow) ดังนี้

✓ ปรับปรุง Firmware โดยเขียน Program เพิ่ม Software Filter เพื่อกรองสัญญาณรบกวน (Noise) ต่าง ๆ เนื่องจากปัญหา Zero-Crossing Disturbance ออกก่อนที่จะส่งเข้า Mailbox ของ Voltage Detection Task เพื่อป้องกันไม่ให้มี Information มากเกินไปจนทำให้เกิด Mailbox Information Overflow

✓ ปรับปรุง Firmware โดยเพิ่มขนาด Mailbox ของ Voltage Detection Task ให้มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อป้องกัน Mailbox Information Overflow

Motor Protection Relay [redacted] Problem

ระยะเวลาที่ดำเนินการ

❖ การติดตั้ง Firmware Version ใหม่ ขณะนี้อยู่ในระหว่างการพัฒนาและทดสอบ Software ในห้องทดสอบอุปกรณ์ของ [redacted] ที่ USA โดยคาดว่าจะสามารถนำมาติดตั้งที่ Site ได้ Week ที่ 3 มกราคม 2554

❖ การติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติม (RC-Filter) ขณะนี้อยู่ในระหว่างการจัดเตรียมวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ แผนงานในการดำเนินการ Week ที่ 1 มกราคม 2554

กรณีศึกษา ลำดับที่ 3

ปัญหา Motor Boiler feed pump พิกัด 6.9 kV. 1.5 MW. เมื่อ Overhaul เสร็จแล้วนำมาติดตั้งพบการเกิด Vibration เนื่องจากสาเหตุ Soft foot

PM-3601R Trip by Vibration high-high

14-10-10

10.00 ทางไฟฟ้าได้เข้าทำการเปิด Work Permit เพื่อเข้าทำการตรวจสอบ Motor PM-3601R ที่ trip จาก Vibration high-high ที่ค่าประมาณ 12 mm/s (DCS)

11.00 ได้ทำการเปิด Boxes เพื่อ check wiring ของตัวจับค่า Vibration ร่วมกับทาง Instrument และก็ไม่เห็นความผิดปกติอะไร จึงขอ test run Motor อีกครั้งปรากฏว่า Motor trip ด้วย Vibration high-high เหมือนเดิม

13.30 ได้แจ้งทาง Mechanical ทำการปลด Coupling เพื่อทดลอง Test no load ปรากฏว่ามีเสียงดังผิดปกติที่ฝั่งด้าน Drive Motor ปรากฏว่ายัง Trip มาจาก Vibration High-High เหมือนเดิม จากการวิเคราะห์แล้วสาเหตุน่าจะมาจาก Bearing ด้าน Drive-N เสียหาย

16.30 ได้ดำเนินการแจ้งผู้เกี่ยวข้องเพื่อทราบถึงสาเหตุของ Motor ที่ trip และได้ติดต่อทาง Vendor เพื่อเข้ามาประเมินและหาแนวทางเพื่อดำเนินการแก้ไขต่อไป

19.00 ทาง U-Services ได้เข้ามาตรวจสอบและแจ้งว่าจะต้องทำการยกซ่อมโดยต้องใช้ Crane 50 ton. และกำลังคนประมาณ 4 คน และจะเข้ามายกไปซ่อมได้ในวันที่ 15-10-10 โดยให้ทางไฟฟ้าเปิด Work Permit ไว้เพื่อดำเนินงานในวันและเวลาดังกล่าว

15-10-10

08.30 ได้ทำการเปิด Work permit และรับพนักงานของ U-services เพื่อทำการ safety training และดำเนินการเรื่องตรวจสอบรถ Crane และรถ Hiab ก่อนเข้าทำงาน

10.00 ทีมงาน U-services จำนวน 4 คนพร้อม Crane 50 ton และรถ hiab เข้า Plant และแจ้งทาง Operation ทำการ Isolate Breaker ที่ Main-Sub ตู้ 4100-SW-220 และ Valve พร้อมกับแขวน tag ก่อนเริ่มงาน และได้ฟังการอธิบายการทำงานจาก U-service ก่อนเริ่มงาน

10.30 ทีมงานไฟฟ้าได้ทำการ disconnection power and control cable และทาง Instrument ได้ Disconnection cable for vibration sensor จากนั้นทีมงาน U-service ได้ทำการถอด Motor เพื่อยกซ่อมที่ Shop U-services

Power boxes

Control boxes

Heater boxes

11.00 ทางทีมงาน U-services ได้ดำเนินการถอดและยก Motor PM-3601R เพื่อทำการยกไปซ่อมที่ Shop ของ U-service ต่อไป

14.00 ทางทีมงานไฟฟ้าได้เดินทางไปที่ Shop U-services เพื่อติดตามดูการดำเนินการตรวจหาสาเหตุ และดำเนินการแก้ไข ของทาง U-service สิ่งที่พบก็คือ Bearing ด้าน Dive- N เสียหายส่วนทางด้าน Non Dive อยู่ในสภาพปกติ

งานถอดเช็ค Motor PM-3601R ที่ Shop U-services

Bearing ด้าน Dive-N ที่เสียหาย จากรูปเป็นการผ่าออก เนื่องจาก Bearing ไม่สามารถดึงออกมาได้โดยวิธีการปกติ

Bearing ด้าน non-Dive อยู่ในสภาพปกติ

ทางU-services ได้ทำการตรวจเช็คตัว Cooling water system พบเศษหิน 2 ก้อน

16.30 ทาง U-service ได้แจ้งว่าจะดำเนินการซ่อมและคาดว่าจะแล้วเสร็จและสามารถนำ Motor กลับมาติดตั้งได้ประมาณ วันที่ 16-10-10 เวลาประมาณ14.00 น.

16-10-10

09.00 U-service แจ้งผลการ Test no load Motor ปกติและพร้อมจะนำกลับมาติดตั้งได้ประมาณ 14.00 น. ทางทีมงานไฟฟ้าได้ทำการเปิด Work permit เพื่อรอการติดตั้งจากทีม U-services

14.00 U-services ได้นำ Motor กลับมาติดตั้งคืน แล้วเสร็จเวลาประมาณ 15.30

15.30 ทีมงานไฟฟ้าได้ทำการ Reconnection Power & Control cable และทีม Instrument Reconnection vibration cable

16.30 แจ้งทาง Operation ขอ test no load Motor PM-3601R ประมาณ 30 นาที ค่า Vibration ทั้งทางด้าน DE และ NDE เช็คจาก DCS อยู่ที่ประมาณ 3 mm/S (p-p) ซึ่งอยู่ในค่าปกติ จึงได้แจ้ง Operation เพื่อขอ Stop Motor

17.00 ทีมงาน U-services หา Alignment และทางทีม Mechanical ต่อ Coupling เข้ากับ Pump ดำเนินการแล้วเสร็จเวลาประมาณ 21.00

21.00 แจ้ง Operation เพื่อขอ test on load Motor พร้อมแจ้ง Instrument monitor ค่า Vibration ที่ DCS ค่าที่ได้อยู่ประมาณ 6-7 mm/sec(p-p) และ alarm high จึงขอทาง Operation stop ไว้ก่อน ทาง Operation ขอให้ Condition Motor อยู่ในตำแหน่ง Stand by ทางทีม U-services จะเข้ามาแก้ไขใหม่ในวันที่ 17-10-10

17,18-10-10

08.30 ทำการเปิด work permit เพื่อให้ทาง U-service เข้ามาดำเนินการแก้ไข Motor PM-3601R ที่ค่า Vibration สูงโดยมีเครื่องเช็ค Vibration และ Specialists ของ U-service มาวิเคราะห์หาสาเหตุด้วย

09.00 นำทีมงาน U-services เข้า Plant และแจ้งทาง Mechanical ปลด coupling ดำเนินการแก้ไข Motor PM-3601R ที่มีค่า Vibration สูงโดยการทดลองปรับ Shim plate ฐานของ Motor ทั้ง 4 ด้านและทดลอง test no load run Motor โดยใช้เวลาในการเช็คหาสาเหตุ

ตั้งแต่เวลาประมาณ 09.00 -18.30 น.ทาง Specialists ของ U-service สรุปว่าเกิดจาก Soft foot ที่ฐานของ Motor ต้องเช็คว่าเกิดจากด้านไหน และทางทีมงานขอเช็คหาสาเหตุโดยการ Run Motorและเช็คหาทีละจุดโดยพบว่า Base plate ด้านหน้าของ Motor ด้าน Cable boxes ที่ใกล้กับตัววัด Vibration คือจุดที่เกิด soft foot ทางทีมงานได้แก้ไขอยู่หลายรอบ พอคลายน็อตค่า vibration ต่ำแต่พออัดน็อตให้แน่นค่า vibration ก็จะกลับมาสูงอีกเป็นอย่างนี้ตลอดจนถึงเวลา 18.30 น. ทาง U-services จึงขอหยุดงานและจะมาดำเนินการแก้ไขใหม่ในวันที่ 19-10-10 (ได้นำ Motor อยู่ในตำแหน่ง Stand By)

การเช็คหา Soft foot

ด้านที่เกิด soft foot มากกว่าด้านอื่น

18.30 แจ้งทาง Mechanical ทำการต่อ Coupling และทาง Operation ทำการปลด tag และเอา Breaker เข้าในตำแหน่ง Service stand by

19-10-10

08.30 ทีมงานไฟฟ้าเปิด work permit เพื่อให้ทาง U-services ดำเนินการแก้ไข Motor PM-3601R

09.00 รับทีม U-services เข้า Plant และได้แจ้ง Mechanical ทำการถอด Coupling และแจ้ง Operation เพื่อขอ Run Motor

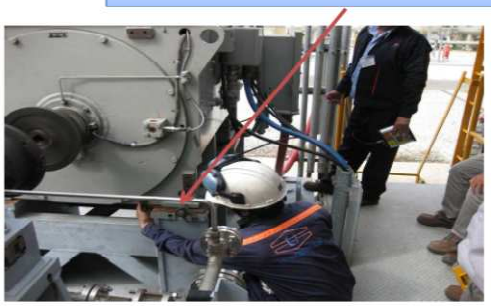
09.30 ทีมงาน U-services ได้ดำเนินการแก้ไขปัญหา Soft foot อีกแต่ค่า Vibration ด้าน Dive-N ก็ยังสูงอยู่ และได้ทดลอง Lock นอตทั้ง 4 ด้าน แล้ว run Motor no Load ดูค่ายังสูง ทดลองคลายน็อตทางด้านหน้าที่ติดกับตัววัด Vibration ดู ผลปรากฏว่าค่า Vibration อยู่ในเกณฑ์ประมาณ 2.1 mm/S (p-p) ทำการ Run อยู่ประมาณ 45 นาที

16.00 ทีมงาน Mechanical PTTME ได้เสนอขอ check line pipe ว่ามีการรั้งหรือเปล่าเพราะจากการ Check Vibration ของ Motor กับ Support pipe มีค่าใกล้เคียงกัน โดยการ check gap ของ Flank ว่ามีความห่างเท่าไร ปรากฏว่าปกติ

17.00 U-services ทำการ check alignment และทำการ Torque bolt ทั้ง4 ตัว และทีม Mechanical ทำการต่อ Coupling เพื่อจะขอ test run Motor

ค่า Torque bolt ปกติ ทั้ง 3 ด้านของ Motor

ค่า Torque boltจุดที่น้อยกว่าจุดอื่น



18.00 แจ้ง Operation เพื่อขอ test run Motor และแจ้งทาง QA check ค่า vibration เปรียบเทียบกับ DCS ได้ค่าดังนี้

DCS : DE=3.49-4.27mm/s (p-p) NDE=3.57-4.07mm/s(p-p)

Local:DE=1.64-2.03 mm/s (rms) NDE=1.70-2.07mm/s(rms)

จนถึงเวลา 21.00 ค่า vibration ยังคงที่ จึงได้แจ้งทางทีม Operation ทำการ Monitor ต่อ

กรณีศึกษา ลำดับที่ 4

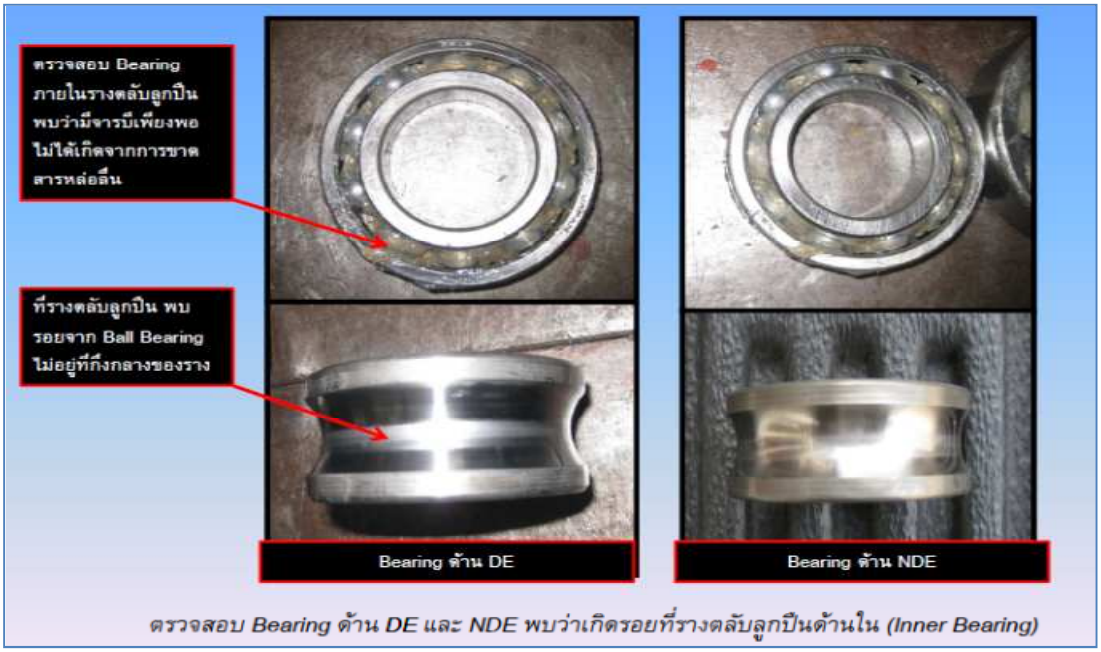
มอเตอร์ใช้งาน Driven Load ประเภท PUMP พิกัด 380 V 30 kW เกิดปัญหาเสียงดังขณะเดินเครื่องใช้งาน

อุปกรณ์:	**มอเตอร์ PM-1440A (DEBUTANIZER REFLUX PUMP MOTOR)** ขนาด 380 V, 30 kW
ปัญหา:	**19-ม.ค.-54:** มอเตอร์ PM-1440A ขณะใช้งานมีเสียงดังผิดปกติ
สาเหตุ:	หน่วยงาน **QA** และ **หบฟ.4 PTTME** ร่วมกันตรวจสอบมอเตอร์ PM-1440A ในวันที่ **26~27-ม.ค.-54: พบว่า** ขณะมอเตอร์ Run เกิดเสียงดังผิดปกติที่ Bearing ทั้งด้าน DE&NDE และหน่วยงาน QA ตรวจสอบค่า Vibration พบว่ามีค่า Overall ไม่สูงมาก แต่เมื่อวิเคราะห์จาก ค่า SPECTRUM ของ Vibration Record หน่วยงาน QA ให้ความเห็นว่าน่าจะเกิดจาก Lubrication Problemในเรื่อง Lack of Lubrication (ขาดสารหล่อลื่น) ควรนำมอเตอร์ไปตรวจสอบ แก้ไข
การแก้ไข	**29-ม.ค.-54:** บ.U-SERVICE เข้ามาถอดมอเตอร์ PM-1440A ออกไป Overhaul ที่ Work Shop ของ บ.U-SERVICE **30-ม.ค.-54:** ➢ บ.U-SERVICE นำมอเตอร์ PM-1440A กลับเข้ามาติดตั้งที่ PTTPE Site หลังจาก Overhaul เสร็จ ➢ ทดสอบ No-load และ On-Load Test >> ปกติ, หน่วยงาน QA ตรวจสอบค่า Vibration >> ปกติ ➢ ET-Operation นำมอเตอร์ PM-1440A เข้าใช้งาน

การติดตาม:	➢ หน่วยงาน QA คอยตรวจสอบ Monitor ค่า Vibration และเสียงผิดปกติของมอเตอร์อย่างต่อเนื่อง ➢ จากการนำมอเตอร์ PM-1440A ไป Overhaul ตรวจสอบพบว่า - Bearing ด้าน DE และ NDE เกิดรอยที่รางตลับลูกปืนด้านใน (Inner Bearing) โดยไม่อยู่ในตำแหน่งกึ่งกลางของราง คาดว่าน่าจะเกิดจากแรงดึงจากด้าน Load (เนื่องจากมอเตอร์ติดตั้งแบบ Vertical Mounting) เป็นสาเหตุหนึ่งด้วย - ตรวจสอบ Bearingภายในรางตลับลูกปืน พบว่ามีจารบีเพียงพอ ไม่ได้เกิดจากการขาดสารหล่อลื่น ➢ จะติดตามสรุปรายงานการตรวจสอบและผลการวิเคราะห์สาเหตุ (Report) จาก บ. U-SERVICE ต่อไป

ลักษณะการติดตั้งมอเตอร์ PM-1440A (Debutanizer Reflux Pump Motor)

ตรวจสอบภายใน Stator Coil ด้าน DE และ NDE แล้วไม่พบว่าเกิดความเสียหายและความผิดปกติใดๆ



ตรวจสอบ Bearing ด้าน DE และ NDE พบว่าเกิดรอยที่รางตลับลูกปืนด้านใน (Inner Bearing)

มอเตอร์ PM-1440A หลังจากเปลี่ยน Bearing ด้าน DE และ NDE เสร็จเรียบร้อยแล้ว

กรณีศึกษา ลำดับที่ 5

Cracking Heater ที่ใช้ใน Process Trip เนื่องจากระบบ Interlocking ทำงาน จากปัญหาสัญญาณ Status Valve OPEN ของ Motor Operate Valve หายไป จึงทำให้ระบบ Interlocking สั่ง Trip

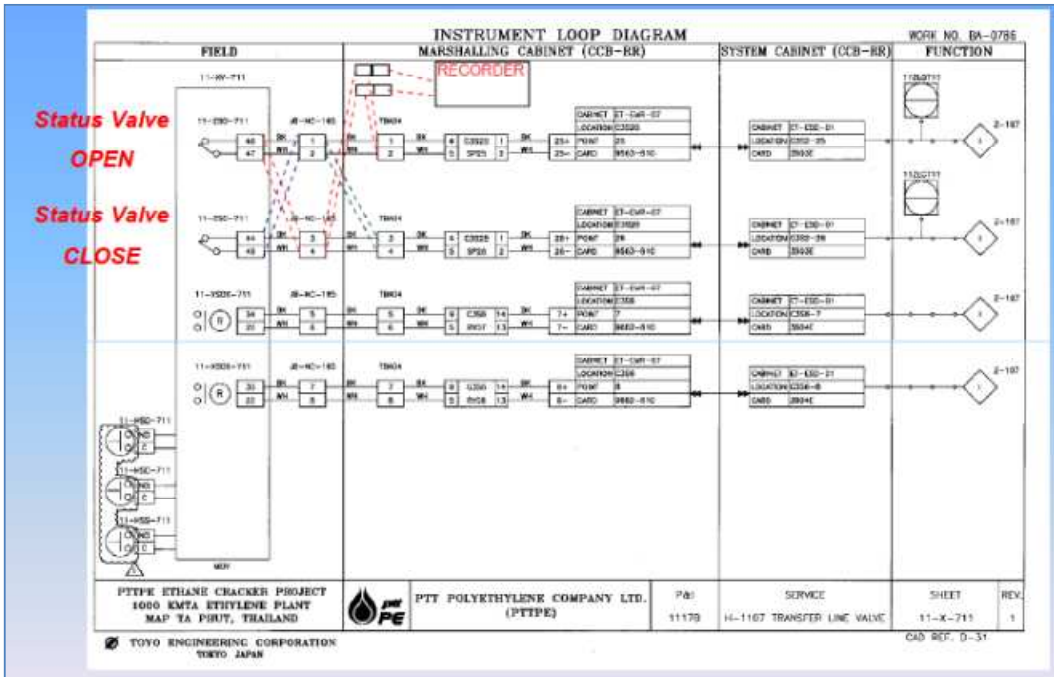
อุปกรณ์:	Motor Operated Valve (MOV) 11-XVM-711 (TRANSFER LINE VALVE FOR E-1117) Flowserve รุ่น Limitorque MX-85-7
ปัญหา:	07-มี.ค.-54: Heater H-1107 Trip เนื่องจากระบบ Interlocking ทำงาน จากการตรวจสอบ Alarm History ของ DCS พบว่าสัญญาณ Status Valve OPEN ของ MOV 11-XVM-711 หายไป จึงทำให้ระบบ Interlocking ทำงานสั่ง Trip Heater H-1107
สาเหตุ:	จากการตรวจสอบยังไม่พบว่ามีอุปกรณ์ใดเสียหายหรือทำงานผิดพลาด
การแก้ไข	หน่วยงาน นบฟ.4 ตรวจสอบการทำงานของ MOV 11-XVM-711 และ Status Contact Valve OPEN/CLOSE แล้วพบว่าเป็นปกติ เพื่อความน่าเชื่อถือของระบบ (Reliability) จึงได้ทำการแก้ไขเปลี่ยนอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการส่งสัญญาณ Status Valve OPEN ที่หายไป ดังนี้ ➢ เปลี่ยน Relay Card ภายในของ MOV 11-XVM-711 (เป็น Card ที่ส่ง Status Contact Valve OPEN/CLOSE ไป DCS) ➢ สลับสายสัญญาณระหว่าง Status Valve OPEN กับ CLOSE ที่ส่งไปให้ DCS ➢ ติดตั้ง Data Recorder เก็บบันทึกสัญญาณ Status Valve OPEN (ที่เคยหายไป) เพื่อใช้ในการช่วยวิเคราะห์ในกรณีที่อาจเกิดปัญหาอีกครั้ง
การติดตาม:	ติดตามตรวจสอบการทำงานของ MOV 11-XVM-711 และ Monitor Data Recorder อย่างต่อเนื่อง

ตัวอย่าง MOV ของ Flowserve รุ่น Limitorque MX Series

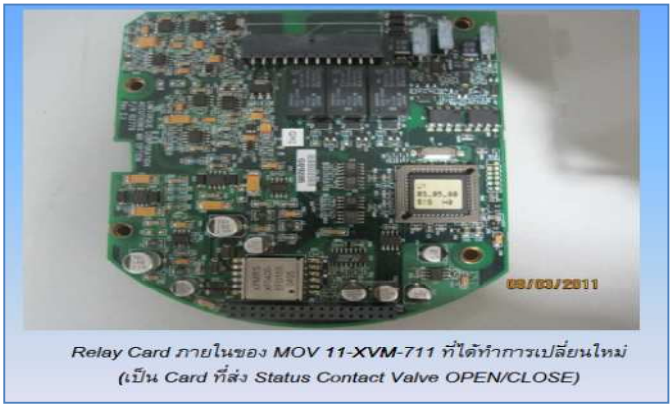
SEQUENCE OF EVENTS LIST

DATE	TIME	ALIAS	TAGNAME	STATE	NODE	BLOCK	GROUP1	GROUP2	DESCRIPTION
03/07/2011	02:29:20.964	13446	D16LYA004	TRUE	01 - ESD01	01 - TRIP ALAI			DISCREPANCY ALARM
03/07/2011	02:29:21.864	13446	D16LYA004	FALSE	01 - ESD01	01 - TRIP ALAI			DISCREPANCY ALARM
03/07/2011	02:38:52.170	12687	D11TXALL726B	TRUE	01 - ESD01	01 - TRIP ALAI			H-1107 FIRE BOX ARCH
03/07/2011	02:39:13.770	02111	D11HSD722	TRUE	01 - ESD01	01 - TRIP ALAI			HEATER H-1107 OPERATION MODE DEC
03/07/2011	02:39:14.670	02111	D11HSD722	FALSE	01 - ESD01	01 - TRIP ALAI			HEATER H-1107 OPERATION MODE DEC
03/07/2011	02:54:32.380	12687	D11TXALL726B	FALSE	01 - ESD01	01 - TRIP ALAI			H-1107 FIRE BOX ARCH
03/07/2011	02:57:31.782	13446	D16LYA004	TRUE	01 - ESD01	01 - TRIP ALAI			DISCREPANCY ALARM
03/07/2011	02:57:32.082	13446	D16LYA004	FALSE	01 - ESD01	01 - TRIP ALAI			DISCREPANCY ALARM
03/07/2011	02:59:02.683	13446	D16LYA004	TRUE	01 - ESD01	01 - TRIP ALAI			DISCREPANCY ALARM
03/07/2011	02:59:03.583	13446	D16LYA004	FALSE	01 - ESD01	01 - TRIP ALAI			DISCREPANCY ALARM
03/07/2011	02:26:10.762	13895	D11ZLO711	FALSE	01 - ESD01	02 - TRIP_ALA			XV-711 OPEN H-1107 TRANSFER LINE V
03/07/2011	02:26:13.762	13897	D11ZLO714	FALSE	01 - ESD01	02 - TRIP_ALA			XV-714 OPEN H-1107 TRANSFER LINE V
03/07/2011	02:26:14.362	13856	D11ZLC714	TRUE	01 - ESD01	02 - TRIP_ALA			XV-714 CLOSED H-1109 TRANSFER LIN
03/07/2011	02:26:25.162	13895	D11ZLO711	TRUE	01 - ESD01	02 - TRIP_ALA			XV-711 OPEN H-1107 TRANSFER LINE V
03/07/2011	02:26:26.662	13863	D11ZLC737	TRUE	01 - ESD01	02 - TRIP_ALA			XV-737 CLOSED H-1107 TRANSFER LIN
03/07/2011	02:26:30.262	13862	D11ZLC726	TRUE	01 - ESD01	02 - TRIP_ALA			HV-726 CLOSED H-1107 SECONDARY F
03/07/2011	02:27:52.763	13895	D11ZLO711	FALSE	01 - ESD01	02 - TRIP_ALA			XV-711 OPEN H-1107 TRANSFER LINE V

Alarm History ของ DCS ในวันที่เกิดเหตุ 07-มี.ค.-54
แสดงสัญญาณ Status Valve OPEN ของ MOV 11-XVM-711 หายไป
ทำให้ระบบ Interlocking ทำงานสั่ง Trip Heater H-1107



Schematic Diagram แสดงการสลับสายสัญญาณ Status OPEN กับ CLOSE
และจุดที่ติดตั้ง Data Recorder เพื่อเก็บบันทึกสัญญาณ



Relay Card ภายในของ MOV 11-XVM-711 ที่ได้ทำการเปลี่ยนใหม่
(เป็น Card ที่ส่ง Status Contact Valve OPEN/CLOSE)

ภาคผนวก ช

Cooling Tower Data Sheet และโครงสร้างพื้นฐาน Inverter

Cooling Tower Data Sheet

บริษัท โตโย-ไทย คอร์ปอเรชั่น จำกัด
TOYO - THAI CORPORATION LTD.
BANGKOK THAILAND

DATA SHEET FOR CENTRIFUGAL PUMP

REV	LINE	DATE	A/E	LEAD	MGR.	PE.	PM.
0							
1							
2							
3							
4							
5							

CUSTOMER			
LOCATION			
UNIT	COOLING & STORAGE AREA		
SUPPLIER	KSB PUMPS CO.,LTD	JOB NO.	D-138
ITEM NO.		EQ'N NO.	D138-1300-R001
SERVICE	COOLING WATER PUMPS		
NO. REQ'D D	(WORKING 2 STAND-BY 1	TOTAL	3)

OPERATING CONDITIONS

LIQUID :	COOLING WATER		CAPACITY NOR.	3780 RATED 4510	(m³/hr)
CORR. /ERO. BY			PRESS.		
PUMPING TEMP	35.0	(°C)	DISCHARGE	4.7	(kg/cm²G, bar)
SPEC. GRAVITY @ PT	0.994		SUCTION RATED	-0.3	(kg/cm²G, bar)
VAPOR PRESS. @ PT	0.060	(kg/cm²A, bar)	DIFF.	5.0	(kg/cm²G, bar)
VISCOSITY @ PT	0.720	(cP)	TOTAL HEAD	50	(m liq)
ATMOSPHERIC BOILING POINT	-	(°C)	NPSH AVAIL.	7.3	(m liq)
SUSPENDED SOLIDS (BY WEIGHT)	-	(PPMW)			
MINIMUM DESIGN TEMP.	-	(°C)	TYPE OF SEVICE	CONTINUOUS	
SPECIAL CHARACTERISTIC OF LIQ.	-		INSTALLATION	[ ] INDOOR [X] OUTDOOR	

CONSTRUCTIONS

MFR.	KSB PUMPS	MODEL	RDLO 600-885A	
TYPE	[X] HOR.	[ ] VERT.	[ ] SELF PRIMING	
VERT.	[ ] INLINE	[ ] BARREL	[ ] SUMP [ ] SUBMERG	
CASE MOUNT.	[ ] BRACKET	[ ] CENTER-LINE	[X] FOOT [ ] VERT	
CASE TYPE	[ ] DIFFUSER	[ ] SINGLE-VOL	[X] DOUBLE-VOL	
CASE SPLIT	[ ] VERTICAL	[X] HORIZONTAL	[ ] RING-SECT	

NOZZLE	SIZE	RATING	FACING	POSITION
SUCTION	28"	150 #	RF	END
DISCH.	24"	150 #	RF	TOP

NO. OF STAGES	SINGLE	[ ] OVHG	[X] BET-BRG	
IMPELLER	[X] CLOSED	[ ] SEMI-OPENED	[ ] OPENED	
DIA. DES.	860 (mm)	MAX./MIN	885 / 730	(mm)
WEAR'G RING DIA.	- (mm)	CLEAR	0.05	(mm)
Augular contact ball bearing		NO.	7330 B UA	
Deep groove ball bearing		NO.	6330 C3	
LUBE [X] RING OIL	[ ] FLOOD	[ ] FLING	[ ] PRESS	
[ ] GREASE	[ ] PURE MIST	[ ] PURGE MIST		
POWER TRANSMISSION	[X] DIRECT	[ ] GEAR	[ ] V-BELT	
COUPLING TYPE	[X] FLEX [ ] GEAI	[X] DISK [ ] RIGID	[X] SPACER	
[X] COUPLING GUARD	MATERIAL	Carbon Steel		
ROTATION VIEWED FROM CPLG END	[X] CW	[ ] CCW		

MATERIALS

CODE / STANDARD	MFR. STD. (I-1 or I-2)
CASING	A 536 Grade 60-40-18
IMPELLER	B505C90250
CASE WRG. RING	B 584
IMP. WRG. RING	B 584
SHAFT	AISI 420 Hard
SHAFT SLEEVE	A 743, 744
Bearing housing	A 48 Class 30
Bearing cover	A 576 Grade 1045

PERFORMANCE

SPEED	744 (rpm)	NPSH REQ'D (WATER)	4.1	(m)	
DES. EFF.	87.5 (%)	DES. BHP.	702.2	(kW)	
MIN. CONTINUOUS FLOW	760			(m³/hr)	
MAX. OPERATING /SHUT OFF PRESS.	6.36 / 6.6			(kg/cm²G, bar)	
CASE RATED TEMP.	70			(°C)	
CASING DESIGN/HYDROSTATIC TEST PRESS.	16/6.36			(kg/cm²G, bar)	
SUCTION SP. SPEED	11145.6			US. Units	
PUMP CASE JACKET	[ ] FULL	[ ] PARTIAL			
WEIGHT PUMP	7100 (kg)	BASE	2850	(kg)	
MOTOR	6070 (kg)	COUPLING	204	(kg)	

BASEPLATE	[X] COMMON	[ ] SOLE	[ ] SEPARATE		
SHAFT SEAL	[ ] NON-SEAL		SEALING PRESS.	-	(kg/cm²G)
[ ] PACKING MFR.			MATERIAL	Q1BEGG	MFR'S CODE
[X] MECHANICAL SEAL MFR.	BURGMANN		MODEL	M74/175-00	GASKET 1.4122
TYPE	SINGLE		API CODE	-	PLAN 11/61
SEAL RING MATERIALS : FACES	CARBON		VS.	SILICON CARBIDE	
NO. OF RINGS	-				

AUXILIARY PIPING

SERVICE	FLUID	INLET CONDITIONS	FLOW RATE	PLAN	MATERIAL (#1)	CONNECTIONS
FLUSHING	CW	1 (kg/cm²G, bar) 35 (°C)	-	11	AISI 316 L	3/4"ANSI 300RF

TAPPED OPENINGS	[X] VENT	[X] VALVE	[ ] CAP	[ ] PLUG	[X] FLANGE	(SCHEDULE 160 / RF / SOCKETWELD)
	[X] DRAIN	[X] VALVE	[ ] CAP	[ ] PLUG	[X] FLANGE	(SCHEDULE 160 / RF / SOCKETWELD)
STARTING METHOD		[ ] MANUAL		[X] AUTO		
VERT. PUMP :	[ ] SUMP LENGTH		(m)	[ ] W/SUCT. STRAINER	[ ] THRUST (UP/DOWN)	(kg)

MOTOR (note 3)				TURBINE ITEM NO.	
SUPPLIED BY	ABB	MOUNTED BY	KSB PUMPS	SUPPLIED BY	MOUNTED BY
MFR.	ABB	TYPE	TEFC	MFR.	TYPE
RATED OUTPUT	800 (kW)	INSULATION CLASS	F / IP 55	RATED OUTPUT (kW)	SPEED (l/min)
SPEED	745 (rpm)	POLES	8		
PHASE 3	CYCLE 50 HZ	VOLTS	6600	APPL. ENG. SPEC	
FULL LOAD CURRENT	88		(AMPS.)	CODE/STANDARD	
ENCLOSURE TYPE	TEFC				
HAZARDOUS AREA / PROTECTION CLASS	NON - HAZARDOUS / -				

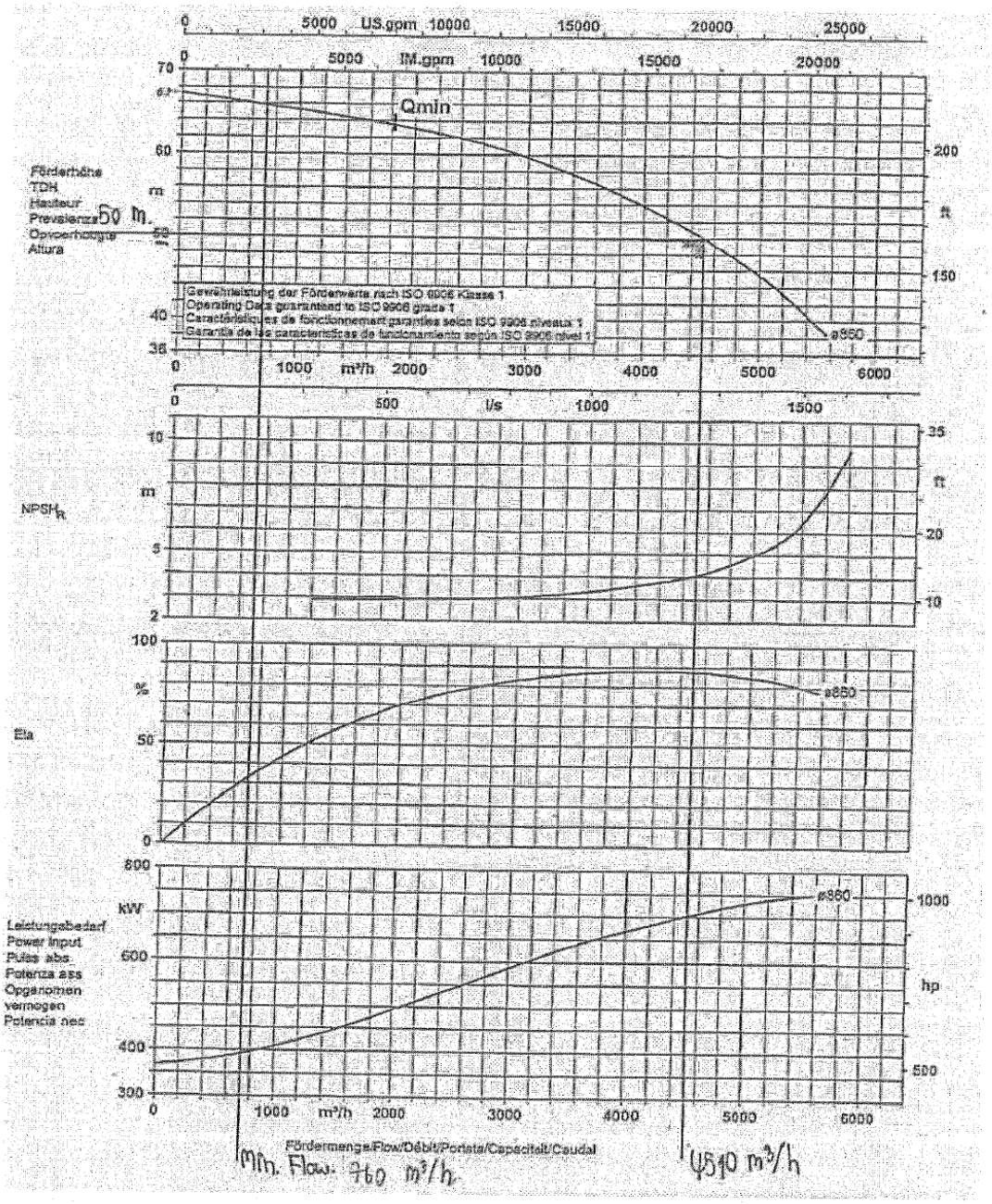
REMARKS

GENERAL NOTE :

1. For marking * to be specified by vendor
2. The available NPSH shall exceed the required NPSH by at least 1 m.throughout the entire operating range from minimum continuous stable flow up to and including approximately 130% of rated capacity
3. Please see BEDD (SP-A-0602.01-0000-010) for electrical condition
4. Required Cleaning specification CLASS VII
5. Seal flush piping shall be minimum 0.5" stainless steel tubing.

Pump performance curve

Project :			Pump series:	RDLO 600-885 A	
Item:			Design speed:	744	1/min
Flow rate:	4500	m3/hr	Head:	50	m
$NPSH_r$	4.1	m	Power Input:	702.2	Kw
Efficiency:	87.5	%	Impeller size:	860	mm
			Max/Min Impeller:	885/730	mm



Data Sheet Motor

ABB Oy MV Induction Machines	Classifying code or document type PERFORMANCE DATA OF MOTOR			ABB
Department/Author PIE/A. Manninen	Date of issue 10.1.2008	Lang. En	Rev. date	Our ref. 2876HF301
Customer ref. 4500169414		Saving Ident 8010198A	Rev./Changed by A	Pages 2/2

Motor type code: HXR 500LK8

Rated output	800 kW	Power Factor	0,82
Voltage	6600 V ±5 %	Rated torque	10253 Nm
Frequency	50 Hz	Relat. starting current	6,0
Speed	745 rpm	Relat. starting torque	0,9
Current	88 A	Relat. maximum torque	2,2

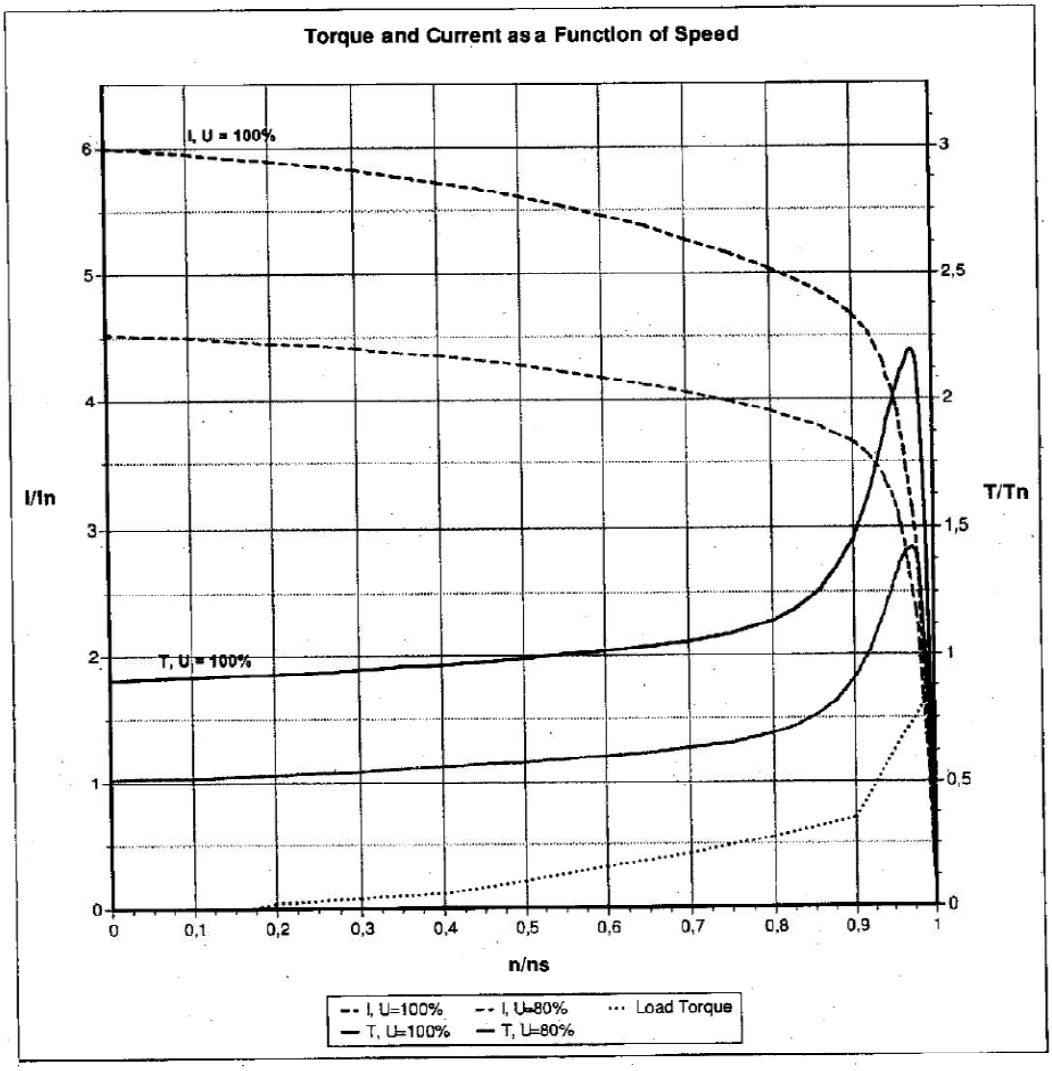


ABB Oy

MV Induction Machines

Visiting Address
Strömbergintie 1B
HELSINKI

Postal Address
P.O.Box 186
FIN-00381 HELSINKI
Finland

Telephone
+358 10 22 000

Telefax
+358 10 222 3565

Data Sheet Motor (ต่อ)

MOTOR TECHNICAL DATA SHEET

Marked items (☒) need to be completed by Manufacturer/Vendor

	Motor Designation	(Motor Tag No.)	(Motor Tag No.)	(Motor Tag No.)	
	Motor type				
☒	Type of construction (Method of cooling)	IC411			
☒	Degree of protection	IP 55			
☒	Frame size	500			
☒	Manufacturer	ABB			
☒	Number of poles	8			
☒	Rated speed	745			1/min
☒	Rated power	800			kW
☒	Rated voltage/frequency	6600/50			V/Hz
☒	Connection (Star/Delta)	Star			
☒	Rated current	88			A
☒	Power factor (1/2, 3/4, FL)	0.65,0.75,0.79			%
☒	Efficiency (1/2, 3/4, FL)	95.1,95.9,96.1			%
☒	Number of motor	3			
☒	Insulation class	F			
☒	Type of protection	Non Hazardous			
☒	Explosion group				
☒	Temperature class				
☒	Certificate of conformity	ATEX			
☒	TE-time (Hot/Cold)	22(Warm)			s
☒	Locked rotor current	600			%
☒	Locked rotor/Pull-up/Breakdown torque				%
☒	Duty type	S1			
☒	Starting time (at 85%, 100%)	1.5(80%), 0.7(100%)			sec
☒	Noise level at full load	76			(dB(A))
☒	Motor weight	6070			kg
☒	Position of terminal box and IP	Right seen from DE / IP66			
☒	Type of coupling	N/A			
☒	Motor exterior color	RAL 7030			
☒	Hub size of motor terminal box (Metric Thread)	M63			
☒	Power cable size/diameter	3.6/6kV XLPE/SWA/PVC 3C-150 SQ.mm			mm2/mm
☒	Applicable for adjustable speed	DOL			
☒	Requirement for reversible direction of rotation	2 directional			
☒	Mounting	B3			
☒	Direction of rotation (view from non-driven)	Clockwise			
☒	Hub size of space heater terminal box (Metric thread)	1xM20x1.5			
☒	Space heater power cable size/diameter	N/A			mm2/mm
☒	Space heater (1 phase, 220V)	2x80			W
	Data of gear:				
	Manufacturer				
	Gear type				
	Number of gear				
	Output speed				1/min
	Weight motor & gear				kg

โครงสร้างพื้นฐาน Inverter (Medium Voltage)

Key features

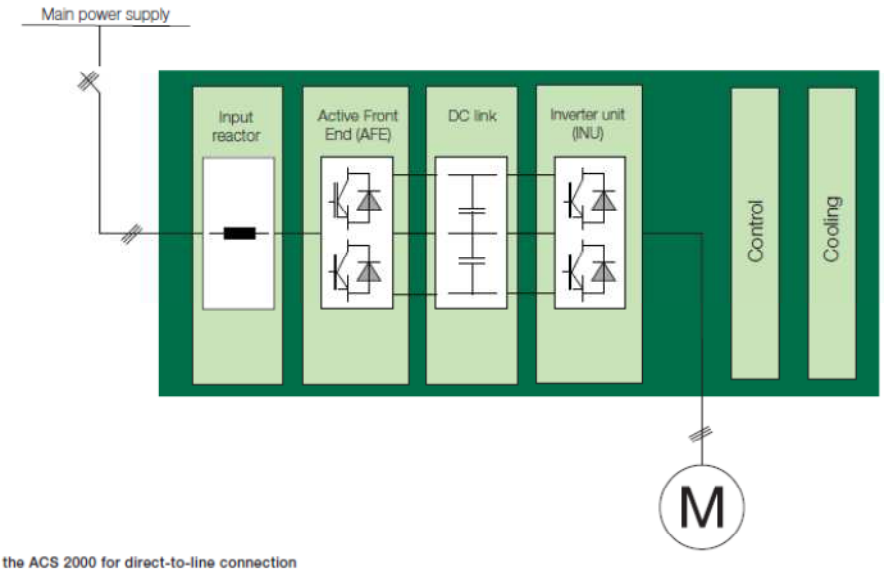
The ACS 2000 general purpose drive offers unique features which provide superior application flexibility with a standard solution.

Line supply connection flexibility
The ACS 2000 provides different line supply connection options, each offering unique benefits. Depending on the preference or the existing installation, the ACS 2000 is available for connection to an external input isolation transformer or for use without a transformer, the latter allowing a direct connection to the industrial line supply (direct-to-line).

Direct-to-line
The ACS 2000 direct-to-line can lower investment costs substantially. Due to its compact size and lighter weight compared to a drive requiring a transformer, it also results in lower transportation costs and needs less space in the electrical room.

The ACS 2000 can be easily retrofitted to fixed speed motors while the direct-to-line technology results in quick and easy installation and commissioning.

External transformer
For applications where a voltage-matching input isolation transformer is needed or galvanic isolation from the line supply is required, the ACS 2000 can be connected to a conventional two-winding oil or dry-type input isolation transformer.



Topology of the ACS 2000 for direct-to-line connection

โครงสร้างพื้นฐาน Inverter (Medium Voltage) (ต่อ)

The air-cooled general purpose drive provides simple and reliable motor control for a wide range of applications.

ACS 2000, 800kW, 6.6 kV

โครงสร้างพื้นฐาน Inverter (Medium Voltage) (ต่อ)

It is designed for easy installation, fast commissioning and efficient maintenance reducing the total cost of ownership.

โครงสร้างพื้นฐาน Inverter (Medium Voltage) (ต่อ)

Motor data			Converter	Converter data			
Voltage *	Shaft power **		Type code	Power ***	Current	Length	Approx. weight
kV	kW	hp		kVA	A	mm	kg
			6'000 V				
6.0	315	430	ACS 2060-1T-AN1-a-0E	430	40	1'740	2'000
6.0	355	480	ACS 2060-1T-AN1-a-0G	470	45	1'740	2'000
6.0	400	540	ACS 2060-1T-AN1-a-0J	530	50	1'740	2'000
6.0	450	610	ACS 2060-1T-AN1-a-0L	590	55	1'740	2'000
6.0	500	680	ACS 2060-1T-AN1-a-0N	650	60	1'740	2'000
6.0	560	760	ACS 2060-1T-AN1-a-0Q	730	70	1'740	2'000
6.0	630	860	ACS 2060-1T-AN1-a-0S	820	80	1'740	2'000
6.0	710	970	ACS 2060-1T-AN1-a-0U	910	90	1'740	2'000
6.0	800	1'090	ACS 2060-1T-AN1-a-0W	1020	100	1'740	2'000
			6'600 V				
6.6	315	430	ACS 2066-1T-AN1-a-0E	430	38	1'740	2'000
6.6	355	480	ACS 2066-1T-AN1-a-0G	470	41	1'740	2'000
6.6	400	540	ACS 2066-1T-AN1-a-0J	530	45	1'740	2'000
6.6	450	610	ACS 2066-1T-AN1-a-0L	590	50	1'740	2'000
6.6	500	680	ACS 2066-1T-AN1-a-0N	650	55	1'740	2'000
6.6	560	760	ACS 2066-1T-AN1-a-0Q	730	65	1'740	2'000
6.6	630	860	ACS 2066-1T-AN1-a-0S	820	70	1'740	2'000
6.6	710	970	ACS 2066-1T-AN1-a-0U	910	80	1'740	2'000
6.6	800	1'090	ACS 2066-1T-AN1-a-0W	1020	90	1'740	2'000
			6'900 V				
6.9	315	430	ACS 2069-1T-AN1-a-0E	430	35	1'740	2'000
6.9	355	480	ACS 2069-1T-AN1-a-0G	470	40	1'740	2'000
6.9	400	540	ACS 2069-1T-AN1-a-0J	540	45	1'740	2'000
6.9	450	610	ACS 2069-1T-AN1-a-0L	590	50	1'740	2'000
6.9	500	680	ACS 2069-1T-AN1-a-0N	650	55	1'740	2'000
6.9	560	760	ACS 2069-1T-AN1-a-0Q	730	60	1'740	2'000
6.9	630	860	ACS 2069-1T-AN1-a-0S	820	70	1'740	2'000
6.9	710	970	ACS 2069-1T-AN1-a-0U	910	75	1'740	2'000
6.9	800	1'090	ACS 2069-1T-AN1-a-0W	1030	85	1'740	2'000

Notes:

* 6.0 / 6.6 kV according to IEC; 6.9 kV according to ANSI/NEMA

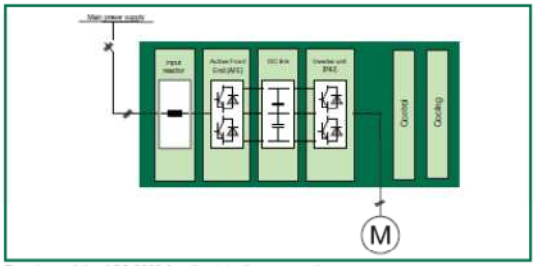
** Indicative information referring to typical 4-pole motor, under nominal supply voltage conditions.

*** Overload (10% / 60 sec.) margin included

Dimensions:

Height: 2100 mm cabinet height
2490 mm (incl. cooling fans on top)
2700 mm with redundant cooling fans

Depth: 1140 mm



Topology of the ACS 2000 for direct-to-line connection

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสุวิทย์ ภูลี สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า แขนงวิชาไฟฟ้ากำลัง จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2542 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งวิศวกร ทำหน้าที่ดูแลรับผิดชอบงานบำรุงรักษาไฟฟ้าในโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีแห่งหนึ่งที่จังหวัดระยอง และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการพลังงาน จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัยในปีการศึกษา 2552