การพัฒนาระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์สำหรับปั๊มประเภทหอยโข่งและสกรูในอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ

นายวิศรุต พลหงษ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DEVELOPMENT OF PREDICTIVE MAINTENANCE SYSTEM FOR CENTRIFUGAL AND SCREW PUMPS IN PULP INDUSTRY

Mr. Wisarut Polhong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2016

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์สำหรับปั๊มประเภทหอยโข่งและสกรูในอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ
โดย	นายวิศรุต พลหงษ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมเกียรติ ตั้งจิตสิตเจริญ)

.....กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ สมชาย พวงเพิกศึก)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

วิศรุต พลหงษ์ : การพัฒนาระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์สำหรับปั๊มประเภทหอยโข่งและสกรูในอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ (DEVELOPMENT OF PREDICTIVE MAINTENANCE SYSTEM FOR CENTRIFUGAL AND SCREW PUMPS IN PULP INDUSTRY) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ. ดร.จิตรา รู้กิจการพานิช, 201 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบการบำรุงรักษาปั๊มประเภทหอยโข่งและประเภทสกรูในอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ โดยได้นำหลักการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มาประยุกต์ใช้ จากการศึกษาปัญหาพบการขัดข้องของปั๊มรวม 55 ครั้ง รวมเป็น 61.81 ชั่วโมง ในระยะเวลา 6 เดือน ซึ่งส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิต ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำการวัดค่าความสั่นสะเทือนและการวิเคราะห์คุณภาพของสารหล่อลื่นในลูกปืนของปั๊มเพื่อนำมาพยากรณ์หาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็ค โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้ 1) จัดกลุ่มของปั๊มเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ด้วยปัจจัย 3 ตัว ได้แก่ ระดับความสำคัญ อายุการใช้งาน และภาระงาน 2) ทำการวัดค่าความสั่นสะเทือนของลูกปืนและสารหล่อลื่นตามระยะเวลาที่กำหนด แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงของค่าความสั่นสะเทือนและค่าคุณภาพของสารหล่อลื่นเพื่อพยากรณ์หาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็คปั๊ม 3) นำระยะเวลาที่เหมาะสมที่พยากรณ์ได้มาผนวกเข้ากับแผนการปรับปรุงการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 4) จัดทำต้นไม้แห่งความล้มเหลว ซึ่งเป็นการวินิจฉัยความผิดปกติของปั๊มพร้อมกับแสดงแนวทางแก้ไขเพื่อสนับสนุนแผนการบำรุงรักษาที่ได้จัดทำขึ้น 5) ดำเนินการกิจกรรมของการบำรุงรักษาต่างๆตามแผนและทำการประเมินผล

ผลการดำเนินงานพบว่าจำนวนครั้งและจำนวนชั่วโมงที่เกิดการขัดข้องลดลงเหลือ 15 ครั้ง คิดเป็น 9.30 ชั่วโมง ในระยะเวลา 6 เดือน ส่วนค่า MTBF ของหน่วยการผลิตมีค่าเพิ่มขึ้นสูงสุด 797.30 ชั่วโมง และค่า MTTR ของหน่วยการผลิตมีค่าลดลงสูงสุด 12.02นาที

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก .....

ปีการศึกษา 2559

5670961521 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS: PREDICTIVE MAINTENANCE / VIBRATION / PULP INDUSTRY

WISARUT POLHONG: DEVELOPMENT OF PREDICTIVE MAINTENANCE SYSTEM FOR CENTRIFUGAL AND SCREW PUMPS IN PULP INDUSTRY. ADVISOR: ASSOC. PROF. JITTRA RUKIJKANPANICH, D.Eng., 201 pp.

The objective of this study was to develop a maintenance system for centrifugal and screw pumps in pulp industry by using of the predictive maintenance principle. From studying problems, it was found that the failures of pump were high to 55 times or 61.81 hours in 6 months. These failures affected to pulp production. Therefore, this research was interested in a measurement of bearing vibration and an analysis of bearing lubricant to forecast the right time for pump checking. The procedures were as follows 1) grouping the pumps by the three factors; priority, lifetime and workload of pumps. 2) data collecting periodically by measuring the vibration and quality of lubrication of bearings and after that observing the changes of these collected data to forecast the recommended periods of time for pump checking. 3) leading the recommended time to improve the preventive maintenance plan. 4) Analyzing of pump failures using Fault Tree Analysis (FTA) to support the maintenance plan. 5) Implementing the maintenance activities and maintenance plan, and evaluating the research.

The results showed that the number of pump failure decreased to 15 times or 9.30 hours. The MTBF increased to a maximum up to 797.30 hours and MTTR reduced to a minimum up to 12.02 minutes.

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

Department:	Industrial Engineering	Student's Signature	.....
Field of Study:	Industrial Engineering	Advisor's Signature	.....
Academic Year:	2016		

กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์จิตรา รู้กิจการพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ ให้ความรู้ ให้คำปรึกษา และชี้แนะแนวทางการดำเนินการ รวมถึงแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณเพื่อนนิสิตทุกๆคน ที่ให้การช่วยเหลือเกื้อกูลและเป็นกำลังใจให้กัน

นอกจากนี้ขอขอบพระคุณผู้บริหารโรงงานกรณีศึกษาทุกท่านที่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย และที่สำคัญขอขอบคุณพนักงานบำรุงรักษาทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือในการปฏิบัติตามงานวิจัยเป็นอย่างดี จนวิทยานิพนธ์สำเร็จตามวัตถุประสงค์

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัย ขอกราบขอบพระคุณ มารดา ที่ให้การสนับสนุนและให้กำลังใจ ไม่ให้ย่อท้อต่ออุปสรรคต่างในการศึกษามาโดยตลอด และขอขอบพระคุณทุกท่าน ที่มิได้กล่าวนามถึง ที่ให้ความร่วมมือและให้กำลังใจ จนทำให้งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูป ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ 10
1.3 ขอบเขตในการดำเนินงาน 10
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 10
1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน 11
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 12
2.1 ปั๊ม (Pump) 12
2.2 การบำรุงรักษา (Maintenance) 15
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย 33
3.1 ศึกษาและเก็บข้อมูลเบื้องต้นของปั๊ม 33
3.2 วิเคราะห์ปัญหาของการบำรุงรักษาปั๊ม 33
3.3 การจัดแผนการบำรุงรักษาปั๊ม 34
บทที่ 4 การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการพัฒนาระบบบำรุงรักษา 50
4.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานและหน่วยงานบำรุงรักษา 50
4.2 หลักการในการพัฒนาการบำรุงรักษาปั๊ม 63

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

หน้า

บทที่ 5 การพัฒนาระบบงานบำรุงรักษาและการนำไปใช้ 64
5.1 สรุปการพัฒนาการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ 64
5.2 สรุปการปรับปรุงการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน 122
5.3 สรุปการนำการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขมาประยุกต์ใช้ 137
5.4 สรุปการนำไปใช้ปฏิบัติงาน 173
บทที่ 6 การวัดผลการปรับปรุง 174
6.1 ดัชนีที่ใช้ในการวัดผลการปรับปรุงระบบงานบำรุงรักษาปั๊ม 174
บทที่ 7 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 178
7.1 สรุปผลการดำเนินการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ 178
7.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย 182
รายการอ้างอิง 184
ภาคผนวก 186
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 201

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1 จำนวนปั๊มที่มีการใช้งานในแต่ละกระบวนการผลิต 4
ตารางที่ 1.2 จำนวนของปั๊มแยกตามระดับความสำคัญ 4
ตารางที่ 1.3 ระดับความยากของการบำรุงรักษาปั๊ม 5
ตารางที่ 1.4 ระยะเวลาในการเรียนรู้ในหัวข้อต่างๆ 6
ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยการสั่นสะเทือนกับสมมติฐานความเสียหายของเครื่องจักร ... 24
ตารางที่ 2.2 ตารางสัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบฟอลท์ทรี 30
ตารางที่ 3.1 การแบ่งกลุ่มของปั๊มตามระดับความสำคัญ 38
ตารางที่ 3.2 การแบ่งกลุ่มของปั๊มตามอายุการใช้งาน 38
ตารางที่ 3.3 การแบ่งกลุ่มของปั๊มตามภาระงาน 39
ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างผลการตรวจวัดคุณภาพของสารหล่อลื่นในปั๊ม 46
ตารางที่ 4.1 รายชื่อปั๊มประเภทหอยโข่งที่มีการใช้งานในกระบวนการผลิต 52
ตารางที่ 4.2 รายชื่อปั๊มประเภทสกรูที่มีการใช้งานในกระบวนการผลิต 58
ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างรายละเอียด Job Plan 59
ตารางที่ 4.4 หลักการในการพัฒนาการบำรุงรักษาปั๊ม 63
ตารางที่ 5.1 กลุ่มปั๊มประเภทหอยโข่ง 64
ตารางที่ 5.2 กลุ่มปั๊มประเภทสกรู 74
ตารางที่ 5.3 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสำคัญ อายุการใช้งาน และภาระการใช้งาน ของปั๊มประเภทหอยโข่ง 76
ตารางที่ 5.4 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสำคัญ อายุการใช้งาน และภาระการใช้งาน ของปั๊มประเภทสกรู 77
ตารางที่ 5.5 แผนการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือน 78
ตารางที่ 5.6 ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการตรวจเช็คค่าความสั่นสะเทือนปั๊มประเภทหอยโข่ง . 104
ตารางที่ 5.7 ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนปั๊มประเภทสกรู 107

ตารางที่ 5.8 แผนการเก็บตัวอย่างน้ำมัน 108
ตารางที่ 5.9 ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการตรวจเช็คสารหล่อลื่นของปั๊มประเภทหอยโข่ง..... 121
ตารางที่ 5.10 รายละเอียดการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ต้องทำขณะปั๊มหยุดทำงาน 136
ตารางที่ 5.11 ตัวอย่างการตรวจสอบและแก้ไขสาเหตุการขัดข้องของปั๊มประเภทหอยโข่ง 161
ตารางที่ 5.12 ตัวอย่างการตรวจสอบและแก้ไขสาเหตุการขัดข้องของปั๊มประเภทสกรู 169
ตารางที่ 6.1 ข้อมูลการวัดผลการปรับปรุงการบำรุงรักษาปั๊มด้วยดัชนี MTBF และ MTTR..... 175
ตารางที่ 7.1 การเปรียบเทียบแผนการบำรุงรักษาปั๊มประเภทหอยโข่งและก่อนและหลังการปรับปรุง..... 179
ตารางที่ 7.2 การเปรียบเทียบแผนการบำรุงรักษาปั๊มประเภทประเภทสกรูก่อนและหลังการปรับปรุง..... 180
ตารางที่ 7.3 ผลการดำเนินงานก่อนปฏิบัติตามแผนบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ของปั๊มประเภทหอยโข่งและสกรู 181
ตารางที่ 7.4 ผลการดำเนินงานหลังปฏิบัติตามแผนบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ของปั๊มประเภทหอยโข่และสกรู..... 181

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1 ปริมาณการใช้งานปั๊มในทวีปต่างๆ 1
รูปที่ 1.2 ปริมาณการใช้งานปั๊มในอุตสาหกรรมต่างๆ 2
รูปที่ 1.3 มูลค่าการซื้อ-ขายปั๊ม ในทวีปเอเชียตั้งแต่ปี ค.ศ. 2008-2015 2
รูปที่ 1.4 ปริมาณการพยากรณ์การใช้งานปั๊มในปี 2019 แยกตามประเภทของปั๊ม 3
รูปที่ 1.5 ความถี่ของการเกิดความผิดปกติของปั๊ม 5
รูปที่ 1.6 ปั๊มประเภทหอยโข่ง 7
รูปที่ 1.7 ส่วนประกอบปั๊มประเภทหอยโข่ง 7
รูปที่ 1.8 ปั๊มประเภทสกรู 8
รูปที่ 1.9 ส่วนประกอบปั๊มประเภทสกรู 8
รูปที่ 2.1 ทิศทางการไหลของของเหลวขณะผ่านออกจากใบพัด (Impeller) 13
รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางของเรือนปั๊ม (Casing) ของปั๊มแบบเซนตริฟูกอล 14
รูปที่ 2.3 ภาพตัดแสดงส่วนประกอบของปั๊มแบบสกรู 15
รูปที่ 2.4 Vibration spectrum 18
รูปที่ 2.5 เครื่องวัด Vibration 19
รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการวัดค่าความสั่นสะเทือนโดยรวม 19
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของค่า Peak-to-peak, Peak, RMS และ Average 20
รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่ของสปริง 21
รูปที่ 2.9 หัววัดความเร็ว 22
รูปที่ 2.10 หัววัดความเร่ง 23
รูปที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยการวัดค่าความสั่นสะเทือน กับ ความถี่ 23
รูปที่ 2.12 ลำดับความเสียหายของตลับลูกปืน 24
รูปที่ 2.13 ตัวอย่างแกนในการวัดค่าความสั่นสะเทือน 25

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

รูปที่ 2.14 ตัวอย่างน้ำมันที่จะนำมาทำการทดสอบ 26
รูปที่ 2.15 Bathtub Curve 27
รูปที่ 2.16 ตัวอย่างการเขียนแผนภาพฟอลท์ทรี 31
รูปที่ 3.1 ภาพรวมขั้นตอนการดำเนินการศึกษา 35
รูปที่ 3.2 การวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ Why Why analysis 36
รูปที่ 3.3 แผนผังการจัดเตรียมข้อมูลการบำรุงรักษา 37
รูปที่ 3.4 ตำแหน่งในการวัดค่าความสั่นสะเทือนของปั๊ม 40
รูปที่ 3.5 เครื่องมือสำหรับวัดค่าความสั่นสะเทือน 41
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างรายงานการวัดค่าความสั่นสะเทือนของปั๊มประเภทหอยโข่ง 41
รูปที่ 3.7มาตรฐานการวัดค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็ว 42
รูปที่ 3.8 มาตรฐานการวัดค่าความเร่ง 43
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างแนวโน้มของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่ง 43
รูปที่ 3.10 ระดับความสะอาดของน้ำมัน 44
รูปที่ 3.11 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอายุการใช้งานของลูกปืนและเปอร์เซ็นต์ของน้ำในน้ำมัน 45
รูปที่ 3.12 ตัวอย่างแผนภูมิต้นไม้แห่งความล้มเหลว 48
รูปที่ 4.1 ผังองค์กรภายในหน่วยงานบำรุงรักษา 50
รูปที่ 4.2 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ 51
รูปที่ 4.3 ตัวอย่างตารางการทำ Preventive maintenance 62
รูปที่ 5.1 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-15 ของกลุ่มที่ 1 79
รูปที่ 5.2 เก็บค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-15 ของกลุ่มที่ 1 79
รูปที่ 5.3 เก็บค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 16-30 ของกลุ่มที่ 1 80
รูปที่ 5.4 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 16-30 ของกลุ่มที่ 1 80
รูปที่ 5.5 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 31-45 ของกลุ่มที่ 1 81
รูปที่ 5.6 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 31-45 ของกลุ่มที่ 1 81

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 5.7 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 46-51 ของกลุ่มที่ 1 82
รูปที่ 5.8 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 46-51 ของกลุ่มที่ 1 82
รูปที่ 5.9 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 2 83
รูปที่ 5.10 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 2 83
รูปที่ 5.11 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 11-20 ของกลุ่มที่ 2 84
รูปที่ 5.12 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 11-20 ของกลุ่มที่ 2 84
รูปที่ 5.13 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 21-30 ของกลุ่มที่ 2 85
รูปที่ 5.14 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 21-30 ของกลุ่มที่ 2 85
รูปที่ 5.15 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-13 ของกลุ่มที่ 3 86
รูปที่ 5.16 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-13 ของกลุ่มที่ 3 86
รูปที่ 5.17 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-4 ของกลุ่มที่ 4 87
รูปที่ 5.18 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-4 ของกลุ่มที่ 4 87
รูปที่ 5.19 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 5 88
รูปที่ 5.20 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 5 88
รูปที่ 5.21 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 6 89
รูปที่ 5.22 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 6 89
รูปที่ 5.23 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-7 ของกลุ่มที่ 7 90
รูปที่ 5.24 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-7 ของกลุ่มที่ 7 90
รูปที่ 5.25 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 8 91
รูปที่ 5.26 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 8 91
รูปที่ 5.27 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 9 92
รูปที่ 5.28 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 9 92
รูปที่ 5.29 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 10 93
รูปที่ 5.30 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 10 93

รูปที่ 5.31 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 11-20 ของกลุ่มที่ 10..... 94
รูปที่ 5.32 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 11-20 ของกลุ่มที่ 10..... 94
รูปที่ 5.33 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 21-30 ของกลุ่มที่ 10..... 95
รูปที่ 5.34 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 21-30 ของกลุ่มที่ 10..... 95
รูปที่ 5.35 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 31-36 ของกลุ่มที่ 10..... 96
รูปที่ 5.36 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 31-36 ของกลุ่มที่ 10..... 96
รูปที่ 5.37 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-13 ของกลุ่มที่ 11..... 97
รูปที่ 5.38 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-13 ของกลุ่มที่ 11..... 97
รูปที่ 5.39 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 12..... 98
รูปที่ 5.40 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 12..... 98
รูปที่ 5.41 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-7 ของกลุ่มที่ 13..... 99
รูปที่ 5.42 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-7 ของกลุ่มที่ 13..... 99
รูปที่ 5.43 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-9 ของกลุ่มที่ 14..... 100
รูปที่ 5.44 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-9 ของกลุ่มที่ 14..... 100
รูปที่ 5.45 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 15..... 101
รูปที่ 5.46 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 15..... 101
รูปที่ 5.47 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 16..... 102
รูปที่ 5.48 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 16..... 102
รูปที่ 5.49 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 17..... 103
รูปที่ 5.50 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 17..... 103
รูปที่ 5.51 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-4 ของกลุ่มที่ 12..... 105
รูปที่ 5.52 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-4 ของกลุ่มที่ 12..... 106
รูปที่ 5.53 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 14..... 106
รูปที่ 5.54 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 14..... 107

รูปที่ 5.55 ระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มที่ 1-7 กลุ่มที่ 1 109
รูปที่ 5.56 อุณหภูมิน้ำมันของปั๊มที่ 1-7 กลุ่มที่ 1 109
รูปที่ 5.57 ระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มที่ 8-14 กลุ่มที่ 1 110
รูปที่ 5.58 อุณหภูมิน้ำมันของปั๊มที่ 8-14 ของกลุ่มที่ 1 110
รูปที่ 5.59 ระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มที่ 1-5 กลุ่มที่ 2 111
รูปที่ 5.60 อุณหภูมิน้ำมันของปั๊มที่ 1-5 กลุ่มที่ 2 111
รูปที่ 5.61 ระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มที่ 1-7 กลุ่มที่ 7 112
รูปที่ 5.62 อุณหภูมิน้ำมัน ของปั๊มที่ 1-7 กลุ่มที่ 7 112
รูปที่ 5.63 ระดับคุณภาพของน้ำมันของปั๊มที่ 1-2 กลุ่มที่ 9 113
รูปที่ 5.64 อุณหภูมิน้ำมัน ของปั๊มที่ 1-2 กลุ่มที่ 9 113
รูปที่ 5.65 ระดับคุณภาพของน้ำมันของปั๊มที่ 1-7 กลุ่มที่ 10 114
รูปที่ 5.66 อุณหภูมิน้ำมัน ของปั๊มที่ 1-7 ของกลุ่มที่ 10 114
รูปที่ 5.67 ระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มที่ 8-15 กลุ่มที่ 10 115
รูปที่ 5.68 อุณหภูมิน้ำมันของปั๊มที่ 8-15 กลุ่มที่ 10 115
รูปที่ 5.69 ระดับคุณภาพของน้ำมันของปั๊มที่ 1-2 กลุ่มที่ 11 116
รูปที่ 5.70 อุณหภูมิน้ำมัน ของปั๊มที่ 1-2 กลุ่มที่ 11 116
รูปที่ 5.71 ระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มที่ 1-2 กลุ่มที่ 13 117
รูปที่ 5.72 อุณหภูมิน้ำมันของปั๊มที่ 1-2 กลุ่มที่ 13 117
รูปที่ 5.73 ระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มที่ 1-9 กลุ่มที่ 14 118
รูปที่ 5.74 อุณหภูมิน้ำมันของปั๊มที่ 1-9 กลุ่มที่ 14 118
รูปที่ 5.75 ระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มที่ 1 กลุ่มที่ 15 119
รูปที่ 5.76 อุณหภูมิน้ำมันของปั๊มที่ 1 กลุ่มที่ 15 119
รูปที่ 5.77 ระดับคุณภาพของน้ำมัน ของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 17 120
รูปที่ 5.78 อุณหภูมิน้ำมันของปั๊มที่ 1 กลุ่มที่ 17 120

รูปที่ 5.79 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยการผลิตต้มเยื่อ สำหรับปั๊มประเภทหอยโข่ง 123
รูปที่ 5.80 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยการฟอกเยื่อด้วยออกซิเจนสำหรับปั๊มประเภทหอยโข่ง 124
รูปที่ 5.81 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยการฟอกเยื่อด้วยสารเคมีสำหรับปั๊มประเภทหอยโข่ง 125
รูปที่ 5.82 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยผลิตสารเคมี สำหรับปั๊มประเภทหอยโข่ง 127
รูปที่ 5.83 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยผลิตโซดาไฟ สำหรับปั๊มประเภทหอยโข่ง 129
รูปที่ 5.84 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยบำบัดน้ำเสีย สำหรับปั๊มประเภทหอยโข่ง 130
รูปที่ 5.85 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยผลิตน้ำดิบ สำหรับปั๊มประเภทหอยโข่ง 131
รูปที่ 5.86 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยผลิตน้ำมัน สำหรับปั๊มประเภทสกรู 132
รูปที่ 5.87 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยบำบัดน้ำเสีย สำหรับปั๊มประเภทสกรู 133
รูปที่ 5.88 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยผลิตน้ำดิบ สำหรับปั๊มประเภทสกรู 134
รูปที่ 5.89 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาปั๊มไม่สามารถส่งน้ำได้ 138
รูปที่ 5.90 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาอัตราการส่งไม่เพียงพอ 139
รูปที่ 5.91 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาแรงดันส่งไม่เพียงพอ 140
รูปที่ 5.92 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาปั๊มเกิดความผิดปกติหลังจากสตาร์ท 141
รูปที่ 5.93 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาปั๊มใช้กำลังไฟมากเกินไป 142
รูปที่ 5.94 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาประเก็นเชือกมีอายุสั้น 144

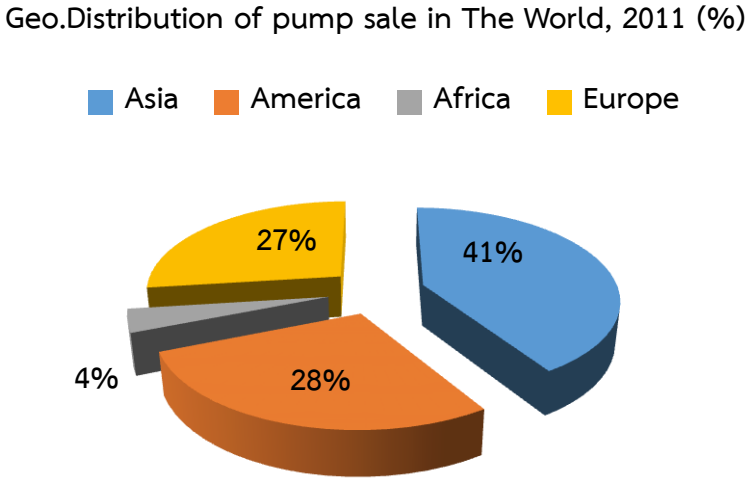
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

รูปที่ 5.95 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาปั๊มมีอาการสั่นและมีเสียงผิดปกติ 145
รูปที่ 5.96 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาปั๊มมีอาการสั่นและมีเสียงผิดปกติ (ต่อ) 146
รูปที่ 5.97 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาลูกปืนมีอายุการใช้งานสั้นเกินไป 147
รูปที่ 5.98 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาปั๊มมีอาการร้อนมากผิดปกติ 148
รูปที่ 5.99 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหาปั๊มสตาร์ทไม่ติด 149
รูปที่ 5.100 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหาอัตราการส่งไม่เพียงพอ 150
รูปที่ 5.101 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหาสูญเสียแรงดันด้านดูด 151
รูปที่ 5.102 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหาปั๊มหยุดทำงาน 152
รูปที่ 5.103 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหาอัตราการไหลต่ำ 153
รูปที่ 5.104 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหาแรงดันด้านส่งไม่เพียงพอ 154
รูปที่ 5.105 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหาระบบขับเคลื่อนเกิดการ Overload 155
รูปที่ 5.106 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหาปั๊มมีเสียงดังและสั่นสะเทือน 156
รูปที่ 5.107 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหา Shaft seal รั่ว 157
รูปที่ 5.108 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหา Stator สึกหรอเร็วกว่ากำหนด 158
รูปที่ 5.109 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหา Rotor สึกหรอเร็วกว่ากำหนด 159
รูปที่ 5.110 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหาอัตราการไหลไม่คงที่ 160
รูปที่ 5.111 แผนงานบำรุงรักษาปั๊มประเภทหอยโข่งและประเภทสกรู 173

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

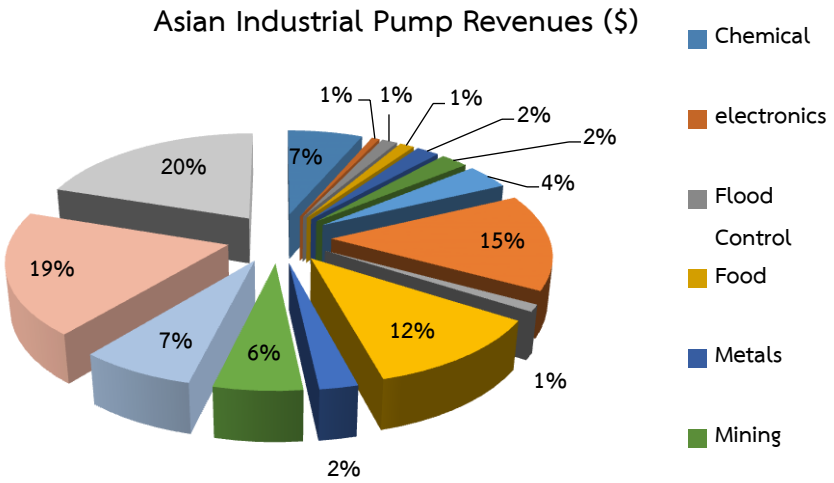
ปั๊มเป็นอุปกรณ์ที่ช่วยในการส่งถ่ายพลังงานจากแหล่งพลังงานต้นกำเนิดไปยังของเหลวเพื่อทำให้ของเหลวเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งที่มีตำแหน่งที่ไกลกว่าหรือสูงกว่า ในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการใช้ปั๊มในกิจกรรมต่างๆอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น ภาคครัวเรือน ภาคการเกษตร และภาคอุตสาหกรรม โดยในภาคอุตสาหกรรมมีปริมาณการใช้งานปั๊มค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับอุตสาหกรรมอื่นๆ อาทิเช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมี ใช้ส่งถ่ายสารเคมีในกระบวนการผลิต อุตสาหกรรมน้ำมัน ใช้ส่งถ่ายน้ำมันจากแหล่งผลิตไปสู่แหล่งที่เก็บ อุตสาหกรรมยานยนต์ ใช้ในระบบการหล่อเย็น ระบายความร้อนต่างๆ เป็นต้น ซึ่งในแต่ละอุตสาหกรรมได้มีการใช้งานปั๊มประเภทต่างๆ ขึ้นอยู่กับกระบวนการและความเหมาะสมของการผลิต และเมื่ออุตสาหกรรมมีการเจริญเติบโตมากขึ้น ความต้องการใช้งานปั๊มก็มีแนวโน้มที่สูงขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ปริมาณการใช้งานปั๊มในทวีปต่างๆ

ที่มา : www.flowcontrolnetwork.com

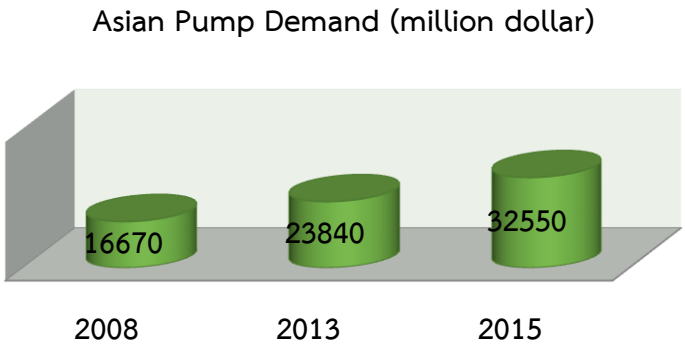
จากรูปที่ 1.1 แสดงสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การใช้งานปั๊มในทวีปต่างๆในโลก โดยทวีปที่มีการใช้งานปั๊มมากที่สุดคือ ทวีปเอเชีย รองลงมาคืออเมริกา ยุโรป และแอฟริกา ตามลำดับ



รูปที่ 1.2 ปริมาณการใช้งานปั๊มในอุตสาหกรรมต่างๆ

ที่มา : www.flowcontrolnetwork.com

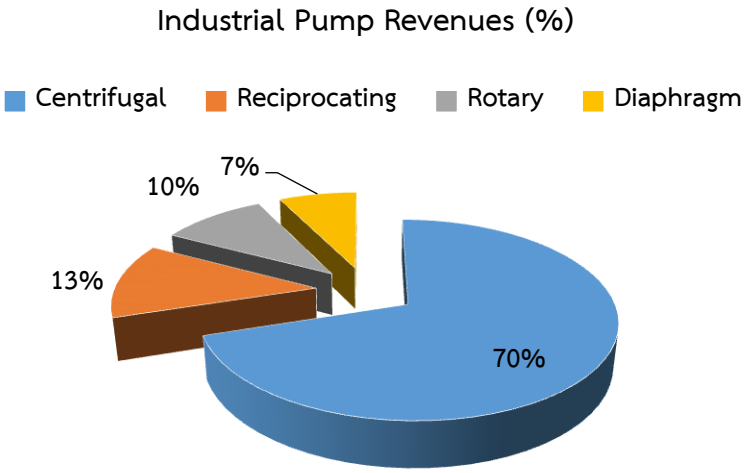
จากรูปที่ 1.2 แสดงสัดส่วนเปอร์เซ็นต์การใช้งานปั๊มในอุตสาหกรรมต่างๆในทวีปเอเชีย โดยอุตสาหกรรมที่มีการใช้งานปั๊มมากที่สุดคือ อุตสาหกรรมผลิตน้ำ รองลงมาคืออุตสาหกรรมบำบัดน้ำเสีย



รูปที่ 1.3 มูลค่าการซื้อ-ขายปั๊ม ในทวีปเอเชียตั้งแต่ปี ค.ศ. 2008-2015

ที่มา : home.mcilvainecompany.com

จากรูปที่ 1.3 แสดงถึงมูลค่าการซื้อ-ขายปั๊มในทวีปเอเชียตั้งแต่ปี ค.ศ.2008-2015 โดยจะเห็นได้ถึงแนวโน้มมูลค่าการซื้อ-ขายที่เพิ่มขึ้นต่อเนื่องทุกปี เพื่อตอบสนองต่อการเจริญเติบโตของภาคอุตสาหกรรมในทวีปเอเชีย



รูปที่ 1.4 ปริมาณการพยากรณ์การใช้งานปั๊มในปี 2019 แยกตามประเภทของปั๊ม
ที่มา : home.mcilvainecompany.com

จากรูปที่ 1.4 แสดงถึงเปอร์เซ็นต์การใช้งานปั๊มแยกตามประเภท ซึ่งประเภทที่มีการใช้งานมากที่สุดคือ Centrifugal รองลงมาคือ Reciprocating , Rotary และ Diaphragm ตามลำดับ

โดยกรณีบริษัทตัวอย่าง เป็นผู้ผลิตสารเคมี, ผลิตปูนขาว และผลิตเยื่อจากต้นไม้ ซึ่งจะนำไปใช้ในกระบวนการผลิตเส้นใยเสื้อผ้า ในกระบวนการผลิตนั้นมีการใช้งานปั๊มประเภทหอยโข่งและปั๊มประเภทสกรูในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก การบำรุงรักษาจึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยผลักดันให้ปั๊มสามารถใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง และได้ผลผลิตอย่างต่อเนื่องเช่นกัน ซึ่งจำนวนการใช้งานปั๊มในแต่ละขั้นตอนแยกดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 จำนวนปั๊มที่มีการใช้งานในแต่ละกระบวนการผลิต

กระบวนการผลิต	จำนวนปั๊มที่ใช้งาน	
	หอยโข่ง	สกรู
การผลิตเยื่อ	86	-
การผลิตสารเคมี	56	-
การผลิตปูนขาว	21	9
โรงกรองน้ำและบำบัดน้ำเสีย	27	5
รวม	**190**	**14**

และจากจำนวนของปั๊มที่มีการใช้งานทั้งหมดดังตารางที่ 1.1 สามารถจำแนกความสำคัญได้ 3 ระดับ แบ่งเป็น ระดับ A, B และ C ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 จำนวนของปั๊มแยกตามระดับความสำคัญ

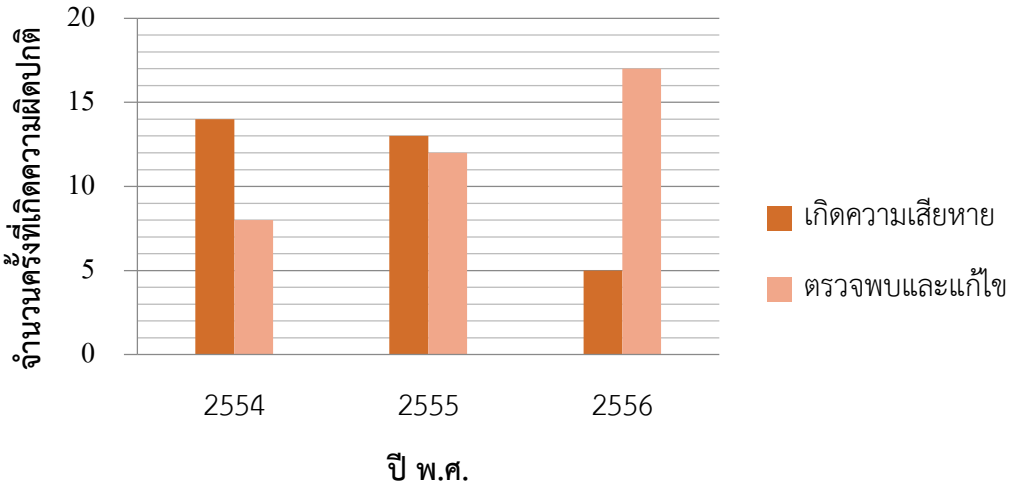
ระดับความสำคัญ	จำนวนปั๊ม	
	หอยโข่ง	สกรู
A	118	0
B	70	14
C	2	0

โดยระดับ A หมายถึง เมื่อเครื่องจักรเกิดความเสียหายส่งผลให้กระบวนการผลิตหยุดทั้งหมด ทำให้สูญเสียโอกาสในการผลิต

ระดับ B หมายถึง เมื่อเครื่องจักรเกิดความเสียหาย กระบวนการผลิตยังสามารถผลิตได้ต่อ แต่จะต้องลดกำลังการผลิตลง ทำให้สูญเสียผลผลิตบางส่วน

ระดับ C หมายถึง เมื่อเครื่องจักรเกิดความเสียหาย จะไม่กระทบต่อกระบวนการผลิต

รูปที่ 1.5 แสดงความถี่ของความผิดปกติที่เกิดขึ้นของปั๊มทั้งสองประเภท แยกเป็นการเกิดความเสียหายแล้วจึงทำการแก้ไข และการตรวจพบก่อนแล้วทำการแก้ไข



รูปที่ 1.5 ความถี่ของการเกิดความผิดปกติของปั๊ม

จากรูปที่ 1.5 แสดงจำนวนของความถี่การเกิดความผิดปกติของปั๊มตั้งแต่ปี พ.ศ. 2554-2556 โดยจะเห็นได้ว่าการบำรุงรักษามีแนวโน้มที่ดีขึ้นทุกปี เกิดความเสียหายน้อยลง เนื่องมาจากการพัฒนาการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน แต่จะพบว่ามีการตรวจพบและแก้ไขที่สูงขึ้นมาก ซึ่งการตรวจพบจะต้องใช้เวลา รวมทั้งยังต้องใช้กำลังคนที่มีความรู้และความเข้าใจ ซึ่งเป็นภาระงานที่หนักสำหรับพนักงานบำรุงรักษา โดยการบำรุงรักษาปั๊มสามารถอนุมานระดับความยากของการซ่อมได้ 3 ระดับ ดังตารางที่ 1.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 1.3 ระดับความยากของการบำรุงรักษาปั๊ม

ระดับความยาก	ประเภทของปั๊ม	
	หอยโข่ง	สกรู
1	0.5-1 ชั่วโมง	0.5-1 ชั่วโมง
2	1-3 ชั่วโมง	1-3 ชั่วโมง
3	3-6 ชั่วโมง	3-4 ชั่วโมง

จากข้อมูลที่กล่าวมาในข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการบำรุงรักษาคือหัวใจสำคัญที่จะทำให้ปั๊มสามารถใช้งานได้อยู่ตลอดเวลา ปั๊มทั้งสองประเภทนี้จะต้องมีการวางแผนระบบการบำรุงรักษาที่ดี จึงได้

นำเอาระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ ซึ่งจะช่วยทำให้ทราบถึงสภาพหรือสถานะของปั๊ม ว่าควรที่จะทำการบำรุงรักษาเมื่อใด เพื่อที่จะสามารถวางแผนในการบำรุงรักษา เตรียมแรงงาน จัดซื้อชิ้นส่วนอะไหล่ล่วงหน้า และสามารถที่จะกำหนดช่วงเวลาในการแก้ไขไม่ให้ขัดกับแผนการผลิตหลักได้ อีกทั้งยังช่วยยืดอายุการใช้งานปั๊มให้ยาวนานมากยิ่งขึ้นและลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

นอกจากนี้ยังสามารถนำมาช่วยในเรื่องการพัฒนาช่างบำรุงรักษา เนื่องมาจากพนักงานบำรุงรักษามักมีอัตราการเข้าออกจากงานของพนักงานสูง ทำให้มีการรับพนักงานเข้ามาใหม่อยู่เสมอ ส่งผลให้การฝึกอบรมต้องใช้เวลานานและไม่ทันต่อความต้องการใช้งาน ดังนั้นต้องมีการพัฒนาการบำรุงรักษาเพิ่มมากขึ้นจึงนำระบบ การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการบำรุงรักษาและทำให้สามารถพัฒนาบุคลากรให้ทันต่อการใช้งานได้ด้วย

จากการสัมภาษณ์โดยการตอบแบบสอบถามของระดับหัวหน้างานในบริษัทตัวอย่างพบว่า เวลาที่ใช้ในการเรียนรู้ของพนักงานบำรุงรักษาในหัวข้อต่างๆนั้นจะใช้เวลาดังตารางที่ 1.4

ตารางที่ 1.4 ระยะเวลาในการเรียนรู้ในหัวข้อต่างๆ

ปั๊มหอยโข่ง		**ปั๊มสกรู**	
หัวข้อการเรียนรู้	**เวลาที่ใช้ในการเรีย**	**หัวข้อการเรียนรู้**	**เวลาที่ใช้ในการเรียน**
ภาคทฤษฎี	1 เดือน	ภาคทฤษฎี	0.5 เดือน
ภาคปฏิบัติ	6 เดือน	ภาคปฏิบัติ	3 เดือน
การซ่อมบำรุงเชิงป้องกันแล เชิงพยากรณ์	4 เดือน	การซ่อมบำรุงเชิงป้องกัน และเชิงพยากรณ์	2 เดือน
การแก้ไขปัญหาได้อย่างเชี่ย	1.5 ปีขึ้นไป	การแก้ไขปัญหาได้อย่างเชี	1 ปีขึ้นไป

จากตารางที่ 1.4 จะเห็นได้ว่าการที่พนักงานบำรุงรักษาจะแก้ไขปัญหาได้อย่างเชี่ยวชาญนั้นจะต้องใช้เวลาอย่างน้อยประมาณ 1 ปีขึ้นไป ซึ่งถือว่าเป็นเวลาที่ค่อนข้างนานพอสมควร จึงได้มีการพัฒนาระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ โดยนำวิธีการวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลว (Fault Tree Analysis) มาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการวิเคราะห์และวินิจฉัยปัญหาความเสียหายต่างๆที่สามารถเกิดขึ้นกับปั๊มได้

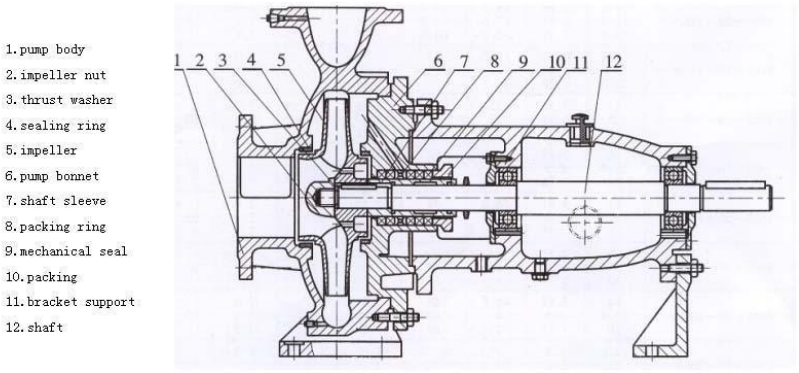
ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ให้ความสำคัญกับการพัฒนาระบบการบำรุงรักษาปั๊มประเภทหอยโข่ง (Centrifugal pump) และประเภทสกรู (Screw pump) ซึ่งใช้งานเป็นจำนวนมากในกระบวนการผลิต เยื่อกระดาษดังรูปที่ 1.6 และ 1.8 ตามลำดับ

1) ปั๊มประเภทหอยโข่ง

รูปที่ 1.6 ปั๊มประเภทหอยโข่ง

ที่มา : www.spx.com

จากรูปที่ 1.6 แสดงภาพปั๊มประเภทหอยโข่งซึ่งประกอบเข้ากับชุดมอเตอร์ไฟฟ้า โดยมีส่วนประกอบของปั๊มหลักๆดังรูปที่ 1.7



รูปที่ 1.7 ส่วนประกอบปั๊มประเภทหอยโข่ง

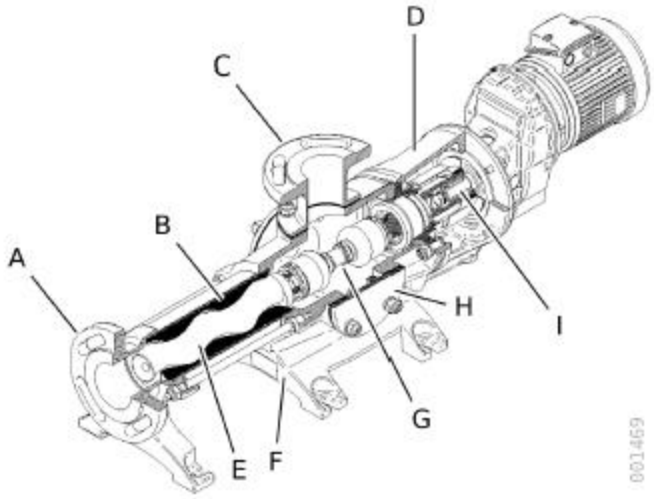
ที่มา : www.china-ogpe.com

2) ปั๊มประเภทสกรู

รูปที่ 1.8 ปั๊มประเภทสกรู

ที่มา: sreich.nanasupplier.com

จากรูปที่ 1.8 แสดงภาพปั๊มประเภทสกรูซึ่งประกอบเข้ากับชุดมอเตอร์ไฟฟ้าโดยมีส่วนประกอบของปั๊มหลักๆดังรูปที่ 1.9



***A**: Flange (discharge or suction port). **B**: Pump housing. **C**: Flange (discharge or suction port). **D**: Spacer. **E**: Rotor. **F**: Body. **G**: Connecting rod. **H**: Flange cover. **I**: Drive shaft.*

รูปที่ 1.9 ส่วนประกอบปั๊มประเภทสกรู

ที่มา: Instruction Manual PCM Pump

ในการวินิจฉัยปัญหาข้อขัดข้องที่เกิดขึ้นกับปั๊มต้องอาศัยการพัฒนาองค์ความรู้ของบุคลากรจากหลายแหล่งความรู้ เพราะอาการผิดปกติของปั๊มที่เกิดขึ้น อาจจะมาได้จากหลายสาเหตุ ซึ่งสามารถยกตัวอย่างของอาการผิดปกติและสาเหตุที่ทำให้ปั๊มทั้ง 2 ชนิดเกิดความเสียหายได้ดังนี้

ตัวอย่างอาการผิดปกติของปั๊มชนิดหอยโข่งที่เกิดขึ้น

1.ปั๊มไม่สามารถส่งของไหลได้

2.อัตราการส่งไม่เพียงพอ

3.แรงดันส่งไม่เพียงพอ

4.ปั๊มมีความผิดปกติหลังจากสตาร์ท

5.ปั๊มมีการใช้กำลังไฟมากเกินไป

6.Pump bonnet หรือ Back plate มีการรั่วไหลมากเกินไป

7.ประเก็นเชือกมีอายุสั้น

8.ปั๊มมีอาการสั่นและมีเสียงผิดปกติ

9.ลูกปืนมีอายุการใช้งานที่สั้นเกินไป

10.ปั๊มมีอาการร้อนมากผิดปกติ

ตัวอย่างสาเหตุที่เสียของปั๊มชนิดหอยโข่งเกิดจาก

1.ปั๊มไม่สามารถดูดของไหลได้

2.ปั๊มหรือท่อดูดไม่มีของเหลวอยู่หรือมีน้อย

3.ปริมาณอากาศหรือก๊าซในของเหลวมีมากเกินไป

4.เกิดโพรงอากาศทางท่อดูด

5. ความดันของระบบสูงกว่า ความดันของปั๊มที่ออกแบบมาใช้งาน

6.ชุด Seal วางไม่ถูกต้องใน back plate ทำให้น้ำ Sealing ไม่สามารถเข้าไปยังห้อง Seal ได้

7.ปั๊มอยู่ในตำแหน่งเยื้องศูนย์

8.ฐานปั๊มไม่แข็งแรง

9.ใบพัด unbalance ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน

10.ส่วนที่หมุนมีการเสียดสีกับส่วนที่ไม่หมุน

ตัวอย่างอาการผิดปกติของปั๊มชนิดสกรูที่เกิดขึ้น

1.อัตราการไหลต่ำ

2.ปั๊มมีอาการสั่นและเสียงดังผิดปกติ

3.เกิดการรั่วไหลที่ชุด Seal

4.ปั๊มหยุดหมุน

5.ระบบส่งกำลังเกิด Overload

6.Rotor มีการสึกหรอเร็วกว่ากำหนด

7.Stator มีการสึกหรอเร็วกว่ากำหนด

8.อัตราการไหลไม่คงที่

9.ความดันด้านส่งไม่เพียงพอ

10.ปั๊มไม่สตาร์ท

ตัวอย่างสาเหตุที่เสียของปั๊มชนิดสกรูเกิดจาก

1.อุณหภูมิของของไหลต่ำกว่าที่ได้ออกแบบไว้

2.ปั๊มมีการ Running dry (การหมุนโดยไม่มีของไหลในตัวปั๊ม)

3.Mechanical seal มีการรั่ว

4.ความหนืดของของไหลมีค่ามากเกินกว่าที่ออกแบบไว้

5.ความดันด้านส่งสูงเกินไป

6.มีเศษวัสดุแข็งปะปนมาจากของไหล

7.ของไหลมีอุณหภูมิที่สูงเกินไป

8.เกิดฟองอากาศที่ด้านดูด

9.รอบในการหมุนต่ำ

10.ปั๊มถูกบล๊อคโดยสิ่งแปลกปลอมภายใน

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาระบบบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์สำหรับปั๊มประเภทหอยโข่งและสกรูในอุตสาหกรรมผลิตเยื่อกระดาษ

Chulalongkorn University

1.3 ขอบเขตในการดำเนินงาน

ระบบการบำรุงรักษาเน้นที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษาของปั๊มประเภทหอยโข่งและสกรู โดยชี้วัดจากเปอร์เซ็นต์การเกิดความผิดปกติเมื่อเทียบกับช่วงเดียวกันของปีที่ผ่านมา

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.) สามารถสร้างระบบการบำรุงรักษาสำหรับปั๊มประเภทหอยโข่งและสกรู

2.) สามารถสร้างแผนการบำรุงรักษาสำหรับปั๊มประเภทหอยโข่งและสกรู

3.) ช่วยให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาที่จะเกิดขึ้นได้ก่อนที่ปั๊มจะเกิดการขัดข้อง

4.) สามารถช่วยในการพัฒนาการเรียนรู้ของพนักงานใหม่ให้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น

5.) สามารถที่จะใช้เป็นต้นแบบในการการบำรุงรักษาปั๊มแก่ผู้ที่สนใจ ที่จะทำงานวิจัยในลักษณะนี้ต่อไป

1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1) ศึกษาและค้นคว้า ตำรา หนังสือ หรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาระบบงานบำรุงรักษา รวมถึงรวบรวมความรู้และประสบการณ์จากผู้เชี่ยวชาญโดยตรงในบริษัทตัวอย่างที่มีการใช้งานปั๊มและบำรุงรักษาปั๊มทั้ง 2 ประเภท

2.) เก็บรวบรวมข้อมูลและความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการบำรุงรักษาระบบปั๊มประเภทหอยโข่งและประเภทสกรู

3.) วิเคราะห์ปัญหาของระบบการบำรุงรักษาเดิมและวางแผนพัฒนาระบบการบำรุงรักษา

4.) จัดทำแผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์และปรับปรุงแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

5.) วัดผลการพัฒนาระบบบำรุงรักษาภายหลังจากการนำไปใช้งานจริง จากค่าเฉลี่ยของเวลาระหว่างเกิดการขัดข้อง (MTBF) และค่าเฉลี่ยของเวลาตั้งแต่เกิดการขัดข้องจนใช้งานได้ (MTTR)

6.) สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยบทนำเกี่ยวกับปั๊ม ประเภทของปั๊ม ลักษณะการทำงานของปั๊มชนิดหอยโข่งและชนิดสกรู และบทนำเกี่ยวกับการบำรุงรักษา

2.1 ปั๊ม (Pump)

ปั๊ม คือ อุปกรณ์ที่ช่วยส่งผ่านพลังงานให้แก่ของเหลวเพื่อทำให้ของเหลวไหลผ่านจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ,จากบริเวณที่ระดับน้ำต่ำกว่าไปยังบริเวณที่ระดับน้ำสูงกว่า ,จากบริเวณที่มีความดันต่ำไปยังบริเวณที่มีความดันสูง หรือต้องการส่งของเหลวไประยะทางที่ไกลออกไป โดยจุดเริ่มต้นของการใช้งานปั๊มมีมานานกว่า 2000 ปีก่อนคริสตศักราช โดยเริ่มแรกได้มีการใช้พลังงานจากมนุษย์ สัตว์ ต่อมาจึงได้มีการใช้พลังงานธรรมชาติเข้ามาช่วย เช่น พลังงานน้ำ และพลังงานลมเป็นแหล่งต้นกำเนิด โดยในช่วงแรกใช้เพื่อการอุปโภคบริโภคและการเกษตรเท่านั้น แต่ในปัจจุบันปั๊มเป็นอุปกรณ์อีกชนิดหนึ่งที่มีความเกี่ยวข้องกับชีวิตและความเป็นอยู่ของมนุษย์ เป็นอุปกรณ์ทีช่วยส่งน้ำไปใช้ในภาคการเกษตร ภาคอุตสาหกรรม ภาคครัวเรือน ตลอดจนใช้ในการบำบัดน้ำเสีย เพื่อรักษาสภาพแวดล้อมที่ดีให้กับมนุษย์ แต่ในปัจจุบันวิวัฒนาการของปั๊มได้เปลี่ยนไปจากเดิม จากการใช้แหล่งพลังงานจากธรรมชาติมาเป็นพลังงานไฟฟ้า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.1.1 ประเภทของปั๊ม

ปั๊มมีการจัดแบ่งตามรูปแบบและลักษณะการใช้งานได้ 2 ประเภท คือ

(1) แยกตามลักษณะการเพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวหรือการไหลของของเหลวในปั๊มซึ่งได้แก่

- ประเภทเซนตริฟูกอล (Centrifugal) เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางปั๊มประเภทนี้บางครั้งเรียกว่าเป็นประเภท Roto-dynamic
- ประเภทโรตารี่ (Rotary) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการหมุนของฟันเฟืองรอบแกนกลาง
- ประเภทลูกสูบชัก (Reciprocating) เพิ่มพลังงานโดยอาศัยการอัดโดยตรงในกระบอกสูบ
- ประเภทพิเศษ (Special) ซึ่งเป็นปั๊มที่มีลักษณะพิเศษไม่สามารถจัดให้อยู่ในสามประเภทข้างต้นได้

(2) แยกประเภทตามลักษณะการขับดันของของเหลวในเครื่องสูบ ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

- ทำงานโดยไม่อาศัยหลักการแทนที่ของของเหลว (Non-Positive Displacement) ปั๊มประเภทอาศัยหลักแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางอาจจัดให้อยู่ในกลุ่มนี้ได้
- ทำงานโดยอาศัยหลักการแทนที่ของของเหลว (Positive Displacement) อาศัยการแทนที่ของของเหลวในห้องสูบด้วยการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนของเครื่องสูบ ปั๊มประเภทนี้รวมแบบโรตารี่และลูกสูบชักเข้าอยู่ในกลุ่มเดียวกัน

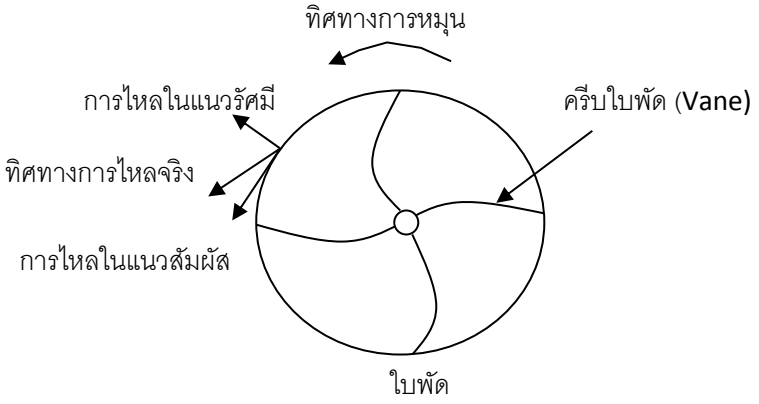
โดยในงานวิจัยนี้ได้ให้ความสำคัญกับปั๊มชนิดหอยโข่ง ซึ่งถูกจัดอยู่ในประเภทเซนตริฟูกอล และปั๊มชนิดสกรูซึ่งจัดอยู่ในประเภทโรตารี่ มีลักษณะการทำงานของปั๊มดังนี้

2.1.2 ลักษณะการทำงาน

(1) ปั๊มหอยโข่ง

ปั๊มแบบนี้ทำงานโดยอาศัยการหมุนของใบพัดหรืออิมเพลเลอร์ (Impeller) ที่ได้รับการถ่ายเทกำลังจากเครื่องยนต์ต้นกำลังหรือมอเตอร์ไฟฟ้า เมื่อใบพัดหมุนพลังงานจากเครื่องยนต์ก็จะถูกถ่ายเทโดยการพลักดันของครีบใบพัด (Vane) ต่อของเหลวที่อยู่รอบ ๆ ทำให้เกิดการไหลในแนวสัมผัสกับเส้นรอบวง (Tangential flow) เมื่อมีการไหลในลักษณะดังกล่าวก็จะเกิดแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลาง (Centrifugal force) และเป็นผลให้มีการไหลจากจุดศูนย์กลางของใบพัดออกไปสู่แนวเส้นรอบวงทุกทิศทาง (Radial flow) ดังนั้นของเหลวที่ถูกใบพัดผลักดันออกมาก็จะมีทิศทางการไหลที่เป็นผลรวมของแนวทั้งสอง ดังรูปที่ 2.1

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



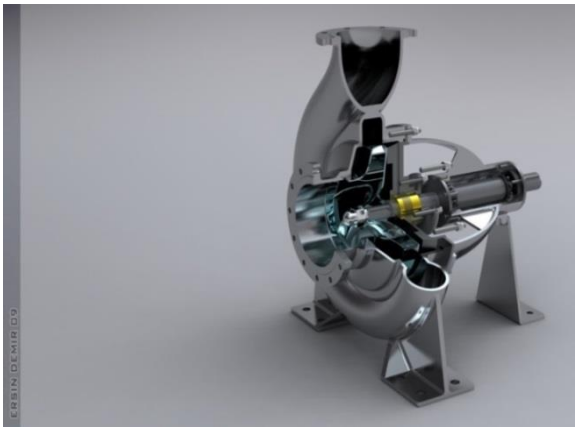
รูปที่ 2.1 ทิศทางการไหลของของเหลวขณะผ่านออกจากใบพัด (Impeller)

โดยหลักกลศาสตร์ เมื่อของเหลวถูกหมุนให้เกิดแรงหนีจุดศูนย์กลาง ความกดดันของของเหลวจะมีค่ามากขึ้นเมื่ออยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางของใบพัดมากขึ้น เมื่อความเร็วของใบพัดซึ่งหมุนอยู่ในภาชนะอัดมากพอ ความกดดันที่จุดศูนย์กลางก็จะต่ำกว่าความกดดันของบรรยากาศ ดังนั้นปั๊มแบบอาศัยแรงเหวี่ยงหนีจุดศูนย์กลางที่แท้จริงจึงมีทางให้ของเหลวเข้าหรือทางดูด (Suction Opening) อยู่ที่ศูนย์กลางใบพัด

ของเหลวที่ถูกดูดเข้าทางศูนย์กลางเมื่อถูกผลักดันออกไปด้วยแรงผลักดันของครีบใบพัดและแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางก็จะไหลออกมาตลอดแนวเส้นรอบวง ดังนั้นใบพัดจึงจำเป็นต้องอยู่ในเรือนปั๊ม (Casing) เพื่อทำหน้าที่รวบรวมและผันของเหลวเหล่านี้ไปสู่ทางจ่าย (Discharge Opening) เพื่อต่อเข้ากับท่อส่งหรือระบบใช้งานต่อไป ในการรวบรวมของเหลวที่ถูกผลักดันออกมานี้จำเป็นจะต้องเริ่มต้นที่จุดใดจุดหนึ่งบนเส้นรอบวงของใบพัด ดังนั้นจะมีจุดหนึ่งซึ่งผนังภายในของเรือนปั๊มเข้ามาชิดกับขอบของใบพัดมาก จุดดังกล่าวนี้เราเรียกว่าลิ้นของเรือนปั๊ม (Tongue of the casing) ลักษณะโดยทั่ว ๆ ไปของเรือนปั๊มจะดูได้จากรูป 2.2

จากลิ้นของเรือนปั๊มไปตามทิศทางการหมุนของใบพัด จะมีของเหลวไหลออกมามากขึ้นตามความยาวเส้นรอบวงของใบพัดที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นช่องว่างซึ่งเป็นทางเดินของของเหลวระหว่างผนังของเรือนปั๊มกับใบพัดก็จะต้องเพิ่มขนาดขึ้นด้วย โดยหลักการแล้วอัตราการเพิ่มพื้นที่หน้าตัดจะคงที่เพื่อให้ความเร็วของการไหลสม่ำเสมอซึ่งจะเป็นผลให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยลงนั้นเอง อย่างไรก็ตามความเร็วของการไหลจะลดลงเนื่องจากพลังงานบางส่วนถูกเปลี่ยนมาเป็นพลังงานศักย์ (Potential Energy) ในรูปของความดัน (Pressure head) แทน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



รูปที่ 2.2 ภาพตัดขวางของเรือนปั๊ม (Casing) ของปั๊มแบบเซนตริฟูกอล
ที่มา: fidelcasto.com

(2) ปั๊มสกรู

ปั๊มแบบนี้เพิ่มพลังงานให้แก่ของเหลวโดยอาศัยโรเตอร์ซึ่งมีลักษณะเป็นสว่านที่หมุนในลักษณะขับดันให้ของเหลวเคลื่อนที่ไประหว่างร่องเกลียวสว่านกับผนังห้องสูบจากทางดูดไปสู่ทางจ่าย

อัตราการสูบของปั๊มแบบนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการแทนที่ของเหลวของโรเตอร์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะต่ำกว่าแบบอื่น ประสิทธิภาพของการทำงานขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายอย่าง เช่น ช่องว่าง (Clearance) ระหว่างโรเตอร์กับผนังของห้องสูบ ความแตกต่างของความดันระหว่างด้านสูบกับด้านจ่าย ความข้นเหนียว (Viscosity) ของของเหลว และความเร็วของการหมุน เป็นต้น ปั๊มแบบนี้จะให้ประสิทธิภาพสูงได้ถึง 80 – 85 % ถ้าใช้กับของเหลวที่มีความข้นเหนียวสูง ซึ่งสามารถเห็นได้ดังรูปที่ 2.3

รูปที่ 2.3 ภาพตัดแสดงส่วนประกอบของปั๊มแบบสกรู

ที่มา: www.kosakalab.co.jp

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

2.2 การบำรุงรักษา (Maintenance)

การบำรุงรักษา หมายถึง การพยายามรักษาสภาพของเครื่องจักรให้สามารถใช้งานได้ตลอดเวลา ซึ่งในปัจจุบันกลายเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรม ทั้งในประเทศที่พัฒนาแล้วหรือยังไม่พัฒนา โดยมีวัตถุประสงค์ดังนี้

(1) เพื่อให้อุปกรณ์อยู่ในสภาพพร้อมใช้งานตลอดเวลา คือการบำรุงรักษาที่กระทำก่อนที่อุปกรณ์จะชำรุด

(2) เพื่อแก้ไขซ่อมแซมอุปกรณ์ที่ชำรุดให้กลับมาอยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน

(3) เพื่อเพิ่มความไว้วางใจหรือความน่าเชื่อถือ (Reliability) ในการใช้อุปกรณ์เครื่องจักรนั้น

(4) ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงเมื่อมีการวางแผนที่เหมาะสม การจัดสรรกำลังคน วัสดุ อะไหล่ รวมถึงระยะเวลาในการซ่อมที่เป็นไปอย่างรัดกุมและมีประสิทธิภาพ

(5) ลดจำนวนหรือความถี่ของอุปกรณ์ที่ขัดข้องเสียหาย โดยการใช้ระบบการบำรุงรักษาแบบ

ป้องกัน (Preventive maintenance)

(6) ลดจำนวนงานบำรุงรักษาคงค้าง (Backlog) เครื่องจักรที่ดีมีคุณภาพจะทำให้ได้งานตามเป้าหมายทั้งคุณภาพและปริมาณ

2.2.1 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive maintenance)

หมายถึง งานบำรุงรักษาที่มีการวางแผนและกำหนดการทำงานล่วงหน้า โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะป้องกันหรือลดปัญหาการขัดข้อง การชำรุดเสียหายของเครื่องจักรและอุปกรณ์ให้น้อยลงหรือหมดสิ้นไป การบำรุงรักษาเชิงป้องกันมีอยู่ 2 ลักษณะได้แก่

(1) การบำรุงรักษาโดยใช้ระยะเวลาเป็นตัวกำหนด (Time base or Fixed time maintenance) (สุพัฒน์ เซียศิริวัฒนา, วัฒนา เชียงกูล et al. 2549)การบำรุงรักษาโดยใช้เวลาเป็นตัวกำหนดนี้ เราคิดจากเวลาในการทำงาน ซึ่งช่วงเวลาในการทำงานต้องดำเนินการอย่างสม่ำเสมอเป็นแบบวัฏจักร เช่นการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่นทุกๆ 5,000 -10,000 ชม.การใช้งาน หรือ การเปลี่ยนชิ้นส่วนเครื่องจักรจากอายุการใช้งานที่ได้รับการแนะนำจากผู้ผลิต การบำรุงรักษาวิธีนี้ครอบคลุมถึงการเปลี่ยนอะไหล่ การเติมหรือเปลี่ยนถ่ายน้ำมันหล่อลื่น การปรับแต่งต่าง ๆวิธีนี้จะได้ผลก็ต่อเมื่อผู้วางแผนการบำรุงรักษาต้องรู้ข้อมูลของชิ้นส่วนต่าง ๆ อย่างแน่นอน ข้อมูลก็คืออายุการทำงาน วิธีการนี้เหมาะสมกับชิ้นส่วนที่ถอดเปลี่ยนง่าย หรือเครื่องจักรที่เป็นเอกเทศ เพราะจะเป็นการลดความเสี่ยงในการสร้างความเสียหายโดยไม่เจตนาแก่ชิ้นส่วนที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ขณะดำเนินการ

การบำรุงรักษาโดยการใช้เวลาเป็นตัวกำหนดอายุการใช้งานนี้ ก่อนที่จะกำหนดเวลานี้ได้ต้องมีข้อมูลทางด้านสถิติที่เพียงพอในการที่จะหาอายุการใช้งานเฉลี่ย (Mean Time To Future) ค่านี้จะเป็นค่าระยะเวลาสูงสุดที่ชิ้นส่วนจะมีโอกาสชำรุด แต่ก็ยังมีโอกาสที่ชิ้นส่วนจะชำรุดก่อน หรือหลังจากจุดนี้ได้ ดังนั้นเพื่อความปลอดภัยเราจึงต้องทำการเผื่อระยะเวลา (Safety Periled) ในการเปลี่ยนชิ้นส่วนนั้น ๆ ก่อนถึง MTTF จุดที่ควรทำการเปลี่ยนชิ้นส่วนนี้เรียกว่า Mean Time To Repair (MTTR)

(2) การบำรุงรักษาโดยตรวจสอบสภาพเครื่องจักร (Condition based or Predictive maintenance)

การตรวจสอบเครื่องจักรเราสามารถทำได้ทั้งโดยผู้ปฏิบัติงานและโดยผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งขึ้นอยู่กับการให้ระดับความสำคัญของแต่ละโรงงาน เราสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ

- การตรวจสอบโดยใช้ประสาทสัมผัส (Visual inspection) การตรวจสอบแบบนี้ ผู้ตรวจสอบต้องมีความรู้ในเครื่องจักรนั้น ๆ พอสมควร และต้องมีทักษะในการตรวจสอบ ผู้ที่คุ้นเคยกับเครื่องนั้นจะเป็นผู้ตรวจสอบได้อย่างดี เช่นช่างประจำเครื่อง เพราะจะทำให้ทราบถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้น เช่นเสียงที่ดังมากขึ้น ความร้อนสูงขึ้น การสั่นสะเทือน แม้แต่กลิ่นเหม็นไหม้ของมอเตอร์ไฟฟ้าเป็นต้น

- การตรวจสอบโดยใช้เครื่องมือที่ทันสมัย ในปัจจุบันโรงงานชั้นนำคำนึงถึงการตรวจสอบแบบนี้อย่างมาก เพราะสามารถอ้างอิงถึงระบบ ISO ได้ อีกทั้งเครื่องมือเครื่องจักรเป็นเครื่องที่ทันสมัยขึ้น ความละเอียดสูง ที่สำคัญคือราคาสูงเช่นกัน

(วิฑูรย์ นะเอ้ย 2552) ได้ปรับปรุงการบำรุงรักษาของโรงผลิตไฟฟ้าในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดจากกิจกรรมการบำรุงรักษาต่อมาทำการปรับปรุงการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน โดยทำการจัดเรียงลำดับความสำคัญของเครื่องจักรก่อนเข้าสู่แผนการบำรุงรักษา หลังจากนั้นจะทำการปรับปรุงแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันให้เหมาะสมกับเครื่องจักรแต่ละประเภท และได้ประยุกต์ใช้แนวทางการบำรุงรักษาตามแผน ประกอบด้วย การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข ,การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ ,การบำรุงรักษาตามคาบเวลา และการบำรุงรักษาเมื่อขัดข้อง และได้จัดทำแผนการซ่อมบำรุงประจำเดือน ,ประจำไตรมาส และประจำปี ผลการดำเนินงานพบว่าประสิทธิภาพการบำรุงรักษาเชิงป้องกันสูงขึ้นจากร้อยละ 41.95 เป็น ร้อยละ 57.62 นอกจากนี้เวลาหยุดเครื่องจักรแบบไม่ได้วางแผนลดลง 99.3%

และ(ดนัย สาหร่ายทอง 2543) ทำการศึกษาและสร้างขั้นตอนการวิเคราะห์เหตุขัดข้องของเครื่องจักร เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน โดยการนำประวัติการขัดข้องในรูปแบบของข้อมูลลำดับชั้นมาประยุกต์ใช้กับข้อมูลทางสถิติของปัญหาการขัดข้องของเครื่องจักร ให้ได้มาซึ่งหัวข้อและช่วงเวลาที่เหมาะสมกับการปฏิบัติงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันและดำเนินการแก้ไข โดยได้สร้างขั้นตอนวิเคราะห์เหตุขัดข้องของเครื่องจักร จัดระเบียบข้อมูลการขัดข้อง นำเสนอวิธีการปรับปรุงและช่วงเวลา สุดท้ายได้มาซึ่งแผนปฏิบัติงานแบ่งเป็นทุก 500 ชั่วโมง 1000 ชั่วโมง 1500 ชั่วโมง ตามชั่วโมงการทำงานของเครื่องจักร

2.2.2 การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive maintenance หรือ PdM)

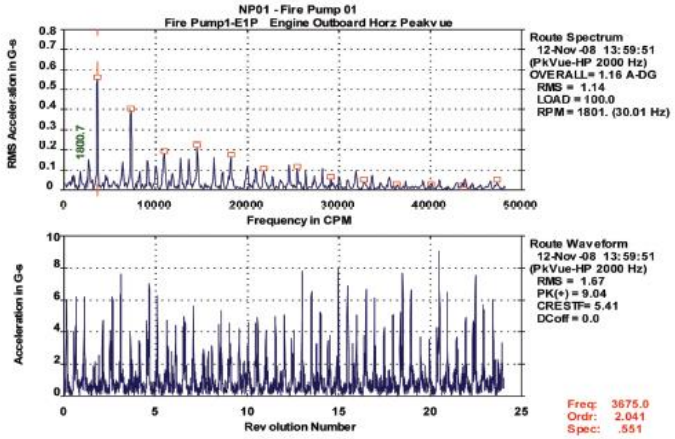
หมายถึง การทำงานบำรุงรักษาโดยกำหนดให้มีกิจกรรมการตรวจวัดสภาพการทำงานหรือวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ด้วยเครื่องมือตรวจจับหรือเครื่องมือทดสอบที่สามารถวิเคราะห์สภาพความรุนแรงของความผิดปกติได้ ทำให้สามารถคาดการณ์ถึงอายุการใช้งาน และวางแผนแก้ไขก่อนที่จะเกิดการชำรุดเสียหายที่รุนแรงได้ทัน ผลประโยชน์ที่ได้จากการทำ PDM คือโอกาสที่จะเกิดงานบำรุงรักษานอกแผนจะลดน้อยลงอย่างมาก การเปลี่ยนชิ้นส่วนของเครื่องจักรและอุปกรณ์จะมีความสมเหตุสมผลมากขึ้น ทำให้โรงงานและระบบผลิตมีความพร้อมและความน่าเชื่อถือในการผลิตสินค้าสูงขึ้น ค่าใช้จ่ายของงานบำรุงรักษาจะน้อยลง

การพิจารณาในการทำงาน PDM กับเครื่องจักรและอุปกรณ์ในโรงงาน จำเป็นต้องคัดเลือกเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีระดับความสำคัญต่อระบบผลิตสูงเท่านั้น จะไม่ใช้ PDM กับเครื่องจักรทั่วๆไป

ทั้งนี้เพราะงาน PDM จะเป็นงานที่มีค่าใช้จ่ายสูง อย่างไรก็ดี PDM เป็นการเพิ่มศักยภาพของการทำงานบำรุงรักษาให้สูงขึ้นโดยมีกิจกรรมดังนี้

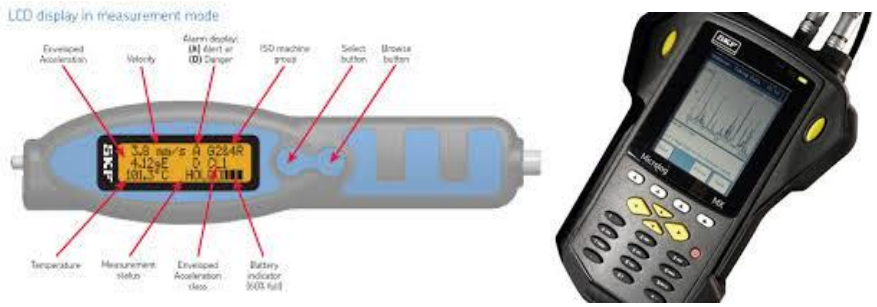
2.2.2.1 การเฝ้าระวังระดับสัญญาณความสั่นสะเทือน (Vibration Analysis)

เป็นวิธีการที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งในการตรวจสอบสภาวะทางพลวัตร (Dynamic) การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนนอกจากตรวจสอบในเชิงพยากรณ์แล้ว ยังสามารถตรวจสอบวินิจฉัยหาสาเหตุของความผิดปกติของเครื่องจักรอุปกรณ์ได้เป็นอย่างดีโดยเฉพาะอย่างยิ่งเครื่องจักรอุปกรณ์เชิงกล แนวทางการปฏิบัติคือ การนำเครื่องวัดการสั่นสะเทือนไปใช้ประเมินสภาพเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ต้องการ เช่น เครื่องยนต์ดีเซล เกียร์ทด มอเตอร์ และปั๊ม เป็นต้น โดยต้องกำหนดจุดตรวจวัดของเครื่องจักรและอุปกรณ์เหล่านี้ ให้เก็บข้อมูลในรูปแบบของ Vibration Spectrum ที่มีลักษณะเฉพาะ สามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์และประเมินสภาพหรือความผิดปกติของเครื่องจักรและอุปกรณ์ได้ เช่น การไม่สมดุล (Imbalance) การเยื้องศูนย์ (Misalignment) การหลุดหลวมทางกล (Mechanical Looseness) การชำรุดของเฟือง (Gear Tooth Defect) สายพานชำรุด (Belt Defect) การชำรุดของลูกปืน (Bearing Defect) เป็นต้น เพื่อที่จะสามารถวางแผนการซ่อมหรือเปลี่ยนชิ้นส่วนเครื่องจักรได้ทันกาล ก่อนเครื่องจักรจะเกิดความเสียหายเป็นอันให้ต้องหยุดเครื่องจักร



รูปที่ 2.4 Vibration spectrum

ที่มา: (เปรมมนัส สุวรรณดุล and เกษม วิจิตราภรณ์พงศ์ 2555)วารสารกรมอู่ทหารเรือ 2555



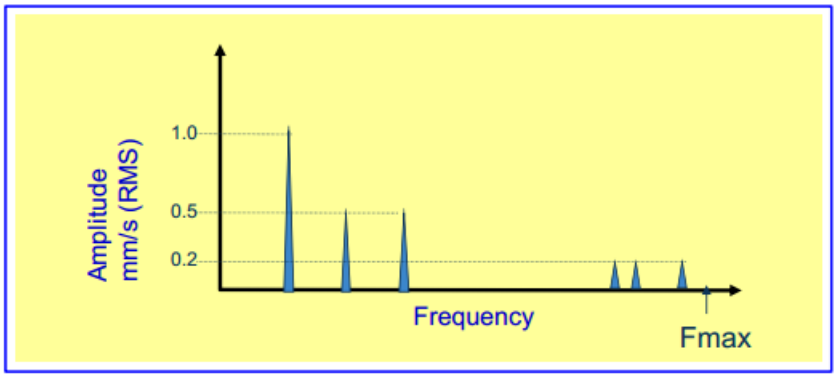
รูปที่ 2.5 เครื่องวัด Vibration

ที่มา: www.skf.com

ในการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือน มีรายละเอียดของการตรวจวัดและวิเคราะห์ค่าความสั่นสะเทือน สามารถจำแนกออกเป็นหัวข้อต่างๆได้ดังนี้

(1) ค่าความสั่นสะเทือนโดยรวม (Overall Vibration) หรือแนวโน้ม (Trending)

ในการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนและวิเคราะห์เครื่องจักร ส่วนมากจะวัดด้วยค่าโดยรวม (Overall) ของค่าความสั่นสะเทือน เพื่อดูแนวโน้มความเปลี่ยนแปลงของค่าความสั่นสะเทือน การวัดแบบนี้เพื่อดูสภาพโดยรวมของเครื่องจักร



Overall Vibration = Overall Energy

= 1.0 + (2 x 0.5) + (3 x 0.2)

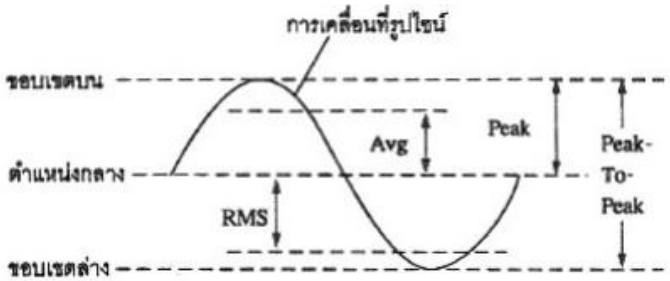
= 3.6 mm / sec (RMS)

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการวัดค่าความสั่นสะเทือนโดยรวม

ที่มา: สถาบันไทย เยอรมัน การบำรุงรักษาตามสภาพเชิงรุกและกรณีศึกษา

ค่าความสั่นสะเทือนโดยรวมของเครื่องจักร คือ ค่าพลังงานความสั่นสะเทือนทั้งหมด ในความถี่ที่กำหนด เช่น วัดค่าความสั่นสะเทือนโดยรวมของปั๊ม และเปรียบเทียบการวัดที่ค่าปกติ ดังนั้นสามารถกำหนดได้ว่า ถ้ามีค่าความสั่นสะเทือนสูงกว่าปกติ แสดงว่ามีสาเหตุที่มาทำให้เครื่องจักรเกิดความผิดปกติขึ้น ฉะนั้นจึงต้องหาสาเหตุของปัญหาที่ทำให้เครื่องจักรเกิดความผิดปกติขึ้น จึงต้องอธิบายและอ่านค่าจากสัญญาณของค่าความสั่นสะเทือนนั้น ส่วนประกอบหลักของการอ่านสัญญาณค่าความสั่นสะเทือนแบ่งออกได้ 2 ส่วน คือช่วงความถี่ และ สเกล แฟคเตอร์ (อรรถพร อิฐสมบัติ 2556)

- ช่วงความถี่ (Frequency Range) เครื่องมือจะเป็นตัวกำหนดช่วงความถี่ของการอ่านค่าโดยรวมของค่าความสั่นสะเทือน ในบางเครื่องมือสามารถกำหนดช่วงความถี่ได้เองตามผู้ใช้งาน แต่ในบางเครื่องมือจะมีการกำหนดช่วงความถี่ที่แน่นอน ดังนั้นจึงได้มีการกำหนดเป็นมาตรฐาน ISO ขึ้นมา เพื่อให้วัดความสั่นสะเทือนโดยรวมที่ความถี่ที่เท่ากัน
- สเกล แฟคเตอร์ (Scale factors) เป็นตัวกำหนดหน่วยในการวัด ซึ่งจะวัดเป็น Peak, Peak-to-Peak, Average และ RMS โดยที่ Scale factors มีความสัมพันธ์ต่อกันในการทำงานแบบสัญญาณคลื่นเดียว (Sinusoidal Waveforms) และในการเปรียบเทียบ Scale factors ต้องมีค่าแน่นอนไม่เปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 2.7



คูณค่าของ / ด้วย / จะได้ค่า	Peak To Peak	Peak	RMS	Average
Peak-To-Peak	1.000	2.000	2.828	3.142
Peak	.500	1.000	1.414	1.571
RMS	.354	.707	1.000	1.111
Average	.318	.636	.900	1.000

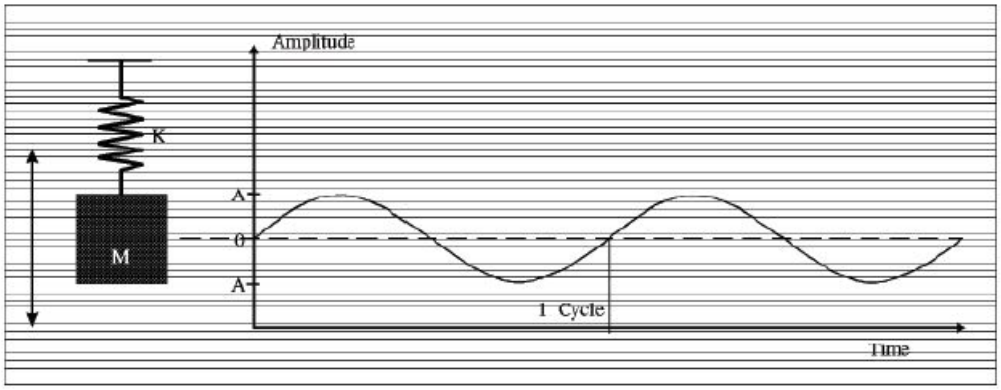
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ของค่า Peak-to-peak, Peak, RMS และ Average

ที่มา: อรรถพร อิฐสมบัติ 2556

(2) วิธีการวัดค่าความสั่นสะเทือน (Vibration Measurement method)

การวัดค่าความสั่นสะเทือน คือการวัดการเคลื่อนที่ในรอบของระยะเวลาหนึ่ง ความสั่นสะเทือนสามารถแสดงได้ในรูปของสปริงผูกติดกับมวลดังรูปที่ 2.8

เมื่อมีการเคลื่อนที่ มวลจะแกว่งไปมาบนสปริง การแกว่งไปมาจะทำให้ตำแหน่งของมวลเปลี่ยนไป ทำให้เห็นเป็นรูปคลื่น (Sine wave) จุดเริ่มต้น คือ จุดที่มวลอยู่นิ่งกับที่ คือ ที่ตำแหน่งศูนย์ การเคลื่อนที่ขึ้นลงหนึ่งรอบของมวลจะแสดงให้เห็นค่าบวก และค่าลบ เมื่อเทียบกับจุดเริ่มต้น ปล่อยมวล (ที่จุดศูนย์) ระยะการขจัด คือ การเปลี่ยนแปลงระยะทาง หรือตำแหน่งของวัตถุเทียบกับจุดอ้างอิง ขนาดของการเคลื่อนที่ของระยะการขจัดวัดได้ด้วย Amplitude มีผลลัพธ์การเปลี่ยนแปลงค่าของการขจัด (Displacement) คือ ความเร็ว (Velocity) ความเร่ง (Acceleration)



รูปที่ 2.8 การเคลื่อนที่ของสปริง

ที่มา: อรรถพร อิฐสมบัติ 2556

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ความเร็ว คือ การเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของระยะการขจัดต่อหน่วยเวลา (ความเร็วรอบคือระยะทางของการเคลื่อนที่ เช่น 0.2 นิ้วต่อวินาที)

ความเร่ง คือ การเปลี่ยนแปลงความเร็วต่อหน่วยเวลา ยกตัวอย่างเช่น ถ้าใช้เวลา 1 วินาที สำหรับความเร็วที่เพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 1 นิ้วต่อวินาที นั่นคือ ความเร่งมีค่าเท่ากับ 1 นิ้วต่อวินาที2

ดังนั้น การวัดความสั่นสะเทือนมีการวัดอยู่ 3 แบบ คือ การขจัด (Displacement) ความเร็ว (Velocity) ความเร่ง (Acceleration) ซึ่งการวัดทั้งสามแบบนี้จะสัมพันธ์กันทางคณิตศาสตร์ ทั้งสามแบบจะมีคุณลักษณะที่แตกต่างกัน ซึ่งมีความจำเป็นมากที่จะต้องเลือกลักษณะของการวัด และหัววัดให้เหมาะสมกับสัญญาณของความสั่นสะเทือนที่บอกถึงความเสียหายของเครื่องจักรแต่ละแบบ

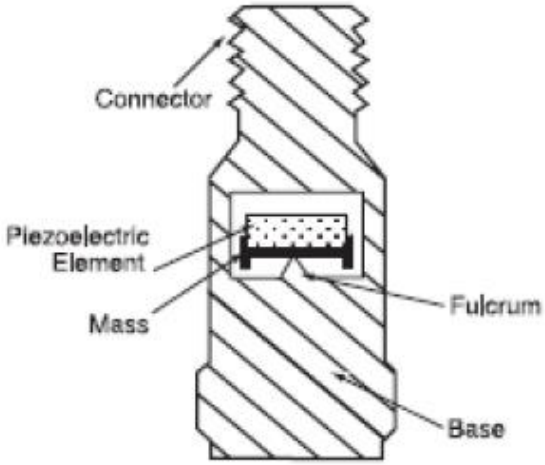
- การขจัด (Displacement) จะวัดในหน่วยของ mils หรือ micrometers, การขจัด คือ การเปลี่ยนแปลงระยะทางหรือตำแหน่งของวัตถุเทียบกับจุดอ้างอิง หัววัดที่ใช้วัดการขจัด คือ Displacement Probe หรือ Eddy Probe ซึ่งหัว Displacement Probe นี้จะเป็นแบบไม่สัมผัส (non-contact) ซึ่งใช้วัดความสัมพันธ์ของระยะระหว่างผิววัตถุ 2 ชิ้น ซึ่ง Displacement Probe จะนิยมใช้วัดความสั่นสะเทือนของ Shaft และเครื่องจักรที่ใช้ตลับลูกปืนแบบ Fluid film ซึ่งการวัดแบบเต็มคลื่น (Peak-to-Peak) และใช้กับการเคลื่อนที่ที่มีความเร็วรอบต่ำ ๆ ที่ไม่เกิน 1200 rpm หรือ 20 Hz

- ความเร็ว (Velocity) มีหน่วยเป็น นิ้วต่อวินาที (inch/sec) หรือ มิลลิเมตรต่อวินาที (mm/sec) ความเร็ว คือ การวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของการขจัด ซึ่งใช้ในการวัดความสั่นสะเทือนของเครื่องจักรเป็นส่วนใหญ่ ในอดีตหัววัดแบบความเร็วนี้เป็นหัววัดแบบแรกที่เป็นหัววัดทางไฟฟ้าในการวัดสภาพเครื่องจักร เนื่องจาก ผลของการวัดมีค่าเท่ากับการเคลื่อนที่ ซึ่งการวัดแบบความเร็วนี้จะมีค่าคงที่โดยไม่คำนึงถึงย่านความถี่ ใช้วัดความสั่นสะเทือนที่มีความถี่ระหว่าง 20 Hz-1,000 Hz (หรือความเร็วรอบในการหมุนที่สูงกว่า 1,200 rpm) ในต้นแบบหัววัดแบบความเร็ว จะมี Coil ขดอยู่ในสนามแม่เหล็ก เพื่อผลิตความต่างศักย์ (Voltage) ที่เหมาะสมกับความเร็วที่พื้นผิวของเครื่องจักร ปัจจุบันนี้ได้มีหัววัดแบบที่มีต้นทุนต่ำ และมีความสามารถวัดเป็นความเร่ง ซึ่งค่าของความเร็วจะได้จากการแปลงสัญญาณจากความเร่งมาเป็นความเร็ว

รูปที่ 2.9 หัววัดความเร็ว

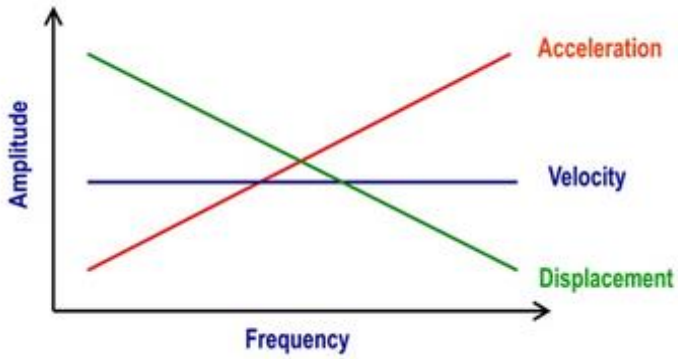
ที่มา: อรรถพร อิฐสมบัติ 2556

- ความเร่ง มีหน่วยเป็น มิลลิเมตรต่อวินาที^{2} (mm/sec^2) หรือ g คือ อัตราเปลี่ยนแปลงของความเร็ว ความสั่นสะเทือนในหน่วยของความเร่งจะต้องใช้การวัดด้วยหัววัดแบบความเร่ง (Acceleration) ซึ่งหัววัดแบบความเร่งนี้ปกติจะบรรจุ Piezoelectric Crystalประมาณ 1 ชิ้นหรือมากกว่าซึ่งเมื่อ Piezoelectric crystal ถูกกดมันจะผลิตกระแสไฟฟ้าออกมาในปริมาณที่เหมาะสมถึงระดับความเร่ง (Acceleration) ซึ่งเมื่อวัตถุสั่นจะทำให้มวลเคลื่อนที่ไปกด Crystal ทำให้มวลกับ Crystal เคลื่อนที่ไปด้วยกัน โดยมีลักษณะดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 หัววัดความเร่ง

ที่มา: สถาบันไทย เยอรมัน การบำรุงรักษาตามสภาพเชิงรุกและกรณีศึกษา



รูปที่ 2.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยการวัดค่าความสั่นสะเทือน กับ ความถี่

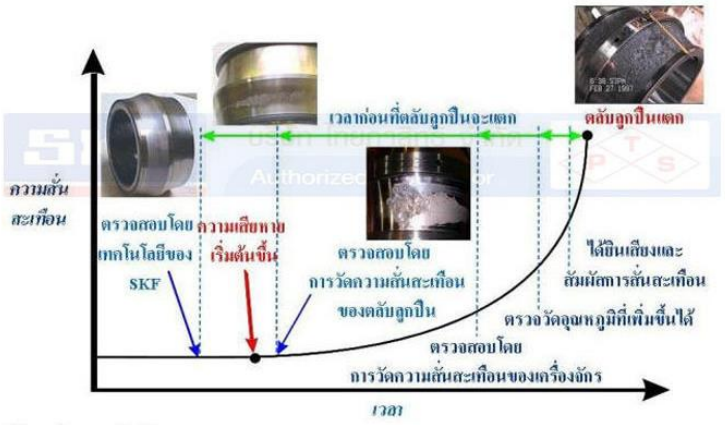
ที่มา: http://www.blissinstrument.com/

จากรูปที่ 2.11 จะเห็นได้ว่าในการประเมินความเสียหายในหน่วยความเร็ว สามารถตรวจสอบได้ทุกย่านความถี่ของการสั่นสะเทือน ส่วนหน่วยความเร่งใช้ในการตรวจสอบความเสียหายของตลับลูกปืนเมื่อเริ่มมีความเสียหาย ตลับลูกปืนจะส่งสัญญาณการสั่นสะเทือนความถี่สูง ทำให้สามารถตรวจพบและวางแผนบำรุงรักษาได้ก่อน และหน่วยการขจัดไม่เหมาะกับการตรวจวัดเครื่องจักรที่มีความถี่สูง แต่เหมาะสำหรับการตรวจสอบความสั่นสะเทือนของโครงสร้างและเครื่องจักรที่มีความถี่ต่ำ

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยการสั่นสะเทือนกับสมมติฐานความเสียหายของเครื่องจักร
ที่มา: http://www.blissinstrument.com/

หน่วยการวัดค่าความสั่นสะเทือน		**จุดประสงค์**	**สมมติฐานความเสียหาย**
หน่วยความเร็ว (20-1,000 Hz)	mm/sec, rms inch/sec, rms	ประเมินระดับการสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ISO	การเสียสมดุล (Unbalance) การเยื้องศูนย์ (Misalignment) การหลวมคลอน (Looseness)
หน่วยความเร่ง (10-10,000 Hz)	G's,peak Mm/sec^2	ตรวจสอบสภาพของตลับลูกปืน	การขาดของสารหล่อลื่น ความเสียหายของลูกปืน
หน่วยสำหรับการตรวจสอบตลับลูกปืน (Band pass filter)	gE (Envelope)	ตรวจสอบสภาพของตลับลูกปืน ตั้งแต่ความเสียหายยังไม่รุนแรง	การขาดของสารหล่อลื่น ความเสียหายของลูกปืน (ในช่วงเริ่มต้นความเสียหาย)

ตารางที่ 2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยการสั่นสะเทือนกับสมมติฐานความเสียหาย ซึ่งจะช่วยในการวินิจฉัยความเสียหายในเบื้องต้น เพื่อเตรียมวางแผนการบำรุงรักษา



รูปที่ 2.12 ลำดับความเสียหายของตลับลูกปืน

ที่มา: ThaiTechno.net

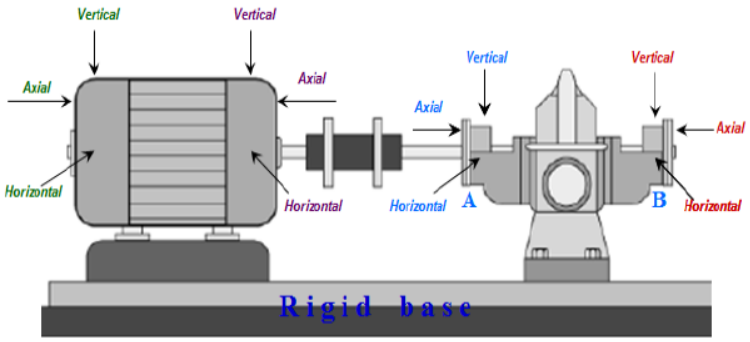
จากรูปที่ 2.12 แสดงถึงลำดับความเสียหายของตลับลูกปืน จะเห็นได้ว่าการตรวจสอบโดยใช้เทคโนโลยีของ SKF คือวัดด้วยหน่วย gE จะทำให้ทราบถึงความผิดปกติของตลับลูกปืน ก่อนที่จะเริ่มเกิดความเสียหาย

(อรรถพร อิฐสมบัติ 2556)ได้ออกแบบการทำนายอายุการใช้งานของเครื่องจักรในโรงไฟฟ้าเพื่อการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ เพื่อช่วยให้การบริหารจัดการเครื่องจักรเป็นไปได้อย่างเหมาะสม โดยเริ่มจากการเก็บค่าความสั่นสะเทือนของเครื่องจักร พบว่าในช่วงแรกค่าความสั่นสะเทือนมีค่าน้อยและคงที่ แต่หลังจากนั้นค่าความสั่นสะเทือนจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งสอดคล้องกับสมการเอกซ์โพเนนเชียล หลังจากนั้นหาค่าความสั่นสะเทือนของทั้ง 3 แกนเทียบกับเวลา พบว่าแกนที่อยู่ในแนวระนาบถึงเกณฑ์ในการหยุดซ่อมบำรุงก่อน จึงนำสมการไปเทียบกับสเกลค่าความสั่นสะเทือน ซึ่งจะช่วยให้วิศวกรทราบค่าความสั่นสะเทือนและยังสามารถประเมินเวลาของเครื่องจักรในการบำรุงรักษาอีกด้วย

(3) ตำแหน่งในการวัด

ในการเลือกตำแหน่งในการวัดเครื่องจักร มีความสำคัญมากในการเก็บข้อมูลของค่าความสั่นสะเทือน ควรหลีกเลี่ยงตำแหน่งที่มีการทาสี ตำแหน่งที่ตลับลูกปืนไม่ได้รับแรง รอยต่อของเสื้อตลับลูกปืน และโครงสร้างโปร่งของเครื่องจักร บริเวณเหล่านี้จะทำให้ได้ค่าความสั่นสะเทือนที่ไม่ถูกต้องและคลาดเคลื่อนได้ เมื่อทำการวัดค่าความสั่นสะเทือนด้วยหัววัดแบบมือจับ (Hand-held sensor) จะต้องคำนึงถึงตำแหน่งในการวัดที่ถูกต้อง มุมและแรงกดของการวัด ให้มีความใกล้เคียงเดิมในทุกครั้งที่วัด การวัดค่าความสั่นสะเทือนควรทำการวัดทั้ง 3 แกน ดังนี้

- การวัดในแนวรัศมี (Radial) แบ่งออกเป็น แกนตั้งฉากกับเพลาในแนวดิ่ง (Vertical) และ แกนตั้งฉากกับเพลาในแนวนอน (Horizontal)
- การวัดในแนวแกน (Axial)



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างแกนในการวัดค่าความสั่นสะเทือน

ที่มา: สถาบันไทย เยอรมัน การบำรุงรักษาตามสภาพเชิงรุกและกรณีศึกษา

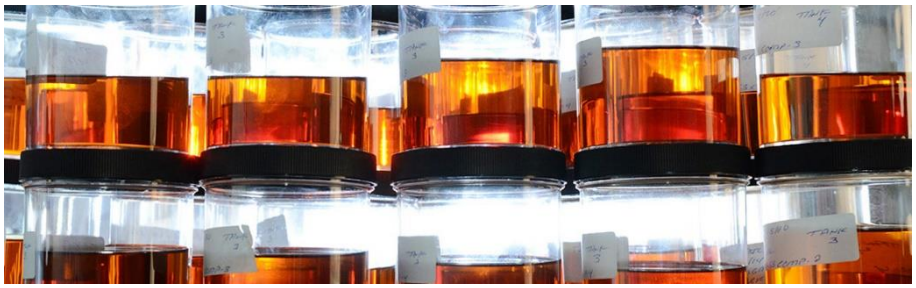
2.2.2.2 การเฝ้าระวังโดยการวิเคราะห์คุณภาพของสารหล่อลื่น (Oil Analysis)

การวิเคราะห์สารหล่อลื่นหมายถึง การนำสารหล่อลื่นที่ใช้อยู่ในเครื่องจักรมาทำการตรวจวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี คุณสมบัติทางกายภาพ และปริมาณการปนเปื้อนของเศษโลหะตามมาตรฐานอ้างอิงโดยวัตถุประสงค์หลักของการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นคือ

- สามารถตรวจวิเคราะห์ถึงสาเหตุการชำรุดเพื่อนำมาใช้ในการกำหนดแนวทางป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายขึ้นอีกในอนาคต
- เพื่อเป็นการประเมินสภาพของน้ำมันหล่อลื่นที่อยู่ในระหว่างการใช้งานรวมไปถึงการประเมินสถานภาพเครื่องจักร
- เพื่อให้หน่วยซ่อมบำรุงสามารถวางแผนด้านการเตรียมทรัพยากรที่ต้องการ เช่น วางแผนบุคลากร เครื่องมือ การจัดหาอะไหล่ และงบประมาณ ได้อย่างมีเหตุผลและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นมีเทคนิคและวิธีการวิเคราะห์หลายรูปแบบเพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงตัวเลขที่นำมาประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับกิจกรรมด้านการบำรุงรักษา การวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มหลัก คือ

- การวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันหล่อลื่น (Fluid Properties Analysis) เป็นการวิเคราะห์ที่มุ่งเน้นคุณสมบัติทางเคมี ทางกายภาพ และสารปรุงแต่ง (Additive)
- การวิเคราะห์สิ่งสกปรกปนเปื้อน (Fluid Contamination Analysis) ที่มาจากสิ่งแวดล้อมหรือถูกสร้างขึ้นภายในระบบหล่อลื่น
- การวิเคราะห์เศษโลหะจากการสึกหรอของเครื่องจักร (Wear Debris Analysis)

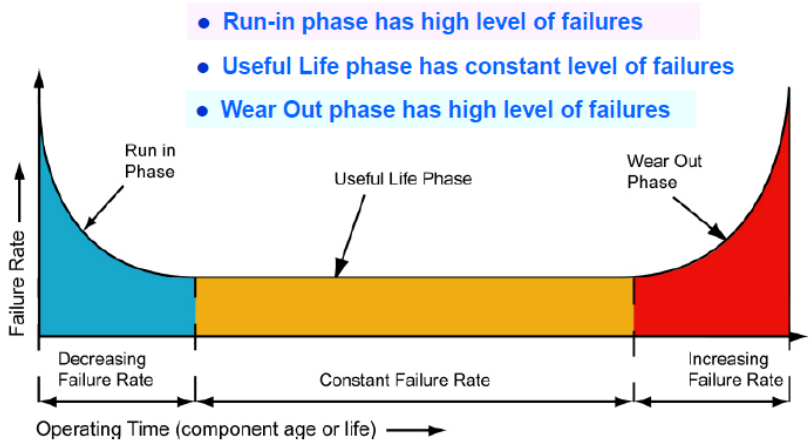


รูปที่ 2.14 ตัวอย่างน้ำมันที่จะนำมาทำการทดสอบ

(นฤทธิ์ เร้ารุ่งอรุณ 2551)ได้พัฒนาระบบการบำรุงรักษาในกระบวนการเชื่อมวงจรไฟฟ้าในอุตสาหกรรมการผลิตแผงวงจรรวม โดยงานวิจัยได้นำเสนอระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ (Predictive Maintenance : PDM) มาใช้แทนการบำรุงรักษาแบบหลังเกิดเหตุขัดข้อง (Breakdown Maintenance) เพื่อให้เครื่องจักรมีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือสูงขึ้น อีกทั้งยังมีต้นทุนรวมต่ำ หลังจากได้นำระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ไปทดลองใช้พบว่า สามารถเพิ่มประสิทธิผลโดยรวมของ

เครื่องจักร จากร้อยละ 89.16 เป็นร้อยละ 93.28 และค่าความพร้อมของเครื่องจักร เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 91.92 เป็นร้อยละ 96.06 สามารถลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาได้ 747,150 บาทต่อปี

2.2.3 วงจรชีวิตของเครื่องจักร (Machinery life cycle) เป็นกราฟที่ใช้ในการอธิบายลักษณะโดยทั่วไปที่เกิดขึ้นของเครื่องจักร และสามารถจัดแบ่งช่วงชีวิตได้ 3 ช่วง คือ ช่วงระยะเริ่มต้น (Run-in) ช่วงใช้งานปกติ (Useful life) และช่วงสึกหรอ (Wear out)



รูปที่ 2.15 Bathtub Curve

ที่มา: สถาบันไทย เยอรมัน การบำรุงรักษาตามสภาพเชิงรุกและกรณีศึกษา

จากรูปที่ 2.15 สามารถอธิบายลักษณะของวงจรชีวิตของเครื่องจักรได้ดังนี้

- ระยะเริ่มต้นใช้งาน (Run-in) จะพบปัญหาการขัดข้องมาจากสาเหตุต่างๆ ต้องดำเนินการแก้ไขปรับปรุงจนเมื่อผ่านช่วงนี้ไปโอกาสที่จะเกิดการขัดข้องจะลดน้อยลง
- ระยะการใช้งานปกติ (Useful life) เป็นช่วงที่ต่อเนื่องจากระยะเริ่มต้นใช้งาน ซึ่งในช่วงปกติโอกาสการเกิดการขัดข้องมีไม่มากนัก และสังเกตได้ว่ากราฟจะขนานกับแกนของเวลา นั่นคือ อัตราการเกิดการขัดข้องคงที่
- ระยะสึกหรอ (Wear out period) เป็นช่วงที่เครื่องจักรเสื่อมสภาพ จะเริ่มมีการขัดข้องบ่อยขึ้นและจะไม่สามารถใช้งานได้ในที่สุด (วิเชียร เปลี่ยนสี 2558)

2.3 การวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลว (Fault Tree Analysis : FTA)

2.3.1 ที่มาของการเทคนิคฟอลท์ทรี

ถูกพัฒนาขึ้นโดย H.A. Watson of Bell Telephone Laboratory เมื่อปี ค.ศ. 1961 เพื่อให้หน่วยงาน US Air Force เพื่อใช้ศึกษา The Minuteman Missile Launch Control System ในปี ค.ศ. 1965 มีการจัดสัมมนาด้านความปลอดภัย ถือเป็นจุดเริ่มต้นของการวิเคราะห์ฟอลท์ทรีในด้านความปลอดภัยและใช้ในการวิเคราะห์กับระบบที่มีความซับซ้อน และได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ทางการศึกษา เช่น การวางแผน การจัดการ และการประเมิน

2.3.2 ข้อดีของเทคนิคการวิเคราะห์แบบฟอลท์ทรี

American Institute of Chemical Engineers (1985) ได้แสดงข้อดีของเทคนิคการวิเคราะห์แบบฟอลท์ทรี ไว้ดังต่อไปนี้

(1) ใช้วิเคราะห์หาสาเหตุของอันตรายที่เกี่ยวข้องกับงาน วิธีการทำงาน เครื่องจักร และกระบวนการผลิตได้

(2) ใช้วางแผนป้องกันอุบัติเหตุเพราะจะทราบเหตุการณ์สำคัญที่มีโอกาสเกิดอุบัติเหตุสูง

(3) สามารถนำมาใช้ในการสอบสวนอุบัติเหตุที่สลับซับซ้อนได้

(4) การวิเคราะห์จะแสดงความสัมพันธ์ของเหตุการณ์ต่างๆด้วยรูปภาพ ทำให้เห็นภาพได้อย่างชัดเจน และเข้าใจได้ง่ายมากขึ้น

2.3.3 กระบวนการขั้นตอนในเทคนิคการวิเคราะห์แบบฟอลท์ทรี

(ไพฑูรย์ ตันอุด 2547) อธิบายเทคนิคการวิเคราะห์ฟอลท์ทรีมีขั้นตอนทั้งหมด 4 ขั้นตอน คือ การนิยามระบบ (System Definition) , การสร้างแผนภาพฟอลท์ทรี (Fault Tree Construction), การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Evaluation) และการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Evaluation) มีรายละเอียดในขั้นตอนต่างๆดังต่อไปนี้

(1) การนิยามระบบ (System Definition)

การนิยามระบบเป็นการอธิบายระบบโดยกล่าวถึงรายละเอียดต่างๆของระบบ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลในการสร้างฟอลท์ทรี ในการนิยามระบบจะต้องระบุเหตุการณ์ที่ไม่พึงประสงค์ที่จะทำการวิเคราะห์ พร้อมทั้งข้อมูลในส่วนต่างๆที่เกี่ยวข้องกับระบบ ขอบเขตของข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์ ลักษณะความเสียหายของระบบ รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างสาเหตุต่างๆภายในระบบ จากข้อมูลที่ได้ในการนิยามระบบก็จะถูกนำไปใช้ในการสร้างแผนภาพฟอลท์ทรีในขั้นตอนต่อไป

(2) การสร้างแผนภาพฟอลท์ทรี (Fault Tree Construction)

การสร้างแผนภาพฟอลท์ทรี เป็นการนำความรู้ที่ได้จากการนิยามระบบมาสร้างเป็นแผนภาพฟอลท์ทรี โดยที่คำจำกัดความ สัญลักษณ์ที่ใช้กับเหตุการณ์ (Event) และสัญลักษณ์ที่ใช้แสดงความเป็นเหตุเป็นผลกัน (Logic Gate) การสร้างแผนภาพฟอลท์ทรีประกอบด้วย 2 กระบวนการ (Brown, 1976) ดังนี้

- กระบวนการสังเคราะห์ (Synthesis Process) ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆดังนี้

ก) พิจารณาหาเหตุการณ์ทั้งหมดในทุกระดับทั่วๆไป ซึ่งเป็นที่ยอมรับว่าไม่เป็นที่พึงประสงค์ต่อการดำเนินการของระบบภายใต้หัวข้อที่ทำการศึกษา

ข) จำแนกเหตุการณ์ต่างๆไปสู่กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งเพียงอย่างเดียว (Mutually exclusive Group) ตามความสัมพันธ์ใดๆ เช่น มีสาเหตุเหมือนกัน

ค) ใช้ความสัมพันธ์นั้นสร้างเหตุการณ์ใหม่ที่ครอบคลุมเหตุการณ์ทั้งหมดในแต่ละกลุ่ม และเหตุการณ์ใหม่นี้จะเป็นเหตุการณ์ส่วนหัว (Head Event) และพิจารณาให้เป็นแผนภาพฟอลท์ทรี

- กระบวนการวิเคราะห์แบบบน-ล่าง (Analysis Process: Top-Down Approach)

ก) เลือกเหตุการณ์ส่วนหัว (Head Event, HE) มาหนึ่งเหตุการณ์ ซึ่งในระบบอาจมีเหตุการณ์ส่วนหัวหลายเหตุการณ์

ข) พิจารณาหาเหตุการณ์ปฐมภูมิและทุติยภูมิทั้งหมดที่สามารถเป็นสาเหตุให้เกิดเหตุการณ์ส่วนหัว (HE)

ค) หาความสัมพันธ์ระหว่างเหตุการณ์ที่เป็นสาเหตุและเหตุการณ์ส่วนหัวในเชิงตรรกศาสตร์ (AND และ OR)

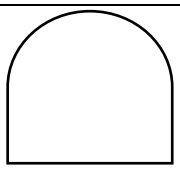
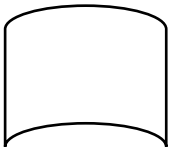
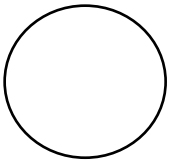
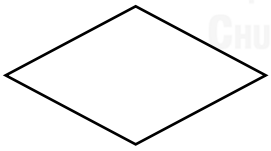
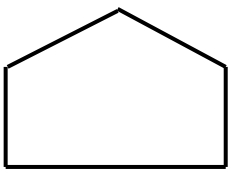
ง) ทำการวิเคราะห์ต่อไปตามขั้นตอน ข) และ ค) โดยเหตุการณ์ส่วนหัวที่จะวิเคราะห์จะถูกแทนที่ด้วยเหตุการณ์ที่จะทำการวิเคราะห์ต่อไป

จ) ทำซ้ำในขั้นตอน ข), ค) และ ง) จนกระทั่งเหตุการณ์ทั้งหมดอยู่ในรูปของเหตุการณ์พื้นฐาน (Basic Event) หรือไม่ประสงค์จะวิเคราะห์ต่อไป ไม่มีความสำคัญ ขาดข้อมูลที่จะใช้ในการวิเคราะห์

ฉ) สร้างแผนภาพฟอลท์ทรี โดยใช้สัญลักษณ์ต่างๆตามที่ได้ดังนี้

Chulalongkorn University

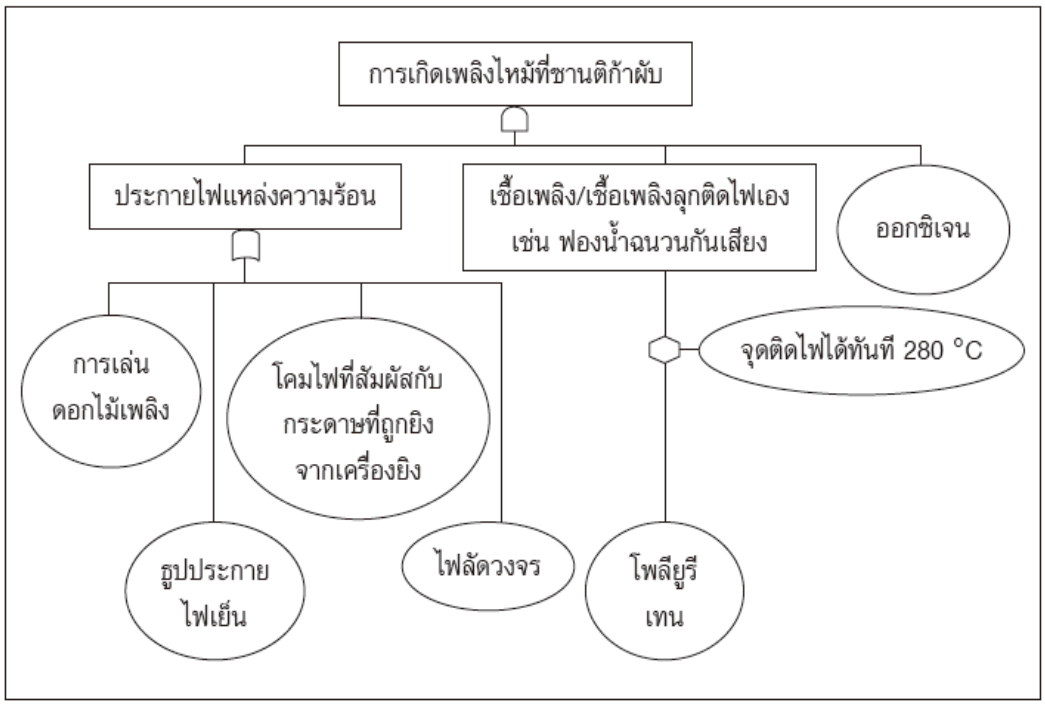
ตารางที่ 2.2 ตารางสัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบฟอลท์ทรี
ที่มา: (สิริวิมล ชื่นบาล and นันทิยา หาญศุภลักษณ์ 2555)วิศวกรรมสาร มก. ฉบับที่ 80 ปีที่ 25

สัญลักษณ์	ชื่อ	ความหมาย
	And Gate: สาเหตุหลายสาเหตุ	เหตุการณ์จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุของเหตุการณ์ย่อยทุกตัว
	Or Gate: สาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง	เหตุการณ์จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งของสาเหตุย่อย
	Basic Event: สาเหตุพื้นฐาน	เหตุการณ์ย่อยเกิดขึ้นได้ตามปกติ ซึ่งหมายถึงสาเหตุที่เห็นได้ชัดเจน โดยไม่ต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไป ถือเป็นสาเหตุแรกของการเกิดอุบัติเหตุ
	Fault Tree Event: เหตุการณ์ย่อย	เหตุการณ์ย่อยที่ส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ต่อเนื่องจนเป็นเหตุให้เกิดอุบัติเหตุ
	Undeveloped Event: เหตุการณ์ที่วิเคราะห์ต่อไม่ได้	เหตุการณ์ย่อยที่ไม่ต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไป เนื่องจากไม่มีข้อมูลสนับสนุน
	External Event: เหตุการณ์ภายนอก	เหตุการณ์ภายนอกหรือปัจจัยภายนอกที่เป็นสาเหตุทำให้เกิดเหตุการณ์ต่างๆ

นอกจากนี้ ในการสร้างแผนภาพฟอลท์ทรีมีกฎอีก 2 ข้อ เพื่อช่วยลดการข้ามขั้นตอนหรือการตัดทอนขณะสร้างแผนภาพฟอลท์ทรี ได้แก่

- Complete-the-Gate Rule เป็นกฎที่กล่าวว่า จะต้องหาสาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์นั้นๆให้ครบและหาสาเหตุในระดับเดียวกันให้เสร็จก่อนจึงจะทำการวิเคราะห์ในระดับถัดไปได้

- No Gate-to-Gate Rule เป็นกฎที่กล่าวว่า ประตูตรรกศาสตร์ไม่สามารถต่อเชื่อมกันกับประตูตรรกศาสตร์โดยตรงได้



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างการเขียนแผนภาพฟอลท์ทรี

ที่มา: (อุมารัตน์ ศิริจรูญวงศ์ 2555) วารสาร มฉก.วิชาการ ปีที่ 15 ฉบับที่ 30

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 2.16 สามารถสรุปขั้นตอนการวิเคราะห์ Fault Tree Analysis ได้ดังนี้ (อัจฉรียา วังวิเศษ 2553)

1) กำหนดเลือกเหตุการณ์ที่จะทำให้เกิดผลกระทบต่อระบบ

2) หาสาเหตุจาก Top Event ที่เลือกมาโดยพิจารณาในลักษณะการสืบหาเหตุผล โดยเหตุการณ์ที่อยู่บนเป็นผล และเหตุการณ์ที่อยู่ล่างเป็นเหตุ

3) พิจารณาความสัมพันธ์ในเหตุการณ์ต่างๆ ที่ได้มาจากข้อ 2) ว่าแต่ละเหตุการณ์นั้นมีความสัมพันธ์ต่อกันอย่างไร ในแต่สายสัมพันธ์ในรูปของ AND GATE หรือ OR GATE อย่างใดอย่างหนึ่ง

4) ระดับสุดท้ายหรือระดับล่างสุดของแต่ละสายของโครงสร้าง FTA จะต้องเป็นสาเหตุหรือเหตุการณ์พื้นฐาน หรือเหตุการณ์ที่วิเคราะห์ต่อไปไม่ได้

โดย (ชารินี ลิ้มสวัสดิ์ 2550)ได้นำการวิเคราะห์แบบฟอลท์ทรี มาช่วยในการแก้ปัญหาในการบริหารงานโครงการก่อสร้าง ทั้งนี้งานวิจัยเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลปัญหาและสาเหตุ โดยค้นคว้าจาก

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อนำไปใช้ในการสัมภาษณ์ และจากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์มาสร้างแผนภาพฟอลท์ทรี แล้วทำการวิเคราะห์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณเพื่อบ่งชี้ระดับโอกาสของสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหา ในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ทำการสร้างแบบสอบถามเพื่อหาความน่าจะเป็นในการเกิดสาเหตุและทำการประเมินหาระดับโอกาสของสาเหตุ ซึ่งผลงานวิจัยพบว่า สาเหตุหลักทั้งภาครัฐและภาคเอกชน ได้แก่ ขั้นตอนและระเบียบที่ยุ่งยาก และธรรมชาติของคน

เช่นเดียวกับ (บุษราคัม เศวตสกุลานนท์ 2551)และ (ไพฑูรย์ ตันอุด 2547)ได้ทำการรวบรวมปัญหา สาเหตุ ที่เป็นอุปสรรคต่อการดำเนินงานของผู้รับจ้างก่อสร้างขนาดเล็ก และปัญหาการก่อสร้างถนนของ อบต. ตามลำดับ โดยทั้งสองงานวิจัยได้ใช้วิธีตอบแบบสอบถามและการสัมภาษณ์มาช่วยในการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาสร้างแผนภาพฟอลท์ทรี

จากผลงานวิจัยพบว่า สามารถค้นหาสาเหตุของปัญหาและทำการแก้ไขแล้วได้ผลที่น่าพอใจ ในงานวิจัยนี้จึงได้นำเอาการวิเคราะห์แบบฟอลท์ทรีมาใช้เช่นเดียวกัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องไปแล้ว ซึ่งในบทนี้จะขอกล่าวถึงวิธีการดำเนินงานวิจัย โดยจะนำทฤษฎีต่าง ๆ มาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยเพื่อทำการพัฒนาระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ของปั๊มประเภทหอยโข่งและสกรูให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น ซึ่งได้แบ่งขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังรูปที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษาและเก็บข้อมูลเบื้องต้นของปั๊ม

ทำการรวบรวมข้อมูลการบำรุงรักษาปั๊ม จากหนังสือคู่มือการบำรุงรักษาของผู้ผลิตปั๊มทั้งประเภทหอยโข่งและประเภทสกรู และเก็บข้อมูลจากประวัติการเกิดเหตุขัดข้องที่ผ่านมา เพื่อนำมาช่วยในการวางแผนการบำรุงรักษาปั๊มให้ดียิ่งขึ้น โดยข้อมูลที่ใช้พิจารณาสามารถหาได้จากการดำเนินการต่าง ๆ ดังนี้

3.1.1 ศึกษาหลักการทำงานและการบำรุงรักษาของปั๊มทั้งสองประเภทจากหนังสือคู่มือของผู้ผลิตปั๊ม อีกทั้งยังศึกษากระบวนการผลิตที่จะนำปั๊มไปใช้งาน เพื่อช่วยให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาเมื่อเกิดความเสียหายได้ดียิ่งขึ้น

3.1.2 เก็บข้อมูลประวัติของปั๊ม ว่าปั๊มแต่ละตัวมีอายุการใช้งาน ภาระงาน และปั๊มมีระดับความสำคัญต่อกระบวนการผลิตมากน้อยเพียงใด เพื่อช่วยในการวางแผนการบำรุงรักษาปั๊มแต่ละตัวได้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น

3.1.3 สอบถามข้อมูลจากพนักงานบำรุงรักษาโดยตรง เนื่องจากพนักงานบำรุงรักษามีความใกล้ชิดในการดูแลปั๊ม ซึ่งจะสามารถบ่งชี้ถึงสภาพการทำงานของปั๊มในปัจจุบันได้เป็นอย่างดี

อีกทั้งยังต้องอาศัยข้อมูลจากประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญในด้านปั๊ม ในการแนะนำและให้คำปรึกษาเพื่อที่จะได้พัฒนาระบบการบำรุงรักษาปั๊มให้ดีขึ้นต่อไป

3.2 วิเคราะห์ปัญหาของการบำรุงรักษาปั๊ม

ปัญหาหลักของการบำรุงรักษาปั๊มที่ทำให้ปั๊มเกิดความขัดข้องที่ผ่านมาพบว่าสาเหตุหลักมาจากการวางแผนการบำรุงรักษาปั๊ม สามารถสรุปได้ดังนี้

3.2.1 การวิเคราะห์ปัญหาไม่ถูกต้อง

เมื่อปั๊มเริ่มแสดงอาการผิดปกติขึ้น ไม่สามารถวินิจฉัยสาเหตุของปัญหาได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากไม่ได้มีการนำเครื่องมือที่ช่วยในการวินิจฉัยปัญหาเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาและหาแนวทางแก้ไขได้อย่างถูกต้อง

3.2.2 แผนการบำรุงรักษาไม่มีประสิทธิภาพ

เนื่องจากแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเดิมไม่ครอบคลุมรายละเอียดในการตรวจเช็คปั๊ม ทำให้ปั๊มยังคงเกิดความขัดข้องอยู่อย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้พนักงานต้องทำการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขมากขึ้น การบำรุงรักษาเชิงป้องกันจึงทำได้น้อยลง

3.2.3 แผนการบำรุงรักษาเดิมไม่เพียงพอที่จะลดความขัดข้องของปั๊ม

ในการตรวจสอบระยะเวลาในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเดิมนั้น พบว่ามีความไม่เหมาะสม เนื่องจากปั๊มในแต่ละตัวมีระดับความสำคัญไม่เท่ากัน แต่มีระยะเวลาในการบำรุงรักษาเท่ากัน ทำให้สูญเสียต้นทุนในการดำเนินงานมากขึ้น ฉะนั้นจึงได้นำการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มาลดช่องว่างของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน อีกทั้งยังช่วยในการวิเคราะห์เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็คปั๊มอีกด้วย

จากนั้นได้นำปัญหาที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น มาจัดทำการวิเคราะห์แบบ Why Why analysis ตามรูปที่ 3.2 เพื่อหารากของปัญหา (Root cause) ทั้งหมด ทำให้สามารถนำต้นตอของปัญหามาทำการวางแผนเพื่อที่จะแก้ไขได้อย่างถูกต้อง

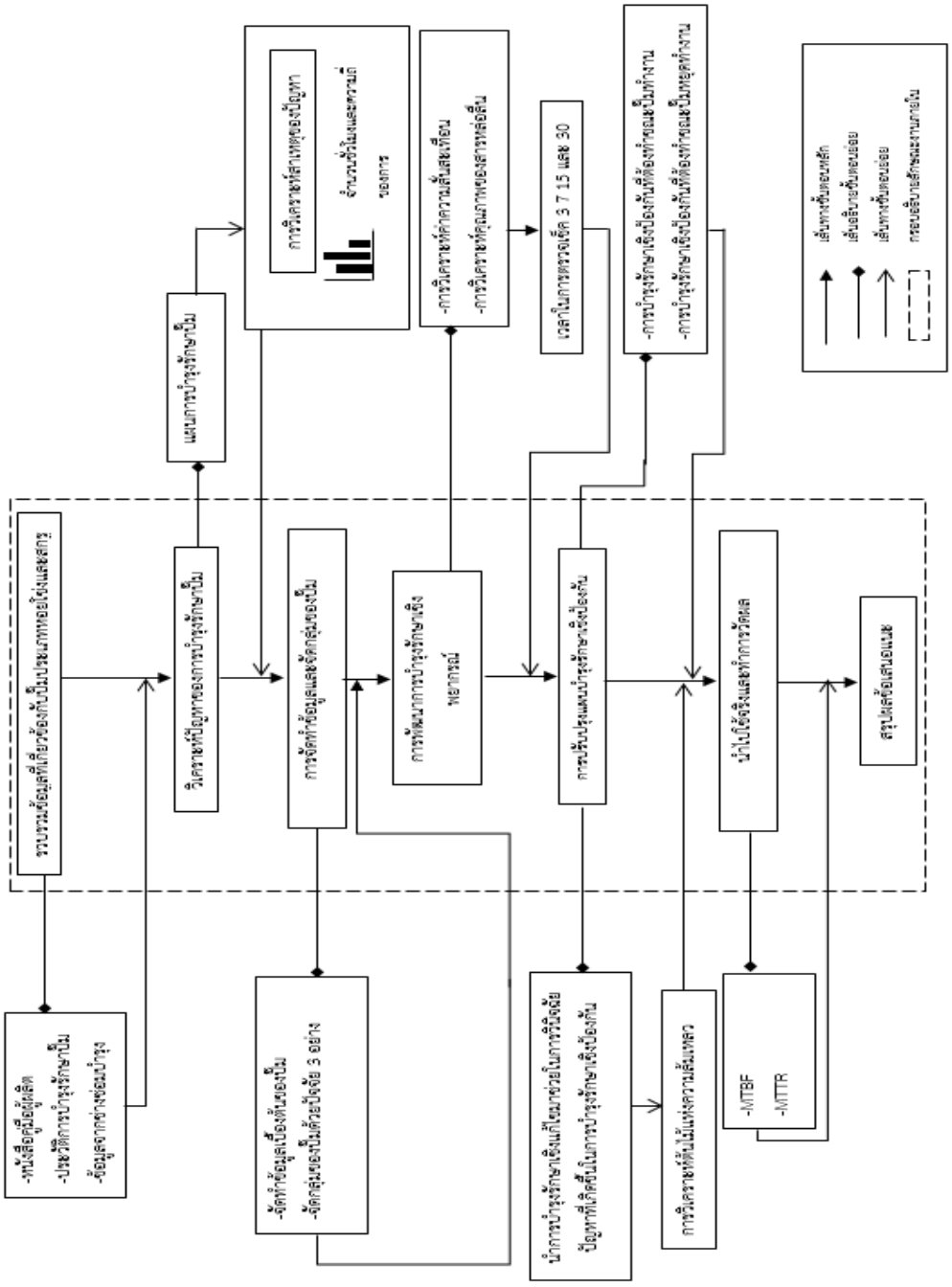
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

3.3 การจัดแผนการบำรุงรักษาปั๊ม

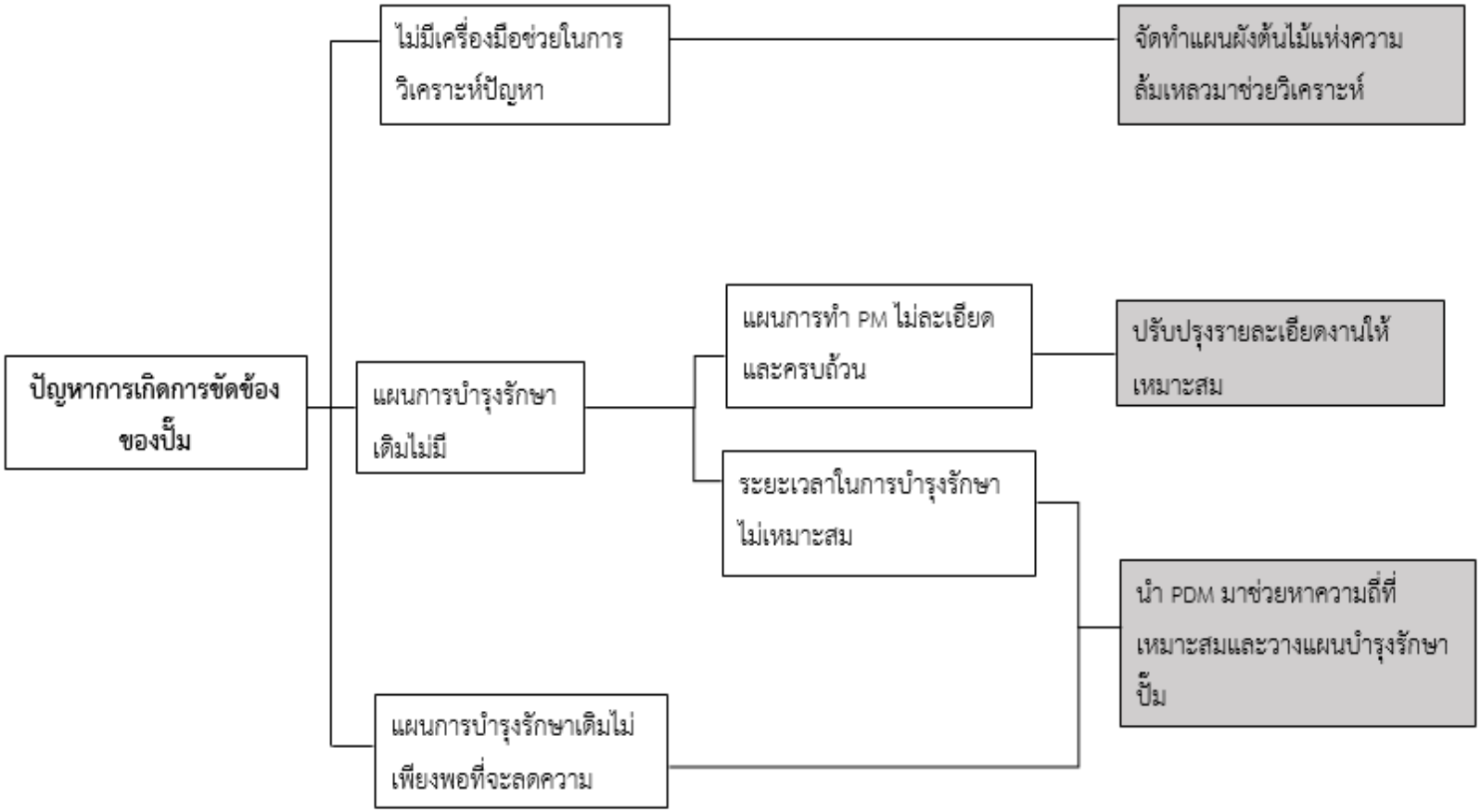
3.3.1 การจัดทำทะเบียนประวัติและรายละเอียดของปั๊ม

ในระบบกระบวนการผลิตมีการใช้งานปั๊มเป็นจำนวนมาก ซึ่งในแต่ละขั้นตอนการผลิตก็มีการใช้งานปั๊มที่มีรุ่นและยี่ห้อที่แตกต่างกันออกไป จึงจำเป็นที่จะต้องจัดทำระเบียนประวัติของปั๊ม เพื่อให้ง่ายต่อการวางแผนการบำรุงรักษาและจัดเก็บข้อมูลการบำรุงรักษาต่อไป โดยจะต้องระบุรายละเอียดดังต่อไปนี้

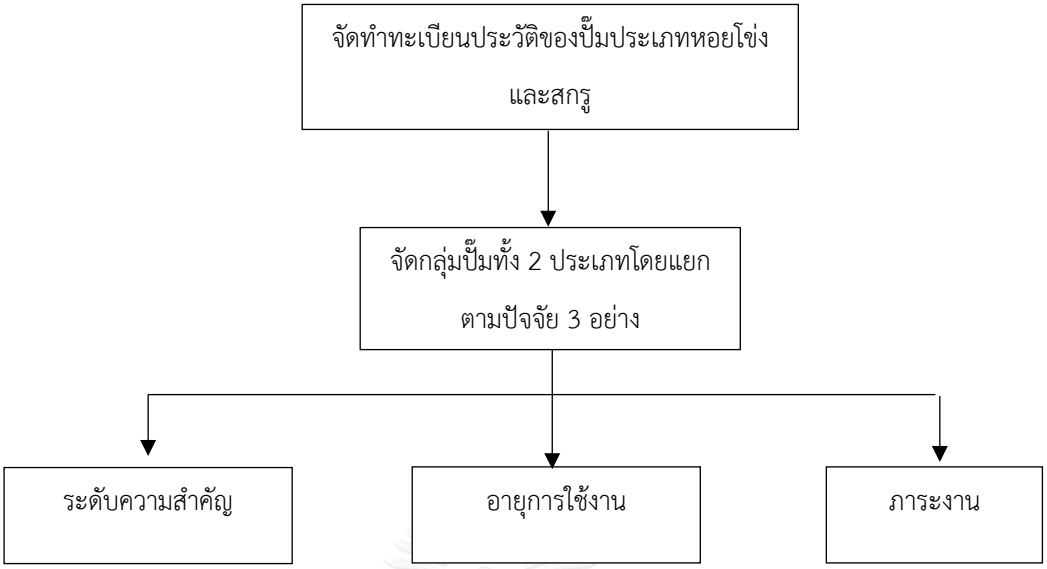
- ยี่ห้อของปั๊ม
- รุ่นของปั๊ม



รูปที่ 3.1 ภาพรวมขั้นตอนการดำเนินการศึกษา



รูปที่ 3.2 การวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ Why Why analysis



รูปที่ 3.3 แผนผังการจัดเตรียมข้อมูลการบำรุงรักษา

จากรูปที่ 3.3 แสดงแผนผังขั้นตอนการจัดเตรียมข้อมูลการบำรุงรักษา โดยจัดทำทะเบียนประวัติของปั๊ม และนำมาจัดกลุ่มของปั๊ม โดยแบ่งตามปัจจัย 3 ตัว ได้แก่ ระดับความสำคัญ อายุการใช้งาน และภาระงาน

3.3.2 กำหนดรายการปั๊มทั้งสองประเภทและนำมาจัดกลุ่มด้วยปัจจัย

เนื่องจากในกระบวนการผลิตมีการใช้งานปั๊มอยู่เป็นจำนวนมาก จึงควรนำปั๊มทั้งหมดมาจัดกลุ่ม เพื่อให้ง่ายต่อการพัฒนาระบบและวางแผนการบำรุงรักษา โดยทำการจัดกลุ่มตามปัจจัยที่จะส่งผลต่อค่าความสั่นสะเทือนและค่าคุณภาพของน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งจะทำให้ปั๊มเกิดการขัดข้องได้ โดยแบ่งได้ 3 อย่าง ดังนี้

(1) การจัดกลุ่มตามระดับความสำคัญ

นำรายการปั๊มทั้ง 2 ประเภท มาจัดระดับความสำคัญเป็นระดับ A, B และ C เพื่อให้ง่ายต่อการวางแผนการบำรุงรักษา ตามนิยามดังนี้

A หมายถึง เมื่อปั๊มเกิดความเสียหายส่งผลให้กระบวนการผลิตหยุดทั้งหมด ทำให้สูญเสียโอกาสในการผลิต

B หมายถึง เมื่อปั๊มเกิดความเสียหาย กระบวนการผลิตยังสามารถผลิตได้ต่อ แต่จะต้องลดกำลังการผลิตลง ทำให้สูญเสียผลผลิตบางส่วน

C หมายถึง เมื่อปั๊มเกิดความเสียหาย จะไม่กระทบต่อกระบวนการผลิต

ตารางที่ 3.1 การแบ่งกลุ่มของปั๊มตามระดับความสำคัญ

ชนิดของปั๊ม	ระดับความสำคัญ	จำนวนปั๊ม
หอยโข่ง	A	118
	B	70
	C	2
สกรู	A	0
	B	14
	C	0

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าปั๊มประเภทหอยโข่งส่วนใหญ่จะถูกจัดระดับความสำคัญ A เนื่องด้วยกระบวนการผลิตเป็นแบบต่อเนื่องทำให้เมื่อปั๊มเกิดความขัดข้องเพียงหนึ่งตัว กระบวนการผลิตก็มีโอกาสที่จะหยุดได้ทันที

(2) การจัดกลุ่มปั๊มตามอายุการใช้งาน

ปั๊มประเภทหอยโข่งและประเภทสกรูในกระบวนการผลิตมีการใช้งานปั๊มอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งอายุการใช้งานของปั๊มแต่ละตัวนั้นย่อมแตกต่างกันไป เนื่องจากในระหว่างการใช้งานนั้นปั๊มแต่ละตัวก็ได้มีการเสียและทำการเปลี่ยนตัวใหม่เข้าไปมาบ้างแล้ว และบางตัวก็มีการติดตั้งเข้าไปเพียงไม่นาน ทำให้สามารถจัดกลุ่มเป็น 3 ช่วงอายุได้ดังนี้

อายุมาก คือ อายุการใช้งานตั้งแต่ 10 ปีขึ้นไป

อายุปานกลาง คือ อายุการใช้งาน 5-10 ปี

อายุน้อย คือ อายุการใช้งาน 0-5 ปี

ตารางที่ 3.2 การแบ่งกลุ่มของปั๊มตามอายุการใช้งาน

ชนิดของปั๊ม	อายุการใช้งาน	จำนวนปั๊ม
หอยโข่ง	มาก	133
	ปานกลาง	28
	น้อย	29
สกรู	มาก	0
	ปานกลาง	4
	น้อย	10

จากตารางที่ 3.2 แสดงให้เห็นว่าปั๊มประเภทหอยโข่งและประเภทสกรูส่วนใหญ่มีอายุการใช้งานตั้งแต่ปานกลางถึงมากเป็นส่วนใหญ่ เพราะโรงงานดังกล่าวมีการดำเนินการผลิตมามากกว่า 20 ปีแล้ว

(3) การจัดกลุ่มปั๊มตามภาระงาน

ในกระบวนการผลิต ปั๊มประเภทหอยโข่งและประเภทสกรูจะมีภาระการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ปั๊มบางตัวมีภาระงานตลอด 24 ชั่วโมง บางตัวมีภาระงานเพียงวันละ 3-4 ชั่วโมงเท่านั้น ดังนั้นจึงควรนำมาจัดกลุ่ม โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อยดังนี้

ภาระงานมาก คือ มีการใช้งาน 17-24 ชั่วโมงต่อวัน

ภาระงานปานกลาง คือ มีการใช้งาน 9-16 ชั่วโมงต่อวัน

ภาระงานน้อย คือ มีการใช้งาน 0-8 ชั่วโมงต่อวัน

ตารางที่ 3.3 การแบ่งกลุ่มของปั๊มตามภาระงาน

ชนิดของปั๊ม	**ภาระการใช้งาน**	**จำนวนปั๊ม**
หอยโข่ง	มาก	76
	ปานกลาง	87
	น้อย	27
สกรู	มาก	0
	ปานกลาง	14
	น้อย	0

จากตารางที่ 3.3 แสดงให้เห็นว่าปั๊มมีภาระงานส่วนใหญ่ปานกลางถึงมาก คือตั้งแต่ 9 ชั่วโมงขึ้นไป เนื่องจากโรงงานตัวอย่างดำเนินการผลิตตลอด 24 ชั่วโมง

3.3.3 การพัฒนาการบำรุงรักษาปั๊ม

ในการวางแผนการบำรุงรักษาปั๊ม จะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่

3.3.3.1 การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

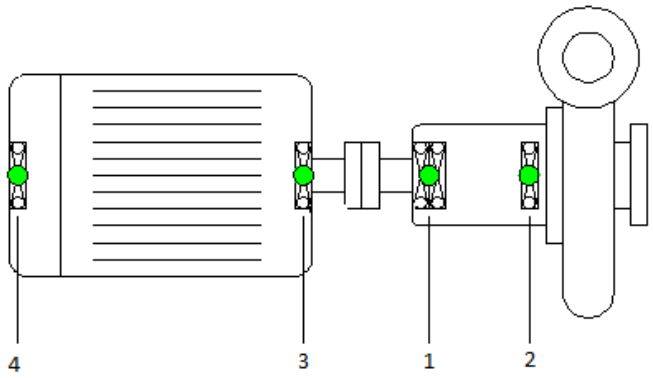
ได้นำเทคนิคการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มาช่วยในการแก้ไขปัญหาการเกิดเหตุขัดข้องของปั๊มและเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับปั๊ม โดยนำเอาวิธีการที่เหมาะสมสำหรับการตรวจเช็คปั๊มมาใช้ 2 วิธี ดังต่อไปนี้

(1) การวิเคราะห์ค่าความสั่นสะเทือนของปั๊ม (Vibration Analysis)

การวัดค่าความสั่นสะเทือนของปั๊มจะกระทำในตำแหน่งตลับลูกปืน (Bearing) ของทั้งปั๊มและมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.4 โดยใช้เครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน ดังรูปที่ 3.5 โดยค่าที่ได้จากการวัดจะแสดงหน่วยการวัดได้ 3 แบบดังนี้

- การวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุที่สั่นสะเทือน (Velocity, V) หน่วยการวัดเป็น มิลลิเมตร/วินาที (m/s) เหมาะสำหรับเครื่องจักรที่มีความเร็วรอบในการหมุนสูงกว่า 1200 รอบต่อนาที
- การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของความเร็วในการเคลื่อนที่ต่อหน่วยเวลา (Acceleration, A) หน่วยการวัดเป็น มิลลิเมตร/วินาที^{2} (mm/s^2, gE) เหมาะสำหรับเครื่องจักรที่มีความถี่สูงๆ
- การวัดระยะทางการเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีการสั่นสะเทือน (Displacement, Peak-Peak) หน่วยการวัดเป็น มิลลิเมตร (mm) เหมาะสำหรับเครื่องจักรที่มีการเคลื่อนที่รอบในการหมุนต่ำๆ คือไม่เกิน 1200 รอบต่อนาที

แต่ในงานวิจัยนี้จะทำการวัดโดยใช้ความเร่งและความเร็ว เนื่องจากปั๊มส่วนใหญ่ในกระบวนการผลิตมีรอบการใช้งานที่ 1450-1500 รอบต่อนาที



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งในการวัดค่าความสั่นสะเทือนของปั๊ม

รูปที่ 3.5 เครื่องมือสำหรับวัดค่าความสั่นสะเทือน

ที่มา : www.skf.com

จากรูปที่ 3.4 แสดงตำแหน่งในการวัดค่าความสั่นสะเทือน โดยจะวัดทั้งหมด 4 จุดคือ จุดที่ 1 คือ ลูกปืนฝั่งปั๊มด้านขับ จุดที่ 2 คือ ลูกปืนฝั่งปั๊มด้านตาม จุดที่ 3 คือ ลูกปืนมอเตอร์ด้านตาม และจุดที่ 4 คือ ลูกปืนมอเตอร์ฝั่งขับ และสามารถแบ่งแนวการวัดได้ 3 แนวคือ การวัดในแนวรัศมี (Radial) ที่เป็นแกนตั้ง (Vertical) การวัดในแนวรัศมีที่เป็นแกนนอน (Horizontal)และการวัดในแนวแกน (Axial) ในการวัดแต่ละแนวนั้น ผลที่ได้จากการวัดจะแสดงถึงสาเหตุของการเกิดการขัดข้อง และในรูปที่ 3.5 แสดงรูปเครื่องมือวัดค่าความสั่นสะเทือน ยี่ห้อ SKF รุ่น Microlog GX series CMXA 75 โดยทำการตั้งค่าการวัดในย่านความถี่ 600-60,000 CPM ตามมาตรฐาน ISO

หลังจากทำการวัดค่าความสั่นสะเทือนแล้ว จะแสดงผลของค่าความสั่นสะเทือนดังตัวอย่างในรูปที่ 3.6

Last Measurement Report

Source: 431P033 (B)

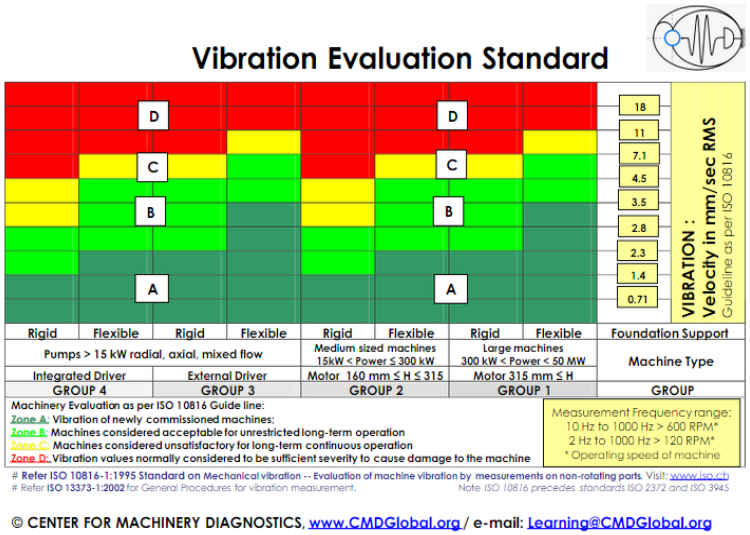
6/17/2014 3:36:39 PM

Last Measurement

Machine name	POINT name	Date/Time	Last value	Previous value	Units	Alert high	Danger high
431P033 (B)	1H-NDE-MOT	5/23/2014 3:43:02 PM	0.841	0.768	mm/s	4.000	6.000
431P033 (B)	1ENV-NDE-MOT	5/23/2014 3:43:10 PM	0.201	0.152	gE	2.000	4.000
431P033 (B)	2H-DE-MOT	5/23/2014 3:43:21 PM	1.149	0.793	mm/s	4.000	6.000
431P033 (B)	2ENV-DE-MOT	5/23/2014 3:43:34 PM	0.287	0.172	gE	2.000	4.000
431P033 (B)	3H-DE-PUMP	5/23/2014 3:43:45 PM	3.989	2.825	mm/s	4.000	6.000
431P033 (B)	3ENV-DE-PUMP	5/23/2014 3:43:54 PM	2.571	0.897	gE	2.000	4.000
431P033 (B)	4H-NDE-PUMP	5/23/2014 3:44:04 PM	2.521	1.523	mm/s	4.000	6.000
431P033 (B)	4ENV-NDE-PUMP	5/23/2014 3:44:12 PM	3.077	1.006	gE	2.000	4.000

รูปที่ 3.6 ตัวอย่างรายงานการวัดค่าความสั่นสะเทือนของปั๊มประเภทหอยโข่ง

จากรูปที่ 3.6 แสดงตัวอย่างรายงานผลค่าความสั่นสะเทือนของตลับลูกปืนในปั๊มประเภทหอยโข่ง ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีการวัดในตำแหน่งตลับลูกปืนของปั๊มและมอเตอร์ แสดงค่าออกมาเป็นหน่วย mm/s และ gE โดยจะทำการวัดในแกนตั้งและแกนนอน รวมทั้งหมด 8 จุด ซึ่งค่าที่วัดออกมาจะเป็นค่า Overall เพื่อมาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน ISO ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7มาตรฐานการวัดค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็ว

ที่มา: https://www.scribd.com/doc/37612058/Iso-10816-Vibration-Standard

รูปที่ 3.7 แสดงค่ามาตรฐานของการวัดค่าความสั่นสะเทือนตามมาตรฐาน ISO 10816 โดยระบุค่าความเร็วของการสั่นสะเทือนในหน่วยมิลลิเมตรต่อวินาที ทั้งนี้การอ่านค่าของตารางจะต้องอ่านค่าตามกลุ่ม แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ตามขนาดของกำลังมอเตอร์และการยึดฐานรากปั๊มและในรูปที่ 3.8 เป็นตารางค่าความเร่งตามมาตรฐานที่บริษัท SKF ผู้ผลิตลูกปืนได้จัดทำขึ้น

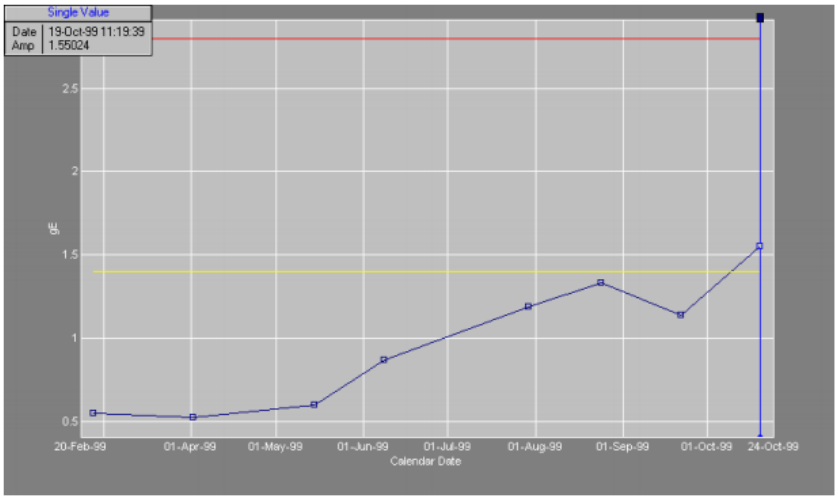
Severity	Shaft diameter Speed		
gE peak to peak	Dia. Between 200 & 500 mm. and Speed < 500 RPM	Dia. Between 50 & 300 mm. & Speed between 500 & 1000 RPM	Dia. Between 20 & 150 mm. & Speed is either 1800 or 3600 RPM
0.1	Good	Good	Good
0.5			
0.75	Satisfactory		
1	Unsatisfactory (alert)	Satisfactory	Satisfactory
2	Unacceptable (danger)	Unsatisfactory (alert)	
4		Unacceptable (danger)	Unsatisfactory (alert)
10			Unacceptable (danger)

รูปที่ 3.8 มาตรฐานการวัดค่าความเร่ง

ที่มา: www.hungsenghuat.com/HSE_overall_vibration_guideline.pdf

จากรูปที่ 3.8 แสดงค่ามาตรฐานการวัดความเร่งในหน่วย gE ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม แบ่งตามขนาดของเพลาและรอบการทำงานของปั๊ม

และในงานวิจัยนี้เป็นการเฝ้าระวังและติดตามความผิดปกติของค่าความสั่นสะเทือน โดยไม่รอให้ถึงระยะที่อันตราย สามารถสังเกตจากแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความสั่นสะเทือน เมื่อเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงอย่างชัดเจนก็สามารถสมมุติฐานได้ว่าจะต้องเริ่มทำการตรวจเช็ค ดังตัวอย่างในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 ตัวอย่างแนวโน้มของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่ง

ที่มา: Introduction guide to vibration monitoring

(2) การวิเคราะห์คุณภาพของสารหล่อลื่น (Oil analysis)

โดยจะทำการตรวจสอบคุณภาพของน้ำมัน เพื่อวิเคราะห์ค่าความสกปรกหรือสิ่งปนเปื้อนต่างๆ น้ำมัน เช่น ฝุ่นละออง น้ำ เศษโลหะที่เกิดจากการสึกหรอของชิ้นส่วน และการเสื่อมคุณภาพของน้ำมัน เป็นต้น โดยอ้างอิงมาตรฐาน ISO 18436-4 โดยมีพื้นฐานในการตรวจสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมันดังนี้

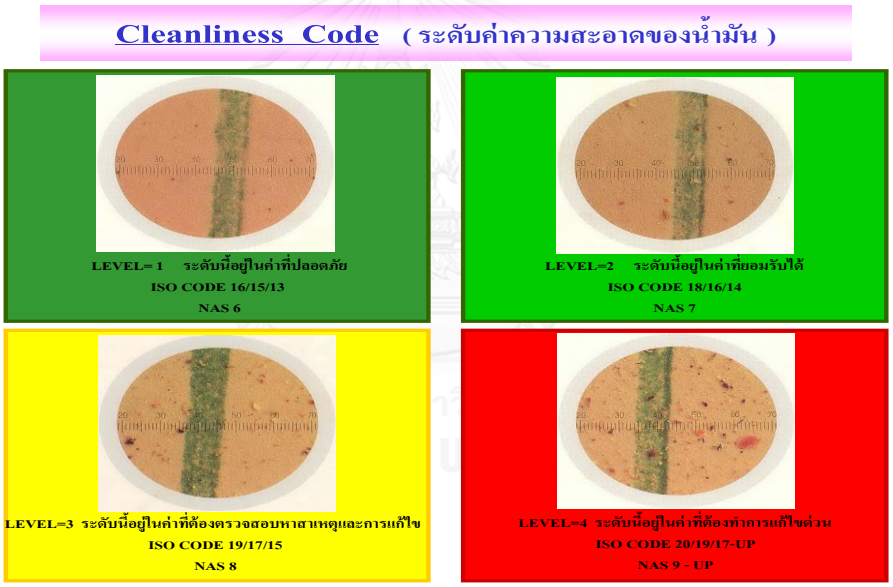
- การตรวจสอบระดับค่าความสะอาดของน้ำมัน (Cleanliness) สามารถแบ่งได้ 4 ระดับ ได้แก่

ระดับ 1 คือ ≤ 17/15/13 (NAS~6) ไม่มีสิ่งสกปรกให้เห็นเลย

ระดับ 2 คือ ≤ 18/16/14 (NAS~7) เริ่มมีสิ่งสกปรกเล็กน้อย แต่ยังยอมรับได้

ระดับ 3 คือ = 19/17/15 (NAS~8) มีสิ่งสกปรกมากผิดปกติควรรีบตรวจสอบ

ระดับ 4 คือ ≥ 20/19/17 (NAS~9) อันตรายควรแก้ไขทันที



รูปที่ 3.10 ระดับความสะอาดของน้ำมัน

จากรูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นถึงระดับความสะอาดของน้ำมันเมื่อส่องด้วยกล้องไมโครสโคป ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ระดับ

- การตรวจสอบค่าความหนืดของน้ำมัน (Viscosity) ซึ่งช่วงค่าความหนืดจะขึ้นอยู่กับน้ำมันชนิดนั้นๆ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ดังตัวอย่าง ได้แก่

ISO VG 32 = 28.8 - 35.2 cSt.

ISO VG 46 = 41.4 - 50.6 cSt.

ISO VG 68 = 61.2 - 74.8 cSt.

โดยจะทำการวัดระดับการเปลี่ยนแปลงความหนืดแบ่งได้ 4 ระดับ ได้แก่

ระดับ 1 คือ Variance 0.0%-2.0% น้ำมันคุณภาพดี

ระดับ 2 คือ Variance 3.0%-6.0% น้ำมันคุณภาพพอใช้

ระดับ 3 คือ Variance 7.0%-10.0% น้ำมันเริ่มเสื่อมคุณภาพ

ระดับ 4 คือ Variance more than 10% น้ำมันเสื่อมคุณภาพ ควรเปลี่ยนถ่ายทันที

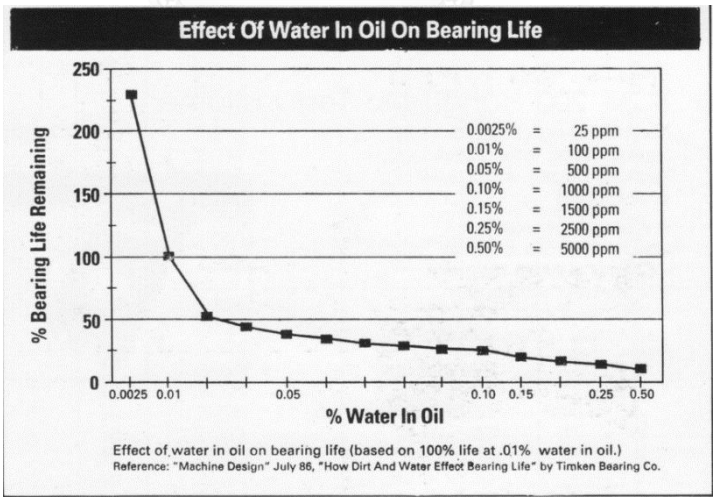
- การตรวจสอบหาปริมาณน้ำในน้ำมัน (Water Content in Oil) สามารถแบ่งได้ 4 ระดับ ได้แก่

ระดับ 1 คือ 0.00%vol.-0.05%vol.(0-70 % sat.) ไม่มีน้ำ (ระบบน้ำมันหล่อลื่นปลอดภัย)

ระดับ 2 คือ 0.06%vol.-0.10%vol.(70-80 % sat.) มีน้ำปะปนแบบไอมอก (มีไอน้ำเกิดขึ้นเกาะติดใต้ฝาผนังเสื้อปั๊ม

ระดับ 3 คือ 0.11%vol.-0.15%vol.(80-90 % sat.) มีน้ำปะปนแบบสีน้ำนม (ระบบหล่อลื่นเสียหาย)

ระดับ 4 คือ More than 0.15%vol.(90-100 % sat.) มีน้ำปะปนมาก (ทำลายระบบเครื่องจักรและระบบหล่อลื่นอย่างรวดเร็ว)



รูปที่ 3.11 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอายุการใช้งานของลูกปืนและเปอร์เซ็นต์ของน้ำในน้ำมัน

จากรูปที่ 3.10 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีปริมาณน้ำในน้ำมันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะส่งผลต่ออายุการใช้งานของลูกปืนที่ลดลง

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างผลการตรวจวัดคุณภาพของสารหล่อลื่นในปั๊ม

ผลการตรวจวัด								
EQUIPMENT	EQUIPMENT NAME / OIL TYPE	VISCOSITY cSt. At 40 C		WATER CONTENT(%)		CLEANLINESS CODE ISO 4406 , (NAS1638)		SUMMARY
		Result	Level	Result	Level	Result	Level	Level
411 P001	Circulation Pump No. 1 (ISO VG 46) 3L	44	1	0%	1	19/17/15 (NAS-8)	3	3
411 P002	Circulation Pump No. 2 (ISO VG 46) 3L	45	1	0%	1	18/16/14 (NAS-7)	2	2
411 P003	Circulation Pump No. 3 (ISO VG 46) 3L	42	1	0%	1	18/16/14 (NAS-7)	2	2
411 P004	Circulation Pump No. 4 (ISO VG 46) 3L	48	1	0%	1	19/17/15 (NAS-8)	3	3
411 P005	Circulation Pump No. 5 (ISO VG 46) 3L	46	1	0%	1	19/17/15 (NAS-8)	3	3

จากตารางที่ 3.4 แสดงตัวอย่างผลการตรวจวัดคุณภาพของสารหล่อลื่นในปั๊มตัวอย่างทั้ง 5 ตัว มีการใช้น้ำมัน ISO VG 46 โดยทำการวิเคราะห์ค่าความสะอาดของน้ำมัน ความหนืดของน้ำมัน และค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำในน้ำมัน และทำการสรุปผลโดยเลือกระดับที่พบที่สูงที่สุด

ขั้นตอนในการเก็บตัวอย่างน้ำมันควรกระทำในช่วงที่ปั๊มหยุดทำงานและมีอุณหภูมิปกติ เพราะเมื่อปั๊มหยุดทำงานสิ่งปนเปื้อนจะตกตะกอนอยู่บริเวณด้านล่างของเสื้อตลับลูกปืน ซึ่งจะช่วยให้ได้ผลคุณภาพของน้ำมันที่แม่นยำมากขึ้น โดยสามารถดำเนินการได้ดังนี้

- จัดหาขวดหรือภาชนะที่สะอาดสำหรับเก็บตัวอย่างน้ำมัน
- นำภาชนะไปรองน้ำมันตรงตำแหน่งวาล์วเดรนของปั๊ม
- เปิดวาล์วเดรนและเดรนน้ำมันในช่วงแรกทิ้งก่อน แล้วจึงน้ำภาชนะมารอง
- เมื่อเก็บตัวอย่างน้ำมันครบแล้วให้ปิดภาชนะใส่น้ำมันทันที
- ทำสัญลักษณ์ข้างภาชนะระบุหมายเลขปั๊ม
- นำตัวอย่างน้ำมันที่ได้ไปทำการวิเคราะห์

3.3.3.2 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

ทำการปรับปรุงการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน ซึ่งเป็นการบำรุงรักษาเพื่อป้องกันการเกิดเหตุขัดข้องของปั๊ม ซึ่งมีการทำกิจกรรมนี้อยู่แล้ว เพียงแต่นำมาปรับปรุงและวางแผนระยะเวลาในการตรวจเช็คให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถจำแนกได้ 2 แบบ ได้แก่

(1) การบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ต้องทำขณะปั๊มทำงานอยู่ เป็นกิจกรรมหนึ่งในการบำรุงรักษาเชิง

ป้องกันที่เป็นพื้นฐานขั้นที่ง่ายที่สุด โดยใช้เครื่องมือง่ายๆในการทำงาน ซึ่งมีส่วนประกอบด้วยกิจกรรมดังนี้

- การสำรวจสภาพของปั๊มและอุปกรณ์ด้วยตาเปล่า (Visual Inspect) เพื่อตรวจหาความผิดปกติ เช่น รอยรั่วซึมของของเหลว การเกิดสนิมและการผุกร่อนของปั๊ม
- การใช้มือในการสัมผัสปั๊มและอุปกรณ์เพื่อเปรียบเทียบความรู้สึกของอุณหภูมิและการสั่นสะเทือนที่เปลี่ยนไป
- การฟังเสียงด้วยหูเปล่าหรือเครื่องช่วยฟัง เพื่อสังเกตการเกิดเสียงที่ผิดปกติแตกต่างไปจากเดิมของเครื่องจักร
- การทำความสะอาดพื้นผิวภายนอกและพื้นที่โดยรอบของเครื่องจักร
- ทำการตรวจสอบปริมาณสารหล่อลื่นและเติมสารหล่อลื่นเพิ่มเติมหากมีการลดลง

ในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันขณะปั๊มทำงานอยู่ ช่างบำรุงรักษาควรได้รับการสอนให้ทำงานพื้นฐานในขั้นต้นได้ด้วยตนเอง การจัดรอบระยะเวลาในการทำสามารถจัดทำได้ตามความเหมาะสม แต่ในงานวิจัยนี้จะทำการพยากรณ์เพื่อหาหาระยะเวลาที่เหมาะสมจากการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนในการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มาเป็นแนวทางในการทำ เนื่องจากกิจกรรมของการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน มีความสอดคล้องกับการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ เช่น ขณะทำการตรวจเช็คปั๊มสามารถวัดค่าความสั่นสะเทือน และเก็บผลน้ำมันเพื่อนำไปวิเคราะห์คุณภาพควบคู่ไปด้วยกันได้ ทำให้การบริหารบุคลากรที่มีอยู่อย่างจำกัดมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

(2) การบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ต้องทำขณะปั๊มหยุดทำงาน จะสามารถทำได้ก็ต่อเมื่อหน่วยการผลิตมีการหยุด โดยมีรายละเอียดงานที่ต้องทำดังนี้

- การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน รอบ 6 เดือน

ในเครื่องจักรที่มักจะเกิดความเสียหายบ่อยครั้ง ควรทำการถอดปั๊มเพื่อตรวจสอบความเสียหายภายใน

- การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน รอบ 12 เดือน

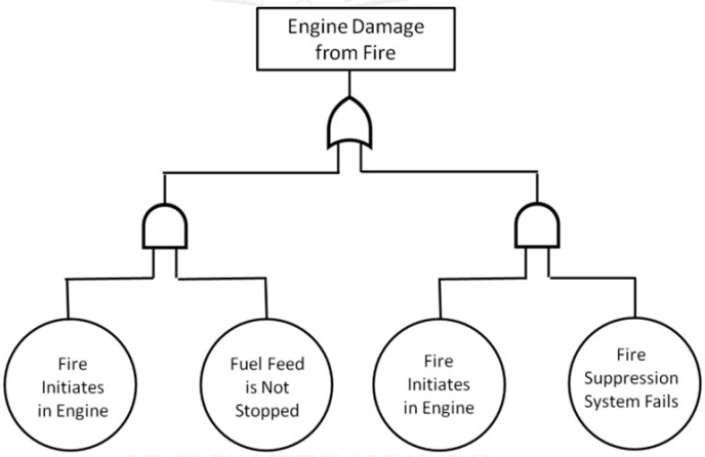
ทำการถอดปั๊มเพื่อตรวจสอบความเสียหายของชิ้นส่วนภายในปั๊ม เช่น ตัวเรือนปั๊ม ใบพัดปั๊ม

3.3.3.3 การบำรุงรักษาเชิงแก้ไข

เป็นการดำเนินการแก้ไขปั๊มที่เกิดความขัดข้อง ให้สามารถกลับมาใช้งานได้เป็นปกติ ซึ่งช่างบำรุงรักษา จะต้องอาศัยประสบการณ์ในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น และหาแนวทางแก้ไขที่เหมาะสม ในงานวิจัยนี้ได้นำเอาแผนภูมิต้นไม้แห่งความล้มเหลว หรือ Fault Tree Analysis มาช่วย

ในสนับสนุนการวิเคราะห์ปัญหาความเสียหายที่เกิดขึ้นของปั๊ม ซึ่งสามารถช่วยทำให้เข้าใจปัญหาและความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นทั้งหมดของปั๊มได้ดียิ่งขึ้น โดยลักษณะของ FTA นั้นจะเป็นวิเคราะห์สาเหตุที่เป็นไปได้ของปัญหาหรือความเสียหายที่เกิดขึ้น ทำให้สามารถแก้ปัญหาได้ตรงจุดและรวดเร็วยิ่งขั้น อีกทั้งยังสามารถนำไปช่วยในการพัฒนาพนักงานบำรุงรักษาที่เข้ามาทำงานใหม่ให้มีความรู้ความเข้าใจในการแก้ปัญหาได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้นด้วย โดยมีขั้นตอนดังนี้กำหนดและเลือกทอปอีเวนท์หัวข้อที่นำมาพิจารณาซึ่งเป็นความเสียหายของปั๊ม

- ประมวลสาเหตุ เริ่มสร้างฟอล์ททรีและพิจารณาว่า ทอปอีเวนท์มาจากสาเหตุอะไรได้บ้าง โดยวิเคราะห์จากผลไปหาเหตุคล้ายรากต้นไม้
- สาเหตุพื้นฐาน เป็นระดับล่างสุดของแต่ละสายโครงสร้างฟอล์ททรี ซึ่งเป็นสาเหตุของความเสียหาย



Chulalongkorn University

รูปที่ 3.12 ตัวอย่างแผนภูมิต้นไม้แห่งความล้มเหลว

ที่มา: httpwww.intechopen.comsourcehtml19540mediaimage10.png

จากรูปที่ 3.11 แสดงตัวอย่างต้นไม้แห่งความล้มเหลว เป็นการวิเคราะห์ปัญหาของเครื่องยนต์เกิดการไหม้ ซึ่งสามารถจำแนกปัญหาได้ทั้งหมด 4 สาเหตุ โดย 2 เหตุการณ์ แรก และ 2 เหตุการณ์หลังจะต้องเกิดขึ้นพร้อมกัน ถึงจะส่งผลให้เครื่องยนต์เสียหายได้

3.4 การนำเสนอแผนงานต่อพนักงานบำรุงรักษา

นำแผนการบำรุงรักษาปั๊มไปซักซ้อมความเข้าใจกับพนักงานในหน่วยงานบำรุงรักษา รวมทั้งช่วยกันระดมความคิด ขอข้อเสนอแนะเพิ่มเติม เพื่อให้แผนมีความสมบูรณ์และเหมาะสมมากขึ้น โดยมีหัวข้อดังนี้

- อธิบายแผนการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์
- อธิบายแผนหลังการปรับปรุงการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน
- อธิบายแผนผัง Fault Tree Analysis ที่ได้จัดทำขึ้นเพื่อมาสนับสนุนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

3.5 การนำไปใช้จริงในโรงงาน

หลังจากที่ได้มีการอธิบายแผนการบำรุงรักษาต่อพนักงานบำรุงรักษาแล้ว จึงได้มีการนำแผนงานดังกล่าวไปใช้งานจริง ซึ่งพนักงานบำรุงรักษาแต่ละคนจะมีหน้าที่ความรับผิดชอบในพื้นที่ที่ตนเองได้รับ จากนั้นทำการวัดผลโดยใช้ดัชนีชี้วัดเปรียบเทียบผลหลังจากมีการปรับปรุงปั๊มเกิดความขัดข้องน้อยลงหรือไม่ ดัชนีชี้วัดที่สนใจ ได้แก่ ค่าเฉลี่ยของเวลาตั้งแต่เกิดความเสียหายจนใช้งานได้ (Mean Time to Repair = MTTR) และค่าเฉลี่ยของเวลาก่อนเกิดเหตุขัดข้อง (Mean Time Between Failure = MTBF)

3.6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ทำการสรุปผลจากการศึกษาที่ได้จากการนำการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มาใช้ การปรับปรุงการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและนำการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขมาประยุกต์ใช้ และยังทำการเสนอแนะแนวคิดที่ได้จากการศึกษานี้ เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนางานบำรุงรักษาในเครื่องจักรประเภทอื่นต่อไป

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 4
การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการพัฒนาระบบบำรุงรักษา

ในบทนี้จะกล่าวถึงการเก็บรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปั๊ม รวมถึงนำ เพื่อนำมาใช้ในการพัฒนาระบบงานซ่อมบำรุงของปั๊มให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานในโรงงานตัวอย่างนี้ โดยมีรายละเอียดของข้อมูลที่จะต้องพิจารณาดังต่อไปนี้

4.1 ข้อมูลทั่วไปของหน่วยงานบำรุงรักษา

4.2 สภาพปัญหาที่เกิดขึ้น

4.3 ระบบการบำรุงรักษาปั๊มของหน่วยงานในปัจจุบัน

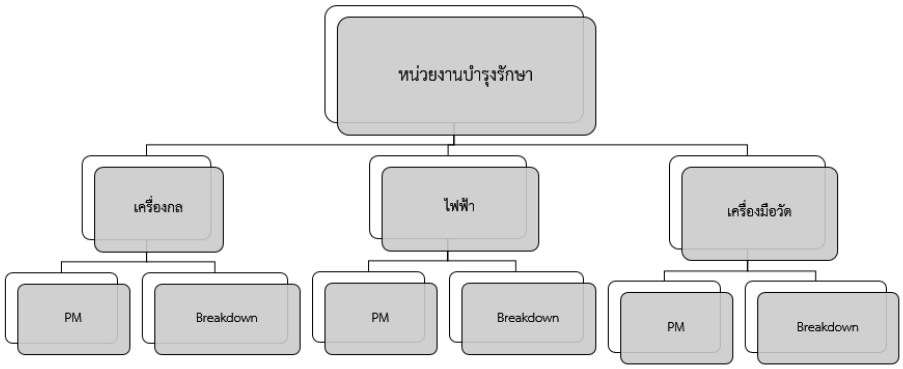
4.1 ข้อมูลทั่วไปของโรงงานและหน่วยงานบำรุงรักษา

4.1.1 ผังองค์กรภายในหน่วยงาน

ในหน่วยงานบำรุงรักษาจะถูกแบ่งออกเป็น 3 หน่วยงานย่อย ได้แก่ หน่วยงานบำรุงรักษาเครื่องกล หน่วยงานบำรุงรักษาไฟฟ้า และหน่วยงานบำรุงรักษาเครื่องมือวัด โดยแต่ละหน่วยงานย่อยจะรับผิดชอบงานที่มีการวางแผน เช่น Preventive maintenance เป็นต้น และงานที่ไม่ได้วางแผน เช่น Corrective maintenance หรือ Break down maintenance โดยแสดงดังรูปที่ 4.1

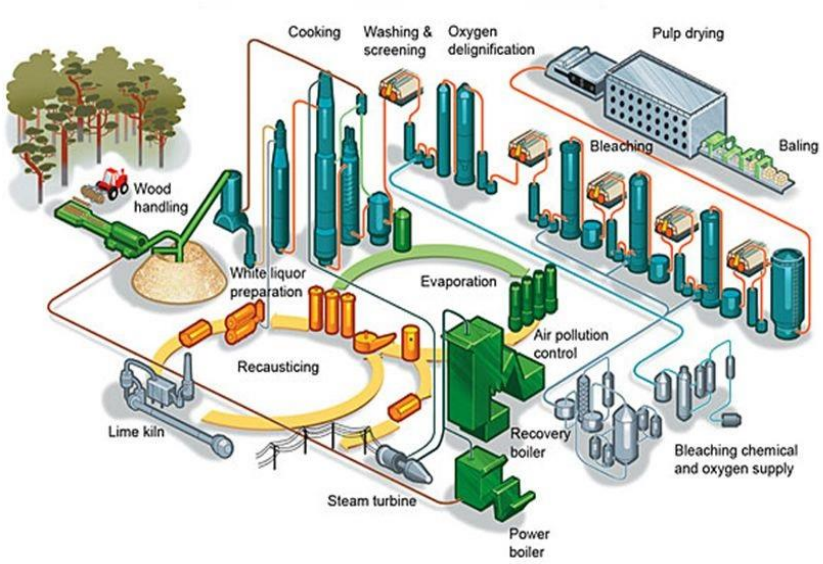
4.1.2 กระบวนการผลิตที่จะทำการศึกษา

โรงงานกรณีศึกษานี้ทำการผลิตเยื่อกระดาษและสารเคมีที่ใช้ในการฟอกเยื่อกระดาษ ซึ่งมีเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตมากมาย แต่ในที่นี้ขอนำมาศึกษาเพียงเฉพาะปั๊มประเภทหอยโข่งและประเภทสกรูซึ่งมีการนำมาใช้งานในกระบวนการผลิตมากที่สุด



รูปที่ 4.1 ผังองค์กรภายในหน่วยงานบำรุงรักษา

จากรูปที่ 4.1 แสดงผังองค์กรภายในหน่วยงานบำรุงรักษา โดยแบ่งออกเป็น 3 หน่วยงานย่อย คือ หน่วยงานเครื่องกล หน่วยงานไฟฟ้า และหน่วยงานเครื่องมือวัด ในแต่ละหน่วยงานย่อยจะแบ่งทีมที่รับผิดชอบงานบำรุงรักษาเชิงป้องกันและงานบำรุงรักษาเชิงแก้ไข



รูปที่ 4.2 กระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ

ที่มา www.metsopaper.com

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่ากระบวนการผลิตเยื่อกระดาษ เป็นกระบวนการผลิตหลักที่มีความสัมพันธ์กับกระบวนการผลิตไฟฟ้า อีกทั้งกระบวนการผลิตเป็นแบบต่อเนื่อง คือต้องใช้ไฟฟ้าและพลังงานความร้อนจากโรงไฟฟ้า และส่งสารเคมีเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงในโรงไฟฟ้าอีกด้วย ทำให้เครื่องจักรที่ใช้ในระบบการผลิตจะต้องทำงานอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นในการวางแผนและพัฒนาการบำรุงรักษา จึงต้องอาศัยความรู้และความเข้าใจในกระบวนการผลิตเป็นอย่างดีด้วยเช่นกัน

4.1.3 ปั๊มที่ใช้ในกระบวนการผลิตทั้งประเภทหอยโข่งและประเภทสกรู

รายชื่อปั๊มประเภทหอยโข่งและสกรูที่นำมาใช้งานในกระบวนการผลิต ได้ถูกแสดงรายชื่อและจำนวนปั๊มทั้ง 2 ประเภทไว้ในตารางที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 รายชื่อปั๊มประเภทหอยโข่งที่มีการใช้งานในกระบวนการผลิต

No.	Tag Equipment	Equipment name	จำนวนปั๊ม
Cooking Plant			**25**
1	411P001	DIGESTER 1 CIRCULATION PUMP	
2	411P002	DIGESTER 2 CIRCULATION PUMP	
3	411P003	DIGESTER 3 CIRCULATION PUMP	
4	411P004	DIGESTER 4 CIRCULATION PUMP	
5	411P005	DIGESTER 5 CIRCULATION PUMP	
6	411P006	WHITE LIQUOR PUMP	
7	411P007	CONDENSATE BOOSTER PUMP	
8	411P008	BLACK LIQUOR CIRCULATION PUMP	
9	411P009	HOT BLACK LIQUOR PUMP	
10	411P010	HOT WHITE LIQUOR PUMP	
11	411P011	WHITE LIQUOR CIRCULATION PUMP	
12	411P012	LIQUOR FILTER FEED PUMP	
13	411P013	EVAPORATION BLACK LIQUOR PUMP	
14	411P014	IMPREGNATION LIQUOR PUMP	
15	411P015.1	DISPLACEMENT LIQUOR PUMP #1	
16	411P015.2	DISPLACEMENT LIQUOR PUMP #2	
17	411P016	DILUTION LIQUOR PUMP	
18	411P017	CONDENSATE RETURN PUMP	
19	411P018	CONTAMINATED CONDENSATE PUMP	
20	411P019.1	HOT WATER PUMP #1	
21	411P019.2	HOT WATER PUMP #2	
22	411P020	DIGESTER DISCHARGE PUMP 1	
23	411P021	DIGESTER DISCHARGE PUMP 2	
24	411P022	ACID CLEANING PUMP	
25	411P023	WHITE LIQUOR TO WL OXIDATION	
Brown Stock Plant			**23**
1	421P001	O2 MC-PUMP	
2	421P003	UNBLEACHED MC-PUMP	
3	421P005	PRIMARY KNOTTER FEED PUMP	
4	421P006	DEKNOTTING LIQUOR RETURN PUMP	
5	421P007	BROWN STOCK WASH PRESS SHOWER PUMP	

6	421P008	DEKNOTTING DILUTION PUMP	
7	421P009	BLACK LIQUOR TRANSFER PUMP	
8	421P010	PRIMARY SCREEN FEED PUMP	
9	421P012	TERTIARY SCREEN FEED PUMP	
10	421P013	REJECT FILTRATE TANK DISCHARGE PUMP	
11	421P014	FILTRATE CLEANER FEED PUMP	
12	421P015	SCREENING PIT DISCHARGE PUMP	
13	421P016	PRE-O2 WASH PRESS SHOWER PUMP	
14	421P017	SCREENING DILUTION PUMP	
15	421P018	BROWN STOCK WASH LIQUOR PUMP	
16	421P019	POST-02 WASH PRESS FEED PUMP	
17	421P020	POST-02 WASH PRESS SHOWER PUMP	
18	421P021	O2 DILUTION PUMP	
19	421P022	PRE-02 WASH LIQUOR PUMP	
20	421P023	POST-O2 WASH LIQUOR PUMP	
21	421P024	OXIDIZED WHITE LIQUOR PUMP	
22	421P025	SCREENING FEED PUMP	
23	421P026	SCREW PRESS FEED PUMP	
		Bleaching Plant	**38**
1	431P001	D0 MC-PUMP	
2	431P003	EOP MC-PUMP	
3	431P005	D1 MC-PUMP	
4	431P007	BLEACHED MC-PUMP	
5	431P010	PRE-BLEACH WASH PRESS SHOWER PUMP	
6	431P011	UNBLEACHED HD-TOWER DILUTION PUMP	
7	431P012	D0 WASH PRESS FEED PUMP	
8	431P013	DUMP TANK DISCHARGE PUMP	
9	431P014	FILTRATE CLEANER FEED PUMP	
10	431P015	D0 WASH PRESS SHOWER PUMP	
11	431P016	D0 TOWER DILUTION PUMP	
12	431P017	ACID PRESSATE PUMP	
13	431P018	D0 PRE-DILUTION PUMP	
14	431P019	EOP DEWATERING PRESS FEED PUMP	
15	431P020	EOP TOWER DILUTION PUMP	

16	431P021	EOP PRE-DILUTION PUMP	
17	431P022	ALKALI PRESSATE PUMP	
18	431P023	EOP DEWATERING PRESS SHOWER PUMP	
19	431P024	D1 DEWATERING PRESS FEED PUMP	
20	431P025	D1 TOWER DILUTION PUMP	
21	431P026	D1 PRE-DILUTION PUMP	
22	431P027	D1 DEWATERING PRESS SHOWER PUMP	
23	431P028	COARSE SCREEN FEED PUMP	
24	431P029	FIRST STAGE CLEANER FEED PUMP	
25	431P030	SECOND STAGE CLEANER FEED PUMP	
26	431P031	THIRD STAGE CLEANER FEED PUMP	
27	431P032	FOURTH STAGE CLEANER FEED PUMP	
28	431P033	FIFTH STAGE CLEANER FEED PUMP	
29	431P034	CLEANING LC-TANK DILUTION PUMP	
30	431P035	DECKER WIRE SHOWER PUMP	
31	431P036	DECKER WASH WATER PUMP	
32	431P037	BLEACHED HD-TOWER 1&2 DILUTION PUMP	
33	431P038	BLEACHED HD-TOWER 1 DISCHARGE PUMP	
34	431P039	BLEACHED HD-TOWER 2 DISCHARGE PUMP	
35	431P040	SCRUBBER CIRCULATION PUMP	
36	431P041	SEAL WATER PUMP 1	
37	431P042	SEAL WATER PUMP 2	
38	431P044	OXIDIZE WHITE LIQUOR TRANSFER PUMP	
Recaustic Plant			**21**
1	471P001	UNCLARIFIED GREEN LIGUOR PUMP	
2	471P002	CLARIFIED GREEN LIQUOR PUMP	
3	471P003	DREGS TRANSFER PUMP	
4	471P004	DREGS FILTER FEED PUMP	
5	471P005	DREGS FILTER FILTRATE PUMP	
6	471P006	WHITE LIQUOR/LIME MUD PUMP	
7	471P007	WEAK WASH LIQUOR/LIME MUD PUMP	
8	471P008.1	WHITE LIQUOR PUMP	
9	471P008.2	WHITE LIQUOR PUMP	
10	471P009	LIME MUD TRANSFER PUMP	

11	471P010	ACID PUMP	
12	471P011	LIME MUD FILTER FEED PUMP	
13	471P013	LIME MUD FILTER FILTRATE PUMP	
14	471P014	WEAK WASH LIQUOR PUMP	
15	471P015.1	HOT WATER BOOSTER PUMP	
16	471P015.2	HOT WATER BOOSTER PUMP	
17	471P017	DREGS TRANSFER PUMP 471T002 TO 471T003	
18	471P020.1	PUMP DREGE TO LIME MUD	
19	471P020.2	PUMP DREGE TO LIME MUD	
20	471P101	UNCLARIFIED GREEN LIGUOR PUMP (NEW)	
21	491P003	CIRCULATE PUMP	
Chemical Plant			**56**
1	601P001	CHILLED WATER PUMP	
2	601P002	WARM WATER PUMP	
3	601P003	COOLING WATER PUMP	
4	601P004	EMERGENCY PUMP	
5	602P001	PUMP,CHILLED WATER	
6	602P002	PUMP, WARM WATER	
7	602P003	PUMP, COOLING WATER	
8	611P001	CHLORATE UNLOAD	
9	611P002	CHLORATE FEED PUMP	
10	611P003	CHLORATE FEED PUMP	
11	611P004	ACID UNLOAD PUMP	
12	611P005	ACID FEED PUMP # 1	
13	611P006	ACID FEED PUMP # 2	
14	611P007.1	ACID PUMP TO BLEACH	
15	611P007.2	ACID PUMP TO BLEACH	
16	611P008	METHANOL UNLOAD	
17	611P009	METHANOL FEED PUMP	
18	611P010	METHANOL FEED PUMP	
19	611P011	NAOH UNLOAD PUMP	
20	611P012	NAOH DILUTION PUMP	
21	611P013	200GPL NAOH PUMP	
22	621P001	CIRCULATION PUMP	

23	621P002	FILTER FEED PUMP	
24	621P003	DUMP PUMP	
25	621P004	SALTCAKE SOLUTION	
26	621P005	CONDENSATE PUMP	
27	621P006	CIO2 SCRUBBER PUMP	
28	621P007	CIO2 WATER PUMP	
29	621P008	CIO2 TRANSFER PUMP	
30	621P009	CIO2 TRANSFER PUMP	
31	622P001	CIRCULATION PUMP	
32	622P002	FILTER FEED PUMP.	
33	622P003	DUMP PUMP	
34	622P004	SALT CAKE SOLUTION	
35	622P005	PUMP, CONDENSATE	
36	622P006	SCRUBBER PUMP	
37	622P007	PUMP, CLO2 WATER	
38	622P008	CLO2 TRANFER PUMP	
39	622P009	CLO2 TRANFER PUMP	
40	622P010	PUMP SODIUM SULPHATE	
41	623P4101	CHLORATE FEED PUMP	
42	623P4107	CHILLER WATER PUMP	
43	623P4108	CHILLER WATER PUMP	
44	623P4114	CAUSTIC CIRCULATING	
45	623P4124	AICD PUMP	
46	623P4133	CONDENSATE PUMP	
47	623P4134	CONDENSATE PUMP	
48	623P4140	CIRCULATION PUMP	
49	623P4141	GENERATO DUMP PUMP	
50	623P4143	FILTER FEED PUMP	
51	623P4145	SALTCAKE SOLUTION P	
52	623P4146	CLO2 SOLUTION PUMP	
53	623P4159	METHANOL FEED PUMP	
54	623P4160	METHANOL FEED PUMP	
55	623P4161	COOLING PUMP 1	
56	623P4162	COOLING PUMP 2	

Water Treatment			**15**
1	131P004	EQUALIZATION PUMP NO.1	
2	131P005	EQUALIZATION PUMP NO.2	
3	131P006.2	SUBMERSIBLE PUMP IN EMERGENCY NO.2	
4	131P011	WASTE WATER PUMP FROM COOLING TOWER #5	
5	131P012	WASTE WATER PUMP FROM COOLING TOWER	
6	131P015	SLUDGE PUMP RETURN TO AEROBIC SELECTOR	
7	131P016	SLUDGE PUMP RETURN TO AEROBIC SELECTOR	
8	131P017	SLUDGE PUMP FROM SLUDBE STORAGE #2	
9	131P020	SLUDGE PUMP FROM SLUDBE STORAGE #1	
10	131P024	REJECT WATER PUMP TO MIXING TANK	
11	131P027	SHARE LOAD PUMP TO ETP # 2 , 3	
12	131P030	SHARE LOAD PUMP	
13	141P001	FIRE FIGHTING PUMP PUMPING WATER FROM COOLING	
14	141P003	FIRE FIGHTING PUMP CONTRNUOUSLY RUNNING FOR PUMPING	
15	141P004	FIRE FIGHTING PUMP PUMPING WATER FROM A SERPERATE	
Water Plant			**12**
1	271P003	ALSO4 SIURRY PUMP	
2	271P006	CA(OH)2 CIRCALATION PUMP FROM 271E004 TO 271T011 1	
3	271P007	CA(OH)2 CIRCALATION PUMP FROM 271E004 TO 271T011 2	
4	271P008	CA(OH)2 SIURRY PUMP FROM 271E002 TO 271T004	
5	271P009	EXCESS SLUDGE PUMP	
6	271P015	POTABLE WATER DISTRIBUTION PUMPS 1	
7	271P016	POTABLE WATER DISTRIBUTION PUMPS 2	
8	271P017	DIRTY BACK WASH WATER RECOVERY PUMP	
9	271P019	BACK WASH WATER PUMP	
10	271P401	MILL WATER PUMP NO.1	
11	271P402	MILL WATER PUMP NO.2	

12	271P403	PUMP MILL WATER	

ตารางที่ 4.2 รายชื่อปั๊มประเภทสกรูที่มีการใช้งานในกระบวนการผลิต

No.	Tag Equipment	Equipment name	จำนวนปั๊ม
Use Oil Plant			**9**
1	261P001.1	TRANFER PUMP FROM USE OIL TANK TO HEAT EXCHANGER 1	
2	261P001.2	TRANFER PUMP FROM USE OIL TANK TO HEAT EXCHANGER 2	
3	261P002.1	TRANFER PUMP FROM HEAT EXCHANGER TO SEPARATOR 1	
4	261P002.2	TRANFER PUMP FROM HEAT EXCHANGER TO SEPARATOR 2	
5	261P003.1	TRANFER PUMP FROM USE OIL TANK TO DECANTOR 1	
6	261P003.2	TRANFER PUMP FROM USE OIL TANK TO DECANTOR 2	
7	261P005.1	TRANFER PUMP FROM USE OIL TANK TO LIME KILN 1	
8	261P005.2	TRANFER PUMP FROM USE OIL TANK TO LIME KILN 2	
9	261P005.3	TRANFER PUMP FROM USE OIL TANK TO LIME KILN 3	
Water Treatment			**3**
1	131P002.1	SLUDGE PUMP TO SLUDGE STORAGE 1	
2	131P002.2	SLUDGE PUMP TO SLUDGE STORAGE 2	
3	131P031	SLUDGE STORAGE TO FILTER PRESS	
Water Plant			**2**
1	271P004	ALSO4 DOSING PUMP FROM 271T003 TO 271T011	
2	271P005	ALSO4 SPARE DOSING PUMP FROM 271T003 TO 271T01	

4.1.4 ระบบการผลิตในปัจจุบัน

ในโรงงานกรณีศึกษา จัดระบบการผลิตเป็นแบบกะ แบ่งเป็นกะเช้าและกะดึกทั้งพนักงานฝ่ายผลิตและพนักงานบำรุงรักษา โดยมีช่วงเวลาการทำงานดังนี้

พนักงานกะเช้าเวลา 08.00 น. – 20.00 น.
พนักงานกะดึกเวลา 20.00 น. – 08.00 น.
พนักงานกะปกติเวลา 08.00 น. – 17.00 น.

4.1.5 แผนการปฏิบัติงานบำรุงรักษาปั๊มในปัจจุบัน

ในปัจจุบันได้มีการวางแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของปั๊มประเภทหอยโข่งและประเภทสกรู โดยมีความถี่ของการซ่อมบำรุงทุกๆ 1 อาทิตย์ 2 อาทิตย์ และ 1 เดือน ไม่ได้มีการจัดกลุ่มของปั๊มเพื่อหาความถี่ในการตรวจเช็คที่เหมาะสม ส่งผลให้ประสิทธิภาพของการบำรุงรักษาปั๊มยังไม่ดีพอ เนื่องจากยังพบเกิดการความขัดข้องในปั๊มอยู่มาก อีกทั้งที่ผ่านมายังไม่มีการนำการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มาช่วยในการวิเคราะห์ปัญหาและวางแผนการบำรุงรักษาเท่าที่ควร

ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันของปั๊มประเภทหอยโข่งและประเภทสกรู โดยรายละเอียดในตารางจะระบุรายชื่อปั๊มแต่ละตัว หมายเลขและชื่อของ Job plan ความถี่ของการซ่อม จำนวนครั้งที่ทำต่อปี และชั่วโมงการทำงานที่ใช้ โดยปกติการจัดทำ Job plan เพื่อใช้ในการบำรุงรักษาปั๊มนั้น แต่ละหมายเลขจะระบุรายละเอียดของงานที่ช่างบำรุงรักษาจะเข้าไปปฏิบัติดังตารางที่ 4.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างรายละเอียด Job Plan

JOB PLAN No.1000306M	**Monthly inspection of Ahlstrom pump (Dynamic seal)**
ใช้สำหรับเครื่องจักร	
131P004 EQUALIZATION PUMP NO.1 131P005 EQUALIZATION PUMP NO.2 131P015 SLUDGE PUMP RETURN TO AEROBIC SELECTOR	1.ขณะทำการตรวจเช็ค ( ) RUNNING / ( ) STAND BY
	2.Pressure Gauge ที่ด้าน Discharge .....bar (ปกติ 6.5 bar)
	3.ตำแหน่งวาล์วขณะทำการตรวจสอบ a) ด้าน Suction ( ) ปิด / ( ) เปิด .....% b) ด้าน Discharge ( ) ปิด / ( ) เปิด .....%
	4.อัดจารบีลูกปืนด้วยจารบี EP 2 (20 กรัม / ลูกปืน) ( ) ลูกปืนด้านใบพัด ( ) ลูกปืนด้านคัปปลิ้ง

131P016 SLUDGE PUMP RETURN TO AEROBIC SELECTOR 131P017 SLUDGE PUMP FROM SLUDBE STORAGE #2 271P019 BACK WASH WATER PUMP 271P401 MILL WATER PUMP NO.1 271P402 MILL WATER PUMP NO.2	5.ตรวจสอบการรั่วซึมของ Pump และอุปกรณ์. บริเวณ Dynamic seal ( ) ไม่รั่ว ( ) รั่ว รั่ว บริเวณ.....
	6.บริเวณเพลา Exchange unit และ Oil Seal ต่างๆ ( ) ไม่รั่ว / ( ) รั่ว บริเวณ .....
	7.บริเวณท่อทางต่างๆ ( ) ไม่รั่ว / ( ) รั่ว บริเวณ.....
	8.ตรวจสอบอาการผิดปกติของ Pump & อุปกรณ์ อุณหภูมิของ Pump a) ที่ Bearing ด้านใบพัด .....°C ( ) ปกติ/ ( ) ไม่ปกติ ..... b) ที่ Bearing ด้าน Coupling .....°C ( ) ปกติ/ ( ) ไม่ปกติ .....
	9.การสั่นสะเทือน (ตรวจสอบ ด้วยตาและการสัมผัส) ( ) ปกติ ( ) มีการสั่นสะเทือนผิดปกติที่.....สาเหตุ.....
	10.การหลวมคลอนของ Bolt & Nut ต่างๆที่ Pump , Valve ฯลฯ ( ) ปกติ ( ) มีการหลวมคลอนที่..... ( ) ได้ทำการกวดขันจนเป็นที่เรียบร้อยแล้ว
	11.ตรวจสอบเสียงดังผิดปกติตามจุดต่างๆ ( ) คัปปลิ้ง ( ) ลูกปืน ( ) ตัวเรือนปั๊ม ( ) อื่นๆ บริเวณ..... ตรวจสอบฝาครอบคัปปลิ้ง ( ) ปกติ ( ) เสียหาย ( ) ไม่ได้ติดตั้ง
	12.ความสะอาดโดยรอบ ( ) สะอาด ( ) ไม่สะอาด เนื่องจากมี..... ( ) ได้ทำความสะอาดแล้วโดย.....
	13.หมายเหตุ (หากมีสิ่งผิดปกติหรือข้อเสนอแนะหรือข้อมูลที่ควรบันทึกอื่นๆ).....

จากตารางที่ 4.3 แสดงรายละเอียดของ Job plan ในการทำการบำรุงรักษาเชิงป้องกันแบบกำหนด ระยะเวลา 1 เดือน ของปั๊มหอยโข่ง โดยตารางระบุรายละเอียดดังนี้

- หมายเลขของ Job plan
- ชื่อของ Job plan

- Tag Number ของปั๊มที่สามารถนำ Job plan นี้ไปใช้ในการบำรุงรักษาได้
- รายละเอียดของ Job plan ซึ่งจะระบุขั้นตอนในการตรวจเช็คปั๊มทั้งหมดเป็นข้อๆ

และในรูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างแผนการทำการบำรุงรักษาเชิงป้องกันแบบกำหนดระยะเวลาของปั๊มทั้งหมด โดยในตารางได้ระบุรายละเอียดซึ่งสามารถอธิบายได้ตามหัวข้อดังนี้

- Tag Equipment คือ หมายเลขของปั๊ม
- Equipment Name คือ ชื่อของปั๊ม
- Job Plan Number คือ หมายเลขของรายละเอียดการบำรุงรักษา
- Job Plan Description คือ ชื่อของรายละเอียดการบำรุงรักษา
- Frequency คือ ความถี่ในการตรวจเช็คปั๊ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

EQNUM	EQ_NAME	JPNUM	JP Description	FREQUENCY	FREQUNIT	EST_MH	COUNTER	Sum of EST_MHYEAR
411P001	DIGESTER 1 CIRCULATION PUMP	JPP1MTR01S	Preventive maintenance of motor	30	DAYS	1	12	12
		JP9662M	Weekly PM Inspection pump	30	DAYS	0.5	12	6
411P002	DIGESTER 2 CIRCULATION PUMP	JPP1MTR01S	Preventive maintenance of motor	30	DAYS	1	12	12
		JP9662M	Weekly PM Inspection pump	30	DAYS	0.5	12	6
411P003	DIGESTER 3 CIRCULATION PUMP	JPP1MTR01S	Preventive maintenance of motor	30	DAYS	1	12	12
		JP9662M	Weekly PM Inspection pump	30	DAYS	0.5	12	6
411P004	DIGESTER 4 CIRCULATION PUMP	JPP1MTR01S	Preventive maintenance of motor	30	DAYS	1	12	12
		JP9662M	Weekly PM Inspection pump	30	DAYS	0.5	12	6
411P005	DIGESTER 5 CIRCULATION PUMP	JPP1MTR01S	Preventive maintenance of motor	30	DAYS	1	12	12
		JP9662M	Weekly PM Inspection pump	30	DAYS	0.5	12	6
411P006	WHITE LIQUOR PUMP	JPP1MTR01S	Preventive maintenance of motor	30	DAYS	1	12	12
		JP9662M	Weekly PM Inspection pump	30	DAYS	0.5	12	6
		WP00002	Weekly Inspection pump	30	DAYS	1	12	12
411P007	CONDENSATE BOOSTER PUMP	JP9662M	Weekly PM Inspection pump	30	DAYS	0.5	12	6
411P008	BLACK LIQUOR CIRCULATION PUMP	JP9662M	Weekly PM Inspection pump	30	DAYS	0.5	12	6
411P009	HOT BLACK LIQUOR PUMP	JPP1MTR01S	Preventive maintenance of motor	30	DAYS	1	12	12
		JP9662M	Weekly PM Inspection pump	30	DAYS	0.5	12	6
411P010	HOT WHITE LIQUOR PUMP	JPP1MTR01S	Preventive maintenance of motor	30	DAYS	1	12	12
		JP9662M	Weekly PM Inspection pump	30	DAYS	0.5	12	6

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างตารางการทำ Preventive maintenance

4.2 หลักการในการพัฒนาการบำรุงรักษาปั๊ม

จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้นแล้วว่า ปัจจุบันระบบการบำรุงรักษาปั๊มประเภทหอยโข่งและประเภทสกรูยังคงต้องการการพัฒนาให้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากในกระบวนการผลิตมีการใช้ปั๊มทั้งสองประเภทอยู่เป็นจำนวนมาก จึงต้องนำเอาการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มาช่วยลดช่องว่างของการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและลดการเกิดความขัดข้องของปั๊มให้น้อยลง

ตารางที่ 4.4 หลักการในการพัฒนาการบำรุงรักษาปั๊ม

ข้อ	หลักการ
1	การนำการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มาช่วยพัฒนาระบบงานซ่อมบำรุงปั๊ม
2	การนำการบำรุงเชิงป้องกันมาพัฒนาให้มีประสิทธิภาพ โดยนำการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มาผนวกเข้ากับการบำรุงรักษาเชิงป้อง
3	การนำ FTA มาช่วยสนับสนุนการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข

จากตารางที่ 4.4 หลักการข้อที่ 1 การนำการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มาช่วยในการพยากรณ์ว่าเมื่อใดปั๊มถึงจะเกิดความเสียและปั๊มจะสามารถทำงานได้อีกนานเท่าไร ทำให้ง่ายต่อการวางแผนบำรุงรักษาและเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ได้รับความเสียหาย อีกทั้งยังได้ความถี่ที่เหมาะสมในการตรวจวัดและนำไปผนวกใช้กับการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำ

หลักการข้อที่ 2 แผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ การบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำ จะนำความถี่ของการทำการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มาผนวกใช้ร่วมกัน เนื่องจากพนักงานจะสามารถตรวจเช็คองค์ประกอบอื่นๆไปพร้อมๆกันด้วยและการบำรุงรักษาเชิงป้องกันโดยกำหนดระยะเวลา จะเป็นการกำหนดระยะเวลาในการทำการบำรุงรักษา เช่น ทุก 1 เดือน ทุก 3 เดือน และทุก 12 เดือน

หลักการข้อที่ 3 การนำต้นไม่แห่งความล้มเหลวมาช่วยสนับสนุนการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข โดยการวิเคราะห์การขัดข้องเมื่อปั๊มเกิดความเสียหาย โดยรวบรวมหลักการวิเคราะห์ปัญหาความขัดข้องจากคู่มือผู้ผลิต จากข้อมูลการซ่อม และจากประสบการณ์ของช่างบำรุงรักษา มาช่วยหาแนวทางการแก้ไขให้ปั๊มสามารถใช้งานได้อย่างปกติ

บทที่ 5
การพัฒนาระบบงานบำรุงรักษาและการนำไปใช้

จากการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลในบทที่ผ่านมา ก็เพียงพอต่อการนำมาช่วยในการพัฒนาระบบงานบำรุงรักษาและนำไปใช้ ซึ่งมีขั้นตอนโดยรวมในการพัฒนาดังต่อไปนี้

5.1 สรุปการพัฒนาการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

5.2 สรุปการปรับปรุงการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

5.3 สรุปการพัฒนาการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข

5.4 สรุปแผนการนำไปใช้

5.1 สรุปการพัฒนาการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

ในการทำการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์นั้นเป็นกิจกรรมที่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง เนื่องด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้มีราคาสูง จึงจำเป็นต้องหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็คปั๊ม ซึ่งการวัดค่าความสั่นสะเทือนและการวิเคราะห์คุณสมบัติของน้ำมัน จะถูกนำมาใช้ในการพัฒนาการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ของปั๊ม โดยเริ่มจากการจัดกลุ่มของปั๊มประเภทหอยโข่งและสกรู โดยแบ่งตามปัจจัย 3 อย่าง ตามตารางที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.1 กลุ่มปั๊มประเภทหอยโข่ง

No.	Tag Equipment	Equipment name	Brand	Model	Priority	Age	Load
Cooking Plant							
1	411P001	DIGESTER 1 CIRCULATION PUMP	AHLSTROM	EPP53-300	A	มาก	ปานกลาง
2	411P002	DIGESTER 2 CIRCULATION PUMP	AHLSTROM	EPP53-300	A	มาก	ปานกลาง
3	411P003	DIGESTER 3 CIRCULATION PUMP	AHLSTROM	EPP53-300	A	มาก	ปานกลาง
4	411P004	DIGESTER 4 CIRCULATION PUMP	AHLSTROM	EPP53-300	A	มาก	ปานกลาง
5	411P005	DIGESTER 5 CIRCULATION PUMP	AHLSTROM	EPP53-300	A	มาก	ปานกลาง
6	411P006	WHITE LIQUOR PUMP	AHLSTROM	APP32-65	A	มาก	มาก
7	411P007	CONDENSATE	AHLSTROM	APP22-40	A	มาก	ปานกลาง

		BOOSTER PUMP					
8	411P008	BLACK LIQUOR CIRCULATION PUMP	AHLSTROM	EPP42-200	A	มาก	มาก
9	411P009	HOT BLACK LIQUOR PUMP	AHLSTROM	EPP42-200	A	มาก	มาก
10	411P010	HOT WHITE LIQUOR PUMP	AHLSTROM	EPP42-150	A	มาก	มาก
11	411P011	WHITE LIQUOR CIRCULATION PUMP	AHLSTROM	EPP41-150	A	มาก	มาก
12	411P012	LIQUOR FILTER FEED PUMP	AHLSTROM	APP42-150	A	มาก	มาก
13	411P013	EVAPORATION BLACK LIQUOR PUMP	AHLSTROM	APP42-150	A	มาก	มาก
14	411P014	IMPREGNATION LIQUOR PUMP	AHLSTROM	APP44-200	A	มาก	มาก
15	411P015.1	DISPLACEMENT LIQUOR PUMP #1	AHLSTROM	APP53-250	B	มาก	ปานกลาง
16	411P015.2	DISPLACEMENT LIQUOR PUMP #2	ANDRITZ	SP250-600.4	B	น้อย	น้อย
17	411P016	DILUTION LIQUOR PUMP	AHLSTROM	APP43-250	A	มาก	ปานกลาง
18	411P017	CONDENSATE RETURN PUMP	AHLSTROM	APP22-40	A	มาก	ปานกลาง
19	411P018	CONTAMINATED CONDENSATE PUMP	AHLSTROM	APP22-40	A	มาก	ปานกลาง
20	411P019.1	HOT WATER PUMP #1	AHLSTROM	APP33-125	B	มาก	น้อย
21	411P019.2	HOT WATER PUMP #2	KSB		B	ปานกลาง	น้อย
22	411P020	DIGESTER DISCHARGE PUMP 1	AHLSTROM	APP54-400	A	มาก	มาก
23	411P021	DIGESTER DISCHARGE PUMP 2	AHLSTROM	APP54-400	A	มาก	มาก
24	411P022	ACID CLEANING PUMP	AHLSTROM	APP11-32	B	มาก	น้อย
25	411P023	WHITE LIQUOR TO WL OXIDATION	AHLSTROM	APP11-32	B	มาก	น้อย
Brownstock Plant							
26	421P001	O2 MC-PUMP	SUNDS DEFIBRATOR	CMD-2015	A	มาก	มาก
27	421P003	UNBLEACHED MC-PUMP	SUNDS DEFIBRATO	CMD-2015	A	มาก	มาก

			R				
28	421P005	PRIMARY KNOTTER FEED PUMP	AHLSTROM	APP51-250	A	น้อย	มาก
29	421P006	DEKNOTTING LIQUOR RETURN PUMP	AHLSTROM	APP42-150	A	น้อย	มาก
30	421P007	BROWN STOCK WASH PRESS SHOWER PUMP	AHLSTROM	APP22-40	B	มาก	ปานกลาง
31	421P008	DEKNOTTING DILUTION PUMP	AHLSTROM	APP44-150	A	ปานกลาง	มาก
32	421P009	BLACK LIQUOR TRANSFER PUMP	AHLSTROM	APP42-200	A	มาก	มาก
33	421P010	PRIMARY SCREEN FEED PUMP	AHLSTROM	APP51-250	A	ปานกลาง	มาก
34	421P012	TERTIARY SCREEN FEED PUMP	AHLSTROM	APP32-65	A	ปานกลาง	มาก
35	421P013	REJECT FILTRATE TANK DISCHARGE PUMP	AHLSTROM	APP32-100	A	มาก	ปานกลาง
36	421P014	FILTRATE CLEANER FEED PUMP	AHLSTROM	APP32-100	A	มาก	ปานกลาง
37	421P015	SCREENING PIT DISCHARGE PUMP	AHLSTROM	NVP32-80	B	มาก	ปานกลาง
38	421P016	PRE-O2 WASH PRESS SHOWER PUMP	AHLSTROM	APP22-40	B	มาก	ปานกลาง
39	421P017	SCREENING DILUTION PUMP	AHLSTROM	APP44-200	A	มาก	ปานกลาง
40	421P018	BROWN STOCK WASH LIQUOR PUMP	AHLSTROM	APP32-125	A	ปานกลาง	มาก
41	421P019	POST-02 WASH PRESS FEED PUMP	AHLSTROM	APP44-200	A	ปานกลาง	มาก
42	421P020	POST-02 WASH PRESS SHOWER PUMP	AHLSTROM	APP22-40	B	มาก	ปานกลาง
43	421P021	O2 DILUTION PUMP	AHLSTROM	APP42-200	A	ปานกลาง	มาก
44	421P022	PRE-02 WASH LIQUOR PUMP	AHLSTROM	APP33-100	A	มาก	มาก
45	421P023	POST-O2 WASH LIQUOR PUMP	AHLSTROM	APP33-100	A	มาก	มาก
46	421P024	OXIDIZED WHITE LIQUOR PUMP	AHLSTROM	APP22-32	A	มาก	มาก

47	421P025	SCREENING FEED PUMP	AHLSTROM	APP51-250	A	น้อย	มาก
48	421P026	SCREW PRESS FEED PUMP	AHLSTROM	NPP32-80	B	มาก	ปานกลาง
Bleaching Plant							
49	431P001	D0 MC-PUMP	SUNDS DEFIBRATOR	CMD-2015	A	มาก	มาก
50	431P003	EOP MC-PUMP	SUNDS DEFIBRATOR	CMD-2015	A	มาก	มาก
51	431P005	D1 MC-PUMP	SUNDS DEFIBRATOR	CMD-2015	A	มาก	มาก
52	431P007	BLEACHED MC-PUMP	SUNDS DEFIBRATOR	CMD-2015	A	มาก	มาก
53	431P010	PRE-BLEACH WASH PRESS SHOWER PUMP	AHLSTROM	APP22-40	B	มาก	ปานกลาง
54	431P011	UNBLEACHED HD-TOWER DILUTION PUMP	AHLSTROM	APP44-200	A	มาก	ปานกลาง
55	431P012	D0 WASH PRESS FEED PUMP	AHLSTROM	APP44-200	A	ปานกลาง	มาก
56	431P013	DUMP TANK DISCHARGE PUMP	AHLSTROM	APP33-125	A	มาก	ปานกลาง
57	431P014	FILTRATE CLEANER FEED PUMP	AHLSTROM	NVP32-80	B	มาก	ปานกลาง
58	431P015	D0 WASH PRESS SHOWER PUMP	AHLSTROM	APP22-40	B	มาก	ปานกลาง
59	431P016	D0 TOWER DILUTION PUMP	AHLSTROM	APP42-200	A	มาก	ปานกลาง
60	431P017	ACID PRESSATE PUMP	AHLSTROM	APP32-125	A	มาก	มาก
61	431P018	D0 PRE-DILUTION PUMP	AHLSTROM	APP32-125	A	มาก	ปานกลาง
62	431P019	EOP DEWATERING PRESS FEED PUMP	AHLSTROM	APP44-200	A	ปานกลาง	มาก
63	431P020	EOP TOWER DILUTION PUMP	AHLSTROM	APP42-200	A	มาก	ปานกลาง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

64	431P021	EOP PRE-DILUTION PUMP	AHLSTROM	APP31-100	A	มาก	ปานกลาง
65	431P022	ALKALI PRESSATE PUMP	AHLSTROM	APP22-80	A	มาก	ปานกลาง
66	431P023	EOP DEWATERING PRESS SHOWER PUMP	AHLSTROM	APP22-40	B	มาก	น้อย
67	431P024	D1 DEWATERING PRESS FEED PUMP	AHLSTROM	APP44-200	A	ปานกลาง	ปานกลาง
68	431P025	D1 TOWER DILUTION PUMP	AHLSTROM	APP44-150	A	น้อย	มาก
69	431P026	D1 PRE-DILUTION PUMP	AHLSTROM	APP33-125	A	น้อย	มาก
70	431P027	D1 DEWATERING PRESS SHOWER PUMP	AHLSTROM	APP22-40	B	มาก	ปานกลาง
71	431P028	COARSE SCREEN FEED PUMP	AHLSTROM	APP41-300	A	มาก	มาก
72	431P029	FIRST STAGE CLEANER FEED PUMP	AHLSTROM	APP61-600	A	ปานกลาง	มาก
73	431P030	SECOND STAGE CLEANER FEED PUMP	AHLSTROM	APP43-300	A	มาก	มาก
74	431P031	THIRD STAGE CLEANER FEED PUMP	AHLSTROM	APP42-200	A	ปานกลาง	มาก
75	431P032	FOURTH STAGE CLEANER FEED PUMP	AHLSTROM	APP42-150	A	มาก	มาก
76	431P033	FIFTH STAGE CLEANER FEED PUMP	AHLSTROM	APP32-80	A	มาก	มาก
77	431P034	CLEANING LC-TANK DILUTION PUMP	AHLSTROM	APP41-300	A	ปานกลาง	ปานกลาง
78	431P035	DECKER WIRE SHOWER PUMP	AHLSTROM	APP53-100	A	มาก	มาก
79	431P036	DECKER WASH WATER PUMP	AHLSTROM	APP31-150	A	มาก	ปานกลาง
80	431P037	BLEACHED HD-TOWER 1&2 DILUTION PUMP	AHLSTROM	APP44-200	A	ปานกลาง	ปานกลาง
81	431P038	BLEACHED HD-TOWER 1 DISCHARGE PUMP	AHLSTROM	APP43-250	A	มาก	มาก
82	431P039	BLEACHED HD-TOWER 2 DISCHARGE PUMP	AHLSTROM	APP43-250	A	มาก	มาก

83	431P040	SCRUBBER CIRCULATION PUMP	AHLSTROM	APP11-40	B	มาก	ปานกลาง
84	431P041	SEAL WATER PUMP 1	AHLSTROM	APP23-40	B	มาก	ปานกลาง
85	431P042	SEAL WATER PUMP 2	AHLSTROM	APP23-40	B	มาก	ปานกลาง
86	431P044	OXIDIZE WHITE LIQUOR TRANSFER PUMP	AHLSTROM	APP11-40	B	ปานกลาง	น้อย
Recaustic Plant							
87	471P001	UNCLARIFIED GREEN LIGUOR PUMP	AHLSTROM	WPP21-50	A	มาก	มาก
88	471P002	CLARIFIED GREEN LIQUOR PUMP	AHLSTROM	WPP21-50	A	ปานกลาง	มาก
89	471P003	DREGS TRANSFER PUMP	AHLSTROM	WPP22-50	A	ปานกลาง	มาก
90	471P004	DREGS FILTER FEED PUMP	AHLSTROM	WPP22-50	A	ปานกลาง	มาก
91	471P005	DREGS FILTER FILTRATE PUMP	AHLSTROM	WPP22-50	A	มาก	ปานกลาง
92	471P006	WHITE LIQUOR/LIME MUD PUMP	SULZER	WPP44-150	A	น้อย	มาก
93	471P007	WEAK WASH LIQUOR/LIME MUD PUMP	SULZER	WPP44-150	A	น้อย	มาก
94	471P008.1	WHITE LIQUOR PUMP	AHLSTROM	WPP42-150	B	ปานกลาง	น้อย
95	471P008.2	WHITE LIQUOR PUMP	AHLSTROM	WPP42-150	B	ปานกลาง	น้อย
96	471P009	LIME MUD TRANSFER PUMP	SULZER	WPP22-50	A	น้อย	มาก
97	471P010	ACID PUMP	AHLSTROM	APP11-32	C	มาก	น้อย
98	471P011	LIME MUD FILTER FEED PUMP	SULZER	WPP22-50	A	น้อย	มาก
99	471P013	LIME MUD FILTER FILTRATE PUMP	AHLSTROM	WPP21-50	A	มาก	มาก
100	471P014	WEAK WASH LIQUOR PUMP	AHLSTROM	WPP42-150	A	มาก	มาก
101	471P015.1	HOT WATER BOOSTER PUMP	KSB	-	B	ปานกลาง	น้อย
102	471P015.2	HOT WATER BOOSTER PUMP	SULZER	APP21-50	B	มาก	น้อย

103	471P017	DREGS TRANSFER PUMP 471T002 TO 471T003	AHLSTROM	WPP22-50	A	มาก	ปานกลาง
104	471P020.1	PUMP DREGE TO LIME MUD	AHLSTROM	WPP21-50	B	มาก	ปานกลาง
105	471P020.2	PUMP DREGE TO LIME MUD	AHLSTROM	WPP21-50	B	ปานกลาง	น้อย
106	471P101	UNCLARIFIED GREEN LIGUOR PUMP (NEW)	SULZER	WPP21-50	A	น้อย	มาก
107	491P003	CIRCULATE PUMP	ALLFLO	AU 40/13	B	น้อย	น้อย
Chemical Plant							
108	601P001	CHILLED WATER PUMP	Goulds pump	3196MT 4x6-13	A	มาก	มาก
109	601P002	WARM WATER PUMP	Goulds pump	3196MT 4x6-13	A	มาก	ปานกลาง
110	601P003	COOLING WATER PUMP	AHLSTROM	APP43-250	A	มาก	มาก
111	601P004	EMERGENCY PUMP	AHLSTROM	APP43-250	A	มาก	มาก
112	602P001	PUMP,CHILLED WATER	AHLSTROM	APP43-250	A	มาก	มาก
113	602P002	PUMP, WARM WATER	AHLSTROM	APP42-150	A	มาก	ปานกลาง
114	602P003	PUMP, COOLING WATER	AHLSTROM	APP42-200	A	มาก	มาก
115	611P001	CHLORATE UNLOAD	Goulds pump	3196MT 1.5x3-13	A	มาก	ปานกลาง
116	611P002	CHLORATE FEED PUMP	Goulds pump	3196MT 1.5x3-13	B	มาก	ปานกลาง
117	611P003	CHLORATE FEED PUMP	Goulds pump	3196MT 1.5x3-13	B	มาก	ปานกลาง
118	611P004	ACID UNLOAD PUMP	Goulds pump	3196ST 1x1.5-6	A	มาก	ปานกลาง
119	611P005	ACID FEED PUMP # 1	Goulds pump	3196ST 1x1.5-8	B	มาก	ปานกลาง
120	611P006	ACID FEED PUMP # 2	Goulds pump	3196ST 1x1.5-8	B	มาก	ปานกลาง
121	611P007.1	ACID PUMP TO BLEACH	Goulds pump	3196ST 1x1.5-6	B	มาก	ปานกลาง
122	611P007.2	ACID PUMP TO BLEACH	Goulds pump	3196ST 1x1.5-6	B	มาก	ปานกลาง
123	611P008	METHANOL UNLOAD	Goulds	3196ST	A	มาก	ปานกลาง

			pump	1x1.5-8			
124	611P009	METHANOL FEED PUMP	Goulds pump	3196ST 1x1.5-8	B	มาก	ปานกลาง
125	611P010	METHANOL FEED PUMP	Goulds pump	3196ST 1x1.5-8	B	มาก	น้อย
126	611P011	NAOH UNLOAD PUMP	Goulds pump	3196MT 3x4-10	B	มาก	ปานกลาง
127	611P012	NAOH DILUTION PUMP	Goulds pump	3196MT 3x4-10	B	มาก	ปานกลาง
128	611P013	200GPL NAOH PUMP	Goulds pump	3196MT 3x4-10	C	ปานกลาง	น้อย
129	621P001	CIRCULATION PUMP	Goulds pump	3196MT 3x4-10	A	มาก	มาก
130	621P002	FILTER FEED PUMP	Goulds pump	3196MT 3x4-10	A	มาก	มาก
131	621P003	DUMP PUMP	Goulds pump	3196ST 1x1.5-8	A	มาก	ปานกลาง
132	621P004	SALTCAKE SOLUTION	Goulds pump	3196MT 1.5x3-13	B	มาก	มาก
133	621P005	CONDENSATE PUMP	AHLSTROM	APP11-32	A	มาก	มาก
134	621P006	CIO2 SCRUBBER PUMP	Goulds pump	3196MT 1.5x3-13	A	มาก	มาก
135	621P007	CIO2 WATER PUMP	Goulds pump	3196MT 1.5x3-13	A	มาก	มาก
136	621P008	CIO2 TRANSFER PUMP	Goulds pump	3196MT 1.5x3-13	B	มาก	ปานกลาง
137	621P009	CIO2 TRANSFER PUMP	Goulds pump	3196MT 1.5x3-13	B	มาก	ปานกลาง
138	622P001	CIRCULATION PUMP	Goulds pump	3196MT 4x6-13	A	มาก	มาก
139	622P002	FILTER FEED PUMP.	Goulds pump	3196MT 1.5x3-13	A	มาก	มาก
140	622P003	DUMP PUMP	Goulds pump	3196ST 1x1.5-8	A	มาก	ปานกลาง
141	622P004	SALT CAKE SOLUTION	Goulds pump	3196MT 1.5x3-13	B	มาก	มาก
142	622P005	PUMP, CONDENSATE	AHLSTROM	APP11-32	A	มาก	มาก
143	622P006	SCRUBBER PUMP	AHLSTROM	APP22-50	A	มาก	มาก
144	622P007	PUMP, CLO2 WATER	Goulds pump	3196MT 4x6-13	A	มาก	มาก

145	622P008	CLO2 TRANFER PUMP	Goulds pump	3196MT 4x6-13	B	มาก	ปานกลาง
146	622P009	CLO2 TRANFER PUMP	Goulds pump	3196MT 4x6-13	B	มาก	ปานกลาง
147	622P010	PUMP SODIUM SULPHATE	Goulds pump	3196MT 3x4-10	B	ปานกลาง	น้อย
148	623P4101	CHLORATE FEED PUMP	Goulds pump	3196MT 1.5x3-13	A	น้อย	ปานกลาง
149	623P4107	CHILLER WATER PUMP	Goulds pump	3196MT 4x6-13	B	น้อย	ปานกลาง
150	623P4108	CHILLER WATER PUMP	Goulds pump	3196MT 4x6-13	B	น้อย	ปานกลาง
151	623P4114	CAUSTIC CIRCULATING	Goulds pump	3196MT 3x4-10	A	น้อย	ปานกลาง
152	623P4124	AICD PUMP	Goulds pump	3196ST 1x1.5-8	A	น้อย	ปานกลาง
153	623P4133	CONDENSATE PUMP	Goulds pump	3196ST 1x1.5-8	B	น้อย	ปานกลาง
154	623P4134	CONDENSATE PUMP	Goulds pump	3196ST 1x1.5-6	B	น้อย	ปานกลาง
155	623P4140	CIRCULATION PUMP	Goulds pump	MPAF 16x16-16	A	น้อย	ปานกลาง
156	623P4141	GENERATO DUMP PUMP	Goulds pump	3196MT 3x4-8	A	น้อย	ปานกลาง
157	623P4143	FILTER FEED PUMP	Goulds pump	3196MT 1.5x3-13	A	น้อย	ปานกลาง
158	623P4145	SALTCAKE SOLUTION P	Goulds pump	3196MT 1.5x3-13	B	น้อย	ปานกลาง
159	623P4146	CLO2 SOLUTION PUMP	Goulds pump	3196MT 4x6-13	A	น้อย	ปานกลาง
160	623P4159	METHANOL FEED PUMP	Goulds pump	3196ST 1x1.5-8	B	น้อย	ปานกลาง
161	623P4160	METHANOL FEED PUMP	Goulds pump	3196ST 1x1.5-8	B	น้อย	ปานกลาง
162	623P4161	COOLING PUMP 1	ANDRITZ	SP250-600.4	B	น้อย	ปานกลาง
163	623P4162	COOLING PUMP 2	ANDRITZ	SP250-600.4	B	น้อย	ปานกลาง
Water Treatment							
164	131P004	EQUALIZATION PUMP	AHLSTROM	APP43-300	B	มาก	ปานกลาง

		NO.1					
165	131P005	EQUALIZATION PUMP NO.2	AHLSTROM	APP43-300	B	มาก	ปานกลาง
166	131P006.2	SUBMERSIBLE PUMP IN EMERGENCY NO.2	AHLSTROM	APP41-300	A	ปานกลาง	ปานกลาง
167	131P011	WASTE WATER PUMP FROM COOLING TOWER #5	AHLSTROM	APP41-300	A	มาก	มาก
168	131P012	WASTE WATER PUMP FROM COOLING TOWER	AHLSTROM	APP41-300	A	มาก	มาก
169	131P015	SLUDGE PUMP RETURN TO AEROBIC SELECTOR	AHLSTROM	APP43-300	B	มาก	ปานกลาง
170	131P016	SLUDGE PUMP RETURN TO AEROBIC SELECTOR	AHLSTROM	APP43-300	B	มาก	ปานกลาง
171	131P017	SLUDGE PUMP FROM SLUDBE STORAGE #2	AHLSTROM	APP21-80	B	ปานกลาง	ปานกลาง
172	131P020	SLUDGE PUMP FROM SLUDBE STORAGE #1	AHLSTROM	APP21-80	B	มาก	ปานกลาง
173	131P024	REJECT WATER PUMP TO MIXING TANK	AHLSTROM	APP31-150	A	มาก	ปานกลาง
174	131P027	SHARE LOAD PUMP TO ETP # 2 , 3	AHLSTROM	APP41-300	B	มาก	น้อย
175	131P030	SHARE LOAD PUMP	AHLSTROM	APP41-300	B	มาก	ปานกลาง
176	141P001	FIRE FIGHTING PUMP PUMPING WATER FROM COOLING	GRUNDFOS	KPE 6020	A	น้อย	น้อย
177	141P003	FIRE FIGHTING PUMP CONTRNUOUSLY RUNNING FOR PUMPING	AHLSTROM	APP21-80	A	ปานกลาง	น้อย
178	141P004	FIRE FIGHTING PUMP PUMPING WATER FROM A SERPERATE	AHLSTROM	APP21-80	A	ปานกลาง	น้อย
Water Plant							
179	271P003	ALSO4 SIURRY PUMP	AHLSTROM	APP11-32	B	มาก	ปานกลาง
180	271P006	CA(OH)2 CIRCALATION PUMP	AHLSTROM	APP11-32	B	มาก	ปานกลาง

		FROM 271E004 TO 271T011 1					
181	271P007	CA(OH)2 CIRCALATION PUMP FROM 271E004 TO 271T011 2	AHLSTROM	APP11-32	B	มาก	น้อย
182	271P008	CA(OH)2 SIURRY PUMP FROM 271E002 TO 271T004	AHLSTROM	APP22-50	B	มาก	ปานกลาง
183	271P009	EXCESS SLUDGE PUMP	AHLSTROM	APP22-50	B	มาก	น้อย
184	271P015	POTABLE WATER DISTRIBUTION PUMPS 1	AHLSTROM	APP11-32	B	มาก	น้อย
185	271P016	POTABLE WATER DISTRIBUTION PUMPS 2	AHLSTROM	APP11-32	B	มาก	น้อย
186	271P017	DIRTY BACK WASH WATER RECOVERY PUMP	AHLSTROM	APP31-125	B	มาก	น้อย
187	271P019	BACK WASH WATER PUMP	AHLSTROM	APP51-250	B	มาก	น้อย
188	271P401	MILL WATER PUMP NO.1	AHLSTROM	APP51-250	A	มาก	มาก
189	271P402	MILL WATER PUMP NO.2	AHLSTROM	APP51-250	A	มาก	มาก
190	271P403	PUMP MILL WATER	AHLSTROM	APP51-250	A	มาก	มาก

ตารางที่ 5.2 กลุ่มปั๊มประเภทสกรู

No.	Tag Equipment	Equipment name	Brand	Model	Priority	Age	Load
Use oil Plant							
1	261P001	CIRCULATION USED OIL PUMP 1	MOYNO	1000	B	น้อย	ปานกลาง
2	261P002	CIRCULATION USED OIL PUMP 2	MOYNO	1000	B	น้อย	ปานกลาง
3	261P003	CIRCULATION USED OIL PUMP 3	MOYNO	1000	B	น้อย	ปานกลาง
4	261P004	CIRCULATION USED OIL PUMP 4	MOYNO	1000	B	น้อย	ปานกลาง

5	261P005	CIRCULATION USED OIL PUMP 5	MOYNO	1000	B	น้อย	ปานกลาง
6	261P006	CIRCULATION USED OIL PUMP 6	MOYNO	1000	B	น้อย	ปานกลาง
7	261P007	USED OIL TO LIME KILN 1	ALLWEILER	SNH 80 ER	B	น้อย	ปานกลาง
8	261P008	USED OIL TO LIME KILN 2	PCM		B	น้อย	ปานกลาง
9	261P009	USED OIL TO LIME KILN 3	LEISTRITZ	L2NG	B	น้อย	ปานกลาง
Water Treatment							
10	131P002	SCREW PUMP FROM PRI.CLARIFIER TO SLUDGE TANK 1	ALLWEILER	AE 1 E 750-ID	B	น้อย	ปานกลาง
11	131P003	SCREW PUMP FROM PRI.CLARIFIER TO SLUDGE TANK 2	ALLWEILER	AE 1 E 750-ID	B	ปานกลาง	ปานกลาง
12	131P027	SCREW PUMP FROM SLUDGE TANK TO FILTER PRESS	ALLWEILER	AE 1 E 750-ID	B	ปานกลาง	ปานกลาง
Water Plant							
13	271P004	ALSO4 DOSING PUMP FROM 271T003 TO 271T011	ALLWEILER	SNBP 25.2	B	ปานกลาง	ปานกลาง
14	271P005	ALSO4 SPARE DOSING PUMP FROM 271T003 TO 271T01	ALLWEILER	SNBP 25.2	B	ปานกลาง	ปานกลาง

จากตารางที่ 5.1 และ 5.2 แสดงทะเบียนประวัติของปั๊มประเภทหอยโข่งและสกรูในแต่ละหน่วยการผลิต โดยระบุหมายเลขของปั๊ม ชื่อของปั๊ม ยี่ห้อ และรุ่นที่ใช้ รวมถึงนำมาจัดกลุ่มโดยแบ่งด้วยปัจจัย 3 ตัว คือ ระดับความสำคัญ อายุการใช้งาน และภาระการใช้งาน จากนั้นนำปั๊มทั้งหมดมาสรุปความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 3 อย่าง ดังตารางที่ 5.3 และ 5.4

ตารางที่ 5.3 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสำคัญ อายุการใช้งาน และภาระการใช้งานของปั๊ม ประเภทหอยโข่ง

ชนิดของปั๊ม	ระดับความสำคัญ	อายุการใช้งาน	ภาระงาน	จำนวนปั๊ม	กลุ่มที่
หอยโข่ง	A	มาก	มาก	51	1
			ปานกลาง	30	2
			น้อย	0	-
		ปานกลาง	มาก	13	3
			ปานกลาง	4	4
			น้อย	2	5
		น้อย	มาก	10	6
			ปานกลาง	7	7
			น้อย	1	8
	B	มาก	มาก	2	9
			ปานกลาง	36	10
			น้อย	13	11
		ปานกลาง	มาก	0	-
			ปานกลาง	1	12
			น้อย	7	13
		น้อย	มาก	0	-
			ปานกลาง	9	14
			น้อย	2	15
	C	มาก	มาก	0	-
			ปานกลาง	0	-
			น้อย	1	16
		ปานกลาง	มาก	0	-
			ปานกลาง	0	-
			น้อย	1	17
		น้อย	มาก	0	-
			ปานกลาง	0	-
			น้อย	0	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 5.4 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างระดับความสำคัญ อายุการใช้งาน และภาระการใช้งานของปั๊มประเภทสกรู

ชนิดของปั๊ม	ระดับความสำคัญ	อายุการใช้งาน	Load การใช้งาน	จำนวนปั๊ม	กลุ่มที่
สกรู	A	มาก	มาก	0	-
			ปานกลาง	0	-
			น้อย	0	-
		ปานกลาง	มาก	0	-
			ปานกลาง	0	-
			น้อย	0	-
		น้อย	มาก	0	-
			ปานกลาง	0	-
			น้อย	0	-
	B	มาก	มาก	0	-
			ปานกลาง	0	-
			น้อย	0	-
		ปานกลาง	มาก	0	-
			ปานกลาง	4	12
			น้อย	0	-
		น้อย	มาก	0	-
			ปานกลาง	10	14
			น้อย	0	-
	C	มาก	มาก	0	-
			ปานกลาง	0	-
			น้อย	0	-
		ปานกลาง	มาก	0	-
			ปานกลาง	0	-
			น้อย	0	-
		น้อย	มาก	0	-
			ปานกลาง	0	-
			น้อย	0	-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

หลังจากทำการจัดกลุ่มของปั๊มตามปัจจัยที่กล่าวมาในข้างต้นแล้ว จึงทำการเก็บค่าความสั่นสะเทือนของและเก็บตัวอย่างสารหล่อลื่นเพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจวัด

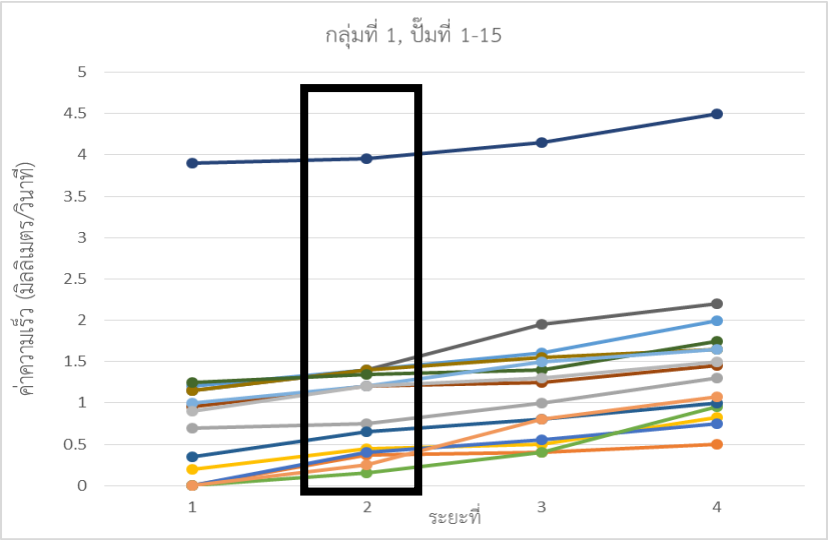
5.1.1 การหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนของปั๊มประเภทหอยโข่งและสกรู

ในการหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนของปั๊มประเภทหอยโข่งและสกรู จะต้องทำการกำหนดแผนในการตรวจวัดก่อน เพื่อหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นกับปั๊มเมื่อเวลาผ่านไป แล้วจึงนำระยะเวลานั้นมาใช้เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนของปั๊ม โดยสามารถจัดทำแผนการตรวจวัดได้ตารางที่ 5.5 ดังนี้

ตารางที่ 5.5 แผนการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือน

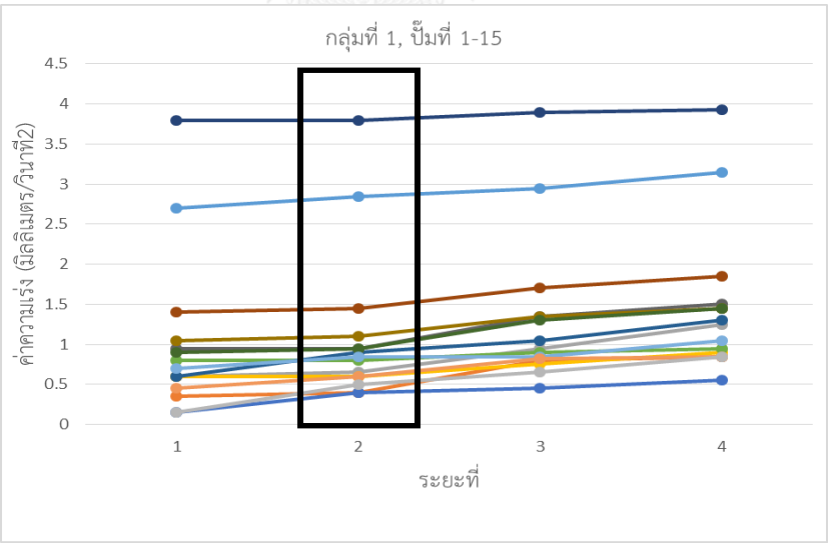
การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์	**ระยะที่ทำการตรวจเช็ค**			
	1	**2**	**3**	**4**
การวัดค่าความสั่นสะเทือน	3 วัน	7 วัน	15 วัน	30 วัน

จากตารางที่ 5.5 แสดงแผนการเก็บค่าความสั่นสะเทือนของตลับลูกปืนในปั๊ม โดยใน 1 เดือน จะเก็บค่าความสั่นสะเทือนทั้งหมด 4 ระยะ คือระยะที่ 1 เก็บวันที่ 3 ของเดือน ระยะที่ 2 เก็บวันที่ 7 ของเดือน ระยะที่ 3 เก็บวันที่ 15 ของเดือน และระยะที่ 4 เก็บวันที่ 30 ของเดือน ซึ่งระยะดังกล่าวได้มาจากการเก็บสถิติการขัดข้องของปั๊มช่วงก่อนการปรับปรุงในปี 2558 ซึ่งมีจำนวนการขัดข้องสูง โดยปั๊มมีระยะห่างระหว่างการเกิดการขัดข้อง 5-30 วัน จึงได้นำสถิติดังกล่าวมากำหนดเป็นระยะในการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนของตลับลูกปืน ทั้งนี้หลังจากทำการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนแล้วพบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน จึงนำเอาระยะที่มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงนั้นมาเป็นจัดทำเป็นแผนการตรวจเช็คปั๊ม



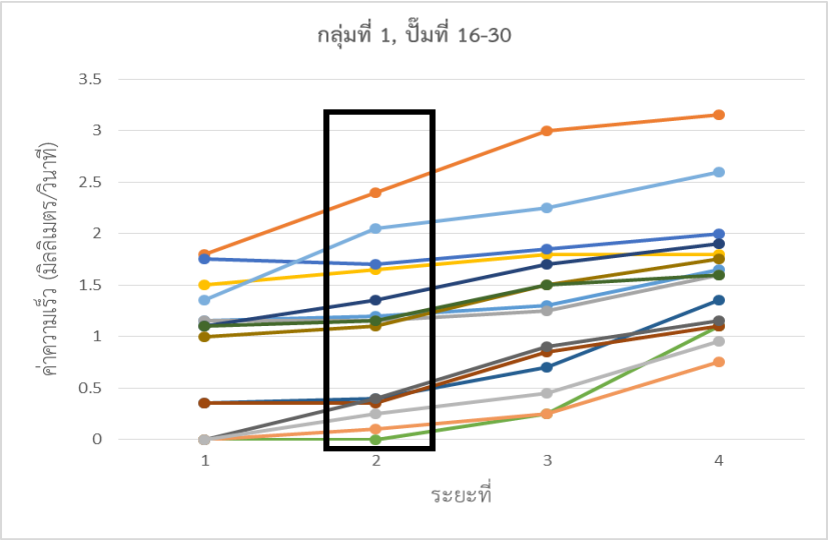
รูปที่ 5.1 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-15 ของกลุ่มที่ 1

จากรูปที่ 5.1 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 1-15 ของกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 2 นั่นคือวันที่ 7 ของเดือน



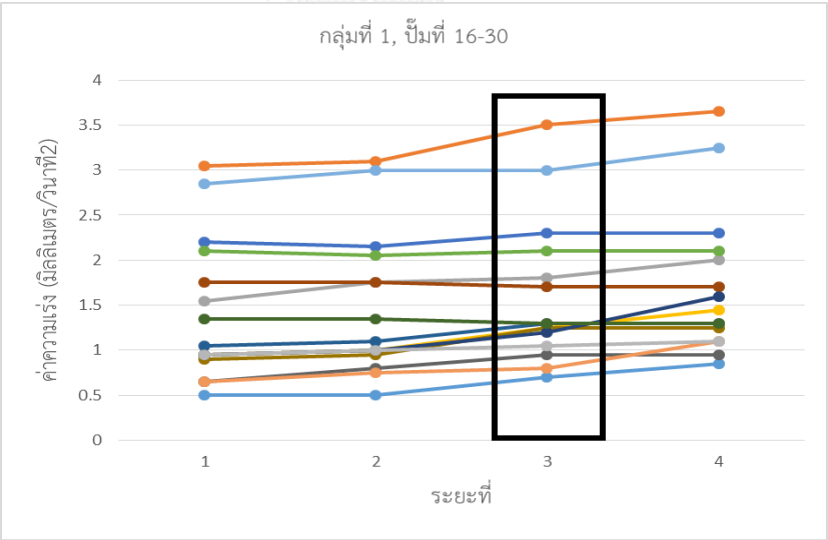
รูปที่ 5.2 เก็บค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-15 ของกลุ่มที่ 1

จากรูปที่ 5.2 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 1-15 ของกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 2 นั่นคือวันที่ 7 ของเดือน



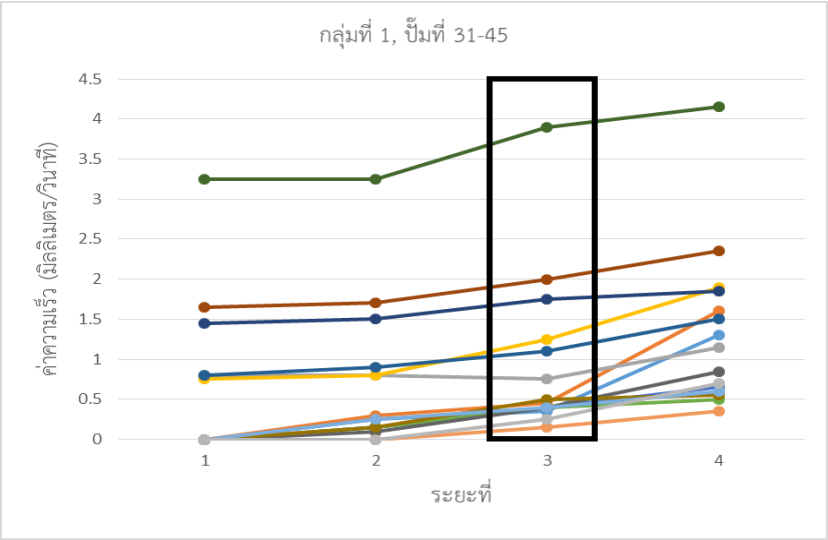
รูปที่ 5.3 เก็บค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 16-30 ของกลุ่มที่ 1

จากรูปที่ 5.3 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 16-30 ของกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 2 นั่นคือวันที่ 7 ของเดือน



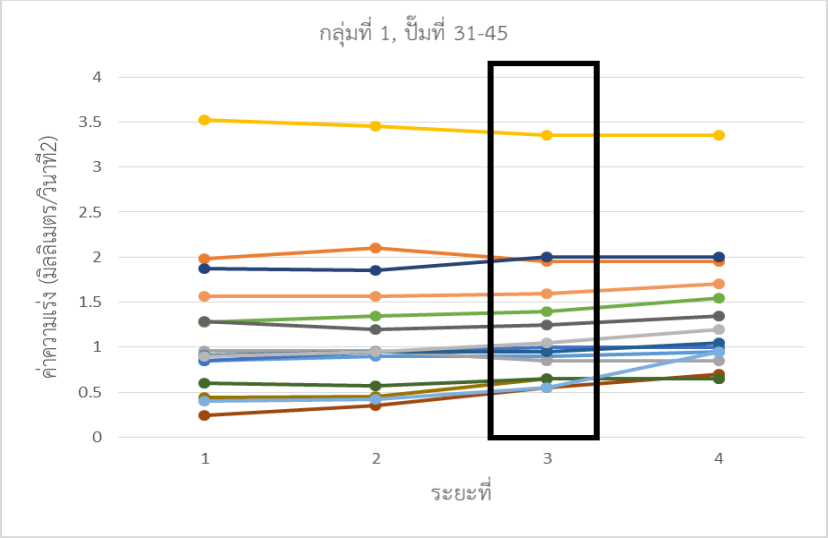
รูปที่ 5.4 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 16-30 ของกลุ่มที่ 1

จากรูปที่ 5.4 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 16-30 ของกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



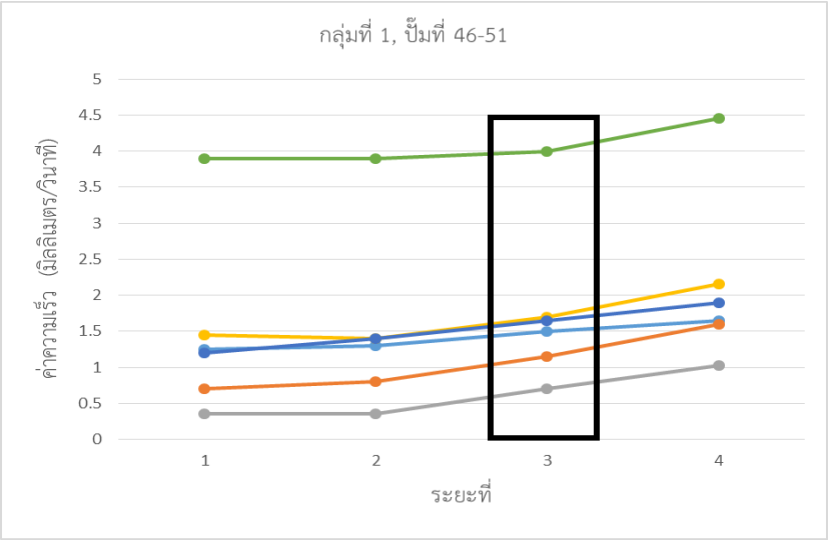
รูปที่ 5.5 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 31-45 ของกลุ่มที่ 1

จากรูปที่ 5.5 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 31-45 ของกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



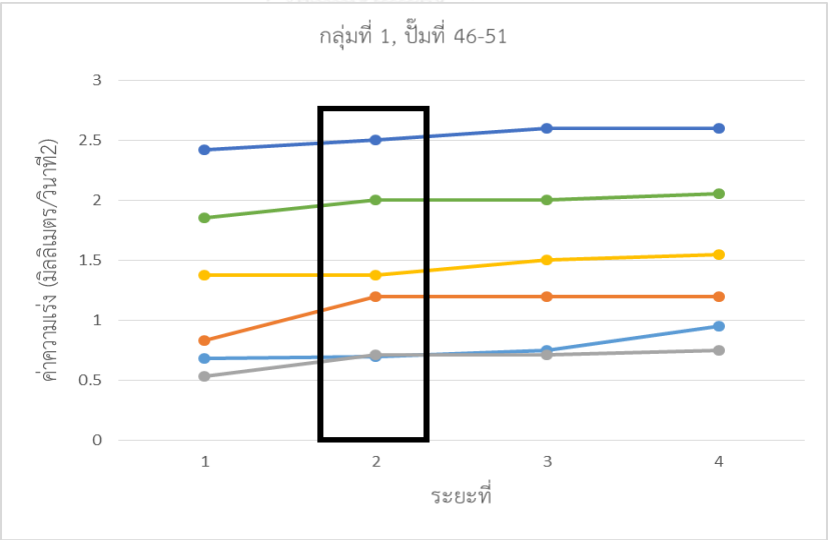
รูปที่ 5.6 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 31-45 ของกลุ่มที่ 1

จากรูปที่ 5.6 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 31-45 ของกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



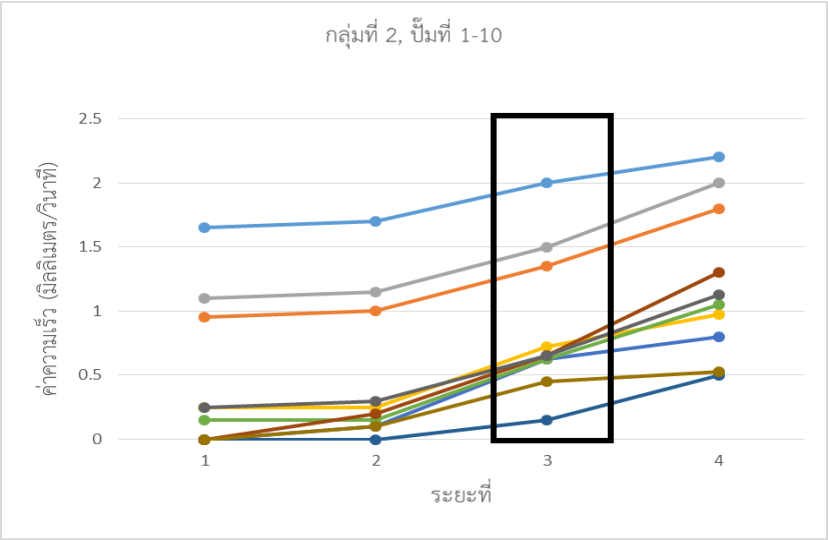
รูปที่ 5.7 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 46-51 ของกลุ่มที่ 1

จากรูปที่ 5.7 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 46-51 ของกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



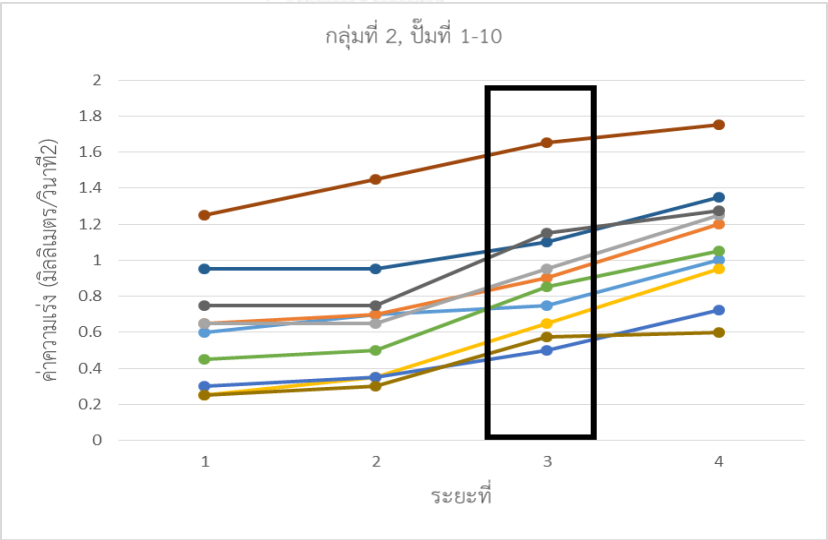
รูปที่ 5.8 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 46-51 ของกลุ่มที่ 1

จากรูปที่ 5.8 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 46-51 ของกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 2 นั่นคือวันที่ 7 ของเดือน



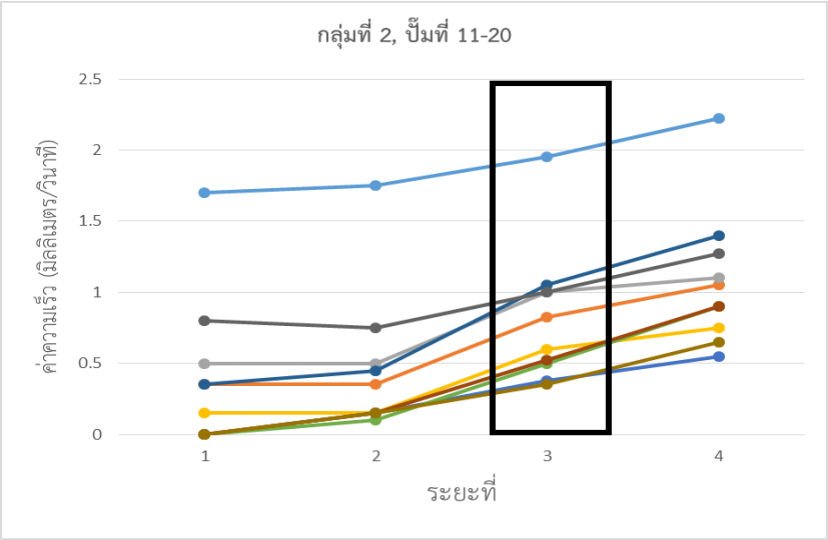
รูปที่ 5.9 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 2

จากรูปที่ 5.9 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



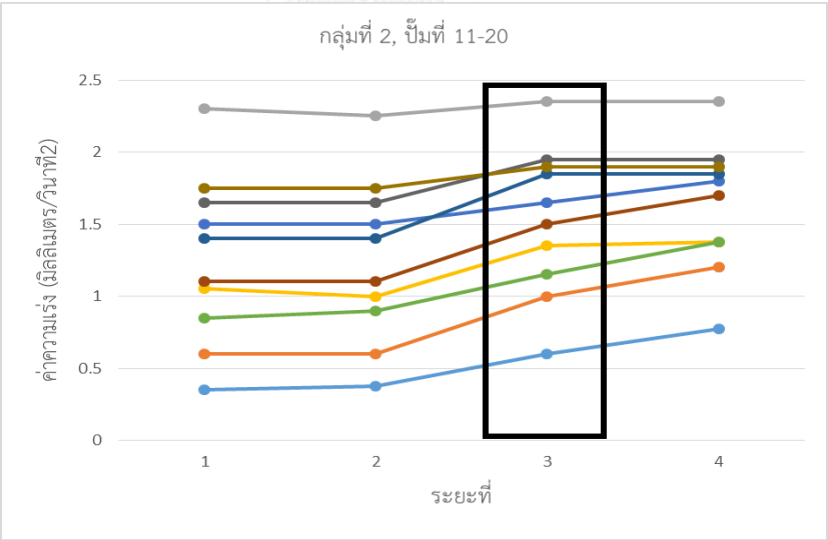
รูปที่ 5.10 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 2

จากรูปที่ 5.10 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



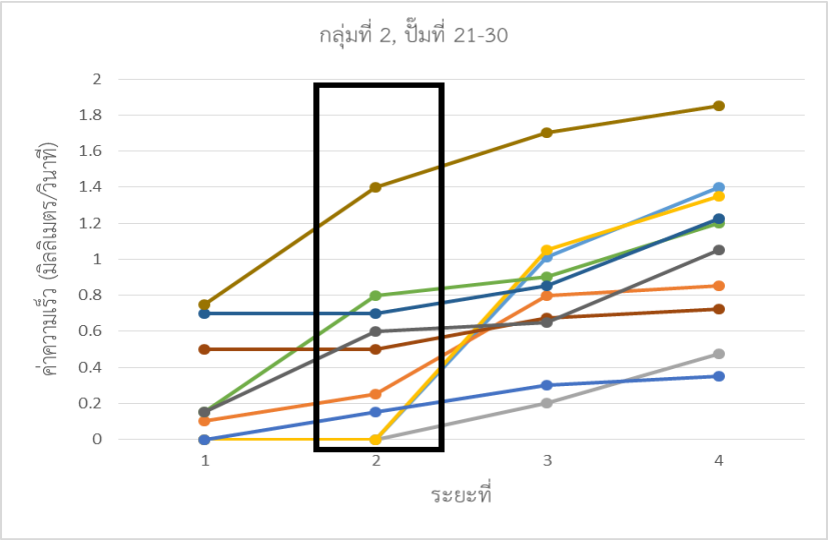
รูปที่ 5.11 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 11-20 ของกลุ่มที่ 2

จากรูปที่ 5.11 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 11-20 ของกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



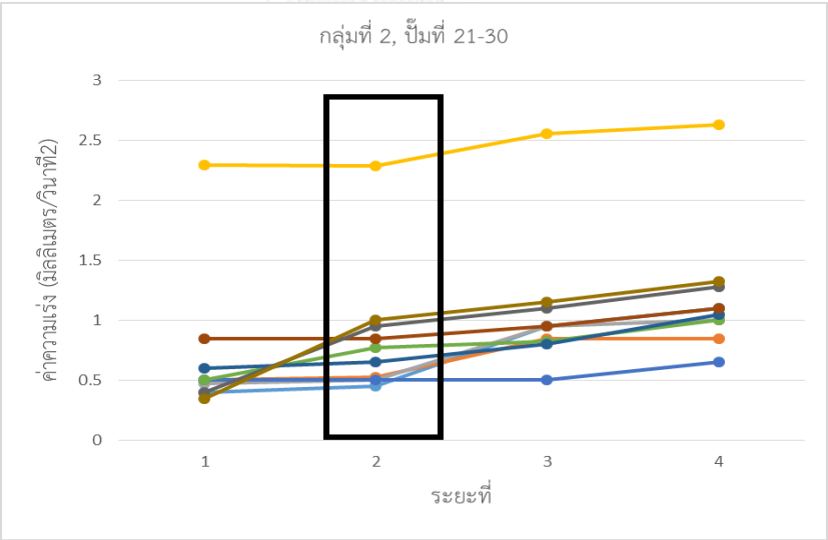
รูปที่ 5.12 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 11-20 ของกลุ่มที่ 2

จากรูปที่ 5.12 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 11-20 ของกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



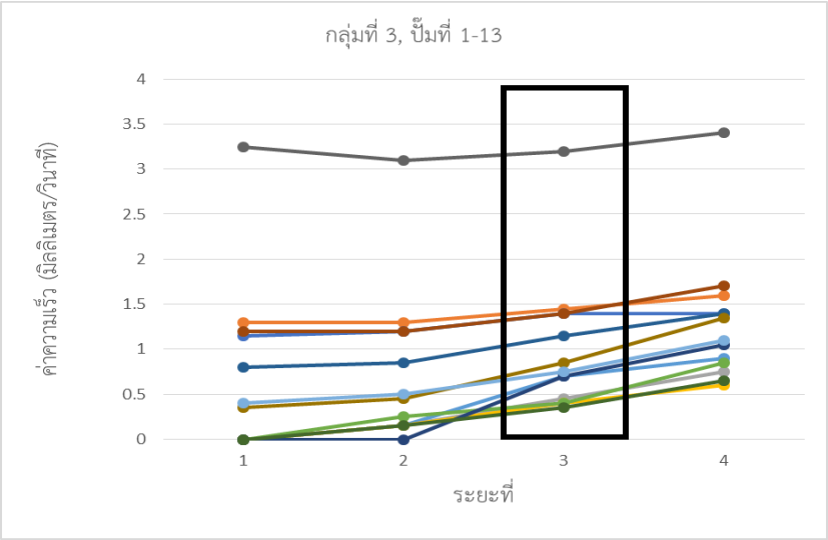
รูปที่ 5.13 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 21-30 ของกลุ่มที่ 2

จากรูปที่ 5.13 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 21-30 ของกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 2 นั่นคือวันที่ 7 ของเดือน



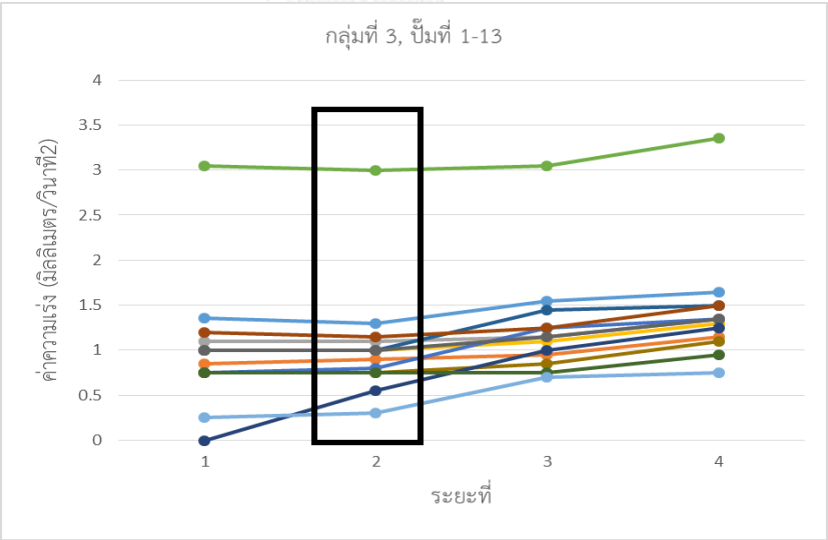
รูปที่ 5.14 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 21-30 ของกลุ่มที่ 2

จากรูปที่ 5.14 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 21-30 ของกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 2 นั่นคือวันที่ 7 ของเดือน



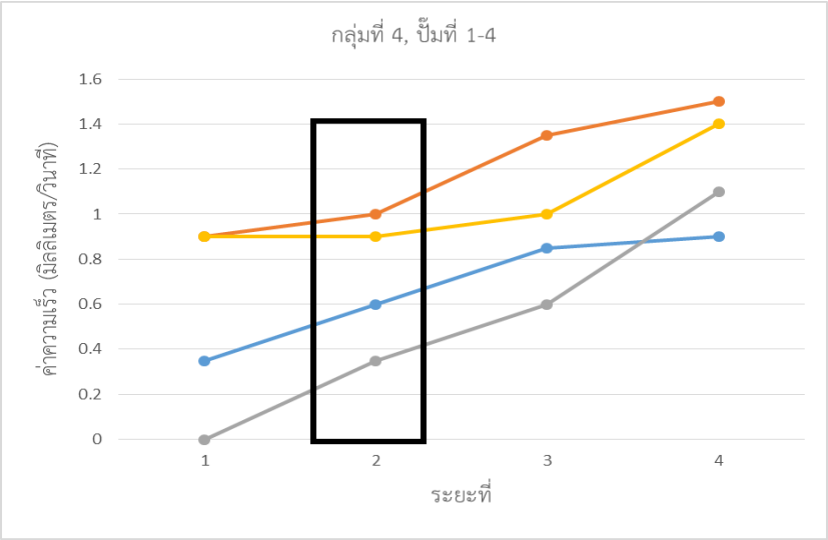
รูปที่ 5.15 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-13 ของกลุ่มที่ 3

จากรูปที่ 5.15 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 1-13 ของกลุ่มที่ 3 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



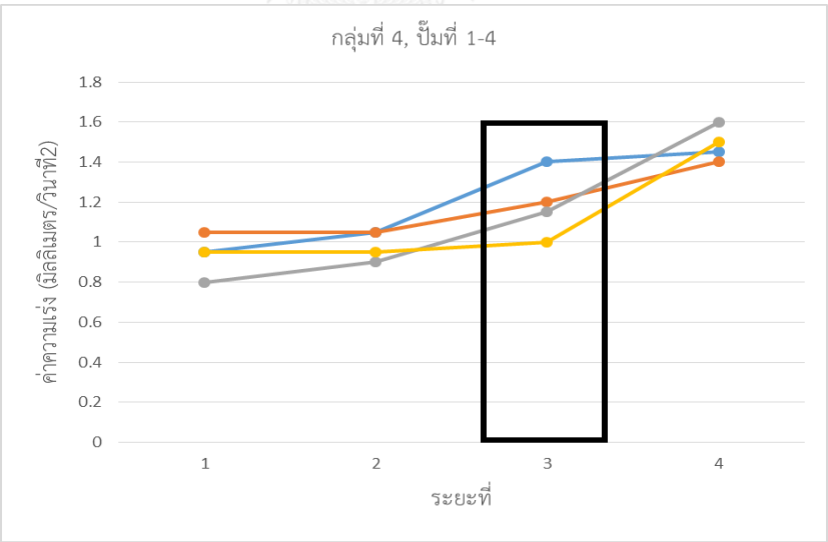
รูปที่ 5.16 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-13 ของกลุ่มที่ 3

จากรูปที่ 5.16 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 1-13 ของกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 2 นั่นคือวันที่ 7 ของเดือน



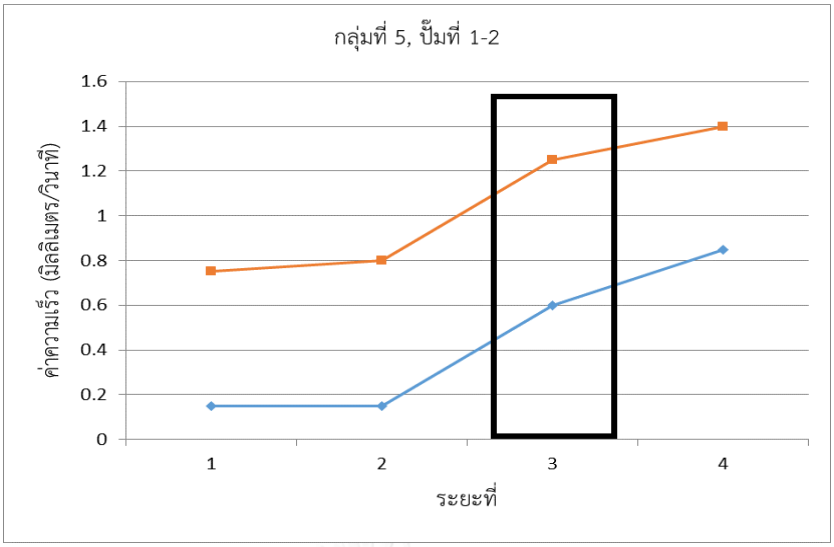
รูปที่ 5.17 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-4 ของกลุ่มที่ 4

จากรูปที่ 5.17 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 1-4 ของกลุ่มที่ 4 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 2 นั่นคือวันที่ 7 ของเดือน



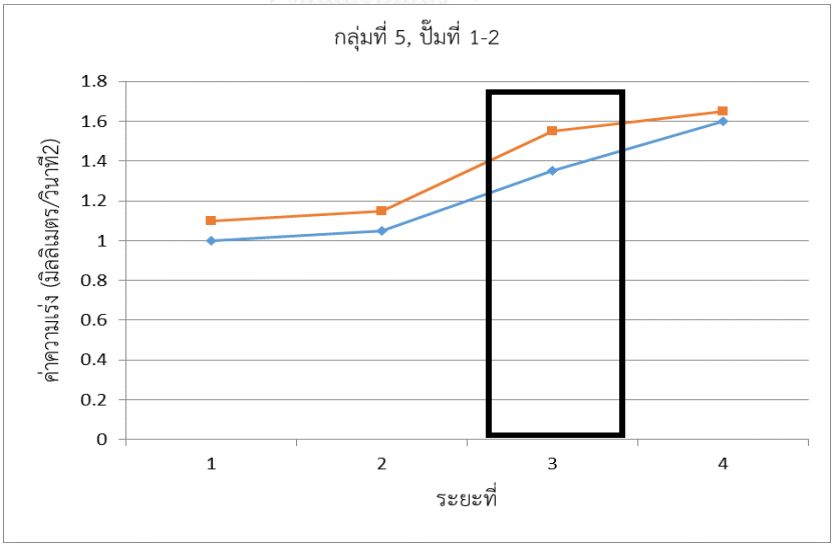
รูปที่ 5.18 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-4 ของกลุ่มที่ 4

จากรูปที่ 5.18 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 1-4 ของกลุ่มที่ 4 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



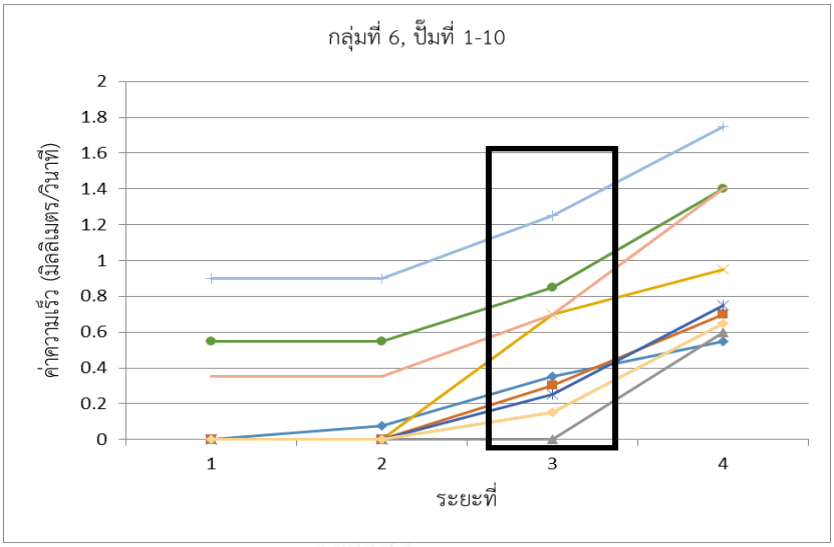
รูปที่ 5.19 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 5

จากรูปที่ 5.19 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 5 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



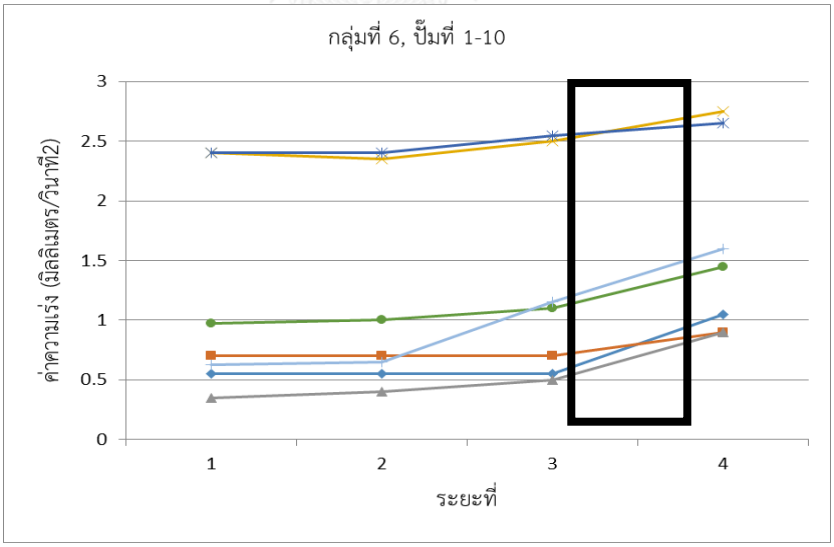
รูปที่ 5.20 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 5

จากรูปที่ 5.20 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 5 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



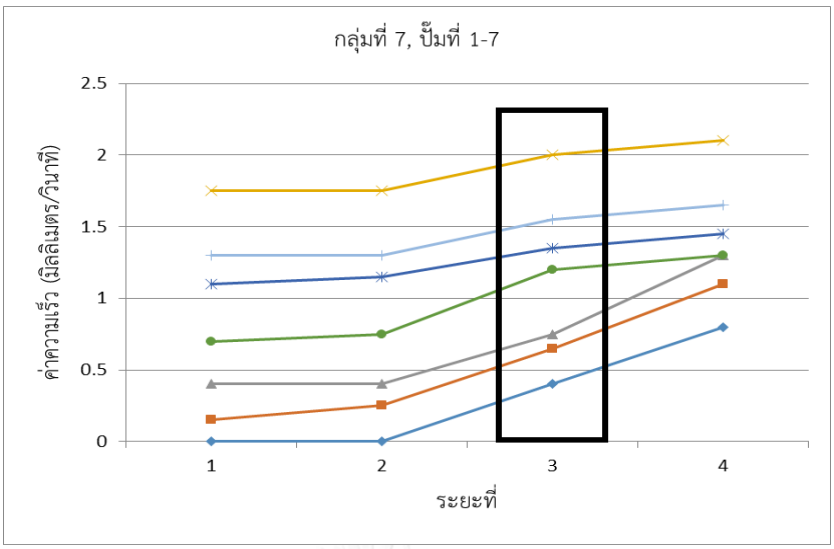
รูปที่ 5.21 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 6

จากรูปที่ 5.21 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 6 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



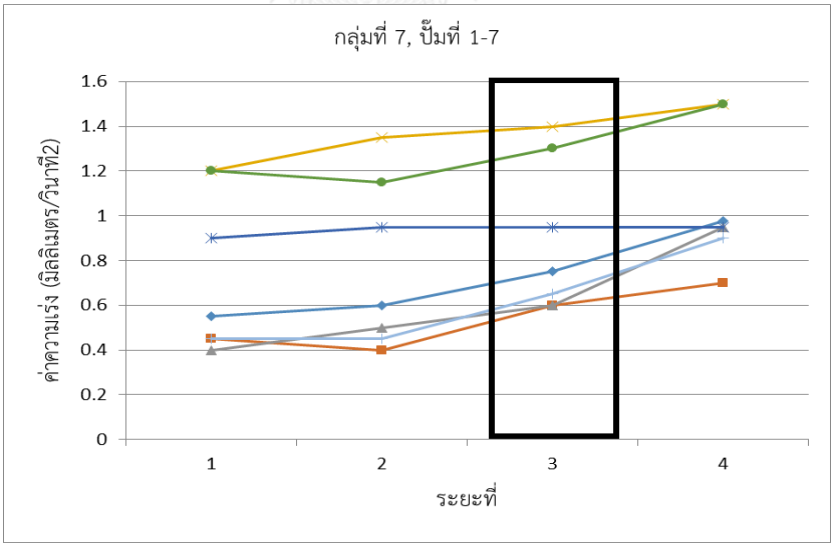
รูปที่ 5.22 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 6

จากรูปที่ 5.22 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 6 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



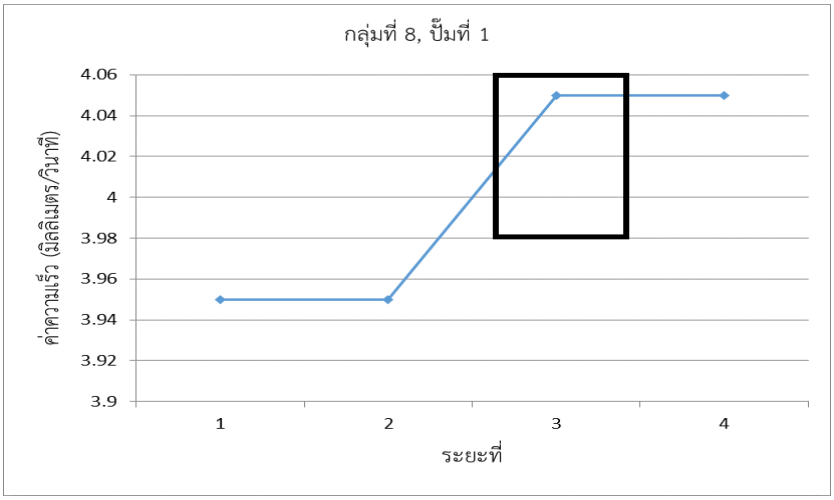
รูปที่ 5.23 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-7 ของกลุ่มที่ 7

จากรูปที่ 5.23 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 1-7 ของกลุ่มที่ 7 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



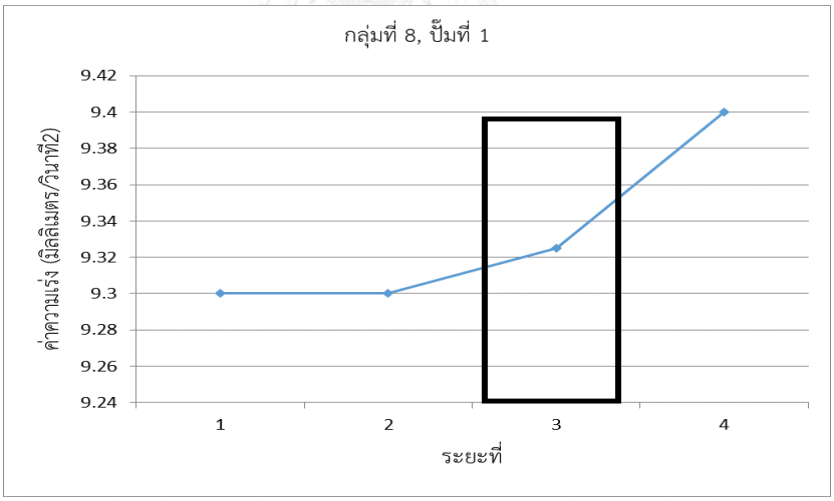
รูปที่ 5.24 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-7 ของกลุ่มที่ 7

จากรูปที่ 5.24 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 1-7 ของกลุ่มที่ 7 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



รูปที่ 5.25 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 8

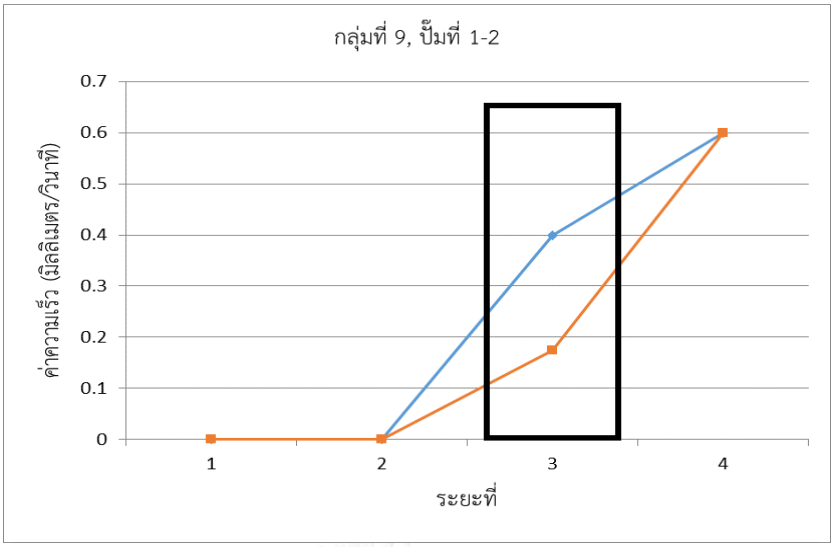
จากรูปที่ 5.25 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 8 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



รูปที่ 5.26 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 8

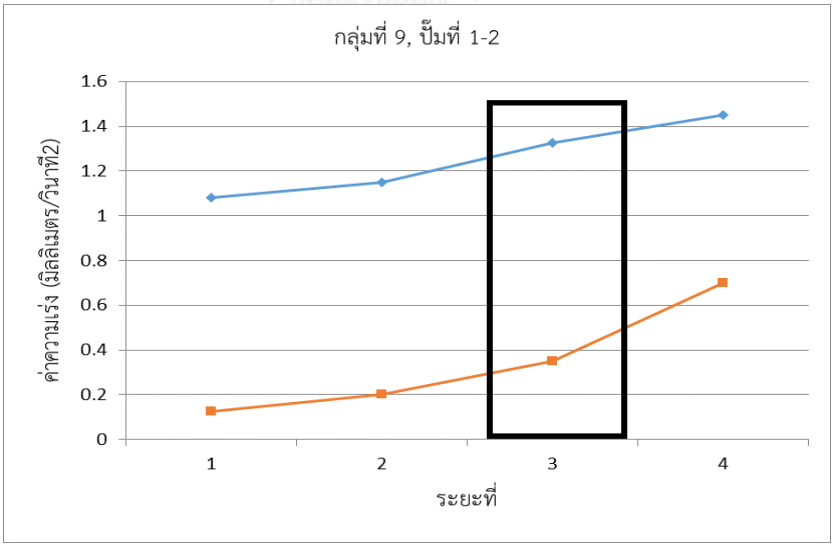
จากรูปที่ 5.26 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 8 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน

โดยการเปลี่ยนแปลงของกราฟความเร็วในระยะที่ 3 มาระยะที่ 4 คงที่ แต่พบว่าความเร่งมีค่าเพิ่มสูงขึ้นในระยะนี้ สามารถบอกได้ถึงความผิดปกติของตลับลูกปืนที่เริ่มจะขาดสารหล่อลื่น



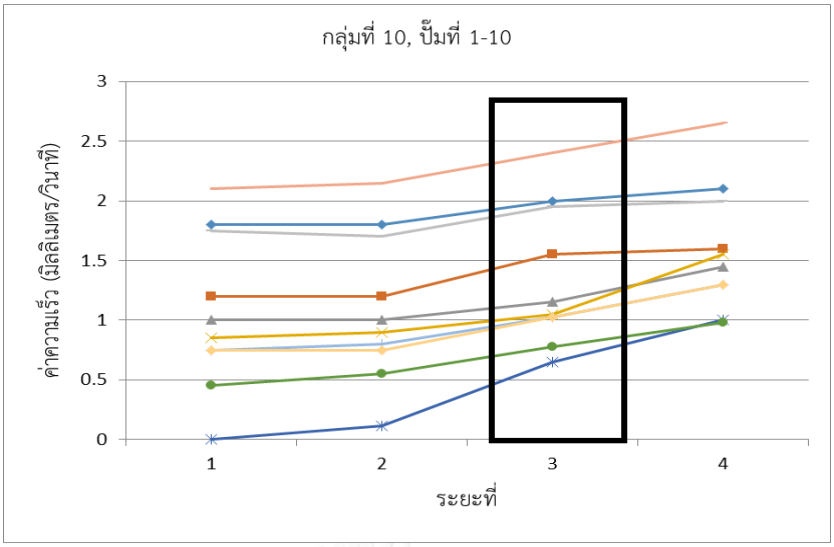
รูปที่ 5.27 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 9

จากรูปที่ 5.27 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 9 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



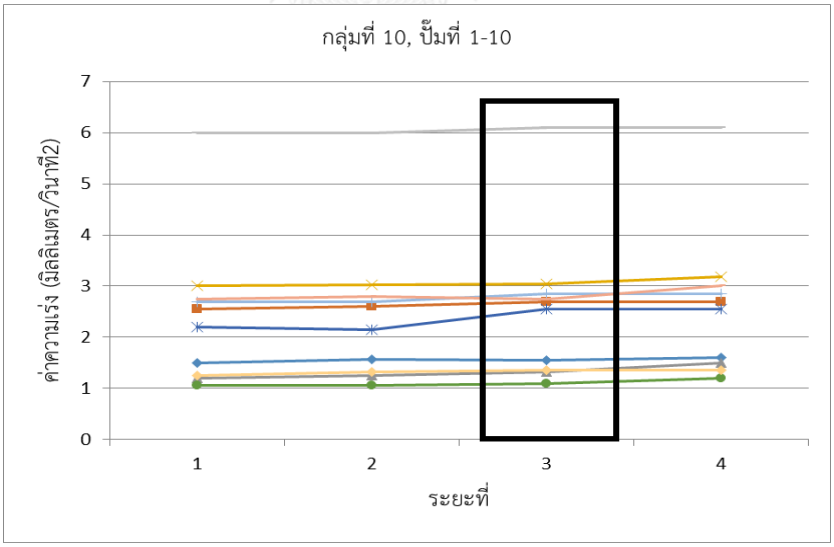
รูปที่ 5.28 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 9

จากรูปที่ 5.28 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 9 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



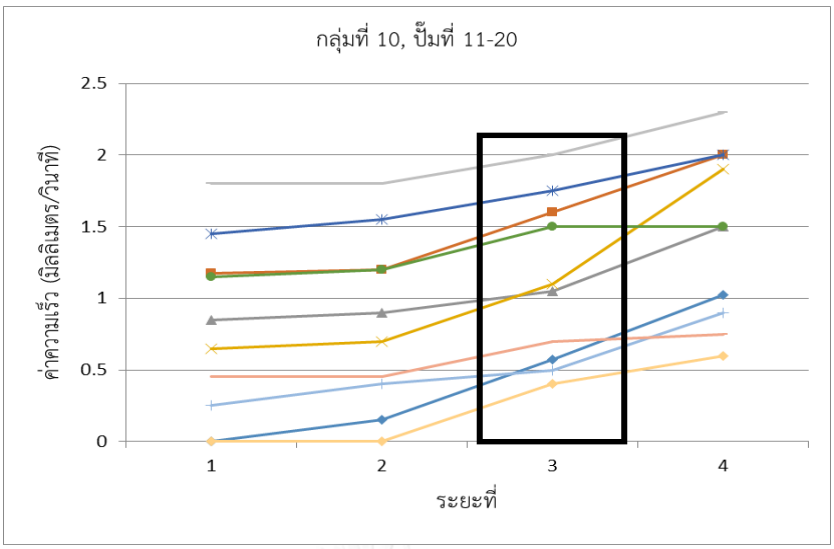
รูปที่ 5.29 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 10

จากรูปที่ 5.29 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 10 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



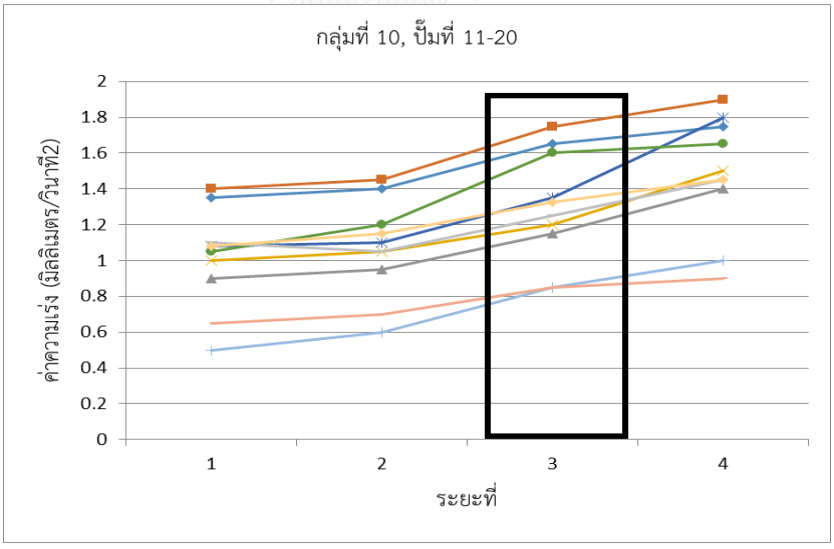
รูปที่ 5.30 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 10

จากรูปที่ 5.30 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 10 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



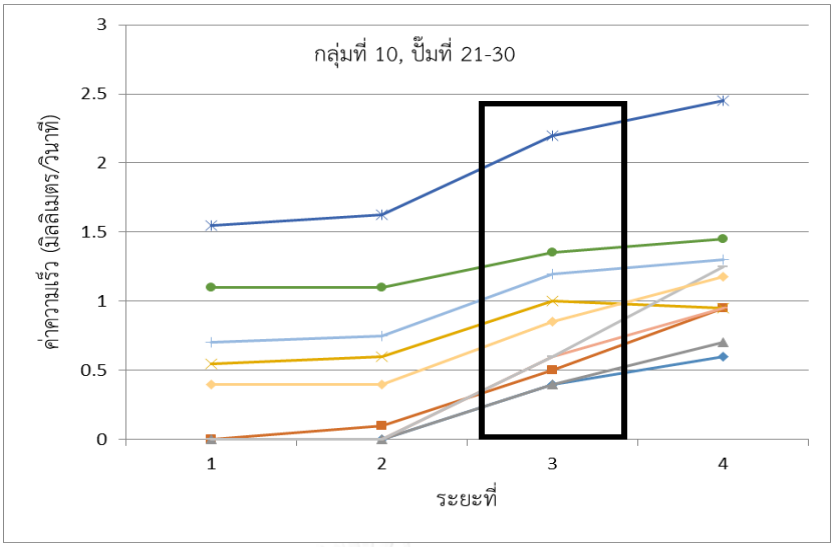
รูปที่ 5.31 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 11-20 ของกลุ่มที่ 10

จากรูปที่ 5.31 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 11-20 ของกลุ่มที่ 10 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



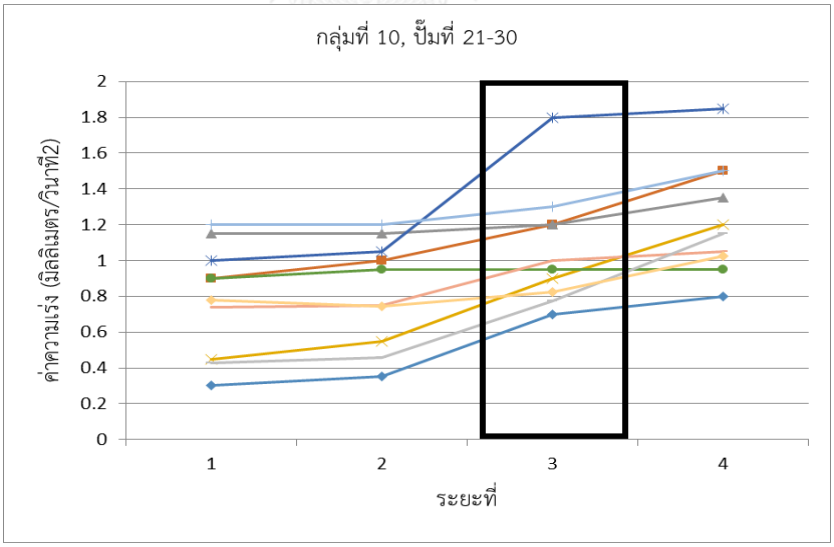
รูปที่ 5.32 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 11-20 ของกลุ่มที่ 10

จากรูปที่ 5.32 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 11-20 ของกลุ่มที่ 10 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



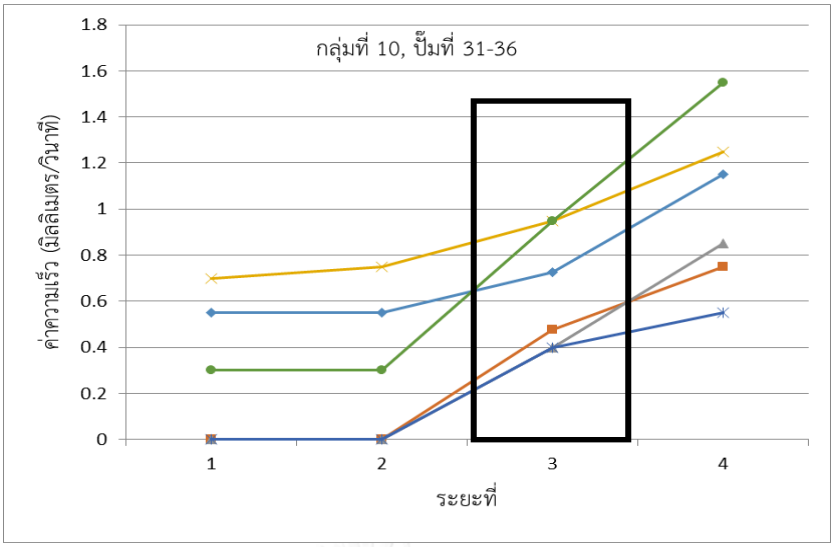
รูปที่ 5.33 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 21-30 ของกลุ่มที่ 10

จากรูปที่ 5.33 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 21-30 ของกลุ่มที่ 10 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



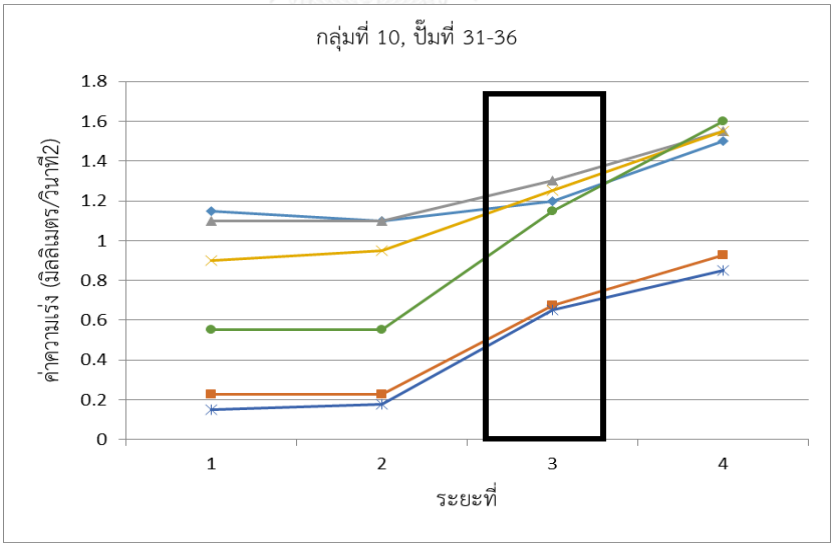
รูปที่ 5.34 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 21-30 ของกลุ่มที่ 10

จากรูปที่ 5.34 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 21-30 ของกลุ่มที่ 10 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



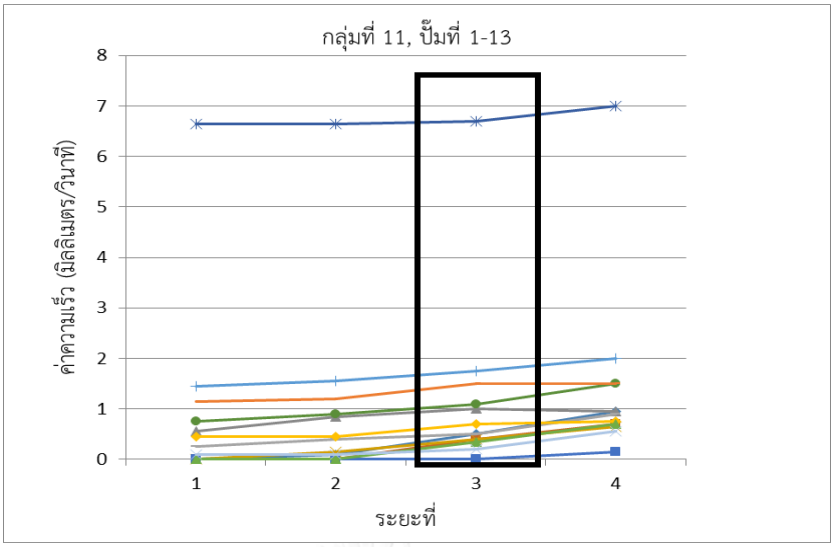
รูปที่ 5.35 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 31-36 ของกลุ่มที่ 10

จากรูปที่ 5.35 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 31-36 ของกลุ่มที่ 10 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



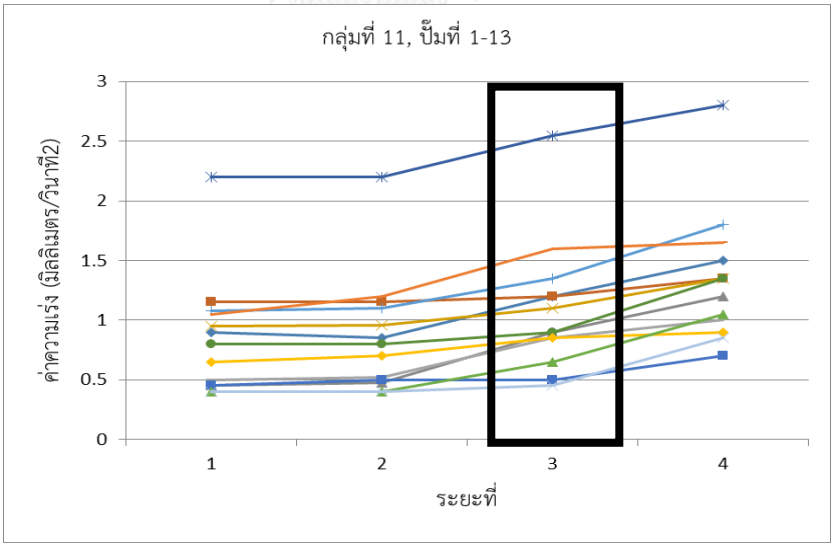
รูปที่ 5.36 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 31-36 ของกลุ่มที่ 10

จากรูปที่ 5.36 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 31-36 ของกลุ่มที่ 10 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



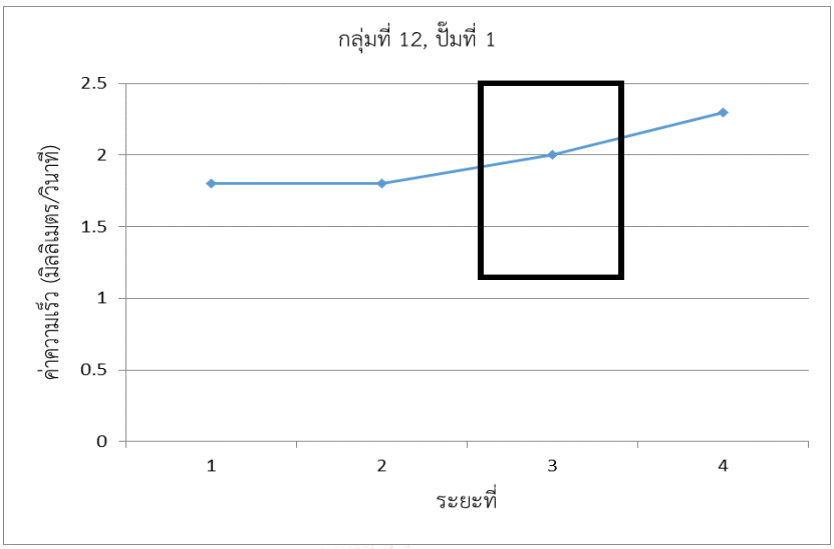
รูปที่ 5.37 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-13 ของกลุ่มที่ 11

จากรูปที่ 5.37 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 1-13 ของกลุ่มที่ 11 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



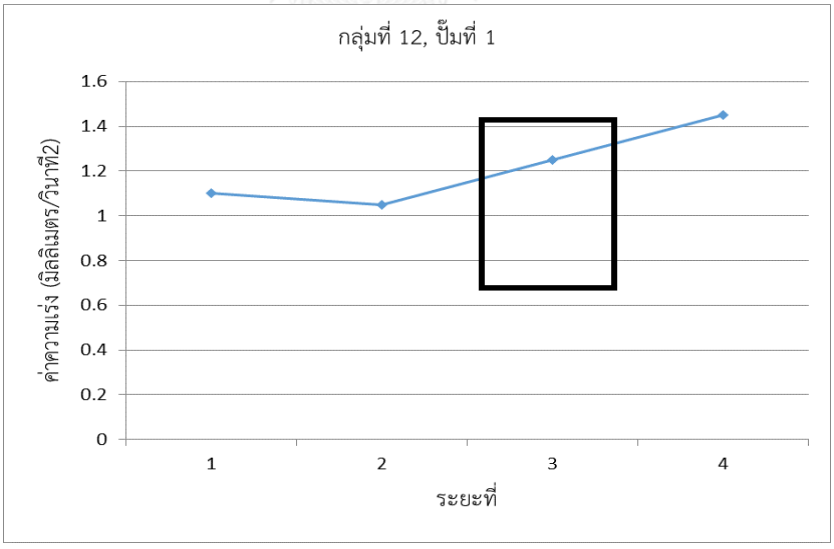
รูปที่ 5.38 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-13 ของกลุ่มที่ 11

จากรูปที่ 5.38 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 1-13 ของกลุ่มที่ 11 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



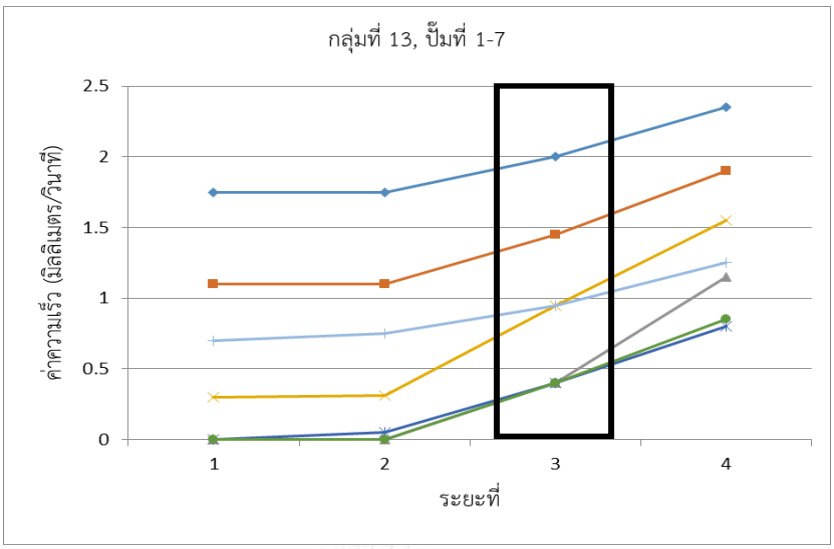
รูปที่ 5.39 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 12

จากรูปที่ 5.39 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 12 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



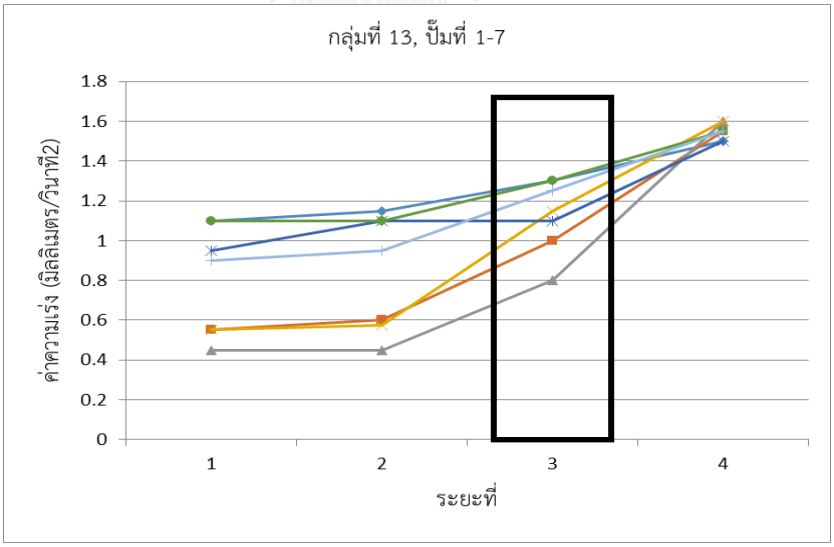
รูปที่ 5.40 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 12

จากรูปที่ 5.40 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 12 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



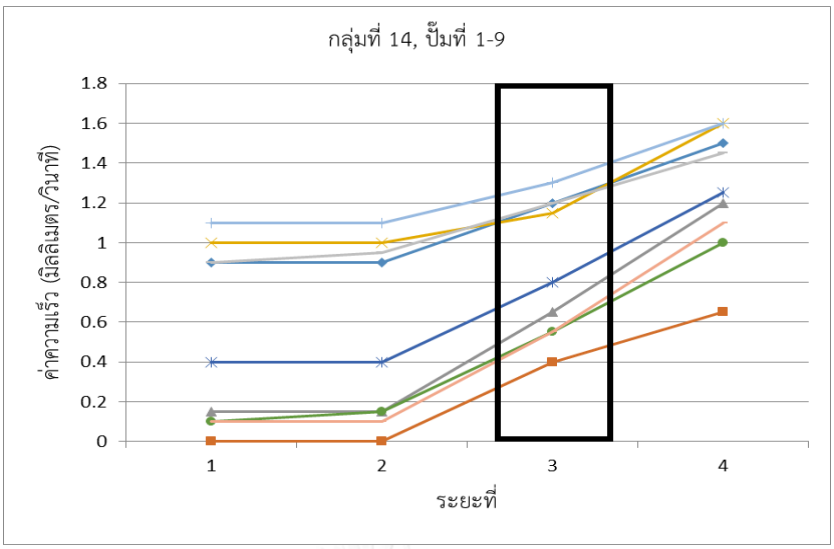
รูปที่ 5.41 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-7 ของกลุ่มที่ 13

จากรูปที่ 5.41 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 1-7 ของกลุ่มที่ 13 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



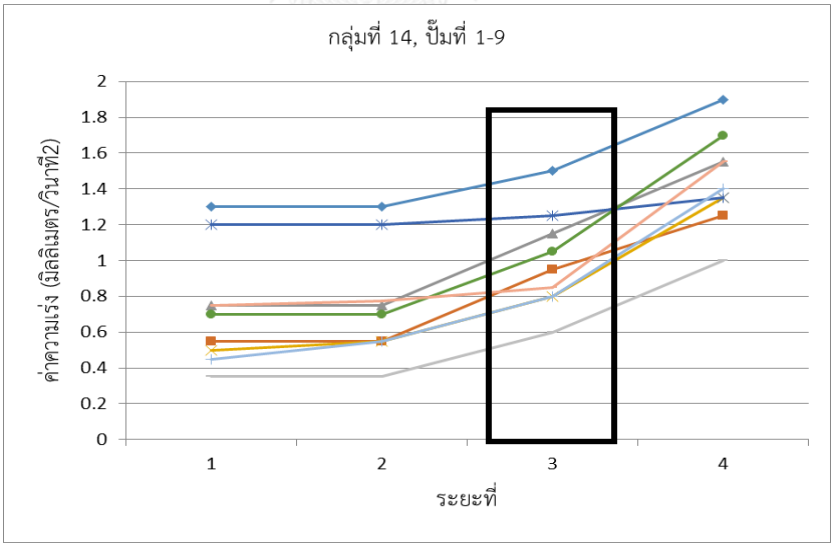
รูปที่ 5.42 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-7 ของกลุ่มที่ 13

จากรูปที่ 5.42 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 1-7 ของกลุ่มที่ 13 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



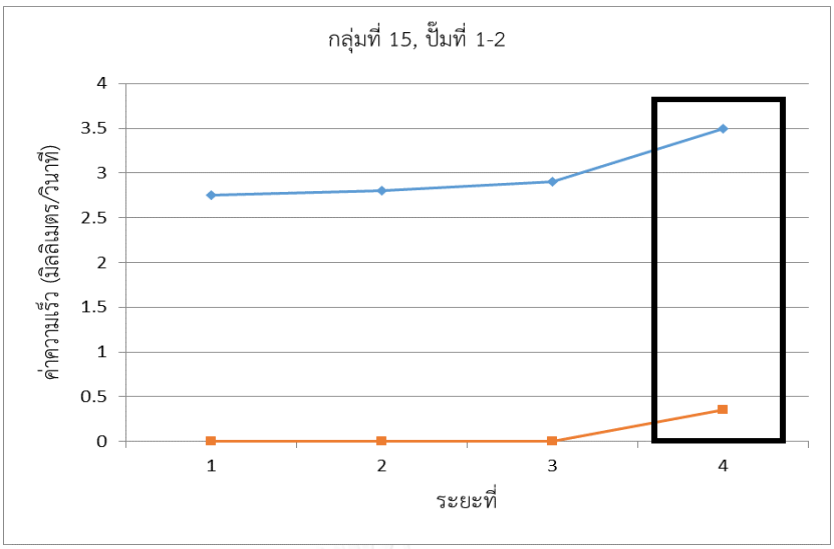
รูปที่ 5.43 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-9 ของกลุ่มที่ 14

จากรูปที่ 5.43 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 1-9 ของกลุ่มที่ 14 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



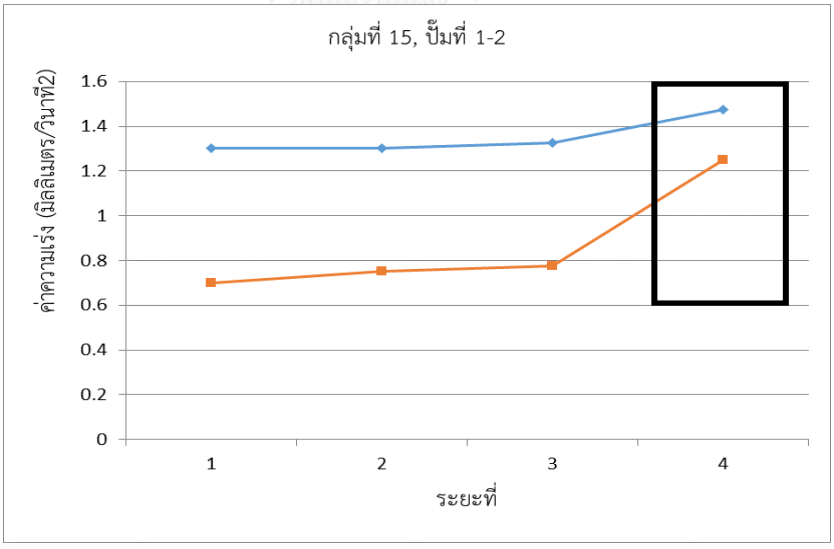
รูปที่ 5.44 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-9 ของกลุ่มที่ 14

จากรูปที่ 5.44 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 1-9 ของกลุ่มที่ 14 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



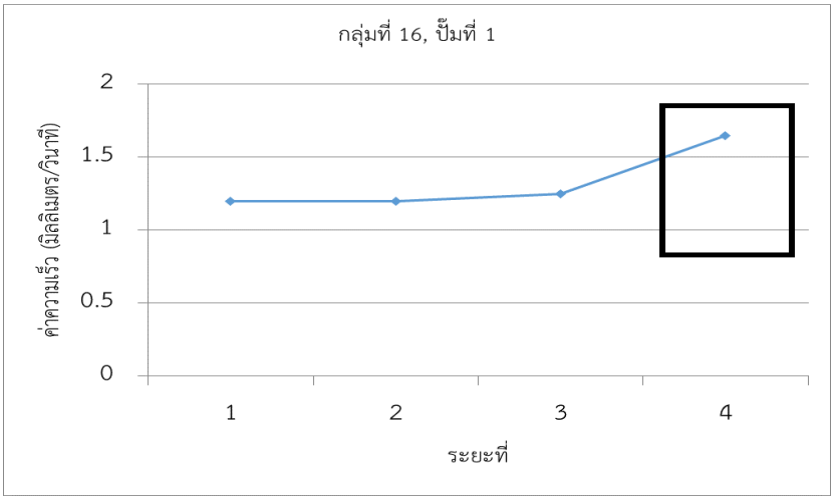
รูปที่ 5.45 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 15

จากรูปที่ 5.45 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 15 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 4 นั่นคือวันที่ 30 ของเดือน



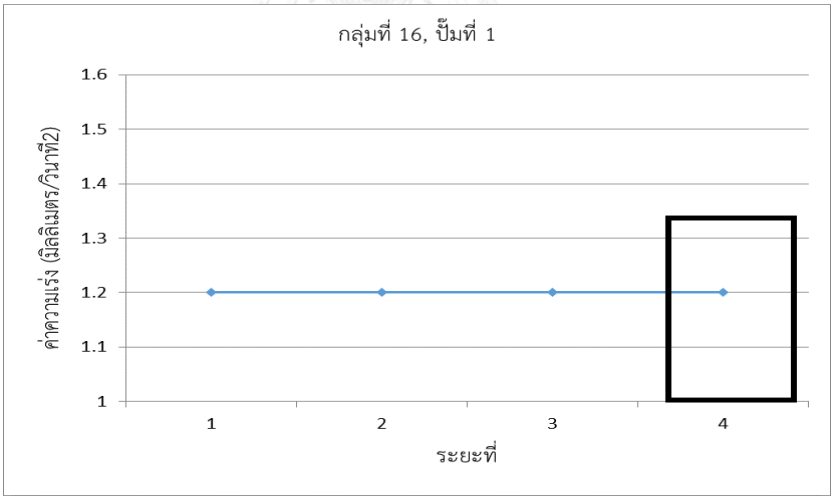
รูปที่ 5.46 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 15

จากรูปที่ 5.46 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 15 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 4 นั่นคือวันที่ 30 ของเดือน



รูปที่ 5.47 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 16

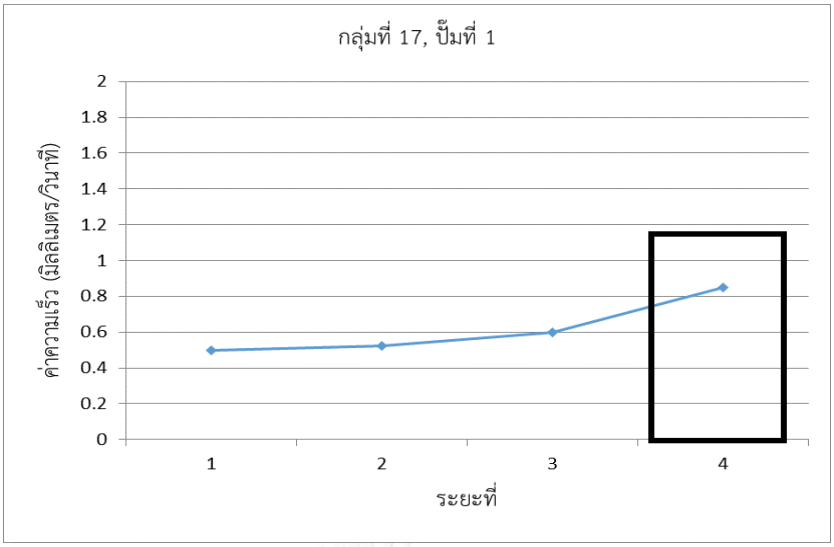
จากรูปที่ 5.47 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 16 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 4 นั่นคือวันที่ 30 ของเดือน



รูปที่ 5.48 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 16

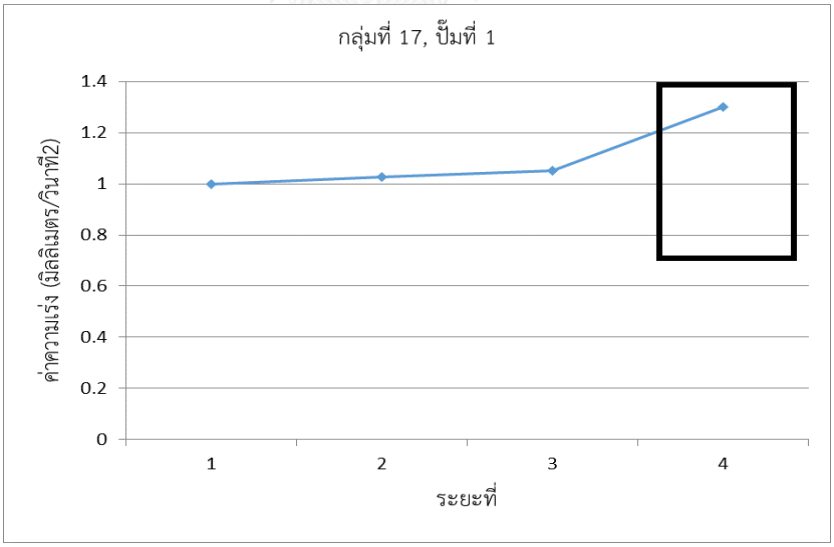
จากรูปที่ 5.48 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 16 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 4 นั่นคือวันที่ 30 ของเดือน

โดยการเปลี่ยนแปลงของกราฟความเร็วในระยะที่ 3 มาระยะที่ 4 เพิ่มขึ้น แต่พบว่าความเร่งมีค่าคงที่ในระยะนี้อยู่ สามารถบอกได้ถึงการเริ่มผิดปกติทางกลของปั๊ม



รูปที่ 5.49 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 17

จากรูปที่ 5.49 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 17 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 4 นั่นคือวันที่ 30 ของเดือน



รูปที่ 5.50 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 17

จากรูปที่ 5.50 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 17 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 4 นั่นคือวันที่ 30 ของเดือน

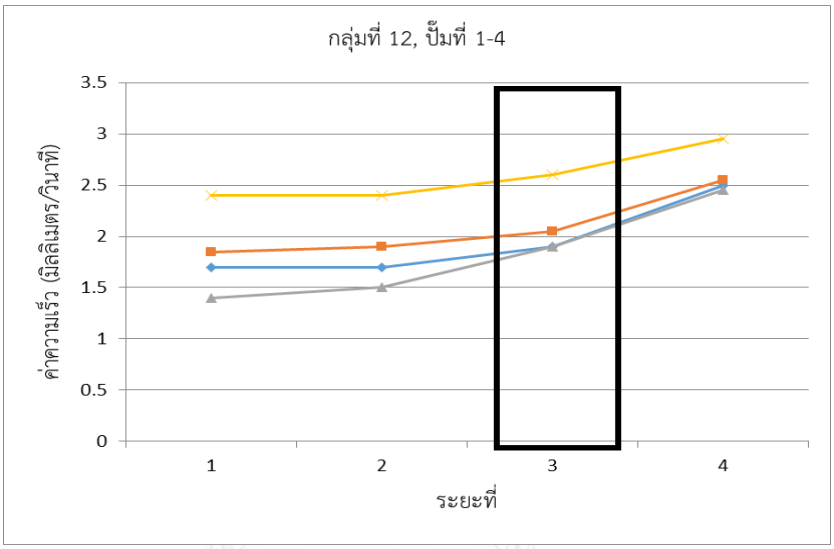
หลังจากที่ทำการเก็บค่าความสั่นสะเทือนของปั๊มในกลุ่มต่างๆตามระยะเวลาที่ได้กำหนดไว้ คือ 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วันแล้ว แล้วนำมาแสดงผลในกราฟ จะสามารถสังเกตเห็นแนวโน้มความชันที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน จึงนำระยะนั้นมาสรุปผลเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมได้ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการตรวจเช็คค่าความสั่นสะเทือนปั๊มประเภทหอยโข่ง

กลุ่ม	ระดับความสำคัญ	อายุการใช้งาน	ภาระงาน	ชุดปั๊มที่ทดลอง	ระยะเวลาที่ตรวจพบว่าค่า V มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (วัน)	ระยะเวลาที่ตรวจพบว่าค่า A มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น (วัน)	ระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็ค (วัน)
1	A	มาก	มาก	1-15	7	7	7
				16-30	7	15	
				31-45	15	15	
				46-51	15	7	
2	A	มาก	ปานกลาง	1-10	15	15	7
				11-20	15	15	
				21-30	7	7	
3	A	ปานกลาง	มาก	1-13	15	7	7
4	A	ปานกลาง	ปานกลาง	1-4	7	15	7
5	A	ปานกลาง	น้อย	1-2	15	15	15
6	A	น้อย	มาก	1-10	15	15	15
7	A	น้อย	ปานกลาง	1-7	15	15	15
8	A	น้อย	น้อย	1	15	15	15
9	B	มาก	มาก	1-2	15	15	15
10	B	มาก	ปานกลาง	1-10	15	15	15
				11-20	15	15	
				21-30	15	15	
				31-36	15	15	
11	B	มาก	น้อย	1-13	15	15	15
12	B	ปานกลาง	ปานกลาง	1	15	15	15
13	B	ปานกลาง	น้อย	1-7	15	15	15
14	B	น้อย	ปานกลาง	1-9	15	15	15
15	B	น้อย	น้อย	1-2	30	30	30
16	C	มาก	น้อย	1	30	30	30
17	C	ปานกลาง	น้อย	1	30	30	30

จากตารางที่ 5.6 แสดงระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็คค่าความสั่นสะเทือนของปั๊มหอยโข่ง ซึ่งปั๊มหอยโข่งจะถูกจำแนกออกเป็นทั้งหมด 17 กลุ่ม โดยในแต่ละกลุ่มจะมีระยะเวลาในการตรวจเช็คที่แตกต่างกัน คือ 7 15 และ 30 วัน จะสังเกตได้ว่าปั๊มที่มีระดับความสำคัญ A จะมีระยะเวลาในการตรวจเช็คมากกว่าปั๊มที่มีระดับความสำคัญ B และ C

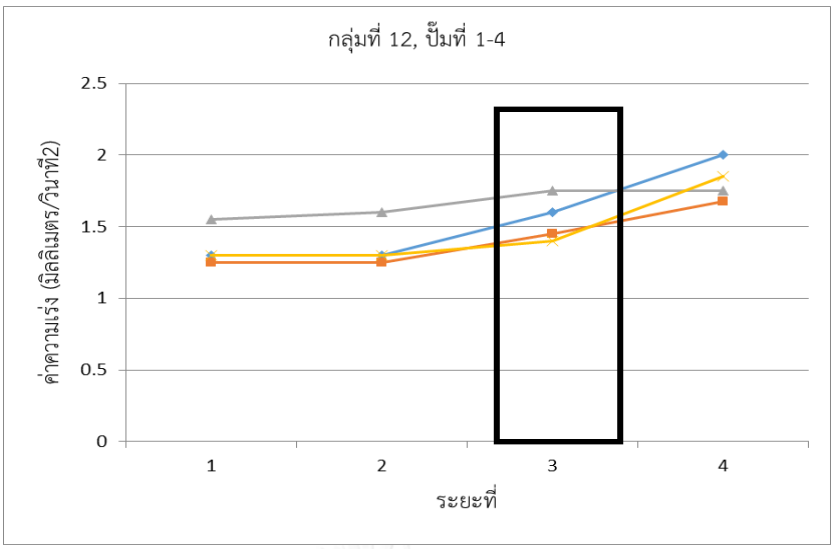
หลังจากนั้นทำการเก็บค่าความสั่นสะเทือนของปั๊มประเภทสกรูซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มที่ 12 และ 14 ตามระยะเวลาเช่นเดียวกับปั๊มประเภทหอยโข่ง



รูปที่ 5.51 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-4 ของกลุ่มที่ 12

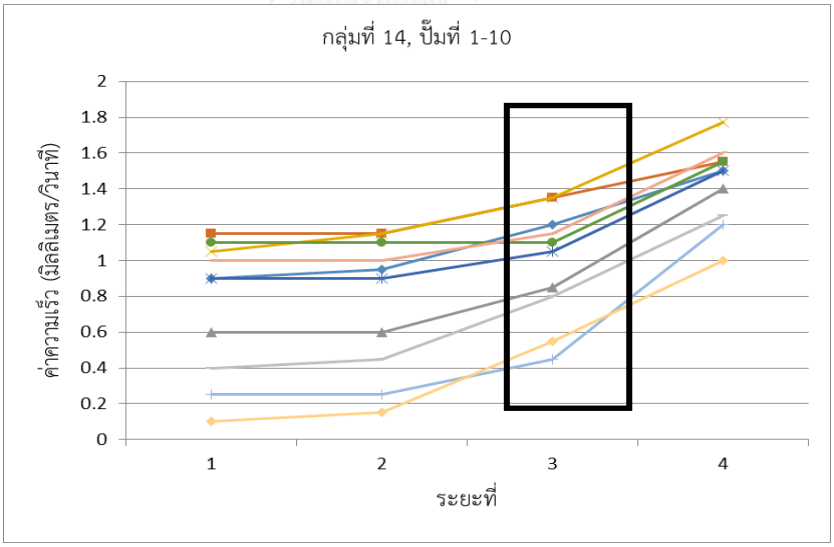
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

จากรูปที่ 5.51 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มประเภทสกรูที่ 1-4 ของกลุ่มที่ 12 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



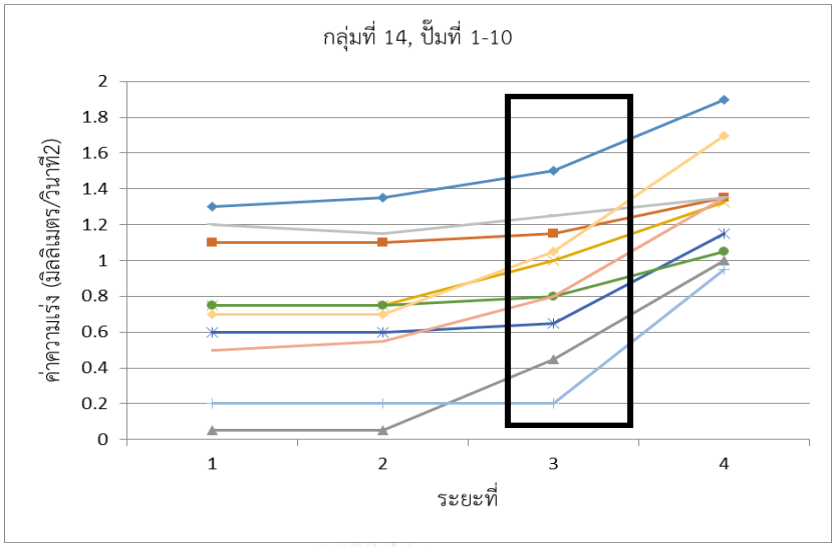
รูปที่ 5.52 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-4 ของกลุ่มที่ 12

จากรูปที่ 5.52 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มประเภทสกรูที่ 1-4 ของกลุ่มที่ 12 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



รูปที่ 5.53 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร็ว) ของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 14

จากรูปที่ 5.53 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร็วของปั๊มประเภทสกรูที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 14 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน



รูปที่ 5.54 ค่าความสั่นสะเทือน (หน่วยความเร่ง) ของปั๊มที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 14

จากรูปที่ 5.54 แสดงกราฟของค่าความสั่นสะเทือนในหน่วยความเร่งของปั๊มประเภทสกรูที่ 1-10 ของกลุ่มที่ 14 ซึ่งมีแนวโน้มที่ค่าความสั่นสะเทือนเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 15 ของเดือน

ตารางที่ 5.7 ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนปั๊มประเภทสกรู

กลุ่ม	ระดับความสำคัญ	อายุการใช้งาน	ภาระงาน	ชุดตัวอย่างปั๊มที่ทดลอง	ความถี่เมื่อวัดจากค่า V (วัน)	ความถี่เมื่อวัดจากค่า A (วัน)	ความถี่ที่ตรวจเช็ค (วัน)
12	B	ปานกลาง	ปานกลาง	1-4	15	15	15
14	B	น้อย	ปานกลาง	1-5	15	15	15
				6-10	15	15	15

จากตารางที่ 5.7 แสดงถึงระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนของปั๊มประเภทสกรู ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มที่ 12 และ 14 โดยมีค่าความถี่ในการตรวจเช็คคือ 15 วัน

5.1.2 ผลของการหาความถี่ที่เหมาะสมในการตรวจวัดคุณภาพน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่ง

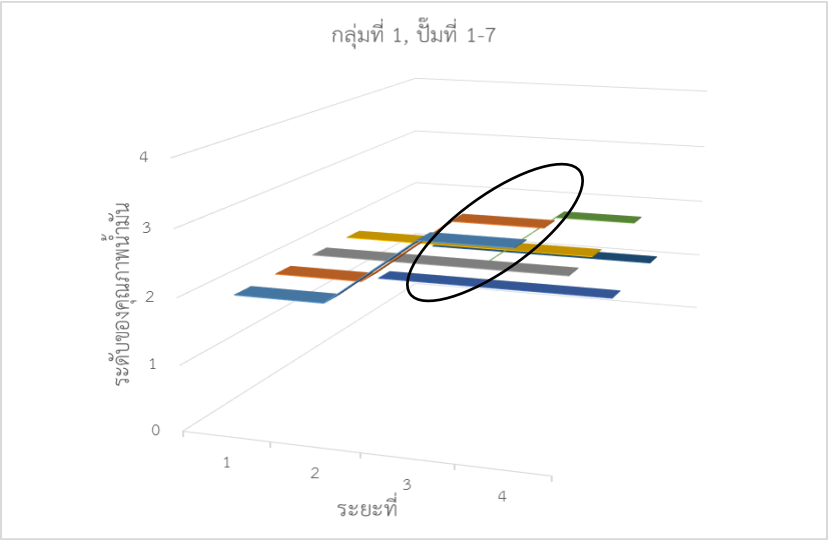
ในการหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งและสกรู จะต้องทำการกำหนดแผนในการเก็บตัวอย่างน้ำมันก่อน เพื่อหาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าคุณภาพของน้ำมันที่เกิดขึ้นกับปั๊มเมื่อเวลาผ่านไป แล้วจึงนำระยะเวลานั้นมาใช้เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมัน โดยสามารถจัดทำแผนการเก็บตัวอย่างได้ตารางที่ 5.8 ดังนี้

ตารางที่ 5.8 แผนการเก็บตัวอย่างน้ำมัน

การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์	**ระยะที่ทำการตรวจเช็ค**			
	1	**2**	**3**	**4**
การวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมัน	15 วัน	30 วัน	60 วัน	90 วัน

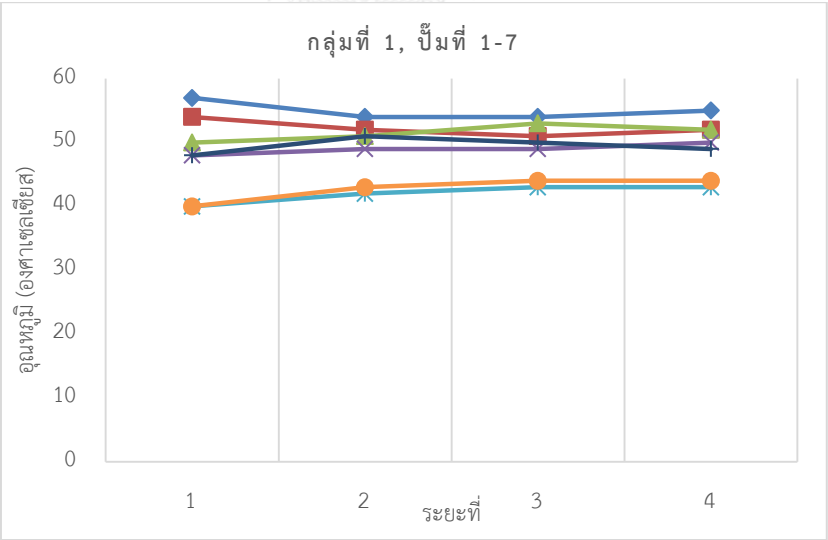
จากตารางที่ 5.8 แสดงแผนการเก็บตัวอย่างน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่ง โดยจะเก็บตัวอย่างน้ำมัน 4 ระยะ คือระยะที่ 1 เก็บวันที่ 15 ระยะที่ 2 เก็บวันที่ 30 ระยะที่ 3 เก็บวันที่ 60 และระยะที่ 4 เก็บวันที่ 90 ซึ่งระยะดังกล่าวได้มาจากการเก็บสถิติการตรวจพบสิ่งแปลกปลอมปนเปื้อนในน้ำมันในปี 2558 โดยพบว่ามีระยะห่างของการตรวจพบสิ่งแปลกปลอมในน้ำมันตั้งแต่ 30-120 วัน จึงได้นำระยะเวลาดังกล่าวมากำหนดเป็นระยะในการเก็บตัวอย่างน้ำมัน หลังจากทดลองแล้วพบว่าระดับคุณภาพของน้ำมันมีแนวโน้มแย่ลงจนอยู่ในระดับที่ 3 จะนำเอาระยะนั้นมาจัดทำแผนการเก็บตัวอย่างน้ำมัน

ทั้งนี้ได้ทำการวัดอุณหภูมิของน้ำมันขณะปั๊มกำลังทำงานควบคู่ไปด้วย เพื่อช่วยในการวิเคราะห์ความผิดปกติของปั๊มและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของน้ำมัน โดยอุณหภูมิปกติของน้ำมันในปั๊มไม่ควรเกิน 80 องศาเซลเซียส



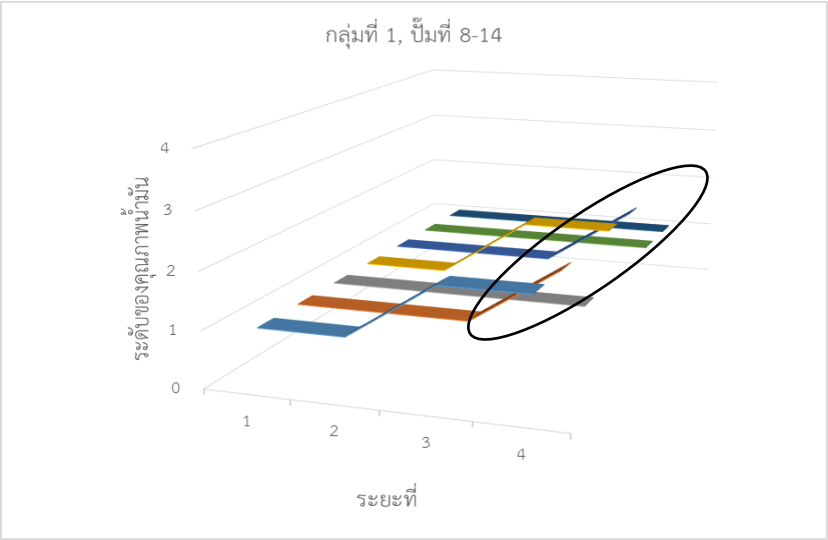
รูปที่ 5.55 ระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มที่ 1-7 กลุ่มที่ 1

จากรูปที่ 5.55 แสดงกราฟของค่าระดับคุณภาพของน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 1-7 ของกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีแนวโน้มที่ระดับคุณภาพน้ำมันเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 60 วัน



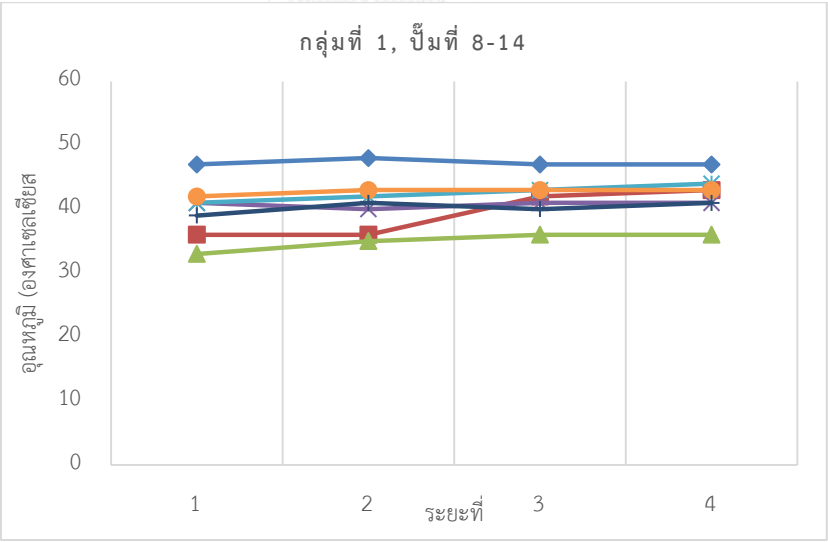
รูปที่ 5.56 อุณหภูมิน้ำมันของปั๊มที่ 1-7 กลุ่มที่ 1

จากรูปที่ 5.56 แสดงกราฟอุณหภูมิน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 1-7 ของกลุ่มที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ



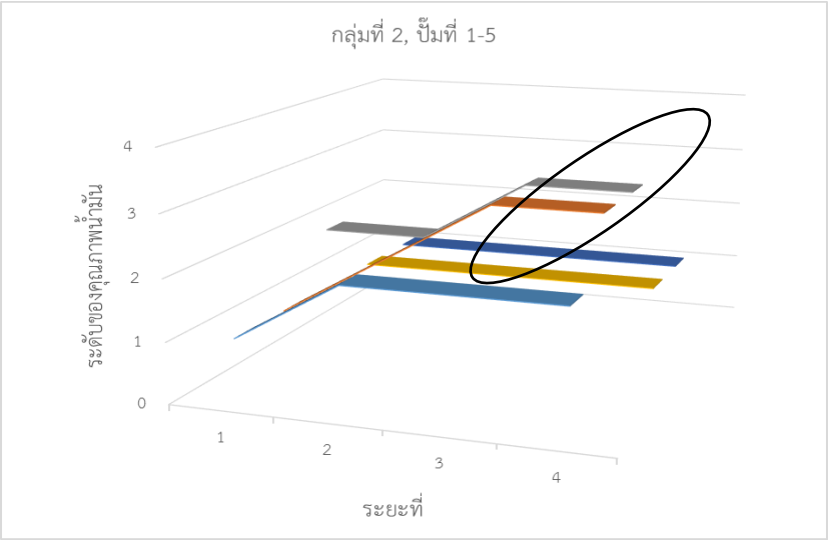
รูปที่ 5.57 ระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มที่ 8-14 กลุ่มที่ 1

จากรูปที่ 5.57 แสดงกราฟของค่าระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 8-14 ของกลุ่มที่ 1 ซึ่งมีแนวโน้มที่ระดับคุณภาพน้ำมันเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 4 นั่นคือวันที่ 90 วัน



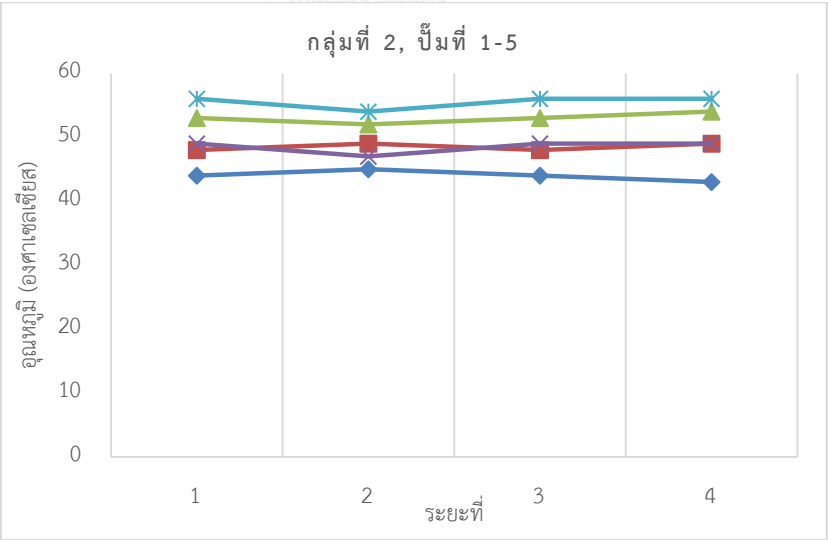
รูปที่ 5.58 อุณหภูมิน้ำมันของปั๊มที่ 8-14 ของกลุ่มที่ 1

จากรูปที่ 5.58 แสดงกราฟอุณหภูมิน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 8-14 ของกลุ่มที่ 1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ



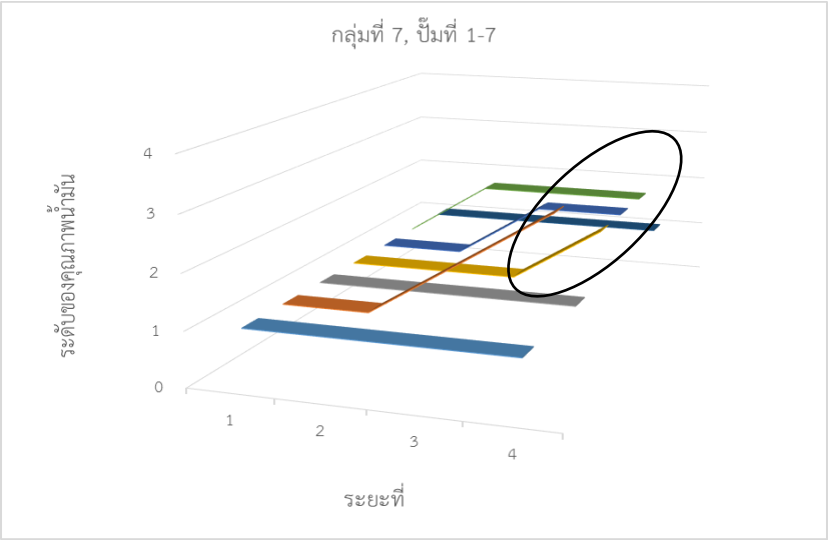
รูปที่ 5.59 ระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มที่ 1-5 กลุ่มที่ 2

จากรูปที่ 5.59 แสดงกราฟของค่าระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 1-5 ของกลุ่มที่ 2 ซึ่งมีแนวโน้มที่ระดับคุณภาพของน้ำมันเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 3 นั่นคือวันที่ 60 วัน



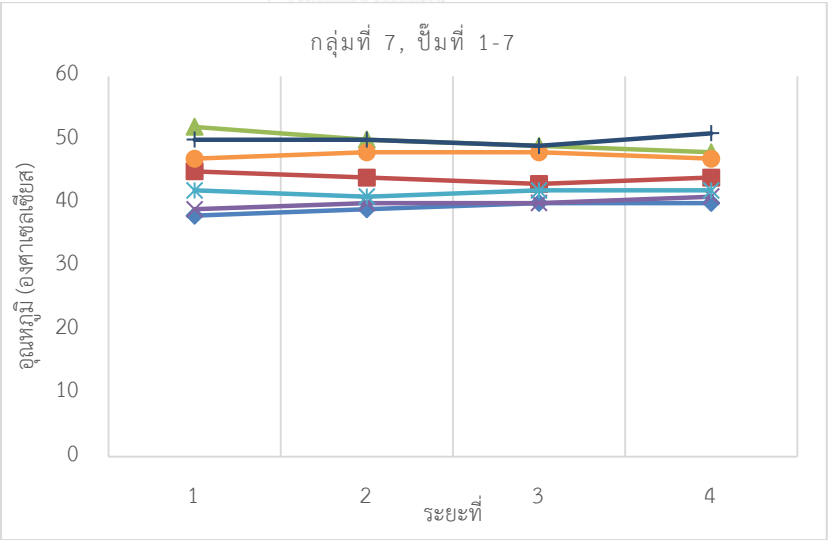
รูปที่ 5.60 อุณหภูมิน้ำมันของปั๊มที่ 1-5 กลุ่มที่ 2

จากรูปที่ 5.60 แสดงกราฟอุณหภูมิน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 1-5 ของกลุ่มที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ



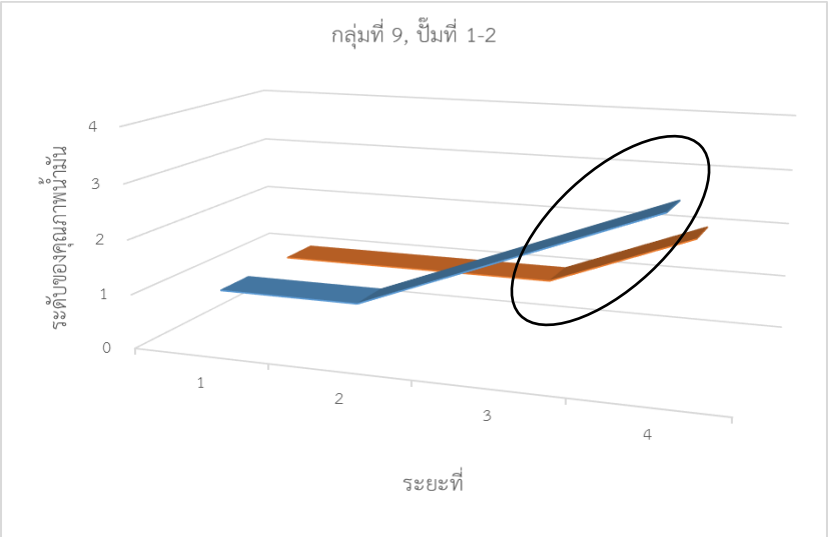
รูปที่ 5.61 ระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มที่ 1-7 กลุ่มที่ 7

จากรูปที่ 5.61 แสดงกราฟของค่าระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 1-7 ของกลุ่มที่ 7 ซึ่งมีแนวโน้มที่ระดับคุณภาพน้ำมันเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 4 นั่นคือวันที่ 90 วัน



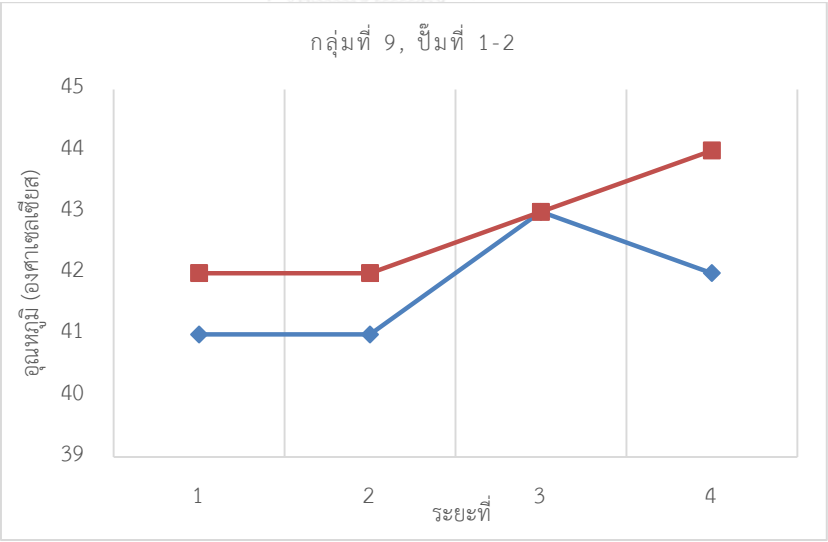
รูปที่ 5.62 อุณหภูมิน้ำมัน ของปั๊มที่ 1-7 กลุ่มที่ 7

จากรูปที่ 5.62 แสดงกราฟอุณหภูมิน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 1-7 ของกลุ่มที่ 7 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ



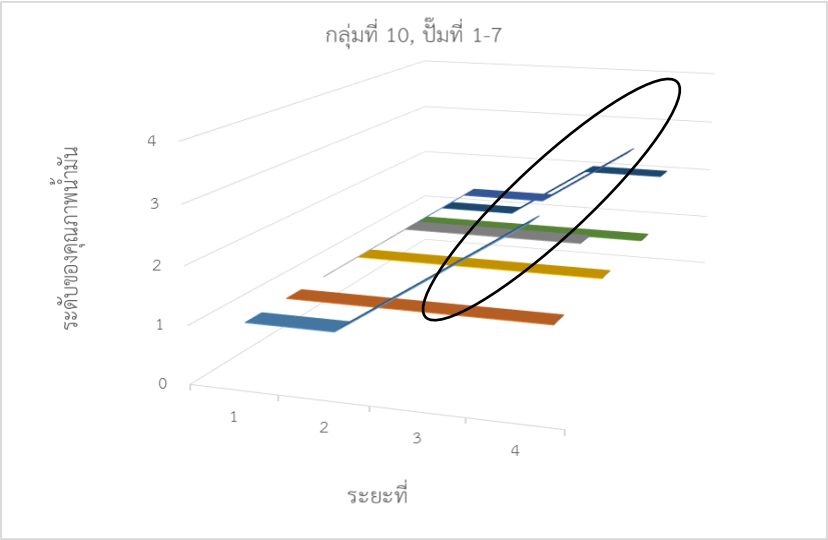
รูปที่ 5.63 ระดับคุณภาพของน้ำมันของปั๊มที่ 1-2 กลุ่มที่ 9

จากรูปที่ 5.63 แสดงกราฟของค่าระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 9 ซึ่งมีแนวโน้มที่ระดับคุณภาพน้ำมันเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 4 นั่นคือวันที่ 90 วัน



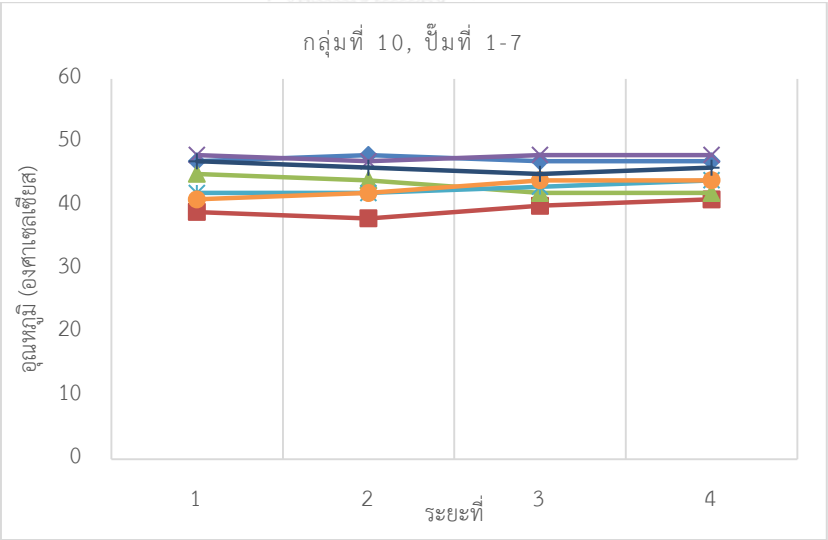
รูปที่ 5.64 อุณหภูมิน้ำมัน ของปั๊มที่ 1-2 กลุ่มที่ 9

จากรูปที่ 5.64 แสดงกราฟอุณหภูมิน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ



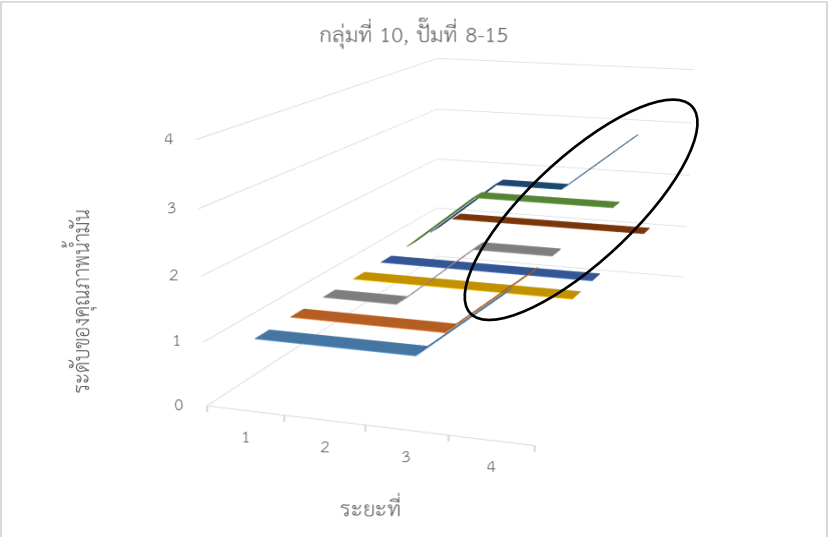
รูปที่ 5.65 ระดับคุณภาพของน้ำมันของปั๊มที่ 1-7 กลุ่มที่ 10

จากรูปที่ 5.65 แสดงกราฟของค่าระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 1-7 ของกลุ่มที่ 10 ซึ่งมีแนวโน้มที่ระดับคุณภาพน้ำมันเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 4 นั่นคือวันที่ 90 วัน



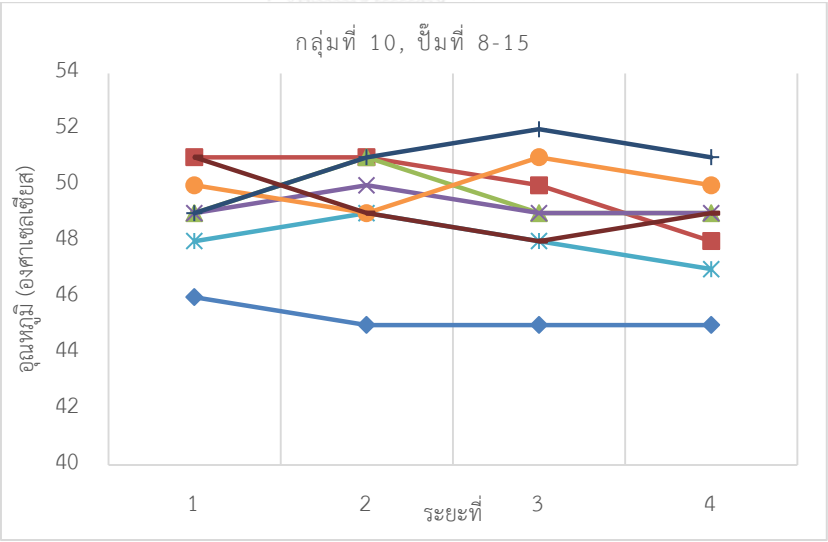
รูปที่ 5.66 อุณหภูมิน้ำมัน ของปั๊มที่ 1-7 ของกลุ่มที่ 10

จากรูปที่ 5.66 แสดงกราฟอุณหภูมิน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 1-7 ของกลุ่มที่ 10 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ



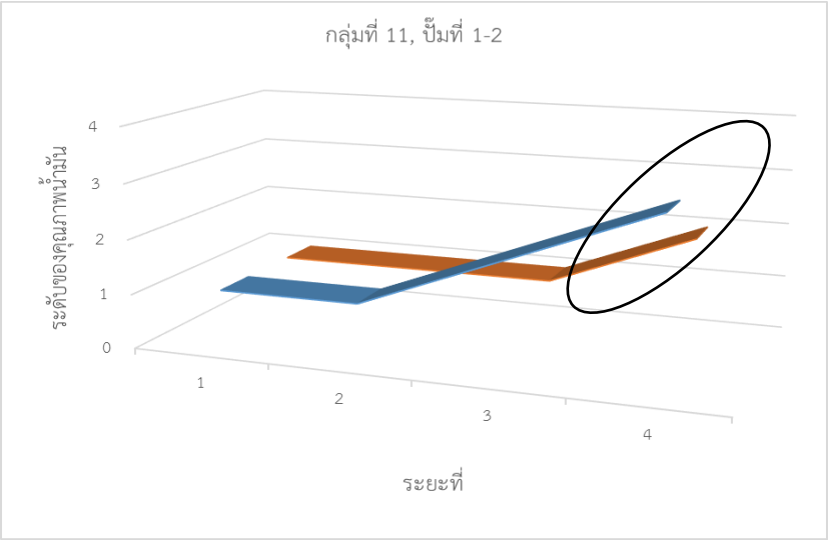
รูปที่ 5.67 ระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มที่ 8-15 กลุ่มที่ 10

จากรูปที่ 5.67 แสดงกราฟของค่าระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 8-15 ของกลุ่มที่ 10 ซึ่งมีแนวโน้มที่ระดับคุณภาพน้ำมันเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 4 นั่นคือวันที่ 90 วัน



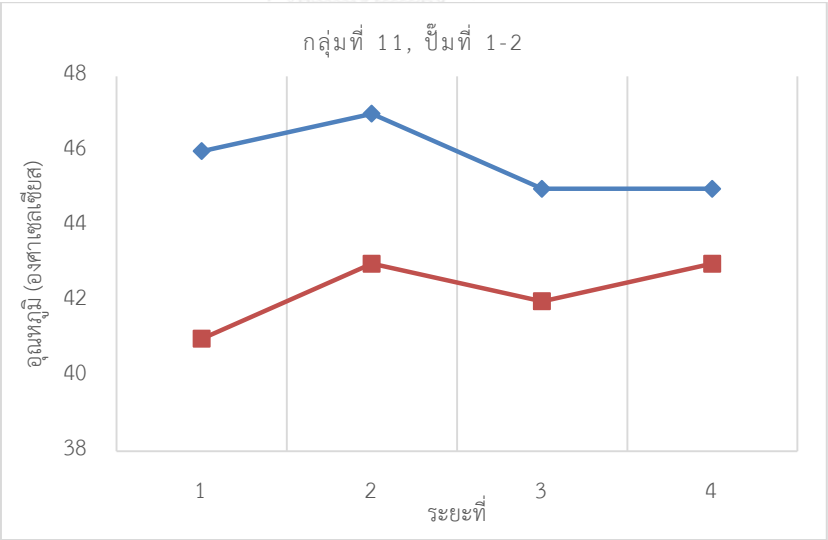
รูปที่ 5.68 อุณหภูมิน้ำมันของปั๊มที่ 8-15 กลุ่มที่ 10

จากรูปที่ 5.68 แสดงกราฟอุณหภูมิน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 8-15 ของกลุ่มที่ 10 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ



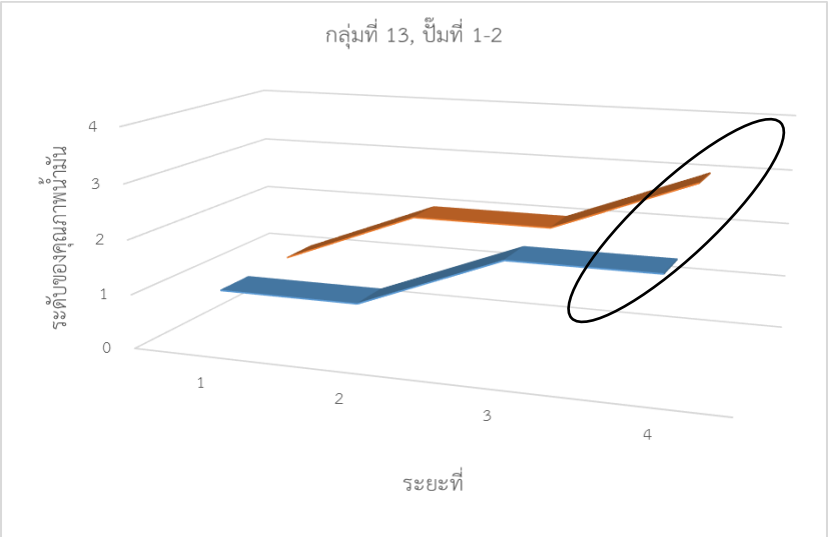
รูปที่ 5.69 ระดับคุณภาพของน้ำมันของปั๊มที่ 1-2 กลุ่มที่ 11

จากรูปที่ 5.69 แสดงกราฟของค่าระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 10 ซึ่งมีแนวโน้มที่ระดับคุณภาพน้ำมันเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 4 นั่นคือวันที่ 90 วัน



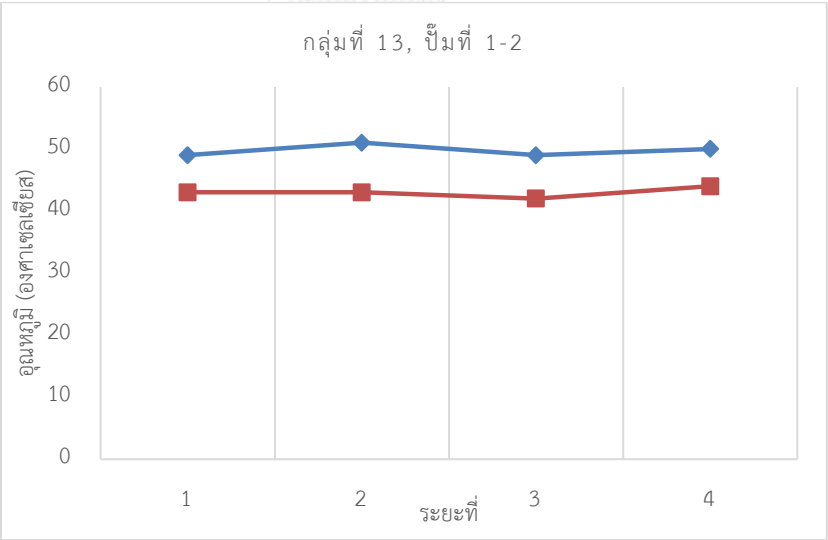
รูปที่ 5.70 อุณหภูมิน้ำมัน ของปั๊มที่ 1-2 กลุ่มที่ 11

จากรูปที่ 5.70 แสดงกราฟอุณหภูมิน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 11 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ



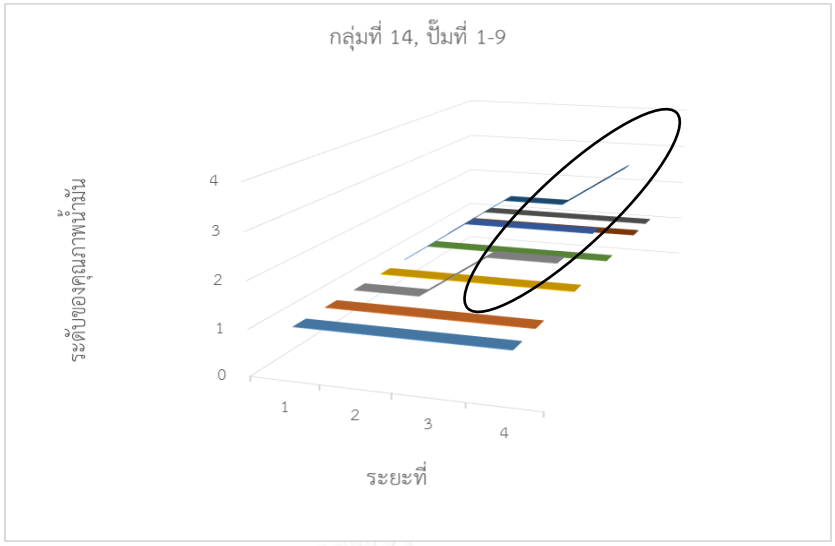
รูปที่ 5.71 ระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มที่ 1-2 กลุ่มที่ 13

จากรูปที่ 5.71 แสดงกราฟของค่าระดับคุณภาพของน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 13 ซึ่งมีแนวโน้มที่ระดับคุณภาพน้ำมันเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 4 นั่นคือวันที่ 90 วัน



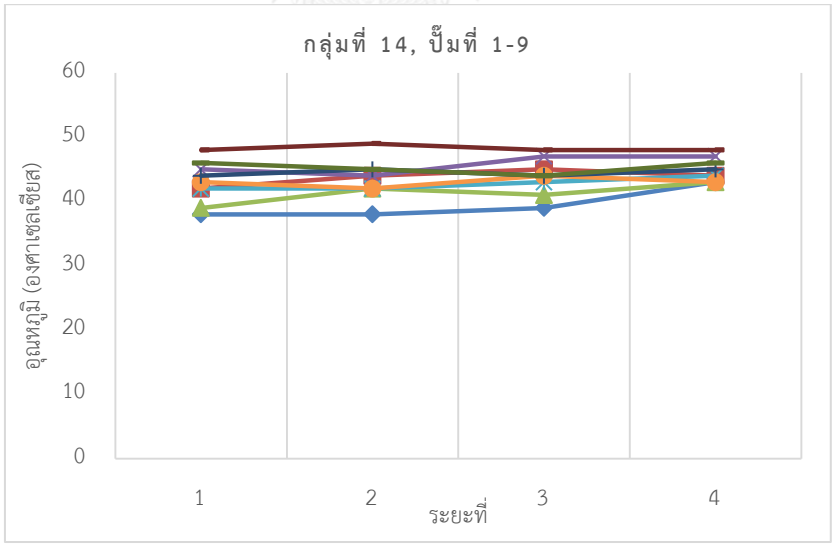
รูปที่ 5.72 อุณหภูมิน้ำมันของปั๊มที่ 1-2 กลุ่มที่ 13

จากรูปที่ 5.72 แสดงกราฟอุณหภูมิน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 1-2 ของกลุ่มที่ 13 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ



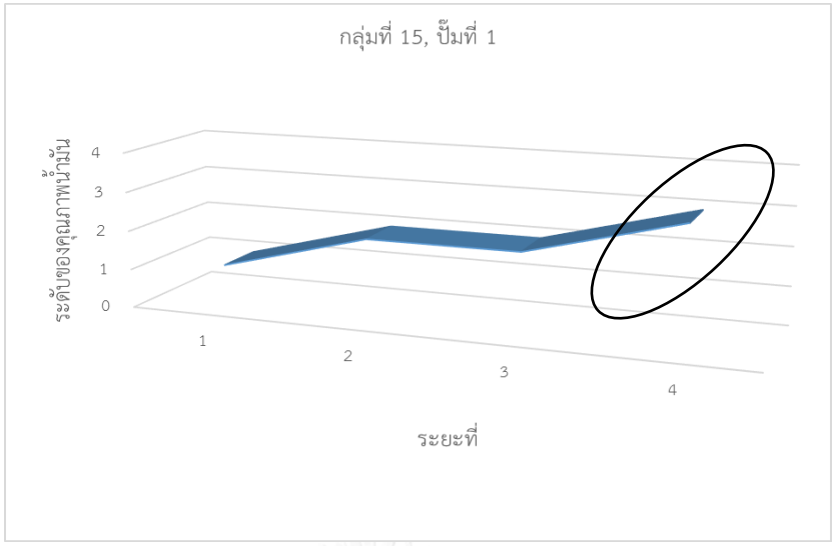
รูปที่ 5.73 ระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มที่ 1-9 กลุ่มที่ 14

จากรูปที่ 5.73 แสดงกราฟของค่าระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 1-9 ของกลุ่มที่ 14 ซึ่งมีแนวโน้มที่ระดับคุณภาพน้ำมันเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 4 นั่นคือวันที่ 90 วัน



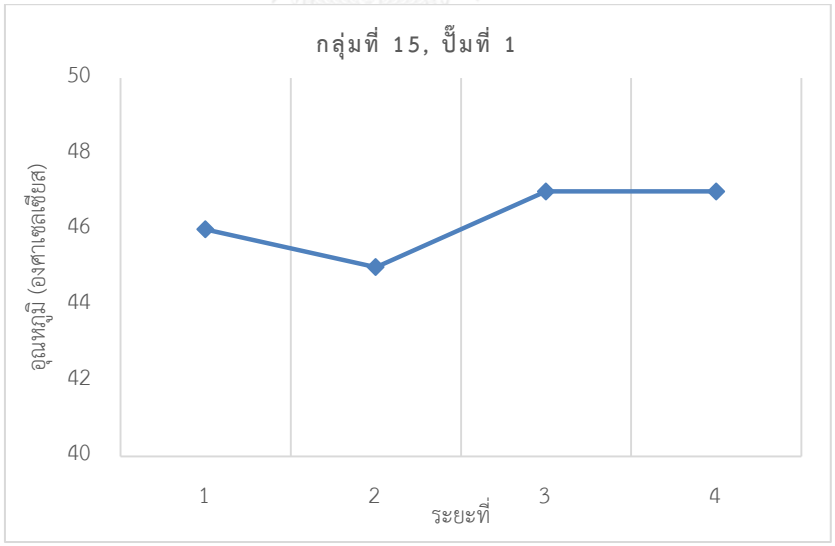
รูปที่ 5.74 อุณหภูมิน้ำมันของปั๊มที่ 1-9 กลุ่มที่ 14

จากรูปที่ 5.74 แสดงกราฟอุณหภูมิน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 1-9 ของกลุ่มที่ 14 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ



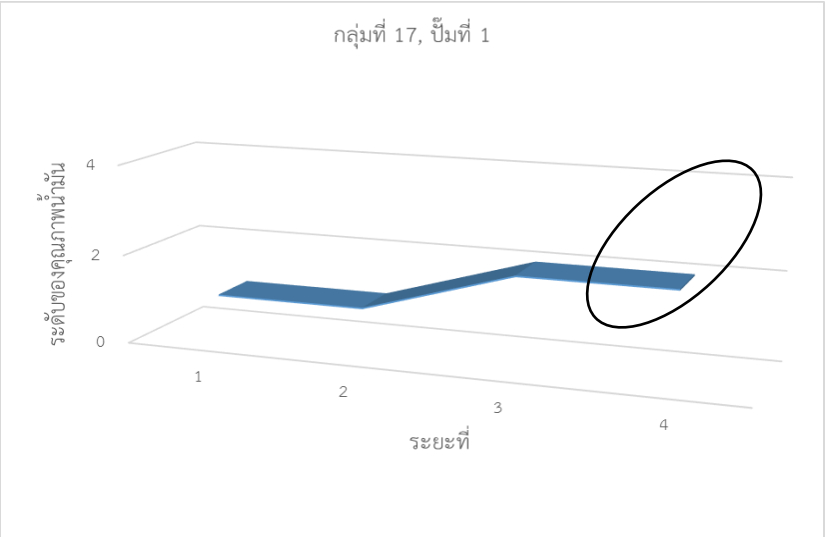
รูปที่ 5.75 ระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มที่ 1 กลุ่มที่ 15

จากรูปที่ 5.75 แสดงกราฟของค่าระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 1 ของกลุ่มที่ 15 ซึ่งมีแนวโน้มที่ระดับคุณภาพน้ำมันเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 4 นั่นคือวันที่ 90 วัน



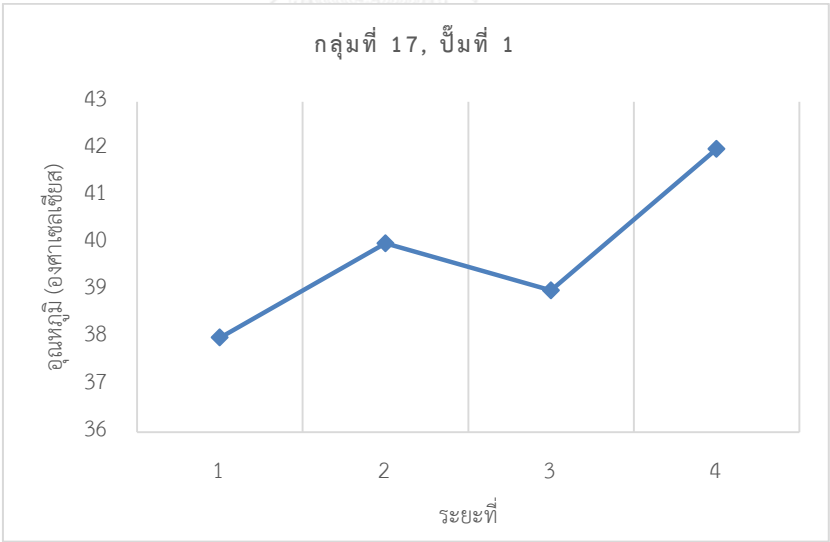
รูปที่ 5.76 อุณหภูมิน้ำมันของปั๊มที่ 1 กลุ่มที่ 15

จากรูปที่ 5.76 แสดงกราฟอุณหภูมิน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 1 ของกลุ่มที่ 15 ซึ่งจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ



รูปที่ 5.77 ระดับคุณภาพของน้ำมัน ของปั๊มที่ 1 ของกลุ่มที่ 17

จากรูปที่ 5.77 แสดงกราฟของค่าระดับคุณภาพน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 1 ของกลุ่มที่ 17 ซึ่งมีแนวโน้มที่ระดับคุณภาพน้ำมันลื่นเริ่มเพิ่มขึ้นในระยะที่ 4 นั่นคือวันที่ 90 วัน



รูปที่ 5.78 อุณหภูมิน้ำมันของปั๊มที่ 1 กลุ่มที่ 17

จากรูปที่ 5.78 แสดงกราฟอุณหภูมิน้ำมันของปั๊มประเภทหอยโข่งที่ 1 ของกลุ่มที่ 17 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย และยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ

ตารางที่ 5.9 ระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับการตรวจเช็คสารหล่อลื่นของปั๊มประเภทหอยโข่ง

กลุ่ม	ระดับความสำคัญ	อายุการใช้งาน	ภาระงาน	ชุดตัวอย่างปั๊มที่ทดลอง	ความถี่ที่วัดได้ (วัน)	ความถี่ที่ตรวจเช็ค (วัน)
1	A	มาก	มาก	1-7	60	60
				8-14	90	
2	A	มาก	ปานกลาง	1-5	60	60
7	A	น้อย	ปานกลาง	1-7	90	90
9	B	มาก	มาก	1-2	90	90
10	B	มาก	ปานกลาง	1-5	90	90
				6-10	>90	
				11-15	90	
11	B	มาก	น้อย	1-2	90	90
13	B	ปานกลาง	น้อย	1-2	90	90
14	B	น้อย	ปานกลาง	1-5	>90	90
				6-9	90	
15	B	น้อย	น้อย	1	90	90
17	C	ปานกลาง	น้อย	1	>90	>90

จากตารางที่ 5.9 แสดงถึงระยะเวลาที่เหมาะสมในการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันในปั๊มประเภทหอยโข่ง โดยปั๊มที่มีการใช้น้ำมันมีทั้งหมด 10 กลุ่ม โดยมีระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็คระยะ 60 และ 90 วัน

สรุปการวัดค่าความสั่นสะเทือนและการวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมันนั้น เป็นการตรวจเช็คที่เป็นอิสระต่อกัน เนื่องจากในบางครั้งตรวจพบค่าความสั่นสะเทือนมีค่าสูงแต่พบว่าคุณภาพของน้ำมันยังอยู่ในเกณฑ์ปกติ แต่ในบางกรณี เช่น การสั่นสะเทือนสูงอันเนื่องมาจากการสึกหรอของตลับลูกปืนก็จะส่งผลให้ค่าคุณภาพของน้ำมันมีเศษโลหะปะปนได้ ซึ่งการตรวจวัดทั้ง 2 แบบ ต่างช่วยในการเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับปั๊ม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.2 สรุปการปรับปรุงการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

การปรับปรุงการบำรุงรักษาเชิงป้องกันนั้นจะถูกแบ่งออกตามการตรวจเช็คเป็น 2 กรณี คือ 1) การบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ต้องทำขณะปั๊มทำงานอยู่ และ 2) การบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ต้องทำขณะปั๊มหยุดทำงาน โดยนำเอาระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการวัดค่าความสั่นสะเทือนในการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มาประยุกต์ใช้ ร่วมกับระยะเวลาในการตรวจเช็คที่ผู้ผลิตแนะนำจากคู่มือการบำรุงรักษาปั๊ม

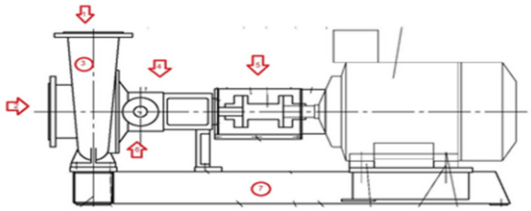
5.2.1 การบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ต้องทำขณะปั๊มทำงาน

ในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ต้องทำขณะที่ปั๊มทำงาน จะจัดทำตารางสำหรับการตรวจเช็คปั๊มประเภทหอยโข่งและประเภทสกรูขึ้น ดังรูปที่ 5.79 ถึง 5.88 โดยมีรายละเอียดในการตรวจเช็คดังนี้

การตรวจวัดค่าความสั่นสะเทือนของลูกปืนปั๊มและมอเตอร์

- การตรวจวัดอุณหภูมิของลูกปืนปั๊มและมอเตอร์
- การใช้หูฟัง Stethoscope ฟังเสียงความผิดปกติของลูกปืน
- การตรวจสอบชุดคับปลิ้งและอุปกรณ์เชื่อมต่อส่งกำลังต่างๆ
- การตรวจสอบระบบ Sealing เช่น Mechanical seal, Static seal และ Packing seal
- การตรวจสอบความผิดปกติของท่อทางดูดและส่ง รวมถึงวาล์วต่างๆ
- การตรวจสอบส่วนประกอบทั่วไปของปั๊มทั้งหมด เช่น นอตยึดฐานปั๊มหลวม หรือการรั่วซึมในตำแหน่งต่างๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University



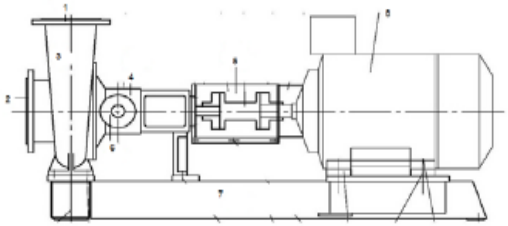
PLANT.....

DATE.....

CHECK BY.....

Item.	Pump No.	Eqiupment name	Bearing unit (4)						Conding coupling (5)		Mech.seal or Staticseal(6)		Safe.Unit		Condition bolts/guarde (7)		Condition Diahage line/Valve (1)		Condition Suction line/Valve/Bellow (2)		Remark
			Impeller			Coupling															
			mm/s	gE	Temp. C	mm/s	gE	Temp C	Normal	Deteriorate	Normal	Leakage.	Pressure, Bar	Clean	Normal	Loose	Normal	Leakage.	Normal	Leakage.	
1	411P001	DIGESTER 1 CIRCULATION PUMP																			
2	411P002	DIGESTER 2 CIRCULATION PUMP																			
3	411P003	DIGESTER 3 CIRCULATION PUMP																			
4	411P004	DIGESTER 4 CIRCULATION PUMP																			
5	411P005	DIGESTER 5 CIRCULATION PUMP																			
6	411P006	WHITE LIQUOR PUMP																			
7	411P007	CONDENSATE BOOSTER PUMP																			
8	411P008	BLACK LIQUOR CIRCULATION PUMP																			
9	411P009	HOT BLACK LIQUOR PUMP																			
10	411P010	HOTWHITE LIQUOR PUMP																			
11	411P011	WHITE LIQUOR CIRCULATION PUMP																			
12	411P012	LIQUOR FILTER FEED PUMP																			
13	411P013	EVAPORATION BLACK LIQUOR PUMP																			
14	411P014	IMPREGNATION LIQUOR PUMP																			
15	411P015	DISPLACEMENT LIQUOR PUMP																			
16	411P015.2	DISPLACEMENT LIQUOR PUMP																			
17	411P016	DILUTION LIQUOR PUMP																			
18	411P017	CONDENSATE RETURN PUMP																			
19	411P018	CONTAMINATED CONDENSATE PUMP																			
20	411P019	HOTWATER PUMP #1																			
21	411P019.2	HOTWATER PUMP #2																			
22	411P020	DIGESTER DISCHARGE PUMP 1																			
23	411P021	DIGESTER DISCHARGE PUMP 2																			
24	411P022	ACID CLEANING PUMP																			
25	411P023	WHITE LIQUOR TOWL OXIDATION																			

รูปที่ 5.79 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยการผลิตต้มเยื่อ สำหรับปั๊มประเภทหอยโข่ง



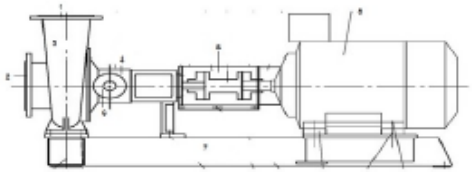
PLANT.....

DATE.....

CHECK BY.....

Item.	Pump No.	Equipment name	Bearing unit (4)						Condition coupling (5)		Mechanical or Static seal(6)		Motor (8)						Suction Unit		Condition bolts/guard (7)		Condition Discharge line/Valve (1)		Condition Suction line/Valve/Bellow (2)		Remark
			Impeller side			Coupling side							Drive side			Non drive side											
			mm/s	gE	Temp. C	mm/s	gE	Temp C	Normal	Deteriorate	Normal	Leakage	mm/s	gE	Temp. C	mm/s	gE	Temp C	Pressure, Bar	Clean	Normal	Loose	Normal	Leakage	Normal	Leakage	
1	421P001	O2 MC-PUMP																									
2	421P003	UNBLEACHED MC-PUMP																									
3	421P005	PRIMARY KNOTTER FEED PUMP																									
4	421P006	DEKNOTTING LIQUOR RETURN PUMP																									
5	421P007	BROWN STOCK WASH PRESS SHOWER PUMP																									
6	421P008	DEKNOTTING DILUTION PUMP																									
7	421P009	BLACK LIQUOR TRANSFER PUMP																									
8	421P010	PRIMARY SCREEN FEED PUMP																									
9	421P012	TERTIARY SCREEN FEED PUMP																									
10	421P013	REJECT FILTRATE TANK DISCHARGE PUMP																									
11	421P014	FILTRATE CLEANER FEED PUMP																									
12	421P015	SCREENING PIT DISCHARGE PUMP																									
13	421P016	PRE-O2 WASH PRESS SHOWER PUMP																									
14	421P017	SCREENING DILUTION PUMP																									
15	421P018	BROWN STOCK WASH LIQUOR PUMP																									
16	421P019	POST-O2 WASH PRESS FEED PUMP																									
17	421P020	POST-O2 WASH PRESS SHOWER PUMP																									
18	421P021	O2 DILUTION PUMP																									
19	421P022	PRE-O2 WASH LIQUOR PUMP																									
20	421P023	POST-O2 WASH LIQUOR PUMP																									
21	421P024	OXIDIZED WHITE LIQUOR PUMP																									
22	421P025	SCREENING FEED PUMP																									
23	421P026	SCREW PRESS FEED PUMP																									

รูปที่ 5.80 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยการฟอกเยื่อด้วยออกซิเจน สำหรับปั๊มประเภทหอยโข่ง



PLANT.....

DATE.....

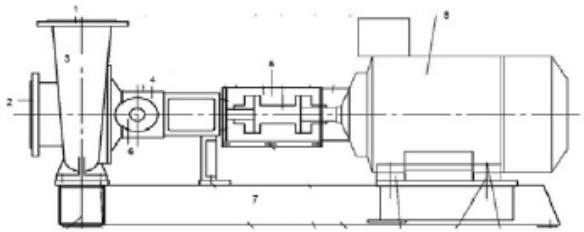
CHECK BY.....

Item	Pump No.	Equipment name	Bearing unit(4)						Condition coupling (5)		Mech.seal or Static seal(6)		Motor (8)						Safe Unit		Condition belt&guard (7)		Condition Discharge line/Valve (1)		Condition Suction line/Valve/Bellow (2)		Remark
			Impeller side			Coupling side			Normal	Deteriorate	Normal	Leakage	Drive side			Non drive side			Pressure, Bar	Clean	Normal	Loose	Normal	Leakage	Normal	Leakage	
			mm/s	gE	Temp.-C	mm/s	gE	Temp.-C					mm/s	gE	Temp.-C	mm/s	gE	Temp.-C									
1	431P001	D0 MC-PUMP																									
2	431P003	EOP MC-PUMP																									
3	431P005	D1 MC-PUMP																									
4	431P007	BLEACHED MC-PUMP																									
5	431P010	PRS-BLEACH WASH PRESS SHOWER PUMP																									
6	431P011	UN BLEACHED HD-TOWER DILUTION PUMP																									
7	431P012	D0 WASH PRESS FEED PUMP																									
8	431P013	DUMP TANK DISCHARGE PUMP																									
9	431P014	FILTRATE CLEANER FEED PUMP																									
10	431P015	D0 WASH PRESS SHOWER PUMP																									
11	431P016	D0 TOWER DILUTION PUMP																									
12	431P017	ACID PRESSATE PUMP																									
13	431P018	D0 PRE-DILUTION PUMP																									
14	431P019	EOP DEWATERING PRESS FEED PUMP																									
15	431P020	EOP TOWER DILUTION PUMP																									
16	431P021	EOP PRE-DILUTION PUMP																									
17	431P022	ALKALI PRESSATE PUMP																									
18	431P023	EOP DEWATERING PRESS SHOWER PUMP																									
19	431P024	D1 DEWATERING PRESS FEED PUMP																									
20	431P025	D1 TOWER DILUTION PUMP																									
21	431P026	D1 PRE-DILUTION PUMP																									
22	431P027	D1 DEWATERING PRESS SHOWER PUMP																									
23	431P028	COARSE SCREEN FEED PUMP																									
24	431P029	FIRST STAGE CLEANER FEED PUMP																									
25	431P030	SECOND STAGE CLEANER FEED PUMP																									
26	431P031	THIRD STAGE CLEANER FEED PUMP																									
27	431P032	FOURTH STAGE CLEANER FEED PUMP																									
28	431P033	FIFTH STAGE CLEANER FEED PUMP																									
29	431P034	CLEANING LO-TANK DILUTION PUMP																									
30	431P035	DECKER WIRE SHOWER PUMP																									

รูปที่ 5.81 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยการฟอกเยื่อด้วยสารเคมี สำหรับปั๊มประเภทหอยโข่ง

31	431/P036	DECKER WASH WATER PUMP																									
32	431/P037	BLEACHED HD-TOWER 1&2 DILUTION PUMP																									
33	431/P038	BLEACHED HD-TOWER 1 DISCHARGE PUMP																									
34	431/P039	BLEACHED HD-TOWER 2 DISCHARGE PUMP																									
35	431/P040	SCRUBBER CIRCULATION PUMP																									
36	431/P041	SEAL WATER PUMP 1																									
37	431/P042	SEAL WATER PUMP 2																									
38	431/P044	OXIDIZE WHITE LIQUOR TRANSFER PUMP																									

รูปที่ 5.81 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยการฟอกเยื่อด้วยสารเคมี สำหรับปั๊มประเภทหอยโข่ง (ต่อ)



PLANT.....

DATE.....

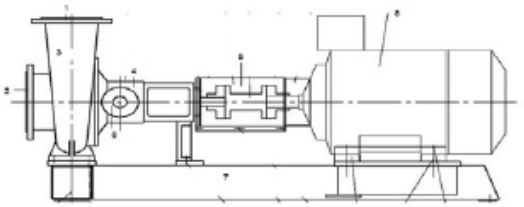
CHECK BY.....

Item.	Pump No.	Equipment name	Bearing unit (4)						Condition coupling (5)		Mech.seal or Static seal(6)		Motor (8)						Safe.Unit		Condition bolts/guard (7)		Condition Discharge line/Valve (1)		Condition Suction line/Valve/Bellow (2)		Remark
			Impeller side			Coupling side			Normal	Deteriorate	Normal	Leakage.	Drive side			Non drive side			Pressure, Bar	Clean	Normal	Loose	Normal	Leakage.	Normal	Leakage.	
			mm/s	gE	Temp. C	mm/s	gE	Temp. C					mm/s	gE	Temp. C	mm/s	gE	Temp. C									
1	601P001	CHILLED WATER PUMP																									
2	601P002	WARM WATER PUMP																									
3	601P003	COOLING WATER PUMP																									
4	601P004	EMERGENCY PUMP																									
5	602P001	PUMP,CHILLED WATER																									
6	602P002	PUMP, WARM WATER																									
7	602P003	PUMP, COOLING WATER																									
8	611P001	CHLORATE UNLOAD																									
9	611P002	CHLORATE FEED PUMP																									
10	611P003	CHLORATE FEED PUMP																									
11	611P004	ACID UNLOAD PUMP																									
12	611P005	ACID FEED PUMP # 1																									
13	611P006	ACID FEED PUMP # 2																									
14	611P007.1	ACID PUMP TO BLEACH #1																									
15	611P007.2	ACID PUMP TO BLEACH #2																									
16	611P008	METHANOL UNLOAD																									
17	611P009	METHANOL FEED PUMP																									
18	611P010	METHANOL FEED PUMP																									
19	611P011	NAOH UNLOAD PUMP																									
20	611P012	NAOH DILUTION PUMP																									
21	611P013	200GPL NAOH PUMP																									
22	621P001	CIRCULATION PUMP																									

รูปที่ 5.82 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยผลิตสารเคมี สำหรับปั๊มประเภทหอยโข่ง

22	621P001	CIRCULATION PUMP																								
23	621P002	FILTER FEED PUMP																								
24	621P003	DUMP PUMP																								
25	621P004	SALTCAKE SOLUTION																								
26	621P005	CONDENSATE PUMP																								
27	621P006	ClO2 SCRUBBER PUMP																								
28	621P007	ClO2 WATER PUMP																								
29	621P008	ClO2 TRANSFER PUMP																								
30	621P009	ClO2 TRANSFER PUMP																								
31	622P001	CIRCULATION PUMP																								
32	622P002	FILTER FEED PUMP.																								
33	622P003	DUMP PUMP																								
34	622P004	SALT CAKE SOLUTION																								
35	622P005	PUMP, CONDENSATE																								
36	622P006	SCRUBBER PUMP																								
37	622P007	PUMP, CLO2 WATER																								
38	622P008	CLO2 TRANFER PUMP																								
39	622P009	CLO2 TRANFER PUMP																								
40	622P010	PUMP SODIUM SULPHATE																								
41	623P4101	CHLORATE FEED PUMP																								
42	623P4107	CHILLER WATER PUMP																								
43	623P4108	CHILLER WATER PUMP																								
44	623P4114	CAUSTIC CIRCULATING																								
45	623P4124	ACID PUMP																								
46	623P4133	CONDENSATE PUMP																								
47	623P4134	CONDENSATE PUMP																								
48	623P4140	CIRCULATION PUMP																								
49	623P4141	GENERATO DUMP PUMP																								
50	623P4143	FILTER FEED PUMP																								
51	623P4145	SALTCAKE SOLUTION P																								
52	623P4146	CLO2 SOLUTION PUMP																								
53	623P4159	METHANOL FEED PUMP																								
54	628P4160	METHANOL FEED PUMP																								
55	-	COOLING PUMP 1																								
56	-	COOLING PUMP 2																								

รูปที่ 5.82 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยผลิตสารเคมี สำหรับปั๊มประเภทหอยโข่ง (ต่อ)



PLANT.....

.....

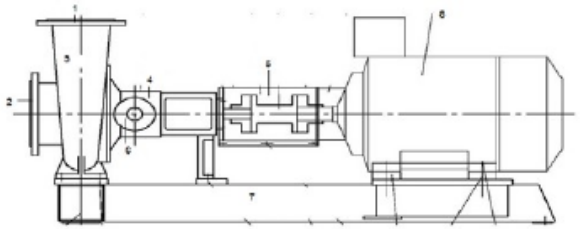
DATE.....

.....

CHECK

Item.	Pump No.	Equipment name	Bearing unit (4)						Condition coupling (5)		Mech.seal or Static seal(6)		Motor (8)						Safe.Unit		Condition bolt&guard (7)		Condition Discharge line/Valve (1)		Condition Suction line/Valve/Bellow (2)		Remark
			Impeller side			Coupling side			Normal	Deteriorate	Normal	Leakage.	Drive side			Non drive side			Pressure, Bar	Clean	Normal	Loose	Normal	Leakage.	Normal	Leakage.	
			mm/s	gE	Temp. C	mm/s	gE	Temp. C					mm/s	gE	Temp. C	mm/s	gE	Temp. C									
1	471P001	UNCLARIFIED GREEN LIQUOR PUMP																									
2	471P002	CLARIFIED GREEN LIQUOR PUMP																									
3	471P003	DREGS TRANSFER PUMP																									
4	471P004	DREGS FILTER FEED PUMP																									
5	471P005	DREGS FILTER FILTRATE PUMP																									
6	471P006	WHITE LIQUOR/LIME MUD PUMP																									
7	471P007	WEAK WASH LIQUOR/LIME MUD PUMP																									
8	471P008.1	WHITE LIQUOR PUMP																									
9	471P008.2	WHITE LIQUOR PUMP																									
10	471P009	LIME MUD TRANSFER PUMP																									
11	471P010	ACID PUMP																									
12	471P011	LIME MUD FILTER FEED PUMP																									
13	471P013	LIME MUD FILTER FILTRATE PUMP																									
14	471P014	WEAK WASH LIQUOR PUMP																									
15	471P015.1	HOT WATER BOOSTER PUMP																									
16	471P015.2	HOT WATER BOOSTER PUMP																									
17	471P017	DREGS TRANSFER PUMP 471T002 TO 471T003																									
18	471P020.1	PUMP DREGE TO LIME MUD																									
19	471P020.2	PUMP DREGE TO LIME MUD																									
20	471P101	UNCLARIFIED GREEN LIQUOR PUMP (NEW)																									
21	491P003	CIRCULATE PUMP																									

รูปที่ 5.83 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยผลิตโซดาไฟ สำหรับปั๊มประเภทหอยโข่ง



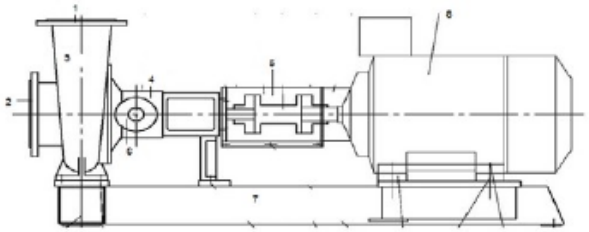
PLANT.....

DATE.....

CHECK BY.....

Item.	Pump No.	Equipment name	Bearing unit (4)						Condition coupling (5)		Mech.seal or Static seal(6)		Motor (8)						Safe.Unit		Condition bolts/guard (7)		Condition Discharge line/Valve (1)		Condition Suction line/Valve/Bellow (2)		Remark
			Impeller side			Coupling side			Normal	Deteriorate	Normal	Leakage.	Drive side			Non drive side			Pressure, Bar	Clean	Normal	Loose	Normal	Leakage.	Normal	Leakage.	
			mm/s	gE	Temp. C	mm/s	gE	Temp. C					mm/s	gE	Temp. C	mm/s	gE	Temp. C									
1	131P004	EQUALIZATION PUMP NO.1																									
2	131P005	EQUALIZATION PUMP NO.2																									
3	131P005.2	SUBMERSIBLE PUMP IN EMERGENCY																									
4	131P011	WASTE WATER PUMP FROM COOLING																									
5	131P012	WASTE WATER PUMP FROM COOLING																									
6	131P015	SLUDGE PUMP RETURN TO AEROBIC																									
7	131P016	SLUDGE PUMP RETURN TO AEROBIC																									
8	131P017	SLUDGE PUMP FROM SLUDBE STORAGE																									
9	131P020	SLUDGE PUMP FROM SLUDBE STORAGE																									
10	131P024	REJECT WATER PUMP TO MIXING TANK																									
11	131P027	SHARE LOAD PUMP TO ETP # 2 , 3																									
12	131P030	SHARE LOAD PUMP																									
13	141P001	FIRE FIGHTING PUMP PUMPING WATER FROM COOLING																									
14	141P003	FIRE FIGHTING PUMP CONTRINUOUSLY RUNNING																									
15	141P004	FIRE FIGHTING PUMP PUMPING WATER FROM A SERPERATE																									

รูปที่ 5.84 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยบำบัดน้ำเสีย สำหรับปั๊มประเภทหอยโข่ง



PLANT.....

.....

DATE.....

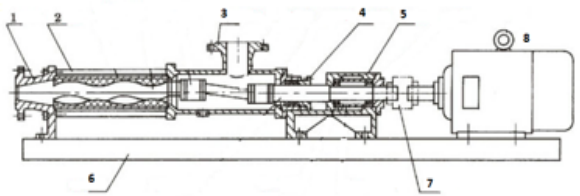
.....

CHECK

BY.....

Item.	Pump No.	Equipment name	Bearing unit (4)						Condition coupling (5)		Mech.seal or Static seal(6)		Motor (8)						Safe.Unit		Condition bolts/guard (7)		Condition Discharge line/Valve (1)		Condition Suction line/Valve/Bellow (2)		Remark
			Impeller side			Coupling side							Drive side			Non drive side											
			mm/s	gE	Temp. C	mm/s	gE	Temp. C	Normal	Deteriorate	Normal	Leakage.	mm/s	gE	Temp. C	mm/s	gE	Temp. C	Pressure, Bar	Clean	Normal	Loose	Normal	Leakage.	Normal	Leakage.	
1	271P003	ALSO4 SLURRY PUMP																									
2	271P006	CA(OH)2 CIRCALATION PUMP FROM 271E004 TO 271T011 1																									
3	271P007	CA(OH)2 CIRCALATION PUMP FROM 271E004 TO 271T011 2																									
4	271P008	CA(OH)2 SLURRY PUMP FROM 271E002 TO																									
5	271P009	EXCESS SLUDGE PUMP																									
6	271P015	POTABLE WATER DISTRIBUTION PUMPS 1																									
7	271P016	POTABLE WATER DISTRIBUTION PUMPS 2																									
8	271P017	DIRTY BACK WASH WATER RECOVERY PUMP																									
9	271P019	BACK WASH WATER PUMP																									
10	271P401	MILL WATER PUMP NO.1																									
11	271P402	MILL WATER PUMP NO.2																									
12	271P403	PUMP MILL WATER																									

รูปที่ 5.85 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยผลิตน้ำดิบ สำหรับปั๊มประเภทหอยโข่ง



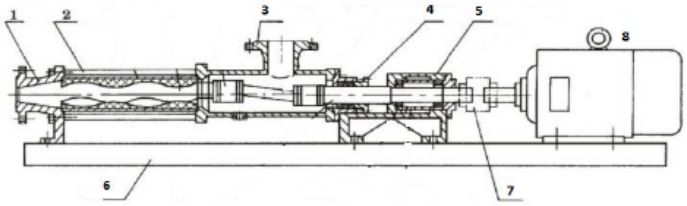
PLANT.....

DATE.....

CHECK BY.....

Item.	Pump No.	Equipment name	Bearing unit (5)						ondition coupling (		Packing seal (4)		Motor(8)						Condition all of bolts (2,6)		Condition Discharge line/Valve (1)		Condition Suction line/Valve/Bellow		Remark
			Rotor side			Coupling side			Normal	Deteriorat	Normal	Leakage.	Drive side			Non drive side			Normal	Loose	Normal	Leakage	Normal	Leakage.	
			mm/s	gE	Temp. °C	mm/s	gE	Temp °C					mm/s	gE	Temp. °C	mm/s	gE	Temp °C							
1	261P001.1	TRANFER PUMP FROM USE OIL TANK TO HEAT EXCHANGER 1																							
2	261P001.2	TRANFER PUMP FROM USE OIL TANK TO HEAT EXCHANGER 2																							
3	261P002.1	TRANFER PUMP FROM HEAT EXCHANGER TO SEPARATOR 1																							
4	261P002.2	TRANFER PUMP FROM HEAT EXCHANGER TO SEPARATOR 2																							
5	261P003.1	TRANFER PUMP FROM USE OIL TANK TO DECANTOR 1																							
6	261P003.2	TRANFER PUMP FROM USE OIL TANK TO DECANTOR 2																							
7	261P005.1	TRANFER PUMP FROM USE OIL TANK TO LIME KILN 1																							
8	261P005.2	TRANFER PUMP FROM USE OIL TANK TO LIME KILN 2																							
9	261P005.3	TRANFER PUMP FROM USE OIL TANK TO LIME KILN 3																							

รูปที่ 5.86 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยผลิตน้ำมัน สำหรับปั๊มประเภทสกรู



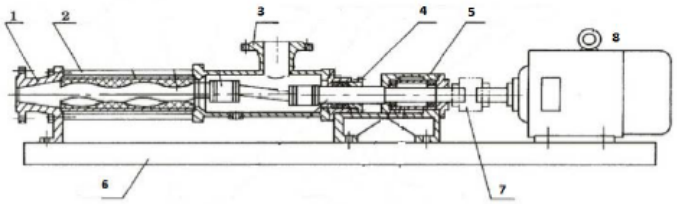
PLANT.....

DATE.....

CHECK BY.....

Item.	Pump No.	Equipment name	Bearing unit (5)						Condition coupling (7)		Packing seal (4)		Motor(8)						Condition all of bolts (2,6)		Condition Discharge line/Valve (1)		Condition Suction line/Valve/Bellow (3)		Remark
			Rotor side			Coupling side							Drive side			Non drive side									
			mm/s	gE	Temp. °C	mm/s	gE	Temp °C	Normal	Deteriorate	Normal	Leakage.	mm/s	gE	Temp. °C	mm/s	gE	Temp °C	Normal	Loose	Normal	Leakage.	Normal	Leakage.	
1	131P002.1	SLUDGE PUMP TO SLUDGE STORAGE 1																							
2	131P002.2	SLUDGE PUMP TO SLUDGE STORAGE 2																							
3	131P031	SLUDGE STORAGE TO FILTER PRESS																							

รูปที่ 5.87 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยบำบัดน้ำเสีย สำหรับปั๊มประเภทสกรู



PLANT.....

DATE.....

CHECK BY.....

Item.	Pump No.	Equipment name	Bearing unit (5)						Condition coupling (7)		Packing seal (4)		Motor(8)						Condition all of bolts (2,6)		Condition Discharge line/Valve (1)		Condition Suction line/Valve/Bellow (3)		Remark
			Rotor side			Coupling side							Drive side			Non drive side									
			mm/s	gE	Temp. °C	mm/s	gE	Temp °C	Normal	Deteriorate	Normal	Leakage.	mm/s	gE	Temp. °C	mm/s	gE	Temp °C	Normal	Loose	Normal	Leakage.	Normal	Leakage.	
1	271P004	ALSO4 DOSING PUMP FROM 271T003 TO 271T011																							
2	271P005	ALSO4 SPARE DOSING PUMP FROM 271T003 TO 271T01																							

รูปที่ 5.88 ตารางการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ทำเป็นประจำของหน่วยผลิตน้ำดิบ สำหรับปั๊มประเภทสกรู

ทั้งนี้ในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ต้องทำขณะปั๊มทำงาน ยังมีเพิ่มเติมในส่วนของการเติมและเปลี่ยนถ่ายสารหล่อลื่น สามารถแบ่งชนิดของสารหล่อลื่นได้ 2 ชนิดคือ น้ำมันและจารบี ซึ่งจะมีรอบระยะเวลาในการทำทุก 1 เดือนตามคำแนะนำของผู้ผลิต โดยรายละเอียดดังนี้

(1) การตรวจสอบระดับน้ำมัน

- ทำการเติมสารหล่อลื่นเมื่อระดับน้ำมันอยู่ต่ำกว่ากึ่งกลางของ Sight glass
- ทำการเปลี่ยนน้ำมันทันทีเมื่อสีของน้ำมันมีการเปลี่ยนไป ก่อนการเติมน้ำมันใหม่ลงไป ควรทำการล้างห้องน้ำมันให้สะอาดเสียก่อน เกรดของน้ำมันที่ใช้ คือ ISO VG 46

(2) อัดจารบีในตำแหน่ง Bearing Unit และ Motor โดยใช้เกรดของจารบี ดังนี้

- Shell Alvania EP2
- SKF LGMT-2
- Esso Beacon-2
- Mobil Mobilith AW-2

โดยปริมาณในการอัดจารบีขึ้นอยู่กับขนาดของ Bearing unit และใช้กระบอกอัดจารบีขนาด 2.5 นิ้ว และยาว 12 นิ้ว จะต้องใช้ปริมาณดังนี้

- Bearing Unit #1 = 3 Stroke /point
- Bearing Unit #2 = 3 Stroke /point
- Bearing Unit #3 = 5 Stroke /point
- Bearing Unit #4 = 5 Stroke /point
- Bearing Unit #5 = 7 Stroke /point
- Bearing Unit #6 = 9 Stroke /point

5.2.2 การบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ต้องทำขณะปั๊มหยุดทำงาน

ในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ต้องทำขณะปั๊มหยุดทำงานนั้น จะสามารถทำได้ในช่วงที่หน่วยการผลิตมีการวางแผนหยุด โดยปกติจะทำการหยุดเพื่อบำรุงรักษาทุกๆ 3 เดือน ทั้งนี้จึงได้ทำการกำหนดแผนให้เหมาะสมกับ โดยมีรายละเอียดงานของทั้ง 3 แผนดังนี้

ตารางที่ 5.10 รายละเอียดการบำรุงรักษาเชิงป้องกันที่ต้องทำขณะปั๊มหยุดทำงาน

ระยะเวลาในการตรวจเช็ค	รายละเอียดในการตรวจเช็ค
ปั๊มประเภทหอยโข่ง	
ทุก 3 เดือน	1.ทำการตรวจสอบ alignment ของปั๊ม
ทุก 12 เดือน	1.ทำการตรวจสอบ alignment ของปั๊ม 2.ตรวจสอบค่า axial and radial play ของ bearing โดยค่าปกติอยู่ที่ 0.01 mm. - เปลี่ยน Bearing ใหม่ ถ้าพบว่าค่าที่วัดได้เกินค่าปกติ - ทำการซ่อมแซม Housing bearing เมื่อพบว่ามีการสึกหรอทำให้ไม่สามารถประกอบ Bearing ได้ 3.ตรวจสอบการสึกหรอของ Housing pump ในตำแหน่ง Side plate หรือ Wearing ถ้ามีการสึกหรอมากจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของปั๊ม
ปั๊มประเภทสกรู	
ทุก 12 เดือน	1.ตรวจสอบการสึกหรอของ Stator และ Rotor 2.กำจัดคราบสนิมภายนอกและทำสีของปั๊มใหม่เพื่อป้องกันการกัดกร่อน 3.เช็คระบบ Power supply electrical duct

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

5.3 สรุปการนำการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขมาประยุกต์ใช้

ในการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข ได้มีการนำ FTA มาช่วยในการวิเคราะห์และวินิจฉัยปัญหาที่เกิดขึ้นกับปั๊ม พร้อมทั้งเมื่อทราบปัญหาที่แท้จริงแล้วจะทำให้สามารถตรวจสอบและแก้ไขได้อย่างถูกต้อง ปัญหาความเสียหายที่พบเจอในปั๊มจะถูกรวบรวมมาจากหนังสือคู่มือและจากประสบการณ์บำรุงรักษาของช่างผู้ชำนาญ เมื่อปัญหาของปั๊มประเภทหอยโข่งและประเภทสกรูถูกรวบรวมแล้ว จะนำสาเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาทั้งหมดมาจัดกลุ่ม เนื่องจากปัญหาแต่ละปัญหาล้วนเกิดได้จากหลายสาเหตุ ทำให้ต้องมีการวินิจฉัยเพื่อหาสาเหตุที่ถูกต้องก่อนมีการบำรุงรักษา ซึ่งสามารถจัดกลุ่มของสาเหตุได้ทั้งหมด 3 กลุ่มคือ

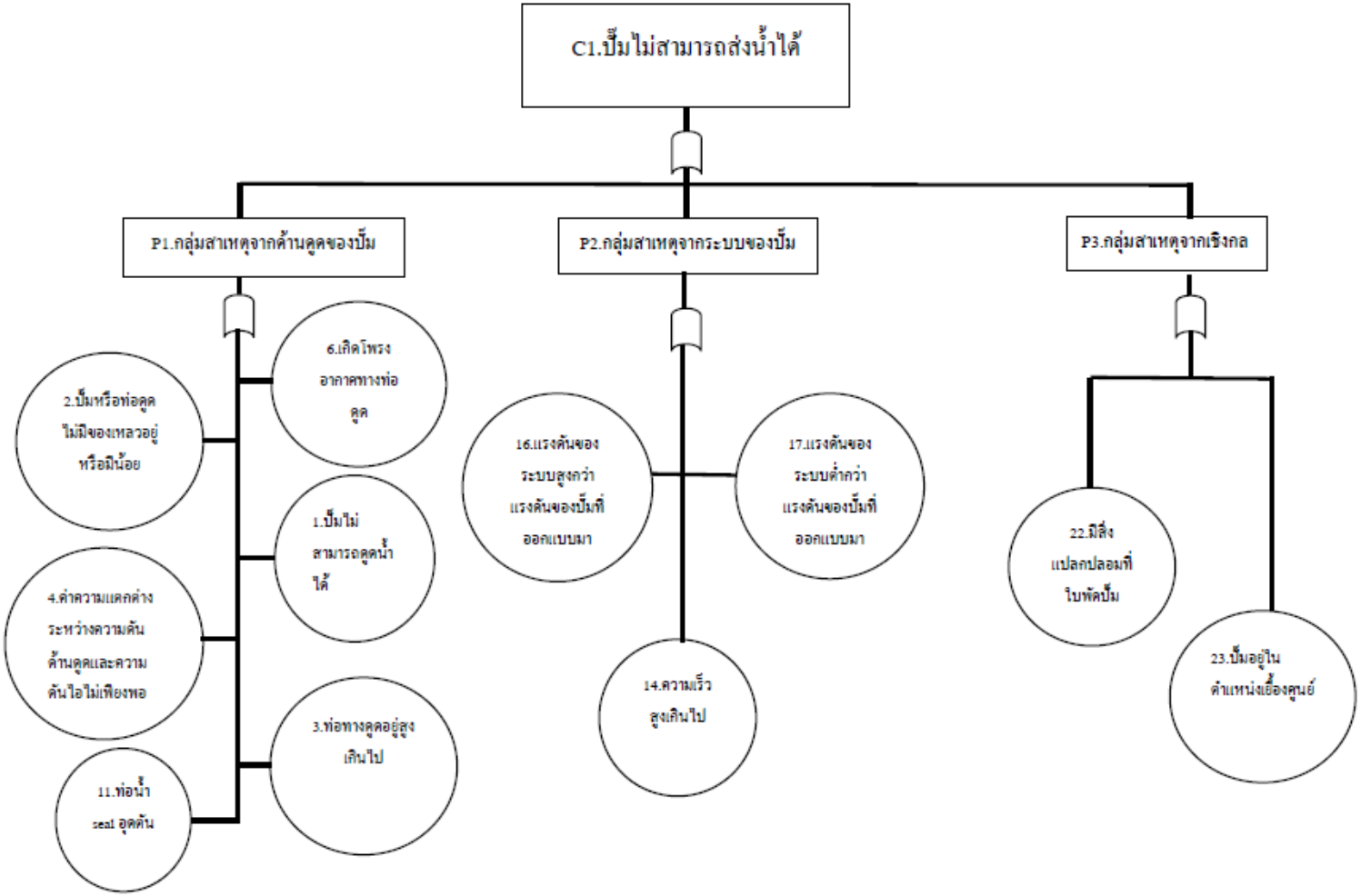
1.กลุ่มสาเหตุจากด้านดูดของปั๊ม (P1)

2.กลุ่มสาเหตุจากระบบของปั๊ม (P2)

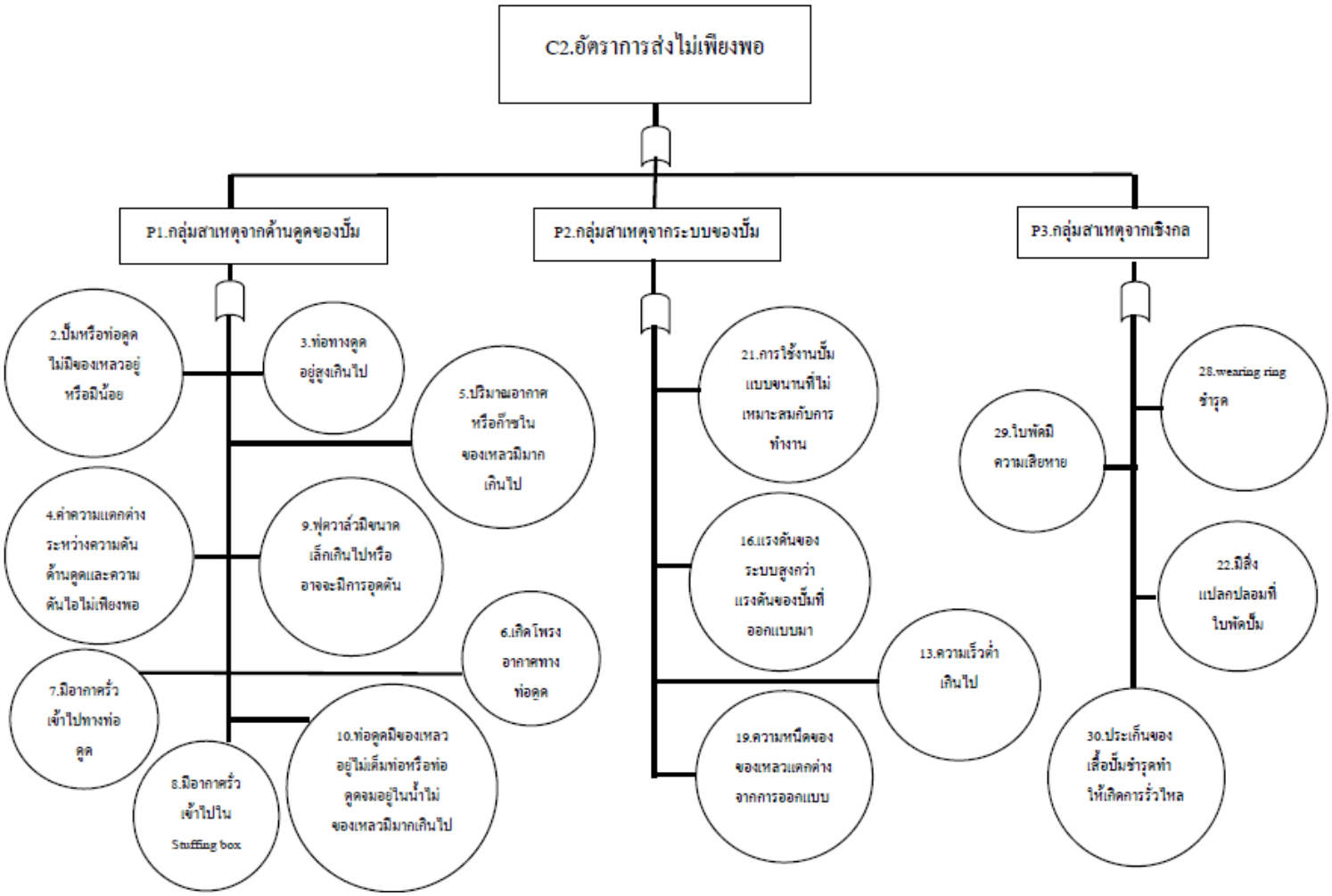
3.กลุ่มสาเหตุจากเชิงกล (P3)

จากนั้นจึงนำปัญหามาจัดทำแผนภูมิโครงสร้าง โดยเริ่มจากการเลือกปัญหาตั้งต้นก่อนและพิจารณาสาเหตุที่จะสามารถทำให้เกิดปัญหาตั้งต้นนั้นได้ ดังตัวอย่างในรูปที่ 5.3 และ 5.4 ซึ่งเป็นการทำแผนภูมิโครงสร้างของปั๊มหอยโข่งและปั๊มสกรูตามลำดับ โดยในตัวอย่างรูปที่ 5.3 ได้นำปัญหาของปั๊มไม่สามารถส่งน้ำได้ มาเป็นปัญหาตั้งต้น ซึ่งสาเหตุของปั๊มที่ไม่สามารถส่งน้ำได้นั้น เกิดได้จากกลุ่มสาเหตุของปัญหาทั้ง 3 กลุ่มซึ่งเมื่อนับจำนวนสาเหตุพบว่ามีทั้งหมด 11 สาเหตุที่เป็นไปได้ ซึ่งแต่ละสาเหตุจะมีวิธีการแก้ไขปัญหาที่แตกต่างกันออกไป ดังนั้นจึงควรที่จะตรวจสอบในเบื้องต้นว่าปัญหาที่เกิดขึ้นนั้นมาจากกลุ่มสาเหตุใด เพราะจะทำให้ง่ายต่อการวินิจฉัยและแก้ปัญหา เช่นเดียวกันกับตัวอย่างรูปที่ 5.4 ได้นำปัญหาปั๊มสตาร์ทไม่ติด ซึ่งเกิดจาก 2 กลุ่มสาเหตุ และ 11 สาเหตุของปัญหาที่เป็นไปได้

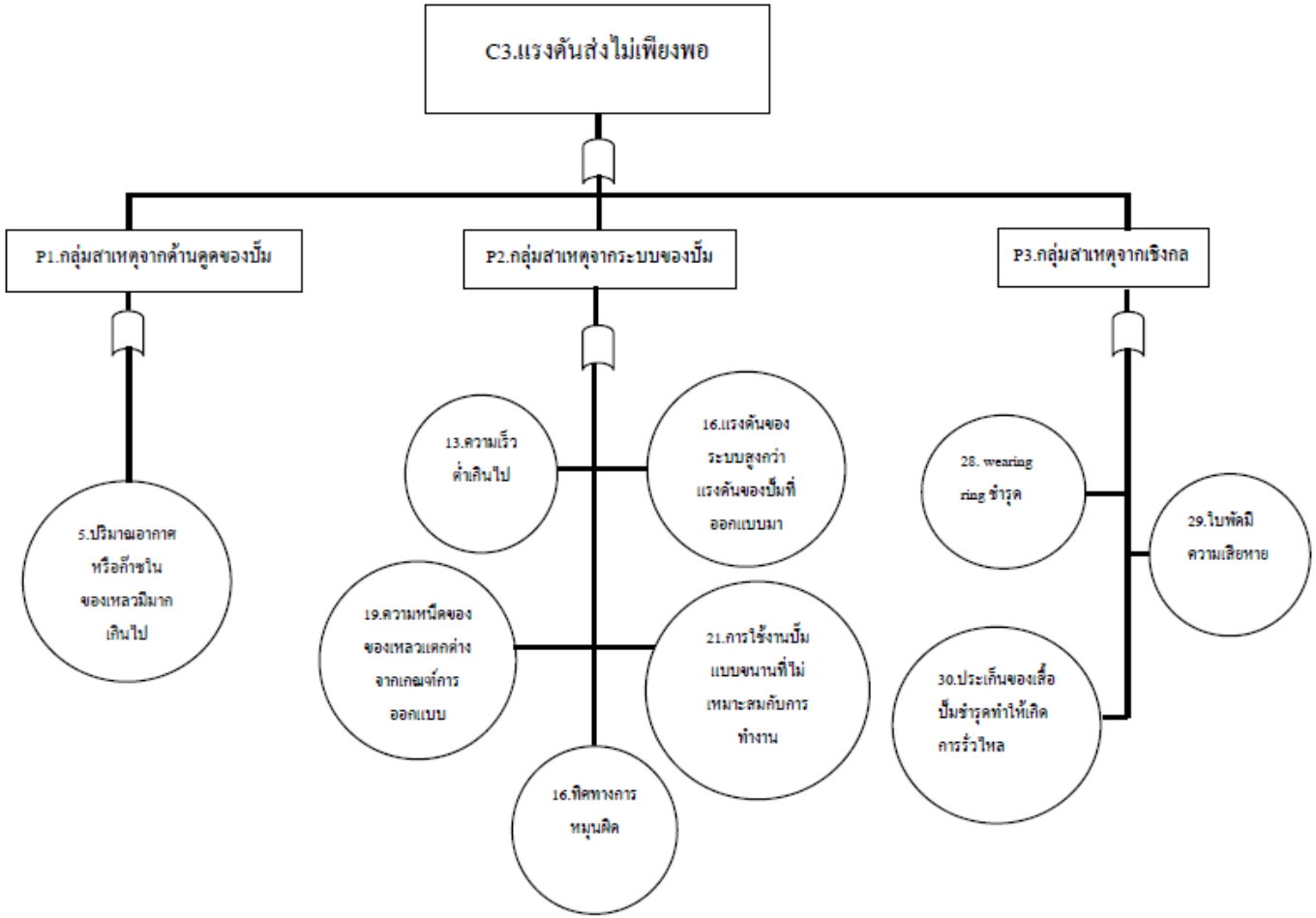
Chulalongkorn University



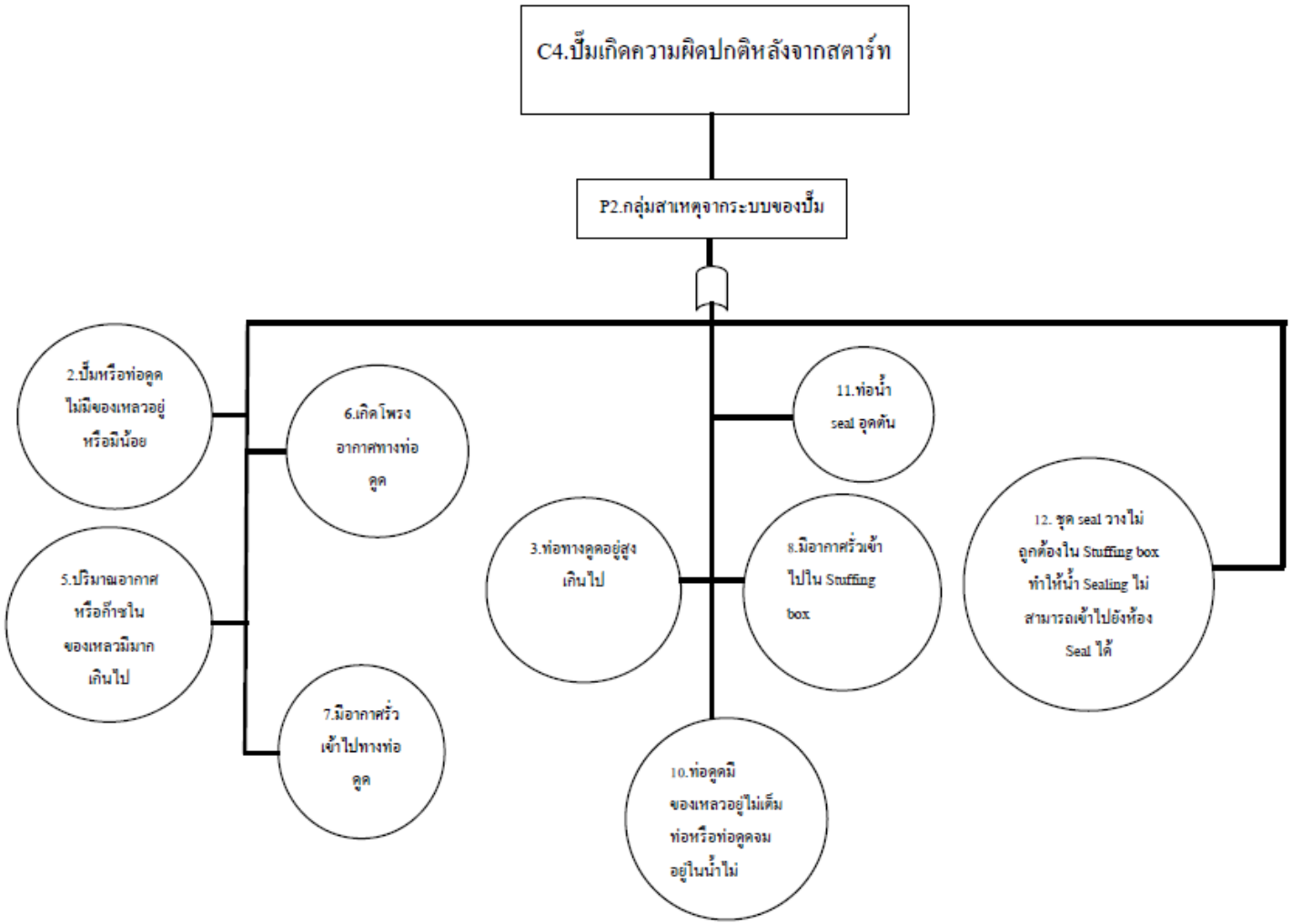
รูปที่ 5.89 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาปั๊มไม่สามารถส่งน้ำได้



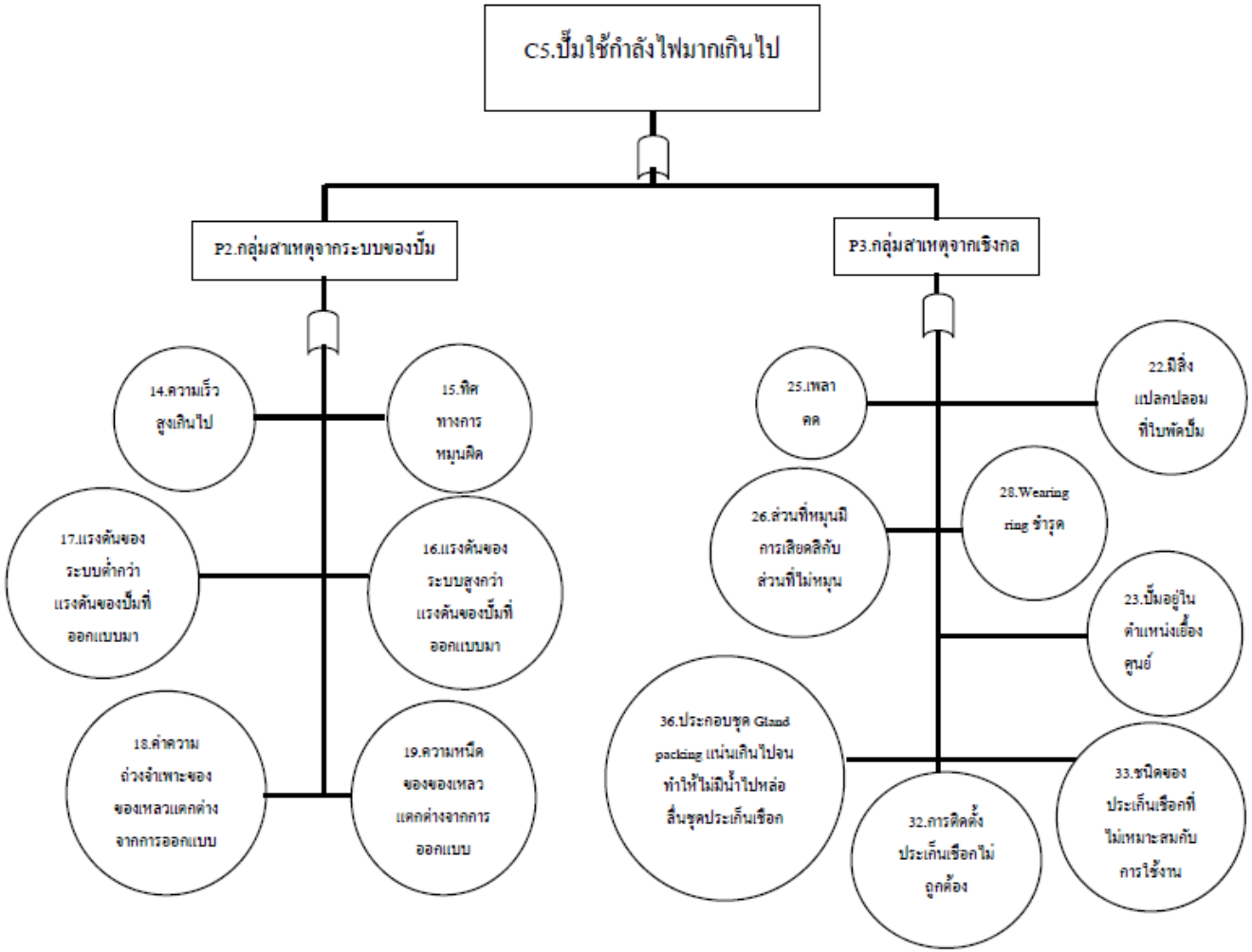
รูปที่ 5.90 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาอัตราการส่งไม่เพียงพอ



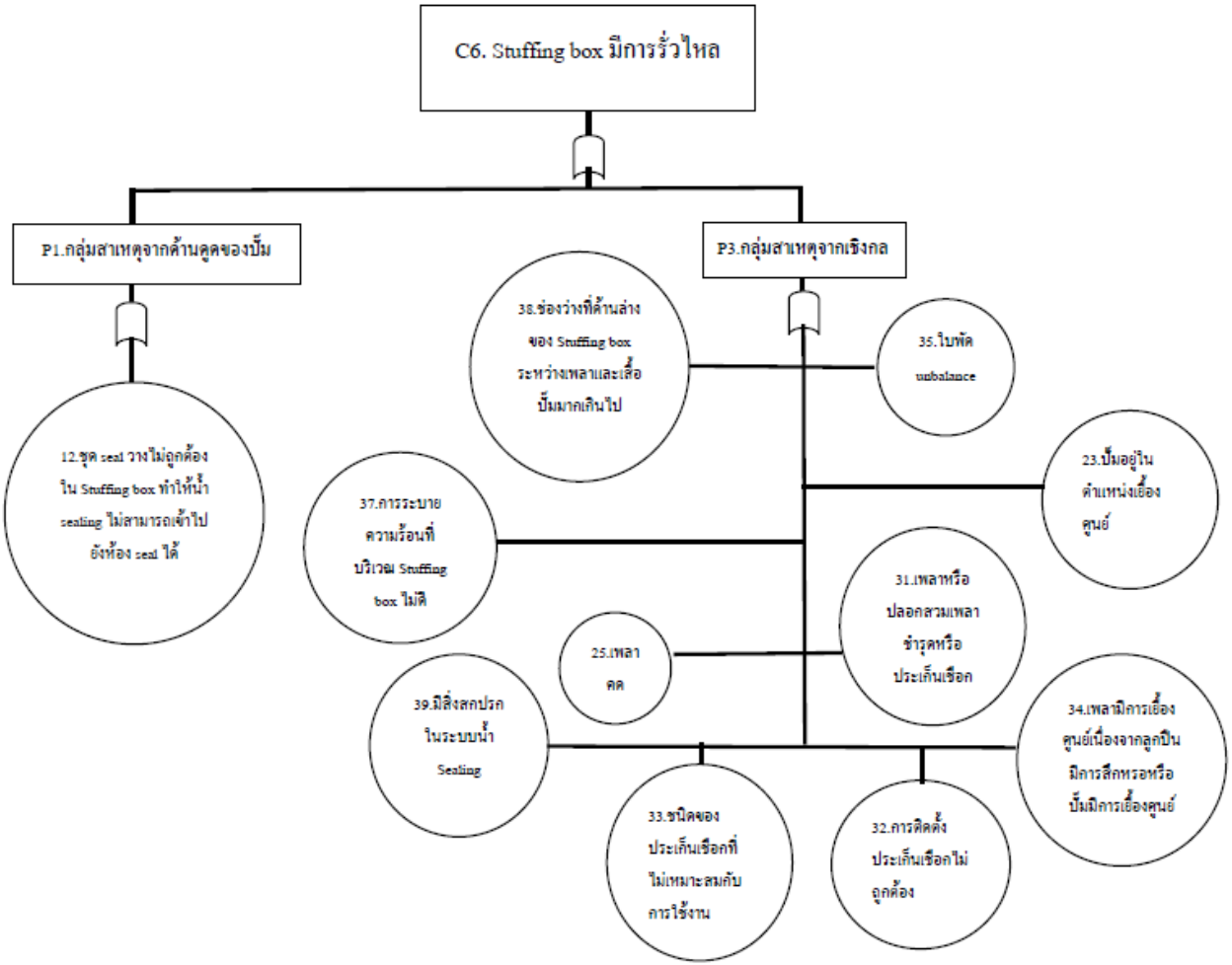
รูปที่ 5.91 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาแรงดันส่งไม่เพียงพอ



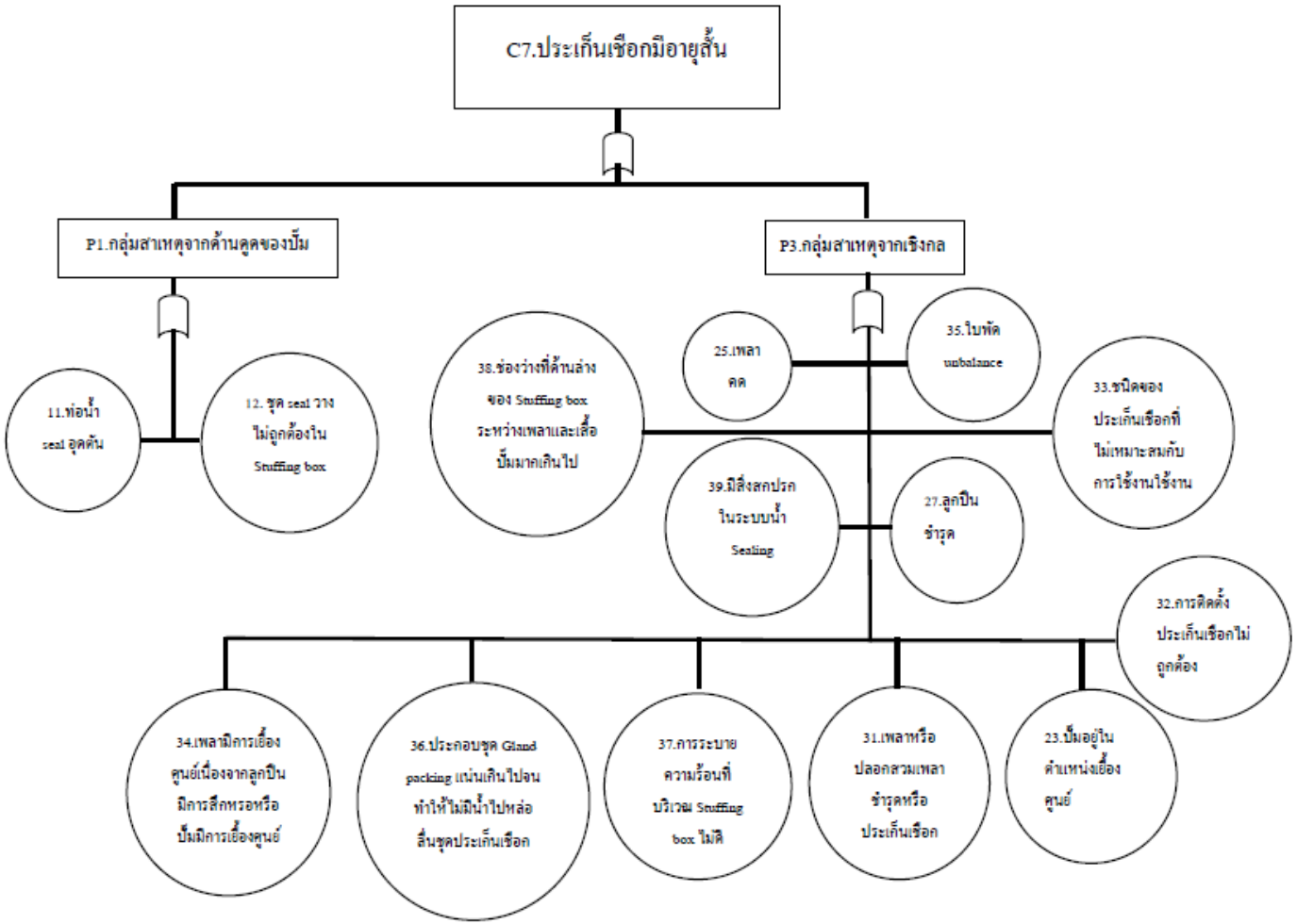
รูปที่ 5.92 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาปั๊มเกิดความผิดปกติหลังจากสตาร์ท



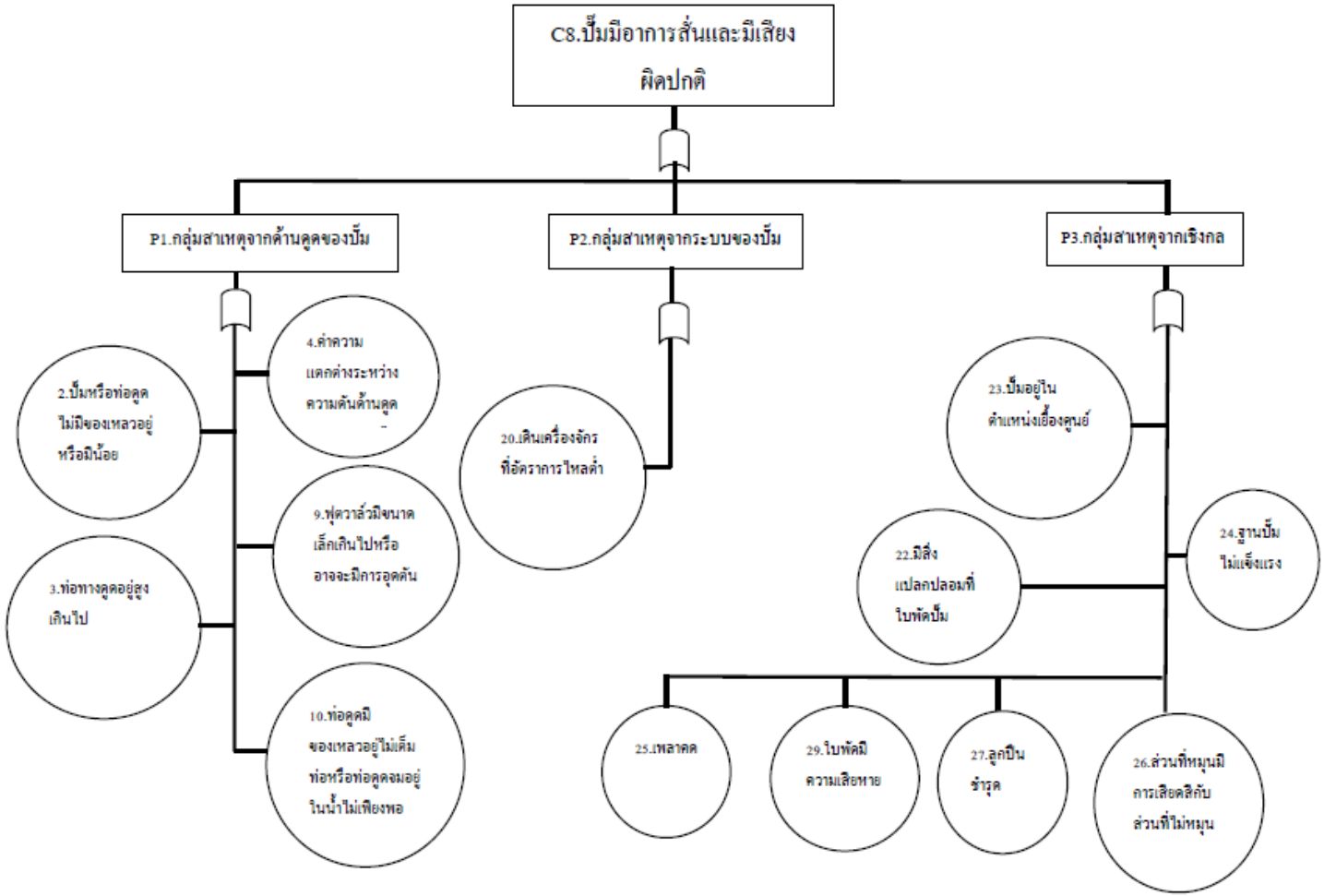
รูปที่ 5.93 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาปั๊มใช้กำลังไฟมากเกินไป



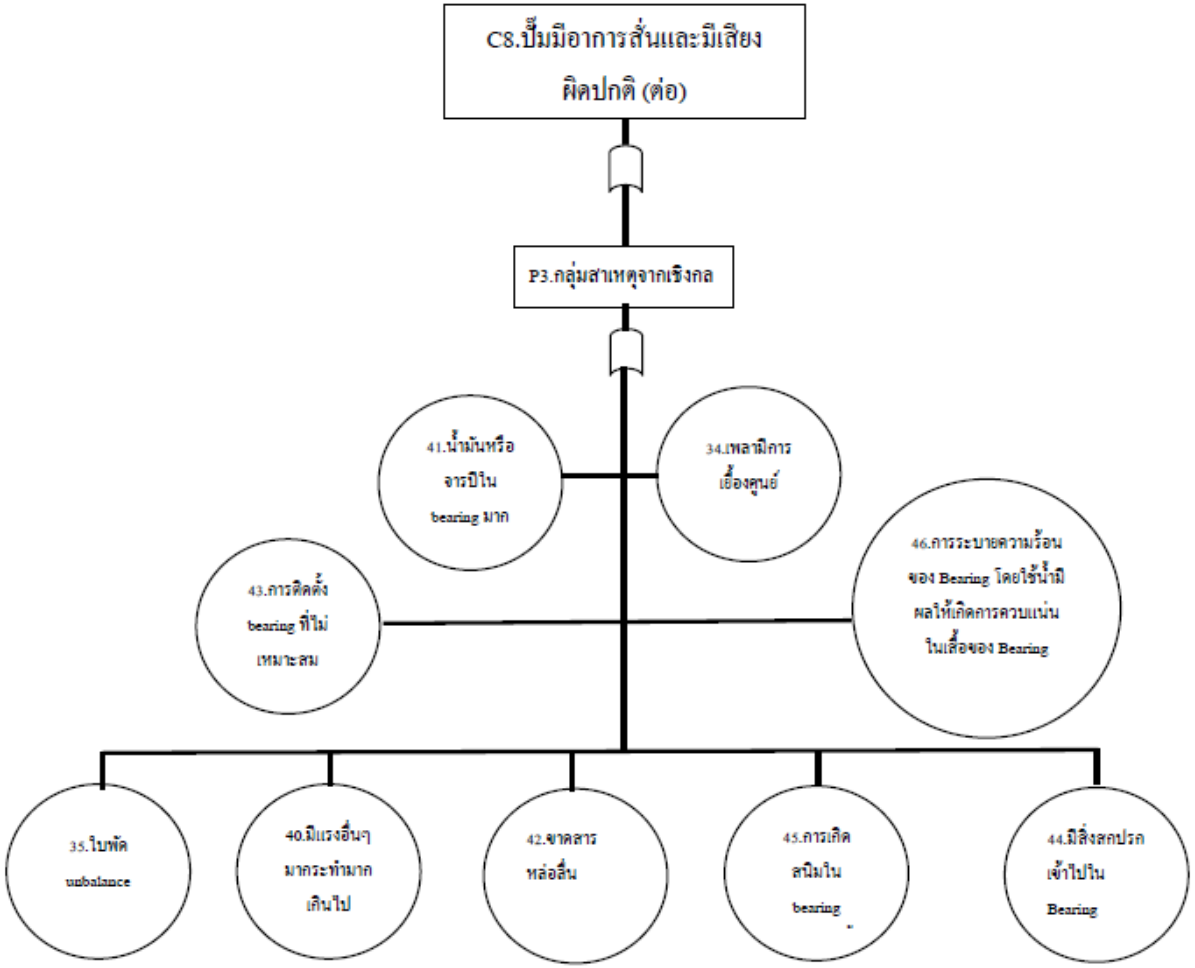
รูปที่ 5.93 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาStuffing box มีการ



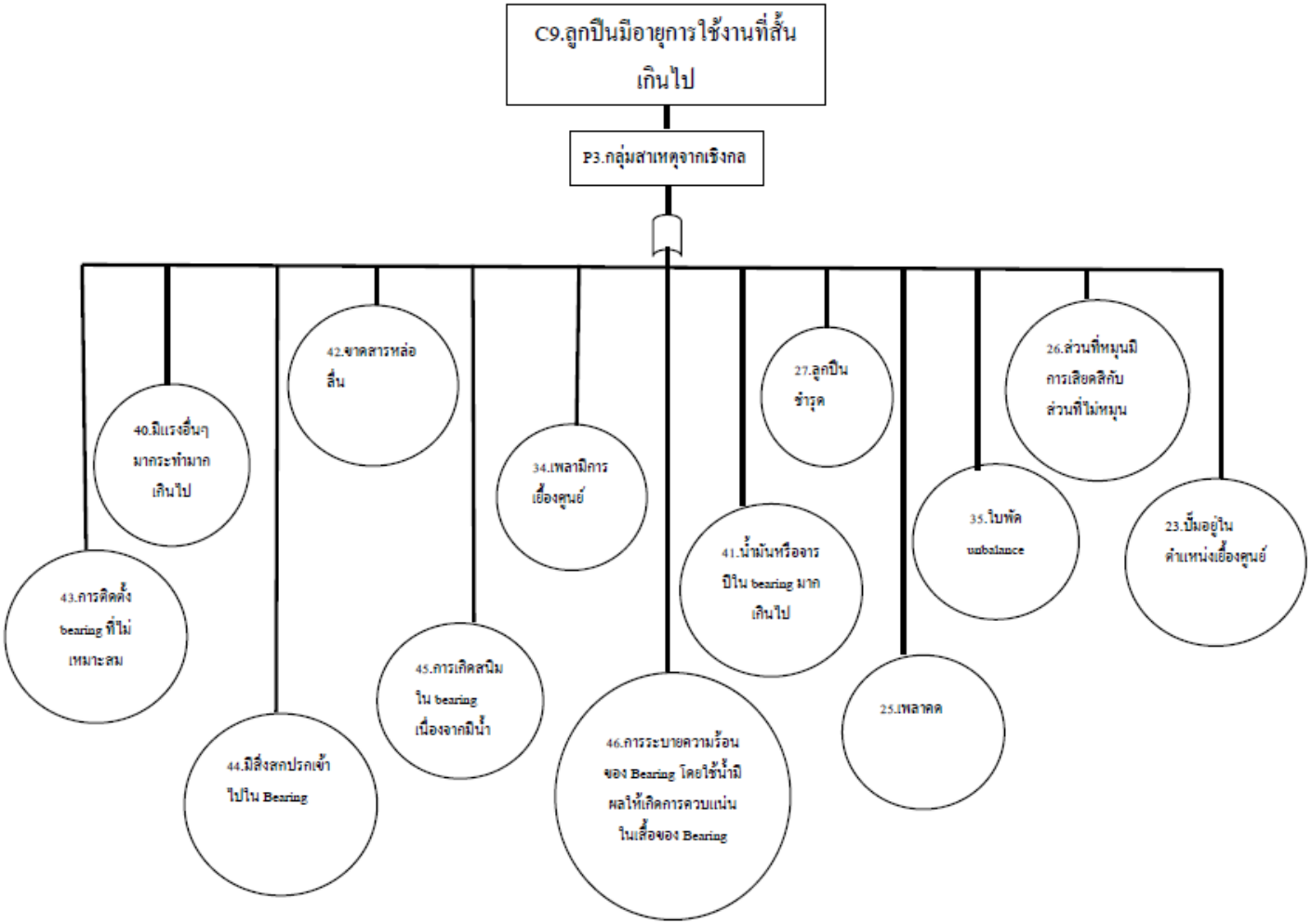
รูปที่ 5.94 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาประเก็นเชือกมีอายุสั้น



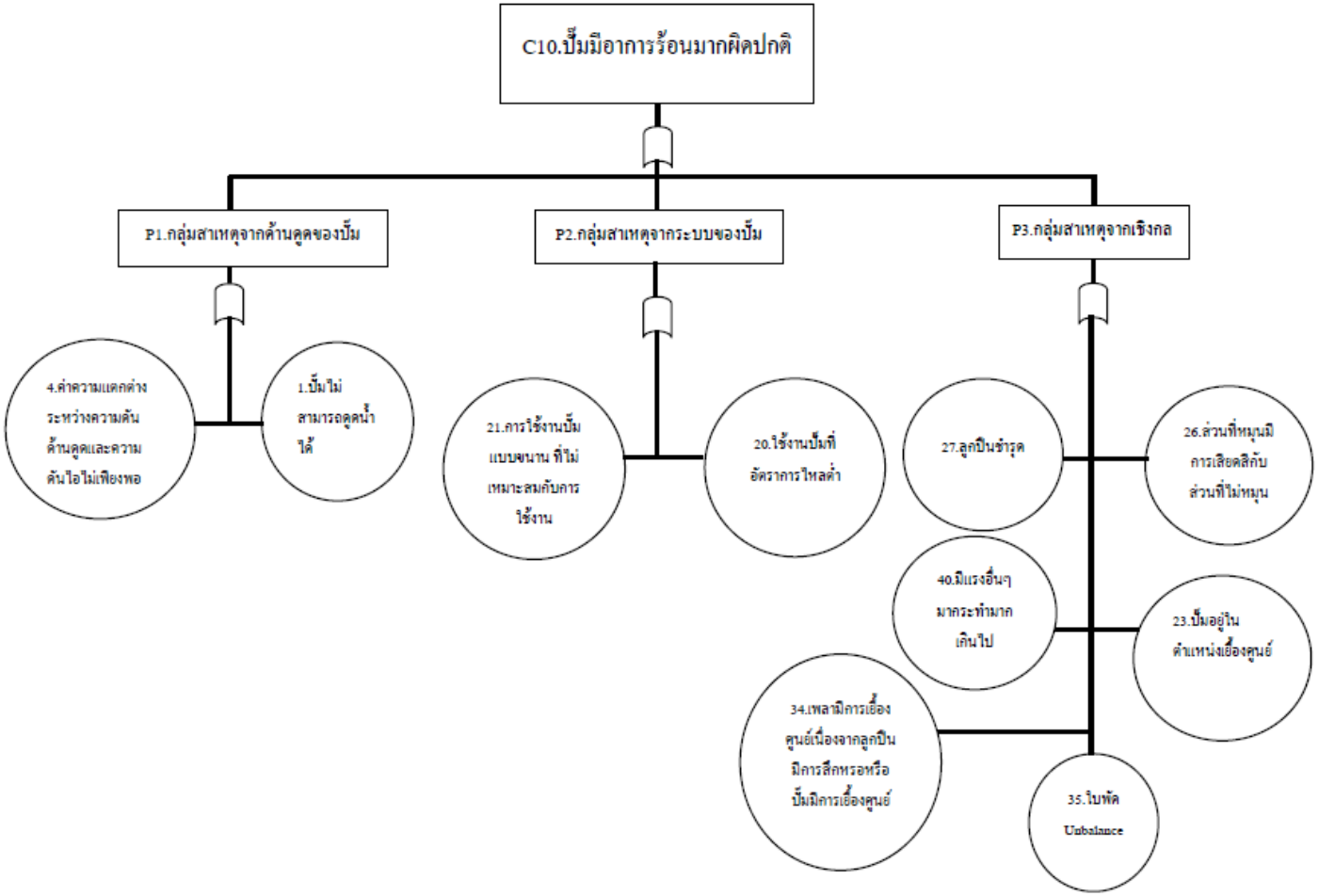
รูปที่ 5.95 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาปั๊มมีอาการสั่นและมีเสียงผิดปกติ



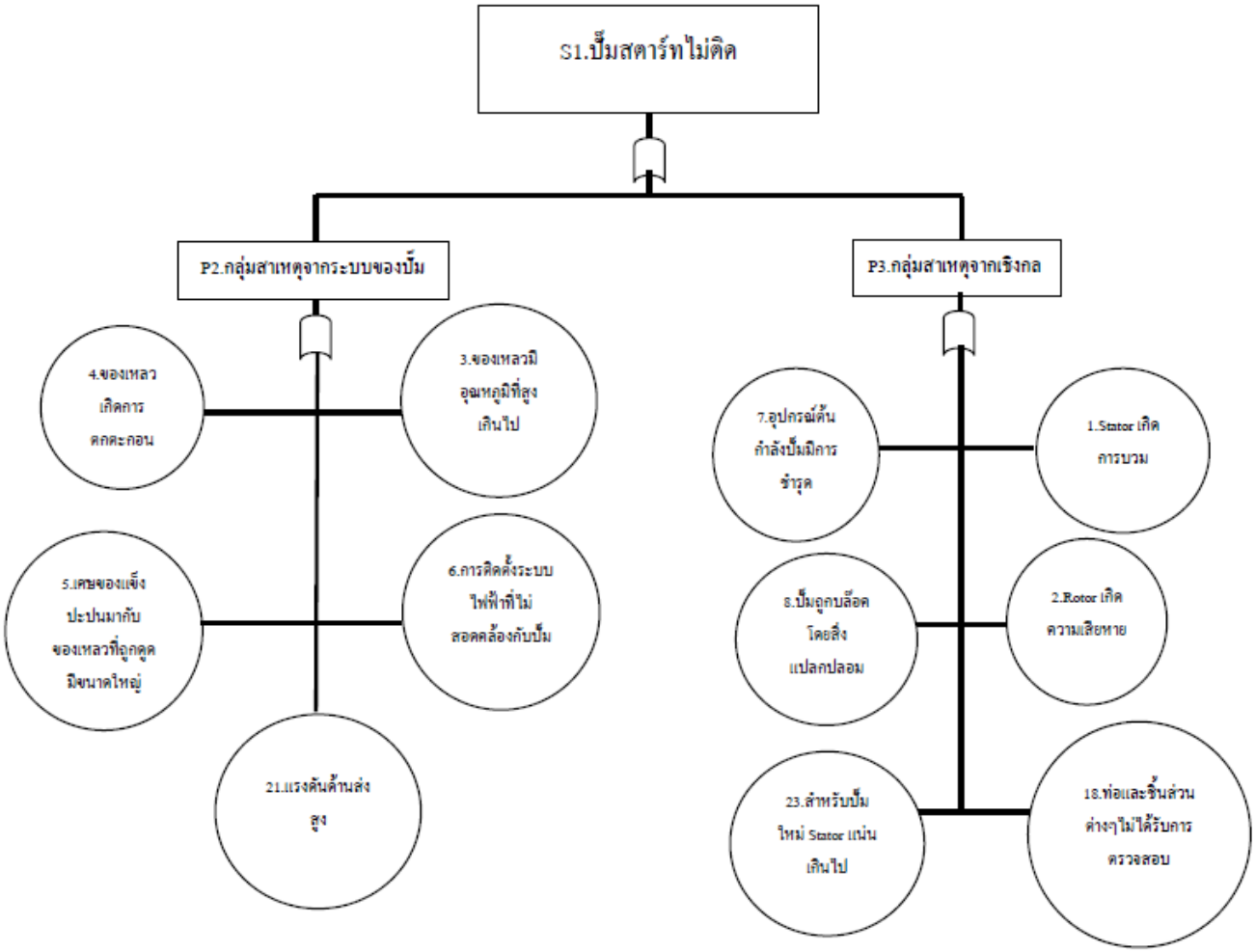
รูปที่ 5.96 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาปั๊มมีอาการสั่นและมีเสียงผิดปกติ (ต่อ)



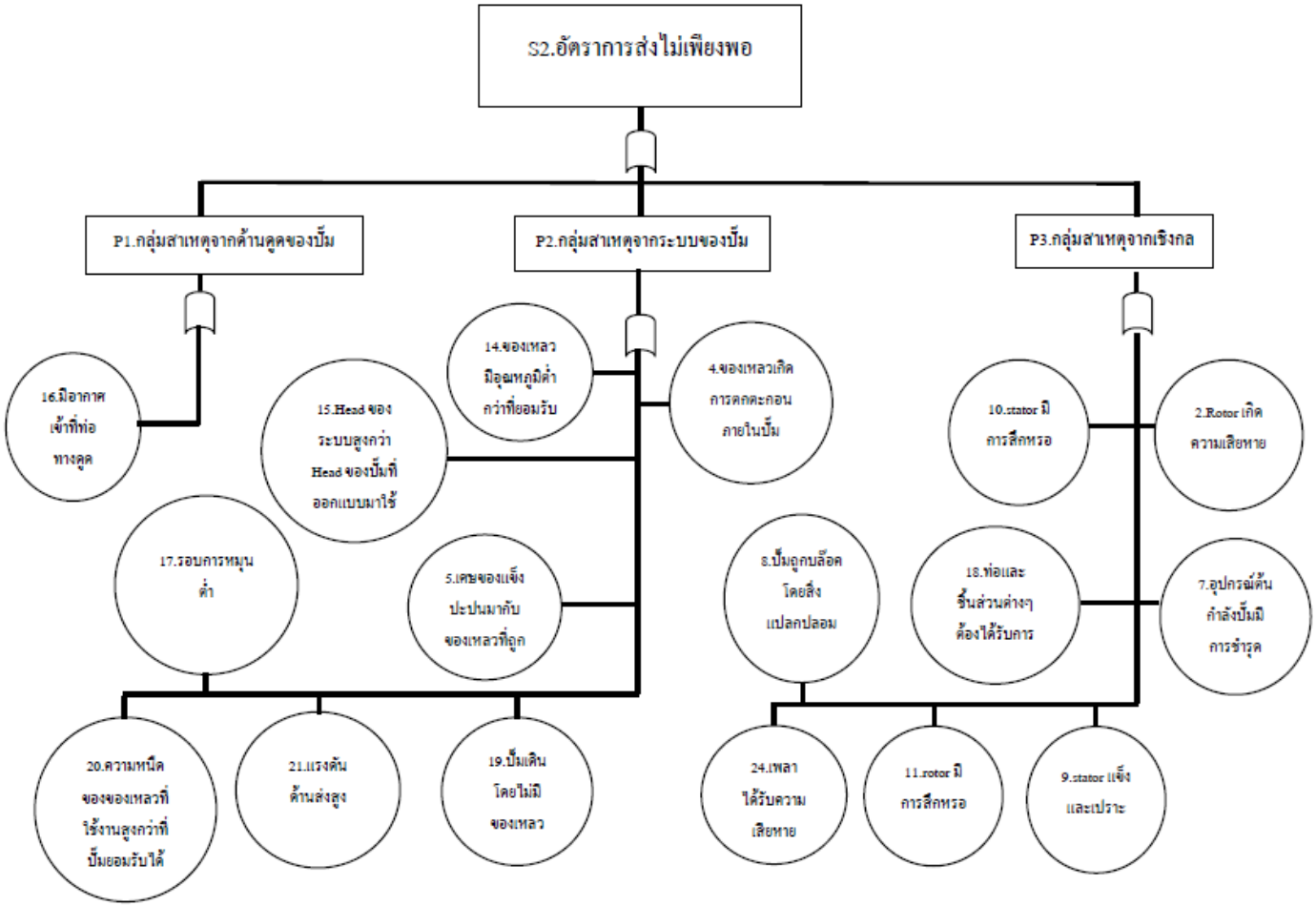
รูปที่ 5.97 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาลูกปืนมีอายุการใช้งานสั้น



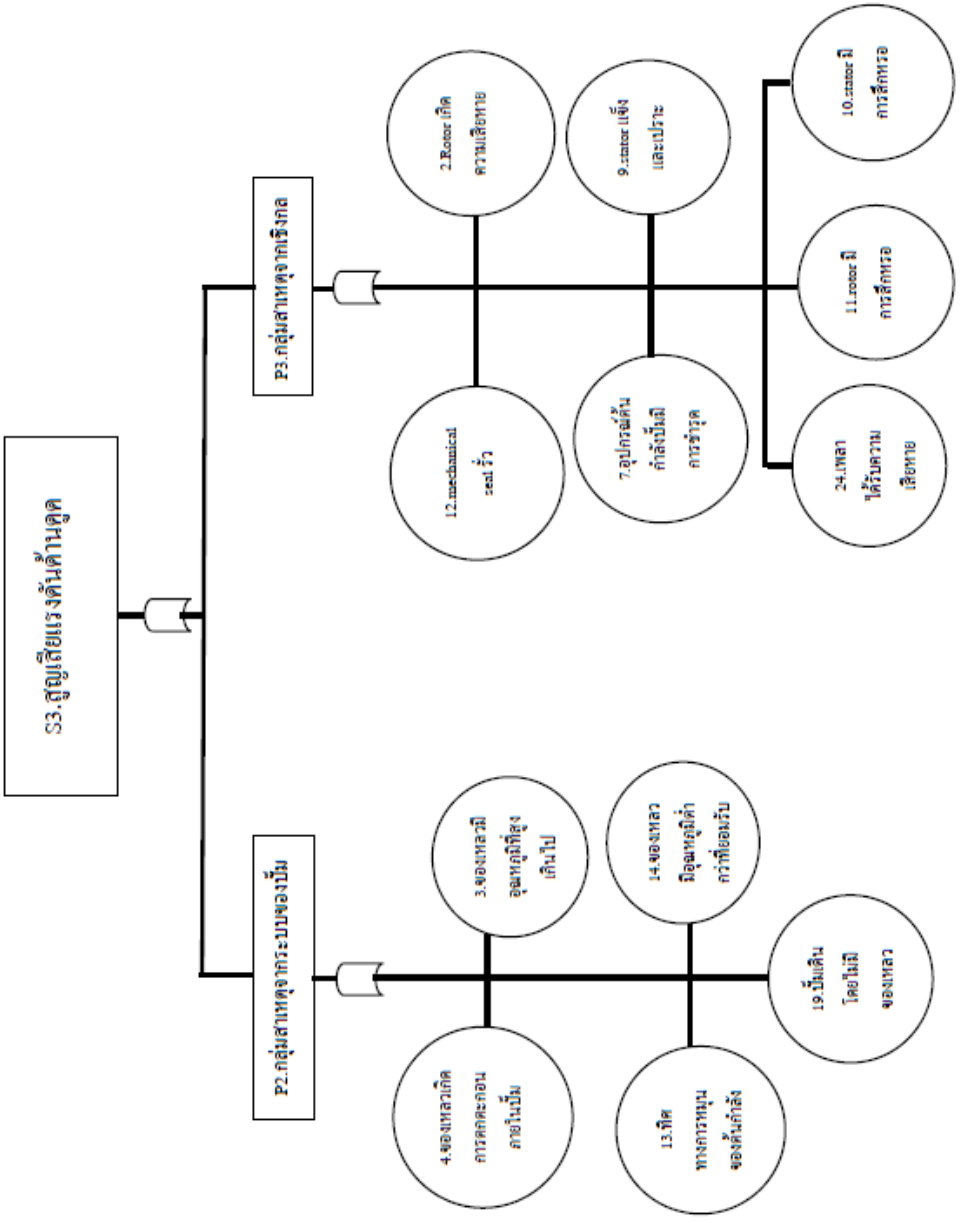
รูปที่ 5.98 FTA ของปั๊มประเภทหอยโข่ง ปัญหาปั๊มมีอาการร้อนมากผิดปกติ



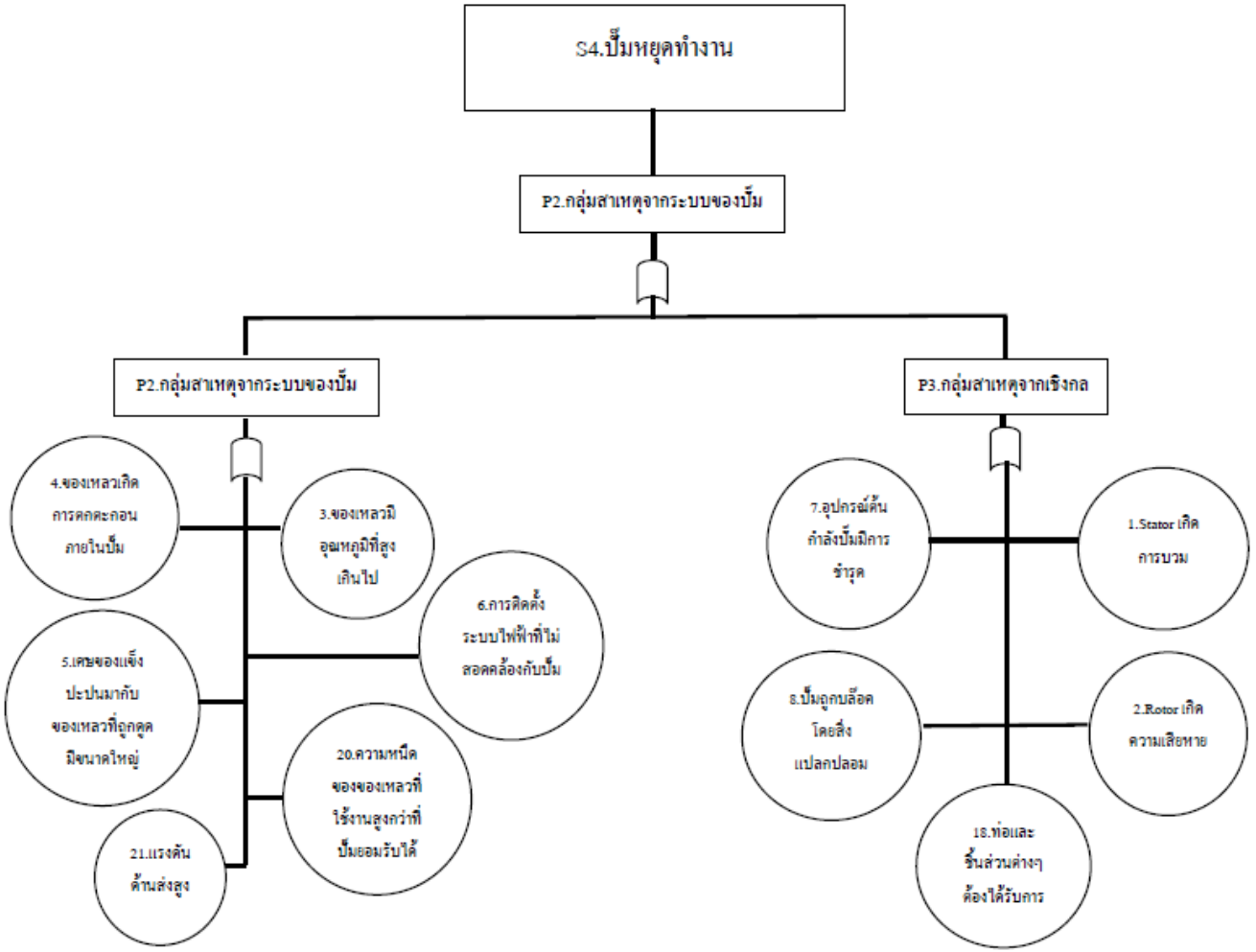
รูปที่ 5.99 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหาปั๊มสตาร์ทไม่ติด



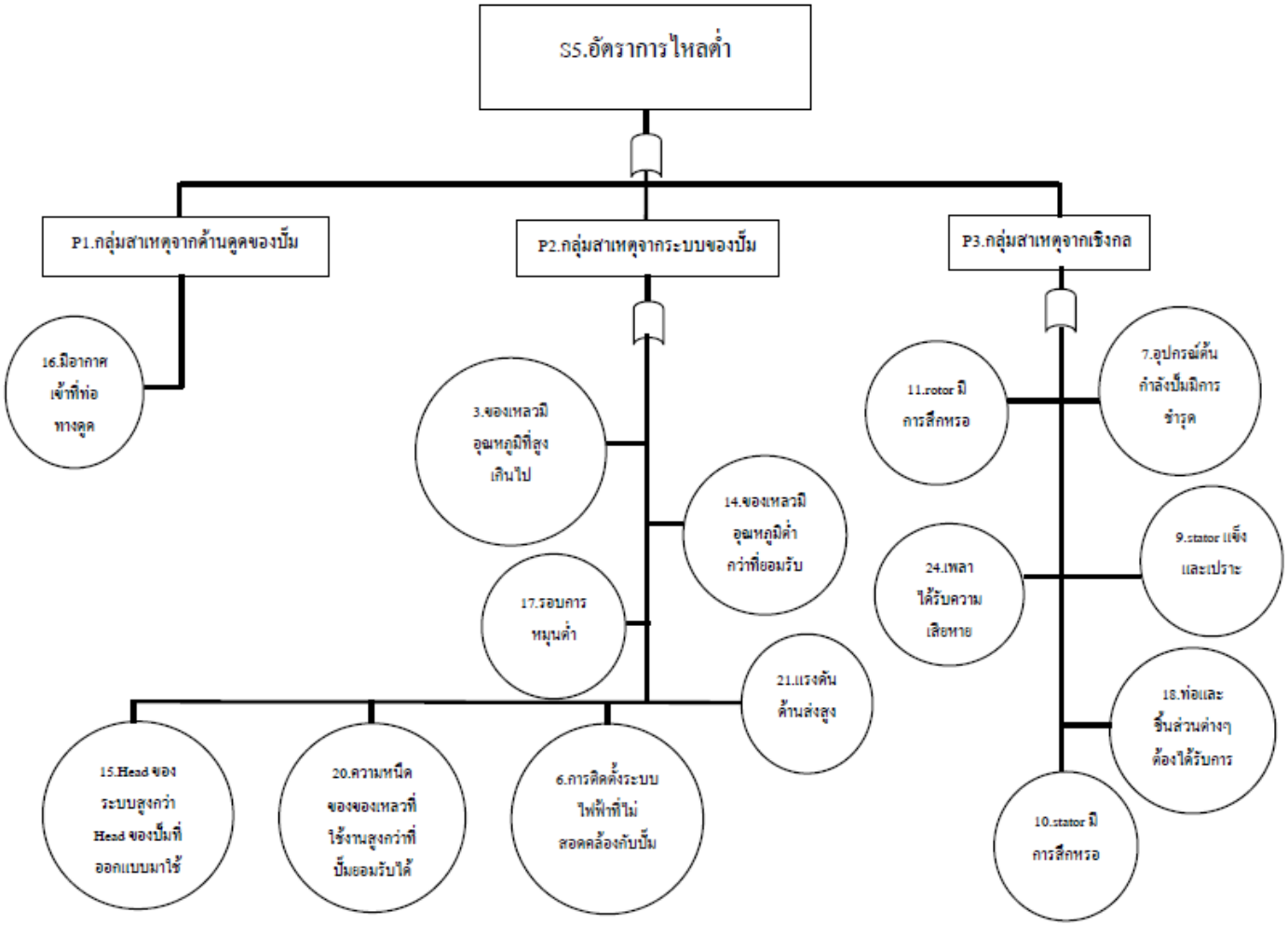
รูปที่ 5.100 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหาอัตราการส่งไม่เพียงพอ



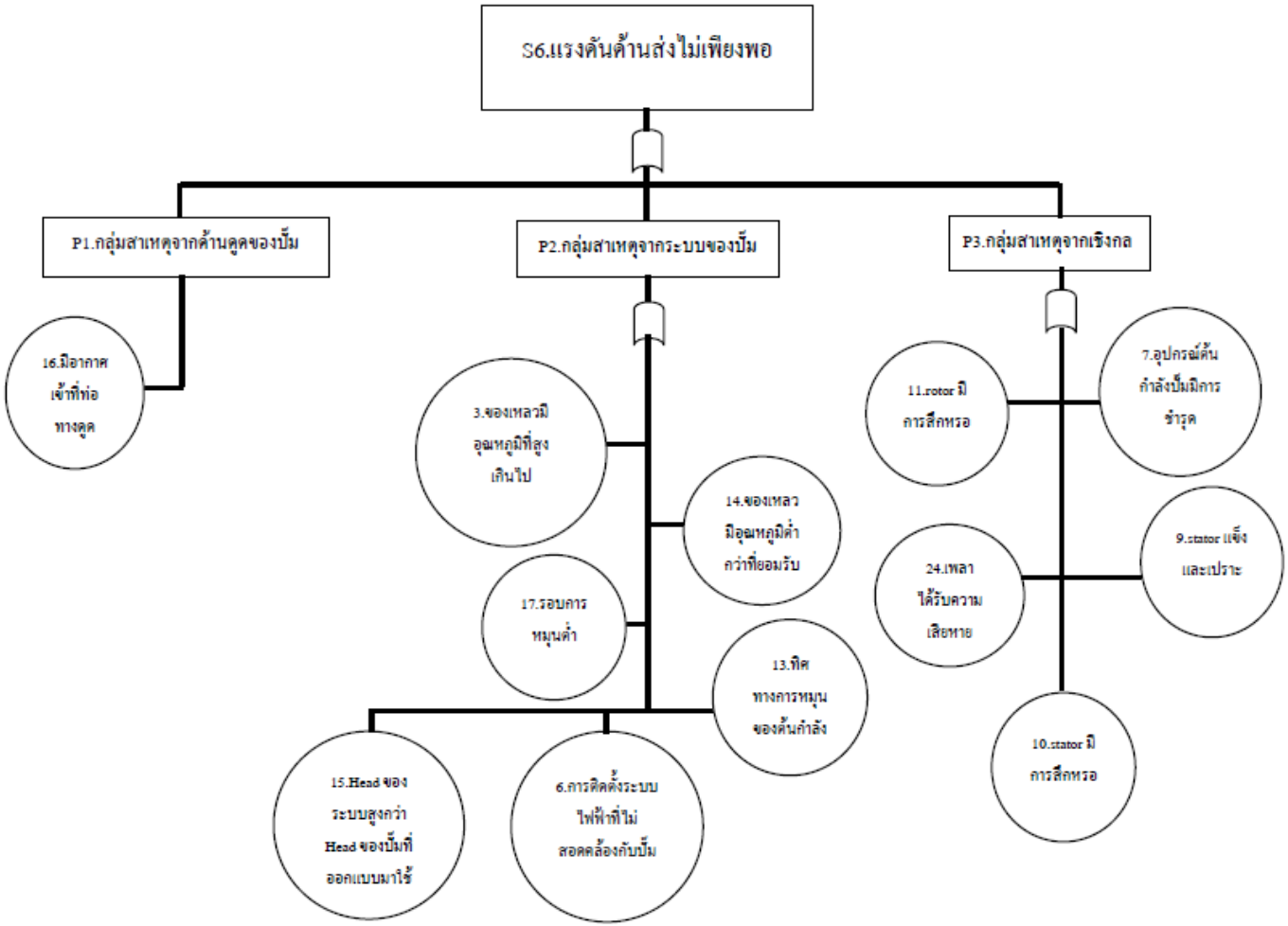
รูปที่ 5.101 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหาสูญเสียแรงด้านล่างสุด



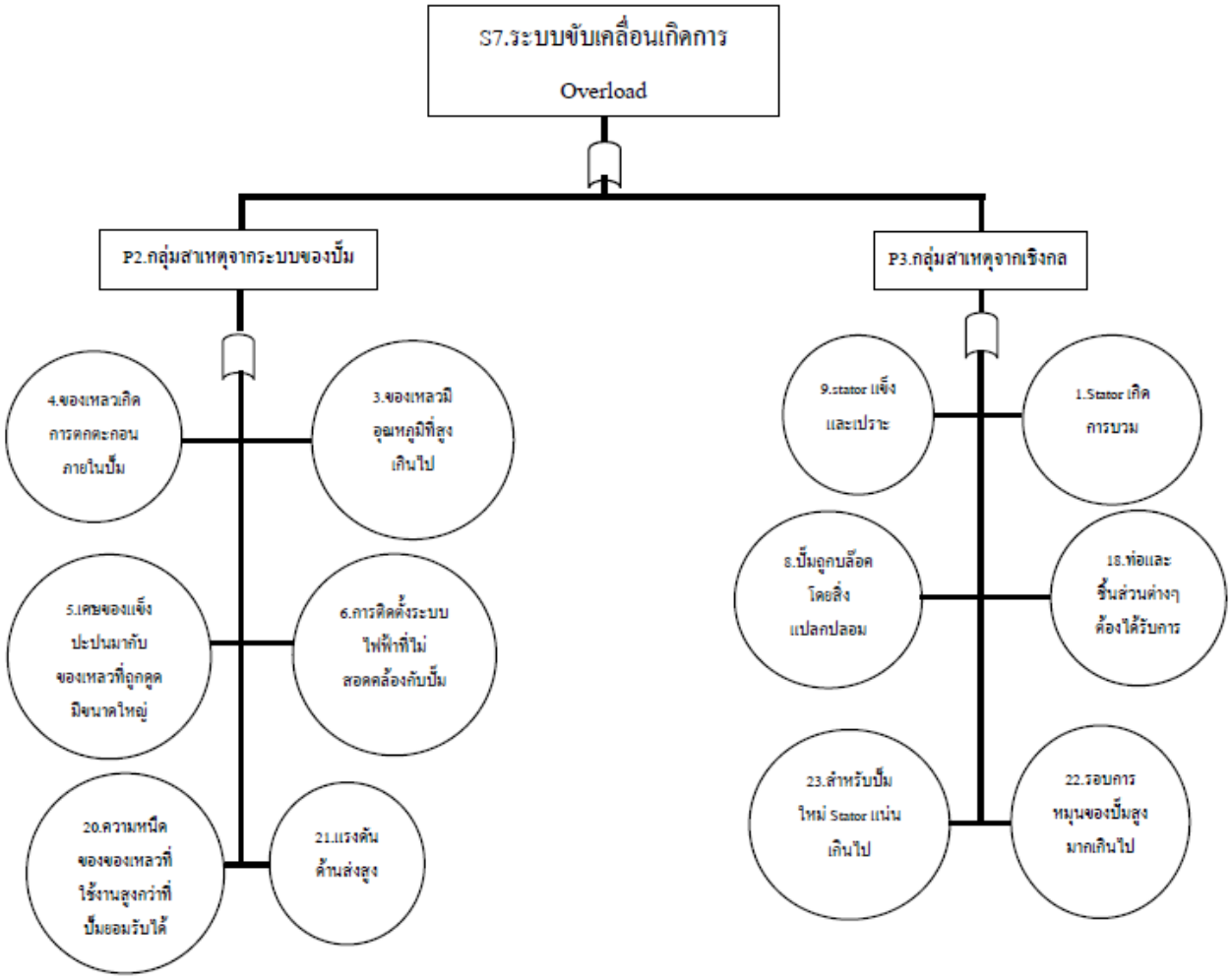
รูปที่ 5.102 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหาปั๊มหยุดทำงาน



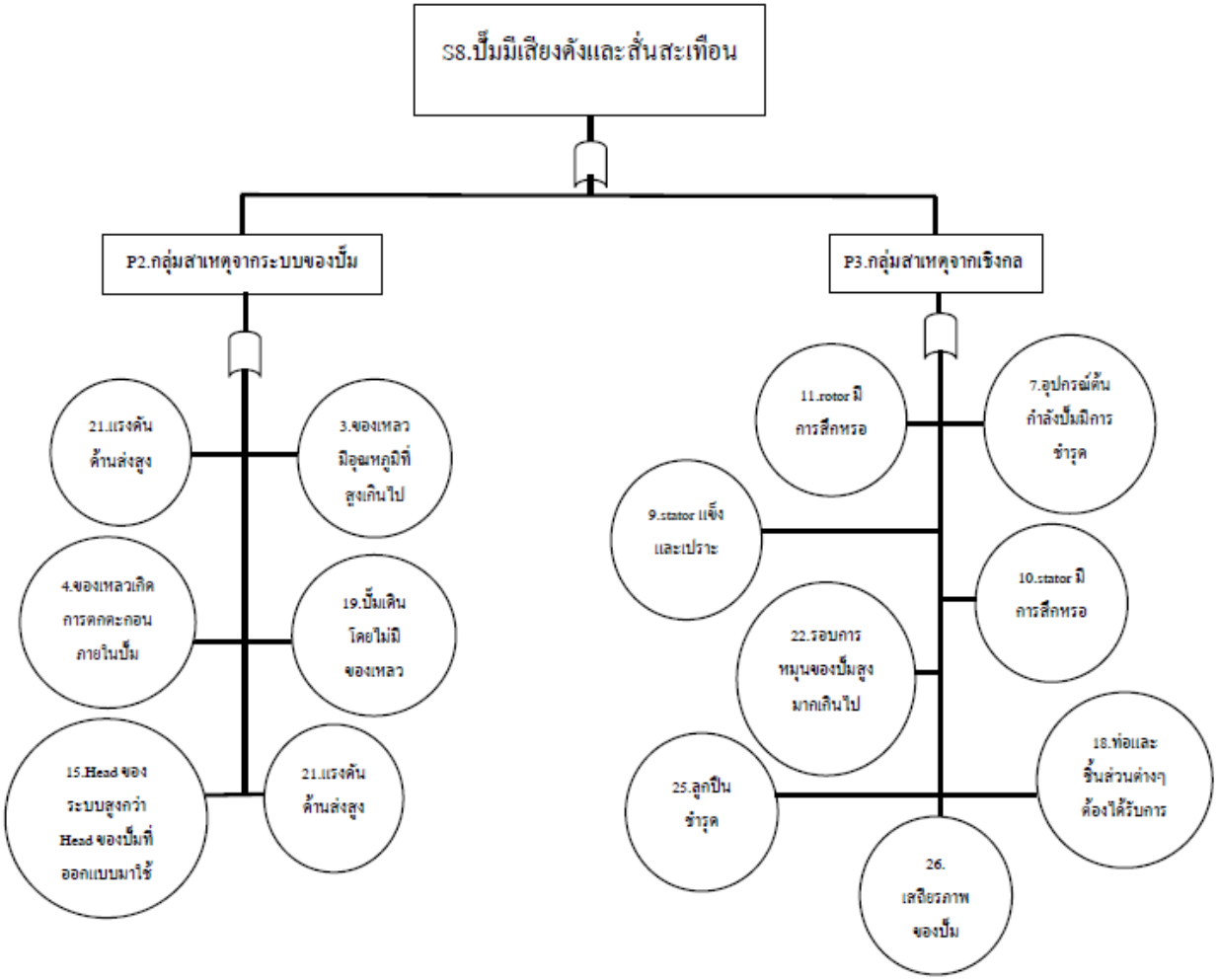
รูปที่ 5.103 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหาอัตราการไหลต่ำ



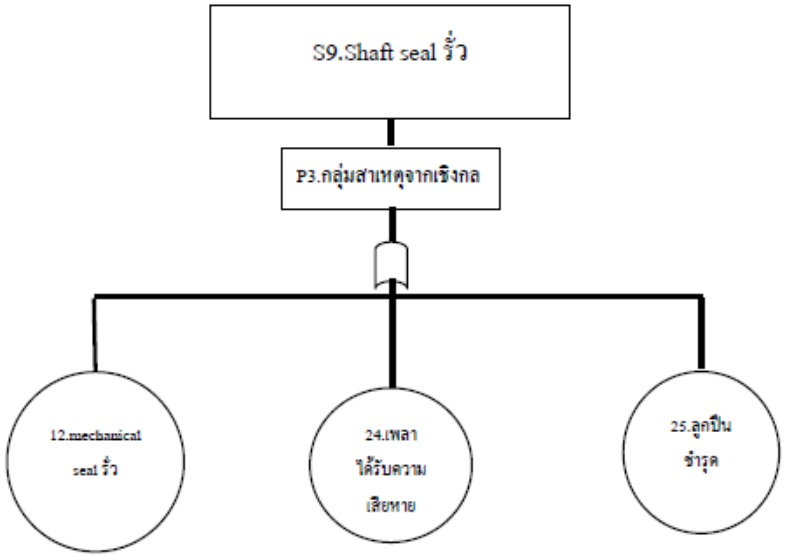
รูปที่ 5.104 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหาแรงดันด้านส่งไม่เพียงพอ



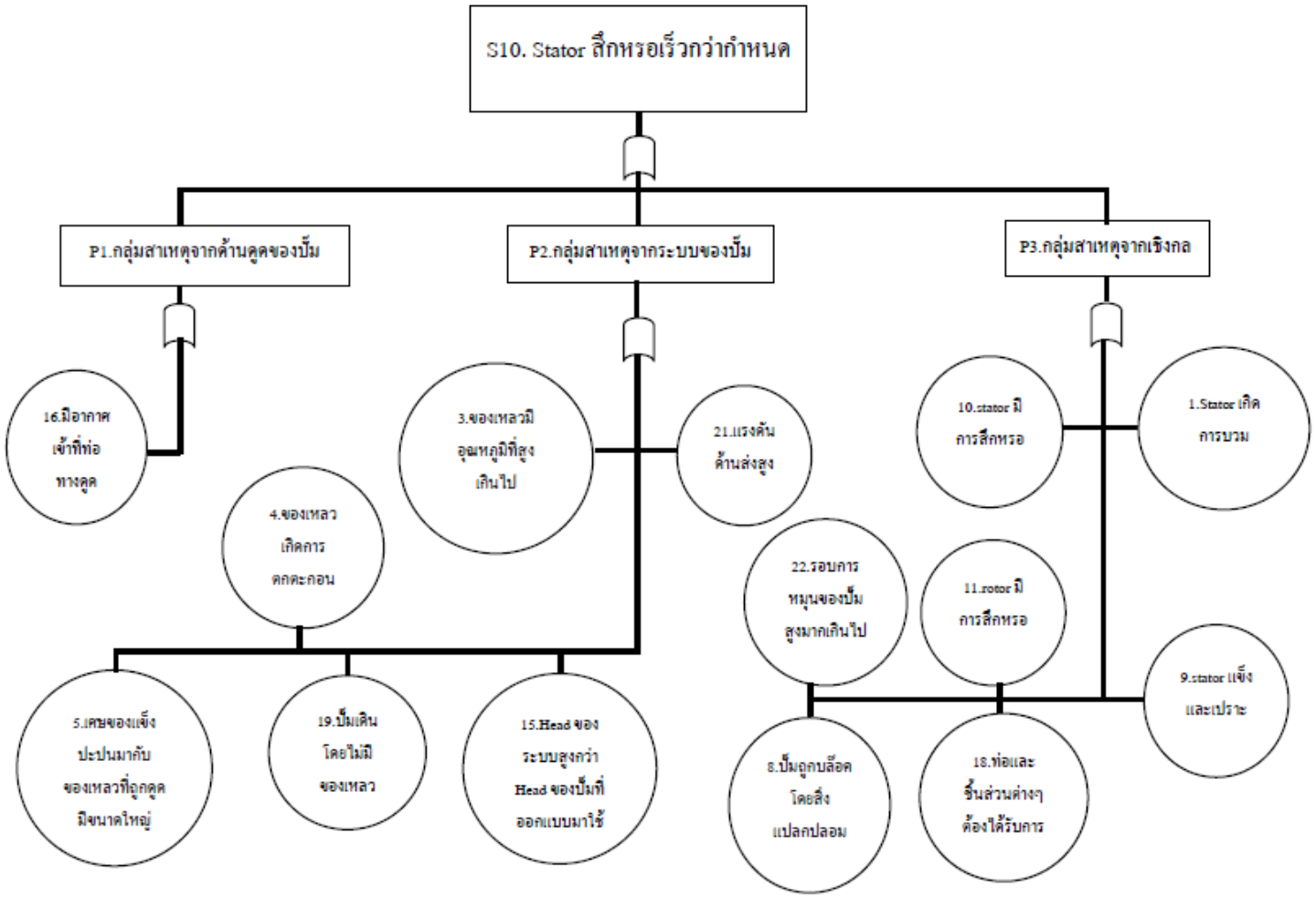
รูปที่ 5.105 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหาระบบขับเคลื่อนเกิดการ Overload



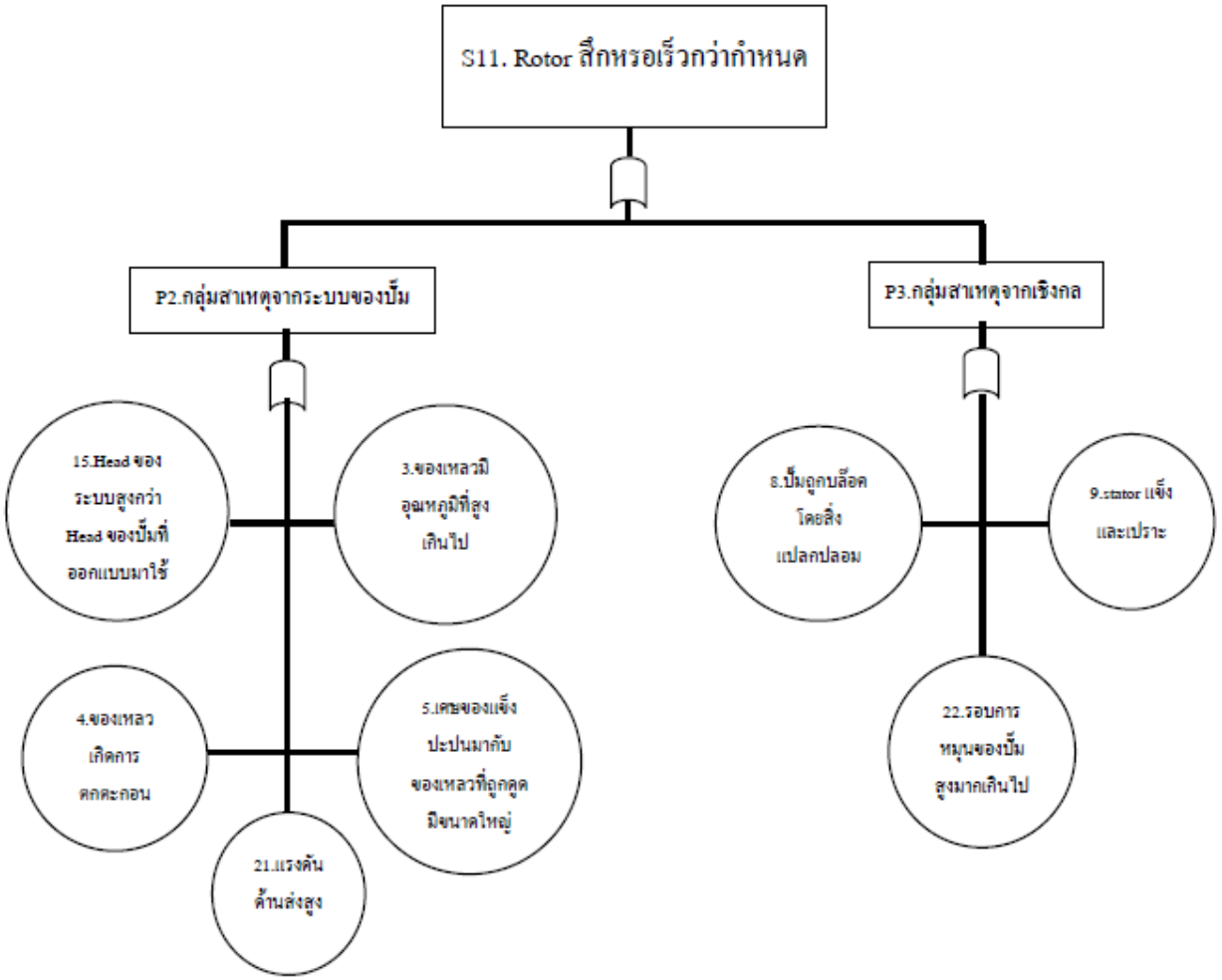
รูปที่ 5.106 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหาปั๊มมีเสียงดังและสั่นสะเทือน



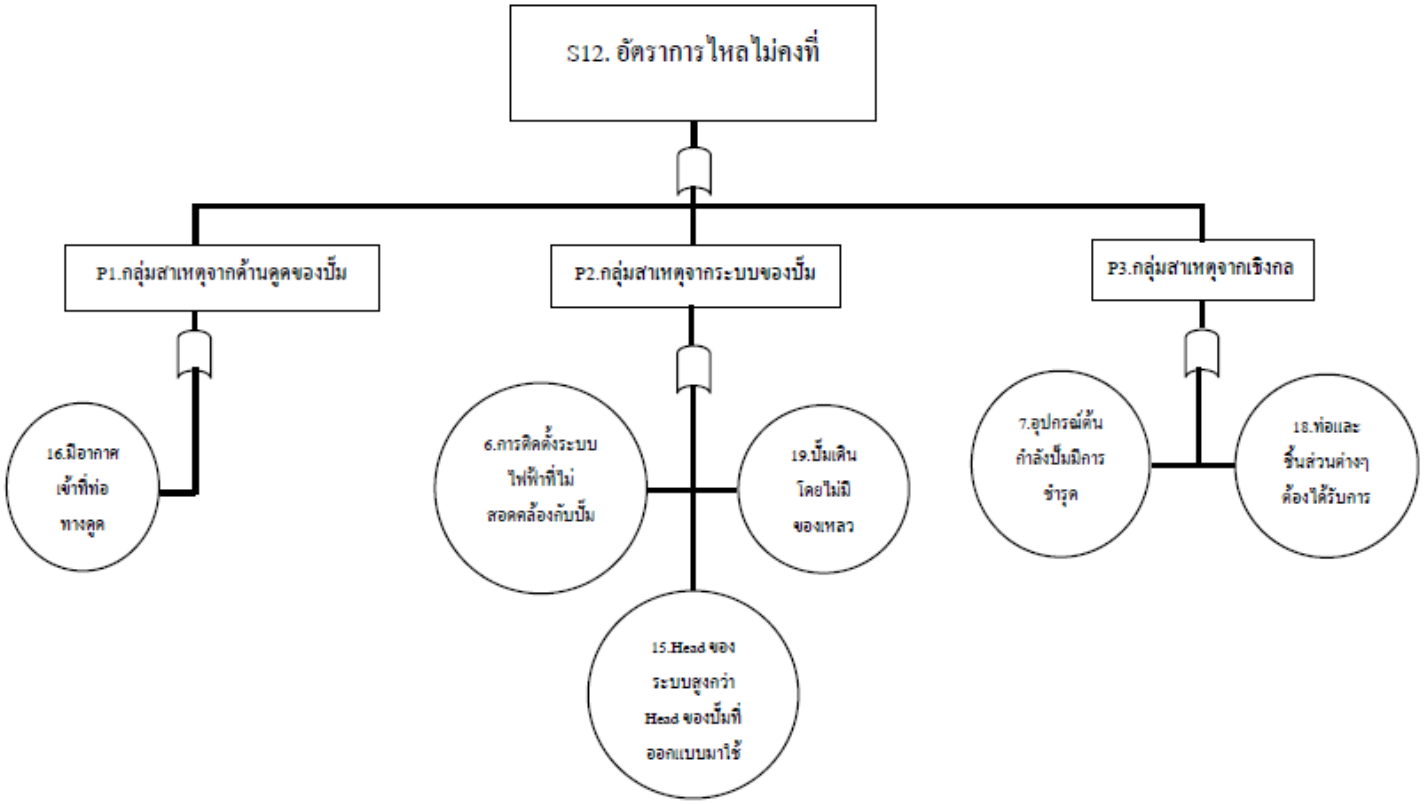
รูปที่ 5.107 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหา Shaft seal รั่ว



รูปที่ 5.108 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหา Stator สึกหรอเร็วกว่ากำหนด



รูปที่ 5.109 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหา Rotor สึกหรอเร็วกว่ากำหนด



รูปที่ 5.110 FTA ของปั๊มประเภทสกรู ปัญหาอัตราการไหลไม่คงที่

จากแผนผังการวิเคราะห์ปัญหาความเสียหายของปั๊มประเภทหอยโข่งและสกรู จะสามารถนำมาหาวิธีในการตรวจสอบและแก้ไข ดังตารางที่ 5.11 และ 5.12

ตารางที่ 5.11 ตัวอย่างการตรวจสอบและแก้ไขสาเหตุการขัดข้องของปั๊มประเภทหอยโข่ง

ตารางการตรวจสอบ และการแก้ไข สำหรับสาเหตุที่เกิดการขัดข้องของปั๊มประเภทหอยโข่ง			
หมายเลข	**สาเหตุที่เกิดการขัดข้อง**	**การตรวจสอบ**	**การแก้ไข**
1	ปั๊มไม่สามารถดูดน้ำได้	ตรวจสอบความผิดปกติของท่อด้านดูด และวาล์วต่างๆได้เปิดอยู่หรือไม่	ทำการแก้ไขความผิดปกติและค่อยๆเปิดวาล์ว หลังจากสตาร์ทปั๊ม
2	ปั๊มหรือท่อดูดไม่มีของเหลวอยู่หรือมีน้อย	ตรวจสอบปลายทางที่ดูดว่ามีของเหลวเพียงพอในระดับสูงกว่าท่อดูดหรือไม่	ถ้าไม่มีของเหลวให้ดูดควรหยุดการทำงานของปั๊มทันที เพราะเมื่อปั๊ม run dry จะส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อชิ้นส่วนภายในปั๊ม
3	ท่อทางดูดอยู่สูงเกินไป	ตรวจสอบ Specification ของปั๊มว่ามี Suction pressure เพียงพอต่อการทำงานหรือไม่	ถ้าไม่ควรทำการแก้ไข line ท่อให้มีความเหมาะสมมากขึ้น
4	ค่าความแตกต่างระหว่างความดันด้านดูดและความดันไอไม่เพียงพอ	ตรวจสอบ Specification ของปั๊มว่าต้องการ Suction pressure เท่าไหร่	ออกแบบ line ท่อใหม่เพื่อเพิ่ม Suction pressure ให้เพียงพอ
5	ปริมาณอากาศหรือก๊าซในของเหลวมีมากเกินไป	ตรวจสอบของเหลวที่จะดูดว่าสามารถใช้ปั๊มดังกล่าวดูดได้หรือไม่	ถ้าไม่ได้ ควรเลือกปั๊มที่มีความเหมาะสมกับของเหลวนั้นๆ
6	เกิดโพรงอากาศทางท่อดูด	เมื่อทำการเดินปั๊มจะเกิดเสียงดังที่ท่อด้านดูด	ทำการเติมน้ำเพื่อไล่อากาศที่อยู่ทางท่อดูดเสียก่อนจะเริ่มใช้งานปั๊ม

ตารางการตรวจสอบ และการแก้ไข สำหรับสาเหตุที่เกิดการขัดข้องของปั๊มประเภทหอยโข่ง			
หมายเลข	**สาเหตุที่เกิดการขัดข้อง**	**การตรวจสอบ**	**การแก้ไข**
7	มีอากาศรั่วเข้าไปทางท่อดูด	ตรวจสอบทางท่อดูดว่ามีตำแหน่งใดที่มีโอกาสรั่ว	ทำการแก้ไขในตำแหน่งนั้น เช่นถ้าหน้าแปลนวาล์วรั่วบริเวณประเก็นให้ทำการเปลี่ยนและขันอัดให้แน่น
8	มีอากาศรั่วเข้าไปใน Stuffing box	ตรวจสอบบริเวณหน้าแปลนชุด Stuffing box กับ เสื้อปั๊ม และในตำแหน่งของ Mechanical seal	ทำการขันอัด หรือแก้ไขในตำแหน่งที่อากาศรั่วเข้าไปในระบบ
9	ฟุตวาล์วมีขนาดเล็กเกินไปหรืออาจจะมีการอุดตัน	ทำการถอดท่อฝั่งดูดขึ้นมาตรวจเช็คว่าฟุตวาล์วมีการอุดตันหรือไม่	ทำความสะอาดฟุตวาล์วและติดตั้ง Strainer ครอบเพื่อป้องกันการอุดตัน
10	ท่อดูดมีของเหลวอยู่ไม่เต็มท่อหรือท่อดูดจมอยู่ในน้ำไม่เพียงพอ	ตรวจสอบที่ท่อด้านดูดว่ามีน้ำเพียงพอหรือไม่	ถ้าไม่มีน้ำเพียงพอ ไม่ควรใช้งานปั๊ม หรือแก้ไขท่อดูดให้จุ่มในของเหลวในระดับที่ต้องการ
11	Water seal pipe plugged	สังเกตที่ท่อน้ำระบบหล่อเย็นว่ามีการอุดตันหรือไม่	ทำการแก้ไขให้น้ำหล่อเย็นสามารถเข้าไประบายความร้อนในชุด seal
12	ชุด seal วางไม่ถูกต้องใน Stuffing box ทำให้น้ำ Sealing ไม่สามารถเข้าไปยังห้อง Seal ได้	ชุด Seal ร้อนจนทำให้มีโอกาสที่ seal จะเสียหาย	ถอดและประกอบชุด seal ใหม่

ตารางการตรวจสอบ และการแก้ไข สำหรับสาเหตุที่เกิดการขัดข้องของปั๊มประเภทหอยโข่ง			
หมายเลข	**สาเหตุที่เกิดการขัดข้อง**	**การตรวจสอบ**	**การแก้ไข**
13	ความเร็วต่ำเกินไป	นำเครื่องวัดรอบมาตรวจเช็ค	ปรับความเร็วรอบของปั๊มตามรอบใช้งานปกติ
14	ความเร็วสูงเกินไป	นำเครื่องวัดรอบมาตรวจเช็ค	ปรับความเร็วรอบของปั๊มตามรอบใช้งานปกติ
15	ทิศทางการหมุนผิด	ตรวจสอบจากกระแสของมอเตอร์	กลับเฟสมอเตอร์ใหม่
16	Head ของระบบสูงกว่า Head ของปั๊มที่ออกแบบมาใช้งาน	ปั๊มไม่สามารถส่งของเหลวได้ เนื่องจากเกิดแรงดันย้อนกลับ	ทำการแก้ไขที่ตัวปั๊มใหม่ ให้มี Head สูงกว่าระบบ
17	Head ของระบบต่ำกว่า Head ของปั๊มที่ออกแบบมาใช้งาน	ปั๊มสามารถใช้งานได้ปกติ	ทำการคำนวณแรงดันที่ใช้งานจริงของปั๊มให้เหมาะสมกับระบบ
18	ค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลวแตกต่างจากการออกแบบ	ทำการตรวจสอบค่าความถ่วงจำเพาะของของเหลวว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมหรือไม่	ทำการเปลี่ยนปั๊มที่ถูกออกมาให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิต
19	ความหนืดของของเหลวแตกต่างจากเกณฑ์การออกแบบ	ทำการตรวจสอบความหนืดของของเหลวว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมหรือไม่	ทำการเปลี่ยนปั๊มที่ถูกออกมาให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิต
20	เดินเครื่องจักรที่อัตราการไหลต่ำ	ตรวจสอบ Flow meter หรือเกจอัตราการไหล ว่าขณะนี้ปั๊มใช้งานอยู่ที่อัตราการไหลที่ต่ำกว่าอัตราการไหลใช้งานมากน้อยเพียงใด	เพิ่มอัตราการไหลให้อยู่ในระดับปั๊มไม่มีความสั่นสะเทือน

ตารางการตรวจสอบ และการแก้ไข สำหรับสาเหตุที่เกิดการขัดข้องของปั๊มประเภทหอยโข่ง			
หมายเลข	**สาเหตุที่เกิดการขัดข้อง**	**การตรวจสอบ**	**การแก้ไข**
21	การใช้งานปั๊มแบบขนานที่ไม่เหมาะสมกับการทำงาน	ตรวจสอบข้อมูลการออกแบบการต่อใช้งานปั๊มแบบคู่ขนาน รวมถึงข้อมูลของปั๊มทั้งหมด	ทำการปรับเปลี่ยนระบบให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น
22	มีสิ่งแปลกปลอมที่ใบพัดปั๊ม	ดูการสั่นสะเทือนที่เสื้อปั๊ม	ทำการถอดปั๊มเพื่อตรวจสอบสิ่งแปลกปลอมที่ติดใบพัดและนำออก
23	ปั๊มอยู่ในตำแหน่งเยื้องศูนย์	ค่าความสั่นสะเทือนสูงขึ้น	ทำการตั้ง Alignment ระหว่างปั๊มและมอเตอร์ใหม่
24	ฐานปั๊มไม่แข็งแรง	ตรวจสอบฐานปั๊มว่าจุดยึดมีการหลวม คลอน หรือฐานปูนมีรอยแตกหรือไม่	ทำการขันอัด Bolt ยึดฐานปั๊มหรือเปลี่ยน Bolt ใหม่ หรือในกรณีฐานปูนมีรอยแตก ควรทำการซ่อมแซม
25	เพลาคด	นำ Dial gauge มาช่วยในการวัดเช็คความกลมของเพลาในแต่ละตำแหน่ง	ทำการเปลี่ยนเพลาใหม่
26	ส่วนที่หมุนมีการเสียดสีกับส่วนที่ไม่หมุน	ตรวจสอบร่องรอย หรือเสียงที่ผิดปกติไปจากเดิม	ทำการแก้ไขโดยปรับแต่งให้ไม่เกิดการเสียดสี
27	ลูกปืนชำรุด	จะได้ยินเสียงดังผิดปกติมาจากชุดลูกปืน ให้นำหูฟัง Stethoscope มาฟังอีกครั้ง	ถอดชุดลูกปืนออก แล้วทำการเปลี่ยนลูกปืนใหม่

ตารางการตรวจสอบ และการแก้ไข สำหรับสาเหตุที่เกิดการขัดข้องของปั๊มประเภทหอยโข่ง			
หมายเลข	**สาเหตุที่เกิดการขัดข้อง**	**การตรวจสอบ**	**การแก้ไข**
28	Wearing ring ชำรุด	อัตราการไหลของปั๊มลดลง	ถอดชุด Stuffing box ออก แล้วทำการเปลี่ยน Wearing ring ใหม่
29	ใบพัดมีความเสียหาย	อัตราการไหลของปั๊มลดลง และพบการสั่นสะเทือนมากขึ้น	ถอดชุด stuffing box ออกมาเพื่อตรวจสอบสภาพของใบพัด ถ้าพบว่ามีการสึกหรอมากควรทำการเปลี่ยนทันที
30	ประเก็นของเสื้อปั๊มชำรุดทำให้เกิดการรั่วไหล	พบการรั่วไหลของๆเหลวตำแหน่งของประเก็นตรงหอยโข่ง	ทำการถอดชุด stuffing box ออกแล้วเปลี่ยนประเก็น
31	เพลาหรือปลอกสวมเพลาชำรุดหรือประเก็นเชือกเสียหาย	มีของเหลวไหลออกมาจากชุดประเก็นเชือก	ทำการตรวจสอบความเสียหายของเพลาหรือปลอกสวมเพลา และทำการเปลี่ยนประเก็นเชือกใหม่
32	การติดตั้งประเก็นเชือกไม่ถูกต้อง	มีของเหลวไหลออกมาจากชุดประเก็นเชือก	ทำการรื้อชุดประเก็นเชือกออกแล้วทำการติดตั้งตามหนังสือคู่มือการติดตั้ง
33	ชนิดของประเก็นเชือกที่ไม่เหมาะสมกับการใช้งาน	ประเก็นเชือกสึกหรอ หรืออายุการใช้งานสั้นกว่าปกติ	ทำการเลือกประเก็นเชือกที่เหมาะสมมากขึ้นโดยปรึกษาจากผู้ผลิตประเก็นเชือกโดยตรง

ตารางการตรวจสอบ และการแก้ไข สำหรับสาเหตุที่เกิดการขัดข้องของปั๊มประเภทหอยโข่ง			
หมายเลข	**สาเหตุที่เกิดการขัดข้อง**	**การตรวจสอบ**	**การแก้ไข**
34	เพลามีการเยื้องศูนย์เนื่องจากลูกปืนมีการสึกหรอ หรือปั๊มมีการเยื้องศูนย์	ตรวจสอบโดยการใช้เครื่องมือวัดค่าความสั่นสะเทือนวัดเช็ค ถ้าค่าความเร่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน แสดงว่าลูกปืนเริ่มมีความเสียหาย	วางแผนเปลี่ยนลูกปืนของปั๊มเมื่อมีโอกาส ถ้ายังไม่มีโอกาส ให้ทำการวัดค่าความสั่นสะเทือนต่อเนื่อง เพื่อจะได้ทราบว่าลูกปืนจะเสียหายเมื่อไหร่
35	ใบพัด unbalance ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน	ฟังจากเสียงบริเวณเสื้อปั๊ม จะมีเสียงและความสั่นสะเทือนจะส่งต่อมายังบริเวณลูกปืน	ถอดปั๊มเพื่อตรวจสอบใบพัด โดยส่งไปทำ Dynamic balance ใหม่
36	ประเก็นเชือกแน่นเกินไปทำให้ น้ำหล่อเย็นระบายความร้อนของประเก็นเข้าไม่ถึง	สังเกตได้จากน้ำหล่อเย็นที่หยดออกมา ถ้าน้ำหล่อเย็นเข้าไปไม่ถึง จะไม่มีน้ำหยดออกมา ประเก็นเชือกมีโอกาสไหม้เมื่อมีความร้อนสูงมากขึ้น	ทำการรื้อชุดประเก็นเชือกออกมาประกอบใหม่ไม่ให้แน่นจนเกินไป
37	การระบายความร้อนที่บริเวณ Stuffing box ไม่ดี	บริเวณ Stuffing box มีอุณหภูมิสูงขึ้น	ตรวจสอบระบบน้ำหล่อเย็นให้สามารถเข้าไปถึงยังจุดที่เกิดความร้อนสูงและระบายความร้อนได้
38	ช่องว่างที่ด้านล่างของ Stuffing box ระหว่างเพลาและเสื้อปั๊มมากเกินไป ทำให้ประเก็นเชือกถูกแรงภายในจากปั๊มกระทำ	มีของเหลวไหลออกมาจากช่องว่างระหว่างประเก็นเชือกและ Stuffing box	ทำการถอดชุด Stuffing box ออกมาประกอบประเก็นเข้าไปใหม่

ตารางการตรวจสอบ และการแก้ไข สำหรับสาเหตุที่เกิดการขัดข้องของปั๊มประเภทหอยโข่ง			
หมายเลข	**สาเหตุที่เกิดการขัดข้อง**	**การตรวจสอบ**	**การแก้ไข**
39	มีสิ่งสกปรกในระบบน้ำหล่อเย็น ทำให้เกิดการขูดขีดหรือรายสึกหรอบริเวณเพลาหรือปลอกสวมเพลา	ทำการตรวจเช็คระบบน้ำหล่อเย็นและกรองว่ามีความผิดปกติหรือไม่	ทำความสะอาดชุด Safe unit ซึ่งเป็นระบบจ่ายน้ำเข้าไปหล่อลื่น Mechanical seal
40	มีแรงผลักดันมากเกินไปเนื่องมาจากเกิดความเสียหายเชิงกลภายในปั๊มหรือจากอุปกรณ์ไฮดรอลิคหรืออุปกรณ์ปรับสมดุลอื่นๆ ถ้ามี	N/A	N/A
41	น้ำมันหรือจารบีในลูกปืนมากเกินไป ทำให้ไม่สามารถระบายความร้อนได้จึงส่งผลให้อุณหภูมิของ ลูกปืนสูงขึ้น	ตรวจพบความร้อนบริเวณเสื้อของลูกปืนสูงกว่า 80 C	ทำการตรวจสอบระดับของน้ำมันในเสื้อของลูกปืนหรือปริมาณจารบีที่มีอยู่ ถ้ามีมากเกินไปควรทำการเดรน ออก บริเวณรูเดรน ด้านใต้ของเสื้อลูกปืน
42	ขาดสารหล่อลื่น	ตรวจพบความร้อนบริเวณเสื้อของลูกปืนสูงกว่า 80 C	ทำการอัดจารบีหรือเติมน้ำมันในปริมาณที่ผู้ผลิตปั๊มแนะนำ
43	การติดตั้งลูกปืนที่ไม่เหมาะสม เช่น เกิดความเสียหายระหว่างประกอบ , การประกอบที่ไม่ถูกต้องเมื่อประกอบลูกปืนเป็นคู่ และการใช้งานลูกปืนที่ไม่เข้ากันเมื่อต้องประกอบเป็นคู่	ไม่สามารถตรวจสอบได้ขณะที่ปั๊มมีการใช้งานอยู่ แต่สามารถตรวจสอบด้วยเสียงและค่าความสั่นสะเทือนของลูกปืน	วางแผนเปลี่ยนลูกปืนของปั๊ม และตรวจสอบในขั้นตอนการประกอบให้ถูกต้อง

ตารางการตรวจสอบ และการแก้ไข สำหรับสาเหตุที่เกิดการขัดข้องของปั๊มประเภทหอยโข่ง			
หมายเลข	**สาเหตุที่เกิดการขัดข้อง**	**การตรวจสอบ**	**การแก้ไข**
44	มีสิ่งสกปรกเข้าไปในลูกปืน	ตรวจสอบได้โดย ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมัน หรือจารบีที่ออกมาจากช่องเดรนแล้วนำไปตรวจสอบ	ทำการเปลี่ยนน้ำมัน หรืออัดจารบีเข้าไปใหม่เพื่อทำการล้างสิ่งสกปรกที่อยู่ด้านใน
45	การเกิดสนิมในลูกปืน เนื่องจากมีน้ำเข้าไป	ตรวจสอบได้โดย ทำการเก็บตัวอย่างน้ำมัน หรือจารบีที่ออกมาจากช่องเดรนแล้วนำไปตรวจสอบ	ทำการอัดจารบีและหมั่นตรวจสอบน้ำมัน เพื่อดูการปนเปื้อนของสนิมที่ออกมา
46	การระบายความร้อนของลูกปืน โดยใช้น้ำระบายความร้อนมีผลให้เกิดการควบแน่นในเสื้อของลูกปืนจากความชื้นในอากาศ	ในกรณีที่หน่วยงาน Operation มีการฉีดล้างทำความสะอาด อาจจะมีน้ำที่กระเด็นไปโดนเครื่องจักรที่ทำงานอยู่ซึ่งมีความร้อนอยู่ ทำให้เกิดการควบแน่นในเสื้อได้	แจ้งให้หน่วยงาน Operation หยุดฉีดน้ำใกล้บริเวณปั๊ม

ตารางที่ 5.12 ตัวอย่างการตรวจสอบและแก้ไขสาเหตุการขัดข้องของปั๊มประเภทสกรู

ตารางการตรวจสอบ และการแก้ไข สำหรับสาเหตุที่เกิดการขัดข้องของปั๊มประเภทสกรู				
หมายเลข	**สาเหตุที่เกิดการขัดข้อง**	**การตรวจสอบ**	**การแก้ไข**
1	Stator เกิดการบวม	ตรวจพบกระแส motor สูงกว่าปกติ	ทำการถอดชุด Stator ออกจาก Rotor แล้วทำการเปลี่ยน Stator ใหม่
2	Rotor เกิดความเสียหาย	ประสิทธิภาพของปั๊มที่สามารถทำได้ลดลงจากเดิม	ถอดชุด Rotor ออกมาตรวจสอบว่าสามารถซ่อมได้หรือไม่ ถ้าไม่ได้ควรทำการเปลี่ยน
3	ของเหลวมีอุณหภูมิที่สูงเกินไป	ตรวจสอบ Temperature gauge ว่าอุณหภูมิทางดูดสูงเกินกว่าที่ปั๊มจะรับได้หรือไม่	ตรวจสอบระบบทางดูด เช่น ระบบ Heater ว่ามีความผิดปกติหรือไม่ ควรรักษาอุณหภูมิไม่ให้เกินค่าที่ปั๊มยอมรับได้
4	ของเหลวเกิดการตกตะกอนภายในปั๊ม	อัตราการไหลของปั๊มลดลง ตรวจสอบได้จาก Flow meter	ทำความสะอาดภายในปั๊ม เพราะเมื่อของเหลวตกตะกอนสะสม อาจจะทำให้เกิดการอุดตันได้
5	เศษของแข็งปะปนมากับของเหลวที่ถูกดูดมีขนาดใหญ่เกินไป	ตรวจพบกระแส Motor ที่สูงขึ้น หรือปั๊มอาจจะล็อคตัวได้	ทำการถอดปั๊มเพื่อตรวจสอบความเสียหาย เพราะเศษของแข็งอาจจะสร้างความเสียหายให้กับ Stator และ Rotor ได้
6	การติดตั้งระบบไฟฟ้าที่ไม่สอดคล้องกับปั๊ม	ตรวจสอบระบบไฟฟ้าจากคู่มือการติดตั้งก่อนที่จะทำการติดตั้งว่า ปั๊มใช้ไฟแรงดันเท่าไหร่และความถี่เท่าไหร่	เลือกปั๊มที่มีระบบไฟฟ้าสอดคล้องกับพื้นที่จะทำการติดตั้ง

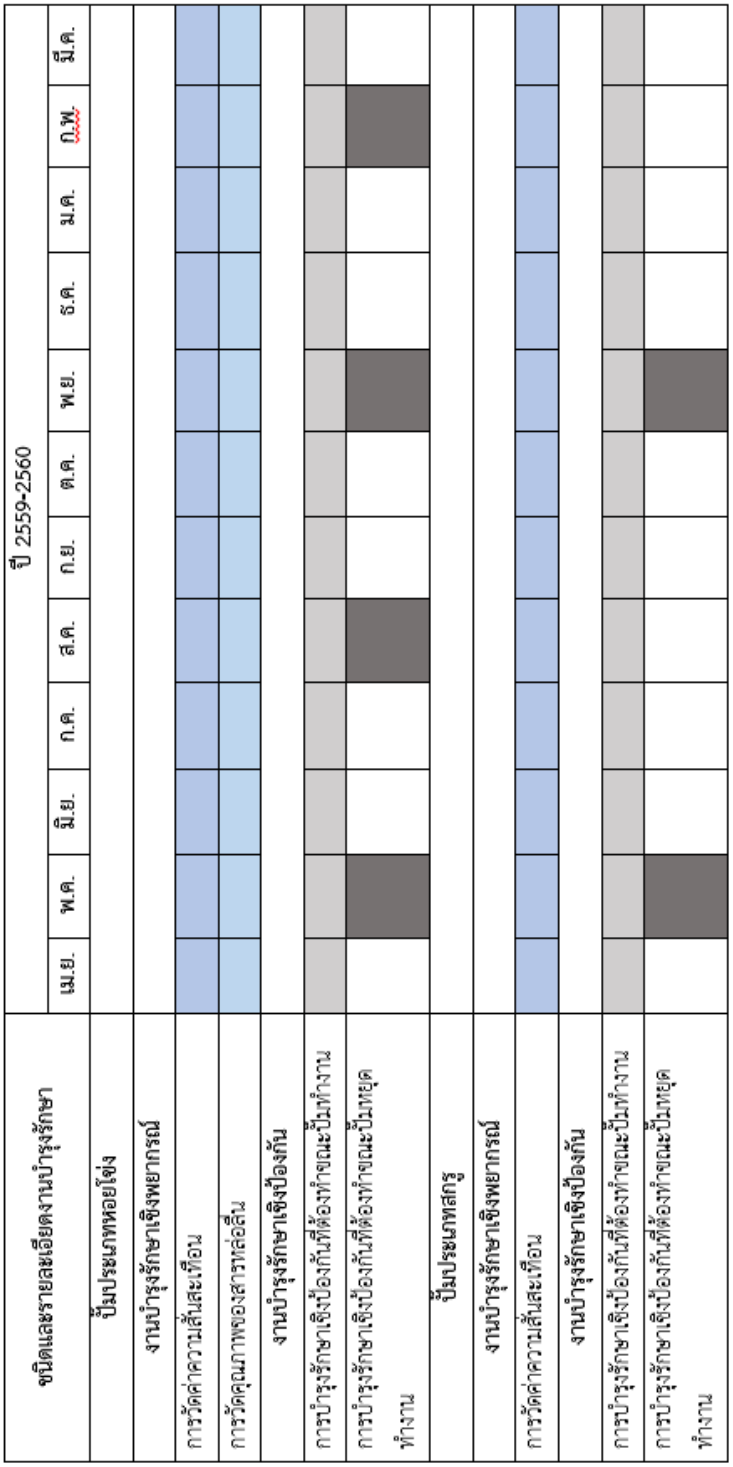
ตารางการตรวจสอบ และการแก้ไข สำหรับสาเหตุที่เกิดการขัดข้องของปั๊มประเภทสกรู			
หมายเลข	**สาเหตุที่เกิดการขัดข้อง**	**การตรวจสอบ**	**การแก้ไข**
7	อุปกรณ์ต้นกำลังปั๊มมีการชำรุด	ปั๊มจะหยุด ทำการตรวจสอบมอเตอร์ว่ามีความเสียหายที่ตำแหน่งใด	เมื่อทราบตำแหน่งที่เสียหาย ควรทำการแก้ไขที่ตำแหน่งนั้น
8	ปั๊มถูกบล๊อคโดยสิ่งแปลกปลอม	ตรวจพบกระแสมอเตอร์สูงจนทำให้ปั๊มหยุดการทำงาน	ทำการถอดปั๊มและตรวจสอบความเสียหายของ Stator , Rotor และอุปกรณ์อื่นๆ ถ้าอุปกรณ์ใดเสียหายให้ทำการเปลี่ยน
9	Stator แข็งและเปราะ	เกิดจากการ Overpressure	ทำการถอด Stator ออกมาตรวจสอบและทำการเปลี่ยนใหม่
10	Stator มีการสึกหรอ	ประสิทธิภาพของปั๊มลดลง	ทำการเปลี่ยน Stator ใหม่และตรวจสอบความเสียหายของ Rotor ด้วย
11	Rotor มีการสึกหรอ	ตรวจสอบ Rotor ว่ามีการสึกหรอชนิดไหน เช่น Abrasion, Corrosion และ Cavitation	ปรึกษาผู้ผลิตเกี่ยวกับการอัพเกรดวัสดุของ Rotor ให้มีความเหมาะสมมากขึ้นและทำการเปลี่ยนของใหม่
12	Mechanical seal รั่ว	มีของเหลวหยดในตำแหน่งของ Mechanical	ทำการถอดของเก่าออกและเปลี่ยน Mechanical seal ใหม่ เข้าไป
13	ทิศทางการหมุนของต้นกำลังผิด	กระแสของมอเตอร์ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เมื่อทำการสตาร์ทปั๊ม	ทำการสลับทิศทางการหมุนของมอเตอร์ให้ถูกต้อง

ตารางการตรวจสอบ และการแก้ไข สำหรับสาเหตุที่เกิดการขัดข้องของปั๊มประเภทสกรู			
หมายเลข	**สาเหตุที่เกิดการขัดข้อง**	**การตรวจสอบ**	**การแก้ไข**
14	ของเหลวมีอุณหภูมิต่ำกว่าที่ยอมรับได้	ทำการตรวจสอบอุณหภูมิของของเหลว	ทำการปรึกษาผู้ผลิตในการเลือก Stator ที่เหมาะสมกับการใช้ในของเหลวที่อุณหภูมิที่ต่ำ
15	Head ของระบบสูงกว่า Head ของปั๊มที่ออกแบบมาใช้งาน NPSHd<NPSHr	สังเกตได้จาก Pressure gauge ทางด้านดูด	ลด Head loss ของท่อทางด้านดูดและเพิ่มระดับทางด้านดูดให้สูงขึ้นด้วย
16	มีอากาศเข้าที่ท่อทางดูด	ปั๊มมีเสียงดังบริเวณท่อทางดูด	ตรวจสอบการติดตั้งท่อในด้านดูดแล้วทำการแก้ปัญหาการรั่วของท่อ
17	รอบการหมุนต่ำ	ใช้เครื่องมือวัดรอบการหมุนแล้วเปรียบเทียบกับรอบการหมุนที่ปั๊มทำได้	ติดต่อผู้ผลิตเพื่อช่วยในการแนะนำวิธีการเพิ่มรอบของปั๊ม
18	ท่อและชิ้นส่วนต่างๆต้องได้รับการตรวจสอบ	N/A	ทำการตรวจสอบท่อ วาล์ว และชิ้นส่วนอื่นๆทั้งหมดว่ามีการรั่วหรือผิดปกติหรือไม่
19	ปั๊มเดินโดยไม่มีของเหลว (Running dry)	เรือนปั๊มมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นมาก	ตรวจสอบท่อและวาล์วทางดูดว่ามีอะไรขัดขวางการไหลของของเหลวหรือไม่ และทำการติดตั้งระบบป้องกันการ Running dry
20	ความหนืดของของเหลวที่ใช้งานสูงกว่าที่ปั๊มยอมรับได้	อัตราการไหลของปั๊มลดลงและMotorมีกระแสที่สูงขึ้น	ถ้าความหนืดมีการเปลี่ยนแปลงจะต้องทำการคำนวณปั๊มใหม่
21	แรงดันด้านส่งสูง	ตรวจสอบจาก Pressure gauge ด้านดูด แล้วทำการเปรียบเทียบกับ Specification ของปั๊ม	ทำการปรับลดแรงดันด้านส่งให้ต่ำลง

ตารางการตรวจสอบ และการแก้ไข สำหรับสาเหตุที่เกิดการขัดข้องของปั๊มประเภทสกรู			
หมายเลข	**สาเหตุที่เกิดการขัดข้อง**	**การตรวจสอบ**	**การแก้ไข**
22	รอบการหมุนของปั๊มสูงมากเกินไป	ใช้เครื่องมือวัดรอบการหมุนแล้วเปรียบเทียบกับรอบการหมุนที่ปั๊มทำได้	ติดต่อผู้ผลิตเพื่อช่วยในการแนะนำวิธีการเพิ่มรอบของปั๊ม
23	สำหรับปั๊มใหม่ Stator แน่นเกินไป	กระแสมอเตอร์สูงเนื่องจาก Rotor และ Stator เสียดสีกัน	เติมของเหลวเข้าไปในปั๊ม แล้วลองหมุนที่ใบพัดลมของมอเตอร์ดูว่ามันแน่นเกินไปหรือไม่
24	เพลาได้รับความเสียหาย	ปั๊มเกิดความขัดข้องทันที ไม่สามารถส่งของไหลได้	ทำการเปลี่ยนเพลาและ Mechanical seal ใหม่
25	ลูกปืนชำรุด	เพลามีการล๊อคตัวหรือมีเสียงดังบริเวณเสื้อลูกปืน ในขณะใช้งานปั๊ม	ถอดชุดเสื้อลูกปืนออก ทำการเปลี่ยนลูกปืนและซีลใหม่
26	เสถียรภาพของปั๊มลดลง	ตรวจสอบความสั่นสะเทือนที่เกิดขึ้นของปั๊มโดยรวมว่ามีความผิดปกติหรือไม่	ทำการแก้ไขตำแหน่งจุดยึดต่างๆ ที่ส่งผลต่อปั๊ม

5.4 สรุปการนำไปใช้ปฏิบัติงาน

หลังจากได้นำแผนการพัฒนาทั้งหมดไปนำเสนอต่อช่างบำรุงรักษา จึงได้ดำเนินการใช้งานจริงระหว่างเดือนเมษายน 2559 จนถึงปัจจุบันตามรูปที่ 5.111



รูปที่ 5.111 แผนงานบำรุงรักษาปั๊มประมุทหอยโข่งและประเภทสกรู

บทที่ 6
การวัดผลการปรับปรุง

จากการได้นำระบบการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ ระบบการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและระบบการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข นำไปพัฒนาและแก้ไขจนมีความเหมาะสมในการบำรุงบำรุงปั๊มประเภทหอยโข่งและสกรูนั้น ในบทนี้จะแสดงการวัดผลเปรียบเทียบข้อมูลก่อนและหลังการพัฒนา

6.1 ดัชนีที่ใช้ในการวัดผลการปรับปรุงระบบงานบำรุงรักษาปั๊ม

การวัดผลหลังจากพัฒนาระบบงานบำรุงรักษาปั๊มแล้วนั้นจะใช้ 2 วิธี คือ

6.1.1 การวัดผลโดยใช้ค่าเฉลี่ยของเวลาระหว่างเกิดการขัดข้อง (Mean Time between Failures, MTBF)

เป็นดัชนีที่บ่งชี้ว่าเครื่องจักรมีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด ถ้าค่า MTBF มาก แสดงว่านานๆครั้งเครื่องจักรถึงจะเกิดความเสียหาย แต่ถ้า MTBF น้อย แสดงว่าเครื่องจักรเกิดความเสียหายบ่อยครั้ง ซึ่งสามารถคำนวณหาได้จากสูตรดังนี้

$$\text{MTBF} = \frac{\text{เวลาใช้งานเครื่องจักร}}{\text{จำนวนครั้งที่เครื่องจักรหยุด}}$$

ซึ่งการวัดผลโดยใช้ค่า MTBF นี้ มีความหมายว่า ถ้าหลังการปรับปรุงค่า MTBF ที่คำนวณได้มีค่า <u>เพิ่มขึ้น</u> จากช่วงก่อนการปรับปรุง แสดงว่า การปรับปรุงนี้ได้ผลดีขึ้น

6.1.2 การวัดผลโดยใช้ค่าเฉลี่ยของเวลาตั้งแต่เกิดการขัดข้องจนใช้งานได้ (Mean Time to repair, MTTR)

เป็นดัชนีที่บ่งบอกถึงความพร้อมของการทำงานของเครื่องจักร เป็นการเปรียบเทียบระหว่างเวลาหยุดซ่อมเครื่องจักรกับจำนวนครั้งที่เครื่องจักรหยุด ซึ่งถ้าค่า MTTR หลังปรับปรุงมีลดลงแสดงว่าการปรับปรุงนี้ดีขึ้น สามารถคำนวณหาได้จากสูตรดังนี้

$$\text{MTTR} = \frac{\text{เวลาหยุดซ่อมเครื่องจักร}}{\text{จำนวนครั้งที่เครื่องจักรหยุด}}$$

ซึ่งการวัดผลโดยใช้ค่า MTTR นี้ มีความหมายว่า ถ้าหลังการปรับปรุงค่า MTTR ที่คำนวณได้มีค่า <u>ลดลง</u> จากช่วงก่อนการปรับปรุง แสดงว่า การปรับปรุงนี้ได้ผลดีขึ้น

ตารางที่ 6.1 ข้อมูลการวัดผลการปรับปรุงการบำรุงรักษาปั๊มด้วยดัชนี MTBF และ MTTR

ลำดับ	หน่วยการผลิต	ดัชนี	ก่อนการปรับปรุง						หลังการปรับปรุง						เปลี่ยนแปลง
			2558			2559			2559						
			ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
1	ตัวเมื่อย	MTTR	120.00	120.00	135.00	105.00	78.00	75.00	73.50	72.46	70.50	70.50	67.80	67.80	7.20
		MTBF	370.00	486.00	546.75	488.25	358.70	392.57	418.78	440.95	460.83	513.11	528.47	576.47	183.90
2	ฟอกเสื่อด้วย	MTTR	32.00	170.67	158.00	132.40	106.38	91.10	89.64	83.42	79.08	79.08	79.08	79.08	12.02
	ออกซิเจน	MTBF	743.47	959.82	546.37	585.99	448.35	431.78	456.78	477.69	496.30	552.76	609.81	665.20	233.42
3	ฟอกเสื่อด้วย	MTTR	15.00	97.50	93.75	97.50	103.13	95.00	91.50	87.27	87.27	87.27	87.27	87.27	7.73
	สารเคมี	MTBF	743.75	1088.88	547.44	488.38	448.22	479.69	502.43	521.05	586.50	653.41	721.05	786.50	306.81
4	สารเคมี	MTTR	-	-	-	30.00	30.75	30.75	30.75	30.75	30.75	30.60	30.60	30.60	0.15
		MTBF	-	-	-	1469.50	899.49	934.99	1259.49	1439.49	1619.49	1444.29	1588.29	1732.29	797.30
5	ใยหาไฟ	MTTR	19.80	19.80	21.30	23.20	24.90	25.92	26.60	26.60	26.60	24.09	24.09	24.09	1.83
		MTBF	743.67	1463.67	1097.65	979.61	899.59	865.97	839.56	959.47	1079.47	1031.52	1137.76	1240.62	374.65
6	น้ำมัน	MTTR	90.00	70.00	70.00	63.75	63.75	60.00	58.00	58.00	51.86	51.86	51.86	51.86	8.14
		MTBF	370.50	966.50	730.83	733.94	898.94	865.40	839.03	959.03	924.85	1031.14	1137.42	1240.28	374.88
7	น้ำดิบ	MTTR	75.00	75.00	75.00	59.40	59.40	53.04	41.74	41.74	41.74	41.74	41.74	41.74	11.30
		MTBF	370.75	1090.75	1096.75	979.01	1199.01	865.52	719.30	825.59	928.45	1034.73	1141.02	1243.88	378.36
8	บำบัดน้ำเสีย	MTTR	30.00	30.00	30.00	50.00	51.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	0.00
		MTBF	743.50	1463.50	2195.50	979.17	719.15	721.17	839.17	963.17	1083.17	1207.17	1331.17	1451.17	730.00

สำหรับการคำนวณในการศึกษานี้มีปั๊มที่ทำการศึกษา 2 ประเภท คือประเภทสกรูและประเภทหอยโข่ง จำนวนทั้งหมด 204 ตัว โดยแบ่งเป็นปั๊มประเภทหอยโข่ง 190 ตัว และปั๊มประเภทสกรู 14 ตัว โดยปั๊มที่ใช้ในกระบวนการผลิตเดียวกัน จะพิจารณาผลการคำนวณร่วมกัน เช่น หน่วยการผลิต Water treatment มีการใช้ปั๊มประเภทหอยโข่ง 15 ตัว และใช้ปั๊มประเภทสกรู 3 ตัว ดังนั้นค่าที่ได้จากการคำนวณจะมาจากปั๊มทั้งหมด 18 ตัวที่มีการใช้งานในหน่วยการผลิตนี้ เนื่องจากหน่วยการผลิตเป็นระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง เมื่อปั๊มตัวใดตัวหนึ่งเกิดเหตุขัดข้อง จะส่งผลกระทบต่อหน่วยการผลิตนั้นทันที

ในการนำแผนที่ได้จากการพัฒนาการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ การปรับปรุงการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน และการนำบำรุงรักษาเชิงแก้ไขมาประยุกต์ ไปใช้ในการปฏิบัติงานจริง โดยเริ่มการปรับปรุงในเดือนเมษายน 2559 ดังนั้นในการเก็บข้อมูลเพื่อนำมาวัดผลการปรับปรุงจึงสามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ

1.ช่วงก่อนการปรับปรุง ได้เก็บข้อมูลก่อนการนำแผนการซ่อมบำรุงไปใช้งานเป็นระยะเวลา 6 เดือน คือตั้งแต่เดือนตุลาคม 2558 ถึง เดือนมีนาคม 2559

2. ช่วงหลังการปรับปรุง ได้เก็บข้อมูลหลังจากได้เริ่มนำแผนการซ่อมบำรุงไปใช้เป็นระยะเวลา 6 เดือน คือตั้งแต่เดือนเมษายน 2559 ถึง กันยายน 2559

จากตารางที่ 6.1 แสดงค่าเฉลี่ยของเวลาก่อนเกิดเหตุขัดข้อง (MTBF) และค่าเฉลี่ยของเวลาตั้งแต่เกิดความเสียหายจนใช้งานได้ (MTTR) มีหน่วยเป็นชั่วโมง และ นาที ตามลำดับ ลักษณะของตารางในแนวนอนจะแบ่งหน่วยการผลิตทั้งหมดที่มีการใช้งานปั๊มทั้ง 2 ประเภทและแสดงดัชนีชี้วัดผลการปรับปรุง ส่วนในแนวตั้งแสดงช่วงเวลาก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ซึ่งในแต่ละช่วงจะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ย และนำมาเปรียบเทียบหาผลต่างของการเปลี่ยนแปลง จากที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น ถ้าช่วงหลังการปรับปรุงสามารถคำนวณหาค่า MTBF ได้มากขึ้นกว่าช่วงก่อนการปรับปรุง แสดงว่าการปรับปรุงนี้ทำให้ได้ผลที่ดีขึ้น และค่า MTTR ถ้าช่วงหลังการปรับปรุงสามารถคำนวณหาค่าได้ลดลงกว่าช่วงก่อนการปรับปรุง แสดงว่าการปรับปรุงนี้ทำให้ได้ผลที่ดีขึ้น จากตารางที่ 6.1 จะเห็นได้ว่า ทุกหน่วยการผลิตมีการเปลี่ยนแปลงเป็นบวก นั่นแสดงว่าการปรับปรุงนี้ทำให้ได้ผลที่ดีขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

หลังจากทำการปรับปรุงสามารถสรุปผลได้ว่า หน่วยต้มเยื่อ หน่วยฟอกเยื่อด้วยออกซิเจน และ หน่วยฟอกเยื่อด้วยสารเคมี มีค่าเฉลี่ยของเวลาก่อนเกิดการขัดข้องเพิ่มขึ้น 183.90 ชั่วโมง, 233.42 ชั่วโมง และ 306.81 ชั่วโมง ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยของเวลาตั้งแต่เกิดการขัดข้องจนใช้งานได้ลดลง 7.20 นาที, 12.02 นาที และ 7.73 นาที ตามลำดับ ที่หน่วยการผลิตสารเคมี หน่วยการผลิตโซดาไฟ และ หน่วยผลิตน้ำมัน มีค่าเฉลี่ยของเวลาก่อนเกิดการขัดข้องเพิ่มขึ้น 797.30 ชั่วโมง, 374.65 ชั่วโมง และ 374.88 ชั่วโมง ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยของเวลาตั้งแต่เกิดการขัดข้องจนใช้งาน

ได้ลดลง 0.15 นาที, 1.83 นาที และ 8.14 นาที ตามลำดับ และหน่วยการผลิตน้ำดับ และหน่วยบำบัดน้ำเสีย มีค่าเฉลี่ยของเวลาก่อนเกิดการขัดข้องเพิ่มขึ้น -378.36 ชั่วโมง และ 730 ชั่วโมง ตามลำดับ และมีค่าเฉลี่ยของเวลาตั้งแต่เกิดการขัดข้องจนใช้งานได้ลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ 11.30 นาที และ 0 นาที ตามลำดับ

และจากตารางที่ 6.1 จะเห็นได้ว่า หน่วยการผลิตสารเคมี ไม่แสดงผลการคำนวณ MTBF และ MTTR ในเดือนตุลาคม 2558 ถึง เดือนธันวาคม 2558 เนื่องจากในช่วงดังกล่าวปั๊มที่ใช้งานในหน่วยการผลิตไม่มีการเกิดเหตุขัดข้องเลย ทำให้ไม่สามารถคำนวณค่าได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

บทที่ 7
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการพัฒนาระบบงานบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ โดยการวิเคราะห์ค่าความสั่นสะเทือนและการวิเคราะห์คุณภาพของสารหล่อลื่นมาช่วยลดปัญหาการเกิดเหตุขัดข้องของปั๊มประเภทหอยโข่งและประเภทสกรู อีกทั้งนำมาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็คที่ได้มาปรับปรุงระยะเวลาในการบำรุงรักษาเชิงป้องกันและจัดทำต้นไม้แห่งความล้มเหลวมาสนับสนุนการตรวจเช็คปั๊ม ซึ่งผลการดำเนินงานวิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

7.1 สรุปผลการดำเนินการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์

ในการพัฒนาการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาการเกิดเหตุขัดข้องในปั๊มประเภทหอยโข่งและประเภทสกรู โดยเริ่มจากการจัดกลุ่มของปั๊ม เพื่อให้ง่ายต่อการพยากรณ์หาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็คปั๊ม ด้วยการวิเคราะห์ค่าความสั่นสะเทือนและการวิเคราะห์คุณภาพของสารหล่อลื่น จากนั้นทำการวัดค่าความสั่นสะเทือนและเก็บตัวอย่างสารหล่อลื่นมาวิเคราะห์ตามระยะเวลาที่กำหนด แล้วสังเกตแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความสั่นสะเทือนและค่าคุณภาพของสารหล่อลื่น ทำให้ได้ระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็คปั๊ม

7.1.1 ขั้นตอนการดำเนินการ

ดำเนินการจัดกลุ่มของปั๊ม โดยแบ่งตามปัจจัย 3 ตัว คือ ระดับความสำคัญ อายุการใช้งาน และภาระงาน ก่อนเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ จากนั้นวางแผนการเก็บค่าความสั่นสะเทือนและวิเคราะห์ตัวอย่างของสารหล่อลื่น โดยแบ่งระยะการเก็บค่าความสั่นสะเทือนเป็น 3 วัน 7 วัน 15 วัน และ 30 วัน ส่วนการวิเคราะห์ตัวอย่างสารหล่อลื่นจะแบ่งระยะเป็น 15 วัน 30 วัน 60 วัน และ 90 วัน และจะนำผลที่ได้มาสังเกตแนวโน้มการเกิดการเปลี่ยนแปลง เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนจะนำจุดนั้นมาเป็นระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็คปั๊ม

7.1.2 กิจกรรมการบำรุงรักษา

หลังจากได้ระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็คปั๊มแล้ว จะนำระยะเวลานั้นมาใช้เป็นระยะเวลาในการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน โดยมีการปรับปรุงและเพิ่มเติมรายละเอียดการตรวจเช็ค จากของเดิมและคู่มือการบำรุงรักษาปั๊ม เพื่อให้มีรายละเอียดที่ครบถ้วนมากขึ้น โดยสามารถเปรียบเทียบแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกันเดิมและใหม่ได้ดังตารางที่ 7.1 และ 7.2

ตารางที่ 7.1 การเปรียบเทียบแผนการบำรุงรักษาปั๊มประเภทหอยโข่งและก่อนและหลังการปรับปรุง

ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
หอยโข่ง	
1 เดือน -การสั่นสะเทือน ตรวจสอบด้วยตาและการสัมผัส -การวัดอุณหภูมิของลูกปืน -การฟังเสียงความผิดปกติของลูกปืน -การรั่วซึมของระบบ Sealing -ตรวจสอบวาร์ลและท่อทั้งทางดูดและทางส่ง -การหลวมคลอนของ Bolt และ nut -ตรวจสอบคัปปลิ้ง และส่วนประกอบอื่นๆของปั๊ม -เติมน้ำมันเมื่อระดับลดลงต่ำกว่าระดับที่ยอมรับได้ -อัดจารบีในตำแหน่งของลูกปืน -ทำความสะอาดโดยรอบของปั๊ม	**ตามระยะเวลาที่พยากรณ์ได้** -การวัดค่าความสั่นสะเทือนของลูกปืน -การวิเคราะห์สารหล่อลื่น -การวัดอุณหภูมิของลูกปืน -การฟังเสียงความผิดปกติของลูกปืน -ตรวจสอบความผิดปกติของคัปปลิ้ง -ตรวจสอบความผิดปกติของชุด Seal -ตรวจสอบระบบน้ำหล่อเย็นของชุด Seal -ตรวจสอบวาร์ลและท่อทั้งทางดูดและทางส่ง -การหลวมคลอนของ Bolt และ nut -ตรวจสอบคัปปลิ้ง -ทำความสะอาดโดยรอบของปั๊ม **1 เดือน** -เติมน้ำมันเมื่อระดับลดลงต่ำกว่าระดับที่ยอมรับได้ -อัดจารบีในตำแหน่งของลูกปืน **3 เดือน** -ตรวจสอบการเยื้องศูนย์ของปั๊ม **12 เดือน** -ตรวจสอบค่า Axial and Radial play ของลูกปืน -ตรวจสอบการสึกหรอของ Impeller, Side plate และ Wearing

จากตารางที่ 7.1 แสดงแผนการบำรุงรักษาปั๊มประเภทหอยโข่งก่อนและหลังการปรับปรุง ซึ่งจะเห็นได้ว่าหลังการปรับปรุงมีการเพิ่มเติมรายละเอียดการบำรุงรักษาปั๊มและปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการตรวจเช็คปั๊มที่ชัดเจนมากขึ้น

ตารางที่ 7.2 การเปรียบเทียบแผนการบำรุงรักษาปั๊มประเภทประเภทสกรูก่อนและหลังการปรับปรุง

ก่อนการปรับปรุง	หลังการปรับปรุง
สกรู	
1 เดือน -การวัดอุณหภูมิของลูกปืน -ตรวจสอบความผิดปกติของชุด Packing Seal -การหลวมคลอนของ Bolt และ nut -ตรวจสอบความผิดปกติของคัปปลิ้ง -ตรวจสอบวาร์ลและท่อทั้งทางดูดและทางส่ง	**ตามระยะเวลาที่พยากรณ์ได้** -การวัดค่าความสั่นสะเทือนของลูกปืน -การวัดอุณหภูมิของลูกปืน -ตรวจสอบความผิดปกติของคัปปลิ้ง -ตรวจสอบความผิดปกติของชุด Packing Seal -ตรวจสอบชุดคัปปลิ้ง -ตรวจสอบวาร์ลและท่อทั้งทางดูดและทางส่ง -การหลวมคลอนของ Bolt และ nut **12 เดือน** -เช็คระบบ Power supply Electrical duct -ตรวจสอบการสึกหรอของ Stator และ Rotor -กำจัดคราบสนิมภายนอกและทำสีปั๊มใหม่เพื่อป้องกันการกัดกร่อน

จากตารางที่ 7.2 แสดงแผนการบำรุงรักษาปั๊มประเภทสกรูก่อนและหลังการปรับปรุง ซึ่งจะเห็นได้ว่าหลังการปรับปรุงมีการเพิ่มเติมรายละเอียดการบำรุงรักษาปั๊มและปรับเปลี่ยนระยะเวลาในการตรวจเช็คปั๊มที่ชัดเจนมากขึ้น

7.1.3 ค่าเฉลี่ยของเวลาระหว่างเกิดการขัดข้อง (MTBF) และค่าเฉลี่ยของเวลาตั้งแต่เกิดการขัดข้องจนใช้งานได้ (MTTR)

เมื่อทำการพัฒนาแผนการบำรุงรักษาแล้ว จะทำการดำเนินการปฏิบัติงานตามแผน พบว่าหลังจากดำเนินการไปเป็นระยะเวลา 6 เดือน สามารถแสดงผลการดำเนินงานก่อนและหลังการพัฒนาแยกตามหน่วยการผลิตได้ดังตารางที่ 7.3 และ 7.4 ตามลำดับ

ตารางที่ 7.3 ผลการดำเนินงานก่อนปฏิบัติตามแผนบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ของปั๊มประเภทหอยโข่งและสกรู

เดือน	หน่วยการผลิต	จำนวนครั้งที่หยุดซ่อม(ครั้ง)	เวลาขัดข้อง (ชั่วโมง)	MTTR (นาที)	MTBF (ชั่วโมง)
ตุลาคม 58 - มีนาคม 59 (ก่อนการปรับปรุง)	1.ต้มเยื่อ	11	13.75	75.00	392.57
	2.ฟอกเยื่อด้วยออกซิเจน	10	15.18	91.10	431.78
	3.ฟอกเยื่อด้วยสารเคมี	9	14.25	95.00	479.69
	4.สารเคมี	4	2.05	30.75	934.99
	5.โซดาไฟ	5	2.16	25.92	865.97
	6.น้ำมัน	5	5.00	60.00	865.40
	7.น้ำดิบ	5	4.42	53.04	865.52
	8.บำบัดน้ำเสีย	6	5.00	50.00	721.17
	Total	55	61.81		

ตารางที่ 7.4 ผลการดำเนินงานหลังปฏิบัติตามแผนบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ของปั๊มประเภทหอยโข่งและสกรู

เดือน	หน่วยการผลิต	จำนวนครั้งที่หยุดซ่อม (ครั้ง)	เวลาขัดข้อง (ชั่วโมง)	MTTR (นาที)	MTBF (ชั่วโมง)	MTTR ลดลง (นาที)	MTBF เพิ่มขึ้น (ชั่วโมง)
เมษายน 59 - กันยายน 59 (หลังการปรับปรุง)	1.ต้มเยื่อ	4	3.20	67.80	576.47	7.20	183.90
	2.ฟอกเยื่อด้วยออกซิเจน	3	1.95	79.08	665.20	12.02	233.42
	3.ฟอกเยื่อด้วยสารเคมี	2	1.75	87.27	786.50	7.73	306.81
	4.สารเคมี	1	0.50	30.60	1732.29	0.15	797.30
	5.โซดาไฟ	2	0.65	24.09	1240.62	1.83	374.65
	6.น้ำมัน	1	0.8	51.86	1240.28	8.14	374.88
	7.น้ำดิบ	2	0.45	41.74	1243.88	11.30	378.36
	8.บำบัดน้ำเสีย	0	0.00	50.00	1451.17	0.00	730.00
	Total	15	9.30				

จากตารางที่ 7.3 และ7.4 สามารถสรุปผลการดำเนินงานได้ดังนี้

1) จำนวนครั้งและจำนวนชั่วโมงของการเกิดการขัดข้อง หลังจากดำเนินการพัฒนาการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์ปั๊มประเภทหอยโข่งและประเภทสกรูแล้วนั้น พบว่า ก่อนการปรับปรุงปั๊มระหว่างเดือนตุลาคม 2558 ถึงเดือนมีนาคม 2559 มีการหยุดจากการเกิดการขัดข้องทั้งหมด 55 ครั้ง คิดเป็นเวลา 61.81 ชั่วโมง หลังการปรับปรุงระหว่างเดือนเมษายน 2559 ถึงเดือนกันยายน 2559 มีการหยุดจากการเกิดเหตุขัดข้องทั้งหมด 15 ครั้ง คิดเป็นเวลา 9.30 ชั่วโมง ทั้งนี้เป็นผลอันเนื่องมาจากการนำการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มาช่วยลดโอกาสที่จะเกิดการขัดข้องในปั๊มลง

2) ค่า MTBF หลังการนำการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์มาใช้งานควบคู่กับการปรับปรุงการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน พบว่าในหน่วยการผลิตต้มเยื่อมีค่าเพิ่มขึ้น 183.90 ชั่วโมง หน่วยการฟอกเยื่อด้วยออกซิเจนมีค่าเพิ่มขึ้น 233.42 ชั่วโมง หน่วยการฟอกเยื่อด้วยสารเคมีมีค่าเพิ่มขึ้น 306.81 ชั่วโมง หน่วยการผลิตสารเคมีมีค่าเพิ่มขึ้น 797.30 ชั่วโมง หน่วยผลิตโซดาไฟมีค่าเพิ่มขึ้น 374.65 ชั่วโมง หน่วยส่งน้ำมันมีค่าเพิ่มขึ้น 374.88 ชั่วโมง หน่วยผลิตน้ำดิบมีค่าเพิ่มขึ้น 378.36 ชั่วโมง และหน่วยบำบัดน้ำเสียมีค่าเพิ่มขึ้น 730 ชั่วโมง

3) ค่า MTTR หลังการปรับปรุง พบว่าในหน่วยการผลิตต้มเยื่อมีค่าลดลง 7.20 นาที หน่วยการฟอกเยื่อด้วยออกซิเจนมีค่าลดลง 12.02 นาที หน่วยการฟอกเยื่อด้วยสารเคมีมีค่าลดลง 7.73 นาที หน่วยการผลิตสารเคมีมีค่าลดลง 0.15 นาที หน่วยผลิตโซดาไฟมีค่าลดลง 1.83 นาที หน่วยส่งน้ำมันมีค่าลดลง 8.14 นาที หน่วยผลิตน้ำดิบมีค่าลดลง 11.30 นาที และหน่วยบำบัดน้ำเสียไม่มีการเปลี่ยนแปลง เนื่องมาจากการจัดทำต้นไม้แห่งความล้มเหลว มาช่วยในการวินิจฉัยความผิดปกติและหาแนวทางในการแก้ไขปั๊ม ทำให้ช่างบำรุงรักษาสามารถแก้ไขปัญหาการขัดข้องของปั๊มได้อย่างรวดเร็วมากยิ่งขึ้น

4) จากข้อที่ 1 จะเห็นได้ว่าจำนวนชั่วโมงของการขัดข้องลดลงจาก 61.81 ชั่วโมง เหลือ 9.30 ชั่วโมง ในช่วงเวลา 6 เดือน ทำให้โรงงานกรณีศึกษาลดการสูญเสียโอกาสในการผลิต และลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข

สรุปผลการดำเนินงานได้ผลที่ดีขึ้น ดังนั้นการนำแผนการดำเนินการบำรุงรักษาปั๊มไปใช้งานจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการบำรุงรักษาให้สูงขึ้นและทำให้ปั๊มเกิดการขัดข้องน้อยลง อีกทั้งยังช่วยลดการสูญเสียโอกาสในการผลิตและลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเชิงแก้ไข

7.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย

1) การพยากรณ์หาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็คปั๊มจากค่าความสั่นสะเทือน ในช่วงการวัดค่าความสั่นสะเทือน ในกลุ่มที่มีระดับความสำคัญ A อายุการใช้งานและภาระงานปานกลางถึงมาก ควรเริ่มต้นที่ 7 วัน ส่วนในกลุ่มที่มีระดับความสำคัญ A แต่มีอายุการใช้งานและภาระงาน ปานกลางถึง

Chulalongkorn University

น้อย ควรเริ่มต้นที่ 15 วัน กลุ่มที่มีระดับความสำคัญ B ควรเริ่มต้นที่ 15 วัน และกลุ่มที่มีระดับความสำคัญ C ควรเริ่มต้นที่ 30 วัน

2) การพยากรณ์หาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็คปั๊มจากการวิเคราะห์คุณภาพของสารหล่อลื่น ในช่วงการเก็บตัวอย่างสารหล่อลื่นมาทดสอบ ในกลุ่มที่มีระดับความสำคัญ A อายุการใช้งานและภาระงานปานกลางถึงมาก ควรเริ่มต้นที่ 60 วัน ในกลุ่มที่มีระดับความสำคัญ A แต่มีอายุการใช้งานและภาระงาน ปานกลางถึงน้อย ควรเริ่มต้นที่ 90 วัน กลุ่มที่มีระดับความสำคัญ B ควรเริ่มต้นที่ 90 วัน และกลุ่มที่มีระดับความสำคัญ C ควรเริ่มต้นที่มากกว่า 90 วัน

3) สามารถเพิ่มระยะในการวัดค่าความสั่นสะเทือนและเก็บตัวอย่างสารหล่อลื่นมาทดสอบให้มากขึ้นได้ เมื่อนำมาแสดงผลในกราฟ จะช่วยให้การพยากรณ์ระยะเวลาในการตรวจเช็คที่มีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น

4) สามารถนำขั้นตอนในการศึกษางานวิจัยนี้มาปรับใช้กับเครื่องจักรประเภทอื่นๆได้ เช่น ปั๊มประเภทอื่นๆ คอมเพรสเซอร์ พัดลม และเครื่องจักรที่มีการหมุน (Rotating equipment) เป็นต้น

5) สำหรับงานวิจัยนี้เป็นเพียงการเลือกเครื่องจักรชนิดปั๊มประเภทหอยโข่งและประเภทสกรูมาทำการปรับปรุง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเครื่องจักรที่มีการใช้งานในโรงผลิตเยื่อกระดาษเท่านั้น ดังนั้นในการหาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตรวจเช็คควรคำนึงถึงจำนวนของช่างบำรุงรักษาในหน่วยงานด้วยว่ามีเพียงพอต่อการปฏิบัติงานดังกล่าวด้วยหรือไม่

6) สามารถจัดทำแผนการอบรมพนักงานบำรุงรักษา เพื่อให้มีความรู้และความเข้าใจในการพัฒนาระบบการบำรุงรักษานี้ได้ดีขึ้น โดยจัดทำเป็น Skill matrix เพื่อให้ทราบถึงความสามารถของแต่ละบุคคล เนื่องด้วยในโรงงานกรณีศึกษามีการเข้าออกของพนักงานสูง ทำให้เกิดความไม่ต่อเนื่องในการพัฒนาบุคลากร

7) ในการตรวจเช็คค่าความสั่นสะเทือนของตลับลูกปืนและวิเคราะห์คุณภาพของน้ำมัน เมื่อนำระยะเวลาที่เหมาะสมที่ได้จากการเก็บตัวอย่างมาใช้งานจริง ในช่วงแรกควรดำเนินการตามระยะเวลาดังกล่าว แต่เมื่อปั๊มได้ถูกวางแผนบำรุงรักษา จนทำให้เกิดการขัดข้องน้อยลง สามารถยืดระยะเวลาในการทำลงได้ และในขณะเดียวกันเมื่อปั๊มเกิดการขัดข้องมากขึ้น ให้นำแผนการบำรุงรักษานี้กลับมาใช้งาน

8) การเลือกปัจจัยในการจัดกลุ่มของปั๊มก่อนการพัฒนา งานวิจัยนี้ได้เลือก ระดับความสำคัญ อายุการใช้งาน และภาระงาน มาเป็นปัจจัยในการจัดกลุ่ม แต่ยังมีปัจจัยอื่นๆที่มีความเหมาะสม เช่น กำลังมอเตอร์ และความเร็วรอบ เพราะทั้ง 2 ปัจจัยนี้ล้วนแล้วแต่ส่งผลต่อค่าความสั่นสะเทือนของตลับลูกปืน

Chulalongkorn University

รายการอ้างอิง

เปรมมนัส สุวรรณดุล and เกษม วิจิตราภรณ์พงศ์ (2555). "การซ่อมบำรุงตามสภาพ." วารสารกรมอู่ทหารเรือ: 70-76.

ไพฑูรย์ ตันอุด (2547). การวิเคราะห์ความสำคัญของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของโครงการก่อสร้างถนนขององค์การบริหาร่วนตำบล (อบต.) โดยใช้การวิเคราะห์แบบฟอลท์ทรี, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชารินี ลิ้มสวัสดิ์ (2550). การวิเคราะห์ปัญหาในการบริหารงานก่อสร้างช่วงก่อนดำเนินการสร้าง โดยการวิเคราะห์แบบฟอลท์ทรี, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ดนัย สาหร่ายทอง (2543). การวิเคราะห์เหตุขัดข้องของเครื่องจักรเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน กรณีศึกษา : โรงงานผลิตชิ้นส่วนเครื่องยนต์รถจักรยานยนต์, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นฤทธิ์ เร้ารุ่งอรุณ (2551). การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบบำรุงรักษาเครื่องเชื่อมแผงวงจรรวมโดยใช้การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

บุษราคัม เศวตสกุลานนท์ (2551). การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดำเนินงานของผู้รับจ้างก่อสร้างขนาดเล็กในภาคกลางตอนบนโดยใช้การวิเคราะห์แบบฟอลท์ทรี, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วิเชียร เปลี่ยนสี (2558). การบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์สำหรับเครื่องอัดอากาศ : กรณีศึกษาบริษัทในอุตสาหกรรมแก๊สแห่งหนึ่ง, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

วิฑูรย์ นะเอ้ย (2552). การปรับปรุงการบำรุงรักษาของโรงผลิตไฟฟ้าในอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สิริวิมล ชื่นบาล and นันทิยา หาญศุภลักษณ์ (2555). "การชี้บ่งอันตรายด้วยวิธี Fault Tree Analysis และการประเมินความเสี่ยงภายในท่ออบแป้งในกระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง." วิศวกรรมสาร มก.: 39-50.

สุพัฒน์ เซียศิริวัฒนา, et al. (2549). สัมฤทธิผลของงานบำรุงรักษา. กรุงเทพมหานคร, ซีเอ็ดยูเคชั่น.

อรรถพร อิฐสมบัติ (2556). การทำนายอายุการใช้งานของเครื่องจักรในโรงไฟฟ้าเพื่อการบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์, วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

อัจฉรียา วังวิเศษ (2553). การปรับปรุงคุณภาพกระบวนการผสมสีในการผลิตสีผง วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อุมารัตน์ ศิริจรูญวงศ์ (2555). "การวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความล้มเหลว: เทคนิคการชี้บ่งอันตรายเพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุจากงาน." วารสาร มฉก.วิชาการ: 167-180.

Chulalongkorn University

ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ภาคผนวก ก.

การคำนวณหาค่า MTBF และ MTTR

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University

ตารางที่ 1 ค่า MTBF และ MTTR ประจำเดือนตุลาคม 2558

หน่วยการผลิต	เวลารับภาระงาน (ชั่วโมง)	จำนวนครั้งที่หยุดซ่อม(ครั้ง)	เวลาขัดข้อง (ชั่วโมง)	เวลาขัดข้อง (นาที)	MTTR (นาที/ครั้ง)	MTBF (ชั่วโมง/ครั้ง)
ต้มเยื่อ	744	2	4.00	240.00	120.00	370.00
ฟอกเยื่อด้วยออกซิเจน	744	1	0.53	32.00	32.00	743.47
ฟอกเยื่อด้วยสารเคมี	744	1	0.25	15.00	15.00	743.75
สารเคมี	744	0	0.00	0.00	-	-
โซดาไฟ	744	1	0.33	19.80	19.80	743.67
น้ำมัน	744	2	3.00	180.00	90.00	370.50
น้ำดิบ	744	2	2.50	150.00	75.00	370.75
บำบัดน้ำเสีย	744	1	0.50	30.00	30.00	743.50
รวม		8	8.11			

ตารางที่ 2 ค่า MTBF และ MTTR ประจำเดือนพฤศจิกายน 2558

หน่วยการผลิต	เวลารับภาระงาน (ชั่วโมง)	จำนวนครั้งที่หยุดซ่อม(ครั้ง)	เวลาขัดข้อง (ชั่วโมง)	เวลาขัดข้อง (นาที)	MTTR (นาที/ครั้ง)	MTBF (ชั่วโมง/ครั้ง)
ต้มเยื่อ	720	1	2.00	120.00	120.00	486.00
ฟอกเยื่อด้วยออกซิเจน	720	2	8.00	480.00	170.67	959.82
ฟอกเยื่อด้วยสารเคมี	720	1	3.00	180.00	97.50	1088.88
สารเคมี	720	0	0.00	0.00	-	-
โซดาไฟ	720	0	0.00	0.00	19.80	1463.67
Used oil	720	1	0.50	30.00	30.00	1460.50
น้ำดิบ	720	0	0.00	0.00	75.00	1090.75
บำบัดน้ำเสีย	720	0	0.00	0.00	30.00	1463.50
รวม		4	13.00			

ตารางที่ 3 ค่า MTBF และ MTTR ประจำเดือนธันวาคม 2558

หน่วยการผลิต	เวลารับภาระงาน (ชั่วโมง)	จำนวนครั้งที่หยุดซ่อม(ครั้ง)	เวลาขัดข้อง (ชั่วโมง)	เวลาขัดข้อง (นาที)	MTTR (นาที/ครั้ง)	MTBF (ชั่วโมง/ครั้ง)
ต้มเยื่อ	732	1	3.00	180.00	135.00	546.75
ฟอกเยื่อด้วยออกซิเจน	732	1	2.00	120.00	158.00	546.37
ฟอกเยื่อด้วยสารเคมี	732	2	3.00	180.00	93.75	547.44
สารเคมี	732	0	0.00	0.00	-	-
โซดาไฟ	732	1	0.38	22.80	21.30	1097.65
Used oil	732	0	0.00	0.00	70.00	730.83
น้ำดิบ	732	0	0.00	0.00	75.00	1096.75
บำบัดน้ำเสีย	732	0	0.00	0.00	30.00	2195.50
รวม		5	8.38			

ตารางที่ ก.4 ค่า MTBF และ MTTR ประจำเดือนมกราคม 2559

หน่วยการผลิต	เวลารับภาระงาน (ชั่วโมง)	จำนวนครั้งที่หยุดซ่อม(ครั้ง)	เวลาขัดข้อง (ชั่วโมง)	เวลาขัดข้อง (นาที)	MTTR (นาที/ครั้ง)	MTBF (ชั่วโมง/ครั้ง)
ต้มเยื่อ	744	2	1.50	90.00	105.00	488.25
ฟอกเยื่อด้วยออกซิเจน	744	1	0.50	30.00	132.40	585.99
ฟอกเยื่อด้วยสารเคมี	744	2	3.50	210.00	97.50	488.38
สารเคมี	744	2	1.00	60.00	30.00	1469.50
โซดาไฟ	744	1	0.45	27.00	23.20	979.61
Used oil	744	1	0.75	45.00	63.75	733.94
น้ำดิบ	744	1	0.47	28.20	59.40	979.01
บำบัดน้ำเสีย	744	2	2.00	120.00	50.00	979.17
รวม		11	9.42			

ตารางที่ ก.5 ค่า MTBF และ MTTR ประจำเดือนกุมภาพันธ์ 2559

หน่วยการผลิต	เวลารับภาระงาน (ชั่วโมง)	จำนวนครั้งที่หยุดซ่อม(ครั้ง)	เวลาขัดข้อง (ชั่วโมง)	เวลาขัดข้อง (นาที)	MTTR (นาที/ครั้ง)	MTBF (ชั่วโมง/ครั้ง)
ต้มเยื่อ	660	4	2.50	150.00	78.00	358.70
ฟอกเยื่อด้วยออกซิเจน	660	3	3.15	189.00	106.38	448.35
ฟอกเยื่อด้วยสารเคมี	660	2	4.00	240.00	103.13	448.22
สารเคมี	660	2	1.05	63.00	30.75	899.49
โซดาไฟ	660	1	0.50	30.00	24.90	899.59
Used oil	660	0	0.00	0.00	63.75	898.94
น้ำดิบ	660	0	0.00	0.00	59.40	1199.01
บำบัดน้ำเสีย	660	2	1.75	105.00	51.00	719.15
รวม		14	12.95			

ตารางที่ 6 ค่า MTBF และ MTTR ประจำเดือนมีนาคม 2559

หน่วยการผลิต	เวลารับภาระงาน (ชั่วโมง)	จำนวนครั้งที่หยุดซ่อม(ครั้ง)	เวลาขัดข้อง (ชั่วโมง)	เวลาขัดข้อง (นาที)	MTTR (นาที/ครั้ง)	MTBF (ชั่วโมง/ครั้ง)
ต้มเยื่อ	732	1	0.75	45.00	75.00	392.57
ฟอกเยื่อด้วยออกซิเจน	732	2	1.00	60.00	91.10	431.78
ฟอกเยื่อด้วยสารเคมี	732	1	0.50	30.00	95.00	479.69
สารเคมี	732	0	0.00	0.00	30.75	934.99
โซดาไฟ	732	1	0.50	30.00	25.92	865.97
Used oil	732	1	0.75	45.00	60.00	865.40
น้ำดิบ	732	2	1.45	87.00	53.04	865.52
บำบัดน้ำเสีย	732	1	0.75	45.00	50.00	721.17
รวม		8	4.95			

ตารางที่ 7 ค่า MTBF และ MTTR ประจำเดือนเมษายน 2559

หน่วยการผลิต	เวลารับภาระงาน (ชั่วโมง)	จำนวนครั้งที่หยุดซ่อม(ครั้ง)	เวลาขัดข้อง (ชั่วโมง)	เวลาขัดข้อง (นาที)	MTTR (นาที/ครั้ง)	MTBF (ชั่วโมง/ครั้ง)
ต้มเยื่อ	708	1	0.95	57.00	73.50	418.78
ฟอกเยื่อด้วยออกซิเจน	708	1	1.25	75.00	89.64	456.78
ฟอกเยื่อด้วยสารเคมี	708	1	1.00	60.00	91.50	502.43
สารเคมี	708	0	0.00	0.00	30.75	1259.49
โซดาไฟ	708	1	0.50	30.00	26.60	839.56
Used oil	708	1	0.80	48.00	58.00	839.03
น้ำดิบ	708	2	0.45	27.00	41.74	719.30
บำบัดน้ำเสีย	708	0	0.00	0.00	50.00	839.17
รวม		6	4.15			

ตารางที่ 8 ค่า MTBF และ MTTR ประจำเดือนพฤษภาคม 2559

หน่วยการผลิต	เวลารับภาระงาน (ชั่วโมง)	จำนวนครั้งที่หยุดซ่อม(ครั้ง)	เวลาขัดข้อง (ชั่วโมง)	เวลาขัดข้อง (นาที)	MTTR (นาที/ครั้ง)	MTBF (ชั่วโมง/ครั้ง)
ต้มเยื่อ	708	1	1.00	60.00	72.46	440.95
ฟอกเยื่อด้วยออกซิเจน	708	1	0.25	15.00	83.42	477.69
ฟอกเยื่อด้วยสารเคมี	708	1	0.75	45.00	87.27	521.05
สารเคมี	720	0	0.00	0.00	30.75	1439.49
โซดาไฟ	720	0	0.00	0.00	26.60	959.47
Used oil	720	0	0.00	0.00	58.00	959.03
น้ำดิบ	744	0	0.00	0.00	41.74	825.59
บำบัดน้ำเสีย	744	0	0.00	0.00	50.00	963.17
รวม		3	2.00			

ตารางที่ ก.9 ค่า MTBF และ MTTR ประจำเดือนมิถุนายน 2559

หน่วยการผลิต	เวลารับภาระงาน (ชั่วโมง)	จำนวนครั้งที่หยุดซ่อม(ครั้ง)	เวลาขัดข้อง (ชั่วโมง)	เวลาขัดข้อง (นาที)	MTTR (นาที/ครั้ง)	MTBF (ชั่วโมง/ครั้ง)
ต้มเยื่อ	720	1	0.75	45.00	70.50	460.83
ฟอกเยื่อด้วยออกซิเจน	720	1	0.45	27.00	79.08	496.30
ฟอกเยื่อด้วยสารเคมี	720	0	0.00	0.00	87.27	586.50
สารเคมี	720	0	0.00	0.00	30.75	1619.49
โซดาไฟ	720	0	0.00	0.00	26.60	1079.47
Used oil	720	1	0.25	15.00	51.86	924.85
น้ำดิบ	720	0	0.00	0.00	41.74	928.45
บำบัดน้ำเสีย	720	0	0.00	0.00	50.00	1083.17
รวม		2	1.20			

ตารางที่ ก.10 ค่า MTBF และ MTTR ประจำเดือนกรกฎาคม 2559

หน่วยการผลิต	เวลารับภาระงาน (ชั่วโมง)	จำนวนครั้งที่หยุดซ่อม(ครั้ง)	เวลาขัดข้อง (ชั่วโมง)	เวลาขัดข้อง (นาที)	MTTR (นาที/ครั้ง)	MTBF (ชั่วโมง/ครั้ง)
ต้มเยื่อ	732	0	0.00	0.00	70.50	513.11
ฟอกเยื่อด้วยออกซิเจน	734	0	0.00	0.00	79.08	552.76
ฟอกเยื่อด้วยสารเคมี	736	0	0.00	0.00	87.27	653.41
สารเคมี	744	1	0.50	30.00	30.60	1444.29
โซดาไฟ	744	1	0.15	9.00	24.09	1031.52
Used oil	744	0	0.00	0.00	51.86	1031.14
น้ำดิบ	744	0	0.00	0.00	41.74	1034.73
บำบัดน้ำเสีย	744	0	0.00	0.00	50.00	1207.17
รวม		2	0.65			

ตารางที่ 11 ค่า MTBF และ MTTR ประจำเดือนสิงหาคม 2559

หน่วยการผลิต	เวลารับภาระงาน (ชั่วโมง)	จำนวนครั้งที่หยุดซ่อม(ครั้ง)	เวลาขัดข้อง (ชั่วโมง)	เวลาขัดข้อง (นาที)	MTTR (นาที/ครั้ง)	MTBF (ชั่วโมง/ครั้ง)
ต้มเยื่อ	744	1	0.50	30.00	67.80	528.47
ฟอกเยื่อด้วยออกซิเจน	744	0	0.00	0.00	79.08	609.81
ฟอกเยื่อด้วยสารเคมี	744	0	0.00	0.00	87.27	721.05
สารเคมี	720	0	0.00	0.00	30.60	1588.29
โซดาไฟ	744	0	0.00	0.00	24.09	1137.76
Used oil	744	0	0.00	0.00	51.86	1137.42
น้ำดิบ	744	0	0.00	0.00	41.74	1141.02
บำบัดน้ำเสีย	744	0	0.00	0.00	50.00	1331.17
รวม		1	0.50			

ตารางที่ 12 ค่า MTBF และ MTTR ประจำเดือนกันยายน 2559

หน่วยการผลิต	เวลารับภาระงาน (ชั่วโมง)	จำนวนครั้งที่หยุดซ่อม(ครั้ง)	เวลาขัดข้อง (ชั่วโมง)	เวลาขัดข้อง (นาที)	MTTR (นาที/ครั้ง)	MTBF (ชั่วโมง/ครั้ง)
ต้มเยื่อ	720	0	0.00	0.00	67.80	576.47
ฟอกเยื่อด้วยออกซิเจน	720	0	0.00	0.00	79.08	665.20
ฟอกเยื่อด้วยสารเคมี	720	0	0.00	0.00	87.27	786.50
สารเคมี	720	0	0.00	0.00	30.60	1732.29
โซดาไฟ	720	0	0.00	0.00	24.09	1240.62
Used oil	720	0	0.00	0.00	51.86	1240.28
น้ำดิบ	720	0	0.00	0.00	41.74	1243.88
บำบัดน้ำเสีย	720	0	0.00	0.00	50.00	1451.17
รวม		0	0.00			

ตารางที่ ก.13 ตารางสรุปค่า MTBF และ MTTR ก่อนและหลังปรับปรุง

ลำดับ	หน่วยการผลิต	ค่าที่	ก่อนการปรับปรุง						หลังการปรับปรุง						เปลี่ยนแปลง
			2558			2559			2559						
			ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	
1	ต้มเยื่อ	MTTR	120.00	120.00	135.00	105.00	78.00	75.00	73.50	72.46	70.50	70.50	67.80	67.80	7.20
		MTBF	370.00	486.00	546.75	488.25	358.70	392.57	418.78	440.95	460.83	513.11	528.47	576.47	183.90
2	ฟอกเยื่อด้วยออกซิเจน	MTTR	32.00	170.67	158.00	132.40	106.38	91.10	89.64	83.42	79.08	79.08	79.08	79.08	12.02
		MTBF	743.47	959.82	546.37	585.99	448.35	431.78	456.78	477.69	496.30	552.76	609.81	665.20	233.42
3	ฟอกเยื่อด้วยสารเคมี	MTTR	15.00	97.50	93.75	97.50	103.13	95.00	91.50	87.27	87.27	87.27	87.27	87.27	7.73
		MTBF	743.75	1088.88	547.44	488.38	448.22	479.69	502.43	521.05	586.50	653.41	721.05	786.50	306.81
4	สารเคมี	MTTR	-	-	-	30.00	30.75	30.75	30.75	30.75	30.75	30.60	30.60	30.60	0.15
		MTBF	-	-	-	1469.50	899.49	934.99	1259.49	1439.49	1619.49	1444.29	1588.29	1732.29	797.30
5	ไอทำไฟ	MTTR	19.80	19.80	21.30	23.20	24.90	25.92	26.60	26.60	26.60	24.09	24.09	24.09	1.83
		MTBF	743.67	1463.67	1097.65	979.61	899.59	865.97	839.56	959.47	1079.47	1031.52	1137.76	1240.62	374.65
6	น้ำมัน	MTTR	90.00	70.00	70.00	63.75	63.75	60.00	58.00	58.00	51.86	51.86	51.86	51.86	8.14
		MTBF	370.50	966.50	730.83	733.94	898.94	865.40	839.03	959.03	924.85	1031.14	1137.42	1240.28	374.88
7	น้ำดิบ	MTTR	75.00	75.00	75.00	59.40	59.40	53.04	41.74	41.74	41.74	41.74	41.74	41.74	11.30
		MTBF	370.75	1090.75	1096.75	979.01	1199.01	865.52	719.30	825.59	928.45	1034.73	1141.02	1243.88	378.36
8	น้ำบัดน้ำเสีย	MTTR	30.00	30.00	30.00	50.00	51.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	0.00
		MTBF	743.50	1463.50	2195.50	979.17	719.15	721.17	839.17	963.17	1083.17	1207.17	1331.17	1451.17	730.00

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ผู้วิจัย เกิดเมื่อวันที่ 25 เมษายน พ.ศ.2532 ที่อยู่ปัจจุบัน 589/657 ซิตี้โฮม รัชดา-ปิ่นเกล้า แขวงบางอ้อ เขตบางพลัด จังหวัดกรุงเทพมหานคร รหัสไปรษณีย์ 10700 ผู้วิจัยจบการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าเครื่องกลการผลิต มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปี พ.ศ. 2554 จากนั้นได้ศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2556

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
Chulalongkorn University