การพัฒนาโมดูลซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพด้วยเทคนิค FMECA และการประยุกต์ใช้ในรถไฟฟ้า

THE CONDITION-BASED MAINTENANCE MODULE DEVELOPMENT BY USING FMECA TECHNIQUES AND ITS APPLICATION IN ROLLING STOCK (TRAINS)

ชัยมงคล ศรีจันทรา

CHAIMONGKOL SRIJUNTRA

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พ.ศ. 2553

การพัฒนาโมดูลซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพด้วยเทคนิค FMECA และการประยุกต์ใช้ในรถไฟฟ้า

ชัยมงคล ศรีจันทรา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
พ.ศ. 2553

THE CONDITION-BASED MAINTENANCE MODULE DEVELOPMENT BY USING FMECA TECHNIQUES AND ITS APPLICATION IN ROLLING STOCK (TRAINS)

CHAIMONGKOL SRIJUNTRA

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING IN INDUSTRIAL ENGINEERING

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING FACULTY OF ENGINEERING
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI

2010

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นงานวิจัยที่เกิดจากการค้นคว้าและวิจัย ขณะที่ข้าพเจ้ากำลังศึกษาอยู่ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ดังนั้นงานวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และข้อความต่างๆในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ข้าพเจ้าขอรับรองว่าไม่มีการคัดลอก หรือนำงานวิจัยของผู้อื่นมานำเสนอในชื่อของข้าพเจ้า

นายชัยมงคล ศรีจันทรา

COPYRIGHT © 2010 ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2553
FACULTY OF ENGINEERING คณะวิศวกรรมศาสตร์
RAJAMANGALA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY THANYABURI มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

—

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาโมดูลซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพด้วยเทคนิค FMECA และการประยุกต์ใช้ในรถไฟฟ้า THE CONDTION-BASED MAINTENANCE MODULE DEVELOPMENT BY USING FMECA TECHNIQUES AND ITS APPLICATION IN ROLLING STOCK (TRAINS)
ชื่อนักศึกษา	นายชัยมงคล ศรีจันทรา
รหัสประจำตัว	115070404020-5
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณฐา คุปตัษเฐียร
วัน เดือน ปี ที่สอบ	1 ตุลาคม 2553
สถานที่สอบ	คณะวิศวกรรมศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ดร.อรรคเจตต์ อภิขจรศิลป์)

..... กรรมการ
(ดร.ระพี กาญจนะ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวกร
อ่างทอง)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณฐา คุปตัษเฐียร)

.....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชัย หิรัญวโรดม)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาโมดูลซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพด้วยเทคนิค FMECA และการประยุกต์ใช้ในรถไฟฟ้า
นักศึกษา	นายชัยมงคล ศรีจันทรา
รหัสประจำตัว	115070404020-5
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2553
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณฐา คุปตัษเฐียร

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพเพื่อทดแทนแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามเวลาปรับคืนสภาพโดยใช้เทคนิค FMECA โดยประยุกต์ใช้งานกับชุดกำเนิดลมของรถไฟฟ้า ซึ่งมีแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามเวลาปรับคืนสภาพ ที่มีการกำหนดไว้จากบริษัทผู้ผลิตในระยะเวลาทุก 8 ปีหรือประมาณ 12,000 ชั่วโมงการทำงาน ซึ่งแผนการซ่อมบำรุงรักษาดังกล่าวนี้มีความยุ่งยากในการบริหารจัดการ อีกทั้งยังมีค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างสูง จากการใช้งานยังพบได้อีกว่าสภาพของชุดกำเนิดลมนี้ ยังสามารถทำงานได้ดี แม้ว่าจะถึงเวลาที่กำหนดไว้แล้วก็ตาม

ระเบียบและวิธีการวิจัยประกอบด้วย การศึกษาวิธีการซ่อมบำรุงรักษาที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน การศึกษาวิธีการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ การศึกษากระบวนการวิเคราะห์ FMECA การสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ และการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของแผนการซ่อมบำรุงรักษา

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ผลคือ เทคนิคการวิเคราะห์ FMECA ช่วยในการยืดระยะเวลาการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ จาก 8 ปี เป็น 12 ปีได้จริง โดยมีการใช้งานร่วมกับแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพที่สร้างขึ้นใหม่ อย่างไม่มีผลกระทบด้านอาชีวอนามัย ความปลอดภัย สิ่งแวดล้อม และการดำเนินการ ซึ่งสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาชุดกำเนิดลมของรถไฟฟ้า เป็นค่าใช้จ่ายประมาณ 350,846 บาท ต่อปีของแผนการซ่อมบำรุงรักษาเดิม จากการประยุกต์ใช้ที่โรงซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้า ด้วยชุดกำเนิดลมจำนวน 30 ชุด และผลการวิจัยครั้งนี้ได้มีการนำเสนอให้ใช้งานจริง ณ โรงซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าในประเทศไทย และได้เผยแพร่เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤต (FMECA) นี้ เพื่อประยุกต์ใช้กับการพัฒนาโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาชุดกำเนิดลม ภายในองค์กรที่ใช้งานชุดกำเนิดลมรุ่นเดียวกันนี้อีกด้วย

คำสำคัญ: การซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ การซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ เทคนิค FMECA รถไฟฟ้า ชุดกำเนิดลม

Thesis Title:	THE CONDITION-BASED MAINTENANCE MODULE DEVOLOPMENT BY USING FMECA AND ITS APPLICATION IN ROLLING STOCK (TRAINS)
Student Name:	Mr. Chaimongkol Srijuntra
Student ID:	115070404020-5
Degree Award:	Master of Engineering
Study Program:	Industrial Engineering
Academic Year:	2010
Thesis Advisor:	Assistant Professor Dr. Natha Kuptasthien

ABSTRACT

This research aimed to develop a module for Condition Based Maintenance in order to replace Overhaul Scheduling Maintenance of the Rolling Stock by applying the technique of Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA) to the air supply compressor which a component of the Rolling Stock

Air supply compressor needs overhaul maintenance at every 8 years or approximately 12,000 operating hours prescribed by the manufacture. The report shows that the air supply compressor is still in good condition even after that specific time. Therefore, the researcher applies FMECA technique to develop a module for Condition Based Maintenance for the air supply compressor.

Findings from this study suggest that the technique of Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA) applied for the development of a module for maintenance of air supply compressor can extend the period of Overhaul Scheduling Maintenance from 8 years to 12 years which have no adverse effect on health, safety, environment and operation. This resulted in saving the maintenance cost amount 350,846 Baht cost reduction. Findings from this study have been proposed for actual practice in both maintenance depots in Thailand. Moreover, the FMECA technique has been publicized at a number of companies where the same series of air supply compressor are being utilized.

Keywords : Overhaul Scheduling Maintenance, Condition Based Maintenance, FMECA Technique, Rolling Stock, Air Supply Compressor

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยการให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลือเป็นอย่างดียิ่งของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณฐา คุปตัษเฐียร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ในระหว่างทำการศึกษาค้นคว้า ตรวจทานแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ และผู้วิจัยขอกราบขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวกร อ่างทอง ดร.ระพี กาญจนะ และ ดร. กรกฎ เหมสถาปัตย์ ที่กรุณาให้แนวคิด และคำแนะนำอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการวิจัยในครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบริษัทตัวอย่าง และขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ พนักงานที่โรงซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการเก็บข้อมูล เพื่อนำมาทำการศึกษาวิจัยจนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ รวมทั้งคณะผู้บริหาร ที่ให้ความกรุณาช่วยเหลือแนะนำสิ่งที่เป็นประโยชน์ต่อการดำเนินการวิจัยครั้งนี้ และที่สำคัญที่สุดผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดาและมารดาของผู้วิจัยที่ให้กำลังใจและกำลังทรัพย์ต่อการศึกษาของผู้วิจัยตลอดมา รวมไปถึงครูอาจารย์ทุกท่านที่ให้การอบรมสั่งสอนจนสามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์

ชัยมงคล ศรีจันทรา

1 ตุลาคม 2553

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ซ
ประมวลศัพท์	ญ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	4
1.3 สมมุติฐานการวิจัย	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย	5
1.6 แผนการดำเนินการวิจัย	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 แนวความคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการซ่อมบำรุงรักษา	9
2.2 วิธีการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)	18
2.3 เทคนิคการตรวจติดตามสภาพ (Condition Monitoring Techniques)	20
2.4 ทฤษฎีและความหมายการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ	27
2.5 กระบวนการวิเคราะห์ FMECA กับการประยุกต์ใช้ในงานซ่อมบำรุงรักษา	28
2.6 การพัฒนารถไฟฟ้าในประเทศไทย	35
2.7 ความรู้ทั่วไปและการจัดการซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้า	38
2.8 อุปกรณ์กำเนิดลมและการเสียหายของอุปกรณ์กำเนิดลม	41
2.9 การวัดและประเมินผลการดำเนินงานการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ	43
2.10 การวิจารณ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	47
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	49
3.1 การสร้างทีมงาน FMECA	50

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2 การเลือกอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ 50

3.3 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) 53

3.4 การสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance) 56

3.5 การนำเสนอโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ 59

3.6 การประยุกต์ใช้โมดูลการซ่อมบำรุงแบบตามสภาพ 59

3.7 การสรุปผลการดำเนินงานการพัฒนาโมดูลการซ่อมบำรุงรักษา 61

บทที่ 4 ผลการดำเนินการวิจัย 64

4.1 ทีมงานการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) 64

4.2 อุปกรณ์ที่นำมาวิเคราะห์ FMECA 65

4.3 ผลการวิเคราะห์ FMECA 67

4.4 โมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance) 69

4.5 ผลการนำเสนอโมดูลการซ่อมบำรุงแบบตามสภาพ 75

4.6 ผลการประยุกต์ใช้โมดูลการซ่อมบำรุงแบบตามสภาพ 75

4.7 การสรุปผลการดำเนินงานการพัฒนาโมดูลการซ่อมบำรุงรักษา 76

บทที่ 5 สรุป อภิปรายผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ 82

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 82

5.2 อภิปรายผลการดำเนินงาน 82

5.3 ข้อเสนอแนะ 82

เอกสารอ้างอิง 86

ภาคผนวก

ก ตารางเกณฑ์การประเมินผลกระทบจากลักษณะข้อบกพร่อง 89

ข ตารางการวิเคราะห์ FMECA และการสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ 98

ค ตาราง บันทึกรายละเอียดการเก็บตัวอย่างน้ำมันสำหรับวิเคราะห์ 109

ง การตรวจติดตามสภาพ ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 111

จ การตรวจติดตามสภาพ ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงอนุภาค 121

ฉ ตารางอัตราดอกเบี้ย ตัวประกอบดอกเบี้ยทบ และการเปรียบเทียบ 124

ช. ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่ 128

ประวัติผู้เขียน 147

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 การเปรียบเทียบค่าโดยสารของการคมนาคมแบบต่างๆบนถนนสุขุมวิท	1
1.2 แผนและขั้นตอนการดำเนินการ	7
2.1 รายละเอียดอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการสั่นสะเทือน	22
2.2 รายละเอียดการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงทางอนุภาค	23
2.3 รายละเอียดการตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางเคมี	24
2.4 รายละเอียดการตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ	25
2.5 รายละเอียดการตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิ	26
2.6 รายละเอียดการตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า	26
2.7 ตัวอย่างตารางการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ	33
4.1 การประเมินความวิกฤติอุปกรณ์จากการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ	66
4.2 ผลการวิเคราะห์ความวิกฤติในแต่ละลักษณะข้อบกพร่องของชุดกำเนิดลม	68
4.3 ตัวอย่างการสร้างแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพตามลักษณะข้อบกพร่อง	69
4.4 แผนการซ่อมบำรุงรักษาชุดกำเนิดลมปรับคืนสภาพ	70
4.5 ผลกระทบของชิ้นส่วนที่มีผลจากการซ่อมปรับคืนสภาพ	71
4.6 แผนการซ่อมบำรุงรักษาชุดกำเนิดลมตามสภาพ	74
4.7 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling Maintenance)	77
4.8 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance)	78
4.9 สรุปค่าใช้จ่ายของแต่ละวิธีในการซ่อมบำรุงรักษาชุดกำเนิดลมต่อปี	79
5.1 สรุปข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	83

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การพัฒนาของเทคโนโลยีการบำรุงรักษา	11
2.2 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเสียหายตามยุคสมัยของพัฒนาการซ่อมบำรุงรักษา	12
2.3 กราฟแสดงวงจรการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรทั่วไป	13
2.4 องค์ประกอบและความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา	16
2.5 ประเภทของการซ่อมบำรุงรักษา	16
2.6 วิธีการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance)	18
2.7 กำหนดเวลาของแผนการซ่อมบำรุงรักษาที่แตกต่างกัน	19
2.8 ความสัมพันธ์ของช่วงเวลาที่เริ่มเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (P-F Interval)	21
2.9 เทคนิคการตรวจติดตามสภาพการใช้งาน	21
2.10 ลักษณะและส่วนประกอบต่างๆของรถไฟฟ้าที่มีชุดขับเคลื่อน	39
2.11 ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์อัดอากาศแบบลูกสูบ	42
2.12 การหาค่าเทียบเท่าอนาคตจากมูลค่าปัจจุบัน	45
2.13 การหาค่าเทียบเท่าอนาคตจากมูลค่าเทียบเท่าประจำปี	46
3.1 ลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	49
3.2 อุปกรณ์ต่างๆในระบบรถไฟฟ้าที่มีแผนการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ	52
3.3 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ FMECA	53
3.4 ขั้นตอนและเกณฑ์การพิจารณาในการสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ	56
4.1 ทีมงานวิเคราะห์ FMECA ของอุปกรณ์ชุดกำเนิดลม (Air supply Unit)	64
4.2 ลักษณะการตรวจสอบสภาพจากการวิเคราะห์น้ำมัน	73
4.3 แผนภูมิต้นทุนหมุนเวียนค่าใช้จ่ายแต่ละวิธีการซ่อมบำรุงรักษาชุดกำเนิดลมรถไฟฟ้า	80
4.4 แผนภูมิต้นทุนหมุนเวียนมูลค่าเงินเทียบเท่ารายปีของค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงรักษา	80

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

ขสมก.	ขนส่งมวลชนกรุงเทพฯ
ATP	Automatic Train Protection
BS3811	British Standard 3811
BS 5760-5	Guide to Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (FMEA and FMECA)
BMA	Bangkok Metropolitan Administration
BMTA	Bangkok Mass Transit Authority
BTSC	Bangkok Mass Transit System Public Company Ltd.
BTS	Bangkok Transit System
BMCL	Bangkok Metro Company Ltd.
CA	Criticality Analysis
CBM	Condition-based Maintenance
CC	Capital Cost
CMMS	Computerized Maintenance Management System
D	Detection
DFR	Decreasing Failure Rate
DOE	Design of Experiments
DMU	Diesel Multiple Unit
DEMU	Diesel and Electrical Multiple Units
EMU	Electrical Multiple Unit
F	Failure
FBD	Function Block Diagram
FE	Failure Effects
FF	Function Failure
FM	Failure Modes
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
FMECA	Failure Mode and Effect Criticality Analysis
FR	Failure Rate
FTA	Fault Tree Analysis
H	Hazard

HSE	Health and Safety Environment
i	Interest
ISO	International Organization for Standardization
MB	Motor Bogies
MC	Maintenance Corrective
MCB	Main Circuit Breaker
ME	Maintenance Emergency
MIL-P-1629	Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis
MILD-STD-1629A	Military Standard Procedures for Performing a Failure Mode Effects and Criticality Analysis
MLR	Minimum Loan Rate
MOR	Minimum Overdraft Rate
MP	Maintenance Preventive
MRR	Minimum Retail Rate
MRTA	Metropolitan Rapid Transit Authority of Thailand
MTBF	Mean Operating Time between Failures
MTTR	Mean Time to Repair
MU	Multiple Unit
n	จำนวนปี
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NPV	Net Present Value
O	Occurrence
OPPM	Optimized-Planned Preventive Maintenance
PF	Potential Failure
PW	Present Value
PPM	Planned Preventive Maintenance
RCM	Reliability Centred Maintenance
RPN	Risk Priority Number
S	Severity
TB	Tailor Bogies
λ (lambda)	Failure Rate

ประมวลศัพท์

Air Supply Compressor	ชุดกำเนิดลม (ปั๊มลม)
Air Supply System	ระบบชุดกำเนิดลม
Annual Worth	มูลค่าเทียบเท่ารายปี
Availability Performance	ความสามารถพร้อมใช้งาน
Breakdown/Corrective Maintenance	การซ่อมบำรุงรักษาเชิงแก้ไข
British Standard	มาตรฐานของอังกฤษ
Criticality Analysis	การวิเคราะห์ความวิกฤต
Component	ส่วนประกอบ
Condition-Based Maintenance	การซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ
Condition Monitoring Techniques	เทคนิคการติดตามสภาพการใช้งาน
Cost or Expense	ต้นทุน หรือ ค่าใช้จ่าย
Depreciation	การเสื่อมสภาพ
Detection	โอกาสที่จะตรวจจับความบกพร่อง
Engineering Economy	เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม
Failure Mode Effects Analysis	การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง
Failure Mode Effects and Criticality Analysis	การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ
Future Worth	มูลค่าเทียบเท่าอนาคต
Global Failure Effects	ผลกระทบจากระบบรวม
Lifetime	อายุการใช้งาน
Local Failure Effects	ผลกระทบระบบย่อย
Maintenance	การซ่อมบำรุงรักษา
Mean Time to Failure	ค่าเฉลี่ยระหว่างการเสีย
Mean Time to Repair	ค่าเฉลี่ยระหว่างการซ่อม
Metropolitan Rapid Transit Authority Of Thailand	การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย
Motor Bogies	โบกี้ที่มีระบบขับเคลื่อน
Multiple Units	ขบวนรถไฟ
National Aeronautics and Space Administration	สถาบันอวกาศ

New Expectation	ความคาดหวังใหม่
Reliability Centred Maintenance	การซ่อมบำรุงรักษาเชิงความเชื่อมั่น
Rolling Stock	รถไฟฟ้า
Technical Lifetime	อายุการใช้งานทางเทคนิค
Occurrence	โอกาสที่จะเกิดความบกพร่อง
Optimized-Planned Preventive Maintenance	การซ่อมบำรุงรักษาแบบมีแผนอย่างเหมาะสม
Overhaul Scheduling Maintenance	การซ่อมบำรุงรักษาตามระยะเวลาปรับคืนสภาพ
Failure Pattern	รูปแบบการเสีย
Planned Preventive Maintenance	การซ่อมบำรุงรักษาแบบมีแผน
Potential Failure	แนวโน้มการเกิดการเสีย
Present Worth	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน
Quantitative Analysis	การวิเคราะห์เชิงปริมาณ
Regular Maintenance	การซ่อมบำรุงรักษาตามปกติ
Risk Priority Number	ค่าแสดงระดับความเสี่ยง
Severity	ความรุนแรง
Severity Rank	ระดับความรุนแรง
Tailor Bogies	โบกี้ที่ไม่มีระบบขับเคลื่อน
Time or Counter Based Preventive Maintenance	การซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันแบบตามระยะเวลาหรือระยะการใช้งาน
Wheel Re-profiling	การกลึงล้อรถไฟฟ้า
Unplanned Maintenance	การซ่อมบำรุงรักษาแบบไม่มีแผน

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของการวิจัย

การดำเนินธุรกิจในสภาวการณ์ปัจจุบันนี้ไม่ว่าจะเป็นธุรกิจประเภทใดก็ตาม ต่างก็มุ่งเน้นให้เกิดมีการพัฒนากำลังการผลิตที่สูงขึ้นในต้นทุนที่ต่ำลง และยังรวมถึงการรับรองด้าน การประกันคุณภาพ โดยเฉพาะธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน อาทิเช่น ธุรกิจด้านระบบคมนาคม ที่ประเทศไทยได้พยายามพัฒนาให้มีศักยภาพที่ทัดเทียมกับนานาประเทศ ซึ่งมีการส่งเสริมให้มีระบบขนส่งมวลชนที่รวดเร็วและทันสมัยยิ่งขึ้น โดยการสนับสนุนให้มีการลงทุนสร้างระบบขนส่งมวลชนขนาดใหญ่หลายโครงการ เช่นโครงการรถไฟฟ้าต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นรถไฟฟ้าบนดิน หรือรถไฟฟ้าใต้ดินก็ตาม โดยนำเอาจุดเด่นด้านความสะดวกสบายและความปลอดภัยเป็นหลักประกัน รวมถึงการยกระดับความเป็นผู้นำในภูมิภาคนี้ด้วย โดยมีรูปแบบการให้บริการที่ดีมาเป็นสิ่งชักจูงใจให้ประชาชนเกิดความต้องการใช้งานมากยิ่งขึ้น จากรายงานการวิจัย Analysis of Public Transport in Bangkok, Thailand 2007 Focus on Mass Rapid Transit [1] ได้กล่าวว่าระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนเป็นระบบคมนาคมที่ค่อนข้างสะดวก รวดเร็ว และปลอดภัย ซึ่งมีข้อดีที่ได้เปรียบกว่าการคมนาคมในแบบอื่นๆ ดูรายละเอียดได้จากตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 การเปรียบเทียบค่าโดยสารของการคมนาคมแบบต่างๆบนถนนสุขุมวิท [1]

ค่าเฉลี่ยของการเดินทาง	เวลาการเดินทาง	ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง
รถไฟฟ้าบีทีเอส (BTS Sky Train) (ด้วยตารางความเร็วที่ 2 นาที ของหัวขบวนรถไฟฟ้า จากสถานี ถึง สถานี)	18 นาที	ค่าโดยสารผู้ใหญ่ 18-25 บาท, ซึ่งขึ้นกับชนิดของตั๋วโดยสาร มาตรฐานค่าโดยสารเที่ยวเดียวสำหรับผู้ใหญ่ 25 บาท
รถเมล์ ขสมก. (BMTA Bus) (7 กม. ต่อ ชม.)	50 นาที	ค่าโดยสารผู้ใหญ่ 7-22 บาท, ซึ่งขึ้นกับชนิดของรถบัส
รถแท็กซี่ หรือ ตุ๊กตุ๊ก (Taxi / Tuk-Tuk) (10 กม. ต่อ ชม.)	36 นาที	35 บาท (2 กม. แรก) +4 x 4.50 บาท (4 กม.หลัง) + 18 นาที x 1.25 บาท = 75.50 บาท
รถยนต์ส่วนตัว (Private Car) (10 กม. ต่อ ชม.)	36 นาที	650,000 บาท/(20 ปี x 16,000 กม.) = 2.03 บาท ต่อ กม. (12 ลิตร x 29.99 บาท)/100 กม. = 3.48 บาท ต่อ กม. (2.03 บาท ต่อ กม. + 3.48 บาท ต่อ กม.) x 6 กม. = 33.06 บาท

จากตารางที่ 1.1 แสดงถึงการเปรียบเทียบอัตราค่าโดยสารและเวลาในการเดินรถของระบบรถไฟ ฟ้าขนส่งมวลชน (Mass Rapid Transit, MRT) กับระบบคมนาคมแบบอื่นๆ ซึ่งจะพบได้ว่าระบบขน ส่งมวลชนกรุงเทพฯ (Bangkok Mass Transit Authority, BMTA) จะมีอัตราค่าโดยสารที่ถูกกว่าระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชน (MRT) ดังแสดงจากตาราง ซึ่งได้กล่าวถึงรายละเอียดของค่าใช้จ่ายและเวลาในการเดินทางในวิธีต่างๆบนเส้นทางถนนสุขุมวิท ในระยะทาง 6 กิโลเมตร ระหว่างสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสสยาม ถึงสถานีรถไฟฟ้าบีทีเอสพร้อมพงษ์ ซึ่งเป็นพื้นที่เศรษฐกิจหนึ่งของกรุงเทพมหานคร เวลาการเดินทางโดยรถยนต์ส่วนตัว คิดที่ความเร็ว 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และเวลาเดินทางโดยรถเมล์ขนส่งมวลชนกรุงเทพฯ (ขสมก.) คิดที่ความเร็ว 7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อย่างไรก็ตามนั้นในชั่วโมงเร่งด่วนและการจราจรติดขัด ทำให้ความเร็วในการเดินทางลดลงเหลือต่ำกว่า 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

การคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินทางโดยรถยนต์ส่วนตัว (Private Car) เป็นการคำนวณจากการใช้รถเก๋งราคาประมาณ 650,000 บาท ที่มีอายุการใช้งาน 20 ปี ใช้งานประมาณ 16,000 กิโลเมตรต่อปี ค่าน้ำมันคิดที่ 29.99 บาทต่อลิตร อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันที่ 12 ลิตรต่อระยะทาง 100 กิโลเมตร ในการจราจรที่เคลื่อนตัวสลับกับการหยุดนิ่ง และการทำงานของเครื่องปรับอากาศในรถยนต์คงที่ ภาษีรถยนต์ ค่าประกันภัยรถยนต์และค่าซ่อมรถ เป็นส่วนที่มีความเกี่ยวข้องน้อยมาก จึงไม่ได้นำมารวมในการคำนวณด้วย ส่วนการคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินทางโดยรถแท็กซี่คิดที่อัตราค่าโดยสาร 1.25 บาทต่อนาที ในกรณีที่รถวิ่งด้วยความเร็วต่ำกว่า 6 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อย่างไรก็ตามในการประมาณการเกี่ยวกับการจราจรสาธารณะนี้ใช้วิจารณญาณจากประสบการณ์ของผู้เขียนเองด้วย

ระบบรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนเป็นระบบที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ การพัฒนาระบบให้มีความสามารถในทางการแข่งขันได้นั้น จะต้องอาศัยความได้เปรียบจากหลายๆ ทาง ทั้งทางด้านเทคโนโลยีขั้นสูงและบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญ รวมทั้งเครื่องมืออุปกรณ์ที่มีความทันสมัย สิ่งต่างๆเหล่านี้นับว่าเป็นหัวใจหลักในการจัดการให้ระบบรถไฟฟ้าดำเนินการได้

สมรรถนะและความพร้อมใช้งานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ มีความสำคัญอย่างมากต่อภาพรวมของระบบ โดยเฉพาะการบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆในระบบรถไฟฟ้า นับว่าเป็นกิจกรรมหลักที่มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพ และอายุการใช้งานของอุปกรณ์ต่างๆในระบบรถไฟฟ้า เมื่อมีการหยุดให้บริการ เนื่องจากการเสียหรือเกิดเหตุขัดข้องขึ้นจะก่อให้เกิดผลกระทบโดยตรงทั้งระบบ เช่น เมื่อมีการส่งมอบจำนวนรถไฟฟ้าไม่เพียงพอกับการให้บริการ จะทำให้เกิดความล่าช้าไม่ตรงตามตารางเวลาการเดินรถไฟฟ้าที่กำหนดไว้ ทำให้ระบบไม่สามารถทำงานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ และยังก่อให้เกิดการขาดความน่าเชื่อถือของระบบอีกด้วย

การซ่อมบำรุงรักษา (Maintenance) จึงเป็นงานหลักที่มีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งต่อระบบรถไฟฟ้า เนื่องจากระบบรถไฟฟ้าเป็นการนำเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีที่ทันสมัย มีความละเอียดแม่นยำสูง และประกอบด้วยอุปกรณ์ชิ้นส่วนที่มีมูลค่าราคาสูงมาใช้ในระบบ ซึ่งหน้าที่ในการ

ซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์เหล่านี้ให้มีประสิทธิภาพที่ดี มีอายุและความพร้อมใช้งานที่ยาวได้นั้น จัดว่าเป็นภารกิจหลักที่สำคัญอย่างหนึ่งของการซ่อมบำรุงรักษา ในการปฏิบัติงานของการซ่อมบำรุงรักษาหากการดำเนินงานไม่เป็นไปตามที่กำหนดหรือวางแผนไว้จะส่งผลกระทบต่อการดำเนินงานของระบบรถไฟฟ้าทั้งทางตรงและทางอ้อม มีผลกระทบทางตรง คือการที่เครื่องจักรหรืออุปกรณ์เกิดเหตุขัดข้องและไม่สามารถทำให้ระบบรถไฟฟ้าดำเนินงานได้ จะก่อให้เกิดความไม่สะดวกในการให้บริการแก่ผู้โดยสาร บริษัทจะได้รับผลกระทบตามไปด้วย เนื่องจากเกิดการสูญเสียรายได้จากการให้บริการ และส่งผลกระทบทางอ้อม คือการที่เครื่องจักรและอุปกรณ์เกิดเหตุขัดข้องบ่อยๆ หรือมีชิ้นส่วนที่ต้องเปลี่ยนบ่อยๆ เนื่องจากปัญหาทางด้านการซ่อมบำรุงรักษาที่ด้อยประสิทธิภาพ ส่งผลให้บริษัทเสียความเชื่อถือ และความสามารถในการแข่งขันกับกลุ่มธุรกิจเดียวกัน เพราะมีต้นทุนรวมที่สูงกว่าคู่แข่งขัน เป็นต้น

ทรัพย์สินต่างๆทุกชนิดนั้นต้องการการซ่อมบำรุงรักษาที่ดีเพื่อให้เกิดความสามารถในการใช้งานได้อย่างคุ้มค่าสูงสุดตลอดช่วงอายุการใช้งาน การซ่อมบำรุงรักษาเป็นหนึ่งมาตรการของการควบคุมความบกพร่องและเสียหายของอุปกรณ์นั้น โดยมีผลเกี่ยวข้องกันโดยตรง คือลดผลกระทบโดยการซ่อม และลดโอกาสการเกิดการเสียหายโดยการบำรุงรักษาก่อนที่จะเกิดการเสียหรือขัดข้องของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ซึ่งเป็นกลยุทธ์และแผนในการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ปฏิบัติกันอยู่ในทุกวันนี้

สำหรับในกรณีศึกษาระบบการซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้าที่โรงซ่อมบำรุงรักษาตัวอย่างได้พบว่ามีการประยุกต์ใช้หลักการซ่อมบำรุงรักษาด้วยกัน 3 รูปแบบ ได้แก่ การซ่อมบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Breakdown/Corrective Maintenance) การซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันแบบตามเวลาหรือระยะการใช้งาน (Time or Counter Based Preventive Maintenance) และการซ่อมบำรุงรักษาตามเวลาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling Maintenance) หรือสามารถกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า แบ่งออกเป็น 2 ขอบเขตด้วยกัน คือแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามปกติ (Regular Maintenance) และแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามเวลาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling Maintenance)

การซ่อมบำรุงรักษาตามปกติ (Regular or Schedule Maintenance) ได้มีการวางแผนการตรวจสภาพและทำการเปลี่ยนชิ้นส่วนในระยะเวลากำหนด โดยมีการใช้ระบบควบคุมงานซ่อมบำรุงด้วยคอมพิวเตอร์ (Computerized Maintenance Management System, CMMS) เป็นการช่วยกำหนดแผนการซ่อมบำรุงรักษา ตัวอย่างเช่น การตรวจสอบสภาพเบื้องต้นด้วยสายตาหลังจากการใช้งานเป็นประจำ ทุกสัปดาห์ ทุกเดือน หรือ ทุกๆระยะการใช้งานตามกำหนดเวลา มีการเติมน้ำยาล้างกระจกทุกสัปดาห์ มีการทำการปรับสภาพผิวของล้อรถไฟฟ้า (Wheel Reprofiling) ตามระยะทางของการใช้งาน และรวมถึงงานซ่อมทั่วไปที่ต้องทำการซ่อมเมื่อพบการเสียหายหรือชำรุดของอุปกรณ์เหล่านั้นเกิดขึ้น เป็นต้น

การซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling Maintenance) เป็นการประมวลภาพรวมเพื่อยกเครื่องเปลี่ยนชิ้นส่วนและอุปกรณ์ครั้งใหญ่ของแต่ละส่วนประกอบ (Component) ของรถไฟฟ้าเพื่อให้กลับสู่สภาพเดิมหลังจากมีการใช้งานมาได้ระยะหนึ่งแล้ว ในระยะเวลาที่การกำหนดให้มีการซ่อมไว้อย่างตายตัว เช่น ในระเวลา 6 ปี 10 ปี หรือการกำหนดเป็นระยะการใช้งาน เช่น 1 ล้านกิโลเมตร เป็นต้น ซึ่งกลยุทธ์ในการวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling Maintenance) ที่ดำเนินการใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ ทำให้ส่วนประกอบ (Components) บางส่วนมีการเปลี่ยนอุปกรณ์ (Equipments) เหล่านี้ก่อนที่จะมีการเสียเกิดขึ้นหรือเร็วเกินไป ซึ่งน่าจะใช้งานได้นานกว่านี้ และในทำนองเดียวกันทำให้ส่วนประกอบบางส่วนที่ถูกนำเสนอทำการซ่อมบำรุงรักษาด้วยวิธีนี้เป็นที่เข้าใจยากระหว่างบริษัทที่รับผิดชอบดำเนินการซ่อมบำรุงรักษา และบริษัทเจ้าของโครงการการว่าจ้าง เนื่องจากไม่มีความชัดเจนในเรื่องอายุการใช้งาน (Lifetime) ของส่วนประกอบต่างเหล่านั้น ปัญหาเหล่านี้เป็นเรื่องที่ทำให้เกิดปัญหายุ่งยากมากที่จะหาทางออกให้แต่ละฝ่าย และยังไม่มีแนวทางในการแก้ไขและปรับปรุงได้อย่างชัดเจน ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นเหล่านี้ โดยการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (Failure Mode Effects and Criticality Analysis, FMECA) เป็นเกณฑ์ในการวัดและประเมินความเสี่ยง เพื่อทำการสร้างโมดูลซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance, CBM) ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อพัฒนาโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพโดยใช้เทคนิค FMECA

1.2.2 เพื่อประยุกต์ใช้โมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ กับอุปกรณ์ในรถไฟฟ้า

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา ระหว่างแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามระยะเวลาปรับคืนสภาพกับการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ

1.3 สมมุติฐานงานวิจัย

เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ของรถไฟฟ้าในการพัฒนาระบบการบำรุงรักษาตามสภาพ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ศึกษาปัญหาและสาเหตุที่จะก่อให้เกิดลักษณะข้อบกพร่อง และการเสียหายของอุปกรณ์ชุดกำเนิดลม (Air Supply Compressor)

1.4.2 วิเคราะห์หาสาเหตุและผล ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA)

1.4.3 สร้างโมดูลการพัฒนาการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ

1.4.4 ประยุกต์ใช้โมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ

1.4.5 ประมวลผลและเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของแผนการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพกับโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพที่สร้างขึ้น

1.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินการวิจัยประกอบด้วยวิธีการต่างๆ ดังต่อไปนี้ การสร้างทีมงาน FMECA การเลือกอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) การสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ การนำเสนอโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ การประยุกต์ใช้โมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ การสรุปผลการดำเนินการ และการเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย

1.6 แผนการดำเนินการวิจัย

แผนและขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ได้ทำการแสดงดังตารางที่ 1.2 ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1.6.1 ทำการศึกษาแผนการซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้าเดิมก่อนการปรับปรุง ได้แก่ การซ่อมบำรุงรัก ษาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling Maintenance) จากโรงซ่อมบำรุงรักษาตัวอย่าง และการเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน

1.6.2 ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานซ่อมบำรุงรักษา, การซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance, CBM) การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง, ผลกระทบและความวิกฤติ (Failure Mode Effects and Criticality Analysis, FMECA)

1.6.3 เลือกอุปกรณ์ที่จะนำมาวิเคราะห์

1.6.4 สร้างทีมงานวิเคราะห์ FMECA

1.6.5 วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติของส่วนประกอบตัวอย่างของรถไฟฟ้า

1.6.6 ศึกษาอายุและวงจรชีวิต (Life Cycle) ของอุปกรณ์ในรถไฟฟ้าตัวอย่างที่ทำการศึกษา จากประวัติการเสีย และการซ่อม หรือ ศึกษาจากคู่มือการซ่อมบำรุงรักษาจากบริษัทผู้ผลิตสำหรับอุปกรณ์ที่ยังไม่เคยมีประวัติการเสียและการซ่อมมาก่อน

1.6.7 รวบรวมข้อมูลจากการวิเคราะห์ FMECA และจากการศึกษาอายุและวงจรชีวิต เพื่อทำการวัดและประเมินผล ถึงความวิกฤติหรือความเสี่ยง ของแต่ละชิ้นส่วนในอุปกรณ์นั้น ที่อาจส่งผลให้เกิดความเสียหายและความอันตราย

1.6.8 ทำการสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ

1.6.9 นำเสนอโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ

1.6.10 ประยุกต์ใช้โมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ

1.6.11 สรุปผลการดำเนินการ และเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของแต่ละแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามหลักการของเศรษศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economy)

1.6.12 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.7 ประโยชน์ของงานวิจัย

1.7.1 สามารถนำเอาผลงานวิจัยไปใช้ในระบบการบำรุงรักษารถไฟฟ้าได้

1.7.2 สามารถใช้ผลงานวิจัยเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเลือกวิธีการซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้า

1.7.3 สามารถใช้ผลงานวิจัยเป็นแนวทางในการออกแบบระบบการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันในรถไฟฟ้าต่อไปในอนาคต

1.7.4 สามารถใช้ผลงานวิจัยเป็นแนวทางการพัฒนาประสิทธิภาพของงานซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้า

1.7.5 สามารถนำเอาผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรมอื่นๆ ที่ใกล้เคียงกันได้

ตารางที่ 1.2 แผนและขั้นตอนการดำเนินการ

แผนและขั้นตอนการดำเนินการ	พฤศจิกายน 51	ธันวาคม 51	มกราคม 52	กุมภาพันธ์ 52	มีนาคม 52	เมษายน 52	พฤษภาคม 52	มิถุนายน 52	กรกฎาคม 52	สิงหาคม 52	กันยายน 52	ตุลาคม 52	พฤศจิกายน 52	ธันวาคม 52	มกราคม 53	กุมภาพันธ์ 53	มีนาคม 53	เมษายน 53	พฤษภาคม 53	มิถุนายน 53	กรกฎาคม 53	สิงหาคม 53	กันยายน 53	ตุลาคม 53	
1. ศึกษาแผนการซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้าที่ทำการใช้อยู่ในปัจจุบัน																									
2. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานซ่อมบำรุงรักษา																									
3. สร้างทีมงาน FMECA																									
4. เลือกอุปกรณ์ ที่จะนำมาวิเคราะห์																									
5. วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) ของอุปกรณ์																									
6. สร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (CBM)																									
7. นำเสนอโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ																									

ตารางที่ 1.2 แผนและขั้นตอนการดำเนินการ (ต่อ)

แผนและขั้นตอนการดำเนินการ	พฤศจิกายน 51	ธันวาคม 51	มกราคม 52	กุมภาพันธ์ 52	มีนาคม 52	เมษายน 52	พฤษภาคม 52	มิถุนายน 52	กรกฎาคม 52	สิงหาคม 52	กันยายน 52	ตุลาคม 52	พฤศจิกายน 52	ธันวาคม 52	มกราคม 53	กุมภาพันธ์ 53	มีนาคม 53	เมษายน 53	พฤษภาคม 53	มิถุนายน 53	กรกฎาคม 53	สิงหาคม 53	กันยายน 53	ตุลาคม 53	
8. ประยุกต์ใช้โมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ																									
9. สรุปผลการดำเนินงานการพัฒนาโมดูลการซ่อมบำรุงรักษา											←	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	→			
10. การจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์																						←	—	→	

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการพัฒนาโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพด้วยเทคนิค FMECA และการประยุกต์ใช้ในรถไฟฟ้าครั้งนี้ มีความจำเป็นมากที่จะต้องเข้าใจถึงความหมาย แนวคิด ทฤษฎี วรรณกรรม และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยในครั้งนี้ เพื่อจะได้ทำการกำหนดเป็นกรอบ หรือแนวทางในการศึกษาให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ทฤษฎีที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าจากแหล่งข้อมูลทั่วไป เช่น หนังสือ เอกสารวิชาการ ระบบฐานข้อมูลสาร สนเทศ อินเตอร์เน็ต และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งประกอบด้วย แนวคิดและทฤษฎีการซ่อมบำรุงรักษา วิธีการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) เทคนิคการตรวจติดตามสภาพการใช้งาน (Condition Monitoring Techniques) การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) การพัฒนาการของรถไฟฟ้าในประเทศไทย ความรู้ทั่วไปและการจัดการซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้า อุปกรณ์กำเนิดลมและการเสีย หายของอุปกรณ์กำเนิดลม การวัดและประเมินผลการดำเนินงานการซ่อมบำรุงรักษา และการวิจารณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับการซ่อมบำรุงรักษา [2]

2.1.1 การซ่อมบำรุงรักษา (Maintenance)

การซ่อมบำรุงรักษา ตามมาตรฐานของอังกฤษ (British Standard) BS3811:1993 ได้ให้คำจำกัดความของการบำรุงรักษาหรือการซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักร (Maintenance) ไว้ว่า การบำรุงรักษา คือ งานที่ต้องปฏิบัติเพื่อรักษาสภาพหรือยกสภาพของเครื่องจักรรวมทั้งอุปกรณ์ต่างๆ ให้ได้มาตรฐานที่กำหนด หรืออีกนัยหนึ่งนั้น เป้าหมายของการบำรุงรักษา คือ การดูแลเครื่องจักรอุปกรณ์และโรงงานให้มีประสิทธิภาพในการทำงาน และสามารถใช้งานได้ตามที่ฝ่ายผลิตต้องการ ดังต่อไปนี้

- เครื่องจักรต้องสามารถใช้งานได้เมื่อต้องการใช้เครื่องจักรในการผลิต
- เครื่องจักรต้องไม่ชำรุด หรือหยุดชะงักในขณะที่กำลังทำการผลิตอยู่
- เครื่องจักรต้องสามารถทำการผลิตได้ในระดับการผลิตตามที่กำหนด
- ถ้าต้องหยุดเครื่องจักรในขณะมีการผลิตจะต้องเสียเวลาให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้
- ต้องการให้เครื่องจักรมีอายุการใช้งานยาวนานที่สุด
- เครื่องจักรตลอดอายุการใช้งานต้องทำงานได้อย่างเต็มสมรรถนะ
- เครื่องจักรจะต้องมีความปลอดภัยในการทำงานสูง
- ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาต่ำ

ระบบการซ่อมบำรุงรักษา (Maintenance Systems) หมายถึง งานหรือกิจกรรมใดๆที่จัดให้มีขึ้นเพื่อให้เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน (Available) ได้ตลอดเวลา

เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆเมื่อมีการนำมาใช้ในระบบการผลิต ถึงแม้ว่าจะออกแบบมาอย่างดีเพียงใดก็ตาม การเสื่อมสภาพ ชำรุด เสียหายย่อมเกิดขึ้นได้เสมอ เมื่อมีเหตุการณ์เหล่านี้เกิดขึ้นก็จะต้องประสบกับความสูญเสียอย่างน้อยก็ด้วยเหตุผลสามประการดังต่อไปนี้

- เมื่อเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ชำรุด จะไม่สามารถทำการผลิตได้ ผลกระทบตามมาคือทำให้สินค้าไม่เสร็จตามกำหนดการวางขาย เมื่อไม่มีการขายย่อมไม่มีรายได้
- เมื่อเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการผลิตเกิดการชำรุดหรือเสีย พนักงานย่อมไม่มีงานทำ ในขณะที่บริษัทยังต้องจ่ายค่าจ้างและค่าใช้จ่ายอื่นๆอย่างต่อเนื่อง
- เมื่อเครื่องจักรและอุปกรณ์ชำรุด เพียงหน่วยเดียวอาจจะทำให้ต้องหยุดเดินเครื่องทั้งระบบการผลิต ซึ่งก่อให้เกิดการสูญเสียทั้งทางด้านการผลิตและการเงิน

ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ การซ่อมบำรุงรักษาจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อระบบการผลิต ด้วยเหตุผลนี้จึงต้องแสวงหาวิธีการหรือเทคโนโลยีต่างๆที่ดีและเหมาะสมจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้มีระบบการซ่อมบำรุงรักษาที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

2.1.2 วัตถุประสงค์ของการซ่อมบำรุงรักษา

การซ่อมบำรุงรักษามีวัตถุประสงค์หลักคือ การรักษาสภาพการใช้งานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้น ให้สามารถใช้งานได้ใกล้เคียงกับสภาพเดิมมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ด้วยต้นทุนที่ต่ำที่สุดด้วย กล่าว คือ

- การรักษาความสามารถพร้อมใช้งาน (Availability Performance) ประสิทธิผลของเครื่องจักร (Equipment Effectiveness) และอายุการใช้งานทางเทคนิค (Technical Lifetime) ให้เป็นไปตามแผน
- ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยต้องคำนึงถึงความไม่เสี่ยงที่จะเกิดการเสียของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้นๆขึ้น และอีกสิ่งหนึ่งต้องคำนึงถึงคือด้านความปลอดภัยและผลกระทบต่างๆ เช่น ทางด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

2.1.3 การเสื่อมสภาพของเครื่องจักร (Depreciation) [3]

การเสื่อมสภาพของเครื่องจักร คือการที่เครื่องจักรมีขีดความสามารถในการทำงานลดลงไปจากเดิม เมื่อเทียบกับความสามารถของเครื่องจักรเมื่อติดตั้งใหม่ๆ โดยการพิจารณาการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรสามารถจำแนกออกได้ดังนี้คือ

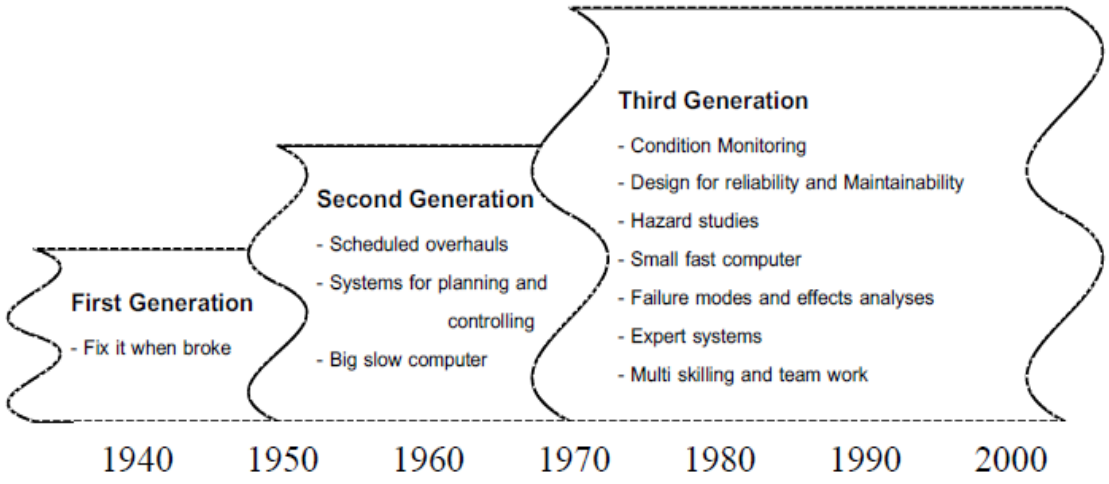
- การเสื่อมสภาพของเครื่องจักรทางด้านเทคนิค เป็นการเสื่อมสมรรถนะตามกาลเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป โดยเปรียบเทียบกับสมรรถนะมาตรฐานของเครื่องจักรที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน เพราะเครื่องจักรที่ใช้งานในอุตสาหกรรมบางประเภทจะมีการเปลี่ยนแปลงทางเทคโนโลยีของอุตสาหกรรมเหล่านั้น เป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้มีการผลิตเครื่องจักรใหม่ๆออกมาให้ทันกับ

เทคโนโลยีตลอดเวลา ทำให้เครื่องจักรที่มีอยู่เดิมต้องล้าสมัยในเวลาอันสั้นมาก เช่น เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตอุปกรณ์ในอุตสาหกรรมอิเล็คทรอนิคส์

- การเสื่อมสภาพของเครื่องจักรทางด้านเชิงพาณิชย์ เป็นการเสื่อมสภาพในแนวคุณค่าหรือมูลค่า หรือราคาเครื่องจักร โดยเครื่องจักรบางประเภทจะมีค่าเสื่อมที่ลดลงอย่างรวดเร็ว
- การเสื่อมสภาพของเครื่องจักรในเชิงของการเสื่อมสมรรถนะ เนื่องจากเครื่องจักรประกอบด้วยชิ้นส่วนหลายชิ้นส่วน ในแต่ละชิ้นส่วนทำขึ้นจากวัสดุที่แตกต่างกันภายหลังจากการใช้งานเครื่องจักรไปได้ระยะหนึ่ง ชิ้นส่วนต่างๆเหล่านั้น จะเกิดมีการสึกหรอขึ้น ซึ่งก็เป็นไปตามหลักของธรรมชาติ การสึกหรอนั้นจะช้าหรือเร็วจะขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะตัวของเครื่องจักรและลักษณะของการใช้งาน ตลอดจนถึงการบำรุงรักษา

2.1.4 วิวัฒนาการของเทคโนโลยีการซ่อมบำรุงรักษา [4]

การซ่อมบำรุงรักษาได้มีการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง ตั้งแต่ในยุคเริ่มต้นที่มีการนำเอาเครื่องจักรกลมาใช้งาน จนสืบเนื่องต่อมาถึงปัจจุบันนี้ การพัฒนาอย่างต่อเนื่องที่ได้กล่าวถึงนั้นทำให้ความคิดหลายๆด้านเกิดขึ้น ทั้งมุมมองในทางด้านของความรวดเร็วที่จะสามารถทำการซ่อมบำรุงรักษา และความแม่นยำเที่ยงตรงของการซ่อมบำรุงรักษา การพัฒนาการซ่อมบำรุงรักษานั้นสามารถแบ่งออกได้ตามยุคของการพัฒนาการ ซึ่งแสดงได้ตามรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การพัฒนาของเทคโนโลยีการซ่อมบำรุงรักษา [4]

จากรูปที่ 2.1 จากหนังสือ Reliability-Centered Maintenance (RCMII) [4] สามารถแบ่งการพัฒนาการซ่อมบำรุงรักษาออกได้เป็น 3 ยุคสมัยของการพัฒนาการ กล่าวได้ดังนี้

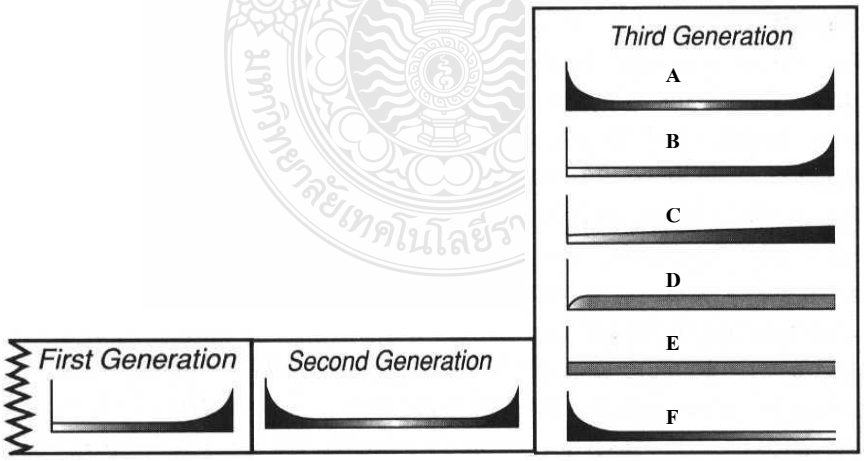
1) ยุคเริ่มต้นหรือยุคบุกเบิก (First Generation) เริ่มประมาณ ค.ศ. 1930 จนถึงประมาณปลาย ค.ศ. 1950 ในช่วงเวลานั้นเป็นช่วงที่งานด้านอุตสาหกรรมตกต่ำมาก และในช่วงเวลาเดียวกัน

นั้นหลายๆระบบทางด้านของเครื่องจักรกลก็มีการออกแบบที่เกินความจำเป็น (Over Designed) ดังนั้นความยุ่งยากซับซ้อนไม่เกิดขึ้นมากนัก จึงทำให้การซ่อมบำรุงก็เป็นไปอย่างง่ายๆ

2) ยุคที่สอง (Second Generation) งานด้านการซ่อมบำรุงรักษาอยู่ในช่วงของสงครามโลกครั้งที่สอง ระหว่างสงครามนั้นได้มีการค้นหาและติดต่อซื้อขายเทคโนโลยีกันอย่างแพร่หลาย จึงส่งผลให้ระบบทางด้านของเครื่องจักรกลแพร่ขยายอย่างมากมายทั้งทางด้านเทคโนโลยีและขนาดของกำลังการผลิต ในเวลาเดียวกันนี้ ความสนใจทางด้านการลดเวลาการสูญเสียก็เกิดขึ้นเช่นกัน ทำให้เกิดการแข่งขันสูง ส่งผลกระทบให้เกิดการเลิกใช้งานเครื่องจักรชนิดที่ออกแบบที่เกินความจำเป็นลง และได้เริ่มมีการใช้การซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน

3) ยุคที่สาม (Third Generation) การพัฒนาในระยะที่สามนั้น เริ่มขึ้นประมาณกลาง ค.ศ. 1970 ซึ่งเป็นการนำวิธีการและเทคโนโลยีที่มีความเจริญก้าวหน้าของการซ่อมบำรุงมาใช้และยังสืบต่อมาตราบจนถึงทุกวันนี้ ซึ่งยังสามารถแบ่งออกได้เป็นอีกสามส่วนคือ

- ส่วนแรก คือช่วงเวลาแห่งการเริ่มต้นของความคาดหวังใหม่ (New Expectation) ประมาณ ค.ศ. 1960 และ 1970 เป็นต้นมา
- ส่วนที่สอง เกิดขึ้นจากงานวิจัยใหม่ๆที่สามารถพิสูจน์ได้ว่าอุปกรณ์ต่างๆเกิดการเสียหายได้อย่างไร ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าอายุของอุปกรณ์นั้นไม่ได้แปรผันตามระยะเวลาการใช้งานของอุปกรณ์ ตามวิธีการคาดการณ์ และยังกำหนดได้ว่ารูปแบบของความเสียหายนั้นมีอยู่ประมาณ 6 แบบ ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งแสดงรูปแบบของการเกิดความเสียหาย (Failure Pattern)



รูปที่ 2.2 การเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเสียหายตามยุคสมัยของพัฒนาการซ่อมบำรุงรักษา [4]

จากรูปที่ 2.2 แสดงถึงรูปแบบการเปลี่ยนแปลงการเกิดความเสียหายตามยุคสมัยของเทคโนโลยีการพัฒนาการซ่อมบำรุงรักษา ซึ่งแนวแกนตั้งคือ อัตราการเกิดการความเสียหาย (Failure Rate) และ แนวแกนนอนคือ ระยะเวลาการใช้งาน (Time)

ก. รูปแบบความเสียหายแบบ A-C แสดงถึงการเกิดความเสียหายที่เกี่ยวเนื่องกับเวลา ซึ่งหมายถึง ระยะเวลามีผลทำให้เกิดความเสียหายต่างๆขึ้น ส่วนที่เหลือเป็นรูปแบบความเสียหายที่ไม่เกี่ยวเนื่องกับระยะเวลาการใช้งาน

ข. รูปแบบความเสียหายแบบ A จะอยู่ในยุคที่ 2 ของวิธีการซ่อมบำรุงรักษา ซึ่งแสดงให้เห็นถึงอัตราการเสื่อมของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ลงอย่างรวดเร็วในระยะแรกๆ และคงที่ในระยะต่อมา ส่วนในระยะสุดท้ายก็จะมีอัตราการเสื่อมที่สูงมากดำเนินไปจนกระทั่งอุปกรณ์เกิดความเสียหาย

ค. รูปแบบความเสียหาย B เป็นรูปแบบความเสียหายที่มาจากการวิธีซ่อมบำรุงรักษาในยุคแรกๆ ซึ่งมีอัตราการเสื่อมของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์อย่างคงที่เป็นระยะเวลานานจนกระทั่งใกล้ถึงระยะที่เกิดความเสียหายจะมีการเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็ว

ง. รูปแบบความเสียหาย C ถึง F เป็นรูปแบบความเสียหายที่มาจากวิธีการซ่อมบำรุงรักษาในยุคที่สาม

จ. รูปแบบความเสียหาย C แสดงอัตราการเสื่อมของอุปกรณ์ที่เพิ่มขึ้นทีละน้อยโดยไม่มีขอบเขตความเสียหาย

ฉ. รูปแบบความเสียหาย D แสดงอัตราการเสื่อมของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่เป็นไปได้น้อยมากตอนที่อุปกรณ์ยังใหม่อยู่และจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและคงที่ในระยะต่อมา

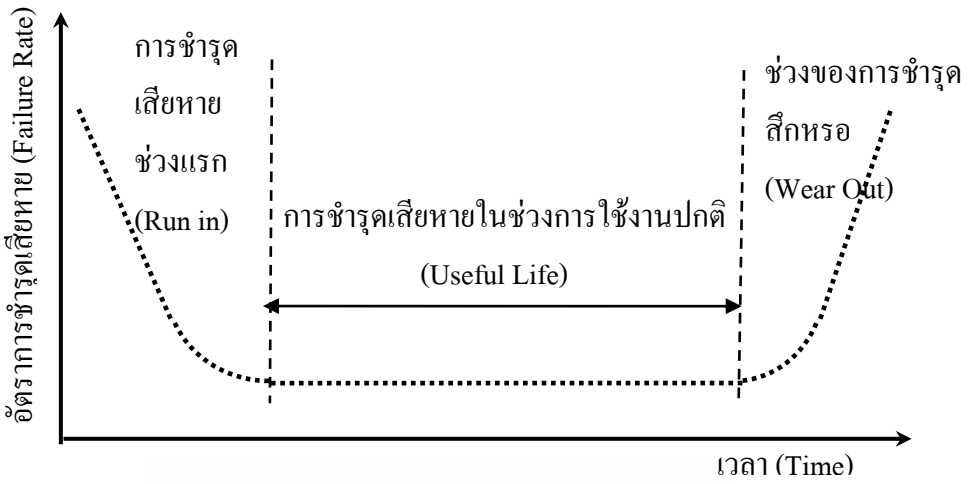
ช. รูปแบบความเสียหาย E แสดงอัตราการเสื่อมของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีอัตราคงที่ตลอดอายุการใช้งาน ไม่มีผลกระทบใดๆกับระยะเวลาการใช้งาน

ซ. รูปแบบความเสียหาย F แสดงอัตราการเสื่อมของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์สูงมากในช่วงที่เริ่มใช้งานและลดการเสื่อมของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ลงอย่างรวดเร็วหลังจากนั้นมีอัตราการเสื่อมอย่างคงที่

- ส่วนที่สาม คือ การเกิดขึ้นของเทคนิคใหม่ (New Techniques) ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมาเทคโนโลยีใหม่ๆในการซ่อมบำรุงรักษามีการเติบโตขึ้นอย่างรวดเร็วมีวิธีการหลายร้อยวิธีเกิดขึ้นมามากมาย และยังมีการคิดค้นวิธีการใหม่ๆอย่างต่อเนื่องสืบถึงปัจจุบัน

2.1.5 วงจรการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร [5]

เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ ก็มีวงจรการเสื่อมสภาพด้วยกันทั้งนั้น เทียบเคียงได้กับวงจรชีวิตของสิ่งมีชีวิต ซึ่งประกอบไปด้วย การเกิด การแก่ การเจ็บ และการตาย ส่วนวงจรการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรกลและอุปกรณ์นั้นโดยทั่วไปแล้วจะแบ่งออกเป็นสามระยะ ได้แก่ การชำรุดระยะแรก คือระยะเริ่มต้นการใช้งานหรือเรียกกันทั่วไปว่าช่วงรันอิน (Run-In Period) การชำรุดระยะที่สอง คือ ระยะการใช้งานปกติ (Useful Life Period) และการชำรุดระยะที่สาม คือระยะการสึกหรอ (Wear Out Period)



รูปที่ 2.3 กราฟแสดงวงจรการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรทั่วไป

จากรูปที่ 2.3 กราฟแสดงวงจรการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ จะเห็นได้ว่าการเสื่อม สภาพของเครื่องจักร สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงเวลา (Period) ดังนี้

1) ช่วงเวลาของการเริ่มต้นใช้งานหรือการชำรุดเสียหายในช่วงแรก (Run In Period) ซึ่งมีการลดลงอย่างรวดเร็วของอัตราการชำรุดเสียหาย (Decreasing Failure Rate, DFR) โดยอัตราการชำรุดเสียหายคำนวณได้จากสูตรด้านล่าง

$$\text{อัตราการชำรุด (Failure Rate, } \lambda) = \frac{\text{จำนวนครั้งในการชำรุด}}{\text{เวลาใช้งานเครื่องจักร}} \qquad (2.1)$$

อัตราการชำรุดเสียหายของระยะเริ่มใช้งาน (Run In Period) นี้อาจจะมีอัตราการชำรุดหรือมีการหยุดของเครื่องจักรค่อนข้างสูงได้อันเนื่องมาจากสาเหตุเหล่านี้

- การออกแบบเครื่องจักรยังไม่เหมาะสม
- วัสดุในการผลิตเครื่องจักรไม่มีคุณภาพ
- เทคโนโลยีการผลิตที่ไม่เหมาะสม
- การติดตั้งเครื่องจักรผิดไปจากที่กำหนด
- การใช้งานเครื่องจักรไม่ถูกต้อง
- เกิดจากการทดลองการทำงานของระบบ

เมื่อมีการใช้งานเครื่องจักรได้ระยะหนึ่งแล้ว โอกาสการเกิดการชำรุดจะค่อยๆลดลง แต่ถ้าหากต้องการลดโอกาสการเกิดอัตราการชำรุดในช่วงระยะเริ่มใช้งาน (Run In Period) อาจจะเป็นไปได้หลายทาง ซึ่งเรียกกันทั่วไปว่า การป้องกันการซ่อมบำรุงรักษา (Maintenance Prevention, MP)

2) ช่วงเวลาของใช้งานปกติ (Useful Life Period) เป็นระยะที่ต่อเนื่องจากระยะเริ่มใช้งาน (Run In Period) เป็นระยะที่เครื่องจักรมีประสิทธิภาพการให้กำลังผลิตได้อย่างสูงสุด ถ้ามีการใช้เครื่องจักรที่ไม่เกินกำลังในการออกแบบไว้ มีการบำรุงรักษาเป็นอย่างดี เครื่องจักรนั้นก็จะมีโอกาสที่จะเกิดการชำรุดได้น้อย ในระยะนี้การชำรุดค่อนข้างจะคงที่ ซึ่งสังเกตได้จากเส้นกราฟจะเป็นเส้นขนานกับแกนของเวลา เรียกว่า อัตราการชำรุดคงที่

3) ช่วงเวลาของการสึกหรอ (Wear Out Period) ถึงแม้ว่าจะดูแลเครื่องจักรเหล่านี้ได้ดีเพียงใดก็ตามนั้น เครื่องจักรเหล่านี้ย่อมมีระเวลาการเสื่อมสภาพตามกาลเวลา อัตราการชำรุดก็จะสูงขึ้นเรื่อยๆ (Increasing Failure Rate, IFR)

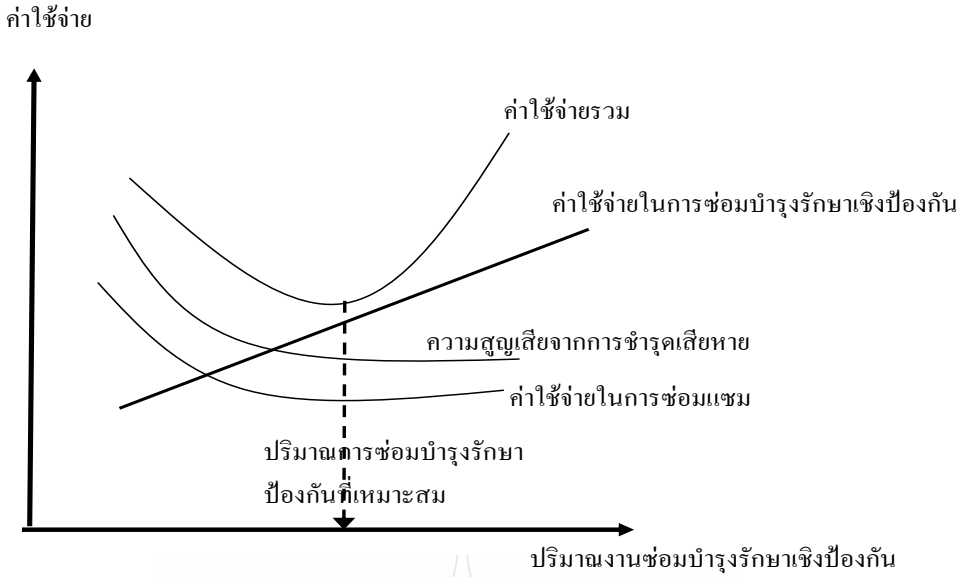
การศึกษาถึงวงจรการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร เป็นส่วนหนึ่งในการพิจารณาเพื่อประกอบการตัดสินใจในการสร้างแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ ซึ่งทำการศึกษาได้จากประวัติการเกิดการเสียของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้นๆ บางกรณีต้องอาจจะต้องใช้หลักการทางสถิติช่วยในการตัดสินใจ

2.1.6 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา

การซ่อมบำรุงรักษา เป็นกิจกรรมที่ต้องปฏิบัติอย่างต่อเนื่องสม่ำเสมอโดยเฉพาะการซ่อมบำรุง รักษาแบบป้องกัน แต่หากดำเนินการซ่อมบำรุงรักษาแบบป้องกันบ่อยเกินไป มากเกินไป ก็จะมีค่าใช้จ่ายที่สูงตามด้วย เช่น การเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เร็วเกินไปทั้งๆที่ชิ้นส่วนนั้นยังสามารถใช้ต่อไปอีก และในทางตรงกันข้ามหากการซ่อมบำรุงรักษาแบบป้องกันทำน้อยเกินไป (Lack of Maintenance) ก็อาจจะเกิดการสูญเสียเนื่องจากการผลิตหรือการให้บริการนั้นหยุดชะงักลงเพราะชิ้นส่วนชำรุด ดังนั้นค่าใช้จ่ายและความสูญเสียที่เกิดขึ้นในกรณีเครื่องจักรชำรุดหรือเสียประกอบด้วย ค่าใช้จ่าย 2 ส่วน ดังนี้ คือ

1) ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม เช่น ค่าอะไหล่ ค่าแรง ค่าโสหุ้ยในการซ่อม ความสูญเสียที่เกิดจากการชำรุดของเครื่องจักร เช่น ค่าใช้จ่าย การหยุดเครื่อง ค่าเสียโอกาสในการผลิต ค่าใช้จ่ายในการเริ่มเดินเครื่องใหม่

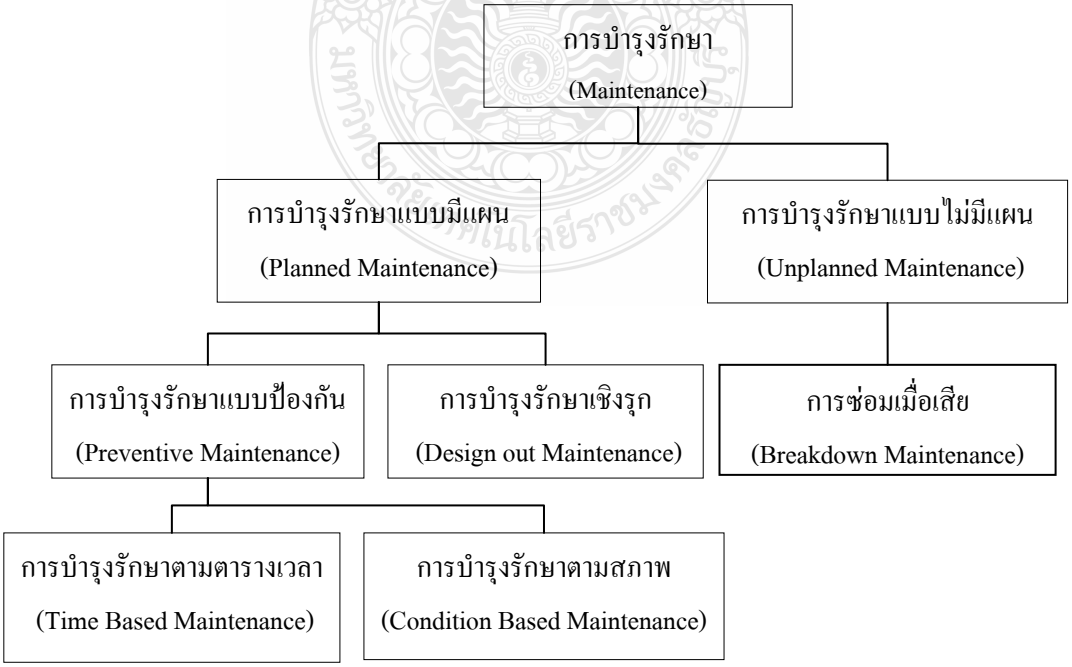
2) ค่าใช้จ่ายในการดูแลเครื่องจักรและอุปกรณ์ เช่น ค่าแรงและค่าโสหุ้ยในการทำความสะอาด การหล่อลื่น ค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบเครื่องจักรและอุปกรณ์ ค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนและซ่อมแซมชิ้นส่วนตามกำหนดในแผนค่าใช้จ่าย



รูปที่ 2.4 องค์ประกอบและความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา

จากรูปที่ 2.4 องค์ประกอบและความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาแสดงเห็นได้ว่าเมื่อค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาเพื่อป้องกันสูงขึ้น ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและการเสียจากการชำรุดเสียหายจะลดลง เมื่อคิดค่าใช้จ่ายรวมทั้ง 3 ส่วนแล้ว จะพบว่าปริมาณงานซ่อมบำรุงรักษาที่เหมาะสมอยู่ในระดับที่มีค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุดนั้นเอง

2.1.7 ประเภทของการซ่อมบำรุงรักษา (Category of Maintenance) [6]



รูปที่ 2.5 ประเภทของการซ่อมบำรุงรักษา [6]

จากรูปที่ 2.5 การบำรุงรักษาสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ การบำรุงรักษาแบบมีแผน (Planned Maintenance) และการบำรุงรักษาแบบไม่มีแผน (Unplanned Maintenance)

1) การบำรุงรักษาแบบมีแผน (Planned Maintenance) แบ่งออกได้อีก 2 ส่วน คือ

- การซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) หมายถึงงานซ่อมบำรุงรักษามีแผนที่กระทำไปโดยมีจุดมุ่งหมายที่จะป้องกันมิให้เครื่องจักรชำรุดเสียหาย เช่นการตรวจสภาพเครื่องจักรตามจำนวนชั่วโมงการใช้งาน การทำความสะอาด การเปลี่ยนอะไหล่ตามระยะทางการใช้งานจริง เมื่อพิจารณาถึงวิธีปฏิบัติงานแล้ว และยังแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ

ก. วิธีตามเวลา (Time Based Maintenance)

ข. วิธีตามสภาพ (Condition Based Maintenance)

- การซ่อมบำรุงรักษาเชิงรุก (Design out Maintenance) หรือเรียกกันว่า (Proactive Maintenance) คือ การแก้ปัญหาที่สาเหตุหลักที่ทำให้เครื่องจักรเสียหาย เราทำการแก้ไขปัญหาไว้ล่วงหน้าเพื่อลดโอกาสการชำรุดเสียหายของเครื่องจักรซึ่งจะทำให้เครื่องจักร นั้นมีอายุยาวขึ้นเมื่อถูกนำไปใช้งาน ข้อดีของการบำรุงรักษาแบบเชิงรุก อายุการใช้งานของเครื่องจักรเพิ่มขึ้น, ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงลดการเสียหายของเครื่องจักร แต่เราต้องเสียกำลังคนในการรวบรวมข้อมูลและทำการแก้ไข ส่วนใหญ่จะเป็นผู้ผลิตที่เก็บข้อมูลจากลูกค้าและทำการปรับปรุงตัวผลิตภัณฑ์ เช่นเมาส์ที่เราใช้กับคอมพิวเตอร์แต่ก่อนจะเสียหายที่ลูกกลิ้งบ่อยมากปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาไปใช้เป็นแบบใช้แสง (Optical) ซึ่งอายุการใช้งานนานขึ้นเราไม่ต้องเสียเวลามาทำความสะอาดที่ลูกกลิ้งอีกปัจจัยที่เราต้องนำมาพิจารณาในการตัดสินใจการเลือกกลยุทธ์การบำรุงรักษาคือค่าเสียหายที่เกิดขึ้นแต่ละครั้งเมื่อเครื่องจักรหยุด, ไม่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ให้แก่ลูกค้าทันเวลาได้, ระยะเวลาที่สูญเสียไป ในการซ่อมแซมและรอคอยชิ้นส่วนที่จะใช้ ในกรณีที่ไม่มีของในสโตร์ ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับค่าแรงคนงาน, ราคาของชิ้นส่วน เราต้องนำข้อมูลดังกล่าวมาพิจารณาและตัดสินใจในการเลือกใช้กลยุทธ์การบำรุงรักษา จากที่กล่าวถึงกลยุทธ์ในงานบำรุงรักษามาทั้งหมดคงไม่มีกลยุทธ์ใดดีที่สุดแต่สิ่งที่สำคัญคือการเลือกใช้ให้เหมาะกับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์แต่ละชนิดและโอกาส นั้นคือการวางแผนการบำรุงรักษา (Maintenance Plan)

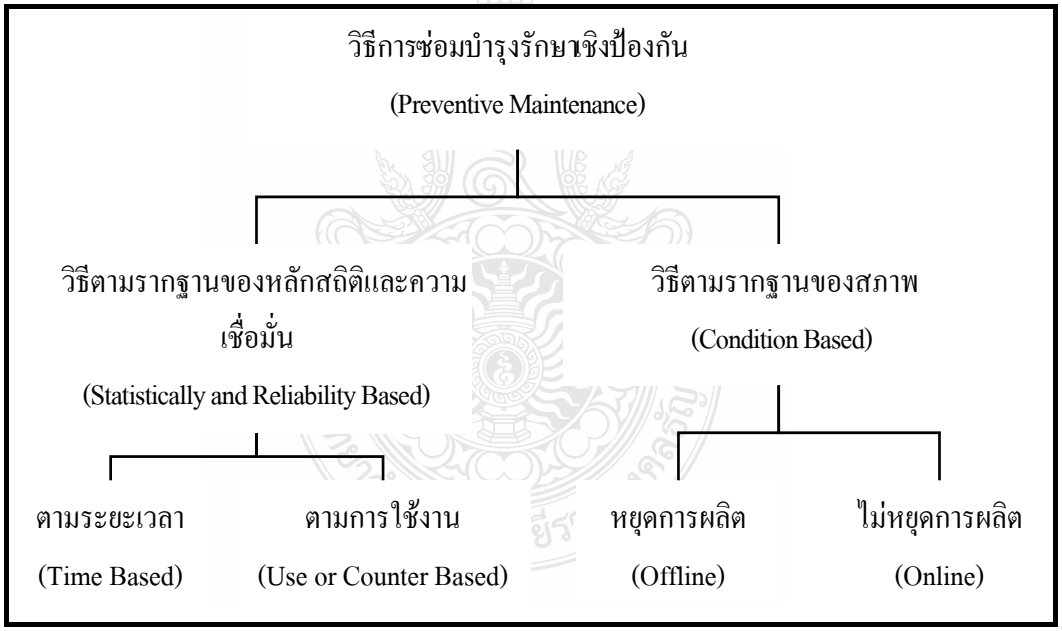
2) การซ่อมบำรุงรักษาแบบไม่มีแผน (Unplanned Maintenance) คือ การซ่อมฉุกเฉินนั่นเอง จะต่างจากการซ่อมบำรุงรักษาเมื่อเครื่องเสีย ที่ว่าการซ่อมฉุกเฉินนั้นจะไม่มีการเตรียมงานไว้ก่อนล่วงหน้า เมื่อเครื่องจักรเกิดการชำรุดเสียหายขึ้น ฝ่ายซ่อมบำรุงรักษาก็จะดำเนินการแก้ไขซ่อมแซมความเสียหายตามสภาพที่เกิดขึ้น โดยขั้นแรกจะตรวจสอบว่ามีชิ้นส่วนใดเสียหาย จะเปลี่ยนทดแทนโดยอะไหล่จากคลังพัสดุ หากจำเป็นอาจต้องปรับแต่งเครื่อง งานต่าง ๆ ที่ต้องทำนี้เนื่องจากเป็นการซ่อมฉุกเฉิน ไม่มีการวางแผนไว้ก่อนจึงไม่สามารถบอกได้ล่วงหน้าว่าต้องทำอะไรบ้าง แต่สำหรับการซ่อมบำรุงรักษาเมื่อเครื่องเสียนั้นจะมีการคาดคะเนไว้ล่วงหน้าก่อน เมื่อมีรายงานว่าเครื่องเสีย ส่วนใหญ่จะทราบได้ทันทีจากอาการที่เครื่องเสียว่าจะต้องปฏิบัติงานอะไรบ้าง ผู้ปฏิบัติงาน

สามารถที่จะเตรียมอุปกรณ์ อะไหล่ เครื่องมือที่ต้องใช้และอาจสามารถประมาณการได้ว่าจะใช้เวลาปฏิบัติงานสักเท่าใดด้วย

2.2 วิธีการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) [5],[7]

การซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันเป็นการกำหนดกิจกรรมต่างๆในการซ่อมบำรุงรักษาที่มีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อป้องกันมิให้เครื่องจักรเกิดการชำรุดหรือเสียก่อนกำหนดหรือจนไม่สามารถใช้งานตามวัตถุประสงค์นั้นได้ และหนังสือบางเล่ม ได้กล่าวไว้ว่าการบำรุงรักษาเชิงป้องกันหมายถึงการหลีกเลี่ยงการเกิดสิ่งผิดปกติและการชำรุดเสียหายของอุปกรณ์ การดำเนินการดังกล่าวนั้นต้องดำเนินการกิจกรรม 3 ประการ ดังนี้

1. การบำรุงรักษาประจำวัน (Daily Maintenance)
2. การตรวจสอบตามระยะเวลา (Schedule Inspection)
3. การปรับคืนสภาพ (Overhaul)



รูปที่ 2.6 วิธีการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) [7]

จากรูปที่ 2.6 วิธีการซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันแบ่งออกได้เป็น 2 วิธีดังนี้คือ

1) วิธีตามหลักสถิติและความเชื่อมั่น (Statistically and Reliability Based) สามารถแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ ตามการกำหนดระยะเวลา (Time Based) เช่น แผนการซ่อมบำรุงรักษาตามระยะเลา 6 เดือน 1 ปี 2 ปี หรือ 10 ปี เป็นต้น และตามการใช้งาน (Counter Based) เช่น แผนการซ่อมบำรุงรักษาตามการใช้งาน เช่น 1000 ชั่วโมงการทำงาน หรือ ทุกๆระยะ 10000 กิโลเมตร เป็นต้น

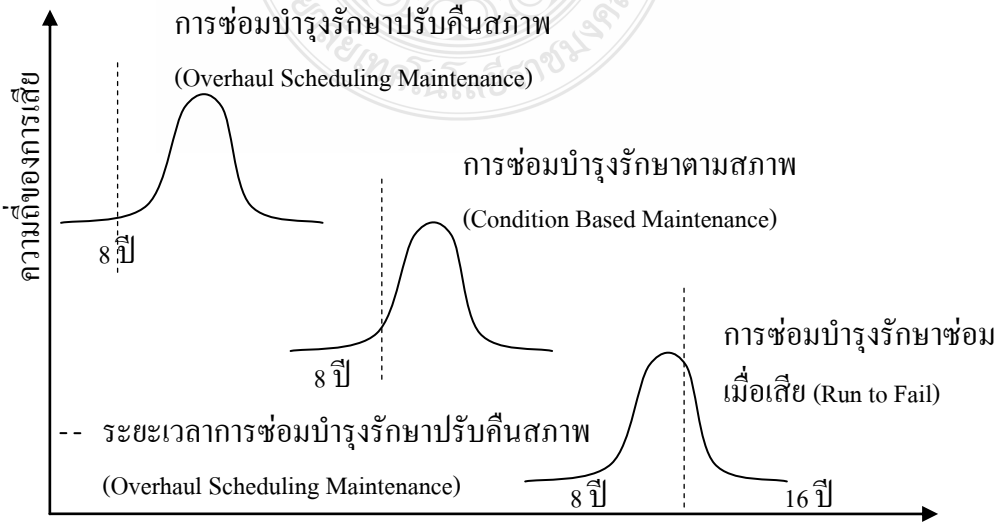
2) วิธีตามรากฐานของสภาพ (Condition Based) แบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การซ่อมบำรุงรักษาขณะหยุดการผลิต (Offline) ซึ่งได้แก่แผนการซ่อมบำรุงรักษาขณะหยุดการผลิต เช่นการหยุดทำการผลิตเนื่องจากเครื่องจักรนั้นถึงเวลาซ่อมบำรุง และการซ่อมบำรุงรักษาขณะเครื่องจักรนั้นกำลังทำงานอยู่ (Online) เช่น การทำการหล่อลื่น การเก็บข้อมูลของการสั่นสะเทือน การเก็บน้ำมันเพื่อทำการวิเคราะห์สภาพ

2.2.1 วิธีการซ่อมบำรุงรักษาตามตารางเวลา (Scheduling or Time Based Maintenance)

การซ่อมบำรุงรักษาตามตารางเวลา เป็นการจัดการและวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาโดยการกำหนดตามเวลาการใช้งาน หรือตามอายุของเครื่องจักรและอุปกรณ์ เช่น การตรวจสอบประจำทุกสัปดาห์ เดือน หรือปี รวมทั้งการซ่อมบำรุงรักษาครั้งใหญ่ตามตาราง (Overhaul Scheduling) ซึ่งทำให้ชิ้นส่วนและอุปกรณ์บางชิ้นมีการเปลี่ยนเร็วเกินไปทำให้เกิดค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น และในทางตรงกันข้ามถ้าทำการซ่อมใหญ่ช้าเกินไป ก็จะทำให้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้นมีอาการเสียสูงมากขึ้น

2.2.2 วิธีการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance, CBM)

การซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance) หรือ เรียกว่า การซ่อมบำรุงรักษาเชิงพยากรณ์หรือการคาดคะเน (Predictive Maintenance) เป็นการซ่อมบำรุงรักษาตามการเสื่อมสภาพของเครื่องจักร ทำให้เครื่องจักรและอุปกรณ์ใช้งานได้อย่างคุ้มค่า สามารถทำให้เครื่องจักรทำงานหรือให้บริการได้มากขึ้น เพิ่มผลผลิตมากขึ้น ลดการเสียหรือการหยุดให้บริการ (Break Down) ลงอย่างแท้จริง รวมถึงการทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาและการจัดเก็บรักษาวัสดุคงคลัง ซึ่งสามารถทำได้โดยการค้นหาจากลักษณะสัญญาณการเตือนของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วเครื่องจักรจะให้สัญญาณการเตือนก่อนที่เครื่องจักรนั้นจะเกิดอาการการเสียลง เช่น การเกิดเสียง การเกิดความร้อน การเกิดการสั่นสะเทือน และการเกิดเศษผงโลหะต่างๆ เป็นต้น



รูปที่ 2.7 กำหนดเวลาของแผนการซ่อมบำรุงรักษาที่แตกต่างกัน

จากรูปที่ 2.7 แสดงถึงแผนการซ่อมบำรุงรักษาที่มีการกำหนดระยะเวลาการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพที่แตกต่างกัน คือ

1) การซ่อมบำรุงรักษาแบบไม่มีแผนหรือการซ่อมเมื่อเสีย (Run to Fail) จะมีแผนการซ่อมบำรุงรัก ษาปรับคืนสภาพเมื่อมีความถี่การเสียของเครื่องจักรสูงแล้ว จึงไม่สามารถป้องกันการเสียหรือการหยุดให้บริการของเครื่องจักรได้ ดังนั้นแผนการซ่อมบำรุงรักษาวิธีนี้เป็นแผนที่มีความเสี่ยงสูง อาจจะทำให้ไม่สามารถป้องกันหรือดูแลรักษาเครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้นไว้ได้ทัน แผนการซ่อมบำรุงรักษาวิธีนี้จะเหมาะสมกับการวางแผนบำรุงรักษาสำหรับอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่ไม่มีความเสี่ยงสูง ราคามูล ค่าไม่สูง ไม่จำเป็นการดูแลรักษามากนัก

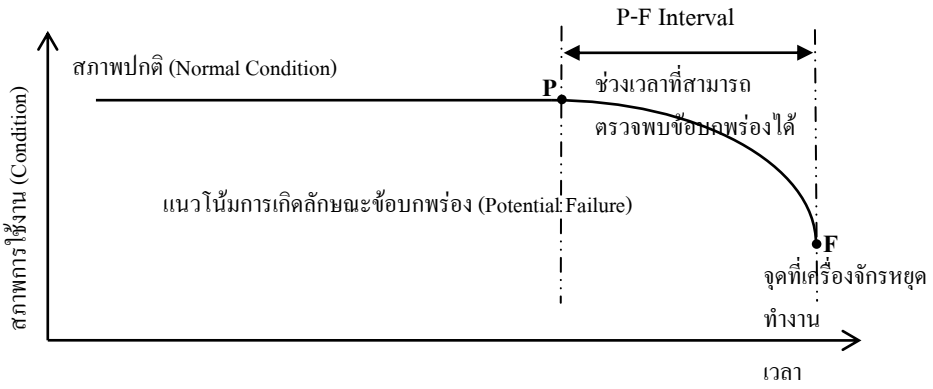
2) การซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันตามเวลากลับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling) แสดงให้เห็นได้ว่าแผนการซ่อมบำรุงรักษาวิธีนี้มีแผนการซ่อมเพื่อกลับคืนสภาพที่เร็วเกินไป เนื่องจากส่วนใหญ่แล้วเป็นการวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามตารางจากบริษัทผู้ผลิตเป็นผู้กำหนด เพื่อป้องกันเครื่อง จักรหรืออุปกรณ์นั้นไม่ให้เสียก่อนกำหนดอันสมควร และไม่สามารถออกแบบตามสภาพการใช้งานของอุปกรณ์นั้นๆได้ เนื่องจากการผลิตเครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้นมีการส่งจำหน่ายในหลายภูมิภาคที่แตกต่างกันทั่วโลก

3) การซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance) เป็นการวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพการใช้งานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ โดยมีการเฝ้าตรวจติดตามสภาพการใช้งาน (Condition Monitoring) อย่างสม่ำเสมอ ทำให้สามารถวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาได้อย่างใกล้เคียงกับเวลาก่อนที่เครื่องจักรหรืออุปกรณ์จะมีการเสียเกิดขึ้น

2.3 เทคนิคการตรวจติดตามสภาพ (Condition Monitoring Techniques) [4]

เทคนิคการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพการใช้งานเบื้องต้น เป็นการใช้การสังเกต เช่น การดูด้วยตาเปล่า การฟังเสียง การสัมผัส และการดมกลิ่น วิธีการเหล่านี้มีความสามารถในการค้นพบแนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (Potential Failure) ได้ไม่ละเอียด คลุมเครือ ไม่ชัดเจน อาจจะมีการลำเอียงหรือเกิดการผิดพลาดจากคนขึ้นได้ ซึ่งทำให้พบว่าระยะในการตรวจค้นพบแนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (P-F Interval) นั้นได้สั้นมากทำให้การจัดการวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาหรือหามาตรการป้องกันได้ยาก

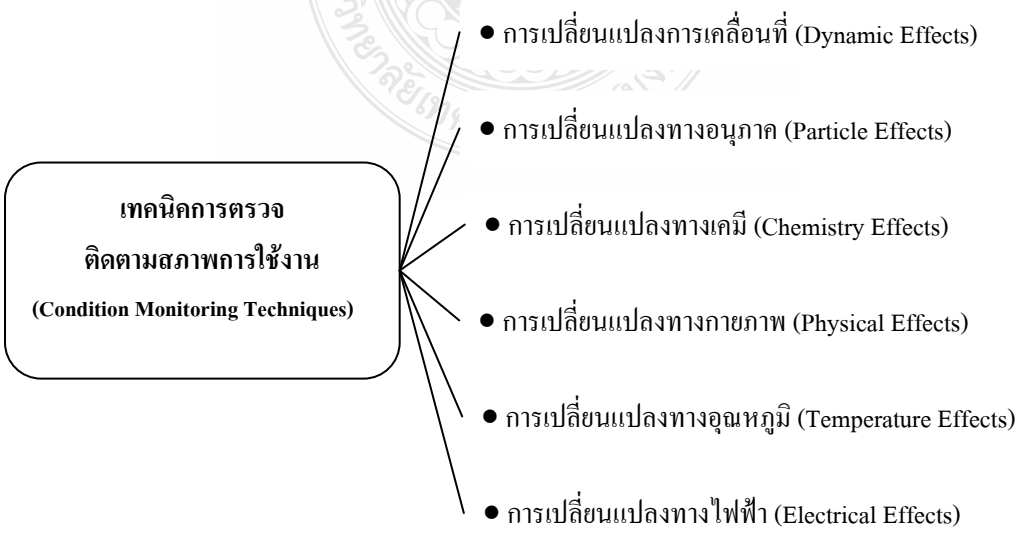
ในระยะเวลาต่อมาได้มีการพัฒนาการค้นหาแนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (Potential Failure) ซึ่งพบได้ว่าระยะในการตรวจค้นพบแนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (P-F Interval) ได้อย่างละเอียดและรวดเร็วขึ้น นั่นหมายความว่าได้ลดการตรวจสอบลงหรือมีช่วงเวลาที่จะกำหนดมาตรการป้องกันการเกิดลักษณะข้อบกพร่องได้มากขึ้น ซึ่งทำให้มีความพยายามที่จะระบุสภาพ Potential Failure และพัฒนาเทคนิควิธีการที่จะค้นหาลักษณะข้อบกพร่องให้มีระยะเวลาในการตรวจจับที่เร็วขึ้น



รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ของช่วงเวลาที่เริ่มเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (P-F Interval) [4]

จากรูปที่ 2.8 แสดงถึงสภาพการใช้งานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ซึ่งกราฟแนวนอนเป็นระยะเวลาการใช้งาน กราฟแนวตั้งเป็นสภาพการใช้งานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ จุด P หมายถึง จุดที่ทราบได้ว่ากำลังจะเกิดลักษณะข้อบกพร่องขึ้น (Potential) และ จุด F หมายถึง จุดที่เกิดลักษณะข้อบกพร่องขึ้นแล้ว (Failure)

แนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (Potential Failure) จะอยู่ระหว่างช่วงเวลาจากจุด P ถึงจุด F ซึ่งเรียกว่า (P-F Interval) คือช่วงเวลาที่เริ่มเกิดลักษณะข้อบกพร่องหรือช่วงเวลาที่เครื่องจักรเริ่มจะเสียหรือหยุดทำงานลง เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมกับการวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพได้ดี ระยะเวลาระหว่างจากจุด P ถึงจุด F จะต้องมากพอที่จะดำเนินการแก้ไขหรือกำหนดมาตรการป้องกันให้ทันกาล เพื่อไม่ให้เกิดข้อบกพร่องหรือการหยุดทำงานของเครื่องจักรขึ้น



รูปที่ 2.9 เทคนิคการตรวจติดตามสภาพการใช้งาน (Condition Monitoring Techniques) [4]

จากรูปที่ 2.9 แสดงเทคนิคการตรวจติดตามสภาพการใช้งาน (Condition Monitoring Techniques) ของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 6 เทคนิคที่แตกต่างกันตามลักษณะการนำเอาไปใช้งานได้ดังนี้

2.3.1 การตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ (Dynamic Effects)

ใช้ในการสืบหาแนวโน้มการเกิดข้อบกพร่อง (Potential Failure) ที่เป็นสาเหตุให้พลังงานที่ผิดปกติจากการกระจายตัวในรูปแบบของคลื่น เช่น การสั่นระรัว การสั่นเป็นจังหวะ และคลื่นเสียง อุปกรณ์ที่ใช้ในการค้นหาแนวโน้มลักษณะข้อบกพร่อง ตัวอย่างเช่น อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการสั่นสะเทือน (Vibration Detector) ซึ่งมีด้วยกันหลายชนิด เช่น Broad band Vibration Analysis สามารถดูรายละเอียดของการใช้งานจาก ตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณการสั่นสะเทือนแบบ Broad Band Vibration [4]

หัวข้อ	**Broad Band Vibration Analysis**
การตรวจติดตามสภาพ	การเปลี่ยนแปลงของลักษณะการสั่นสะเทือนที่เกิดจากความล้า (Fatigue) การเสียด (Wear) ความไม่สมดุล (Imbalance) ความเที่ยงตรงในแนวแกน (Misalignment) การสึกหรอทางกล (Mechanical Looseness) การเคลื่อนตัวด้วยการไหลวน (Turbulence)
การใช้งาน	เพลา กล่องเกียร์ Belt Drives Compressor เครื่องยนต์ มอเตอร์ไฟฟ้า ปั๊ม Turbine
ระยะเวลาค้นหาแนวโน้มลักษณะข้อบกพร่อง	ขึ้นอยู่กับการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง
การดำเนินการ	ทำการติดตามสภาพการสั่นสะเทือนของอุปกรณ์ทั้งหมดและเตรียมลักษณะข้อมูลเบื้องต้นเพื่อตรวจเช็ค หรือตรวจติดตาม การจัดการเบื้องต้นอาจใช้ Accelerometer และ Vibration Meter ที่ประกอบด้วย Amplification Circuitry สำหรับให้ค่าออกมาเป็นหน่วยของการสั่นสะเทือน การอ่านค่านั้นสัมพันธ์กับ RMS ของการสั่นสะเทือนที่ตำแหน่งของ Accelerometer แต่ไม่สามารถแยกแยะระหว่างความถี่ที่หลากหลายได้ ซึ่งเครื่องมือวัดชนิดนี้ตอบสนองที่ความถี่คงที่ระหว่าง 20 Hz ถึง 1000 Hz
ทักษะ	ในการใช้อุปกรณ์และการบันทึกการสั่นสะเทือน ควรให้การอบรมที่เหมาะสมแก่ระดับคนงานที่ยังไม่มีความชำนาญ
จุดเด่น	ผู้ที่ไม่มีประสบการณ์สามารถใช้ได้ ราคาถูก และกะทัดรัด สามารถพกพา หรือติดตั้งถาวรก็ได้ มีประสิทธิภาพในการค้นพบลักษณะข้อบกพร่องพื้นฐานได้ ไม่ต้องป้อนข้อมูลมาก การแปลผลหรือประเมินผลเป็นไปตามเกณฑ์ที่ยองรับกันทั่วไป
จุดด้อย	เป็นการวัดอย่างหยาบๆ ไม่แยกแยะความถี่ มีข้อจำกัดในการระบุลักษณะข้อบกพร่อง

2.3.2 การตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางอนุภาค (Particle Effects)

ใช้ในการสืบหาแนวโน้มการเกิดข้อบกพร่อง (Potential Failure) ที่เป็นสาเหตุให้ ชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์นั้นปล่อยอนุภาคขนาดต่างๆกันออกมาสู่สภาวะแวดล้อมในระหว่างการใช้งาน

ตารางที่ 2.2 รายละเอียดการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงทางอนุภาคด้วยวิธี Ferrography [4]

หัวข้อ	**Ferrography**
การตรวจติดตามสภาพ	ระบบน้ำมันไฮดรอลิคส์ น้ำมันหล่อลื่น อย่างเช่น ชุดเกียร์(Gearbox) ห้องเครื่องยนต์ ระบบขับเคลื่อนไฮดรอลิค เป็นต้น
การใช้งาน	ชุดเกียร์ (Gear Box) อุปกรณ์กำเนิดลม (Compressor)
ระยะเวลาค้นหาแนวโน้มลักษณะข้อบกพร่อง	มักจะมีเวลา เป็นช่วงหลายๆเดือน
การดำเนินการ :	อนุภาคที่สึกหรอจะถูกแยกตัวโดยสนามแม่เหล็กออกจากน้ำมันหล่อลื่นเป็นลักษณะ Glass Slide ที่รู้จักกันในนามของ Ferrographic อนุภาคจะถูกกระจายออกตามความยาวและขนาดของ Slide ซึ่ง Slide นี้เรียกว่า Ferrogram จากการจัดการกับ Ferro gram เมื่อขจัดน้ำมันออกไปอนุภาคจะปรากฏอยู่ที่พื้นผิว ความหนาแน่นรวมของอนุภาคและอัตราส่วนของอนุภาคขนาดเล็กและอนุภาคขนาดใหญ่จะบ่งบอกถึงชนิดและขนาดของการสึกหลอ และจะทำการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า การทดสอบ bichromatic microscopic โดยการใช้กล้องจุลทรรศน์ อิเลคตรอน จะทำให้ทราบถึงรูปร่างของอนุภาคและระบุสาเหตุของ failure ได้
ทักษะ	ในการเก็บและจัดการกับ Ferrograph : คนงานที่มีทักษะที่ได้รับการฝึกอบรมมาแล้ว ส่วนในการวิเคราะห์ Ferrogram : ให้ใช้นายช่างที่มีประสบการณ์
จุดเด่น	ในการเก็บและจัดการกับ Ferrograph : คนงานที่มีทักษะที่ได้รับการฝึกอบรมมาแล้ว ส่วนในการวิเคราะห์ Ferrogram : ให้ใช้นายช่างที่มีประสบการณ์
จุดด้อย	เป็นเทคนิคที่ไม่สามารถเชื่อมโยงเป็นเครือข่ายได้, ทำการวัดเฉพาะอนุภาค ferromagnetic เท่านั้น, ต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ อิเลคตรอนในการวิเคราะห์ที่ต้องการเจาะลึก

2.3.3 การตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางเคมี (Chemistry Effects)

ใช้ในการสืบเพื่อสืบหาแนวโน้มการเกิดข้อบกพร่อง (Potential Failure) ที่เป็นสาเหตุให้เกิดสารเคมีปริมาณหนึ่งปล่อยออกสู่สภาวะแวดล้อม

ตารางที่ 2.3 รายละเอียดการตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางเคมีแบบ Spectrometric Oil Analysis Procedure [4]

หัวข้อ	Spectrometric Oil Analysis Procedure
การตรวจติดตามสภาพ	ใช้ในการวิเคราะห์การสึกกร่อน โลหะที่มีการสึกกร่อนที่ถูกตรวจวัดในน้ำมันหล่อลื่น คือ โลหะดังต่อไปนี้ - เหล็กจากเกียร์ ที่รองกระบอกสูบ - ทองแดงจากตลับลูกปืน (Bearing), เครื่องสวมเพลาและระบบทำความเย็น - ตะกั่วจากน้ำมันเชื้อเพลิง, ตลับลูกปืน (Bearing), เครื่องสวมเพลาและสารหล่อลื่น - โครเมี่ยมจากแหวนและที่รอง - อลูมินัม (Aluminum) จากลูกปืนลูกสูบ - โมลิบดินัม (Molybdenum) จากวงแหวนลูกสูบ - ดีบุกจากลูกปืนและเครื่องยนต์บางชนิด - เงินและสังกะสีในเครื่องยนต์หัวรถจักร - นิกเกิลในเครื่องยนต์ของเครื่องบิน
การใช้งาน	ระบบที่ปิดที่มีการไหลวน Circulating Oil
ระยะเวลาค้นหาแนวโน้มลักษณะข้อบกพร่อง	มักจะเป็นช่วงหลายสัปดาห์ถึงหลายเดือน
การดำเนินการ	สิ่งเจือปนในน้ำมันที่เก็บมาตรวจจะถูกตรวจวัดโดยการคายประจุ หรือ Atomic Absorption Spectrometer อุปกรณ์ Emission Spectrometer จะกระตุ้นสิ่งเจือปนโลหะในน้ำมันที่เก็บมาโดยปล่อยไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง (15000 V.) ทำให้ปล่อยรังสีเฉพาะตัวออกมาซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ต่อไปได้ Atomic Absorption Spectrometer ทำงานบนหลักการที่ว่าทุกอะตอมจะดูดกลืนคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะตัว ตัวอย่างน้ำมันจะถูกเจือจางและระเหยโดยเปลวไฟ และส่วนประกอบแต่ละอย่างจะดูดกลืนคลื่นแสงที่มีความยาวคลื่นเฉพาะตัว ซึ่งจะสามารถชี้บ่งอนุภาคที่สึกกร่อนทั้งปริมาณและคุณภาพได้ โดยวิเคราะห์รายละเอียดออกมาเป็นกราฟของอัตราการสึกหลอ
ทักษะ	ในการเก็บตัวอย่าง คนงานที่ค่อนข้างมีทักษะที่ได้รับการฝึกอบรมมาแล้ว, ในการใช้งาน Spectrometer ช่างเทคนิคประจำห้องทดลองที่ได้รับการอบรมมาแล้ว
จุดเด่น	สะดวก มีราคาถูก
จุดด้อย	ทำงานได้ช้า และต้องใช้ห้องทดลอง

2.3.4 การตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (Physical Effects)

ใช้ในการสืบหาแนวโน้มการเกิดข้อบกพร่อง (Potential Failure) ที่เป็นสาเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ หรือ โครงสร้างของอุปกรณ์ที่สามารถค้นพบได้โดยตรง และยังสามารถใช้เทคนิคการสืบหา แนวโน้มการเกิดข้อบกพร่อง (Potential Failure) ที่สามารถมองเห็นได้ในรูปของการแตกหัก ฉีกขาด หรือการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่าง

ตารางที่ 2.4 รายละเอียดการตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ [4]

หัวข้อ	Liquid Dye Penetrates
การตรวจติดตามสภาพ	วิเคราะห์พื้นผิวที่ไม่เรียบ หรือแตกหักเนื่องจากการเสื่อมสภาพ สึกกร่อน พื้นผิวที่หดตัว การใช้ความร้อน การสึกกร่อนจากการเสื่อมสภาพ การสึกกร่อนจากแรงกดทับ และไฮโดรเจน
การใช้งาน	วัสดุที่มีส่วนประกอบธาตุเหล็ก และไม่มีส่วนประกอบธาตุเหล็ก อย่างเช่น การเชื่อมโลหะ, พื้นผิวเครื่องจักร โครงสร้างที่เป็นโลหะ เพลา หม้อต้ม แรงดัน โครงสร้างที่เป็นพลาสติก
ระยะเวลาค้นหาแนวโน้มลักษณะข้อบกพร่อง	ช่วงหลายวันถึงหลายเดือน ขึ้นอยู่กับการใช้งาน
การดำเนินการ	ของเหลวที่ใช้เพื่อการแทรกซึม (Penetrate) จะถูกหยดลงบนพื้นผิวที่ต้องการทดสอบและทิ้งไว้เพื่อให้เกิดการแทรกซึมไปบนพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ หลังจากนั้นจะขจัดของเหลวส่วนเกินจากการแทรกซึมออกไป การประเมินผลทำได้โดยวิเคราะห์การซึมผ่านบนพื้นผิวที่สึกกร่อนไม่สม่ำเสมอ ประเภทของเหลว Penetrate ขึ้นอยู่กับชนิดการย้อมสี
ทักษะ	ในการใช้การแทรกซึม (Penetrate) ผู้ปฏิบัติการต้องมีทักษะที่ได้รับการอบรมแล้ว ในการแปลผล ช่างเทคนิคที่มีประสบการณ์
จุดเด่น	ชุดสาร Penetrate ที่มองเห็นด้วยตาเปล่ามีราคาถูกมาก
จุดด้อย	สาร Penetrate ประเภท Fluorescent จะต้องทำการตรวจสอบในที่มืด, ในการประเมินผลจำเป็นต้องใช้ผู้มีทักษะและประสบการณ์, เป็นเทคนิคที่ไม่สามารถออนไลน์ได้, ใช้ในการตรวจสภาพพื้นผิวชำรุดเท่านั้น ไม่สามารถทดสอบวัสดุที่มีพื้นผิวเป็นรูพรุน

2.3.5 การตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิ (Temperature Effects) []

ใช้ในการสืบหาแนวโน้มการเกิดข้อบกพร่อง (Potential Failure) ที่เป็นสาเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิที่เป็นสาเหตุให้อุปกรณ์นั้นๆมีอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ตัวอย่างเช่น อุณหภูมิของวัสดุที่เพิ่มขึ้นจากการทำงานของอุปกรณ์นั้นๆ

ตารางที่ 2.5 รายละเอียดการตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิ [4]

หัวข้อ	Infra-red Scanners
การตรวจติดตามสภาพ	วิเคราะห์พื้นผิวของอุณหภูมิ (Surface Temperature)
การใช้งาน	การขาดสารหล่อลื่นในตลับลูกปืน การหลวมของจุดต่อไฟฟ้า
ระยะเวลาค้นหาแนวโน้มลักษณะข้อบกพร่อง	ช่วงหลายวันถึงหลายเดือน ขึ้นอยู่กับการใช้งาน
การดำเนินการ	ใช้หลักการของการส่งสัญญานจากคลื่น Infra-red
ทักษะ	ช่างเทคนิคมีประสบการณ์
จุดเด่น	ไม่จำเป็นต้องสัมผัสผิวงาน ปลอดภัยจากกระแสไฟฟ้า
จุดด้อย	อุปกรณ์มีราคาแพง ต้องการผู้ชำนาญในการอ่านผล

2.3.6 การตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า (Electrical Effects)

ใช้ในการสืบหาแนวโน้มการเกิดข้อบกพร่อง (Potential Failure) ที่เป็นสาเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางด้านความต้านทาน (Resistance) คุณสมบัติการเป็นตัวนำ (Conduction) และคุณสมบัติความเป็นฉนวนไฟฟ้า (Insulation)

ตารางที่ 2.6 รายละเอียดการตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า [4]

หัวข้อ	Megger and Orther Voltage Generators
การตรวจติดตามสภาพ	วิเคราะห์ความต้านทานของฉนวน
การใช้งาน	วงจรไฟฟ้า
ระยะเวลาค้นหาแนวโน้มลักษณะข้อบกพร่อง	เดือน หรือ ปี
การดำเนินการ	จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 250 โวลท์ ถึง 10 กิโลโวลท์ จากเครื่องมือไปที่ชิ้นงานทดสอบ ถ้าไม่มีกระแสย้อนกลับจากเครื่อง กระต้องลงสู่สายดิน
ทักษะ	ช่างเทคนิคที่มีประสบการณ์ หรือวิศวกร
จุดเด่น	ง่ายและได้ผลดี
จุดด้อย	ไม่สามารถทำการทดสอบในอุปกรณ์ขณะกำลังทำงานอยู่ได้

2.4 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) [8][9][10]

2.4.1 ความหมายของ FMEA และ FMECA

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (Failure Mode and Effects Analysis, FMEA) คือ การดำเนินงานที่เป็นระบบเพื่อสืบค้นหา (Recognize) วิเคราะห์ (Analzye) ประเมิน (Evaluate) และจัดลำดับความสำคัญถึงแนวโน้มที่ผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการหนึ่งๆ อาจจะเกิดข้อบกพร่อง (Failure) และผลกระทบต่าง ๆ (Effects) ขึ้นได้ การกระทำที่สามารถขจัดหรือลดโอกาสที่มีแนวโน้มจะเกิดข้อบกพร่อง (Potential Failure) แล้วส่งผลกระทบไปยังลูกค้า และยังมีหนังสือบางเล่มได้กล่าวไว้ว่า การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เป็นกระบวนการที่ทำการวิเคราะห์การเกิดรูปแบบความบกพร่อง และผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นได้ จากระบบใดระบบหนึ่งเพื่อระบุถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบและจำแนกรูปแบบของข้อบกพร่องนั้นตามความรุนแรงของผลกระทบ การดำเนินการเกิดขึ้นอย่างเป็นขั้นตอนเมื่อเกิดความเสียหาย ว่ามีวิถีการเกิดเป็นมาอย่างไรและผลจากความเสียหายนั้นๆคืออะไร ซึ่งเป็นได้ทั้งการวิเคราะห์ในระดับชิ้นส่วนหรือระดับองค์รวมของทั้งระบบ วิธีการวิเคราะห์มีอยู่สองแบบคือ วิเคราะห์จากลักษณะข้อบกพร่องไปหาผล (Bottom Up) หรือเรียกว่าการวิเคราะห์กลไกและหลักการทำงาน (Hardware Analysis) และการวิเคราะห์จากผลมาหาลักษณะข้อบกพร่องหรือเรียกว่าการวิเคราะห์สมรรถนะการใช้งาน (Function Analysis) โดยที่การวิเคราะห์ทั้งสองแบบมีเป้าหมายเหมือนกันคือ การหาลักษณะข้อบกพร่องและผลของความเสียหาย เพื่อนำไปสู่การแก้ไข ป้องกัน และการปรับปรุงให้ดีขึ้นต่อไป

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เมื่อนำมาทำการวิเคราะห์ความวิกฤติต่อ จะเรียกว่า การวิเคราะห์ลักษณะความบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ หรือเป็นการวิเคราะห์ลักษณข้อบกพร่องเชิงปริมาณ

ความวิกฤติ (Criticality) หมายถึง ความอันตรายที่จะเกิดขึ้นจากกลไกที่จะสร้างให้เกิดความเสียหาย (Failure Mode) บางอย่างที่มีผลร้ายแรงตามมาต่อการปฏิบัติงานหรือต่อร่างกาย ความปลอดภัย และ สิ่งแวดล้อม (Health Safety and Environment, HSE)

วิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบที่วิกฤติ (Failure Mode Effects and Criticality Analysis, FMECA) สามารถให้นิยามได้ว่าเป็นการวิเคราะห์ ถึงลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบ อย่างเป็นระบบ เพื่อใช้สำหรับการกำหนด ชี้บ่ง จัดลำดับ รวมถึงการขจัดสิ่งที่บกพร่องและแก้ปัญหาของระบบ

2.4.2 ประวัติและพัฒนาการ [9]

FMECA เริ่มต้นพัฒนาขึ้นเมื่อ ค.ศ. 1940 โดยใช้งานกับอุตสาหกรรมทหารในสหรัฐอเมริกา (U.S Military)

1) เมื่อ ค.ศ. 1949 ซึ่งตีพิมพ์เป็นเอกสาร MIL-P-1629

2) ประมาณกลาง ค.ศ.1960 ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใช้เป็นครั้งแรกสำหรับอุตสาหกรรมอวกาศ (Aerospace Industry) ในโครงการอวกาศของ National Aeronautics and Space Administration (NASA) ซึ่งในขณะนั้นใช้ชื่อว่า State of the Art Reliability Estimatation of Saturn V Propulsion Systems

3) ใน ค.ศ.1966 โครงการอวกาศของ NASA ในโปรแกรมอพอลโล (Apollo) ได้ตีพิมพ์เอกสารการดำเนินการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องที่วิกฤติ ขึ้น และต่อมาได้ใช้งานในโปรแกรมอื่นของ NASA เช่น โปรแกรมการเดินยานอวกาศไวกิ้ง (Viking) โปรแกรมยานอวกาศ (Voyager)

4) ค.ศ.1970 บริษัท Ford Motor ได้นำมาพัฒนาใช้งานเกี่ยวกับอุตสาหกรรมรถยนต์ (Automotive Industry)

5) ปลายค.ศ.1974 ได้เปลี่ยนชื่อเอกสารจาก MIL-P-1629 เป็น MIL-STD-1629

6) ค.ศ. 1991 มาตรฐานของอังกฤษได้กำหนดมาตรฐานเป็น BS 5760-5

7) ต่อจากนั้นก็ได้ใช้กันอย่างแพร่หลายในหลายๆแขนงธุรกิจและอุตสาหกรรมทั่วไป

2.4.3 ประโยชน์และการประยุกต์ใช้งาน

1) ใช้เป็นเครื่องมือในการชี้บ่งความอันตรายและประเมินความเสี่ยง

2) ใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ความเชื่อถือ ความพร้อมใช้งาน และ ความสามารถในการซ่อมบำรุงรักษาในขั้นตอนการออกแบบของระบบและอุปกรณ์

3) ใช้ร่วมกับเครื่องมือการวิเคราะห์กระบวนการอื่น เช่น การออกแบบการทดลอง ในการควบคุมและประกันคุณภาพ

4) นำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนงานซ่อมบำรุง

2.5 กระบวนการวิเคราะห์ FMECA และการประยุกต์ใช้ในงานซ่อมบำรุงรักษา [10][11]

2.5.1 การเตรียมการ (FMECA Preparation) มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) เลือกเครื่องจักรหรืออุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ FMECA [10] [11]

การเลือกอุปกรณ์ที่จะนำมาทำการวิเคราะห์ FMECA ได้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์หลักของโครงการและทีมงาน บางครั้งอาจจะได้มาจากการนำเสนอของฝ่ายผู้บริหาร (Management Section) ซึ่งมีผลกระทบจากด้านต้นทุนในการซ่อมบำรุงรักษา (Maintenance Cost) ที่เพิ่มมากขึ้น หรือเกิดจากฝ่ายดำเนินการ (Operation Section) นำเสนอเนื่องจากความพร้อมใช้งาน (Availability) ของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้นต่ำลง รวมถึงกระทั่ง การตรวจสอบทบทวนระบบการจัดการซ่อมบำรุงรักษา (Maintenance Management) จากฝ่ายวิศวกรรม (Engineering Section) ที่ต้องการใช้เทคโนโลยีที่มีความทันสมัยมาใช้ในงานซ่อมบำรุงรักษา

สรุปได้ว่าการเลือกอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ FMECA เกิดขึ้นได้จากหลายๆฝ่ายที่มีส่วนเกี่ยวข้องและต้องการที่จะปรับปรุง และพัฒนาเกี่ยวกับปัญหาที่เกิดขึ้นเหล่านั้น เช่น ปัญหา

ด้านต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษา (Maintenance Cost) ปัญหาด้านความพร้อมใช้งาน (Availability) ปัญหาทางด้านเทคโนโลยี (Technology) และ ปัญหาด้านความวิกฤติหรือความเสี่ยง (Criticality) ของอุปกรณ์ ซึ่งเป็นอีกด้านหนึ่งที่มีความน่าสนใจ

ดังนั้นวิธีทำการเลือกอุปกรณ์ที่จะนำมาวิเคราะห์ จากปัญหาต่างๆดังที่ได้กล่าวมาสามารถสรุปเป็นขั้นตอนได้ดังนี้คือ

- ศึกษาจากประวัติของอุปกรณ์ที่จะนำมาวิเคราะห์ เพื่อให้ทราบถึงอัตราการเสีย (Failure Rate) ความพร้อมใช้งาน (Availability) ของอุปกรณ์หรือเครื่องจักรนั้นสูง หรือสูงขึ้นกว่าปกติ
- ศึกษาจากต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษา (Maintenance Cost) เป็นการนำเสนอจากฝ่ายผู้บริหารดังที่ได้กล่าวมาแล้ว
- ศึกษาจากความวิกฤติหรือความเสี่ยง (Criticality) ทำได้โดยการนำเครื่องมือด้านการปรับปรุงคุณภาพมาช่วย เช่น FMECA
- ศึกษาจากความก้าวหน้าของด้านเทคโนโลยี (Technology) เป็นการนำเทคโนโลยีมาใช้งานเพื่อพัฒนาระบบงานซ่อมบำรุงรักษานี้ เกิดจากความต้องการจากฝ่ายวิศวกรรม ที่ต้องการให้ความรู้ความสามารถของทีมงานซ่อมบำรุงรักษานั้น มีเครื่องมือที่ทันสมัยมาใช้งาน แต่สุดท้ายนั้นก็ต้องได้แผนการซ่อมบำรุงรักษาใหม่ที่ไม่มีความซับซ้อนและในการดำเนินงานที่ต้นทุนต่ำด้วย

การเลือกเครื่องจักรหรืออุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ FMECA สามารถทำได้อีกวิธีหนึ่งคือการวิเคราะห์ถึงผลกระทบในกรณีที่มีเครื่องจักรเสีย หรือมีการหยุดการทำงานซึ่งไม่สามารถเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการออกแบบไว้ได้ ความวิกฤติของเครื่องจักรต้องประเมินจากผลกระทบและโอกาสในการเกิดผลกระทบ ในประเด็นต่างๆ สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเด็น ดังนี้

- ผลกระทบทางด้านเชิงพาณิชย์ (Commercial Consequence Score) วัดผลจากการเกิดความเสียหายที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนเงิน สามารถทำการกำหนดเป็นระดับๆ ได้ตามสมควร และสามารถอ้างอิงได้ตามมาตรฐาน FMECA MIL-STD-1629 โอกาสที่จะเกิดผลกระทบทางด้านเชิงพาณิชย์ (Commercial Likelihood Score) สามารถทำการกำหนดเป็นระดับ จากต่ำไปสูง
- ผลกระทบทางด้านความปลอดภัย (Safety Consequence Score) เป็นการประเมินผลกระทบที่คำนึงจากความสูญเสียทางด้านชีวิตและทรัพย์สินเป็นหลัก
- ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม (Environment Consequence Score) สามารถประเมินความวิกฤติของอุปกรณ์ในแต่ละด้านได้โดย คำนึงจาก ผลกระทบและโอกาสที่จะเกิดผลกระทบ (เกณฑ์การประเมินผลกระทบในแต่ละด้านดูได้จากตารางภาคผนวก ก ตารางที่ ก.1-ก.3 หน้า 91-92)

ความวิกฤติจากทั้งสามด้านจะทำการประเมินได้จาก

ความวิกฤติ = ผลกระทบ x โอกาสที่จะเกิดผลกระทบ

ผลคูณของผลกระทบและโอกาสที่จะเกิดผลกระทบทั้งสามด้านจะมีค่าผลคูณสูงสุดเท่ากับ 30 คะแนน การประเมินความวิกฤติในแต่ละด้านนั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 3 ระดับความวิกฤติ คือ

ระดับความวิกฤติ 1 คะแนนจาก 15 ถึง 30

ระดับความวิกฤติ 2 คะแนนจาก 5 ถึง 12

ระดับความวิกฤติ 3 คะแนนจาก 1 ถึง 4

(เกณฑ์การจัดกลุ่มความวิกฤติในแต่ละด้านดูได้จากตารางภาคผนวกที่ ก ตารางที่ ก.4-ก.5 หน้า 92)

2) การสร้างทีมงาน FMECA [10] [12]

ขั้นตอนการสร้างทีมงาน เกิดขึ้นหลังจากการเลือกเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่างๆที่จะนำมาวิเคราะห์ FMECA เพื่อที่จะทำการสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพต่อไปนั้น จะต้องทำการเลือกทีมงานที่มีความรู้เกี่ยวข้องกับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่จะต้องทำการวิเคราะห์นั้น

การดำเนินการวิเคราะห์ FMECA เป็นการทำงานร่วมกันระหว่างกลุ่มบุคลากรที่มีความรับผิดชอบในแต่ละด้านของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่จะนำมาทำการวิเคราะห์ โดยทั่วไปแล้วคณะการทำงานดังกล่าวจะประกอบด้วยกลุ่มบุคลากร ดังต่อไปนี้

- วิทยากรกระบวนการ (FMECA Facilitator) คือบุคคลากรที่รับผิดชอบในการผลักดัน ส่งเสริม และกระตุ้นให้การดำเนินงานของ FMECA เกิดผลสำเร็จตามวัตถุประสงค์ รวมถึงการชี้ขาดตัดสินความถูกผิด เห็นด้วยหรือไม่เห็นด้วยของสมาชิกในกลุ่ม

บทบาทและหน้าที่ของ FMECA Facilitator [13]

ก. วางแผนการดำเนินงาน (Operation Planning) ต้องกำหนดแผนการดำเนินงานให้ชัดเจนและเหมาะสมกับองค์กรอีกทั้งยังต้องสามารถปฏิบัติได้จริง

ข. การดำเนินการ (Operation or Execution) ต้องเป็นแบบอย่างในการดำเนินงาน ควบคุมสถานการณ์เมื่อเกิดความขัดแย้ง ช่วยสร้างบรรยากาศการมีส่วนร่วมให้การดำเนินงานเป็นไปตามทิศทางที่ควรจะเป็น ทบทวนแผนการปฏิบัติงานอย่างสม่ำเสมอ ติดตามแผนการดำเนินงานของทีมงานเพื่อให้เป็นไปตามแผน

ค. ผู้ประสานงาน (Coordinator) การติดต่อสื่อสารระหว่างบุคลากรหรือสมาชิกที่เกี่ยวข้องในทีม ยังรวมถึงการเตรียมความพร้อมของสถานที่ อุปกรณ์ และผู้เข้าร่วมการประชุม

ง. ผู้สังเกตการณ์ (Observer) การให้ความสนใจ การมีความเอาใจใส่ในกระบวนการของกลุ่มว่ากำลังพูดเกี่ยวกับอะไร มีความความเป็นไปได้อย่างไร

จ. ผู้ช่วยการสื่อสาร (Communicator Enabler) ช่วยสมาชิกในการพัฒนาทักษะของการให้และการรับสารสนเทศ ความคิดเห็นและประสบการณ์

ฉ. พี่เลี้ยงในการเรียนรู้ (Learning Coach) ช่วยสมาชิกในการจัดการกับประสบการณ์ของตนเองเหมือนกับเป็นแหล่งทรัพยากรการเรียนรู้ การช่วยเหลือสมาชิกในการรับผิดชอบการเรียนรู้ และการพัฒนาตนเองของสมาชิกกลุ่ม

- ฝ่ายดำเนินการหรือผู้ปฏิบัติงาน (Operation or Execution) ได้แก่บุคคลากรที่ปฏิบัติงานมีความเกี่ยวข้องกับอุปกรณ์นั้นโดยตรง เช่น บุคคลากรทางด้านการผลิต อาจจะเป็นหัวหน้าฝ่ายการผลิต หรือ ผู้จัดการฝ่ายการผลิต หน้าที่หลักคือการเสนอความคิดเห็นที่มีผลกระทบต่อการปฏิบัติงาน (Execution) รวมถึงแนวความคิดที่มีผลกระทบต่อทางด้านความเชื่อมั่น (Reliability) และความปลอดภัย (Safety)

- ฝ่ายวิศวกรรม (Engineering) ได้แก่บุคลากรที่ทำงานอยู่ในฝ่ายวิศวกรรม จะทำหน้าที่ให้การสนับสนุนข้อมูลทางด้านวิศวกรรมตามความเป็นจริง ข้อมูลที่นำมาสนับสนุนประกอบการวิเคราะห์นั้นจะต้องมาจากแหล่งข้อมูลซึ่งเป็นที่ยอมรับของกลุ่มวิเคราะห์ FMECA อาจจะนำมาจากฐานข้อมูลการซ่อมบำรุงในโรงซ่อมบำรุงที่นำมาวิเคราะห์ หรือโรงซ่อมบำรุงอื่นๆ ก็ได้

- ฝ่ายซ่อมบำรุงรักษา (Maintenance) จะต้องเป็นบุคลากรที่ทำงานอยู่ในฝ่ายซ่อมบำรุงรักษาที่มีความรู้เกี่ยวกับการวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาเป็นอย่างดี

- ผู้ชำนาญการ (Expert) คือบุคลากรที่มีประสบการณ์และความชำนาญกับอุปกรณ์ที่วิเคราะห์ นั้นเป็นอย่างดี จะต้องให้ข้อมูลสนับสนุนการวิเคราะห์ตามประสบการณ์แก่กลุ่มอย่างถูกต้องเที่ยงตรง อีกทั้งต้องเป็นผู้ติดต่อประสานงานกับบริษัทผู้ผลิตถึงปัญหาที่ยังไม่มีความกระจ่างชัดเจน

- บริษัทผู้ผลิต (Manufacturor) ซึ่งหมายถึงบริษัทที่มีความเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ที่นำมาทำการวิเคราะห์ หรือเจ้าของผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนร่วมในการพัฒนาออกแบบและวิจัย

ทีมงาน FMECA ไม่ได้กำหนดเป็นระเบียบหรือข้อกำหนดไว้อย่างแน่นอนว่าทีมงานจะต้องเป็นไปตามที่กล่าวมาแล้วนั้น อาจจะเพิ่มเติมทางด้านฝ่ายลูกค้า (Customer) หรือฝ่ายพาณิชย์ (Comercial) เข้ามาร่วมก็ได้ สามารถทำการปรับขึ้นลงได้ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของอุปกรณ์ที่จะนำมาวิเคราะห์ และความสำคัญหลักของปัญหาที่จะทำการวิเคราะห์

2.5.2 การวิเคราะห์ FMECA

การวิเคราะห์ FMECA เป็นการประเมินถึงหน้าที่การทำงาน (Functions) การสูญเสียหน้าที่ (Function Failure) การประเมินผลกระทบ (Effects) และการประเมินความเสี่ยง (Criticality) ของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ทำการวิเคราะห์ โดยใช้การแสดงรายละเอียดการวิเคราะห์โดยลักษณะของตาราง (ดูจากตารางที่ 2.1) ซึ่งสามารถสรุปรายละเอียดต่างๆ ได้ดังนี้

1) การนิยามระบบ คือ การกำหนดขอบเขตของระบบและระบุหน้าที่หลักของระบบและการพิจารณาสภาพแวดล้อมและสภาพการดำเนินงานของระบบ

2) การรวบรวมข้อมูล คือ การรวบรวมข้อมูลของระบบทั้งหมดที่มีอยู่ เช่น แบบแปลน ข้อกำหนด รายการส่วนประกอบรวมทั้งข้อมูลการออกแบบที่ผ่านมาหรือที่คล้ายกัน

3) การวิเคราะห์ระบบ คือการอธิบายระบบโดยใช้แผนผังกรอบหน้าที่การทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

4) การเตรียมกระดาษการวิเคราะห์ FMECA เพื่อทำการบันทึกผลการพิจารณาหรือไต่สวนความเสียหายที่จะเป็นไปได้ รวมถึงสาเหตุและผลกระทบ การประเมินความรุนแรงและความน่าจะเป็นของโอกาส ในการเกิดข้อบกพร่อง และบันทึกผลการพิจารณาลงในกระดาษการวิเคราะห์ FMECA

5) สร้างตารางการวิเคราะห์ FMECA เป็นการระบุ แจกแจง และกำหนดหน้าที่ของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่นำมาวิเคราะห์ รวมถึงการแจกแจงข้อบกพร่องและการทำงานต่างๆ ออกมาอย่างเป็นระบบและขั้นตอน (ดูจากตารางที่ 2.1)

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (Failure Modes Effects and Critcality Analysis, FMECA) สามารถทำการวิเคราะห์ได้ 2 วิธี ดังนี้

- วิธีการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติเชิงคุณภาพ (Qualitative Method) ใช้ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลอัตราการเสียของแต่ละลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Modes) ซึ่งสามารถทำการประเมินระดับคะแนนได้จาก 3 ประเด็นคือ
  - ก. การประเมินความรุนแรงของผลกระทบ (Severity, S)
  - ข. การประเมินโอกาสการเกิด (Occurrence, O)
  - ค. การประเมินความยากง่ายในการตรวจหา (Detection, D)
- วิธีการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติเชิงปริมาณ (Quantitative Method) เป็นการวิเคราะห์ถึงลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Modes) โดยการคำนวนหาความน่าจะเกิดของแต่ละเหตุการณ์ (Likelihood of Occurrence) โดยการคำนวณจากประวัติการเสียของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่นำมาวิเคราะห์

ตามตารางที่ 2.7 แสดงถึงรูปแบบของกระดาษที่ใช้ในการวิเคราะห์ FMECA ซึ่งเป็นลักษณะของตารางบันทึกรายการ ประกอบด้วยส่วนประกอบต่างๆ ดังต่อไปนี้

ช่องที่ (1) แสดงการบันทึก รายการ (Item) ซึ่งหมายเลขนี้อาจเป็นหมายเลขลำดับ (Serial Number) หรือรหัสอื่นๆที่ใช้ระบุบ่งชี้เพื่อวัตถุประสงค์ในการตรวจสอบติดตามและตรวจทานกลับได้

ช่องที่ (2) แสดงการบันทึก หน้าที่การทำงานของอุปกรณ์หรือเครื่องจักร (Function, F) ซึ่งเป็นการอธิบายถึง หน้าที่การทำงานของอุปกรณ์ที่นำมาวิเคราะห์ ยังรวมถึงหน้าที่การทำงานเฉพาะและหน้าที่ที่มีผลเกี่ยวข้องกับอุปกรณ์อื่นๆ ด้วย

ตารางที่ 2.7 ตารางการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA)

FAILURE MODES EFFECTS AND CRITCALITY ANALYSIS (FMECA)

ชื่ออุปกรณ์ (Part Name): …… **No. .....**

REF. DRWG…….

หน้าที่ (Mission) :…….

รายละเอียด Description			**รายละเอียดข้อบกพร่อง Failure Description**		**ผลกระทบ Effects**		**ความวิกฤติ Criticality Analysis**			ข้อคิดเห็น Comment
รายการ Item	**หน้าที่** Function	**สูญเสียหน้าที่** Function Failure	**ลักษณะข้อบกพร่อง** Failure Modes	**ตรวจจับข้อบกพร่อง** Detection	**ระบบย่อย** Sub System	**ระบบหลัก** Main System	โอกาสการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง Occurrence	ความรุนแรงข้อบกพร่อง Severity	ลำดับความเสี่ยง Risk Priority Number	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)

ช่องที่ (3) แสดงการบันทึก ลักษณะการสูญเสียจากหน้าที่ (Function Failure, FF) เป็นการอธิบายถึงการสูญเสียจากหน้าที่การทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ (Loss of Function) รวมถึงความบกพร่องที่อาจจะเกิดขึ้นในระหว่างการดำเนินงาน ด้วยรูปแบบของการดำเนินงาน เช่น การเดินเครื่อง การปิดเครื่องการใช้งานไม่ได้ เป็นต้น

ช่องที่ (4) แสดงการบันทึก ลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Modes, FM) เป็นการอธิบายถึงลักษณะหรือรูปแบบที่ทำให้เกิดสาเหตุการสูญเสียจากหน้าที่การทำงาน (Cause of Failure) และผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์

ช่องที่ (5) แสดงการบันทึก การตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง (Detection, D) เป็นการอธิบายถึงการค้นหาลักษณะข้อบกพร่อง อาจจะทำได้โดยการทดสอบระบบอัตโนมัติของเครื่องจักรก่อนทำการเดินเครื่องทุกครั้งหรือระหว่างอุปกรณ์กำลังทำงาน หรืออาจจะเป็นการตรวจสอบอุปกรณ์ระหว่างทำการซ่อมบำรุงรักษาปกติ หรือการติดตามตรวจสอบสภาพการทำงาน อาจจะไม่สามารถค้นพบข้อบกพร่องได้ในครั้งเดียวทั้งหมด ดังนั้นควรจะต้องระบุให้ชัดเจนว่า จะทำการติดตามข้อบกพร่องอะไร จากสาเหตุของข้อบกพร่องอะไร และอันเนื่องมาจากข้อบกพร่องบางอย่างนั้น อาจจะยังไม่ปรากฏให้เห็นได้อย่างชัดเจนอาจจะซ่อนอยู่ (Latent Failure) (เกณฑ์ในการตรวจจับดูได้จากภาคผนวก ก ตารางที่ ก.6 หน้า 93)

ช่องที่ (6) และช่องที่ (7) แสดงการบันทึก ผลกระทบของความเสียหาย (Failure Effect, FE) เมื่อมีการเสียหรือหยุดทำงานของอุปกรณ์นี้แล้วมีส่วนทำให้อุปกรณ์หรือระบบนั้นเสียตามไปด้วย สามารถระบุออกเป็นสองส่วน คือผลกระทบจากการทำงานที่เกิดจากระบบหลัก (System Function) บันทึกช่อง (7) ผลกระทบจากการทำงานที่เกิดจากหน้าที่ระบบย่อย (Sub System) บันทึกช่อง (6)

ช่องที่ (8) แสดงการบันทึก โอกาสที่จะเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (Occurrence, O) ระดับโอกาสในการตรวจจับที่จะเกิดลักษณะข้อบกพร่อง สามารถทำการบ่งชี้ออกมาแสดงเป็นระดับของโอกาสที่จะเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (Occurrence Likelihood) (เกณฑ์การประเมินโอกาสที่จะเกิดลักษณะข้อบกพร่อง ดูได้จากภาคผนวก ก ตารางที่ ก.7 หน้า 94)

ช่องที่ (9) แสดงการบันทึก ระดับความรุนแรง (Severity Ranking) ของการวิเคราะห์แนวโน้มของผลกระทบจากข้อบกพร่อง ที่กำหนดไว้จาก ช่อง (8) ซึ่งจะบ่งบอกถึงขนาดความรุนแรงของผลกระทบที่เกิดขึ้น (เกณฑ์การประเมินระดับความรุนแรงลักษณะข้อบกพร่อง ดูได้จากภาคผนวก ก ตารางที่ ก.8 หน้า 95)

ช่องที่ (10) แสดงการบันทึก ลำดับความเสี่ยง (Risk Piority Number, RPN) เป็นการบอกการจัดลำดับความเสี่ยงว่าลักษณะข้อบกพร่องใดที่ต้องให้ความสำคัญก่อนหลัง ซึ่งทำการประเมินจากความรุนแรงและโอกาสการเกิดของลักษณะข้อบกพร่อง

ช่องที่ (11) แสดงการบันทึก ข้อคิดเห็น (Comment) ที่คิดว่าจะเกิดขึ้นจากการวิเคราะห์แต่ยังไม่สามารถทำการพิสูจน์ได้ เพื่อทำการวิเคราะห์ในครั้งต่อไป

2.5.3 การวิเคราะห์ความวิกฤติ (Criticality Analysis) [9][11][13]

ความวิกฤติ (Criticality) หมายถึง เหตุการณ์ที่อยู่ในช่วงเวลาที่ล่อแหลมที่จะเกิดความอันตราย การวิเคราะห์ความวิกฤติ (Criticality Analysis) เป็นการพิจารณาถึงระดับความรุนแรง (Severity Level) กับโอกาสที่จะการเกิดข้อบกพร่อง (Likelihood of Occurrence) สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ การวิเคราะห์ความวิกฤติแบบใช้ความคิดเห็นหรือเชิงคุณภาพ (Qualitative) และการวิเคราะห์ความวิกฤติแบบการคำนวณหรือเชิงปริมาณ (Quantitative)

1) การวิเคราะห์ความวิกฤติแบบใช้ความคิดเห็น (Subjective) หรือเชิงคุณภาพ (Qualitative) จะใช้ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลอัตราการเสีย (Failure Rate) ของแต่ละลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Modes) จึงต้องทำการประเมินโดยการแสดงความคิดเห็นจากทีมงาน FMECA โดยการให้ระดับคะแนนของการประเมินในแต่ละลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Modes) โดยการทำการพิจารณาจากค่าระดับความรุนแรง (Severity, S) (ดูจากภาคผนวกตาราง ก ตารางที่ ก.9 หน้า 96) และค่าระดับโอกาสที่จะเกิดความบกพร่อง (Occurrence, O) (ดูจากภาคผนวกตาราง ก ตารางที่ ก.10 หน้า 97) แล้วทำการประเมินความวิกฤติโดยใช้เกณฑ์ตามภาคผนวกตาราง ก ตารางที่ ก.11 หน้า 97)

2) การวิเคราะห์ความวิกฤติแบบการคำนวณ (Calculation) หรือแบบวิธีเชิงปริมาณ (Quantitative) สามารถทำได้โดยบุคคลเพียงคนเดียวไม่จำเป็นต้องใช้กลุ่มคน ทำได้โดยการหาความถี่หรือแนวโน้มของความน่าจะเกิดลักษณะข้อบกพร่อง สามารถหาได้จากหลายๆทาง เช่น หาจากการใช้เครื่องมือ Fault Tree Analysis (FTA) Reliability Block Diagram (RBD) Event Tree Analysis (ETA) หรือคำนวณหาจาก ค่าเฉลี่ยระหว่างการเสีย Mean Time To Failure (MTTF) จากหลักการทางสถิติที่มีรูปแบบการพยากรณ์ความเสียหายได้ดี

2.6 การพัฒนารถไฟฟ้าในประเทศไทย [14][15][16][17][18]

รถไฟฟ้านั้นเป็นการขนส่งระบบราง (Railway) ซึ่งได้มีการพัฒนาการอย่างต่อเนื่องมาจากรถไฟ การพัฒนาทางเทคโนโลยีของรถไฟนี้ทำให้เกิดเทคโนโลยีที่มีความทันสมัยอย่างมากมาย ทั้งทางด้านการประหยัดพลังงาน ทางด้านการมีความเร็วที่เพิ่มขึ้น และรวมถึงการรักษาสิ่งแวดล้อม

รถไฟเกิดขึ้นเป็นครั้งแรกในประเทศอังกฤษ เมื่อประมาณสามร้อยปีมาแล้ว ซึ่งสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการบรรทุกถ่านหินในเหมืองแร่ ลักษณะตัวรถนั้นมีล้อแล่นไปตามรางและใช้ม้าลาก

ในปี พ.ศ. 2320 นายริชาร์ด เทรวิธิค (Richard Trevithick) ชาวอังกฤษได้ประดิษฐ์รถจักรไอน้ำที่สามารถขับเคลื่อนด้วยตัวเองขึ้นได้เป็นครั้งแรกแต่ก็ยังใช้การไม่ได้เพราะรถมีน้ำหนักมากเกินไป ทำให้รางไม่สามารถรับน้ำหนักได้

ต่อมาในปี พ.ศ.2355 นายจอห์น บลิงกินสอพ (John Blinkinsop) ชาวอังกฤษได้ประดิษฐ์รถจักรไอน้ำขึ้นอีกแบบหนึ่ง โดยมีลูกสูบตั้งตรง 2 สูบ ขับเคลื่อนเพลาซึ่งติดกับล้อที่มีฟันเฟืองวิ่งไปบนรางซึ่งเป็นพันเฟืองเช่นเดียวกัน นำมาใช้ระหว่างเหมืองถ่านหินกับเมืองลีดส์ ฟันเฟืองของล้อกับรางนี้ช่วยให้รถจักรสามารถลากจูงขบวนรถขึ้นทางลาดชันมากๆได้ เป็นระยะทางประมาณ 3 ไมล์ครึ่ง

ต่อมาใน พ.ศ. 2356 นายวิลเลียม เฮดเลย์ (William Hedley) ชาวอังกฤษได้ประดิษฐ์รถจักรชนิดใหม่ขึ้น โดยอาศัยความฝืดระหว่างล้อกับรางเหล็กแต่อย่างเดียวโดยไม่ใช้รางแบบมีฟันเฟือง และนำมาใช้ลากจูงรถบรรทุกถ่านหินระหว่างเหมืองถ่านหินรีแลม (Realm) กับท่าเรือเลมิงตันออนไทน์ (Lemington on Tyne) ระยะทางประมาณ 5 ไมล์

ในปีต่อมา นายยอร์จ สตีเฟนสัน (George Stephenson) ชาวอังกฤษซึ่งเป็นผู้นำเกี่ยวกับการรถไฟและการสร้างรถจักร ได้สร้างรถจักรไอน้ำคันแรกชื่อว่า Blucher สำเร็จแล้วนำมาใช้งานในเหมืองถ่านหินที่ คิลลิงสเวอร์ธ (Killingsworth)

ในพ.ศ. 2366 นายเอ็ดเวิร์ด พีส (Edward Pease) ชาวอังกฤษได้เชิญให้ นายยอร์จสตีเฟนสัน มาสร้างทางรถไฟระหว่างเมืองสต็อกตันกับเมืองดาร์ลิงตัน สร้างได้สำเร็จและทำพิธีเปิดในวันที่ 27 กันยายน พ.ศ. 2368 นับเป็นรถไฟสาธารณะสายแรกในโลก ที่ลากจูงด้วยรถจักรไอน้ำและให้บริการรับส่งทั้งสินค้าและผู้โดยสาร ในระยะสองปีแรกที่เปิดดำเนินงานปรากฏว่ารถจักรไอน้ำมีความไม่เหมาะสมในการนำมาให้บริการ ยังมีความไม่แน่นอนและต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาสูง เหมาะที่จะนำไปลากจูงขบวนรถบรรทุกแร่ที่ใช้ความเร็วต่ำมากกว่า เนื่องจากกำลังลากจูงและน้ำหนักถูกจำกัดเพราะความทนทานของราง จึงต้องหันกลับมาใช้ม้าลากจูงแทนหลายครั้ง

และในพ.ศ. 2376 บริษัทรถไฟระหว่างลิเวอร์พูลกับแมนเชสเตอร์ได้จัดให้มีการประกวดการใช้กำลังลากจูงขบวนรถ ปรากฏว่ารถจักรชื่อ Rocket ของนายสตีเฟนสัน ซึ่งชนะการประกวดรถจักรนี้ใช้ท่อไฟเล็กๆ หลายท่อในหม้อน้ำแทนการต้มน้ำทั้งหม้อ และในระยะเวลาเดียวกัน ความสนใจในการใช้รถไฟได้แพร่หลายไปยังสหรัฐอเมริกา และประเทศต่างๆ ในทวีปยุโรป

ส่วนกิจการรถไฟของไทยนั้นได้เริ่มเกิดขึ้นเมื่อ พ.ศ. 2429 ตรงกับรัตนโกสินทร์ศกที่ 105 ประเทศไทยได้ให้สัมปทานแก่บริษัทชาวเดนมาร์ก สร้างทางรถไฟสายแรกจากกรุงเทพมหานครถึงสมุทรปราการเป็นระยะทาง 21 กิโลเมตร ในเดือนตุลาคม พ.ศ. 2433 พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวได้ทรงโปรดเกล้าให้จัดตั้งกรมรถไฟหลวงขึ้น โดยสังกัดกระทรวงโยธาธิการในสมัยนั้น เมื่อวันที่ 26 มีนาคม พ.ศ. 2439 พระองค์เสด็จประกอบพระราชพิธีเปิดการเดินรถไฟระหว่างกรุงเทพมหานครถึงอยุธยา เป็นระยะทาง 71 กิโลเมตร ซึ่งทางการได้ถือเอาวันนี้เป็นวันสถาปนากิจการรถไฟหลวง ปัจจุบันทางรถไฟที่สำคัญของประเทศไทยมีอยู่ด้วยกันทั้งสิ้นรวมสี่สาย คือ สายเหนือ ถึงจังหวัดเชียงใหม่ และ สายใต้ถึงประเทศมาเลเซีย สายตะวันออกถึงจังหวัดสระแก้ว และสายตะวันออกเฉียงเหนือถึงอุบลราชธานี

การพัฒนาในระยะต่อมาปีพ.ศ. 2542 บริษัทขนส่งมวลชนกรุงเทพจำกัด มหาชน Bangkok Mass Transit System Public Company Limited, BTSC หรือเรียกกันโดยทั่วไปว่า รถไฟฟ้าบีทีเอส ได้ทำการเปิดใช้บริการรถไฟฟ้าสายแรกของประเทศไทย เมื่อวันที่ 5 ธันวาคม 2542 ใน 2 เส้นทางคือ สายสุขุมวิท ซึ่งได้รับชื่อพระราชทานว่า "รถไฟฟ้าเฉลิมพระเกียรติ 6 รอบ พระชนมพรรษา สาย 1" และสายสีลม ซึ่งได้รับชื่อพระราชทานว่า "รถไฟฟ้าเฉลิมพระเกียรติ 6 รอบ พระชนมพรรษา สาย 2" ซึ่งให้บริการผู้โดยสารทุกวันระหว่าง เวลา 06.00 - 24.00 น. โดยเก็บค่าโดยสารตามระยะการเดินทาง

ระบบรถไฟฟ้าบีทีเอส เป็นระบบขนส่งมวลชนความจุสูงแบบมาตรฐานที่ใช้กันแพร่หลายในเมืองใหญ่ทั่วไปโดยใช้มอเตอร์ไฟฟ้าในการขับเคลื่อนวิ่งอยู่บนรางคู่ยกระดับแบบแยกทิศทางไปและกลับ โดยมีรางป้อนกระแสไฟฟ้าอยู่ด้านข้าง (Third Rail System) สามารถให้บริการแก่ผู้โดยสารได้มากกว่า 1,000 คน ต่อขบวน ในขณะที่การเดินทางโดยรถยนต์ ต้องใช้รถยนต์จำนวนมากถึง 800 คัน เพื่อขนส่งผู้โดยสารในจำนวนที่เท่ากัน นับได้ว่าการให้บริการของรถไฟฟ้า บีทีเอสเป็นการพลิกโฉมรูปแบบการเดินทาง และเป็นการปฏิวัติมาตรฐานการให้บริการของระบบขนส่งมวลชน นอกจากการให้บริการที่ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่ในใจกลางกรุงเทพมหานครซึ่งเป็นแหล่งศูนย์รวมของธุรกิจการค้า ย่านที่พักอาศัย ชั้นนำแล้ว ยังมีโครงการส่วนต่อขยายเพื่อการขยายพื้นที่สำหรับการให้บริการและเข้าถึงผู้โดยสารได้มากยิ่งขึ้น

กล่าวโดยสรุปได้ว่า รถไฟฟ้าบีทีเอส (BTS) เป็นโครงการระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นโครงการที่รัฐให้สัมปทานแก่เอกชนเพื่อสร้างและประกอบการระบบขนส่งมวลชน วิ่งบนทางยกระดับ 2 สาย ในกรุงเทพมหานคร โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อช่วยบรรเทาปัญหาการจราจรในกรุงเทพมหานคร และเพื่อให้ประชาชนมีทางเลือกในการเดินทางที่มีประสิทธิภาพ ผลประโยชน์ต่อเศรษฐกิจและสังคมที่จะได้รับคือ จะช่วยประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ทำให้เศรษฐกิจมีการขยายตัวเพิ่มขึ้น เนื่องจากการเดินทางและการขนส่งมีความสะดวกขึ้น ช่วยเพิ่มคุณภาพให้กับประชาชน และทำให้เกิดการพัฒนาการทางสังคมยิ่งขึ้น

ต่อมาในปี พ.ศ. 2543 ได้มีการจัดตั้งการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทยขึ้นตามพระราชบัญญัติการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2543 ซึ่งได้ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เมื่อวันที่ 1 ธันวาคม 2543 โดยมีผลบังคับใช้ในวันที่ 2 ธันวาคม 2543 เป็นต้นไป โดยใช้ชื่อว่า “การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย” ซึ่งมีตราเครื่องหมายว่า “ร.ฟ.ม.” และใช้ภายใต้ชื่อภาษาอังกฤษว่า Mass Rapid Transit Authority of Thailand ซึ่งมีช่อย่อว่า MRTA มีวัตถุประสงค์ในการจัดระบบขนส่งมวลชนในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล รวมทั้งจังหวัดอื่นตามที่กำหนดโดยพระราชกฤษฎีกา โดยการสร้างหรือจัดให้มีด้วยวิธีการใดๆในการขนส่งโดยรถไฟฟ้าและดำเนินธุรกิจเกี่ยวกับกิจการรถไฟฟ้า และธุรกิจอื่นเพื่อประโยชน์แก่ รฟม. และประชาชนในการใช้บริการกิจการรถไฟฟ้า

พระราชบัญญัติดังกล่าวยังให้อำนาจหน้าที่ ร.ฟ.ม. เพิ่มขึ้นหลายอย่าง เช่น มีอำนาจกำหนดเขตปลอดภัยระบบรถไฟฟ้าเพื่อคุ้มครองอุโมงค์และสิ่งก่อสร้างใต้ดิน และกำหนดเขต "ระบบรถไฟฟ้า" เพื่อคุ้มครองดูแลคนโดยสารรถไฟฟ้า และระบบรถไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นยังให้ ร.ฟ.ม. สามารถหารายได้ทางอื่นนอกจากค่าโดยสาร และพัฒนาอสังหาริมทรัพย์ได้ตามความจำเป็นเพื่อประโยชน์แก่การให้บริการรถไฟฟ้าและมีอำนาจหน้าที่ดำเนินกิจการรถไฟฟ้าในกรุงเทพมหานครและปริมณฑล รวมทั้งยังอาจจะดำเนินกิจการรถไฟฟ้าในจังหวัดอื่นได้ตามพระราชกฤษฎีกากำหนดให้อีกด้วย

ในปี พ.ศ. 2552 โครงการระบบขนส่งทางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและสถานีรับส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมือง (Airport Rail Link Project) [9] ได้เปิดทำการทดสอบระบบเมื่อวันที่ 5 ธันวาคม 2552 และเปิดให้บริการในเดือนสิงหาคมปี พ.ศ. 2553 ที่ผ่านมา

ตามที่รัฐบาลได้ดำเนินการก่อสร้างท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ เพื่อเป็นประตูในการเดินทางเข้าสู่ประเทศไทย และเป็นศูนย์กลางคมนาคมอากาศในภูมิภาค เพื่อให้ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิมีความสมบูรณ์แบบในระดับนานาชาติ รัฐบาลจึงเห็นควรให้มีระบบรถไฟด่วนเชื่อมระหว่างพื้นที่ใจกลางเมืองของกรุงเทพมหานครกับท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ เป็นการอำนวยความสะดวกแก่ผู้โดยสารที่จะมาใช้บริการท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ให้สามารถเดินทางได้ในเวลาอันรวดเร็วและเชื่อถือได้ คณะรัฐมนตรีได้มีมติอนุมัติให้การรถไฟแห่งประเทศไทย ดำเนินการก่อสร้างโครงการระบบขนส่งทางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ และสถานีรับส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมือง ในวงเงินรวม 30,000 ล้านบาท

สำนักบริหารโครงการระบบรถไฟฟ้า การรถไฟแห่งประเทศไทย ได้ดำเนินการก่อสร้างโครงการระบบขนส่ง ทางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและสถานีรับส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมือง เพื่อเชื่อมเส้นทางระหว่างเมืองหลวงไปยังท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ โดยใช้รถไฟฟ้าความเร็วสูงแบบทางคู่ยกระดับขนานไปตามแนวเส้นทางรถไฟสายตะวันออก เพื่อให้บริการแก่ผู้โดยสาร

ท้องถิ่นตลอดเส้นทาง รวมทั้งผู้โดยสารอากาศยานสุวรรณภูมิให้บริการผู้โดยสารด้วยรถไฟฟ้าปรับอากาศความเร็วสูง วิ่งตรงระหว่างสถานมักกะสัน อโศก ถึง สถานีสุวรรณภูมิภายในเวลา 15 นาที

โดยมีรูปแบบการให้บริการและส่วนบริการเสริม 3 ลักษณะ ดังนี้

1) รถไฟฟ้าด่วนท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ให้บริการผู้โดยสารด้วยรถไฟฟ้าปรับอากาศความเร็วสูง (ประมาณ 160 กิโลเมตรต่อชั่วโมง) วิ่งตรงระหว่างสถานีมักกะสัน อโศก ถึง สถานีสุวรรณภูมิภายในเวลา 15 นาที

2) รถไฟฟ้าท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ ให้บริการผู้โดยสาร วิ่งรับและส่ง ระหว่างทางเริ่มต้นที่สถานีพญาไท ราชปรารภ มักกะสัน อโศก รามคำแหง หัวหมาก บ้านทับช้าง ลาดกระบัง ผ่าน 7 สถานี สู่ปลายทางที่สถานีสุวรรณภูมิ ภายในเวลา 28 นาที

3) สถานีรับและส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมือง เป็นสถานีแห่งเดียวที่ผู้โดยสารสามารถนำสัมภาระมา Check-In เข้าสู่บริการขนถ่ายสัมภาระไปยังสนามบินสุวรรณภูมิได้โดยสะดวก

2.7 ความรู้ทั่วไปและการจัดการซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้า [19] [20]

2.7.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับรถไฟฟ้า (Rolling Stock)

รถจักร (Train) คือ ยานพาหนะ หรือเครื่องล้อเลื่อนที่ออกแบบให้มีกำลังขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเองและสามารถจะลากจูงรถพ่วงอีกจำนวนหนึ่งที่มีน้ำหนักของตัวรถกับน้ำหนักของคนโดยสารหรือสินค้ารวมกัน ให้เคลื่อนที่ไปได้บนรางรถไฟ โดยสามารถควบคุมให้มีความเร็วตามที่ต้องการได้

รถไฟฟ้า (Rolling Stock) คือ ยานพาหนะ (Vehicle) ที่สามารถเคลื่อนที่ไปตามราง (Railway) มีระบบควบคุมด้วยคน หรือระบบควบคุมอัตโนมัติ ประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

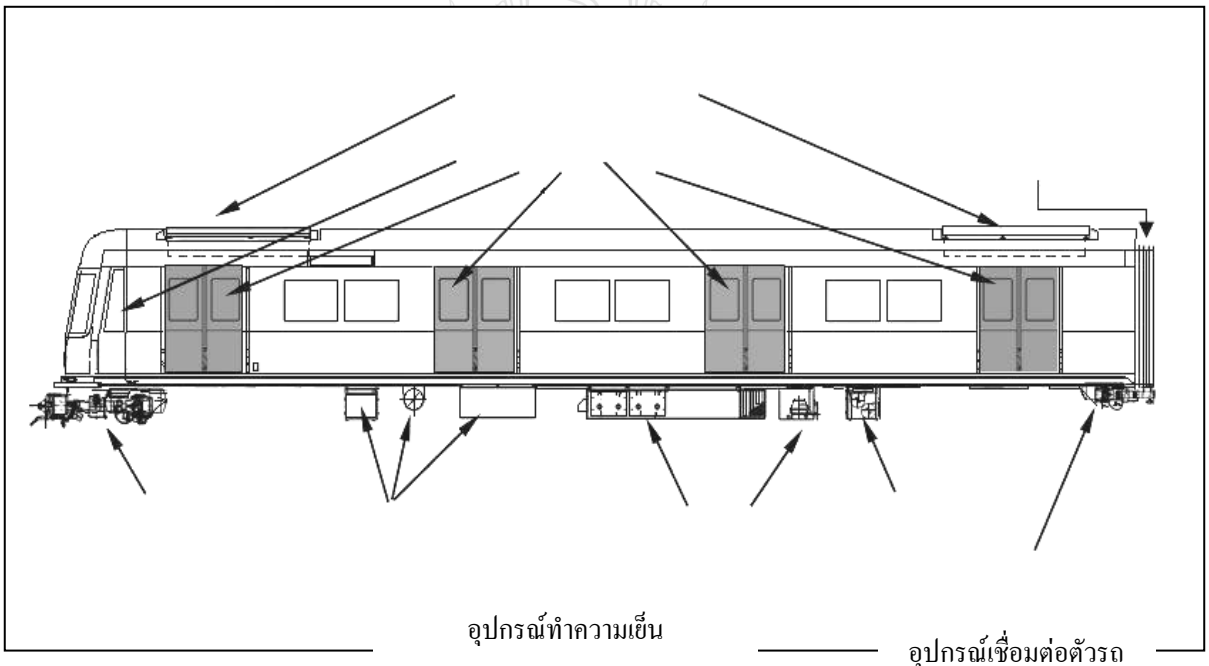
1) ระบบโบกี้ (Bogie System) หรือ ตัวแคร่ เป็นระบบที่จับยึดตัวรถ (Car Body) และเป็นระบบที่จับยึดส่วนที่เคลื่อนที่อยู่บนราง ถ้าชุดโบกี้ออกแบบ (Design) มาไม่เหมาะสมกับตัวรถหรือไม่ได้มาตรฐานก็อาจจะทำให้เกิดการตกรางได้ง่าย (Derailment) รวมถึงเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญหลักในการยึดติดกับอุปกรณ์ขับเคลื่อนและอุปกรณ์เบรกด้วย ชุดโบกี้นั้นโดยทั่วไปแล้วจะแบ่งออกตามลักษณะการออกแบบของตัวรถไฟฟ้าแต่ส่วนใหญ่แล้วจะแบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ มอเตอร์โบกี้ (Motor Bogies, MB) และ เทรลเลอโบกี้ (Trailer Bogies, TB)

- มอเตอร์โบกี้ (Motor Bogies, MB) เป็นชุดโบกี้ที่มีการติดตั้งระบบขับเคลื่อน ที่ประกอบด้วย ชุดมอเตอร์ (Traction Motor) ชุดล้อ (Wheel Set) ซึ่งประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้คือ เพลา (Axle) ล้อ (Wheel) ลูกปืนเพลา (Axle Bearing) กล่องเพลาลูกปืน ชุดส่งกำลัง (Gear Unit) ชุดระบบกันสะเทือนของตัวรถ (Suspension System) ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนคือ สปริงหลัก (Primary Spring) สปริงหลัก (Primary Spring Suspension) ซึ่งติดตั้งอยู่ระหว่างชุดล้อ (Wheel Set) มีหน้าที่หลักคือ การรองรับน้ำหนักตัวรถและรักษาความสมดุลของตัวรถ ชุดสปริงรอง

(Secondary Spring) ประกอบด้วยส่วนประกอบดังนี้คือ สปริงลม (Air Spring) วาล์วปรับระดับ (Leveling Valve) จะติดตั้งอยู่ระหว่างตัวรถกับโบกี้เฟรม (Bogie Frame) ด้านบน มีถุงลม (Air Spring) เป็นส่วนประกอบด้วย โบกี้เฟรม (Bogie Frame) เป็นอุปกรณ์ที่มีความสำคัญมากอุปกรณ์หนึ่ง มีรูปล่างลักษณะเป็นโครงยึดหลัก สร้างด้วยเหล็กเหนียว หรือเหล็กหล่อ ซึ่งมีการวิเคราะห์ความทนทานและการรับแรงทางด้าวิศวกรรมเป็นอย่างดี ชุดห้ามล้อ (Bogie Brake Equipment) อุปกรณ์จับยึดชุดขับเคลื่อน (Drive Unit Mounting) อุปกรณ์จับยึดติดโบกี้ (Bogie Mounted Equipment) ตัวรับกระแส (Current Collector Arrangement) เสาอากาศระบบเดินรถอัตโนมัติ (ATP Antennae Arrangement อุปกรณ์สายดิน (Grounding Arrangement) ชุดหล่อลื่นล้อ (Wheel Flange Lubricate Arrangemen ชุดท่อลม (Pipe Arrangem ชุดสายไฟฟ้า (Wiring Arrangement)

- เทรลเลอร์โบกี้ (Trailer Bogies, TB) เป็นโบกี้ที่ไม่มีมอเตอร์ หรือชุดขับเคลื่อน ส่วนโบกี้เฟรม (Bogie Frame) และส่วนอื่นๆ มีลักษณะเดียวกันกับมอเตอร์โบกี้

2) ส่วนตัวรถ (Car Body or Wagon) จะแบ่งออกเป็นหลายลักษณะขึ้นอยู่กับการออกแบบในแต่ละโครงการ โดยทั่วไปแล้วจะแยกออกตามลักษณะของตัวขับเคลื่อน ถ้ามีชุดขับเคลื่อนอยู่ก็จะเรียกว่า Motor Car ดังรูปที่ 2.10 และถ้าไม่มีชุดขับเคลื่อนจะเรียกว่าเทรลเลอร์ (Trailer Car)



รูปที่ 2.10 ลักษณะเ าที่มีชุดขับเคลื่อน

3) ระบบขับเคลื่อน (Traction System) ประกอบด้วย ชุดควบคุมการขับเคลื่อน (Traction Container) มอเตอร์ส่งกำลัง (Traction Motor)

อุปกรณ์พ่วงต่ออัตโนมัติ (Automatic Coupler) อุปกรณ์ห้ามล้อ (เบรก) (Brake Equipment) อุปกรณ์ขับเคลื่อน (Traction Equipment) อุปกรณ์ห้ามล้อ (เบรก) (Brake equipment) อุปกรณ์พ่วงต่อ (Semi-Coupler)

4) ระบบห้ามล้อ (Brake System) จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ เบรกเสียดทาน (Friction Brake) และ เบรกไฟฟ้า (Electronic Brake)

5) ระบบกำเนิดลม (Air Supply System) เป็นอุปกรณ์ที่ผลิตลมส่งให้กับระบบต่างในการควบคุมอุปกรณ์โดยใช้ลมในตัวรถไฟฟ้า เช่นระบบควบคุมที่ใช้ลม (Pneumatic System) ระบบทำความเย็น (Air Condition System) ระบบประตู (Door System)

6) ระบบประตู (Door System) คืออุปกรณ์ประตูทั้งหมดที่ติดตั้งอยู่บนรถไฟฟ้ามีทั้งควบคุมด้วยระบบไฟฟ้า และระบบลม (Pneumatic System) โดยทั่วไปแล้วจะแบ่งออกเป็น3ส่วนด้วยกัน คือ ประตูคนขับ (Driver Cab) ประตูผู้โดยสาร (Passenger Door) และประตูหัวท้าย (End Door)

7) ระบบทำความเย็น (Air Condition System) อุปกรณ์ชุดทำความเย็นจะทำการติดตั้งอยู่ด้านบน หรือด้านล่างของตัวรถขึ้นอยู่กับบริษัทออกแบบและผลิต ส่วนใหญ่แล้วจะมีอยู่สองชุดต่อหนึ่งตัวรถ (Car Body)

8) ระบบอาณัติสัญญาณ (Signaling System) เป็นการควบคุมป้องกันการเดินรถอัตโมัติ (Automatic Train Protection, ATP) มีหน้าที่หลัก ดังนี้

- ตรวจสอบตำแหน่งและความเร็วของรถ
- ควบคุมดูแลความเร็วของรถ
- บังคับการจำกัดความเร็วของรถ
- ควบคุมทิศทางของการเดินรถ และการหยุดรถแบบ Rolling Back
- ควบคุมการหยุดนิ่งของรถ และสั่งการเปิดประตูรถ

9) ระบบติดต่อสื่อสาร (Telecommunication System) เป็นชุดอุปกรณ์สื่อสาร เช่น การติดต่อสื่อสารกับ ห้องศูนย์ควบคุมรถ (Central Control Room, CCR)

10) ระบบพ่วงต่อ (Coupler System) คืออุปกรณ์เชื่อมต่อกันระหว่างรถไฟฟ้าขบวนในแต่ละขบวน ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ กึ่งอัตโนมัติ (Semi Coupler) และ อัตโนมัติ (Automatic Coupler)

Multiple Unit (MU) เป็นการเรียกขบวนรถซึ่งเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเอง (Self-Propelling) ของการต่อพ่วงตัวรถหลายตัวรถพ่วงต่อกับตู้รถไฟอื่นที่เป็นชนิดเดียวกันหรือคล้ายกันและถูกควบคุมจากหัวรถไฟ ขบวนรถนี้โดยทั่วไปแล้วจะถูกใช้เป็นห้องโดยสารที่ประกอบไปด้วยตู้รถไฟมากกว่า 1 ตู้ แต่ตู้ที่มีระบบขับเคลื่อนได้ด้วยตัวเองนั้นเรียกอีกอย่างว่ารถเดินราง ซึ่งสามารถดูได้จากการเดินรถที่วิ่งพร้อมกันกับตู้อื่นๆ

ขบวนรถไฟที่มีระบบการขับเคลื่อนด้วยตนเองมี 3 ประเภทได้แก่

1) EMU (Electric Multiple Unit) คือ ขบวนรถไฟฟ้าที่ขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า ซึ่งจะจ่ายกระแสไฟฟ้าในสองลักษณะคือการจ่ายกระแสไฟฟ้าจากด้านล่าง ซึ่งเรียกว่า ระบบรางที่สาม (Third Rail) จะมีตัวรับกระแสไฟฟ้าเรียกว่า Current Collector และ การจ่ายกระแสไฟฟ้าจากด้านบน (Overhead)

2) DMU (Diesel Multiple Unit) คือ ขบวนรถไฟที่ขับเคลื่อนโดยการใช้น้ำมันดีเซลเป็นตัวขับ Generator เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า แล้วส่งกระแสไฟฟ้านั้นเพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้าของตัวรถไฟฟ้าอีกครั้งหนึ่ง

3) DEMU (Diesel Electric Multiple Units) คือ ขบวนรถไฟที่ขับเคลื่อนโดยการใช้น้ำมันดีเซลและพลังงานไฟฟ้า เป็นการนำเอาสองระบบนั้นมารวมกัน ส่วนใหญ่จะใช้กับรถไฟฟ้าที่มีการวิ่งออกนอกเมือง และวิ่งในเมืองที่มีสัดส่วนที่ไม่ห่างกันมากนัก

2.7.2 การจัดการซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้า (Rolling Stock Maintenance Management)

การจัดการซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้า (Rolling Stock Maintenance Management) เป็นงานที่มีความยุ่งยากและสลับซับซ้อนแขนงหนึ่ง อีกทั้งยังจำเป็นต้องใช้บุคลากรที่มีประสบการณ์และความชำนาญเฉพาะด้าน ซึ่งสืบเนื่องจากระบบรถไฟฟ้านั้นถูกสร้างมาจากกลไกที่ซับซ้อนจากระบบเครื่องกลและระบบไฟฟ้า (Complex Mechanical and Electrical Systems) มีชิ้นส่วนมากกว่าหนึ่งร้อยชิ้นของหนึ่งพันชิ้นที่มีการเคลื่อนที่ ฉะนั้นงานการจัดการซ่อมบำรุงนั้นต้องมีการจัดการและวางแผนเป็นอย่างดี จะต้องให้ความสำคัญกับความเชื่อมั่นในการบริการนี้อย่างมาก และยังเป็นงานที่ต้องให้บริการกับมวลชนจำนวนมาก ซึ่งหมายถึงชีวิตและทรัพย์สิน

1) หน้าที่การซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้า คือ ความรับผิดชอบในการที่ทำกิจกรรมซ่อมและบำรุงรักษาต่างๆเพื่อให้รถไฟฟ้าเพียงพอพร้อมใช้งานกับความต้องการในแต่ละช่วงเวลา

2) การตอบสนองของแผนการซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้ากับการจัดตารางการเดินรถไฟฟ้านั้นต้องดำเนินการควบคู่กัน เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการใช้รถไฟฟ้า ปริมาณความต้องการจำนวนรถไฟฟ้า เพื่อให้บริการนั้นจะถูกแบ่งออกเป็นสองช่วงเวลา คือช่วงเวลาให้บริการปกติ และช่วงเวลาชั่วโมงเร่งด่วน ปริมาณการใช้รถจะไม่เท่ากัน ดังนั้นการจัดเวลาในการซ่อมบำรุงรักษานั้นจะต้องคำนึงถึงช่วงเวลาที่เหมาะสมกับความต้องการใช้งานของรถไฟฟ้าในแต่ละโครงการนั้นด้วย

2.8 อุปกรณ์กำเนิดลมและความเสียหายของอุปกรณ์กำเนิดลม [21] [22]

2.8.1 อุปกรณ์กำเนิดลม (Air Supply Compressor)

อุปกรณ์กำเนิดลม (Air Supply Compressor) ได้มีการนำมาใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมรถไฟ เช่น หัวรถจักร (Locomotive) ขบวนรถไฟฟ้า (Electric Multiple Unit) และอุตสาหกรรมเครื่องจักรกล ซึ่งส่วนใหญ่แล้วใช้กับอุตสาหกรรมรถไฟจะนำมาใช้กับระบบห้ามล้อ (Brake System) ระบบตัวรับกระแส (Pantographs) ระบบประตู (Door) ระบบอุปกรณ์ต่อพ่วง (Coupler)

อุปกรณ์กำเนิดลมประกอบด้วย ตัวปั้มลม (Air Compressor) มอเตอร์ (Motor) ลิ้นวาล์ว (Valve) อุปกรณ์ควบคุมแรงดัน (Pressure Regulator) วาล์วนิรภัย (Safety Valve) ตัวกรองอากาศ (Air Filter) ท่อลม (Pipe-Work) ข้อต่อ (Pipe Joint) ถังลม (Reservoirs) อุปกรณ์ระบายความเย็นระหว่างกระบวนการ (Inter Cooler) อุปกรณ์ระบายความเย็นหลังกระบวนการ (After Cooler) วาล์วระบาย (Drain Valve) เป็นต้น

2.8.2 ชนิดของชุดกำเนิดลม (Air Supply Unit) หรือ ปั๊มลม (Compressor)

อุปกรณ์กำเนิดลม (Air Supply Compressor) หรือปั๊มลม (Compressor) แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

1) Reciprocating หรือเรียกกันว่าแบบลูกสูบแนวตั้ง ซึ่งจะมีการแบ่งออกตามการออกแบบได้อีก เช่น แบบลูกสูบเดี่ยว (Single Stage) แบบลูกสูบคู่ Double Stage)

2) Rotary Screw เป็นลักษณะการออกแบบปั๊มลมจาก การทำงานด้วยการหมุนของสกรูสองชิ้นเข้าหากัน

3) Rotary Centrifugal แบบจานเอียง มีหลักการทำงานโดยการเคลื่อนที่รอบตัวเองของจานเอียง ตัวหมุนกวาดให้ลูกสูบเกิดการทำงานขึ้นลงเป็นการอัดและดูดอากาศ

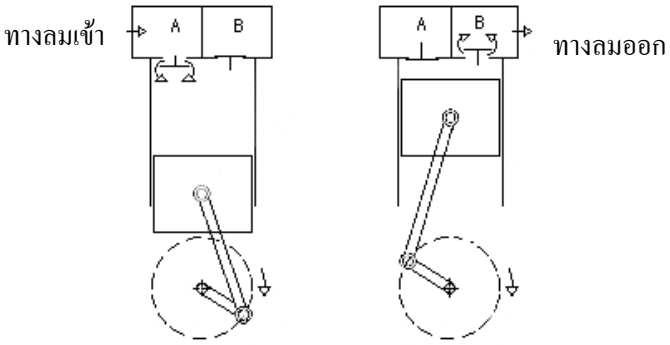
2.8.3 หลักการทำงานอุปกรณ์ปั๊มลมแบบลูกสูบ (Reciprocating Air Compressor)

อุปกรณ์ปั๊มลมแบบลูกสูบสามารถทำการอัดอากาศได้ในช่วงความดันที่กว้าง สำหรับแบบตอนเดียว (Single Stage) สามารถอัดอากาศได้ดีที่ความดันประมาณ 10 บาร์ ส่วนเครื่องอัดอากาศแบบสองตอน (Two Stage) สามารถอัดอากาศได้ถึง 70 บาร์ เครื่องอัดอากาศแบบลูกสูบเป็นเครื่องอัดอากาศที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบอื่น โดยเฉพาะแบบสองตอนและทำงานสองจังหวะด้วยการระบายความเย็นระหว่างกระบวนการ (Two Stage Double Acting with Inter Cooler) เป็นปั๊มลมอีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้ในหัวรถจักรหรือในรถไฟฟ้า

การทำงานอุปกรณ์อัดอากาศแบบลูกสูบนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 จังหวะ คือ

1) จังหวะดูด จะถูกทำเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงในแนวเส้นตรง ลิ้นของวาล์ว A จะเปิดออก ทำให้อากาศจากภายนอกถูกดูดเข้าไปในห้องสูบ ส่วนลิ้นของวาล์ว B จะถูกปิด ดังรูปที่ 2.11

2) จังหวะอัด เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ขึ้น ลิ้นของวาล์ว B จะเปิดออก ทำให้อากาศที่อยู่ในห้องสูบถูกอัดเข้าไปในถังเก็บลมทางลมออกได้ ส่วนลิ้นของวาล์ว A จะถูกปิดดังรูป 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะการทำงานของอุปกรณ์อัดอากาศแบบลูกสูบ [21]

2.8.3 ความเสียหายของอุปกรณ์กำเนิดลม (Failure of Air Compressor) [20]

อุปกรณ์ของชุดกำเนิดลมในแต่ละชิ้นส่วนมีการออกแบบให้มีหน้าที่ในการทำงานที่มีความละเอียดและแม่นยำสูง ซึ่งชิ้นส่วนของอุปกรณ์เหล่านี้ถูกผลิตขึ้นมาจากวัสดุหลายชนิดที่มีความแตกต่างกัน บางชิ้นส่วนก็เป็นโลหะที่ไม่ใช่เหล็ก (Non-Ferrous Metal) บางชิ้นส่วนก็ผลิตมาจากยาง (Rubber) และพลาสติก (Plastic) ดังนั้นชิ้นส่วนเหล่านี้ย่อมมีรูปแบบการเสื่อมสภาพ และความเสียหายที่แตกต่างกันออกไป

ด้วยเหตุผลดังที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น การกำหนดแผนหรือวิธีการซ่อมบำรุงรักษาสำหรับอุปกรณ์ชุดกำเนิดลมให้มีความเหมาะสมได้นั้น ควรจะต้องทำการพิจารณาถึงแผนการซ่อมบำรุงรักษาในแต่ละชิ้นส่วนของอุปกรณ์ต่างๆเหล่านั้น เพื่อที่จะให้อุปกรณ์เหล่านี้ดำรงสภาพการใช้งานอย่างคุ้มค่ามากที่สุด ในต้นทุนการซ่อมบำรุงรักษาที่ต่ำลงด้วย

สาเหตุที่มักจะพบบ่อยจากความเสียหายในอุปกรณ์กำเนิดลม สรุปได้ดังนี้

1) มีความชื้นในปั้มลม (Moisture in Air compressor)
2) มีฝุ่นและสิ่งปนเปื้อนในปั้มลม (Dust and Particulate in Air Compressor)
3) ลมรั่วจากท่อลม (Air Leakage from Pipe-Work)
4) มีลมรั่วในอุปกรณ์ (Air Leakage within Air Compressor Equipment)
5) มีปริมาณลมอัดน้อย (Low Air Pressure in the Compressor System)

2.9 การวัดและประเมินผลการดำเนินงานการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ [5]

เกณฑ์และการวัดประเมินผลการซ่อมบำรุงรักษาที่นิยมใช้กันทั่วไปแบ่งออกได้ดังนี้

2.9.1 การวัดผลจากระยะเวลาเฉลี่ยระหว่างการเกิดเหตุขัดข้องของเครื่องจักร (Mean Time Between Failures, MTBF)

$$\text{MTBF} = \frac{\text{เวลาเครื่องจักรทำงานโดยเกิดผลผลิต Production Time (ชั่วโมง)}}{\text{จำนวนครั้งที่เกิดเหตุขัดข้องในช่วงเวลานั้น (ครั้ง)}} \quad (2.4)$$

การวัดผลจากค่า MTBF นี้ถ้ามีการปรับปรุงระบบซ่อมบำรุงรักษาแล้ว ทำให้ค่า MTBF ที่มากขึ้นกว่าระยะเวลาก่อนทำการปรับปรุงระบบซ่อมบำรุงรักษานั้นหมายถึง การปรับปรุงในครั้งนี้ทำให้เกิดผลในการซ่อมบำรุงรักษาที่ดีขึ้น

2.9.2 การวัดผลจากการใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงานหรือเกิดเหตุขัดข้อง (Machine Downtime (%) ซึ่งการหาค่าเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่เครื่องจักรหยุดทำงานได้จากสูตรดังนี้

$$\text{Machine Downtime (\%)} = \frac{\text{เวลาที่เครื่องจักรเกิดการขัดข้อง}}{\text{เวลาการทำงานของเครื่องจักร}} \text{ X } 100 \qquad (2.5)$$

การวัดผลโดยใช้ค่า Machine Downtime (%) หมายถึงหลังจากทำการปรับปรุงแล้ว คำนวณจะได้ค่า Machine Downtime (%) มีค่าน้อยลงกว่าช่วงก่อนการปรับปรุงหมายถึง การปรับปรุงนี้ทำให้ผลที่ดีขึ้น

2.9.3 การวัดผลจาการใช้เปอร์เซ็นต์ความพร้อมใช้งานเครื่องจักร (Machine Availability) ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ความพร้อมใช้งานเครื่องจักร หาได้จากสูตร

$$\text{ความพร้อมใช้ (\%)} \frac{\text{เวลาทำงานของเครื่องจักร-เวลาเครื่องจักรเกิดขัดข้อง}}{\text{เวลาการทำงานของเครื่องจักร}} \text{ X } 100 \qquad (2.6)$$

การวัดผลโดยใช้ค่า เปอร์เซ็นต์ความพร้อมใช้งานเครื่องจักรมี หมายถึง หลังจากทำการปรับปรุงแล้ว ทำการคำนวณได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความพร้อมใช้งานเครื่องจักรมีค่าเพิ่มขึ้นกว่าช่วงก่อนการปรับปรุง หมายถึง ผลการปรับปรุงนี้ทำให้เกิดผลที่ดีขึ้น

2.9.4 การวัดผลจากการใช้เวลาเฉลี่ยการซ่อมแซม (Mean Time to Repair: MTTR) ซึ่งค่าเวลาเฉลี่ยการซ่อมแซม หาได้จากสูตรดังนี้

$$\text{MTTR} = \frac{\text{เวลาที่เครื่องจักรหยุดเนื่องจากการขัดข้อง (ชั่วโมง)}}{\text{จำนวนครั้งที่เครื่องจักรหยุด (ครั้ง)}} \qquad (2.7)$$

ค่าการวัดผลโดยใช้ค่าเวลาเฉลี่ยในการซ่อมแซม หมายถึง ถ้าทำการปรับปรุงแล้วมีการคำนวณซึ่งได้ค่าเวลาเฉลี่ยการซ่อมแซมมีค่าลดลงกว่าช่วงเวลาก่อนทำการปรับปรุงนั้นหมายถึงว่าการปรับปรุงทำให้ได้ผลดีขึ้น

2.9.5 การวัดผลจากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา [3]

การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของการซ่อมบำรุงรักษาตามหลักทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economy) เป็นการพิจารณาถึงการเปลี่ยนแปลงมูลค่าของเงินตามกาลเวลา มีปัจจัยหลักอยู่ 3 ประการ คือ อัตราดอกเบี้ย (Interest Rate) ระยะเวลา (Period of Time) และจำนวนเงินต้น (Capital)

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราดอกเบี้ยหรือผลตอบแทน ตามเวลา และมูลค่าของเงิน ในการคำ นวณมูลค่าของเงินตามเวลา หรือการแปลงมูลค่าเงินตามช่วงเวลา ตามหลักการของแผนภูมิกระแส

เงินหมุนเวียนเพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการวิเคราะห์มูลค่าของเงิน ตัวแปรสำคัญที่ต้องใช้ในการวิ เคราะห์มูลค่าของเงิน และแผนภูมิกระแสเงินหมุนเวียน ได้แก่

P = มูลค่าของเงินรวมในช่วงเวลาที่กำหนดให้เป็นปัจจุบัน หรือที่เวลา t = 0 อาจใช้แทนค่าของมูลค่าปัจจุบัน Present Worth (PW) Present Value (PV) Net Present Value (NPV) และ จำนวนเงินต้น Capital Cost (CC)

F = มูลค่าหรือผลรวมของเงินในอนาคต ใช้แทนค่าของ Future Worth (FW) และ Future Value (FV)

A = มูลค่าของเงินรายเดือนหรือรายปี ที่มีค่าสม่ำเสมอเท่ากัน อาจใช้แทนค่าของ Annual Worth (AW) หน่วย จำนวน (บาท) ต่อปี หรือจำนวน (บาท) ต่อเดือน

n = จำนวนช่วงเวลาสำหรับการวิเคราะห์ หน่วย ปี เดือน หรือวัน

i = อัตราดอกเบี้ย หรืออัตราผลตอบแทนต่อช่วงเวลา หน่วย เปอร์เซ็นต่อปี เปอร์เซ็นต่อเดือนหรือเปอร์เซ็นต่อวัน

วิธีการพิจารณามูลค่าของเงินที่ใช้กันทั่วไปมีดังนี้

ก. การหาค่าเทียบเท่าอนาคตจากมูลค่าปัจจุบัน

รูปที่ 2.12 การหาค่าเทียบเท่าอนาคตจากมูลค่าปัจจุบัน

กำหนดค่า P, i และ n ให้ค่า F

$$F = P\,(1 + i)^{n} \qquad (2.8)$$

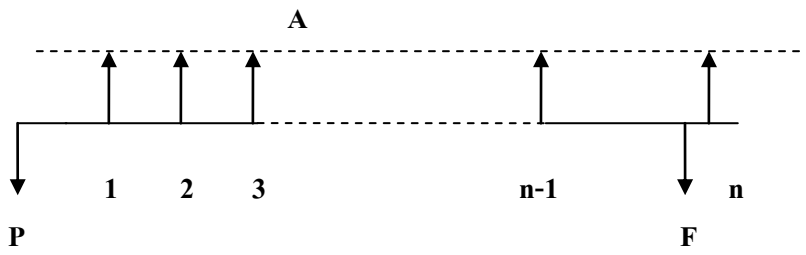
แฟคเตอร์ $(1+i)^n$ นั้นสามารถหาได้จากตารางและใช้สัญลักษณ์ใหม่คือ

$(1+i)^n = (F/P, i\%, n)$

ในทำนองเดียวกัน $P = F\left(\frac{1}{1+i}\right)^n$

ซึ่ง $\left(\frac{1}{1+i}\right)^n$ = (P/F, i%, n) จากตารางภาคผนวก ฉ2 หน้าที่ 126

ข. การหาค่าเทียบเท่าอนาคตจากมูลค่าเทียบเท่าประจำปี



รูปที่ 2.13 การหาค่าเทียบเท่าอนาคตจากมูลค่าเทียบเท่าประจำปี

$$F = A\,[1+(1+i)+(1+i)^{2+}.....(1+i)^{n-1}] \qquad (2.9)$$

$$A\left[\frac{(1+i)^n-1}{i}\right]$$

แฟคเตอร์ $\frac{(1+i)^{n-1}}{i}$ = (F/A, i%, n) จากตาราง

ในทำนองเดียวกัน $A = F\frac{i}{(1+i)^n-1}$

แฟคเตอร์ $\frac{i}{(1+i)^n-1}$ = (A/F, i%, n) จากตาราง

ค. การหาค่าเทียบเท่าปัจจุบันกำหนดให้มูลค่าเทียบเท่าประจำปี

$$P = A\left[\frac{(1+i)^n-1}{i}\right]\left[\frac{1}{1+i}\right]^n = A\,(P/A, i\%, n) \qquad (2.10)$$

ในทำนองเดียวกัน $A = P\left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n-1}\right]$ = P (A/P, i%, n)

การเปรียบเทียบโครงการโดยวิธีมูลค่าปัจจุบัน สามารถทำได้โดยวิธีการดังต่อไปนี้

1) การเปรียบเทียบโครงการที่มีอายุเท่ากันโดยวิธีมูลค่าปัจจุบัน (Present Worth - Comparison of Equal - Lived Alternatives) การเปรียบเทียบโครงการที่มีอายุเท่ากันนั้นจะง่ายต่อการนำมาเปรียบ เทียบ แต่ถ้าโครงการมีอายุไม่เท่ากัน ในความจริงแล้วความเสี่ยงย่อมแตกต่างกัน โครงการที่มีอายุมากกว่าย่อมต้อง มีความเสี่ยงสูงกว่า

2) การเปรียบเทียบโครงการที่มีอายุแตกต่างกันโดยวิธีมูลค่าปัจจุบัน (Present Worth - Comparison of Different - Lived Alternatives ในการเปรียบเทียบโครงการที่มีอายุแตกต่างกันจะต้องทำให้อายุเท่ากันเสียก่อน ถึงจะนำมาเปรียบเทียบกันได้

3) การเปรียบเทียบโครงการโดยวิธีเงินทุนนิรันดร์ (Capitalized Cost Comparison of Two Alternatives) โครงการที่มีอายุไม่เท่ากันมีอายุการใช้งานนานๆ เช่น สะพานข้ามแม่น้ำ ท่อระบายน้ำ อาจเปรียบเทียบโดยใช้วิธีเงินลงทุนนิรันดร์ก็ได้ โดยจะสมมติว่าอายุมากไปสู่อินฟินิตี สูตรมีดังต่อไปนี้

P (เงินลงทุนนิรันดร์) = A / i

2.10 การวิจารณ์และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจัดการและการวางแผนงานซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรหรือระบบที่มีขนาดใหญ่ ให้มีประสิทธิภาพที่ดีและมีความเหมาะสมได้นั้น นอกจากจะต้องอาศัยความเข้าใจในอุปกรณ์ที่ต้องดูแลรักษาเป็นอย่างดีแล้ว ยังจะต้องคำนึงถึงระบบต่างที่มีความเกี่ยวข้องสืบเนื่องกันด้วย ในการที่จะทำความเข้าใจถึงระบบและอุปกรณ์ดังกล่าวได้เป็นอย่างดีนั้น ล้วนแล้วแต่ต้องใช้เทคโนโลยี และทักษะความชำนาญการในแต่ละด้านค่อนข้างสูง เช่น ความชำนาญในด้านการเลือกเครื่องมือและวิธีการ ความเชี่ยวชาญด้านเทคโนโลยีที่มีความทันสมัย ความใส่ใจถึงรายละเอียดของการทำงาน จนกระทั่งรวมถึงการบริหารจัดการทางด้านการเงินและการบัญชี เป็นต้น ซึ่งความสำคัญในแต่ละด้านเหล่านี้นั้นย่อมมีความสำคัญที่เท่าเทียมกันแทบจะลดละด้านใดด้านหนึ่งไม่ได้เลย

จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านการจัดการ และการเลือกใช้เทคโนโลยีสำหรับงานซ่อมบำรุงรักษา ส่วนใหญ่แล้วนั้นจะมีวัตถุประสงค์หลักคือ การกำหนดแผนการซ่อมบำรุงรักษาที่เพียงพอและเหมาะสมกับงานๆนั้น ซึ่งจะต้องไม่มากหรือน้อยเกินไป ถ้ามากเกินไปก็จะสิ้นเปลืองโดยใช่เหตุ และน้อยเกินไปก็อาจจะส่งผลกระทบที่อาจจะก่อให้เกิดค่าใช้จ่าย หรือต้นทุนในการสูญเสียเสียโอกาส (Opportunity Cost) ตามมาได้ เช่น การสูญเสียผลประโยชน์หรือรายได้ขึ้น (Lost Production) การแก้งาน หรือต้องปรับปรุงงานซ้ำใหม่ (Rework) การสูญเสียค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน (Labour) การเกิดค่าเสียหายจากค่าปรับต่างๆเนื่องจากการส่งงานไม่ทันตามกำหนดนัดหมาย (Fine for Late Orders) การสูญเสียการสั่งซื้อสินค้าเนื่องจากลูกค้าขาดความไว้วางใจ การขาดความเชื่อถือในสัญลักษณ์หรือตราของบริษัทและสินค้าซึ่งยากที่จะสร้างกลับทดแทนได้ เป็นต้น [23, 24]

การขนส่งมวลชนระบบราง (Railway Mass Transit Systems) เป็นระบบที่ประกอบด้วยโครงสร้างพื้นฐานขนาดใหญ่ (Large Infrastructure) ซึ่งมีหน้าที่และความรับผิดชอบที่ส่งผลกระทบโดยตรงกับชีวิตและทรัพย์สินของมวลชนจำนวนมาก ได้มีการนำเอาเทคโนโลยีที่ทันสมัยที่สุด และมีมาตรฐานการป้องกันด้านความปลอดภัยที่คิดว่าดีที่สุดแล้ว ก็ยังอาจจะเกิดอุบัติเหตุขึ้นได้ ด้วยเหตุผล

ดังกล่าวนี้ ความเสี่ยงย่อมเกิดขึ้นได้ ทุกที่ และทุกเวลา เป็นการท้าทายในการหาเครื่องมือ หรือเทคนิคใหม่ๆมาใช้ในการปรับปรุงและพัฒนาในการบริหารจัดการงานซ่อมบำรุง [25]

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) เป็นเครื่องมือชนิดหนึ่งที่มีความนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการปรับปรุงและพัฒนาแผนการซ่อมบำรุงรักษา โดยใช้หลักและวิธีการค้นหาลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Modes) และผลกระทบ (Effects) รวมถึงการวิเคราะห์ความวิกฤติ (Criticality Analysis) ของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้นๆ เพื่อทำการระบุและบ่งชี้ (Identify) ถึงลักษณะข้อบกพร่องให้ตรงกับต้นตอของสาเหตุ (Root Causes) อย่างแท้จริง ที่กำลังจะก่อให้เกิดเป็นปัญหาเหล่านั้น [26, 27, 28, 29] ซึ่งมีความใกล้เคียงในการเลือกเครื่องมือสำหรับใช้ในการแก้ปัญหาของงานวิจัยในครั้งนี้ โดยได้มีการนำเอาเทคนิคของ FMECA มาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อสร้างแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยนี้ คือ การนำวิธีการวิเคราะห์ FMECA เชิงคุณภาพหรือเชิงความคิดเห็น (Qualitative Method) มาใช้ซึ่งผลการวิเคราะห์โดยรวมเกิดจากความคิดเห็นของทีมงานที่เกี่ยวข้องในแต่ละด้าน และไม่สามารถทำการวิเคราะห์ได้จากฝ่ายใดฝ่ายหนึ่ง ซึ่งมีความแตกต่างจากการวิเคราะห์ FMECA ด้วยวิธีเชิงปริมาณหรือเชิงคำนวณ (Quantity Method) สามารถทำการวิเคราะห์ได้ได้จากฝ่ายใดฝ่ายหนึ่ง หรือบุคคลใดบุคคลหนึ่ง โดยการคำนวณจากจำนวนหรือตัวเลขจากประวัติและอาการเสียของอุปกรณ์ที่มีการเก็บรวบรวมข้อมูลจากแหล่งต่างๆ และยังกล่าวสรุปไว้ว่า FMECA เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่องที่จะเกิดขึ้น เพื่อที่จะทำข้อมูลเหล่านั้นมาทำการสร้างแผนการซ่อมบำรุงรักษาได้อย่างทันเวลา [28]

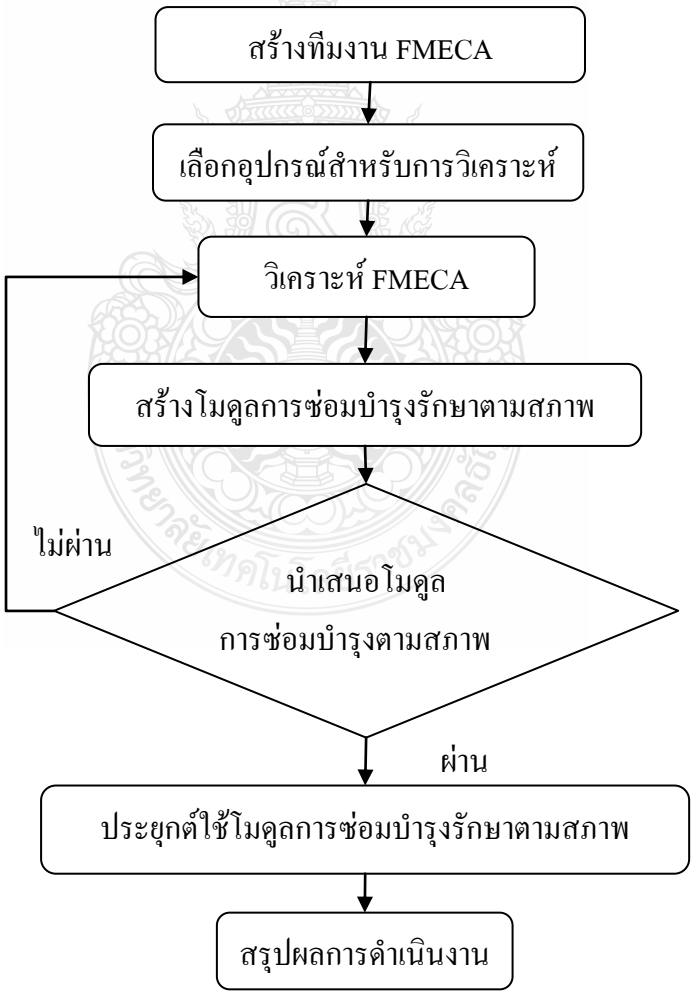
FMECA ยังเป็นเครื่องมือที่สามารถนำผลการวิเคราะห์ผนวกเข้ากับการพัฒนาและจัดการงานซ่อมบำรุงรักษาของรถไฟฟ้าได้เป็นอย่างดี เนื่องจากอุปกรณ์และส่วนประกอบส่วนใหญ่แล้วมีการทำงานสัมพันธ์กันอย่างมีระบบ FMECA สามารถกำหนดและระบุหน้าที่การทำงานของแต่ละอุปกรณ์ ได้ชัดเจนอย่างมีความลงตัวกับการวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance) การนำเอาการวิเคราะห์ FMECA มาใช้ในการแก้ปัญหางานที่เกี่ยวข้องการซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้าอย่างมากมาย ผู้วิจัยสามารถทำการยกตัวอย่างได้ดังนี้

Saurabh Kumar ทำการศึกษาการแตกหักของรางรถไฟฟ้าที่ประเทศสวีเดน จากการใช้เทคนิค FMECA เป็นการวิเคราะห์ หาสาเหตุ หาแนวโน้มของการแตกหัก ของแต่ละลักษณะข้อบกพร่อง แล้วทำการประเมินความเสี่ยงของข้อบกพร่องเหล่านั้น เพื่อทำการพยากรณ์ถึงสภาพการใช้งาน และทำการกำหนดแผนการซ่อมบำรุงรักษารางรถไฟฟ้าต่อไป [29]

Rikard Granström ได้ทำการศึกษาวิธีการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพกับหน่วยงานการซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้าในประเทศสวีเดน โดยการใช้เครื่องมือ FMECA ทำการวิเคราะห์หาเหตุและผลกระทบที่มีผลต่อการที่ทำให้ล้อรถไฟฟ้าสึกหรอ และทำการศึกษาถึงแนวโน้มการเกิดข้อบกพร่องและผลกระทบ ที่มีอิทธิพลทำให้ตลับลูกปืนเสื่อมสภาพ [30]

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้คลอบคลุมถึงลำดับขั้นตอนและวิธีการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้อย่างละเอียด ซึ่งมีเนื้อหาประกอบด้วย การสร้างทีมงานวิเคราะห์ FMECA การเลือกอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (Failure Mode Effects and Criticality Analysis, FMECA) การสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance, CBM) การนำเสนอโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ การประยุกต์ใช้โมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ และการสรุปผลการดำเนินงานการพัฒนาโมดูลการซ่อมบำรุงรักษา ผู้วิจัยได้แสดงแผนผังลำดับขั้นตอนการดำเนินการวิจัย ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1 การสร้างทีมงานวิเคราะห์ FMECA

การสร้างทีมงานในการวิเคราะห์ FMECA เป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการดำเนินงานการวิเคราะห์ FMECA เนื่องจากเป็นการทำงานร่วมกันระหว่างกลุ่มบุคลากรในด้านต่างๆ ที่มีสามารถเข้าใจถึงระบบที่จะทำการวิเคราะห์ได้เป็นอย่างดี และจะต้องนำเสนอความคิด ถึงหน้าที่และผลกระทบต่ออุปกรณ์ที่ทำการวิเคราะห์ในครั้งนั้นๆ โดยเฉพาะการวิเคราะห์ FMECA เชิงคุณภาพหรือเชิงความคิดเห็น คณะการทำงานของ FMECA จะต้องให้ความสำคัญมากกว่าการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ซึ่งสามารถทำได้จากการคำนวณโดยบุคคลใดบุคคลหนึ่งก็ได้

การวิเคราะห์ FMECA ในเชิงคุณภาพ (Qualitative) เป็นการวิเคราะห์ที่เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่ยังไม่มีประวัติการชำรุดเสียหายเกิดขึ้น ซึ่งต้องอาศัยการกำหนดกลุ่มหรือคณะในการทำงาน โดยใช้การวิเคราะห์ (Analyze) สืบค้นหาปัญหา (Investigate) จากความคิดเห็น (Subjective) ของบุคลากรที่มีความชำนาญและความสามารถที่เกี่ยวข้องในแต่ละด้านมาทำงานร่วมกัน เพื่อหาแนวทางการพัฒนาและป้องกันอย่างเหมาะสมที่สุด

การสร้างทีมงานสำหรับการวิเคราะห์ FMECA ในเชิงคุณภาพในครั้งนี้ เริ่มต้นจากการเชิญวิทยากรกระบวนการ (FMECA Facilitator) จำนวน 1 ท่านจากต่างประเทศ เพื่อถ่ายทอดความรู้วิธีการดำเนินการประชุม และแนวทางในการปฏิบัติที่ถูกต้อง

การเริ่มต้นสร้างทีมงานวิเคราะห์ FMECA ในครั้งนี้ เริ่มจากวิทยากรกระบวนการ ทำการเลือกทีมงานจากวิศวกรซ่อมบำรุงรักษาแผนกรถไฟฟ้าที่มีประสบการณ์ทางด้านการปฏิบัติการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling) จากส่วนประกอบอื่นของรถไฟฟ้าจำนวน 2 ท่าน วิศวกรซ่อมบำรุงรักษาแผนกรถไฟฟ้าที่มีประสบการณ์ทางด้านการตรวจติดตามสภาพการใช้งานของอุปกรณ์ (Condition Monitoring) จำนวน 2 ท่าน บุคลากรฝ่ายวิศวกรรม 2 ท่าน และผู้ชำนาญการด้านรถไฟฟ้า (Expert) จำนวน 1 ท่าน และผู้สังเกตการณ์จากฝ่ายบริหาร 1 ท่าน โดยรวมทั้งหมดแล้วคณะทำงาน FMECA ในครั้งนี้ประกอบด้วยจำนวนสมาชิกทั้งหมดจำนวน 9 ท่าน ซึ่งรวมทั้งผู้วิจัยด้วยที่มีส่วนร่วมอยู่ในฝ่ายของการปฏิบัติการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling) และเป็นผู้ช่วยวิทยากรกระบวนการในด้านการประสานงาน และสรุปผลการดำเนินการวิเคราะห์ในครั้งนี้

3.2 การเลือกอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์

การเลือกอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) เป็นการกำหนดเกณฑ์เพื่อใช้ในการเลือกอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ในแต่ละครั้ง เพื่อให้เป็นประโยชน์ต่อการศึกษามากที่ และจะต้องมีผลกระทบในแต่ละด้านอย่างน้อยที่สุดเท่าที่จะปฏิบัติได้ ในการเลือกอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ FMECA เพื่อการสร้างโมดูลพัฒนาการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพในครั้งนี้ จะต้องมีการนำเอาผลงานการวิจัยนี้ มาทำการประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ที่ทำการศึกษาในครั้งนี้จริง แล้วยังต้องนำเอาผลไปใช้เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงใช้กับอุปกรณ์และระบบอื่นๆ

ของรถไฟฟ้าด้วย ดังนั้นขั้นตอนและวิธีการเลือกอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ในครั้งนี้ จะถูกกำหนดจากความคิดเห็นของทีมงานวิเคราะห์ FMECA ที่ทำการเลือกขึ้นมา

เกณฑ์ในการเลือกอุปกรณ์สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ในครั้งนี้ ได้ทำการพิจารณาจากเกณฑ์การเลือกอุปกรณ์จากความวิกฤติ (Critical) ซึ่งจะทำการพิจารณาจากการประเมินจากผลกระทบทั้งสามด้าน คือ ผลกระทบความวิกฤติทางด้านเชิงพาณิชย์ (Commercial Consequence) ผลกระทบความวิกฤติด้านความปลอดภัย (Safety Consequence) และผลกระทบความวิกฤติทางด้านสิ่งแวดล้อม (Environment Consequence)

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ จะต้องทำการเลือกอุปกรณ์จากวิธีการซ่อมบำรุงรักษาเดิม ที่มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงและมีความยุ่งยากในการบริหารจัดการ เพื่อให้เห็นผลในการวิเคราะห์ที่ชัดเจนและมีระดับความรุนแรงที่ค่อนข้างต่ำ เมื่อมีผลกระทบหรือข้อบกพร่อง (Failure) เกิดขึ้น จะได้มีผลกระทบต่อการให้บริการที่น้อยที่สุด

3.2.1 การกำหนดและสร้างเกณฑ์การประเมินความวิกฤติของอุปกรณ์

การกำหนดและสร้างเกณฑ์การประเมินความวิกฤติของอุปกรณ์เป็นการกำหนดเกณฑ์ในการประเมินความวิกฤติของเครื่องจักรที่จะนำมาวิเคราะห์ ซึ่งทำได้โดยการวัดและประเมินผลจากผลกระทบในแต่ละด้านที่จะก่อให้เกิดแนวโน้มของความวิกฤติที่จะเกิด ซึ่งสามารถทำการวิเคราะห์ผลกระทบเหล่านั้นออกได้เป็นสามด้าน ดังนี้คือ ผลกระทบทางด้านเชิงพาณิชย์(Commercial Sequence Score) ผลกระทบทางด้านความปลอดภัย (Safety Sequence Score) และผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม (Environment Sequence Score) ทำได้โดยการสรุปความคิดเห็นจากคณะทำการวิเคราะห์ FMECA เกณฑ์การประเมินความวิกฤติทั้งสามด้านดูได้จาก ภาคผนวก ก ตารางที่ 4 หน้า 93

3.2.2 การประเมินความวิกฤติในการเลือกอุปกรณ์

การประเมินความวิกฤติสำหรับการเลือกอุปกรณ์ในการวิเคราะห์ FMECA ในครั้งนี้ ซึ่งเกิดขึ้นจากการประเมินผลกระทบ (Consequence Score) ทั้งสามด้านที่ได้กล่าวไว้แล้วนั้น ได้ทำการกำหนดเกณฑ์การประเมินผลกระทบของความวิกฤติขึ้นโดยการใช้ความคิดเห็นทั้งหมดของทีมงานการวิเคราะห์

ผลกระทบความวิกฤติทั้งสามด้านจะมีแนวทางการกำหนดคะแนนดังนี้

1) ผลกระทบทางด้านเชิงพาณิชย์ (Commercial Consequence Score) จะใช้เกณฑ์กำหนดจากค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาตามระยะเวลาปรับคืนสภาพ ถ้าอุปกรณ์ดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาสูงระดับคะแนนก็จะสูงตาม และโอกาสในการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (Likelihood of Occurrence) จะใช้ความคิดเห็นจากประสบการณ์และความรู้ของทีมงานเพื่อสร้างเกณฑ์ โดยการอ้างอิงกับมาตรฐาน MILD-STD-1629

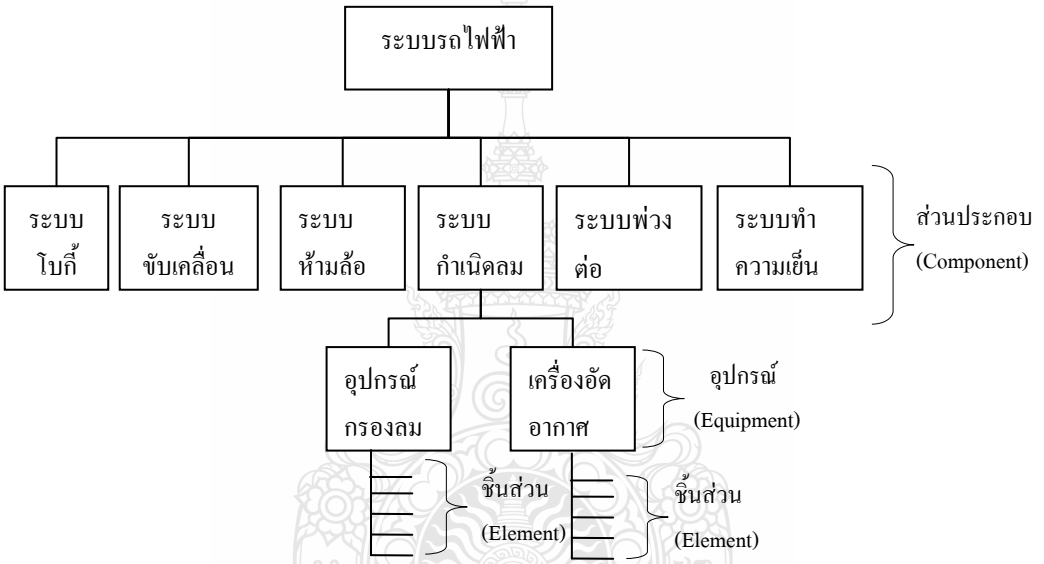
2) ผลกระทบด้านความปลอดภัย (Safety Consequence) และทางด้านสิ่งแวดล้อม (Environment Consequence) เป็นหลักการคำนึงถึงผลกระทบของระดับความรุนแรงและโอกาสของ

ความปลอดภัย และด้านสิ่งแวดล้อมเมื่ออุปกรณ์นั้นไม่ปฏิบัติตามแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามระยะเวลาปรับคืนสภาพ การกำหนดเกณฑ์การประเมินทำโดยวิธีการใช้ความคิดเห็นของทีมงาน โดยการอ้างอิงกับมาตรฐาน MILD-STD-1629

เกณฑ์และรายละเอียดของการประเมินทั้งสามด้านแสดง ภาคผนวก ก ตารางที่ ก.4 หน้า 92

3.2.3 สรุปผลการเลือกอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์

การเลือกอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ FMECAในการศึกษาครั้งนี้ ทำขึ้นโดยการเลือกจากอุปกรณ์ที่มีแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามระยะเวลากลับคืนสภาพ ที่มีความวิกฤติจากการวิเคราะห์ผลกระทบทั้งสามดังที่กล่าวไว้แล้ว สามารถดูรายละเอียดของระบบต่างได้ดังรูปที่ 3.2

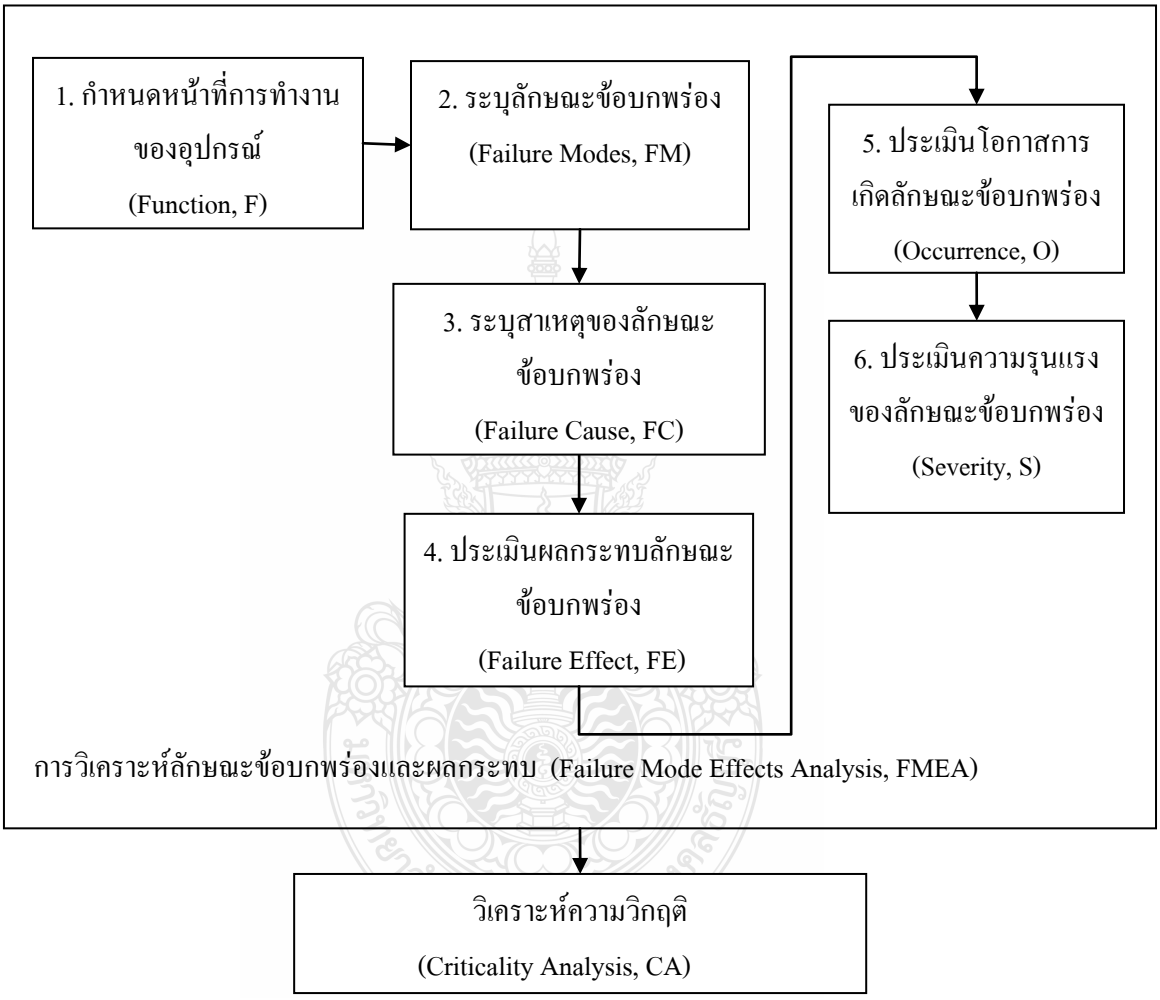


รูปที่ 3.2 อุปกรณ์ต่างๆ ในระบบรถไฟฟ้าที่มีแผนการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ

จากรูปที่ 3.2 แสดงถึงอุปกรณ์ในระบบรถไฟฟ้า (Rolling Stock System) ทั้ง 6 ระบบ ที่มีแผนดำเนินการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling Maintenance) ซึ่งประกอบด้วย ระบบโบกี้ ระบบขับเคลื่อน ระบบห้ามล้อ ระบบพ่วงต่อ และระบบทำความเย็น และระบบชุดกำเนิดลม และมีส่วนประกอบ (Component) เป็นส่วนย่อยของระบบ ส่วนประกอบยังประกอบด้วยอุปกรณ์ (Equipment) ต่างๆ ในการวิเคราะห์ FMECA ต้องทำการแยกระบบย่อยตามหน้าที่การใช้งานจนถึงระดับอุปกรณ์และระดับชิ้นส่วน (Element) ตามความเหมาะสม

3.3 การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA)

ในการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) นั้นต้องทำการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) ก่อน ซึ่งเป็นการแจกแจงหน้าที่การทำงานของอุปกรณ์เพื่อสืบหาแนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (Potential Failures) และผลกระทบ (Potential Effects) ขั้นตอนการวิเคราะห์ FMECA แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงขั้นตอนการวิเคราะห์ FMECA

3.3.1 การวิเคราะห์ FMEA

ในการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์ FMECA ในเชิงคุณภาพ (Qualitative) หรือเชิงความคิดเห็น (Subjective) กับอุปกรณ์ชุดกำเนิดลม (Air Supply Compressor) ที่ทำการเลือกโดยทีมงานวิเคราะห์ FMECA การวิเคราะห์ FMEA จึงต้องใช้หลักการวิเคราะห์ในเชิงคุณภาพ (Qualitative) ด้วย ซึ่งผลที่เกิดขึ้นจากการประเมินซึ่งเป็นความคิดเห็นของกลุ่มคณะทำงานที่จัดตั้งขึ้น

ขั้นตอนการวิเคราะห์ FMEA ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1) การกำหนดหน้าที่ (Function, F) เป็นการบันทึก และระบุถึงหน้าที่ตามลักษณะของการใช้งานในอุปกรณ์ที่นำมาวิเคราะห์ เพื่อที่จะได้ทำการระบุ บ่งชี้ถึงข้อบกพร่องจากหน้าที่การทำงาน (Function Failure, FF) ของอุปกรณ์ที่นำมาวิเคราะห์ต่อไป

2) การระบุลักษณะความบกพร่อง (Failure Modes, FM) จะอธิบายถึงลักษณะที่ทำให้สูญเสียหน้าที่การทำงาน (Function) การเกิดความบกพร่องนั้นเกิดขึ้นได้อย่างไรและมีผลกระทบต่อการทำงานของ ลักษณะข้อบกพร่องบางครั้ง สามารถอธิบายในเชิงประเภทของข้อบกพร่องต่าง ๆ แนวโน้มที่จะเกิดลักษณะข้อบกพร่องอันหนึ่ง จะถูกอธิบายในแง่ที่ว่า ผลิตภัณฑ์ หรือ กระบวนการหนึ่ง ๆ ไม่เป็นไปตามฟังก์ชันที่ต้องการ (ตามที่ได้ออกแบบไว้ หรือ ไม่มีประสิทธิภาพตามต้องการ) เมื่อเทียบกับความต้องการต่าง ๆ ความอยากได้ต่าง ๆ และความคาดหวังทั้งของลูกค้าภายในและภายนอกองค์กร

3) ระบุสาเหตุลักษณะข้อบกพร่อง (Causes) สาเหตุของแต่ละลักษณะข้อบกพร่องในที่นี้หมายถึง องค์ประกอบหนึ่ง ที่เป็นผลมาจากการออกแบบหรือกระบวนการมีข้อบกพร่อง ที่กล่าวอย่างนี้ก็เพราะว่า ถ้าออกแบบผิด มันย่อมก่อให้เกิดข้อบกพร่องขึ้นมาแน่ ๆ เมื่อมองในมุมกลับ การออกแบบถูกต้องแล้ว ถ้ากระบวนการผลิตไม่เป็นไปที่ได้ออกแบบไว้ ก็เกิดข้อบกพร่องขึ้นมาเช่นกัน ดังนั้น เมื่อเกิดข้อบกพร่องขึ้นมาแล้ว (ซึ่งก็คือผล) มันย่อมมาจากต้นเหตุ หรือสาเหตุแน่ ๆ

4) ประเมินผลกระทบลักษณะข้อบกพร่อง (Effects) คือการวิเคราะห์แนวโน้มลักษณะข้อบกพร่องที่มีผลสืบเนื่องกับส่วนอื่นให้เกิดความขัดข้องได้

5) ประเมินโอกาสที่จะเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (Occurrence) เป็นการประเมินถึงโอกาสที่จะเกิดอาการขัดข้อง เสีย หรือหยุดทำงานของอุปกรณ์นั้น

6) ประเมินการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง (Detection) คือการวิเคราะห์ระดับความยากง่ายในการตรวจจับความบกพร่องที่จะเกิดขึ้นได้

7) วิเคราะห์ระดับความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่อง (Severity) คือการกำหนดระดับความรุนแรงของลักษณะข้อบกพร่องนั้น

3.3.2 การวิเคราะห์ความวิกฤติ (Criticality Analysis)

การวิเคราะห์ความวิกฤติ เป็นขั้นตอนการดำเนินการต่อจากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบ (FMEA) เพื่อที่จะทำการประเมินถึงความรุนแรงและโอกาสการเกิดของเหตุการณ์ที่จะตกอยู่ในสภาวะความเป็นอันตราย ประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้ คือ

1) รายละเอียดของชิ้นส่วนเครื่องจักรอุปกรณ์ (Description)

2) หน้าที่การทำงานของอุปกรณ์ (Function)

3) ลักษณะข้อบกพร่องและความเสียหาย (Failure Mode)

4) แนวโน้มการเกิดผลกระทบและลักษณะข้อบกพร่อง (Potential Failure)

5) แนวโน้มผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้น (Effect)

6) สาเหตุที่ทำให้เกิดผลกระทบ (Cause)

การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) ของชุดกำเนิดลมในรถไฟฟ้า (Air Supply Compressor) มีวัตถุประสงค์หลัก คือการที่จะเปลี่ยนแผนการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling Maintenance) เป็นการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance)

การวิเคราะห์ความวิกฤติแบบใช้ความคิดเห็นหรือเชิงคุณภาพของชุดกำเนิดลม (Air Supply Compressor) ทำได้โดยการนำลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Modes) ที่ได้จากการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง (FMEA) หลังจากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยเกณฑ์พิจารณาความรุนแรงและโอกาสการเกิดข้อบกพร่องในเชิงคุณภาพ ของแต่ละลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Modes) (ดูได้จากภาคผนวก ก ตารางที่ ก.9-ก.11 หน้า 96-97)

3.3.3 การจัดลำดับความเสี่ยงของลักษณะข้อบกพร่อง

การจัดลำดับค่าความเสี่ยงของลักษณะข้อบกพร่อง ซึ่งเป็นขั้นตอนการระบุ บ่งชี้ถึงความเร่งด่วนในการจัดการ และหามาตรการป้องกันให้ได้ทันท่วงที เพื่อไม่ให้แนวโน้มของลักษณะข้อบกพร่อง (Potential Failure) เหล่านั้นลุกลามจนก่อให้เกิดความเสียหายขึ้นได้

การจัดลำดับค่าความเสี่ยงของลักษณะข้อบกพร่องทำได้ด้วยกันหลายวิธีการ และวิธีที่เป็นที่นิยมใช้กันมากได้แก่ วิธีการจัดลำดับความเสี่ยงโดยการใช้แผนภูมิแท่งจัดลำดับ (Pareto Diagram) เป็นแผนภูมิทางสถิติที่นำมาใช้เป็นเครื่องมือในการควบคุมคุณภาพของการผลิต โดยอาศัยหลักการจัดเรียงลำดับตามความสำคัญของปัญหาที่เกิดขึ้นในการผลิตหรือการให้บริการ และอีกวิธีการหนึ่งเป็นการเรียงลำดับความสำคัญตามความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้น โดยอาศัยการใช้เกณฑ์ในการพิจารณาตามความรุนแรง (Severity) เพื่อที่จะได้นำรายการต่างๆของแต่ละลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Modes) มาทำการพิจารณาตามความสำคัญก่อนหลังในการหามาตรการป้องกันและแก้ไขปรับปรุงก่อนหลังตามลำดับแรก

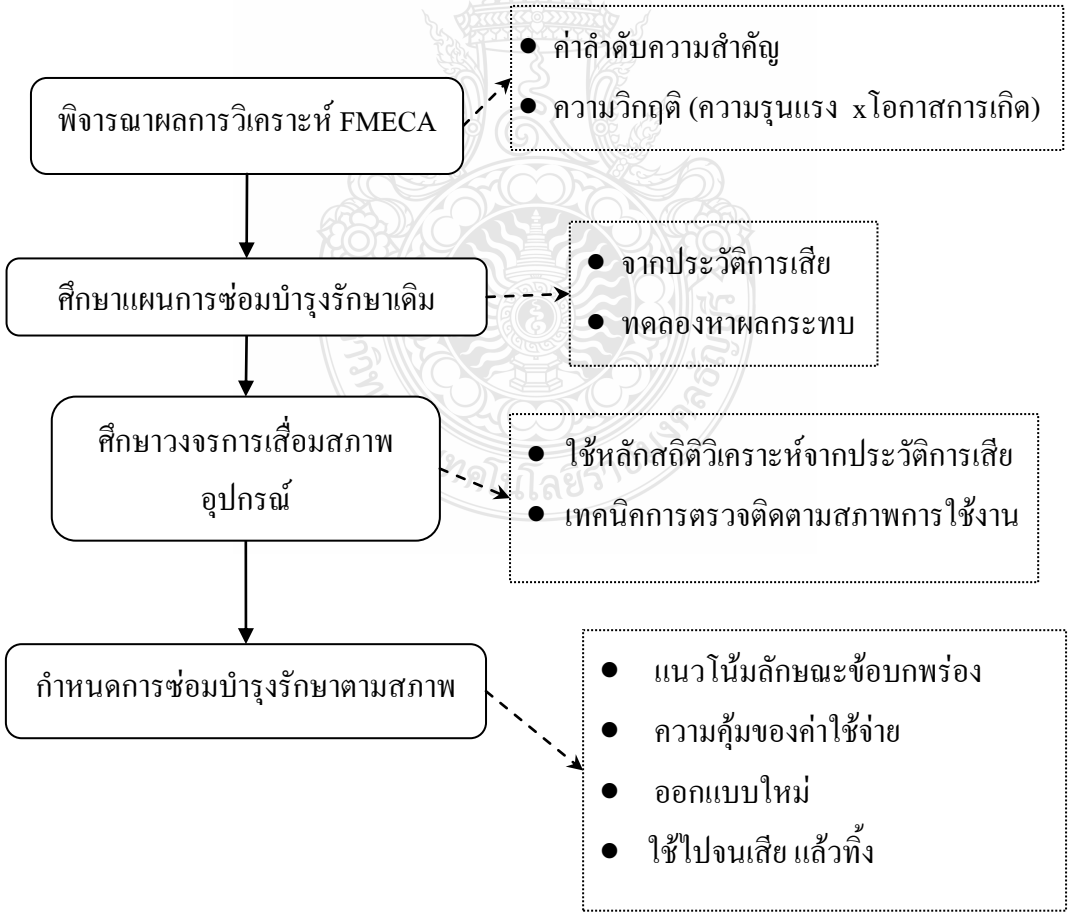
การจัดลำดับตามความวิกฤติ เป็นวิธีการเรียงลำดับความสำคัญตามความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นโดยใช้เกณฑ์ในการพิจารณาจากความรุนแรง (Severity) และโอกาสความน่าจะเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (Likelihood of Occurrence)

ลำดับความเสี่ยง = ความรุนแรง x โอกาสความน่าจะเกิดลักษณะข้อบกพร่อง
Risk Priority Number (RPN) = Severity (S) x Likelihood of Occurrence (O) (3.1)

3.4 การสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance)

การสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ ทำได้โดยการนำผลการวิเคราะห์ FMECA มาทำการพิจารณาร่วมกับแผนการซ่อมบำรุงรักษาที่ใช้อยู่เดิม โดยใช้ความคิดเห็นของทีมงานการวิเคราะห์ FMECA ด้วยวิธีการตรวจติดตามสภาพการใช้งาน (Condition Monitoring) ก่อนอุปกรณ์ต่างๆ เหล่านั้นจะเกิดอาการชำรุด เสียหาย ปัจจัยต่างๆที่ต้องคำนึงถึงในการสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance) สามารถกล่าวสรุปได้ดังนี้

- ศึกษาถึงอายุและชิ้นส่วนของเครื่องจักร (Age Exploitation)
- ศึกษาผลกระทบและความเสียหายจากการเสีย (Failure Consequence Analysis)
- ศึกษาวิธีการตรวจสอบ (Inspection Finding Analysis)
- วิเคราะห์ข้อเท็จจริง (Actuarial Analysis)
- รายงานสมรรถนะเครื่องจักร (Asset Performance Report)
- รายงานสมรรถนะการบำรุงรักษา (Maintenance Strategic Report)
- ดัชนีการวิเคราะห์งานบำรุงรักษา (Maintenance Performance Indices)



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนและเกณฑ์การพิจารณาในการสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ

จากรูปที่ 3.4 แสดงการสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ แบ่งออกได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

3.4.1 พิจารณาผล FMECA เพื่อสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ

การพิจารณาผลการวิเคราะห์ FMECA เพื่อทำการสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance) สามารถทำได้โดยการพิจารณาจากค่าลำดับความสำคัญ (Risk Priority Number, RPN) ซึ่งสามารถบอกลำดับความสำคัญก่อนหลังที่ต้องหามาตรการป้องกันของลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Modes) ถ้าค่าลำดับความสำคัญ (RPN) ต่ำมาก จะบอกถึงลักษณะข้อบกพร่องต้องการมาตรการป้องกันที่ต่ำด้วย ซึ่งสามารถทำการมองข้ามหรือทำการยกเลิกลักษณะข้อบกพร่องนั้น ไม่จำเป็นต้องทำการสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพเลยก็ได้ และอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ค่าความวิกฤติ (Criticality) หมายถึง การพิจารณาจากระดับความรุนแรง (Severity) กับโอกาสในการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (Likelihood of Occurrence) สามารถใช้เกณฑ์จากแนวทางการวิเคราะห์ความวิกฤติตาม MIL-STD-882C [13] เป็นเกณฑ์ ตัดสินใจในการยอมรับความวิกฤติในแต่ละลักษณะข้อบกพร่อง

3.4.2 ศึกษารายละเอียดแผนการซ่อมบำรุงรักษาเดิม

แผนการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์และชิ้นส่วนต่างๆของชุดกำเนิดลม มีแผนการบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintenance) เป็นอย่างดี โดยมีระบบการวางแผนการจัดการงานซ่อมบำรุงรักษาด้วยคอมพิวเตอร์ (Computerized Maintenance Management System, CMMS) ซึ่งมีแผนการซ่อมบำรุงรักษาอย่างเข้มงวด และเป็นไปตามระยะเวลา (Time Based) หรือจำนวนปริมาณการใช้งานกำหนด (Counter Based) ขึ้นอยู่กับว่าระยะเวลาหรือจำนวนปริมาณการใช้งาน อย่างใดถึงก่อน เช่น มีการตรวจสอบอุปกรณ์แต่ละชิ้นเป็นประจำทุกๆ 6 เดือน 1 ปี ตามตารางกำหนด และหลังจากการใช้งานประมาณ 8 ปี จะต้องทำการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพครั้งใหญ่ (Overhaul Scheduling Maintenance)

จากประสบการณ์ที่ผ่านมาในการบริหารจัดการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพกับอุปกรณ์ในระบบอื่น เช่น ระบบโบกี้ (Bogie System) ระบบต่อพ่วง (Coupler System) ระบบห้ามล้อ (Brake System) ทำให้พบได้ว่า มีความยุ่งยากในการบริหารจัดการ ทั้งทางด้านแรงงาน และการจัดหาวัสดุอะไหล่จำนวนมาก เนื่องจากการในการซ่อมปรับคืนสภาพนั้นมีผลกระทบโดยตรงกับอะไหล่บางส่วนที่ยังไม่หมดอายุการใช้งานแต่เมื่อมีการรื้อ ซ่อมครั้งใหญ่แล้ว อะไหล่หรือชิ้นส่วนเหล่านี้ต้องทำการเปลี่ยนทิ้ง ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ รวมถึงอุปกรณ์หรืออะไหล่ในการสับเปลี่ยน (Turnaround Material) ต้องทำการจัดหา เพื่อไม่ให้มีผลกระทบต่อการหยุดการให้บริการของขบวนรถไฟฟ้า ในกรณีที่อุปกรณ์เหล่านั้นกำลังซ่อมอยู่ และยังรวมทั้งปัญหาทางด้านแรงงาน ต้องมีการจ้างแรงงานด้านการจัดหาอุปกรณ์และอะไหล่ ทั้งในและต่างประเทศ อีก จำนวน 1-2 คน ยังรวมทั้งปัญหาการจ้างงานของ จำนวนพนักงานซ่อมบำรุงรักษาทีละจำนวนมากๆ เนื่องจากต้องการให้โครงการได้

จบลงอย่างเร็วที่สุด เมื่อโครงการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพครั้งใหญ่เสร็จสิ้นลงแล้ว ก็เกิดปัญหากับพนักงานจำนวนมากที่จ้างมาแล้ว ไม่มีงานทำต่อ และพนักงานเหล่านี้มีประสบการณ์สูง ยากที่จะหา และเมื่อจบงานแล้วก็ยากที่จะหางานใหม่ให้

การศึกษาแผนการซ่อมบำรุงรักษาเดิมของชุดกำเนิดลมในครั้งนี้ เนื่องจากอุปกรณ์ชุดกำเนิดลมนี้ยังไม่มีประวัติการเสียของอุปกรณ์เกิดขึ้น ดังนั้นจึงต้องทำการทดลองปฏิบัติตามแผนการซ่อมปรับคืนสภาพเดิมกับชุดกำเนิดลมจำนวน 3 ชุด เมื่อถึงตามระยะเวลากำหนดที่ระยะเวลา 8 ปี หรือ 12,000 ชั่วโมงการทำงาน (ชุดกำเนิดลมนี้ไม่ได้ทำงานตลอดเวลาขณะให้บริการจะทำงานในขณะที่มีแรงดันต่ำกว่า 8.5 บาร์ ชั่วโมงการทำงานวัดจากการติดตั้งเครื่องมือวัดขณะขบวนรถไฟฟ้ากำลังให้บริการ)

3.4.3 ศึกษาวงจรการเสื่อมสภาพของชุดกำเนิดลม (Air Supply Compressor)

การศึกษาวงจรการเสื่อมสภาพของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ เป็นการค้นหาช่วงระยะเวลาต่างๆ ของการชำรุดและเสื่อมสภาพจากการใช้งานของเครื่องจักรตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ซึ่งได้แก่

1) ระยะเริ่มต้นการใช้งาน (Run-In Period)

2) ระยะการใช้งานปกติ (Useful Life Period)

3) ระยะการสึกหรอ (Wear Out Period)

การสืบค้นหาวงจรการเสื่อมสภาพในแต่ระยะเวลาของเครื่องจักรทำได้โดยการใช้หลักสถิติช่วยในการวิเคราะห์หาแนวโน้มการเกิดการเสีย (Potential Failure) สำหรับเครื่องจักรที่มีประวัติการเสียเกิดขึ้น และถ้าเครื่องจักรนั้นไม่มีข้อมูลของประวัติการเสียเกิดขึ้นที่เพียงพอ ต้องอาศัยประสบการณ์หรือความเชี่ยวชาญของผู้กำหนดแผนการซ่อมบำรุงรักษาช่วย หรือใช้เทคนิคการตรวจติดตามสภาพการใช้งาน (Condition Monitoring Techniques) แล้วทำการพยากรณ์ (Prediction) ถึงแนวโน้มของความเสียหายที่จะเกิดขึ้น

สำหรับการศึกษาวงจรการเสื่อมสภาพของชุดกำเนิดลมในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้ผลการทดลองจากแผนการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling) และการตรวจสภาพการใช้งานของชุดกำเนิดลมในสภาพที่กำลังทำงานอยู่ หลังจากนั้นนำผลมาทำการพิจารณาร่วมกับผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA)

เทคนิคการตรวจติดตามสภาพการใช้งาน (Condition Monitoring Techniques) ที่นำมาใช้กับชุดกำเนิดลมในครั้งนี้ ได้แก่

1) เทคนิคการตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางอนุภาค (Particle Effects) ซึ่งใช้วิธีการวิเคราะห์การสึกหรอของอุปกรณ์จากการวิเคราะห์น้ำมัน (Oil Analysis)

เกณฑ์การตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางอนุภาคจากการวิเคราะห์น้ำมัน ซึ่งทำการวัดโดยการเพิ่มขึ้นของปริมาณการสึกหรอของเศษวัสดุที่ปนเปื้อนมากับน้ำมันหล่อลื่น ซึ่งสามารถ

ทำการอ่านผลการวิเคราะห์ได้จากผลการวิเคราะห์น้ำมันของห้องปฏิบัติการสามารถกำหนดออกเป็นระดับได้ 3 ระดับ ดังนี้

2) เทคนิคการตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิ (Temperature Effects) ใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ

3.4.4 กำหนดกิจกรรมการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance)

การกำหนดกิจกรรมการซ่อมบำรุงรักษาทำได้ตามเงื่อนไขเชิงพาณิชย์ และความเป็นไปได้ทางเทคนิค แผนการซ่อมบำรุงรักษาที่เหมาะสมที่สุด คือการเป็นไปตามหลักการ การคงสภาพการใช้งานของเครื่องจักรนั้นไว้ให้ใช้งานได้นานที่สุด ในค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงรักษาที่ต่ำที่สุด ซึ่งสามารถสรุปการพิจารณาการกำหนดกิจกรรมการซ่อมบำรุงรักษาได้ดังดังนี้

1) พิจารณาจากแนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Mode) สามารถทำการพยากรณ์การเกิดอาการเสียได้ล่วงหน้าจากผลของการตรวจติดตามสภาพการใช้งาน

2) พิจารณาจากค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา เช่น อุปกรณ์บางชนิดสำหรับใช้ในการตรวจติดตามสภาพอาจจะมีราคาสูง ต้องทำการพิจารณาร่วมกับการใช้งานในอุปกรณ์อื่น หรือในแผนกอื่นด้วยถ้าเป็นไปได้

3) พิจารณาจากผลการติดตามสภาพการใช้งาน ถึงการยกเลิกแผนการซ่อมบำรุง ถ้ามีความเกี่ยวเนื่องกับค่าใช้จ่าย อาจจะพิจารณาถึงการซ่อมบำรุงรักษาแบบเสียแล้วซ่อม (Run to Fail) หรือทำการพิจารณาการซ่อมบำรุงรักษาแบบออกแบบใหม่ เลยก็ได้

3.5 การนำเสนอโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ

การนำเสนอโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ เป็นการอธิบายหรือชี้แจงให้ทุกฝ่ายที่มีส่วนเกี่ยวข้องทราบและเข้าใจถึงผลและประโยชน์ที่จะได้รับจากโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพให้เข้าใจอย่างชัดเจน เพื่อที่จะทำการอนุมัติในการประยุกต์ใช้โมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพต่อไป

การนำเสนอโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพในครั้งนี้ เริ่มต้นจาก วิทยากรกระบวนการ (Facilitator) ได้ทำการสรุปผลการดำเนินงานวิเคราะห์ FMECA ให้ทีมทั้งหมดก่อน สำหรับการศึกษาถึงการพัฒนาโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพในครั้งนี้ต้องมีการนำเสนอกับฝ่ายบริหาร ในการจัดตั้งงบประมาณในการจัดซื้ออุปกรณ์ และค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์น้ำมัน

3.6 การประยุกต์ใช้โมดูลการซ่อมบำรุงแบบตามสภาพ

การประยุกต์ใช้โมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพจะเกิดขึ้นหลังจากที่มีการนำเสนอผ่านจากฝ่ายบริหารเรียบร้อยแล้ว จากการศึกษาในครั้งนี้ได้มีการทดลองใช้กับชุดกำเนิดลมของโรงซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้า สามารถสรุปเป็นขั้นตอนการประยุกต์ใช้โมดูลการซ่อมบำรุงแบบตามสภาพ (Condition Based Maintenance) ได้ดังนี้

3.6.1 การเตรียมการใช้โมดูลการซ่อมบำรุงแบบตามสภาพ

ขั้นตอนการเตรียมการใช้โมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ เป็นขั้นตอนหนึ่งที่มีความจำเป็นต่อการทำให้บรรลุผลในการประยุกต์ใช้งาน เนื่องจากบางกิจกรรมต้องมีการเพิ่มเข้าไปในแผนเดิม และทางตรงกันข้ามบางกิจกรรมของการซ่อมบำรุงรักษาก็ต้องถูกยกเลิก วิธีและขั้นตอนการปฏิบัติงานต้องเริ่มต้นจากการศึกษาถึงการใช้โมดูลการซ่อมบำรุงแบบตามสภาพพร้อมกันกับการนำเสนอโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ เนื่องจากอาจจะมีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม จะได้มีการนำเสนอในครั้งเดียวกัน ซึ่งสามารถทำการสรุปขั้นตอนการเตรียมการใช้โมดูลซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพได้ดังนี้

1) จัดการฝึกอบรมให้กับพนักงานซ่อมบำรุงเข้าใจถึงแผนการซ่อมบำรุงใหม่
2) จัดการฝึกอบรมเกี่ยวกับการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ใหม่ที่จะนำมาใช้
3) จัดเตรียมตารางการเก็บตัวอย่างต่างๆ
4) จัดทำคู่มือการปฏิบัติงาน

3.6.2 การเตรียมอุปกรณ์

การเตรียมอุปกรณ์สำหรับการตรวจติดตามสภาพการใช้งาน (Condition Monitoring) ของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ ต้องทำการศึกษาถึงการใช้เครื่องมือชนิดนั้นอย่างละเอียดและเข้าใจก่อนที่จะลงมือทำงานกับเครื่องมือนั้น หรือสามารถทำได้โดยการส่งพนักงานซ่อมบำรุงรักษาที่มีส่วนเกี่ยวข้องเข้าอบรมกับหน่วยงานที่เชี่ยวชาญกับการวิเคราะห์และใช้เครื่องมือเหล่า นั้น ตัวอย่างเช่น การเก็บตัวอย่างน้ำมันสำหรับการวิเคราะห์ (Oil Analysis Sampling) ได้มีการจัดการฝึกอบรมจากบริษัทที่มีความชำนาญเฉพาะด้าน เพื่อทำการฝึกอบรมให้กับพนักงานทีมีส่วนในการเก็บน้ำมันสำหรับการวิเคราะห์ และหลังจากนั้น พนักงานต้องมีความเข้าใจ รอบคอบ ละเอียด ใส่ใจกับรายละเอียดกับการใช้งานของอุปกรณ์เหล่านี้ ต้องให้ความสำคัญจุดใดเป็นพิเศษ เช่น เรื่องของความสะอาด การใช้อุปกรณ์อย่างถูกต้อง เพื่อให้ผลการวิเคราะห์นั้นมีความถูกต้องและแม่นยำ แล้วจัดทำคู่มือการปฏิบัติงานอย่างละเอียด

3.6.3 การวางแผนสำรอง

เมื่อมีกิจกรรมการซ่อมบำรุงรักษาใหม่เกิดขึ้นในกิจกรรมที่ทำเป็นปกตินั้น ต้องมีการวางแผนกิจกรรมสำรองขึ้น เพื่อเป็นการป้องกันการส่งมอบรถไฟฟ้าสู่การให้บริการที่ไม่ครบตามจำนวนเนื่อง จากการเสียจากการทำการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ หรืออีกนัยหนึ่งที่เป็นการรองรับในกรณีฉุกเฉินซึ่งสามารถอาจจะเกิดขึ้นได้ ตัวอย่างเช่น สกรูบางตัวไม่เคยถูกคลายออกมาเป็นระยะเวลานานอาจจะเกิดการกัดกร่อนภายในได้ เมื่อมีการคลายสกรูออก อาจทำให้สกรูนั้นขาดคาได้ ต้องใช้เวลานานสำหรับการซ่อมฉุกเฉินของสกรูตัวนี้ บางครั้งอาจจะทำให้การส่งมอบรถไฟฟ้าเข้าสู่ระบบไม่ทันเวลาที่กำหนด ทำให้เกิดการสูญเสียรายได้ และทำให้เกิดผลกระทบทางอ้อมกับความไม่เชื่อมั่น

ของโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพขึ้น ดังนั้นการป้องกันเหตุการณ์ดังตัวอย่างที่ยกมา เรียกว่า การวางแผนสำรอง สำหรับอุปกรณ์ชุดกำเนิดลม ที่นำมาใช้ในการทดลองในครั้งนี้ ได้กำหนดแผนสำรอง คือ การเตรียมชุดเก็บตัวอย่างน้ำมันสำหรับการวิเคราะห์อย่างน้อยจำนวน 2 ชุด การเตรียมอุปกรณ์อัดอากาศ จำนวน 1ชุด พร้อมใช้งานทันทีเมื่อเกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินเกิดขึ้น มีการปรับแต่งศูนย์ของเครื่องมือ (Calibration) ให้พร้อมใช้เสมอ ถ้าเครื่องมือหรืออุปกรณ์ดังกล่าวไม่มีความพร้อม ต้องมีความระมัดระวังในการทำงานอย่างมาก หรือไม่ควรจะเริ่มงานเลย เพื่อตัดปัญหาที่ไม่คาดคิดไว้ว่าจะเกิดขึ้น

3.7 การสรุปผลการดำเนินงานการพัฒนาโมดูลการซ่อมบำรุงรักษา

การสรุปผลการดำเนินงานการพัฒนาโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาจากการศึกษาในครั้งนี้ ได้ทำการสรุปผลการดำเนินงานโดยใช้การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานระหว่างการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling Maintenance) และการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance) ซึ่งสามารถแสดงวิธีการวัดและประเมินผลการดำเนินงานได้ดังนี้

3.7.1 การสรุปค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา

1) ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสู่สภาพ(Overhaul Scheduling Maintenance) สามารถแบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ๆได้ ดังนี้

- ค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับด้านวัสดุ (Material Cost) ซึ่งค่าใช้จ่ายส่วนนี้เกิดจากการสั่งซื้อวัสดุที่ต้องนำมาเปลี่ยนในขณะที่ทำการซ่อมใหญ่ (Overhaul) สามารถแบ่งออกได้ตามลักษณะของการใช้วัสดุในส่วนต่างๆในการซ่อมบำรุงรักษาดังต่อไปนี้คือ

ก. วัสดุที่ต้องทำการเปลี่ยนเมื่อมีการรื้อหรือถอดประกอบทุกครั้ง (Replaced by Dismantling Material, RDM)

ข. วัสดุที่ต้องทำการเปลี่ยนเมื่อถึงระยะการทำการซ่อมครั้งใหญ่ (Replaced by Mandatory Material, RMM)

ค. วัสดุที่ต้องทำการตรวจสภาพการใช้งานก่อน ถ้าสภาพดีสามารถประกอบกลับเพื่อใช้งานต่อได้ (Replaced by Condition Material, RCM)

ง. วัสดุที่ต้องจัดเตรียมในการสับเปลี่ยนขณะทำการซ่อมใหญ่ (Replaced by Turnaround Material, RTM)

จ. วัสดุสิ้นเปลืองใช้แล้วหมดไป (Consumable Material, CSM) เช่น เศษผ้าใช้สำหรับทำความสะอาด น้ำมันหรือสารเคมีที่ใช้สำหรับการทำความสะอาด กาวกันคลาย (Screw Locking Glue) เป็นต้น

- ค่าใช้จ่ายในด้านแรงงาน (Labor Cost) แบ่งออกได้เป็นสองลักษณะคือค่าใช้จ่ายทางตรงและค่าใช้จ่ายทางอ้อม

ก. ค่าใช้จ่ายทางตรง (Direct Labor) คือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากแรงงานที่เกี่ยวข้องโดยตรงกับกิจกรรมการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์นั้นจริงๆ เช่น ค่าแรงงานในการซ่อม ค่าแรงงานในการทดสอบอุปกรณ์

ข. ค่าใช้จ่ายทางอ้อม (Indirect Labor Cost) คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการควบคุมงาน (Supervisor) วิศวกร ค่าผู้ขนย้ายวัสดุ หรือค่าโสหุ้ย เป็นต้น

2) ค่าใช้ในจ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance สามารถทำการแบ่งออกได้ตามลักษณะของการใช้งานนั้นๆ เช่น

- ค่าใช้จ่ายในทางด้านการจัดหาวัสดุและอุปกรณ์ของการติดตามสภาพ เช่น อุปกรณ์ในการตรวจจับความสั่นสะเทือน (Vibration Detector) เครื่องตรวจจับคลื่นเสียงความถี่สูง (Ultrasound Detector) เครื่องตรวจจับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ (Temperature Detector) เป็นต้น
- ค่าใช้จ่ายในการตรวจสอบหรือการวิเคราะห์ เช่น การวิเคราะห์น้ำมัน (Oil Analysis) การวิเคราะห์ความคงทน (Endurance Analysis) เป็นต้น
- ค่าแรงงานในการจัดเก็บตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์
- ค่าแรงงานในการวิเคราะห์สภาพการใช้งาน

3.7.2 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงรักษา

การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างการซ่อมบำรุงรักษาตามระยะเวลาปรับคืนสู่สภาพ และการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ เพื่อการตัดสินใจทำการเลือกวิธีการซ่อมบำรุงรักษาที่มีผลประโยชน์และตอบแทนที่ดีที่สุด เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าของเงินตามกาลเวลา มีปัจจัยหลักอยู่ 3 ประการ คือ อัตราดอกเบี้ย (Interest Rate) ระยะเวลา (Period of Time) และจำนวนเงินต้น (Capital)

การเลือกวิธีการเปรียบเทียบในการศึกษาครั้งนี้ คือ วิธีมูลค่าเทียบเท่ารายปี (Annual Worth) เนื่องจากต้องการทราบถึงกระแสเงินสดที่เท่ากันในจำนวนของแต่ละช่วงเวลา ของวิธีการซ่อมบำรุงรักษาทั้งสองวิธีในระยะยาว

1) การเปรียบเทียบโครงการด้วยวิธีเงินทุนนิรันดร คือ การลงทุนที่มีอายุอนันต์ และใช้วิธีค่าเงินเทียบเท่าปีปัจจุบันในการเปรียบเทียบ โครงการที่มีอายุยืนยาว เช่น งานทางสาธารณูปโภคของรัฐ ถนน ท่อระบายน้ำ เขื่อน ทางรถไฟ อุโมงค์รถไฟฟ้าใต้ดิน สนามบิน โครงการต่างๆเหล่านี้ มีอายุที่ถึง 50 ปี หรือมากกว่านั้น ในกรณีที่โครงการมีอายุมากๆนั้น ค่าปัจจัยที่ใช้ในการคำนวณมาค่าที่ใกล้เคียงกัน หรือ เมื่อแทนค่า n ให้มีค่ามากๆ หรือเป็นอนันต์ในสูตรดอกเบี้ยต่างๆก็สามารถสร้างสูตรที่เกี่ยวข้องกับการคำนวณในเรื่องนี้ได้

จากสูตรดอกเบี้ย $$P = A\left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right]$$

นำค่า $(1+i)^n$ สมการด้านบน

$$P = A\left[\frac{1-\frac{1}{(1+i)^{n}}}{i}\right]$$

แทนค่า $n \to \infty$

$$P = A\left[\frac{1-\frac{1}{(1+i)^{\infty}}}{i}\right] = A\left[\frac{1-\frac{1}{\infty}}{i}\right] = A\left[\frac{1}{i}\right]$$

$$P = \frac{A}{i} \quad \text{หรือ} \quad Pw = \frac{Aw}{i} \tag{3.2}$$

2) การเลือกอัตราดอกเบี้ยที่ใช้ในการคำนวณการเปรียบเทียบ

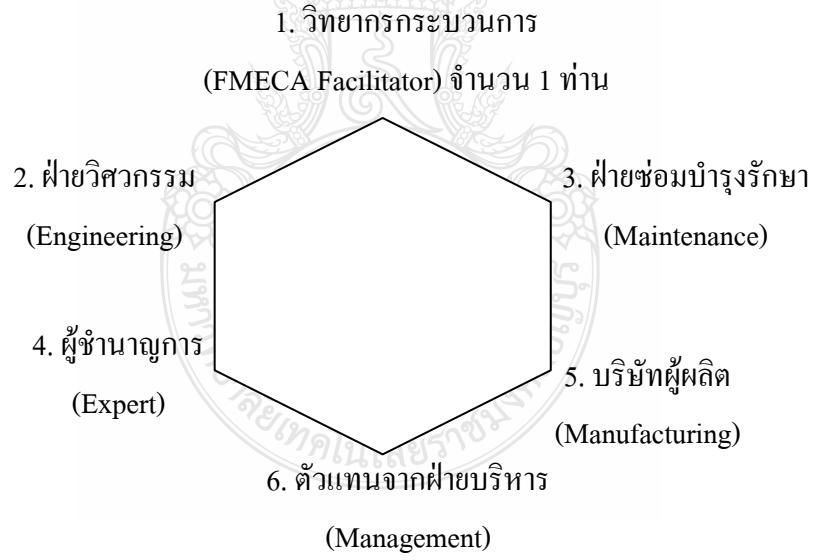
การเลือกใช้อัตราดอกเบี้ยในการใช้คำนวณการเปรียบเทียบโครงการ เนื่องจากอัตราดอกเบี้ยการปรับตัว ลด และเพิ่มได้ตามสภาวะเศรษฐกิจ ดังนั้นการอนุมัติพิจารณาสินเชื่อในการกู้ยืมของสถาบันการเงิน มีองค์ประกอบอื่นๆมาเกี่ยวข้องด้วย ดังนั้น ในการคำนวณการเปรียบเทียบโครงการในครั้งนี้ ได้ทำการสมมุติอัตราดอกเบี้ยที่ร้อยละ 6 ต่อปี ซึ่งจากอัตราดอกเบี้ยการให้สินเชื่อจากธนาคารพาณิชย์ ณ วันที่ 16 กันยายน 2553 จากเว็บไซต์ระบบข้อมูลอินเตอร์เน็ตของธนาคารแห่งประเทศไทย (ดูจากภาคผนวก ฉ ตารางที่ ฉ.1 หน้า 125)

บทที่ 4
ผลการดำเนินการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินการวิจัย ซึ่งจะแสดงผลตามลำดับขั้นตอนของการดำเนินการวิจัยตามที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ซึ่งประกอบด้วย ทีมงานการวิเคราะห์ FMECA อุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ FMECA ผลการวิเคราะห์ FMECA โมดูลการซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้าตามสภาพ ผลการนำเสนอโมดูลการซ่อมบำรุงแบบตามสภาพ ผลการประยุกต์ใช้โมดูลการซ่อมบำรุงแบบตามสภาพ และการสรุปผลการดำเนินงานการพัฒนาโมดูลการซ่อมบำรุงรักษา

4.1 ทีมงานการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA)

ทีมงานในการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) ของอุปกรณ์ชุดกำเนิดลม (Air Supply Unit) ของรถไฟฟ้าในครั้งนี้ประกอบด้วย 9 ท่าน จากกลุ่มบุคลากรในแต่ละด้าน ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 ทีมงานวิเคราะห์ FMECA ของอุปกรณ์ชุดกำเนิดลม (Air supply Unit)

จากรูปที่ 4.1 แสดงถึงทีมงานในวิเคราะห์ FMECA ของอุปกรณ์ชุดกำเนิดลม (Air supply Unit) ประกอบด้วยคณะทำงานดังกล่าวซึ่งประกอบด้วยกลุ่มบุคลากรดังต่อไปนี้

1) วิทยากรกระบวนการ (FMECA Facilitator) จำนวน 1 ท่าน ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการดำเนินการอภิปราย แลกเปลี่ยน เสนอความคิดเห็น ถึงปัญหา (Discuss) ที่เกี่ยวข้อง ของแต่ละฝ่ายในการวิเคราะห์ FMECA

2) ฝ่ายวิศวกรรม (Engineering) จำนวน 2 ท่าน มีหน้าที่สนับสนุนข้อมูลเกี่ยวกับประวัติการเสียของอุปกรณ์ และทำการศึกษาการวิเคราะห์ FMECA เพื่อที่จะทำหน้าที่แทนวิทยากรกระบวนการ (FMECA Facilitator) ในอนาคตด้วย

3) ฝ่ายซ่อมบำรุงรักษา (Maintenance) จะต้องเป็นบุคลากรที่ทำงานอยู่ในฝ่ายซ่อมบำรุงรักษาที่มีความรู้เกี่ยวกับการวางแผนการซ่อมบำรุงรักษา ซึ่งประกอบด้วยวิศวกรซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้าทั้งสองแห่งจำนวน 4 ท่าน ทำหน้าที่อภิปราย แลกเปลี่ยน และเสนอความคิดเห็น ในแต่ละด้านของปัญหา (Discuss) ที่จะเกิดขึ้น

4) ผู้ชำนาญการ (Expert) คือบุคลากรที่มีประสบการณ์ และความชำนาญกับอุปกรณ์ที่วิเคราะห์นั้นเป็นอย่างดี จะต้องให้ข้อมูลสนับสนุนการวิเคราะห์ตามประสบการณ์แก่กลุ่มอย่างถูกต้องเที่ยงตรง อีกทั้งต้องเป็นผู้ติดต่อประสานงานกับบริษัทผู้ผลิตถึงปัญหาที่ยังไม่มีความกระจ่างชัดเจน จำนวน 1 ท่าน

5) บริษัทผู้ผลิต (Manufacturing) ซึ่งหมายถึงบริษัทผู้ผลิต หรือเจ้าของผลิตภัณฑ์นั้นรวมผู้วิจัยพัฒนา และออกแบบที่เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์นั้น ในการวิเคราะห์ในครั้งนี้ตัวแทนจากบริษัทผู้ผลิตไม่ได้เข้าร่วมแต่ได้มีการสอบถามถึงปัญหาที่เกี่ยวข้องและการนำผลสรุปเสนอต่อบริษัทผู้ผลิตภายหลัง

ตัวแทนจากฝ่ายบริหาร จำนวน 1 ท่าน ทำหน้าสังเกตการณ์ และสนับสนุนข้อมูลเพิ่มเติมในด้านที่มีความรู้และเกี่ยวข้อง

4.2 อุปกรณ์ที่นำมาวิเคราะห์ FMECA

อุปกรณ์และส่วนประกอบต่างๆในระบบรถไฟฟ้ามีหน้าที่การทำงานที่มีความสัมพันธ์กันทั้งระบบ เมื่อระบบใดระบบหนึ่งขัดข้องลงแล้วอาจจะส่งผลกระทบทำให้ระบบรถไฟฟ้าหยุดให้บริการทั้งระบบได้ ระบบต่างๆประกอบไปด้วยหลายส่วนประกอบ (Components) ด้วยกัน และสามารถทำการแยกออกเป็นระบบย่อยในระดับอุปกรณ์ (Equipments) ได้มากมาย อุปกรณ์เหล่านั้นต้องการแผนการซ่อมบำรุงรักษาที่มีความเหมาะสม ถ้ามากเกินไปก็จะส่งผลกระทบด้านต้นทุนในการซ่อมบำรุงรักษาและถ้าน้อยเกินไป ก็อาจจะส่งผลกระทบทางด้านความปลอดภัยได้ ดังนั้นในการเลือกอุปกรณ์ที่นำมาวิเคราะห์ต้องให้ลำดับความสำคัญอย่างเหมาะสมเพื่อจะได้รับประโยชน์อย่างสูงสุด

4.2.1 ผลของการสร้างเกณฑ์การประเมินความวิกฤติของอุปกรณ์

การเลือกอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ในครั้งนี้ได้ทำการกำหนดวิธีการเลือกอุปกรณ์ตามความวิกฤติ โดยมีหลักการประเมินและพิจารณาดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ผลของการกำหนดเกณฑ์การประเมินสามารถดูได้จากภาคผนวก ก ตารางที่ ก.1-ก.5 หน้า 90-92

4.2.2 ผลการวิเคราะห์ความวิกฤติในการเลือกอุปกรณ์

ผลจากการประเมินความวิกฤติในการเลือกอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์ FMECA ในครั้งนี้ได้ทำการประเมินผลกระทบทางด้านเศรษฐศาสตร์ ทางด้านความปลอดภัยและทางด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถจัดระดับความวิกฤติออกได้เป็นสามกลุ่ม คือ สูง กลาง ต่ำ รายละเอียด ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การประเมินความวิกฤติอุปกรณ์จากการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ

ส่วนประกอบ	วิเคราะห์ความวิกฤติ											
	ด้านเชิงพาณิชย์				ด้านความปลอดภัย				ด้านสิ่งแวดล้อม			
	ผลกระทบ	โอกาสการเกิด	ผลคูณ	กลุ่มความวิกฤติ	ผลกระทบ	โอกาสการเกิด	ผลคูณ	กลุ่มความวิกฤติ	ผลกระทบ	โอกาสการเกิด	ผลคูณ	กลุ่มความวิกฤติ
ระบบโบกี้	5	4	20	สูง	4	4	16	สูง	3	3	9	กลาง
ระบบขับเคลื่อน	2	3	6	ต่ำ	3	3	9	กลาง	2	2	4	ต่ำ
ระบบห้ามล้อ	5	4	20	สูง	4	4	16	สูง	3	3	9	กลาง
ระบบกำเนิดลม	**3**	**4**	**12**	**กลาง**	**3**	**3**	**12**	**กลาง**	**3**	**2**	**6**	**กลาง**
ระบบพ่วงต่อ	4	4	16	สูง	4	4	16	สูง	3	3	9	กลาง
ระบบทำความเย็น	4	3	12	สูง	3	2	6	ต่ำ	2	2	4	ต่ำ

จากตารางที่ 4.1 แสดงถึงระดับความวิกฤติของอุปกรณ์ในแต่ระบบของรถไฟฟ้าที่มีแผนการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพในระยะเวลาของการใช้งานมาแล้วประมาณ 8 ปี ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบต่างๆ จากจำนวน 6 ระบบของรถไฟฟ้า ซึ่งได้แก่ ระบบโบกี้ ระบบขับเคลื่อน ระบบห้ามล้อ ระบบกำเนิดลม ระบบพ่วงต่อ และระบบทำความเย็น ค่าประเมินความวิกฤติของอุปกรณ์เมื่อเกิดผลกระทบและข้อบกพร่องของแต่ละด้านสามารถอธิบาย ได้ดังนี้

1) ความวิกฤติด้านเชิงพาณิชย์ หมายถึง การใช้ต้นทุนในการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพในระยะเวลาของการใช้งานมาประมาณ 8 ปี ระบบที่มีความวิกฤติในระดับสูง ได้แก่ ระบบโบกี้ ระบบห้ามล้อ ระบบพ่วงต่อ และระบบทำความเย็น ระบบที่มีความวิกฤติในระดับกลาง ได้แก่ ระบบกำเนิดลม ระบบที่มีความวิกฤติในต่ำ ได้แก่ ระบบขับเคลื่อน

2) ความวิกฤติด้านความปลอดภัย หมายถึง ความเสี่ยงที่จะตกอยู่ในสภาวะความอันตรายเมื่อเกิดข้อบกพร่อง ระบบที่มีความวิกฤติในระดับสูง ได้แก่ ระบบโบกี้ ระบบห้ามล้อ ระบบพ่วงต่อ ระบบที่มีความวิกฤติในระดับกลาง ได้แก่ ระบบขับเคลื่อนและระบบกำเนิดลม ระบบที่มีความวิกฤติในระดับต่ำ ได้แก่ ระบบทำความเย็น

3) ความวิกฤติด้านสิ่งแวดล้อม หมายถึง ความเสี่ยงจะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเมื่อเกิดข้อบกพร่องขึ้น ซึ่งไม่มีระบบใดที่มีความวิกฤติในระดับสูง ระบบที่มีความวิกฤติในระดับกลาง ได้แก่ ระบบโบกี้ ระบบห้ามล้อ ระบบกำเนิดลม ระบบพ่วงต่อ ระบบที่มีความวิกฤติในระดับต่ำ ได้แก่ ระบบทำความเย็น

4.2.3 สรุปผลการเลือกอุปกรณ์สำหรับการวิเคราะห์

เกณฑ์การเลือกอุปกรณ์สำหรับการวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการเลือกอุปกรณ์ที่อยู่ในกลุ่มความวิกฤติปานกลางในการวิเคราะห์ความวิกฤติจากทั้งสามด้าน ได้แก่อุปกรณ์ที่อยู่ใน ระบบชุดกำเนิดลม ซึ่งเป็นหนึ่งจากจำนวน 6 ระบบของรถไฟฟ้าที่มีการกำหนดถึงแผนการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ ได้แก่ ระบบโบกี้ ระบบขับเคลื่อน ระบบห้ามล้อ ระบบพ่วงต่อ ระบบทำความเย็น และระบบชุดกำเนิดลม เนื่องจากระบบชุดกำเนิดลมนี้ อยู่ในกลุ่มของระบบที่มีความวิกฤติระดับปานกลาง (Moderate) ที่มีผลกระทบต่อการให้บริการรถไฟฟ้าบ้างแต่ไม่มีความรุนแรงมาก ซึ่งสามารถทำให้เกิดการได้รับบาดเจ็บถึงขั้นต้องหยุดงานได้ เมื่อมีการเกิดของข้อบกพร่องนั้นขึ้น ส่วนด้านของต้นทุนในการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพนั้น ก็อยู่ในระดับปานกลางเช่นกัน ซึ่งมีความน่าสนใจที่ทำการศึกษาเพื่อการลดต้นทุนในการซ่อมบำรุงรักษา และอีกทั้งอุปกรณ์กำเนิดลมนี้ยังเป็นระบบที่มีความซับซ้อนไม่มากนัก เหมาะสำหรับทำการศึกษาเพื่อเป็นโครงการนำร่องต้นแบบในการวิจัยครั้งต่อไป ดังนั้นระบบนี้เหมาะสมกับการนำมาวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้

4.3 ผลการวิเคราะห์ FMECA

การแสดงผลการวิเคราะห์ FMECA สามารถทำการนำเสนอผลโดยการแบ่งออกตามลักษณะของขั้นตอนการวิเคราะห์ได้ดังต่อไปนี้

4.3.1 ผลการวิเคราะห์ FMEA

ซึ่งจะประกอบด้วยรายละเอียดต่างๆ ดังต่อไปนี้ คือ รายการ หน้าที่ของอุปกรณ์ และแนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบสามารถนำเสนอโดยภาคผนวก ข ตารางหน้า 99-108

4.3.2 ผลการวิเคราะห์ ความวิกฤติ

ผลของความวิกฤติหมายถึง ข้อมูลที่มีความสำคัญสูงที่จะส่งให้เกิดผลกระทบกับเครื่องจักรหรือกระบวนการนั้น ให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องขึ้น การวิเคราะห์ความวิกฤติ ได้ใช้เกณฑ์จากแนวการวิเคราะห์ความวิกฤติตาม ภาคผนวก ก ตารางที่ ก.9-ก.11 หน้า 96-97 มาทำการวัดผลการ

ยอมรับลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Modes) สามารถทำการสรุปของระดับความวิกฤติได้ 4 กลุ่ม แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความวิกฤติในแต่ละลักษณะข้อบกพร่องของชุดกำเนิดลม

กลุ่มความวิกฤติ	ระดับความวิกฤติ Hazard Risk Index	เกณฑ์การพิจารณา Criteria	รายการลักษณะข้อบกพร่องของชุดกำเนิดลม
I	IA, IB, IC, IIA, IIB, IIIA	ความวิกฤติที่ไม่สามารถยอมรับ Risk Unacceptable	ไม่มีรายการของลักษณะข้อบกพร่องแสดง
II	ID, IIC, IID, IIIB, IIIC	ความวิกฤติที่ยังไม่ตัดสินการยอมรับRisk Undesirable	รายการ 1A ทั้งหมด ยกเว้นรายการ 1A13
III	IE, IIE, IIID, IIIE, IVA, IVB	ความวิกฤติที่ยอมรับได้ (แต่ต้องผ่านการพิจารณาจากผู้บริหาร)	รายการ 1A13,1E5, 5A3,4,5,6,7, 5B1, 8A1
IV	IVC, IVD, IVE	ความวิกฤติที่ยอมรับได้ Acceptable without Review	รายการ 1B1,2, 1C1,2, 1D1,2, 1E1, 1E3,4, 1E7, 2A1, 3A1, 4A1, 5A1, 5A2, 5A8,9,10, 6A1, 7A1,

รายละเอียดและรายการในแต่ละลักษณะข้อบกพร่อง (Failure Mode) ของชุดกำเนิดลม สามารถดูได้จากตารางการวิเคราะห์ FMECA ภาคผนวก ข หน้า 99 - 108 ได้อธิบายเพิ่มเติมไว้ดังนี้ ตัวอย่าง เช่น

1A1 หมายถึง 1 คือหน้าที่ของอุปกรณ์
A คือลักษณะข้อบกพร่องจากหน้าที่
1 คือแนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง

4.3.3 ผลการจัดลำดับความเสี่ยงลักษณะข้อบกพร่อง

การจัดลำดับความเสี่ยงของลักษณะข้อบกพร่องสามารถทำได้โดยการนำกลุ่มความเสี่ยงสูงสุดมาทำการวิเคราะห์ตามลำดับก่อนหลัง ซึ่งในการศึกษาในครั้งนี้ไม่สามารถทำการจัดลำดับความสำคัญก่อนหลังได้ เนื่องจากเป็นการนำเอาลักษณะข้อบกพร่องทุกรายการมาทำการจัดการวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพของชุดกำเนิดลมของรถไฟฟ้า

4.4 โมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance)

4.4.1 การพิจารณาผลการวิเคราะห์ FMECA

การพิจารณาผลการวิเคราะห์ FMECA สำหรับทำการสร้างแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพได้ใช้เกณฑ์จากแนวทางการวิเคราะห์ความวิกฤติตาม ภาคผนวก ก ตารางที่ 9-11 หน้า 96-97 แสดงให้เห็นได้ว่าการยอมรับความวิกฤตินั้นได้แบ่งออกเป็น 4 ระดับ คือ

1) ระดับที่ I ความวิกฤติที่ไม่สามารถยอมรับ (Unacceptable) หมายถึง กลุ่มความวิกฤติที่ต้องการมาตรการควบคุมอย่างเร่งด่วนเพื่อทำการลดความวิกฤติ รายการลักษณะข้อบกพร่องของชุดกำเนิดลม ไม่มีรายการใดอยู่ในกลุ่มความวิกฤตินี้

2) ระดับที่ II ความวิกฤติที่ยังไม่ตัดสินการยอมรับ (Risk Undesirable) ซึ่งต้องผ่านการพิจารณาจากผู้บริหารหรือผู้บังคับบัญชาก่อน (Higher Management Decision is require) รายการลักษณะข้อบกพร่องของชุดกำเนิดลมที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ รายการลักษณะข้อบกพร่อง รายการที่ 1A ทั้งหมด ยกเว้นรายการที่ 1A13

3) ระดับที่ III ความวิกฤติที่ยอมรับได้ แต่ต้องผ่านการพิจารณาจากผู้บริหารหรือผู้บังคับบัญชาก่อน (Risk Acceptable with Review by Management) รายการลักษณะข้อบกพร่องของชุดกำเนิดลมที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ รายการลักษณะข้อบกพร่อง รายการ 1A13,1E5, 5A3,4,5,6,7, 5B1, 8A1

4) ระดับที่ IV ความวิกฤติที่ยอมรับได้ (Risk Acceptable) โดยไม่ต้องผ่านการพิจารณาจากผู้บริหารหรือผู้บังคับบัญชาก่อน (Risk Acceptable without Review) รายการลักษณะข้อบกพร่องของชุดกำเนิดลมที่อยู่ในกลุ่มนี้ได้แก่ รายการลักษณะข้อบกพร่อง รายการ 1B1,2, 1C1,2, 1D1,2, 1E1, 1E3,4, 1E7, 2A1, 3A1, 4A1, 5A1, 5A2, 5A8,9,10, 6A1, 7A1,

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างการสร้างแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพตามลักษณะข้อบกพร่อง

รายการ	ความบกพร่องจากหน้าที่	ลักษณะข้อบกพร่อง	แผนการซ่อมบำรุงรักษา
1B1	ปั๊มลมได้น้อยกว่า 920 ลิตรต่อนาที	1. ไส้กรองอากาศตันบางส่วน	ทดสอบการทำการของการอัดอากาศ จากไส้กรองอากาศเดิม และใหม่เพื่อเปรียบเทียบกัน ในทุกระยะ 6 เดือน

4.4.2 ผลการศึกษาแผนการซ่อมบำรุงรักษาแบบเดิมของอุปกรณ์ชุดกำเนิดลม

ผลการศึกษาถึงแผนการซ่อมบำรุงรักษาแบบเดิม คือ การซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling Maintenance) ของอุปกรณ์ชุดกำเนิดลม (Air Supply Compressor) ซึ่งสามารถ

จำแนกออกตามลักษณะและวิธีการซ่อมบำรุงรักษา (Maintenance Method) ได้ 3 วิธีการซ่อมบำรุงรักษา ดังนี้

1) ศึกษาจากแผนการซ่อมบำรุงเชิงป้องกันรักษา (Preventive Maintenance) เป็นการกำหนดกิจกรรมการซ่อมบำรุงรักษาเพื่อทำการตรวจสอบตามระยะเวลากำหนดเป็นประจำทุก 6 เดือน และ 1 ปี ซึ่งดูได้จากตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แผนการซ่อมบำรุงรักษาชุดกำเนิดลมปรับคืนสภาพ

รายการ	กิจกรรมการบำรุงรักษา	เครื่องมือและอุปกรณ์	กำหนดการบำรุงรักษา	จำนวนแรงงาน	เวลา
1.	เปลี่ยนกรองอากาศทั้ง 2 ชิ้น	กรองอากาศ (Air Filter) 2 ชิ้น	ทุกระยะเวลา 6 เดือน	1 คน	20 นาที
2.	ทำการเปลี่ยนน้ำมันหล่อลื่น ของ Compressor	น้ำมันหล่อลื่น Compressor จำนวน 3.7 ลิตร	ทุกระยะเวลา 1 ปี	1 คน	1 ชั่วโมง
3.	เปลี่ยนกรองน้ำมัน	กรองน้ำมัน (Oil Filter)	ทุกระยะเวลา 1 ปี	1 คน	15 นาที
4.	ตรวจสอบการรั่วของท่อลม ถ้ามีการรั่วให้เปลี่ยน	น้ำสบู่ (Soapy Solution)	ทุกระยะเวลา 1 ปี	1 คน	10 นาที
5.	ตรวจสอบท่อวัดระดับน้ำมันด้วยตาเปล่า ถ้ามีการรั่วซึมให้เปลี่ยน		ทุกระยะเวลา 1 ปี	1 คน	10 นาที
6.	ทำการซ่อมปรับคืนสภาพครั้งใหญ่ (Overhaul Scheduling)	ชุด Overhaul kit	ทุกระยะเวลา 8 ปี	2 คน	5 วัน

2) ศึกษาจากแผนการซ่อมบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Corrective Maintenance) เป็นการซ่อมเพื่อแก้ไขหรือซ่อมฉุกเฉิน ซึ่งส่วนนี้จะทำการซ่อมเมื่อมีอาการเสียเกิดขึ้น ซึ่งไม่พบประวัติการซ่อมฉุกเฉินที่มีอาการรุนแรงจากการเสียหายหลัก (Major Failure) พบว่ามีการซ่อมฉุกเฉินเล็กน้อย (Minor Failure) จากไส้กรองอากาศสกปรกเร็วกว่ากำหนดไม่ส่งผลกระทบมาก

3) ศึกษาจากแผนการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling Maintenance) ที่ระยะเวลาประมาณ 8 ปี หรือ 12,000 ชั่วโมงการทำงาน (วัดโดยเครื่องมือบันทึกการทำงานระหว่างการให้บริการ) ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทดลองทำการศึกษาถึงผลกระทบจากแผนของวิธีการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพของชุดกำเนิดลมจำนวน 3 ชุด โดยทำการศึกษาจากชิ้นส่วนที่ต้องทำการเปลี่ยนตามการซ่อมปรับคืนสภาพ(ตามตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.2) พบว่าอุปกรณ์สามารถทำการแบ่งประเภทของชิ้นส่วนที่มีผลกระทบจากการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพออกได้สองลักษณะคือ ชิ้นส่วนที่ไม่มีผลกระทบ (ใช้งานต่อได้) และชิ้นส่วนที่มีผลกระทบ (ไม่สามารถใช้งานต่อได้) แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลกระทบของชิ้นส่วนที่มีผลจากการซ่อมปรับคืนสภาพ

ชิ้นส่วนการซ่อมปรับคืนสภาพ	**ผลกระทบต่อชิ้นส่วน**			**หมายเหตุ**
ชุดกำเนิดลมที่	1	2	3	
1. ข้อเหวี่ยง (Crankshaft)	/	/	/	มีการชำรุดแต่อยู่ในพิกัดกำหนด
2. ลูกสูบ (Piston)	/	/	/	มีการชำรุดแต่อยู่ในพิกัดกำหนด
3. สลักลูกสูบ (Piston Pin)	/	/	/	มีการชำรุดแต่อยู่ในพิกัดกำหนด
4. แหวนลูกสูบแรงดันสูง (HP Piston Ring)	x	x	x	มีผลจากการรื้อ ใช้งานต่อไม่ได้
4. ก้านสูบ (Connecting Rod)	/	/	/	มีการชำรุดแต่อยู่ในพิกัดกำหนด
5. กระบอกสูบแรงดันสูงและต่ำ	/	/	/	มีการชำรุดแต่อยู่ในพิกัดกำหนด
6. วาล์วแรงดัน สูงและต่ำ	/	x	/	มี 1 ชิ้นรั่วไม่ควรนำกลับใช้งาน
7. แหวนลูกสูบแรงดันต่ำ (LP Piston Ring)	x	x	x	สภาพดี แต่เสียจากการถอด
8. ซีลทุกชนิด (Sealing)	x	x	x	มีผลจากการรื้อ ใช้งานต่อไม่ได้
9. ประเก็นทุกชนิด (Gasket)	x	x	x	มีผลจากการรื้อ ใช้งานต่อไม่ได้
10. ท่อลม (Hose)	x	/	x	เริ่มจะเสื่อมสภาพ 2 ชิ้น
11. ตลับลูกปืน	x	x	x	มีผลจากการรื้อ ใช้งานต่อไม่ได้

สัญลักษณ์ / หมายถึง ไม่มีผลกระทบ (สามารถประกอบใช้งานต่อได้)
x หมายถึง มีผลกระทบ (ไม่สามารถประกอบใช้งานได้ต่อไป)

4.4.3 สรุปวงจรการเสื่อมสภาพของชุดกำเนิดลม

ผลการศึกษาวงจรการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ชุดกำเนิดลม โดยการศึกษาจากการทดลองปฏิบัติตามแผนการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling Maintenance) และการใช้เทคนิคการตรวจติดตามสภาพการใช้งาน (Condition Monitoring Techniques) ซึ่งสามารถแบ่งออกตามลักษณะการศึกษา ได้เป็น 3 ลักษณะ ดังนี้

1) ศึกษาจากแผนการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ พบได้ว่าชิ้นส่วนที่มีผลกระทบจากแผนการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

- สภาพดีอยู่แต่ต้องทำการเปลี่ยนในขณะทำการซ่อม สามารถตรวจสอบได้จากพิกัดความเผื่อ ที่ต้องทำการตรวจสอบขณะทำการซ่อมปรับคืนสภาพ (Overhaul) มีดังนี้
  - ก. รายการที่ 4 แหวนลูกสูบแรงดันสูง (HP Piston Ring)
  - ข. รายการที่ 7 แหวนลูกสูบแรงดันต่ำ (LP Piston Ring)
  - ค. รายการที่ 8 ซีลทุกชนิด (Sealing)
  - ง. รายการที่ 9 แหวนอัดน้ำมัน (Gasket)
  - จ. รายการที่ 11 ตลับลูกปืน (Bearing)
- สภาพดีโดยการตรวจสอบค่าอยู่ในพิกัด มีดังนี้
  - ก. รายการที่ 1 ข้อเหวี่ยง (Crankshaft)
  - ข. รายการที่ 2 ลูกสูบ (Piston)
  - ค. รายการที่ 3 สลักลูกสูบ (Piston Pin)
  - ง. รายการที่ 4 ก้านสูบ (Connecting Rod)

2) ศึกษาจากการตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิ (Temperature Effects) ใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิ ในตำแหน่งของการตรวจจับอุณหภูมิของชุดกำเนิดลม (ดูจากตาราง ภาคผนวก ง หน้า 112) และรูปตัวอย่างการตรวจจับอุณหภูมิของชุดกำเนิด (ดูจากรูปที่ ง.1-ง.6 ภาคผนวก ง หน้า 112-118) และผลสรุปการตรวจจับอุณหภูมิของชุดกำเนิดที่ติดตั้งอยู่ในรถไฟฟ้า จำนวน 35 ชุด ในช่วงเดือน กรกฎาคม ถึง เดือน สิงหาคม ปี 2552 และ ในช่วงเดือน มีนาคม ถึง เดือน เมษายน ปี 2553 ซึ่งพบได้ จากการทำการวัดอุณหภูมิในระยะเวลา 1 ปี พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสูงขึ้น (ดูจากตาราง ภาคผนวก ง หน้า 119-120) ยังสามารถใช้งานต่อได้ เนื่องจากยังอยู่ในเกณฑ์การยอมรับการสูงขึ้นของอุณหภูมิ (ดูจากภาคผนวก ง ตารางที่ ง.2 หน้า 112) ของชุดกำเนิดลมจากในสภาพปกติของแต่ละจุดในการตรวจจับ

3) ศึกษาจากการตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางอนุภาค (Particle Effects) จากการวิเคราะห์น้ำมัน (Oil Analysis) หล่อลื่นของชุดกำเนิดลม (ดูจากรูป ภาคผนวก จ หน้า 122-123) สามารถทำได้โดยการอ่านรายงานการตรวจวิเคราะห์น้ำมัน [31] ซึ่งเป็นเป้าหมายที่สำคัญของการตรวจวิเคราะห์น้ำมัน เพื่อช่วยให้เครื่องจักรกลเดินอย่างปกติ และให้ทราบถึงสิ่งผิดปกติเพื่อทำการ

แก้ไข หรือรู้ปัญหาแต่ล่วงหน้าเนิ่นๆ ทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพ ดังนั้น เพื่อให้บรรลุเป้าหมาย ข้อมูลในการตรวจวิเคราะห์น้ำมัน ควรมีข้อมูลที่พอเพียงในการช่วยการตีความหมาย ในสิ่งที่เกิดขึ้น เพื่อช่วยตัดสินใจของระบบการหล่อลื่นและสภาพของเครื่องจักรการตรวจวิเคราะห์น้ำมันที่มีประสิทธิภาพจะต้องประกอบด้วยข้อมูลขององค์ประกอบที่สำคัญ คือ

- สภาพการสึกหรอ (Wear Condition) เป็นการตรวจวัดสภาพการสึกหรอ ว่ามีปริมาณ ขนาด รูปร่างและ หน้าตา ของการสึกหรอ ว่ามีธาตุโลหะอะไร อัตราการสึกหรอ ความรุนแรงเป็นอย่างไร มีการสึกหรอที่ปกติ หรือผิดปกติ
- สภาพของน้ำมันหล่อลื่น (Oil Condition) เพื่อดูว่าการเสื่อมสภาพของน้ำมันที่หล่อลื่น เป็นอย่างไร มีการเสื่อมสภาพน้ำมันแบบปกติ ไปตามอายุของการเปลี่ยนถ่าย หรือเกิดการเสื่อมสภาพน้ำมันที่ผิดปกติ
- สภาพของสิ่งสกปรก ปนเปื้อน (Contamination) สิ่งสกปรก ปนเปื้อน เป็นปัจจัยใหญ่และสำคัญมาก ที่ทำให้น้ำมันหล่อลื่นเสื่อมสภาพอย่างรวดเร็วและผิดปกติ สิ่งสกปรก ปนเปื้อนยังเป็นรากสาเหตุของการสึกหรอที่ผิดปกติ ซึ่งนำมาสู่การชำรุดเสียหายของเครื่องจักรก่อนเวลาที่ควร

Normal	Normal หรือ ระดับ ปกติ • สภาพขององค์ประกอบนี้ปกติ
Caution	Caution หรือ ระดับสงสัย หรือ ระดับเตือนภัยที่หนึ่ง • ในองค์ประกอบนี้ มีค่าใดค่าหนึ่ง หรือ มากกว่าหนึ่งค่าอยู่นอกกรอบระดับเส้นเตือนภัยที่หนึ่ง แต่อยู่ในกรอบของ ระดับต้องตรวจสอบ หรือ ระดับเตือนภัยที่สอง
Action	Action หรือระดับต้องตรวจสอบ หรือ ระดับเตือนภัยที่สอง • ในองค์ประกอบนี้ มีค่าใดค่าหนึ่ง หรือ มากกว่าหนึ่งค่าอยู่นอกกรอบระดับเส้นเตือนภัยที่สอง

รูปที่ 4.2 ลักษณะการตรวจสอบสภาพจากการวิเคราะห์น้ำมัน [31]

ในการวิเคราะห์และการสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพในครั้งนี้ เป็นการวิเคราะห์ด้วยเชิงคุณภาพ ดังนั้นการสรุปผลการวิเคราะห์วงจรการเสื่อมสภาพและการสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ โดยใช้ข้อมูลพื้นฐานจากการเก็บข้อมูลของการตรวจติดตามสภาพจากการ

ใช้งานของชุดกำเนิดลม ผลการสรุปจากทีมงาน มีความคิดเห็นร่วมกันว่าชุดกำเนิดลมนี้ ควรจะทำการซ่อมปรับคืนสภาพ หลังจากการใช้งานปีที่ 12

4.4.4 โมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance)

โมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ เกิดขึ้นจากการนำผลของการศึกษาแผนการซ่อมบำรุงรักษาแบบเดิม ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) ผลของการศึกษาตรวจติดตามสภาพการใช้งานด้วย การตรวจจับอุณหภูมิ การตรวจจับการเปลี่ยนแปลงทางอนุภาคจากการรวิเคราะห์น้ำมัน มาทำการผนวกเข้าด้วยกัน แล้วทำการวิเคราะห์จาก ทีมงานเพื่อสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพขึ้น แสดงได้ตามตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 แผนการซ่อมบำรุงรักษาชุดกำเนิดลมตามสภาพ

รายการ	กิจกรรมการบำรุงรักษา	เครื่องมือและอุปกรณ์	ระยะการบำรุงรักษา	แรงงาน	เวลา
1.	ตรวจวัดอุณหภูมิของ Compressor จำนวน 6 จุด	1. เครื่องมือวัดอุณหภูมิ 2. ตารางบันทึกผล	ทุกระยะเวลา 4 เดือน	1 คน	10 นาที
2.	เก็บตัวอย่างน้ำมันของ Compressor เพื่อทำการวิเคราะห์ความสึกหรอของอุปกรณ์	1. ชุดเก็บตัวอย่างน้ำมัน 2. หัวปั้มเก็บน้ำมัน	ทุกระยะเวลา 1 ปี	1 คน	15 นาที
3.	วัดความเร็วรอบของใบพัดลมระบายความร้อน	1. เครื่องมือวัดรอบ Speedometer	ทุกระยะเวลา 1 ปี	1 คน	10 นาที
4.	เปลี่ยนกรองอากาศทั้ง 2 ชิ้น	1. กรองอากาศ (Air Filter) 2 ชิ้น	ทุกระยะเวลา 1 ปี	1 คน	20 นาที
5.	เปลี่ยนกรองน้ำมัน	1. กรองน้ำมัน (Oil Filter)	ทุกระยะเวลา 1 ปี	1 คน	15 นาที
6.	ตรวจสอบการรั่วของท่อลม ถ้ามีการรั่วให้เปลี่ยน	1. น้ำสบู่ (Soapy Solution)	ทุกระยะเวลา 1 ปี	1 คน	10 นาที
7.	ตรวจสอบท่อวัดระดับน้ำมันด้วยตาเปล่า ถ้ามีการรั่วซึมให้เปลี่ยน	1. ตารางบันทึกผล	ทุกระยะเวลา 1 ปี	1 คน	10 นาที

4.5 ผลการนำเสนอโมดูลการซ่อมบำรุงแบบตามสภาพ

การนำเสนอผลของการสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพของชุดกำเนิดลม ด้วยเทคนิค FMECA ในครั้งนี้ ได้ทำการนำเสนอผลการสรุปโดยรวม ทั้งทางด้านความวิกฤติของอุปกรณ์ต่อทีมงานการวิเคราะห์ FMECA ทั้งหมดในแต่ละด้านของผลกระทบก่อน และทางทีมงานวิเคราะห์ FMECA มีความคิดเห็นในทิศทางเดียวกันกับแผนการซ่อมบำรุงรักษานี้แล้ว จึงนำเสนอโมดูลการซ่อมบำรุงรักษานี้กับฝ่ายบริหาร เกี่ยวกับ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ และนำเสนอถึงผลประโยชน์ที่จะได้รับ คือ ผลการดำเนินการตามแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายและลดความยุ่งยากในการบริหารจัดการได้ รวมทั้งการขออนุมัติการดำเนินการปรับปรุงแผนการซ่อมบำรุงรักษาเดิม และการประยุกต์ใช้งานจริง

4.6 ผลการประยุกต์ใช้โมดูลการซ่อมบำรุงแบบตามสภาพ

ผลการประยุกต์ใช้โมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพกับชุดกำเนิดลมจากโรงซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้าที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ สามารถทำการสรุปผลการประยุกต์ใช้โมดูลการซ่อมบำรุงแบบตามสภาพได้ดังนี้

4.6.1 ผลจากการเตรียมการใช้โมดูลการซ่อมบำรุงแบบตามสภาพ

การเตรียมการใช้โมดูลการซ่อมบำรุงตามสภาพ ได้มีการปฏิบัติทันทีควบคู่ไปกับขั้นตอนการนำเสนอโมดูลการซ่อมบำรุงตามสภาพ เนื่องจากต้องมีการรวบรวมถึงค่าใช้จ่ายในการจัดหาอุปกรณ์และค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์น้ำมัน สามารถทำการกล่าวสรุปได้ดังนี้

1) การรวบรวมข้อมูลทางด้านค่าใช้จ่ายสำหรับการเตรียมการจัดหาอุปกรณ์

2) รวบรวมข้อมูลทางด้านค่าใช้จ่ายทางด้านการวิเคราะห์ต่างๆ เช่น การวิเคราะห์น้ำมัน เป็นต้น

3) รวบรวมข้อมูลทางด้านค่าใช้จ่ายในด้านการฝึกอบรม

4) จัดฝึกอบรมความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) ให้กับพนักงานซ่อมบำรุงรักษาเข้าใจ เมื่อพนักงานเหล่านั้น มีข้อเสนอ แนะจะได้นำเสนอความคิดในแนวทางที่ถูกต้อง

4.6.2 ผลการเตรียมอุปกรณ์และบุคลากรสำหรับโมดูลการซ่อมบำรุงแบบตามสภาพ

1) อบรมวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำมันสำหรับการวิเคราะห์ให้พนักงานซ่อมบำรุงรักษาอย่างเข้าใจ

2) ออกแบบตารางการเก็บตัวอย่างน้ำมันสำหรับการวิเคราะห์

3) อบรมการใช้เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์ สำหรับพนักงานซ่อมบำรุงรักษาที่มีหน้าที่วิเคราะห์ผล เช่นการอ่านผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ และการอ่านผลการวิเคราะห์น้ำมัน

4.6.3 การวางแผนสำรอง

การวางแผนสำรองสำหรับการประยุกต์ใช้โมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพในครั้งนี้ ประกอบด้วยแผนสำรองดังนี้

1) การเตรียมความพร้อมใช้งานของปลั๊กถ่ายน้ำมัน 1 ชิ้น ซึ่งสามารถเปลี่ยนได้ทันทีเมื่อต้องการใช้

2) การเตรียมอุปกรณ์ปั๊มน้ำมันสำหรับการวิเคราะห์ จำนวน 2 ชุด อุปกรณ์ต้องพร้อมใช้ทันที เมื่ออุปกรณ์ตัวใด สกปรก หรือ ชำรุด

3) การเตรียมอุปกรณ์ในการจัดเก็บน้ำมันสำหรับการวิเคราะห์ จำนวนอย่างน้อย 5 ชุด

4.7 การสรุปค่าใช้จ่ายการดำเนินงานการพัฒนาโมดูลการซ่อมบำรุงรักษา

สรุปผลการดำเนินงานการสร้างโมดูลพัฒนาการซ่อมบำรุงรักษาและการประยุกต์ใช้กับรถไฟฟ้าในอุปกรณ์ของชุดกำเนิดลมและทำการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา

4.7.1 สรุปค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงรักษาในทั้งสองวิธี

ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการดำเนินงานการซ่อมบำรุงรักษาครั้งนี้ ได้คิดจากวงจรการเสื่อมสภาพของอุปกรณ์ชุดกำเนิดลมที่ระยะเวลา 16 ปี ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายในแต่ละด้าน ดังนี้

1) ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling) ดังนี้

- ค่าใช้จ่ายด้านวัสดุ ได้แก่ น้ำมันหล่อลื่น ประมาณปีละ 1,050 บาทไส้กรองอากาศ ประมาณปีละ 940 บาท วงแหวนอัดน้ำมัน (Gasket) ประมาณปีละ 60 บาท วัสดุ (ซ่อมใหญ่) วัสดุประมาณ 9,600,000 ต่อ ชุดกำเนิดลม 30 ชุด ในการซ่อมใหญ่แต่ละครั้ง และค่าวัสดุในการใช้สับเปลี่ยน ในปีที่ 1 ซึ่งต้องใช้ในการสำรองกรณีมีอุปกรณ์เสียประมาณ 800,000 บาท และในปีที่ 8 จำนวน 2 ชุดประมาณ 1,600,000 บาท
- ค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน ได้แก่ แรงงานเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ประมาณปีละ 150 บาท แรงงานซ่อมครั้งใหญ่ (Overhaul) ประมาณ 180,000 บาท ต่อ การซ่อมครั้งใหญ่ 1 ครั้ง

2) ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance) ดังนี้

- ค่าใช้จ่ายด้านวัสดุ ได้แก่ ค่าน้ำมันหล่อลื่นประมาณปีละ 1,050 บาท ค่าไส้กรองอากาศประมาณปีละ 940 บาท ค่าวงแหวนอัดน้ำมัน (Gasket) ประมาณปีละ 60 บาท วัสดุ (ซ่อมใหญ่) ในปีที่ 13 ประมาณ 9,600,000 ต่อชุดกำเนิดลม 30 ชุด และค่าวัสดุในการใช้สับเปลี่ยนในปีที่ 1 ประมาณ 800,000 บาท และในปีที่ 13 จำนวน 2 ชุดประมาณ 1,600,000 บาท ค่าอุปกรณ์ติดตามสภาพการใช้งาน ได้แก่ อุปกรณ์ถ่ายภาพอุณหภูมิประมาณ 750,000 บาท ค่าใช้จ่ายการวิเคราะห์น้ำมันประมาณ 1,410 บาทต่อปี
- ค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน ได้แก่ แรงงานเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน ประมาณปีละ 150 บาท แรงงานซ่อมครั้งใหญ่ (Overhaul) ประมาณ 180,000 บาท ต่อ การซ่อม 1 ครั้ง แรงงานการติดตามสภาพการใช้งานประมาณ 180,000 บาท แรงงานการวิเคราะห์สภาพการใช้ประมาณ 180,000 บาท

ตารางที่ 4.7 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling Maintenance)

ด้านวัสดุ (Material)	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	∞
น้ำมันหล่อลื่น	-	1,050	1,050	1,050	1,050	1,050	1,050	1,050	1,050	-
ไส้กรองอากาศ	-	940	940	940	940	940	940	940	940	-
แหวนอัดน้ำมัน (Gasket)	-	60	60	60	60	60	60	60	60	-
วัสดุ (ซ่อมใหญ่)	-	-	-	-	-	-	-	-	9,600,000	-
วัสดุใช้สับเปลี่ยน	800,000	-	-	-	-	-	-	-	1,600,000	-
ด้านแรงงาน (Labor)										
แรงงานเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน	-	150	150	150	150	150	150	150	150	-
แรงงานการซ่อมครั้งใหญ่	-		-	-	-	-	-	-	180,000	-
รวมค่าใช้จ่ายรายปี	800,000	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	2,200	11,382,200	

ตารางที่ 4.8 ค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance)

ด้านวัสดุ (Material)	ปีที่ 0	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10	ปีที่ 11	ปีที่ 12	∞
น้ำมันหล่อลื่น	-	1,050	1,050	1,050	1,050	1,050	-	1,050	1,050	1,050	1,050	1,050	1,050	-
ไส้กรองอากาศ	-	940	940	940	940	940	-	940	940	940	940	940	940	-
แหวนอัดน้ำมัน (Gasket)	-	60	60	60	60	60	-	60	60	60	60	60	60	-
วัสดุการซ่อมครั้งใหญ่ (Overhaul)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9,600,000	-
วัสดุใช้สับเปลี่ยน	800,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,600,000	-
การวิเคราะห์น้ำมัน	-	1,410	1,410	1,410	1,410	1,410	-	1,410	1,410	1,410	1,410	1,410	-	-
ค่าอุปกรณ์ติดตามสภาพการใช้งาน		-	-	-	-	-	850,000	-	-	-	-	-	-	-
ด้านแรงงาน (Labor)														-
แรงงานเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน	-	150	150	150	150	150	-	150	150	150	150	150	150	-
แรงงานการซ่อมครั้งใหญ่	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	180,000	-
แรงงานการติดตามสภาพการใช้งาน	-	150	150	150	150	150	-	150	150	150	150	150	-	-
แรงงานการวิเคราะห์สภาพการใช้งาน	-	250	250	250	250	250	-	250	250	250	250	250	-	-
รวมค่าใช้จ่ายรายปี	800,000	4,010	4,010	4,010	4,010	4,010	850,000	4,010	4,010	4,010	4,010	4,010	11,382,200	-

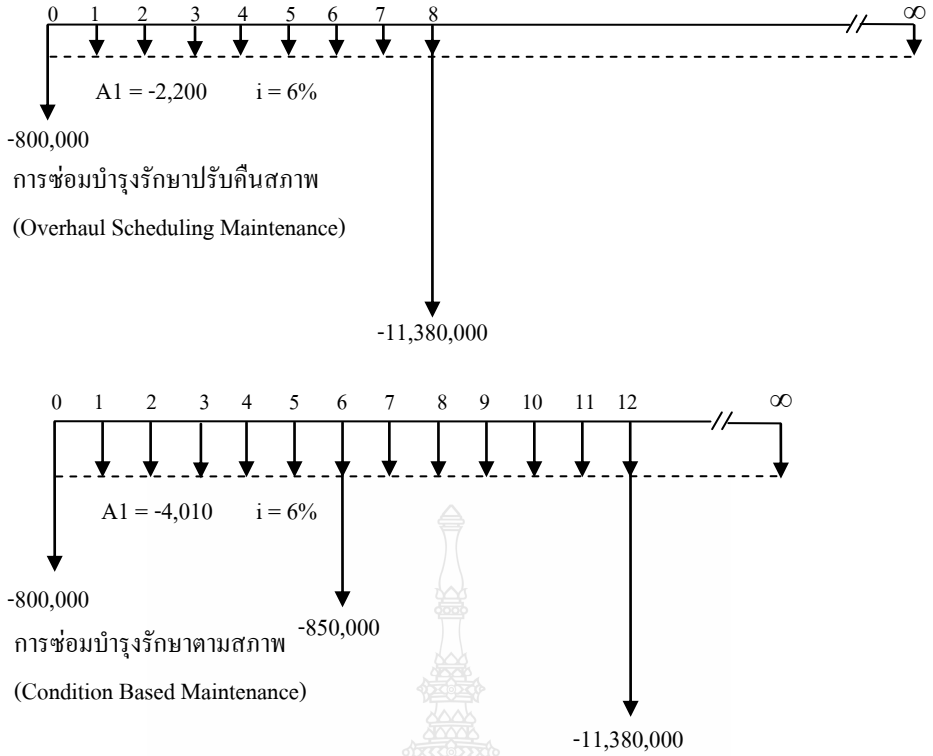
4.7.2 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา

การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาของแต่ละวิธี สามารถทำการสรุปผลค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นของค่าใช้จ่ายหมุนเวียน (Life Cycle Cost) ในแต่ละปีได้ดังตารางที่ 4.9 เพื่อทำการเปรียบเทียบสรุปค่าใช้จ่ายในแต่ละวิธีการซ่อมบำรุงรักษา โดยการวิเคราะห์มูลค่าเงินเทียบเท่ารายปี (Annual Worth) ในการคำนวณการเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย ซึ่งสมมุติจากการใช้อัตราดอกเบี้ยที่ร้อยละ 6 ต่อปี

ตารางที่ 4.9 สรุปค่าใช้จ่ายของแต่ละวิธีในการซ่อมบำรุงรักษาชุดกำเนิดลมต่อปี

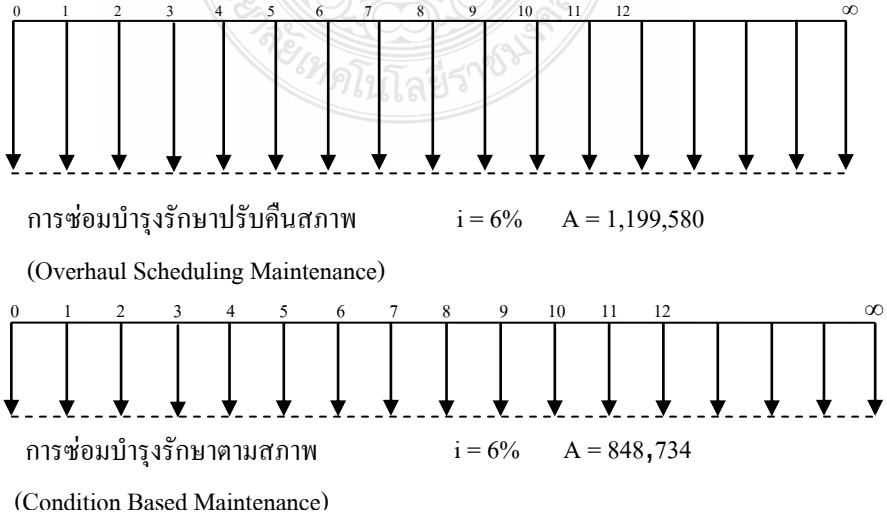
หน่วย : บาท

จำนวนปีที่ใช้งาน	ค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ	จำนวนปีที่ใช้งาน	ค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ
0	-800,000	0	-800,000
1	-2,200	1	-4,010
2	-2,200	2	-4,010
3	-2,200	3	-4,010
4	-2,200	4	-4,010
5	-2,200	5	-4,010
6	-2,200	6	-850,000
7	-2,200	7	-4,010
8	-11,382,200	8	-4,010
∞	……	9	-4,010
		10	-4,010
		11	-4,010
		12	-11,382,200
		∞	……



รูปที่ 4.3 แผนภูมิต้นทุนหมุนเวียนค่าใช้จ่ายแต่ละวิธีการซ่อมบำรุงรักษาชุดกำเนิดลมรถไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.3 สามารถทำการเปลี่ยนแผนภูมิต้นทุนหมุนเวียนของค่าใช้จ่ายในแต่ละวิธีการซ่อมบำรุงรักษาของชุดกำเนิดลม โดยการวิเคราะห์มูลค่าเงินด้วยวิธีเงินทุนนิรันดรซึ่งสามารถดูวิธีการคำนวณได้จากภาคผนวก หน้า และแผนภูมิต้นทุนหมุนเวียนค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษารายปีได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนภูมิต้นทุนหมุนเวียนมูลค่าเงินเทียบเท่ารายปีของค่าใช้จ่ายการซ่อมบำรุงรักษา

สรุปผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาของในแต่ละวิธีการซ่อมบำรุงรักษา โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบมูลค่าเงินด้วยวิธีเงินทุนนิรันดร (Perpetual Life) เป็นการคิดเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาของอุปกรณ์กำเนิดลมในระยะเวลายาว (สามารถดูวิธีการคำนวณได้จากภาคผนวก หน้า) ค่าใช้จ่ายหรือต้นทุนในการดำเนินการงานซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling Maintenance) จะอยู่ที่ประมาณปีละ 1,199,580 บาท และค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance) ประมาณปีละ 848,734 บาท ค่าใช้จ่ายทั้งสองวิธีนี้จะแตกต่างกันอยู่ประมาณ 350,846 บาท ต่อปี ต่อ 30 ชุดกำเนิดลม (Air Supply Compressor)

ดังนั้นการศึกษาพัฒนาแผนซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพในครั้งนี้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 350,846 บาท ต่อปีของจำนวนชุดกำเนิดลม 30 ชุด และยังนำอุปกรณ์ที่ลงทุนในครั้งนี้นำมาใช้กับการตรวจสอบติดตามสภาพในครั้งต่อไปได้อีก

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

5.1.1 สรุปผลการวิเคราะห์ FMECA สำหรับการสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ

การใช้เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) กับอุปกรณ์ชุดกำเนิดลมของรถไฟฟ้า (Air Supply Compressor) สามารถช่วยยืดระยะเวลาการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพจาก 8 ปีเป็น 12 ปีได้จริง โดยมีโมดูลแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพสนับสนุนอย่างไม่มีผลกระทบด้านสุขภาพ (Health) ด้านความปลอดภัย (Safety) ด้านสิ่งแวดล้อม (Environment) และการดำเนินการ (Operation)

5.1.2 สรุปผลจากค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษา

สรุปค่าใช้จ่ายในการดำเนินการระหว่างวิธีการซ่อมบำรุงรักษาแต่ละวิธี โดยการเปรียบเทียบมูลค่าเทียบเท่าของเงินของทั้งสองวิธีการซ่อมบำรุงรักษา สรุปผลได้ดังต่อไปนี้

ผลการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาจากทั้งสองวิธีนั้น เมื่อทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบมูลค่าเงินด้วยวิธีเงินทุนนิรันดร (Perpetual Life) วิธีการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance) จะมีต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาที่ต่ำกว่าวิธีการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling Maintenance) อยู่ประมาณ ปีละ 350,846 บาท ต่อจำนวนอุปกรณ์ชุดกำเนิดลมจำนวน 30 ชุดที่ต้องทำการซ่อมบำรุงรักษา

5.2 อภิปรายผลการดำเนินงานวิจัย

จากการศึกษาในครั้งนี้พบได้ว่าเทคนิค FMECA สามารถช่วยในการสร้างโมดูลพัฒนาแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ การประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ชุดกำเนิดลมของรถไฟฟ้า อีกทั้งยังสามารถนำวิธีการและผลการวิเคราะห์ใช้เป็นแนวทางในการวิเคราะห์ในครั้งต่อไปได้จริง

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้มีปัญหาและอุปสรรค สามารถที่จะสรุปเป็นข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะศึกษาและนำงานวิจัยนี้ไปปฏิบัติในครั้งต่อไป และข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคตได้ดังนี้

5.3.1 ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะนำงานวิจัยนี้ไปปฏิบัติ

1) ควรจัดหาทีมงานการวิเคราะห์ FMECA ที่มีความถนัดในแต่ละด้านอย่างเหมาะสม
2) ต้องสื่อสารและให้ข้อมูลกับแผนกต่างๆที่เกี่ยวข้องอย่างเข้าใจ

3) สร้างความเข้าใจกับทีมงานเพื่อให้ทราบถึงวัตถุประสงค์ที่แท้จริง

4) ต้องได้รับความร่วมมือสนับสนุนจากฝ่ายผู้บริหารอย่างจริงจัง

5) ควรจะมีฝ่ายบัญชีร่วมทีมด้วยในการวิเคราะห์ศึกษาผลกระทบด้านต้นทุน

5.3.2 ข้อเสนอแนะด้านเครื่องมือและวิธีการที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษางานวิจัยจะต้องคำนึงถึงการเลือกและนำเครื่องมือที่เหมาะสมมาใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อแก้ปัญหา ให้ได้ทราบถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นได้อย่างถูกต้อง ผู้วิจัยได้นำเทคนิค FMECA และเทคนิคการตรวจติดตามสภาพการใช้งาน มาทำการวิเคราะห์และแก้ไขปัญหาของงานวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งเครื่องมือเหล่านี้ควรจะต้องได้รับการฝึกอบรมวิธีการใช้งานกับคณะของผู้ทำการวิจัยก่อน สำหรับข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือแต่ละชนิดที่ได้นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้สรุปไว้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 สรุปข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ชื่อเครื่องมือ	ข้อดี	ข้อเสีย
1.การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบที่วิกฤติ เชิงคุณภาพ (Qualitative Method of FMECA)	1. เป็นการวิเคราะห์ที่ทำได้ง่าย โดยการสร้างทีมงาน เพื่อทำงานร่วมกันในการวิเคราะห์ 2. สามารถบ่งชี้และวิเคราะห์แนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง 3. ผลของ FMECA สามารถช่วยสร้างความมั่นใจในความปลอดภัยของผู้บำรุงรักษาและผู้ใช้งาน 4. FMECA เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับการประเมินอุปกรณ์(Hardware) และระบบ(System) ได้ดี	1. ต้องใช้ข้อมูลที่แม่นยำสูงเพื่อไม่ให้เกิดการผิดพลาด 2. เกณฑ์ในการตัดสินไม่ชัดเจนจะทำให้เกิดความผิดพลาดจากคนได้ง่าย 3. ไม่สามารถวิเคราะห์ความบกพร่องหลายปัญหาในเวลาเดียวกัน

ตารางที่ 5.1 สรุปข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย (ต่อ)

ชื่อเครื่องมือ	ข้อดี	ข้อเสีย
2. การซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling Maintenance)	1. สามารถป้องกันการเกิดหยุดฉุกเฉินของเครื่องจักรได้ 2. ไม่ต้องใช้อุปกรณ์ในการซ่อมบำรุงรักษาที่ทันสมัย และราคาสูง ซึ่งสามารถใช้เครื่องมือที่มีอยู่ก็เพียงพอ	1. สิ้นเปลืองชิ้นส่วนบางชนิดโดยใช่เหตุ ต้องทำการเปลี่ยนในสภาพที่ดีอยู่ 2. การเตรียมการวางแผนยุ่งยาก ต้องทำการว่าจ้าง ช่างเทคนิคเพิ่ม 3. ต้องจัดเตรียมอุปกรณ์ต่างๆ ในการสับเปลี่ยนเพื่อให้เครื่องจักรหยุดเดินเครื่องน้อยที่สุด
3. การซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance)	1. ลดต้นทุนที่เกิดจากการหยุดฉุกเฉินของเครื่องจักรได้ สามารถเพิ่มผลกำไร 2. สามารถทำการตรวจวัดสภาพได้ในขณะเครื่องจักรกำลังเดินเครื่อง ไม่มีการสูญเสียเวลาสำหรับการผลิต 3. ลดปริมาณการซ่อมบำรุงรักษานอกตาราง 4. ลดปริมาณการจัดเก็บอะไหล่ 5. ลดปริมาณการสำรองเครื่องจักร 6. ทำให้แผนการซ่อมบำรุงรักษาตรงกับจุดมากที่สุด	1. ใช้ได้เพียงแค่ยืดระยะการซ่อมบำรุงใหญ่ออกไปในช่วงเวลาหนึ่งๆ แต่ก็ต้องการการซ่อมครั้งใหญ่อีก 2. ต้องจัดหาอุปกรณ์หรือเครื่องมืออื่นๆ เพิ่มเติม 3. ต้องใช้อุปกรณ์เครื่องมือที่มีราคาสูง 4. ต้องใช้บุคคลากรในการวิเคราะห์ที่มีความรู้ ความเชี่ยวชาญสูง 5. ต้องมีความละเอียด และใส่ใจกับขั้นตอนการทำงาน 6. งานบางชนิดไม่สามารถทำได้เอง ต้องอาศัย หน่วยงานอื่น ช่วย 7. มีค่าใช้จ่ายในการเฝ้าติดตามสภาพการใช้งาน

5.3.3 ข้อเสนอแนะในการนำงานวิจัยไปศึกษาต่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อพัฒนาแผนการซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้า เพื่อให้มีประสิทธิภาพและสมรรถนะที่สูงขึ้น อย่างมีความเหมาะสมเพียงพอของกิจกรรมการซ่อมบำรุงรักษา ไม่มีด้านใดขาดและด้านใดเกินความจำเป็น เพื่อให้เครื่องจักรและอุปกรณ์นั้น มีสมรรถนะการใช้งานได้อย่างเต็มกำลังความสามารถและอย่างคุ้มค่าสูงสุด อย่างแน่นอนที่สุดเมื่อนำผลการวิจัยในครั้งนี้ไปทดลองใช้งานจริง จะส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายและต้นทุนในการซ่อมบำรุงรักษาที่ต่ำลงได้

งานวิจัยในครั้งต่อไปควรจะทำการศึกษาการพัฒนาแผนการซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ในระบบอื่นๆของรถไฟฟ้าด้วย ในการใช้เทคนิค FMECA ในการวิเคราะห์แบบเชิงปริมาณ (Quantitative Method) และวิธีการอื่นที่ใช้เทคนิค FMECA ในรูปแบบที่ต่างออกไปด้วย เช่น เทคนิคการจัดการซ่อมบำรุงรักษาด้วยความเชื่อมั่น (Reliability Centered Maintenance, RCM) เป็นการนำเทคนิค FMECA มาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแผนการซ่อมบำรุงรักษาด้วยความเชื่อมั่น (RCM) เพื่อทำการเปรียบเทียบถึงข้อดี และข้อเสียของเทคนิคต่างๆ เหล่านั้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Daniel Teixeira, **Analysis of public transport in Bangkok Thailand,** Business Administration and Engineering, University of Applied Sciences in Konstanz, Germany 2006

[2] โกศล ดีศีลธรรม, **การจัดการบำรุงรักษา สำหรับงานอุตสาหกรรม** กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์เอเชียเพรส 2535

[3] ไพบูลย์ แย้มเผื่อน, **เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม** บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด 2548, หน้า130

[4] Moubray John, **Reliability-Centred Maintenance, RCMII.** 2nd Edition. Oxford: Butterworth Heinemann Ltd, 1997.

[5] สุรพล ราษฎร์นุ้ย, **วิศวกรรมการบำรุงรักษา,** บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด 2545, 180 หน้า

[6] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี, **การบำรุงรักษา,** Available: http://th.wikipedia.org (09 July 2010).

[7] Salih O. DUFFUAA, **Planning and Control of Maintenance Systems,** JOHN WILEY & SONS, INC, 1998

[8] MILD-STD-1629A, Military Standard Procedures for Performing a failure Mode, Effects and Criticality Analysis, Department of Defense, USA, Slighted: June 2006 Available: http://www.weibull.com/mil_std/mil_std_1629a.pdf

[9] Wikipedia, **Failure Mode, Effects, and Criticality Analysis** (Online), 2010. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Failure_mode,_effects,_and_criticality_analysis (09 July 2010).

[10] กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, **การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ**, กรุงเทพฯ, สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น) 2551, 158 หน้า

[11] วัฒนา เชียงกูล, เกรียงไกร ดำรงรัตน์, “และ” ดลดิษฐ์ เมืองแมน, **การจัดการงานบำรุงรักษาด้วย Reliability** บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด 2553, 400 หน้า

[12] วรวรรณ วาณิชย์เจริญชัย, **วิทยากรกระบวนการ (Facilitator) (Online) 2552,** Available: http://www.ns.mahidol.ac.th/english/KM/article/Facilitator.pdf (01 มกราคม 2552)

[13] MILD-STD-822C, **Standard Practice for System Safety,** Department of Defense, USA, 1998, Appendix A – 5 Available: http://www.weibull.com/mil_std/mil_std_882c.pdf

[14] การรถไฟแห่งประเทศไทย, **ประวัติการรถไฟแห่งประเทศไทย** (Online) 2551, Available: http://www.railway.co.th/about/history.asp (12 ธันวาคม 2551).

[15] เชาวน์ ณ ศีลวันต์, นายวัฒนา สุภรณ์ไพบูลย์, “และ” นางนรินทร์ ช่วงโชติ, **ประวัติการรถไฟโลก**สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 4 (Online) 2551, Available: http://guru.sanook.com/encyclopedia/ประวัติการรถไฟโลก/ (12 ธันวาคม 2551).

[16] บริษัทระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด มหาชน, **ข้อมูลทั่วไปของบีทีเอส** (Online) 2540 Available: http://www.bts.co.th/th/index.asp (12 ธันวาคม 2551).

[17] องค์การรถไฟฟ้ามหานคร, **ประวัติความเป็นมาการรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย** (Online) 2551, Available:http://www.mrta.co.th/frame/mrta.htm (12 ธันวาคม 2551).

[18] สำนักงานบริหารโครงการระบบรถไฟฟ้า การรถไฟแห่งประเทศไทย, **ความเป็นมาของโครงการระบบขนส่งทางรถไฟเชื่อมท่าอากาศยานสุวรรณภูมิและสถานีรับส่งผู้โดยสารอากาศยานในเมือง** (Online) 2552, Available:http://www.railway.co.th/sarl/sub_from.html (11 กรกฎาคม 2552).

[19] Wikipedia, **Rolling Stock** (Online), 2009 Available:http://en.wikipedia.org/wiki/Rolling_stock (09 December 2009).

[20] วุฒิไกร วะชังเงิน, **ระบบการควบคุมรถและอาณัติสัญญาณ (**Online), 2009 Available http://www.parliament.go.th/parcy/sapa_db/committee-upload/5-20090612134409_Binder1.pdf

[21] A Hattangadi, **Failure Prevention of Plant and Machinery** Tata McGraw-Hill Inc., New York, 2004. Page 179

[22] สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวะ, **อุปกรณ์ผลิตและปรับปรุงคุณภาพลมอัด** (Online), 2553 Available:www.tice.ac.th/Online/Online2-2547/adirek/new_page2.htm (19 มิถุนายน 2553).

[23] Bankim Shikari, Automation in Condition Based Maintenance Using Vibration Analysis, Maulana Azad National Institute of Technology, Bhopal, India, 2004

[24] Srikesh G. Arunajadai, **Failure Mode Identification through Clustering Analysis,** Department of Mechanical Engineer, University of Missouri Rollar, 2002

[25] Saurabh Kumar, **Study of Rail Breaks: Associated Risks and Maintenance Strategies,** Division of Operation and Maintenance Engineer, Lulea University of Technology Sweden, 2006

[26] Marcus Bengtsson, **On Condition Based Maintenance and Its Implement in Industrial Setting,** Department of Innovation, Design and Product Development, Malardalen University Sweden, 2007

[27] Robert Lagnebäck, **Evaluation of Wayside Condition Monitoring Technologies for Condition Based Maintenance of Railway Vehicles,** Licentiate Thesis, Department of Civil, Mining and Environmental Engineering, Operation and Maintenance Engineering, Luleå University of Technology, 2008.

[28] W.J. Moore and A.G. Starr, **An Intelligent Maintenance System for Continuous Cost-Based Prioritization of Maintenance Activities,** School of Mechanical, Aerospace and Civil Engineering, The University of Manchester, Manchester,

[29] Saurabh Kumar, **A Study of the Rail Degradation Process to Predict Rail Breaks,** Luleå University of Technology, Division of Operation and Maintenance Engineering, Licentiate Thesis, Sweden, 2006

[30] Rikard Granström, **Management of condition information from railway punctuality perspectives,** Doctoral Thesis, Department of Civil, Mining and Environmental Engineering, Operation and Maintenance Engineering, Luleå University of Technology, Sweden, 2008.

[31] Focus Laboratories, **คู่มือการอ่านรายงานการตรวจวิเคราะห์น้ำมัน** Available: http://www.focuslab.co.th/th/oilanalysis.php (10 Jun 2010)

[32] Indira Gandhi National Open University School of Management Studies, **MS-57 Maintenance Management** (Online) Available: http://explorer.cekli.com/articles/pdf/ms-57-maintenance-management

ภาคผนวก ก
ตารางเกณฑ์การประเมินผลกระทบจากลักษณะข้อบกพร่อง

ตารางที่ ก.1 เกณฑ์การประเมินความวิกฤติจากผลกระทบและโอกาสการเกิดด้านเชิงพาณิชย์

ผลกระทบทางด้านเชิงพาณิชย์			โอกาสที่จะเกิดผลกระทบทางด้านเชิงพาณิชย์		
คะแนน	**ระดับ**	**รายละเอียด**	**คะแนน**	**ระดับ**	**รายละเอียด**
5	สูงมาก	หยุดทำงานมากกว่า 24 ชม. ค่าซ่อมมากกว่า 500,000 บาท	6	สูงมาก	ใช้ได้ไม่เกิน 3 เดือน
4	สูง	หยุดทำงานมากกว่า12 ชม. แต่น้อยกว่า24 ชม. ค่าซ่อมมากกว่า 100,000 บาท แต่ไม่ถึง 500,000 บาท	5	สูง	ใช้ได้นานกว่า 3 เดือน แต่ไม่เกิน 1 ปี
3	ปาน กลาง	หยุดการทำงานบางส่วน มากกว่า8 ชม. แต่ไม่ถึง12 ชม. ค่าซ่อมมากกว่า 10,000 บาท แต่ไม่ถึง 100,000 บาท	4	ปานกลาง	ใช้ได้นานกว่า 1 ปี แต่ไม่เกิน 3 ปี
2	ต่ำ	หยุดทำงานน้อยกว่า 8 ชม. ค่าซ่อมมากกว่า 1,000 บาท แต่ไม่ถึง 10,000 บาท	3	ต่ำ	ใช้ได้นานกว่า 3 ปี แต่ไม่เกิน 5 ปี
1	ต่ำมาก	ไม่กระทบต่อการทำงาน ค่าซ่อมน้อยกว่า 1,000 บาท	2	ต่ำมาก	ใช้ได้นานกว่า 5 ปี แต่ไม่เกิน 10 ปี
			1	โอกาสเกิดน้อยมาก	ใช้ได้นานกว่า 10 ปี

ตารางที่ ก.2 เกณฑ์การประเมินความวิกฤติจากผลกระทบและโอกาสการเกิดด้านความปลอดภัย [11]

ผลกระทบทางด้านความปลอดภัย			โอกาสที่จะเกิดผลกระทบทางด้านความปลอดภัย		
คะแนน	**ระดับ**	**รายละเอียด**	**คะแนน**	**ระดับ**	**รายละเอียด**
5	สูงมาก	สูญเสีย อวัยวะ พิการ	6	สูง	อย่างน้อย 1 ครั้ง ต่อปี
4	สูง	สูญเสียเวลาจากอุบัติเหตุ	5	ไม่สูง	เกิดมากกว่า 1 ครั้งใน 5 ปี
3	ปาน กลาง	สามารถบันทึกประวัติเป็นอุบัติเหตุได้	4	ไม่มีการระบุ	ไม่มีการระบุ
2	ต่ำ	บาดเจ็บ เจ็บป่วย ต้องมีการปฐมพยาบาล	3	ค่อนข้างน้อย	เกิดครั้งเดียวใน 5 ปี
1	ต่ำมาก	ไม่มีผลกระทบด้านความปลอดภัย	2	ไม่มีการระบุ	ไม่มีการระบุ
			1	โอกาสเกิดน้อยมาก	ไม่เคยมีการรายงานการเกิด

ตารางที่ ก.3 เกณฑ์การประเมินความวิกฤติจากผลกระทบและโอกาสการเกิดด้านสิ่งแวดล้อม [11]

ผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม			โอกาสที่จะเกิดผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อม		
คะแนน	**ระดับ**	**รายละเอียด**	**คะแนน**	**ระดับ**	**รายละเอียด**
5	สูงมาก	เกิดสารพิษที่เกิน 500 หน่วยวัด และผิดข้อบังคับด้านสิ่งแวดล้อม	6	สูง	เกิดอย่างน้อย 1 ครั้ง ต่อปี
4	สูง	เกิดสารพิษที่เกิน 200 หน่วยวัด และต้องการความช่วยเหลือจากองค์กรภายนอก	5	ไม่สูง	เกิดมากกว่า 1 ครั้งใน 5 ปี
3	ปานกลาง	เกิดสารพิษที่เกิน 20 หน่วยวัด หน่วยงานภายใน สามารถจัดการได้	4	ไม่มีการระบุ (Not Applicable)	ไม่มีการระบุ (Not Applicable)
2	ต่ำ	เกิดสารพิษเล็กน้อย (ไม่ถึงขั้นรายงานตามระเบียบ)	3	ค่อนข้างน้อย	เกิดครั้งเดียวใน 5 ปี
1	ต่ำมาก	ไม่มีผลกระทบ	2	ไม่มีการระบุ (Not Applicable)	ไม่มีการระบุ (Not Applicable)
			1	โอกาสเกิดน้อยมาก	ไม่เคยมีการรายงานการเกิด

ตารางที่ ก.4 เกณฑ์การจัดกลุ่มความวิกฤติ

โอกาสการเกิดข้อบกพร่อง						
	6 สูงมาก	6 ปานกลาง	12 สูง	18 สูง	24 สูง	30 สูง
	5 สูง	5 ปานกลาง	10 ปานกลาง	15 สูง	20 สูง	25 สูง
	4 ต่ำ	4 ต่ำ	8 ปานกลาง	12 ปานกลาง	16 สูง	20 สูง
	3 ต่ำ	3 ต่ำ	6 ต่ำ	9 ปานกลาง	12 ปานกลาง	15 สูง
	2 ต่ำมาก	2 ต่ำ	4 ต่ำ	3 ต่ำ	8 ปานกลาง	10 ปานกลาง
	1 นานมาก	1 ต่ำ	2 ต่ำ	3 ต่ำ	4 ต่ำ	5 ปานกลาง
รูปแบบความวิกฤติ Criticality Matrix		1 ต่ำมาก	2 ต่ำ	3 ปานกลาง	4 สูง	5 สูงมาก
		ผลกระทบการเกิดข้อบกพร่อง				

ตารางที่ ก.5 เกณฑ์การประเมินผลความวิกฤติจากการจัดกลุ่ม

เครื่องจักรหรืออุปกรณ์	ระดับความวิกฤติ		
	ด้านเชิงพาณิชย์	ด้านความปลอดภัย	ด้านสิ่งแวดล้อม
1	(1-3)	(1-3)	(1-3)
2	(1-3)	(1-3)	(1-3)
3	(1-3)	(1-3)	(1-3)
4	(1-3)	(1-3)	(1-3)
5	(1-3)	(1-3)	(1-3)

ตารางที่ ก.6 เกณฑ์การแสดงระดับการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่อง (Detection) [8]

ระดับการตรวจจับ	การตรวจจับ (Detection)	เกณฑ์ในการตรวจจับ
1	สูงมากมาก(Almost Certain)	มีระบบควบคุมและมั่นใจได้ว่าสามารถที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้
2	สูงมาก (Very High)	มีระบบควบคุมและเกือบจะมั่นใจได้ว่าสามารถที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้
3	สูง (High)	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้
4	ค่อนข้างจะสูง (Moderately High)	มีระบบควบคุมและมีโอกาสสูงที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้
5	ปานกลาง (Moderate)	มีระบบควบคุมและอาจจะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้
6	ต่ำ (Low)	มีระบบควบคุมและอาจจะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้
7	ต่ำมาก (Very Low)	มีระบบควบคุมแต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้
8	ห่างไกล (Remote)	มีระบบควบคุมแต่มีโอกาสน้อยมากที่จะตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้
9	ห่างไกลมาก(Very Remote)	มีระบบควบคุมแต่ไม่สามารถการตรวจจับลักษณะข้อบกพร่องได้
10	เกือบจะเป็นไปไม่ได้ (Almost Impossible)	ไม่มีการตรวจจับใดๆ

ตารางที่ ก.7 เกณฑ์การประเมินโอกาสที่จะเกิดลักษณะข้อบกพร่อง (Occurrence) [8]

ระดับ Raking	อัตราความบกพร่อง (Failure Rate)	โอกาสการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง
1	1/10,000	อัตราความบกพร่องต่ำมากๆ แทบจะไม่มีโอกาสที่จะเกิดขึ้น
2	1/5,000	อัตราความบกพร่องต่ำมาก
3	1/2,000	อัตราความบกพร่องปานกลาง
4	1/1,000	อัตราความบกพร่องปานกลาง
5	1/500	อัตราความบกพร่องปานกลาง
6	1/200	อัตราความบกพร่องปานกลางถึงสูง
7	1/100	อัตราความบกพร่องสูง
8	1/50	อัตราความบกพร่องสูง
9	1/20	อัตราความบกพร่องสูง
10	1/10+	อัตราความบกพร่องสูง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตารางที่ ก.8 เกณฑ์การประเมินระดับความรุนแรงลักษณะข้อบกพร่อง (Severity Ranking) [8]

ระดับความรุนแรง	ผลกระทบจากลักษณะข้อบกพร่อง	ระดับความรุนแรงของผลกระทบ
1	ไม่มีผลกระทบ (None)	ไม่มีผลกระทบด้านความปลอดภัย ด้านสุขภาพ และด้านสิ่งแวดล้อมที่สังเกตให้เห็นได้
2	เกือบไม่มีผลกระทบ (Very Low)	มีผลกระทบต่อสิ่งอำนวยความสะดวกเล็กน้อย และสามารถซ่อมได้ทันทีเมื่อเกิดมีการเสีย
3	มีผลกระทบเล็กน้อย (Low)	มีผลกระทบต่อสิ่งอำนวยความสะดวกเล็กน้อย และไม่ถึงกับซ่อมได้ทันทีจะใช้เวลามากกว่าแต่ต้องไม่ทำให้เกิดการเสียเวลาการให้บริการ
4	มีผลกระทบต่ำถึงปานกลาง (Low to Moderate)	มีผลกระทบต่อสิ่งอำนวยความสะดวกปานกลาง การทำงานบางส่วนอาจจะต้องการแก้ไขซ้ำใหม่ หรือทำให้การปฏิบัติการหยุดชะงัก
5	ปานกลาง (Moderate)	มีผลกระทบต่อสิ่งอำนวยความสะดวกปานกลาง การทำงาน100% อาจจะต้องการแก้ไขซ้ำใหม่ หรือทำให้การปฏิบัติการหยุดชะงัก
6	ปานกลางถึงสูง (Moderate to High)	มีผลกระทบต่อสิ่งอำนวยความสะดวกปานกลาง บางส่วนของระบบต้องการแก้ไขซ้ำใหม่ หรือทำให้การปฏิบัติการหยุดชะงัก
7	มีผลกระทบสูง (High)	มีผลกระทบต่อสิ่งอำนวยความสะดวกสูง การทำงาน100%ของระบบต้องการแก้ไขซ้ำใหม่ หรือทำให้การปฏิบัติการหยุดชะงัก
8	มีผลกระทบสูงมาก (Very High)	มีผลกระทบต่อระบบการทำงานสูงมาก จะสูญเสียหน้าที่ทั้งหมด
9	เกิดอันตรายโดยมีการเตือน (Hazard)	มีแนวโน้มในการเกิดผลกระทบต่อความปลอดภัย สุขภาพและสิ่งแวดล้อมของผู้ใช้ หรือขัดต่อกฎหมายโดยมีการเตือนก่อน
10	เกิดอันตรายโดยไม่มีการเตือน (Hazard)	มีแนวโน้มในการเกิดผลกระทบต่อความปลอดภัย สุขภาพและสิ่งแวดล้อมของผู้ใช้ หรือขัดต่อกฎหมายโดยไม่มีการเตือนก่อน

ตารางที่ ก.9 เกณฑ์การพิจารณาระดับความรุนแรงในเชิงคุณภาพ (Severity Ranking) [12] [13]

รายละเอียด	**กลุ่มระดับความรุนแรง**	**เกณฑ์ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อม ความปลอดภัย และอาชีวอนามัย**
ความเสียหายระดับหายนะ, สูญเสียถึงชีวิตได้ (Catastrophic)	I	สามารถทำให้เกิดการสูญเสียถึงพิการหรือรุนแรงถึงชีวิตได้, ประเมินค่าความสูญเสียประมาณ 1ล้านเหรียญสหรัฐ, หรือมีผลขัดกับกฎหมายสิ่งแวดล้อมที่ไม่สามารถนำกับคืนมาได้
มีความวิกฤติรุนแรงทำให้ระเสียหายมาก (Critical)	II	สามารถทำให้เกิดการพิการบางส่วนหรือมีความรุนแรงถึงได้รับบาดเจ็บอย่างน้อย 3 คน, ประเมินค่าความสูญเสียประมาณ 2 แสน แต่ไม่เกิน 1ล้านเหรียญสหรัฐ,หรือมีผลขัดกับกฎหมายสิ่งแวดล้อมที่สามารถนำกับคืนมาได้
มีผลบ้างแต่ไม่มาก (Marginal)	III	สามารถทำให้เกิดการได้รับบาดเจ็บถึงขั้นต้องหยุดงานตั้งแต่หนึ่งวันขึ้นไปต่อสัปดาห์, ประเมินค่าความสูญเสียประมาณ 1 หมื่นแต่ไม่เกิน 2 แสน เหรียญสหรัฐ,หรือมีผลขัดกับกฎหมายสิ่งแวดล้อมที่ไม่รุนแรง
ไม่มีผลกระทบ (Negligible)	IV	สามารถทำให้เกิดการได้รับบาดเจ็บแต่ไม่ถึงขั้นหยุดงาน, ประเมินค่าความสูญเสียประมาณ 2 พันแต่ไม่เกิน 1 หมื่น เหรียญสหรัฐ,หรือมีผลขัดกับกฎหมายสิ่งแวดล้อมที่เล็กน้อย

ตารางที่ ก.10 เกณฑ์การพิจารณาระดับโอกาสการเกิดข้อบกพร่องในเชิงคุณภาพ [12] [13]

รายละเอียด **Description**	**ระดับ** **Level**	**เกณฑ์ความเป็นไปได้** **Likelihood Criteria**
เกิดขึ้นบ่อย เป็นประจำ Frequent	A	เกิดขึ้นบ่อย เป็นประจำ
น่าจะเกิดขึ้นได้ Probable	B	จะเกิดขึ้นได้บ้าง
เกิดได้เป็นครั้งคราว Occasional	C	อาจจะเกิดขึ้นได้บ้าง
เกิดขึ้นได้ค่อนข้างน้อย Remote	D	ไม่น่าจะเกิดขึ้น, แต่อาจจะเกิดขึ้นได้
ไม่น่าจะเกิดได้ Improbable	E	ไม่น่าจะเกิดขึ้น แต่เป็นไปได้

ตารางที่ ก.11 เกณฑ์การพิจารณาระดับความวิกฤติตาม MIL-STD-882C [11, 13]

ระดับความวิกฤติ **Hazard Risk Index**	**เกณฑ์การพิจารณา** **Criteria**
IA, IB, IC, IIA, IIB, IIIA	ความวิกฤติที่ไม่สามารถยอมรับ Risk Unacceptable
ID, IIC, IID, IIIB, IIIC	ความวิกฤติที่ไม่ต้องการยอมรับ (ซึ่งต้องผ่านการพิจารณาจากผู้บริหาร) Risk Undesirable (Higher Management Decision is Require)
IE, IIE, IIID, IIIE, IVA, IVB	ความวิกฤติที่ยอมรับได้ซึ่งผ่านการพิจารณาจากผู้บริหาร Risk Acceptable with Review by Management
IVC, IVD, IVE	ความวิกฤติที่ยอมรับได้ Risk Acceptable without Review

ภาคผนวก ข
ตารางการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) และการสร้างโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ

FAILURE MODE EFFECTS AND CRITICALITY ANALYSIS (FMECA)

SYSTEM: Air Supply Compressor | PREPARE BY: | SHEET NO. 1/1

PART NO.: n/a

REF. DRWG. n/a

MISSION: Produce Compressed Air | APPROVED BY: | DATE: 17 July 2009

รายการ	หน้าที่	ลักษณะข้อบกพร่องจากหน้าที่	แนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มการเกิดผลกระทบ	วิเคราะห์ความวิกฤติ		การซ่อมบำรุงรักษาคืนสภาพ	การซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ	ระดับช่างฝีมือ (TRADE)	
ITEMS	FUNCTION	FUNCTION FAILURE	POTENTIAL FAILURE MODES	POTENTIAL EFFECTS	S	O	OVERHAUL SHEDULING MAINTENANCE (OSM)	CONDITION BASED MAINTENANCE (CBM)	OSM.	CBM.
1A1	1. ปั๊มลมที่ปริมาณ 920 ลิตรต่อนาที ที่ความดันระหว่าง 8.5 ถึง 10 บาร์ในอุณหภูมิที่น้อยกว่า 60° เซลเซียส	A. ไม่สามารถทำการผลิตลมอัดได้	1. มอเตอร์ไม่ทำงาน สาเหตุเพราะตลับลูกปืนเสีย	- ความเสียหายของตลับลูกปืนก่อให้เกิดมอเตอร์เสีย - ปั๊มลม (Compressor) ไม่สามารถทำงานได้ - ไม่มีกำลังลมอัด - ทำให้เกิดการหยุดฉุกเฉินของรถไฟฟ้าได้ - ต้องนำรถไฟฟ้ากลับสู่โรงซ่อม	III	C	รอการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	ทำการ Overhaul ที่ระยะเวลา 12 ปี	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
1.A.2	1.	A.	2. มอเตอร์ไม่ทำงาน สาเหตุเพราะตลับลูกปืนเสีย (Overhaul Scheduling Maintenance)	- ความเสียหายของตลับลูกปืนก่อให้เกิดมอเตอร์เสีย - ปั๊มลม (Compressor) ไม่สามารถทำงานได้ - ไม่มีกำลังลมอัด - ทำให้เกิดการหยุดฉุกเฉินของรถไฟฟ้าได้ - ต้องนำรถไฟฟ้ากลับสู่โรงซ่อม	III	E	รอการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 6ปี	ไม่มีแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ	ช่างเทคนิค	

รายการ	หน้าที่	ลักษณะข้อบกพร่องจากหน้าที่	แนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มการเกิดผลกระทบ	วิเคราะห์ความวิกฤติ		การซ่อมบำรุงรักษาคืนสภาพ	การซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ	ระดับช่างฝีมือ (TRADE)	
ITEMS	FUNCTION	FUNCTION FAILURE	POTENTIAL FAILURE MODES	POTENTIAL EFFECTS	S	O	OVERHAUL SHEDULING MAINTENANCE (OSM)	CONDITION BASED MAINTENANCE (CBM)	OSM.	CBM.
1.A.3	1.	A.	3. มอเตอร์ไม่ทำงาน สาเหตุเพราะ Main Circuit Breaker (MCB) ขัดข้อง จึงไม่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายให้มอเตอร์ (Overhaul)	- ความเสียหายนำไปสู่มอเตอร์ไม่สามารถทำงานตามมา - ปั๊มลม (Compressor) ไม่ทำงาน	III	C	รอการตรวจสภาพในขณะทำการ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	- ทำการตรวจสภาพ MCB ในขณะ Overhaul ที่ 12 ปี - ทำการเปลี่ยน MCB ในระยะเวลา Overhaul 20 ปี	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
1.A.4	1.	A.	4. มอเตอร์ไม่ทำงาน สาเหตุเพราะรีเลย์เสีย จึงไม่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายให้มอเตอร์	- รีเลย์เสียทำให้มอเตอร์ไม่ทำงาน - ปั๊มลม (Compressor) ไม่ทำงานเนื่องจากมอเตอร์ไม่มีการจ่ายกระแสไฟฟ้า	III	D	- ไม่มีกิจกรรมการบำรุงรักษา	- อายุการใช้งานเพิ่มมากกว่า 20 ปี	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
1.A.5	1.	A.	5. มอเตอร์ไม่ทำงาน สาเหตุเพราะ Pressure Governor เสีย จึงไม่มีกระแสไฟฟ้าจ่ายให้มอเตอร์ (Overhaul)	- มอเตอร์หยุดทำงานสาเหตุจาก Pressure Governor ขัดข้อง - ปั๊มลม (Compressor) ไม่ทำงาน	III	D	- ทำการเปลี่ยน Pressure Governor ในระยะเวลา Overhaul 6 ปี	- ตรวจสอบและวัดผลการทำงานของ Pressure Governor ด้วย Pressure Gauge โดยการ เปิด ปิด ปั๊มลม ทุก 6 เดือน	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
1.A.6	1.	A.	6. มอเตอร์ไม่ทำงาน สาเหตุเพราะPressure Governor เสีย จึงไม่มีกระแสไฟฟ้าจ่าย	- มอเตอร์ไม่ทำงาน - ปั๊มลม (Compressor) ไม่ทำงาน	III	D	- ทำการเปลี่ยน Pressure Governor ในระยะเวลา Overhaul 6 ปี	- ทำการปรับให้ค่าอยู่ในพิกัดทุกๆ 1 ปี	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
1.A.7	1.	A.	7. มอเตอร์ไม่ทำงาน เพราะฉนวนไฟฟ้าชำรุด	- มอเตอร์ไม่ทำงาน - ปั๊มลม (Compressor) ไม่ทำงาน	III	D	ไม่มีแผนการซ่อมบำรุงรักษา	- ทำการตรวจสอบการเป็นฉนวนทุก 1 ปี - ทำการเปลี่ยนฉนวนในระยะเวลา Overhaul 12 ปี		ช่างเทคนิค

รายการ	หน้าที่	ลักษณะข้อบกพร่องจากหน้าที่	แนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มการเกิดผลกระทบ	วิเคราะห์ความวิกฤติ		การซ่อมบำรุงรักษาคืนสภาพ	การซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ	ระดับช่างฝีมือ (TRADE)	
ITEMS	FUNCTION	FUNCTION FAILURE	POTENTIAL FAILURE MODES	POTENTIAL EFFECTS	S	O	OVERHAUL SHEDULING MAINTENANCE (OSM)	CONDITION BASED MAINTENANCE (CBM)	OSM.	CBM.
1.A.8	1.	A.	8. Coupling แตกเสียหายได้	- ปั๊มลม (Compressor) ไม่ทำงาน	III	D	- ตรวจสอบด้วยตาเปล่า - ทำการตรวจสอบสภาพ Coupling ในระยะเวลา Overhaul 6 ปี	- ทำการตรวจสอบจำนวนรอบ (RPM) ของ Coupling ในทุกระยะ 6 เดือน	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
1.A.9	1.	A.	9. Coupling แตกชำรุดเสียหาย (Overhaul)	- ปั๊มลม (Compressor) ไม่ทำงาน	III	E	- ตรวจสอบด้วยตาเปล่า - ทำการตรวจสอบสภาพ Coupling ในระยะเวลา Overhaul 6 ปี	- ทำการตรวจสอบสภาพ Coupling ในระยะเวลา Overhaul 12 ปี	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
1.A.10	1.	A.	10. ตลับลูกปืนของเพลาข้อเหวี่ยง (Crankcase)หัก	- ตลับลูกปืนของเพลาข้อเหวี่ยง (Crankcase) แตกเสียหาย - ปั๊มลม (Compressor) ไม่ทำงาน.	III	E	ตรวจสภาพ ในการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี หรือ ระยะการใช้งาน	- ทำการเปลี่ยนตลับลูกปืนของเพลาในระยะเวลา Overhaul 12 ปี	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
1.A.11		A.	11.ไส้กรองอากาศตัน	- ผลิตลมได้น้อยหรือไม่ได้เลย	III	B	ไม่มีแผนการซ่อมบำรุงรักษา	- สามารถตรวจสอบได้โดย Vacuum Indicator (Visual Check) ทุก 1 เดือน		ช่างเทคนิค
1.A.12	1.	A.	12. อุปกรณ์ของท่อลม เช่น Seal, ข้อต่อในปั๊มลม แตก หัก	- ความเสียหายทำให้เกิดการสูญเสียปริมาณการผลิตลมอัด	III	B	ตรวจสภาพในขณะทำ Overhaul ถ้ามีการชำรุดเปลี่ยนให้ใหม่	- ทำการเปลี่ยนทุกๆ 6 ปี	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
1.A.13	1.	A.	13. ตัวจับยึดกับตัวรถหัก	- ปั๊มลมหลุดหรือหล่นออกจากตัวรถ - ไม่มีการผลิตลมอัด - อาจจะทำให้เกิดการเสียหายกับระบบอื่นได้ - สามารถทำให้เกิดตัวรถหลุดออกจากรางได้ เนื่องจาก ปั๊มลมติดตั้งอยู่ด้านล่างของตัวรถ	II	E	ตรวจสภาพ ในการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	- ทำการตรวจสอบการจับยึดในทุกระยะ 1 ปี - ทำการเปลี่ยนชิ้นส่วนต่างๆ เช่น Screw , Nut จากการตรวจสอบสภาพในการทำ Overhaul ทุกระยะ 12 ปี	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
1.A.14	1.	A.	14. ลูกสูบติด (The Piston Blocks)	- ไม่มีการเคลื่อนที่ของลูกสูบ (Piston) และ เพลาข้อเหวี่ยง (Crankcase) - Coupling แตกและจะส่งผลให้มอเตอร์หยุดทำงาน	III	E	รอการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	- ตรวจสอบสภาพการสึกหรอโดยการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นเพื่อใช้เป็นเกณฑ์การพิจารณาทำการ Overhaul	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค

รายการ	หน้าที่	ลักษณะข้อบกพร่องจากหน้าที่	แนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มการเกิดผลกระทบ	วิเคราะห์ความวิกฤติ		การซ่อมบำรุงรักษาคืนสภาพ	การซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ	ระดับช่างฝีมือ (TRADE)	
ITEMS	FUNCTION	FUNCTION FAILURE	POTENTIAL FAILURE MODES	POTENTIAL EFFECTS	S	O	OVERHAUL SHEDULING MAINTENANCE (OSM)	CONDITION BASED MAINTENANCE (CBM)	OSM.	CBM.
1.A15	1.	A.	15. วาล์วนิรภัยเสีย ในตำแหน่งเปิด	- จะมีลมรั่วออกจากท่อ - ผลิตลมได้น้อยหรือไม่ได้เลย	III	D	รอการทำตรวจสภาพในขณะ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	ไม่มีแผนการซ่อมบำรุงรักษา		
1.A.16	1.	A.	16. วาล์วนิรภัยเสียจากภายใน ในตำแหน่งเปิด	- รั่วไม่มีการอัดอากาศและจะไม่มีลมอัดเกิดขึ้น	III	D	รอการทำตรวจสภาพในขณะ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	ไม่มีแผนการซ่อมบำรุงรักษา		
1.B.1	1.	B. ปั๊มลมได้น้อยกว่า 920 ลิตรต่อนาที	1. ไส้กรองอากาศตันบางส่วน	- ปริมาณการผลิตลมจะลดลง - ปั๊มลม (Compressor) จะทำงานนานขึ้นและจะมีความร้อนเกิดขึ้น - อุณหภูมิของลมจะสูง ปริมาณ ลมอัดจะน้อย - ไม่มีผลกระทบกับการให้บริการโดยตรง - ในกรณีที่มีจำนวนผู้โดยสารมากจะต้องใช้ปริมาณลมมาก ลมอาจจะไม่เพียงพอได้ - ส่งสัญญาณการเตือนว่า ปริมาณลมต่ำ	IV	D	รอการทำตรวจสภาพในขณะ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	- ทดสอบการทำการของการอัดอากาศจากไส้กรองอากาศเดิม และใหม่เพื่อเปรียบเทียบกัน ในทุกระยะ 6 เดือน		ช่างเทคนิค
1.B.2	1.	B.	2. วาล์วจ่ายไม่ทำงาน สาเหตุเพราะ Membrane ปิดไม่สนิท	- ประสิทธิ์ภาพการทำงานของ Lead Valve จะลดลง - ปริมาณการผลิตลมอัดจะลดลง - ปั๊มลม (Compressed) จะทำงานนานกว่าปกติ - ไม่มีผลกระทบโดยตรงกับการให้บริการ - ในกรณีที่มีจำนวนผู้โดยสารขึ้นมากอาจจะทำให้แรงดันลมไม่เพียงพอได้ - แรงดันลมต่ำอาจจะเกิดผลกระทบกับการให้บริการ	IV	D	รอการทำตรวจสภาพในขณะ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	- ทดสอบการทำการของการอัดอากาศโดยการทดสอบรอยรั่ว ในทุกระยะ 6 เดือน	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค

รายการ	หน้าที่	ลักษณะข้อบกพร่องจากหน้าที่	แนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มการเกิดผลกระทบ	วิเคราะห์ความวิกฤติ		การซ่อมบำรุงรักษาคืนสภาพ	การซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ	ระดับช่างฝีมือ (TRADE)	
ITEMS	FUNCTION	FUNCTION FAILURE	POTENTIAL FAILURE MODES	POTENTIAL EFFECTS	S	O	OVERHAUL SHEDULING MAINTENANCE (OSM)	CONDITION BASED MAINTENANCE (CBM)	OSM.	CBM.
1.C.1	1.	C. ปั๊มลมผลิตลมอัดได้น้อยกว่า 8.5 บาร์	1. ค่าความดันของ Pressure Governor ไม่ถูกต้องจากการใช้งาน	- Pressure Governor จะส่งสัญญาณให้กับรีเลย์เมื่อแรงดันต่ำกว่า 8.5 บาร์ - ไม่มีผลกระทบโดยตรงกับการให้บริการ - อาจจะมีผลกระทบเกิดขึ้นได้เมื่อมีผู้โดยสารเข้าและออกเป็นจำนวนมากๆ ในเวลาเดียวกัน	IV	D	รอการทำตรวจสภาพในขณะ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	ทำการทดสอบการทำงานของ Pressure Governor โดยการปล่อยลมออกแล้วใช้ Pressure Gauge ทำการวัดเมื่อความดันต่ำกว่า 8.5 บาร์ สวิทช์ต้องทำงาน (On) และที่ความดัน 10 บาร์ สวิทช์ต้องตัดการทำงาน (Off)	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
1.C.2	1.	C.	2. ค่าความดันของ Pressure Governor ไม่ถูกต้องจากการใช้งาน (Overhaul)	- Governor จะส่งสัญญาณให้กับรีเลย์เมื่อแรงดันต่ำกว่า 8.5 บาร์ - ไม่มีผลกระทบโดยตรงกับการให้บริการ - อาจจะมีผลกระทบเกิดขึ้นได้เมื่อมีผู้โดยสารเข้าและออกเป็น	IV	D	ทำการเปลี่ยนสวิทช์ที่ระยะเวลา 6 ปี	ไม่มีแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ	ช่างเทคนิค	
1.C.3	1.	C.	3. เกิดการสึกหรอของกระบอกสูบและลูกสูบ	- ไม่สามารถผลิตลมอัดได้ถึงแรงดันที่ 8.5 บาร์	III	D	รอการทำตรวจสภาพในขณะ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	ทำการเปลี่ยนในขณะ Overhaul ที่ระยะเวลา 12 ปี	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
1.C.4	1.	C.	4. ผลิตปริมาณลมได้น้อยลง (ดูจาก 1-B)	(ดูจาก 1-B)	IV	D	รอการทำตรวจสภาพในขณะ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี			
1.D.1	1.	D. ปั๊มลมได้ความดันมากกว่า 10 บาร์	1. ค่าความดันของ Pressure Governor เปลี่ยนแปลงไม่ถูกต้องซึ่งเกิดจากการใช้งาน	- ปั๊มลม (Compressor) จะทำงานนานขึ้น - ความร้อนสะสมจะมากขึ้น - ปั๊มลม (Compressor) จะเสีย หรือต้องการ Overhaul เร็วกว่าปกติ	IV	D	รอการทำตรวจสภาพในขณะ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	ทำการตรวจสอบสภาพการสึกหรอจากการวิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่นเพื่อใช้เป็นเกณฑ์การพิจารณาทำการ Overhaul	ช่างเทคนิค	Oil Lab
1.D.2	1.	D.	2. รีเลย์ติดขัดในตำแหน่งเปิด	ดูจาก 1-D-1	IV	D	รอการทำตรวจสภาพในขณะ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	ไม่มีแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค

รายการ	หน้าที่	ลักษณะข้อบกพร่องจากหน้าที่	แนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มการเกิดผลกระทบ	วิเคราะห์ความวิกฤติ		การซ่อมบำรุงรักษาคืนสภาพ	การซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ	ระดับช่างฝีมือ (TRADE)	
ITEMS	FUNCTION	FUNCTION FAILURE	POTENTIAL FAILURE MODES	POTENTIAL EFFECTS	S	O	OVERHAUL SHEDULING MAINTENANCE (OSM)	CONDITION BASED MAINTENANCE (CBM)	OSM.	CBM.
1.E.1	1.	E ปั๊มลมได้ที่ความร้อนมากกว่า 60 บาร์	1. ระบบทำความเย็นขัดข้องจากพัดลม (Fan), Viscous Coupling ความสกปรกของ ระบบทำความเย็น Depot 2 Situation	- ความเย็นไม่เพียงพอที่สำหรับการผลิตลมอัด - ลมในถังลมจะร้อนขึ้นจะส่งผลทำให้บรรจุลมปริมาณลมได้น้อยลง	IV	D	รอการทำตรวจสภาพในขณะ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	วัดความเร็วรอบ (RPM) ของพัดลม ทุก 6 เดือน	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
1.E.2	1.	E.	2. ระบบทำความเย็นขัดข้องจาก พัดลม, Viscous Coupling ความสกปรกของ ระบบทำความเย็น Depot1 Situation	- ปั๊มลม (Compressor) จะทำงานนานขึ้น	IV	D	รอการทำตรวจสภาพในขณะ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	วัดความเร็วรอบ (RPM) ของพัดลม ทุก 6 เดือน	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
1.E.3	1.	E.	3. ระบบทำความเย็นสกปรก	- ความเย็นไม่เพียงพอที่สำหรับการผลิตลมอัด - ลมในถังลมจะร้อนขึ้นจะส่งผลทำให้บรรจุลมปริมาณลมได้น้อยลง	IV	D	รอการทำตรวจสภาพในขณะ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	ทำความสะอาดทุก 3 เดือน	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
1.E.4	1.	E.	4. Lead Valve	ดูจาก 1-B-2	IV	D	รอการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	ตรวจสภาพในการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 12 ปี	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
1.E.5	1.	E.	5. ไส้กรองอากาศตันบางส่วน	ดูจาก 1-B-1	IV	B	รอการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	เปลี่ยนไส้กรองทุก 1 ปี	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
1.E.6	1.	E.	6. จะเกิดแรงดันสูงในระยะต่อมา (ดูจาก 1-D)	(ดูจาก 1-D)	IV	D	รอการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	ตรวจสภาพในการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 12 ปี	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
1.E.7	1.	E.	7. จะเกิดปัญหากับน้ำมันหล่อลื่นในระยะต่อมา (ดูจาก 5)	(ดูจาก 5)	IV	D	รอการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	ตรวจสภาพในการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 12 ปี	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค

รายการ	หน้าที่	ลักษณะข้อบกพร่องจากหน้าที่	แนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มการเกิดผลกระทบ	วิเคราะห์ความวิกฤติ		การซ่อมบำรุงรักษาคืนสภาพ	การซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ	ระดับช่างฝีมือ (TRADE)	
ITEMS	FUNCTION	FUNCTION FAILURE	POTENTIAL FAILURE MODES	POTENTIAL EFFECTS	S	O	OVERHAUL SHEDULING MAINTENANCE (OSM)	CONDITION BASED MAINTENANCE (CBM)	OSM.	CBM.
2.A.1	2. ป้องกันแรงดันที่สูงขึ้นเกิน 15 บาร์	A. ไม่สามารถป้องกันการเสียหายได้เมื่อความดันขึ้นสูงกว่า 15 บาร์	1. สปริงวาล์วนิรภัยหัก	- สปริงวาล์วนิรภัยหัก แต่หน้าที่ป้องกันความปลอดภัยยังทำงานได้	IV	D	รอการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	ไม่มีแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
3. A.1	3. ป้องกันมอเตอร์จากกระแสเกินปกติ	A. ไม่สามารถป้องกันมอเตอร์ได้จาก กระแสเกิน	1. MCB เสียอยู่ในตำแหน่ง ปิด	- มอเตอร์เสีย	IV	D	รอการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	ตรวจสอบสภาพขณะทำการ Overhaul 12 ปี และทำการเปลี่ยน 20 ปี	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
4.A.1	4.ป้องกันสิ่งเจือปนที่มากับอากาศภายนอกเข้าไปในระบบ	A. ไม่สามารถป้องกันสิ่งเจือปนที่มากับลมได้	1. ไม่มีไส้กรองอากาศเนื่องจากลืมใส่ขณะทำการเปลี่ยน	- สิ่งเจือปนที่มากับอากาศเข้าไปในระบบ - จะมีเสียงดังจากปั๊มลม (Compressor) - อาจจะเกิดการเสียหายขึ้นกับลูกสูบ - ต้องนำรถออกจากการให้บริการ	IV	D	แก้ปัญหาทางด้านบุคคลากร	ไม่มีแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
5.A.1	5. ป้องกันกระบอกสูบ, ลูกสูบ, ก้านสูบ และเพลาข้อเหวี่ยง (Crankcase) จากการสึกหรอ	A. ขาดน้ำมันหล่อลื่น	1. เกิดการรั่วซึมจาก Seal เสื่อมสภาพ Depot1	- น้ำมันหยด - น้ำมันที่จะทำการหล่อลื่นจะไม่เพียงพอ ส่งผลให้ เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น ลูกสูบ กระบอกสูบ ตลับลูกปืน เพลาข้อเหวี่ยง - จะเกิดการสึกหรอของเม็ดลูกปืนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว - เพลาข้อเหวี่ยงจะไม่อยู่ในตำแหน่งปกติ - ความร้อนของปั๊มลมจะเพิ่มขึ้น - ชิ้นส่วนต่างๆที่มีการเคลื่อนที่จะเริ่มสึกหรอขึ้น เช่น ตลับลูกปืน (Bearing) ลูกสูบ (piston) - ตลับลูกปืนเสียหาย ดูจาก 1-A-10 - แรงสั่นเทือนจะเพิ่มขึ้น	IV	D	รอการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	ทำการตรวจสอบการหยดของน้ำมัน และตรวจสอบน้ำมันจากกระจกดูระดับน้ำมัน (Sight Glass) ต้องไม่ต่ำกว่าระดับ ทุก 6 เดือน	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค

รายการ	หน้าที่	ลักษณะข้อบกพร่องจากหน้าที่	แนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มการเกิดผลกระทบ	วิเคราะห์ความวิกฤติ		การซ่อมบำรุงรักษาคืนสภาพ	การซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ	ระดับช่างฝีมือ (TRADE)	
ITEMS	FUNCTION	FUNCTION FAILURE	POTENTIAL FAILURE MODES	POTENTIAL EFFECTS	S	O	OVERHAUL SHEDULING MAINTENANCE (OSM)	CONDITION BASED MAINTENANCE (CBM)	OSM.	CBM.
5.A.2	5.	A.	2. กระจกดูระดับน้ำมันแตก	- น้ำมันจะไหลออกทันที และไม่นานน้ำมันก็จะหมด ดูจาก 5-A-1	IV	D	รอการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	กระจกดูระดับน้ำมัน (Sight Glass)ในระหว่างการทำ Overhaul 12 ปี	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
5.A.3	5.	A.	3. Seal ปลั๊กถ่ายน้ำมันแตก	ดูจาก 5-A-1	IV	B	ทำการเปลี่ยนทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน	ทำการเปลี่ยนทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
5.A.4	5.	A.	4. Seal ปลั๊กถ่ายน้ำมันแตก	ดูจาก 5-A-1	IV	B	ทำการเปลี่ยนทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน	ทำการเปลี่ยนทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมัน	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
5.A.5	5.	A.	5. น้ำในน้ำมัน	- ความชื้นในอากาศเข้ามาผสมกับน้ำมัน สามารถตรวจสอบได้จาก Sight Glass ถ้าปั๊มลม (Compressor) นั้นทำงานนานปัญหานี้ไม่ค่อยพบ จะพบเมื่อมีการทำงานในช่วงสั้นๆ - ผลกระทบต่อมาดูจาก 5-A-1	IV	B	ตรวจสอบสีของน้ำมันที่ Sight Glass และมีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันทุก 1 ปี	ตรวจสอบกระจกดูระดับน้ำมัน (Sight Glass) ด้วยตาเปล่า	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
5.A.6	5.	A.	6. สิ่งเจือปนในน้ำมัน	- การปนเปื้อนจากสิ่งเจือปนเกิดขึ้นจากการสึกหรอของชิ้นส่วน การวิเคราะห์น้ำมันสามารถช่วยตรวจสอบปริมาณการสึกหรอได้ น้ำมันจะต้องทำการเปลี่ยนทุกปี - การปนเปื้อนนี้จะครอบคลุมถึง การนำไปสู่ 5-A-1	IV	B	มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันทุก 1 ปี	วิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น	ช่างเทคนิค	Oil Lab
5.A.7	5.	A.	7. สิ่งเจือปนในน้ำมัน	- การปนเปื้อนจากสิ่งเจือปนเกิดขึ้นจากการสึกหรอของชิ้นส่วน การวิเคราะห์น้ำมันสามารถช่วยตรวจสอบปริมาณการสึกหรอได้ น้ำมันจะต้องทำการเปลี่ยนทุกปี - การปนเปื้อนนี้จะครอบคลุมถึง การนำไปสู่ 5-A-1	IV	B	มีการเปลี่ยนถ่ายน้ำมันทุก 1 ปี	วิเคราะห์น้ำมันหล่อลื่น	ช่างเทคนิค	Oil Lab

รายการ	หน้าที่	ลักษณะข้อบกพร่องจากหน้าที่	แนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มการเกิดผลกระทบ	วิเคราะห์ความวิกฤติ		การซ่อมบำรุงรักษาคืนสภาพ	การซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ	ระดับช่างฝีมือ (TRADE)	
ITEMS	FUNCTION	FUNCTION FAILURE	POTENTIAL FAILURE MODES	POTENTIAL EFFECTS	S	O	OVERHAUL SHEDULING MAINTENANCE (OSM)	CONDITION BASED MAINTENANCE (CBM)	OSM.	CBM.
5.A.8	5.	A.	8. เติมน้ำมันผิดชนิดเมื่อมีการเปลี่ยนน้ำมันใหม่	- การขาดน้ำมันหล่อลื่นส่งผลโดยตรงให้ ปั๊มลม(Compressor) เสีย และเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมาก	IV	D	แก้ปัญหาทางด้านบุคคลากร	แก้ปัญหาทางด้านบุคคลากร	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
5.A.9	5.	A.	9. เกิดการกัดกร่อนของผิวด้านในของถังน้ำมัน	- มีการรั่วของถังน้ำมันซึ่งเกิดจากการกัดกร่อนของสนิม สามารถรู้ได้จากการวิเคราะห์	IV	D	รอการตรวจสอบในการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี		ช่างเทคนิค	
5.A.10	5.	A.	10. การกัดกร่อน(สนิม)ของถัง	- การกัดกร่อน(สนิม) จะนำไปสู่การรั่วซึมของน้ำมัน	IV	D	รอการตรวจสอบในการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	ตรวจสอบด้วยสายตาในการทำ Overhaul 12 ปี	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
5..B.1	5.	B. ตลับลูกปืนเสียสามารถส่งผลให้อุปกรณ์อื่นเสียหายได้ เช่น ลูกสูบ แหวนลูกสูบ กระบอกสูบ เป็นต้น	1. เกิดการแกว่งไม่ได้ศูนย์ (Unbalance)	- การแกว่งไม่ได้ศูนย์ (Unbalance) ไม่ใช่ปัญหาสำคัญ ดังนั้นไม่มีความจำเป็นที่ต้องทำการตรวจสอบ	III	D	รอการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	ไม่มีแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ	ช่างเทคนิค	
6. A.1	6. ตลับลูกปืนเสียสามารถส่งผลให้อุปกรณ์อื่นเสียหายได้ เช่น ลูกสูบ แหวนลูกสูบ กระบอกสูบ เป็นต้น	A. ไม่สามารถป้องกันลมอัดให้ผสมกับน้ำมันหล่อลื่น	1. ตัวดักน้ำมันใช้การไม่ได้	- อุปกรณ์วาล์วบางชนิดเช่น Lead วาล์ว เกิดการเสียหายได้ในระยะยาว	IV	D	รอการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	เปลี่ยนตลับลูกปืนในการทำ Overhaul 12 ปี	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค
7.A.1	7. บอกระดับน้ำมันหล่อลื่น	A. ไม่สามารถบอกระดับของน้ำมันหล่อลื่นได้	1. กระจกส่องดูน้ำมันแตก	- น้ำมันหยด - น้ำมันหล่อลื่นหมด	IV	D	ตรวจสภาพด้วยสายตาที่ระยะเวลา 6 ปี มีการชำรุดเปลี่ยนในการทำ Overhaul	ตรวจสภาพด้วยสายตาที่ระยะเวลา 12 ปี มีการชำรุดเปลี่ยนในการทำ Overhaul	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค

รายการ	หน้าที่	ลักษณะข้อบกพร่องจากหน้าที่	แนวโน้มการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง	แนวโน้มการเกิดผลกระทบ	วิเคราะห์ความวิกฤติ		การซ่อมบำรุงรักษาคืนสภาพ	การซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ	ระดับช่างฝีมือ (TRADE)	
ITEMS	FUNCTION	FUNCTION FAILURE	POTENTIAL FAILURE MODES	POTENTIAL EFFECTS	S	O	OVERHAUL SHEDULING MAINTENANCE (OSM)	CONDITION BASED MAINTENANCE (CBM)	OSM.	CBM.
8.A.1	8. ชดเชยระดับแรงดันในปั๊มลม	A. ไม่สามารถชดเชยระดับแรงดันในปั๊มลมได้	1. ตัวดักน้ำมันตัน	- มีน้ำมันบางส่วนตกค้างอยู่ในตัวดักน้ำมัน ทำให้ตัวดักน้ำมันตัน - แรงดันในเพลาข้อเหวี่ยง(Crankcase) สูงขึ้นทำให้การเคลื่อนที่ต้องใช้พลังงานที่มากขึ้น - เพลาข้อเหวี่ยง (Crankcase) จะมีอุณหภูมิสูงขึ้น - น้ำมันไหลย้อนกลับไปในเพลาข้อเหวี่ยง (Crankcase) จากแรงดันภายนอกเนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้น - น้ำมันจะถูกผสมกับลมอัดและจะถูกไปเก็บอยู่ในถังลม จะส่งผลให้ตัวกรองลม (Air Dryer) ทำงานหนักขึ้น	III	D	รอการทำ Overhaul ที่ระยะเวลา 6 ปี	- ทำการตรวจสอบด้วยตาเปล่าในขณะ Overhaul - เปลี่ยนในขณะทำการ Overhaul 12 ปี	ช่างเทคนิค	ช่างเทคนิค

ภาคผนวก ค
ตัวอย่างตารางบันทึกรายละเอียดการเก็บตัวอย่างน้ำมันสำหรับวิเคราะห์

TRAIN Number EMU _32____ train arrive in workshop **Train Mileage __1241092 KM**

Date _26 / 08 / 10 ____ **Time __09:47**

CAR Number	Location	Gear box Serial Number	Machine service Km (Km. of Gear box)	Oil service Km (KM since oil last changed)	Oil sample taken time	Temperature of oil in Gear box	Sample taken by	Bottle Number
Example EMU35 - 1170	AXLE 1	100	train km at the time sample is taken (unless gear box has been Replace)	Train km minus last oil changed	09:30	37.8 C°	012	842000
ODD Car								
A - 1163	AXLE 9	222	1241092	86465	09:57	47.3	210	918965
	AXLE 10	237	1241092	86465	10:00	45.6	210	918966
	AXLE 11	241	1241092	86465	10:04	43.4	210	918967
	AXLE 12	220	1241092	86465	10:06	43.4	210	918963
EVEN Car								
A - 1164	AXLE 1	-	-	-	-	-	-	-
	AXLE 2	-	-	-	-	-	-	-
	AXLE 3	-	-	-	-	-	-	-
	AXLE 4	252	1241092	86465	09:54	47.4	210	918962

Note the Oil was change on every box at around 30,000 Km **USE Only new pipe and always correct length for each sample**
Oil is change every 180,000 Km
Sample must be taken from gearbox IMMEDIATELY after the train arrives
Sample to be taken from Filling plug only
Do not allow the sampling pipe to take the deposits from the gearbox bottom
After sample taken, ensure that gear box is full (Unless oil change is specified to be done after sample is taken)

รูปที่ ค.1 ตัวอย่างตารางบันทึกรายละเอียดการเก็บตัวอย่างน้ำมันสำหรับวิเคราะห์

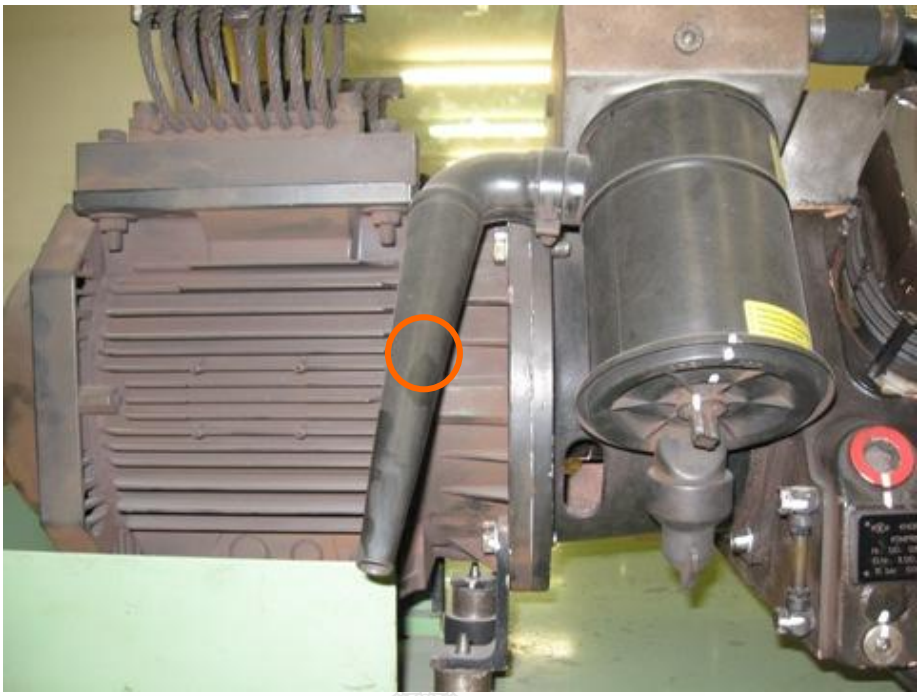
ภาคผนวก ง
ผลการติดตามสภาพการใช้งาน
จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature Effects) ของชุดกำเนิดลมรถไฟฟ้า

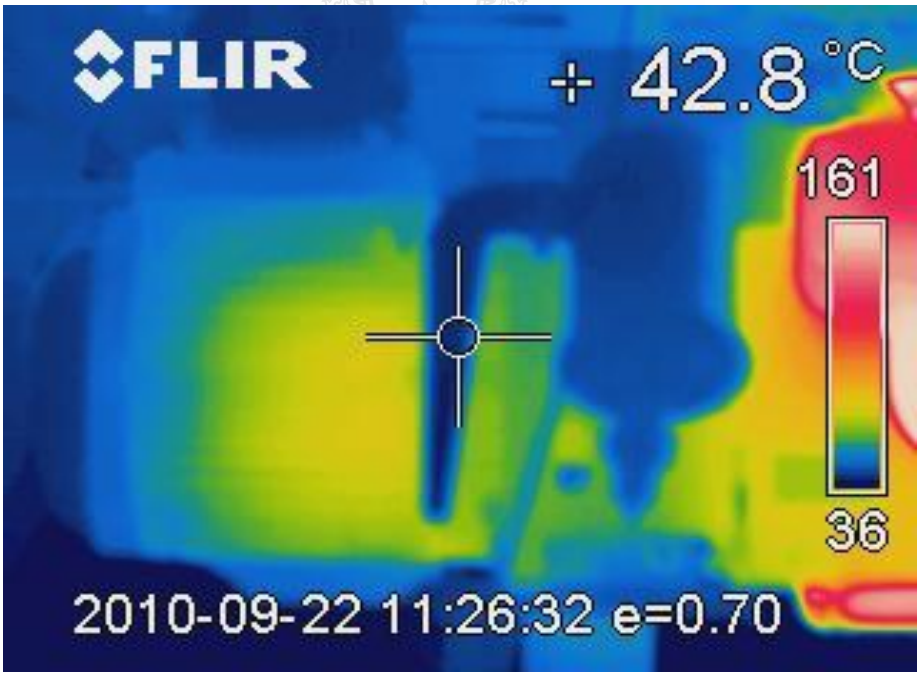
ตารางที่ ง.1 ตำแหน่งของการตรวจจับอุณหภูมิของชุดกำเนิดลม

จุดตรวจจับ	ตำแหน่งการตรวจจับ	ค่าอุณหภูมิปกติ	หมายเหตุ
1	อุณหภูมิของท่อลมเข้า (Ambient Temperature at Inlet Port)	ต้องมีค่าอุณหภูมิน้อยกว่า 40 C	
2	อุณหภูมิของลมหลังช่วงที่ 1 (Air Temperature After First Stage)	ต้องมีค่าอุณหภูมิน้อยกว่า 180 C	
3	อุณหภูมิของลม หลังการทำความเย็น (Air Temperature after Inter Cooler)	อุณหภูมิน้อยกว่า 60 C	
4	อุณหภูมิของลม หลังช่วงที่ 2 (Air Temperature after Second Stage)	อุณหภูมิน้อยกว่า 200 C	
5	อุณหภูมิของลม หลังตัวระบายความเย็น (Air Temperature after Cooler)	อุณหภูมิน้อยกว่า 60 C	
6	อุณหภูมิของลมหลังตัวระบายความเย็น (Air Temperature after Inter Cooler)	อุณหภูมิน้อยกว่า 150 C	

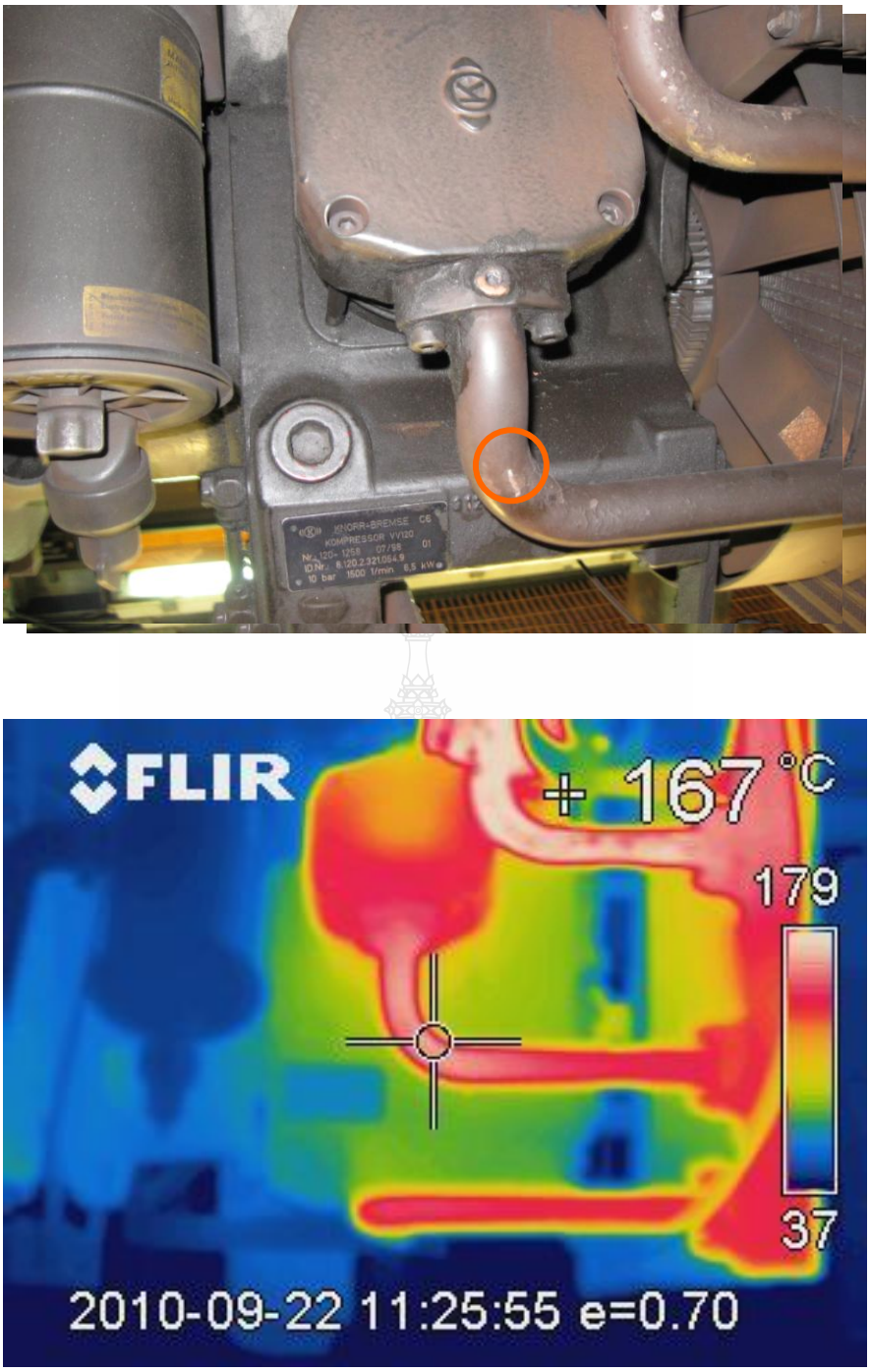
ตารางที่ ง.2 เกณฑ์การตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิ [32]

ระดับ	**ระดับปัญหา**	**การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ**	**หมายเหตุ**
1	ระดับก่อปัญหาเล็กน้อย (Minor Problem)	0ºC - 10ºC	
2	ระดับก่อเกิดปัญหาช่วงเริ่มต้น (Problem)	10ºC - 35ºC	
3	ระดับก่อเกิดปัญหาช่วงสาหัส ร้ายแรง (Serious Problem)	35ºC - 75ºC	
4	ระดับก่อเกิดปัญหาช่วงคับขัน อันตราย (Critical Problem)	> 75ºC	

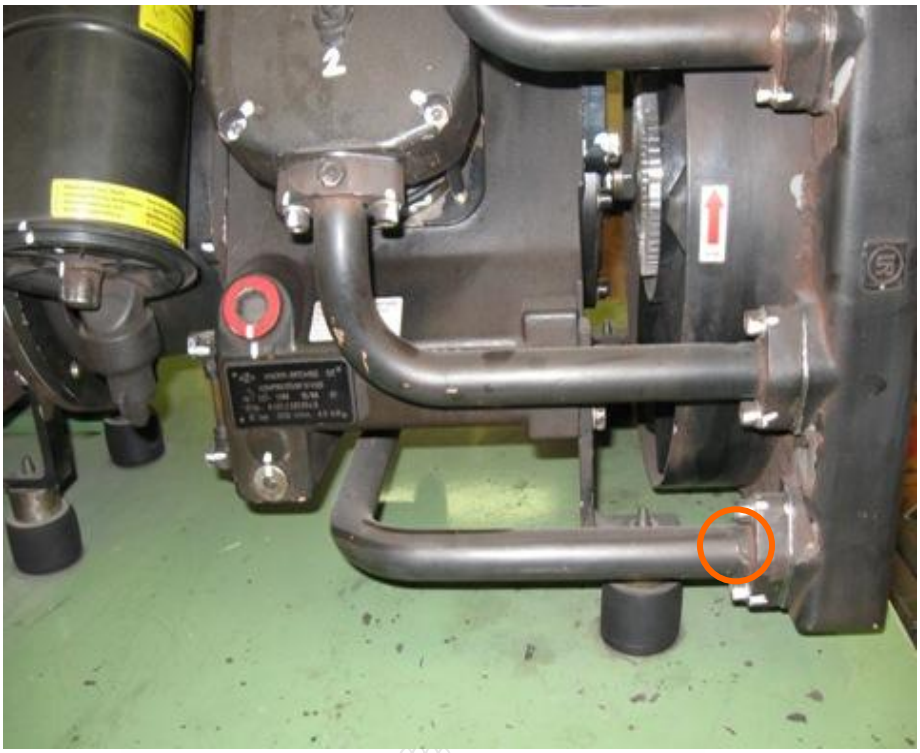


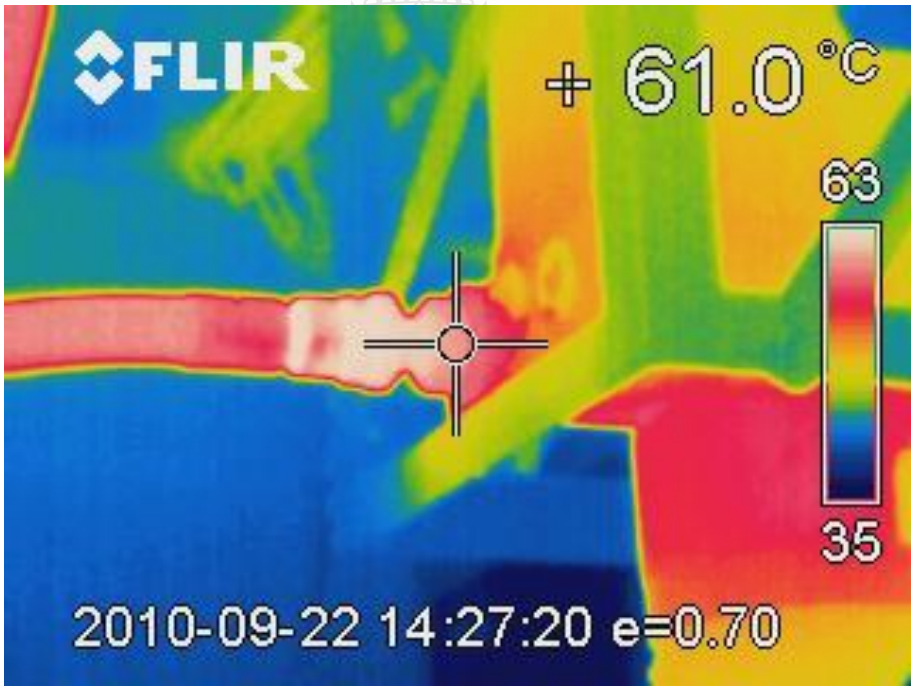


รูปที่ ง.1 แสดงการตรวจจับอุณหภูมิจุดที่ 1 อุณหภูมิลมรอบท่อลมเข้า (Ambient temperature at Inlet Port) ซึ่งในสภาพปกติต้องมีค่าอุณหภูมิน้อยกว่า 40 C

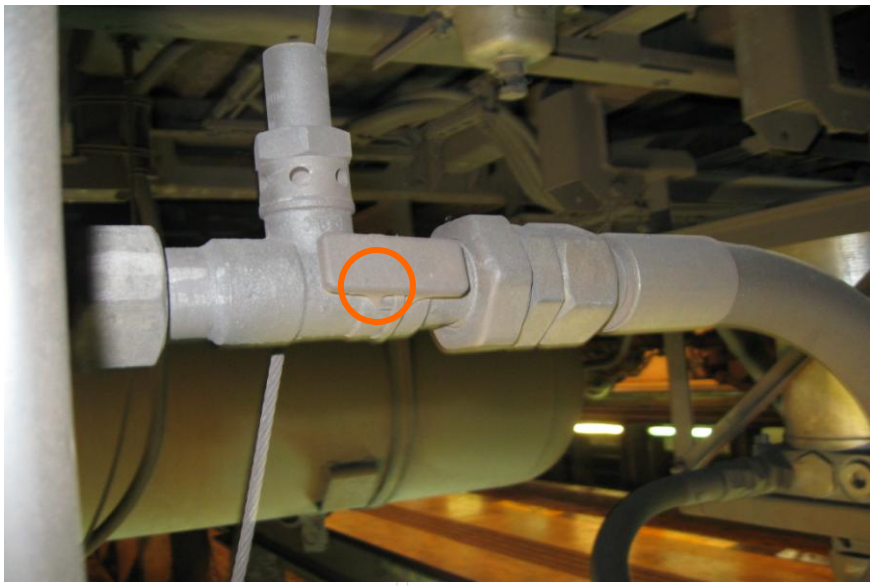


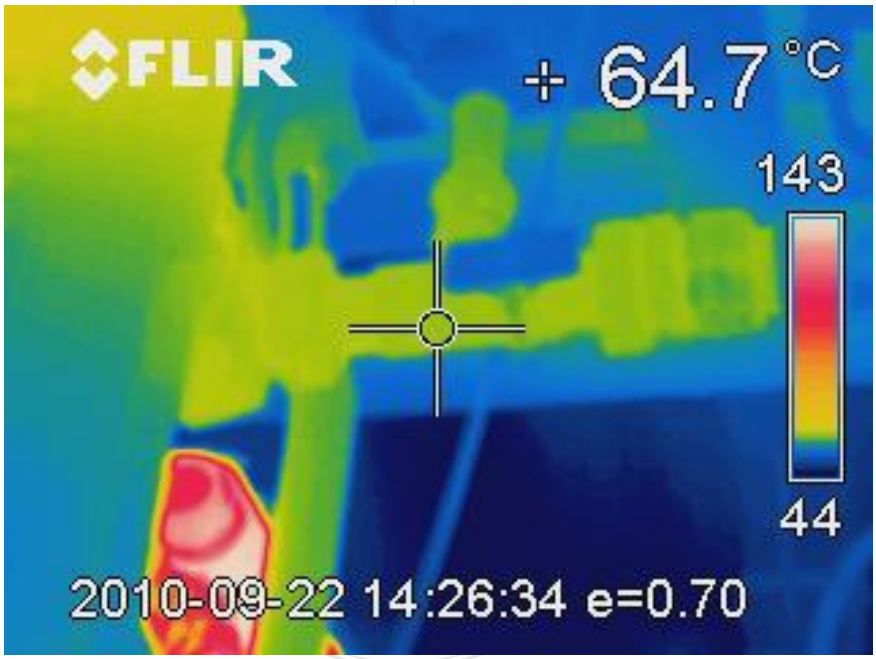
รูปที่ ง.2 แสดงการตรวจจับอุณหภูมิจุดที่ 2 อุณหภูมิของลมหลังช่วงที่ 1 (Air Temperature after first Stage) ซึ่งในสภาพปกติต้องมีค่าอุณหภูมิน้อยกว่า 180 C



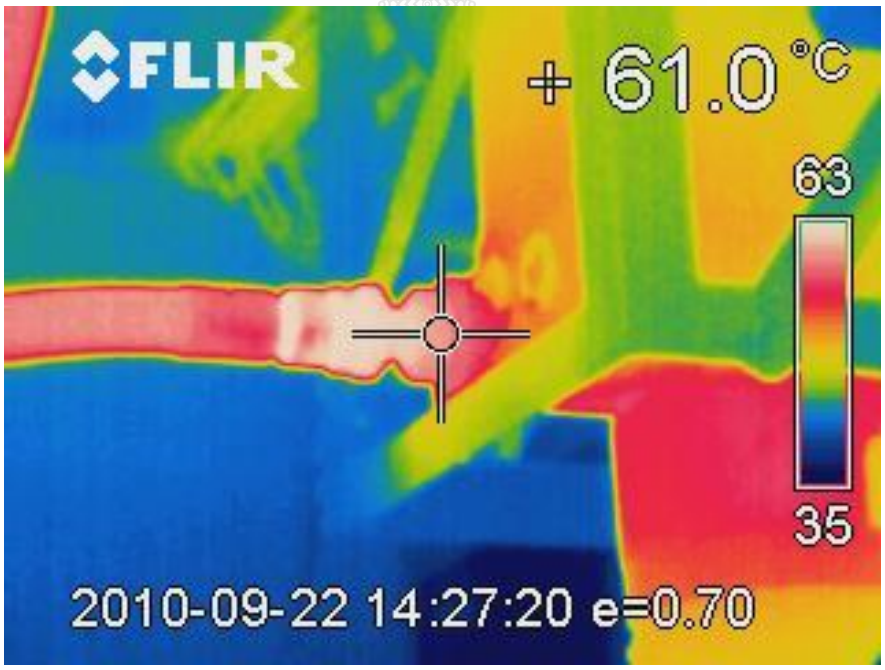


รูปที่ ง.3 แสดงการตรวจจับอุณหภูมิจุดที่ 3 อุณหภูมิของลมหลังการทำความเย็น (Air Temperature after Inter Cooler) ซึ่งในสภาพปกติต้องมีค่าอุณหภูมิน้อยกว่า 60 C

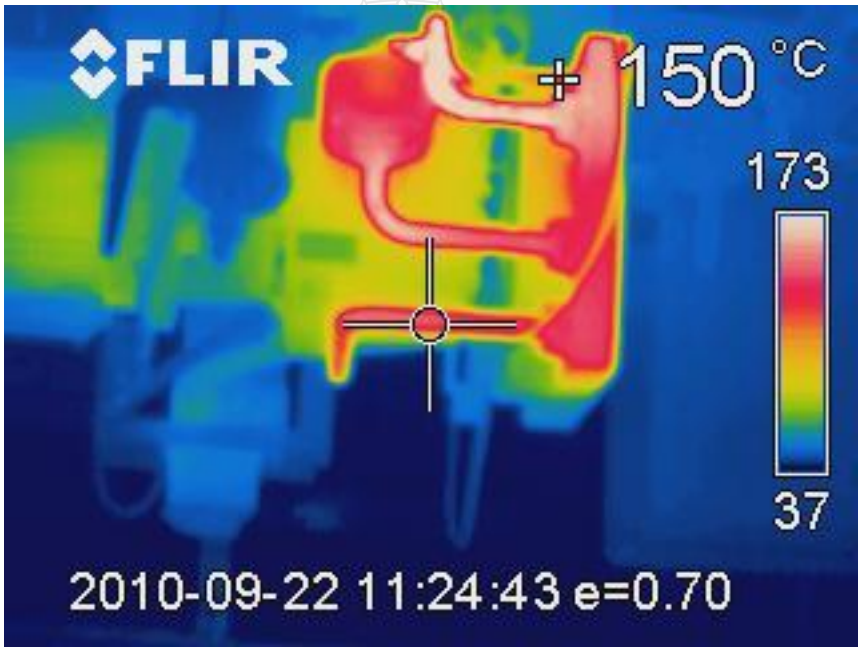




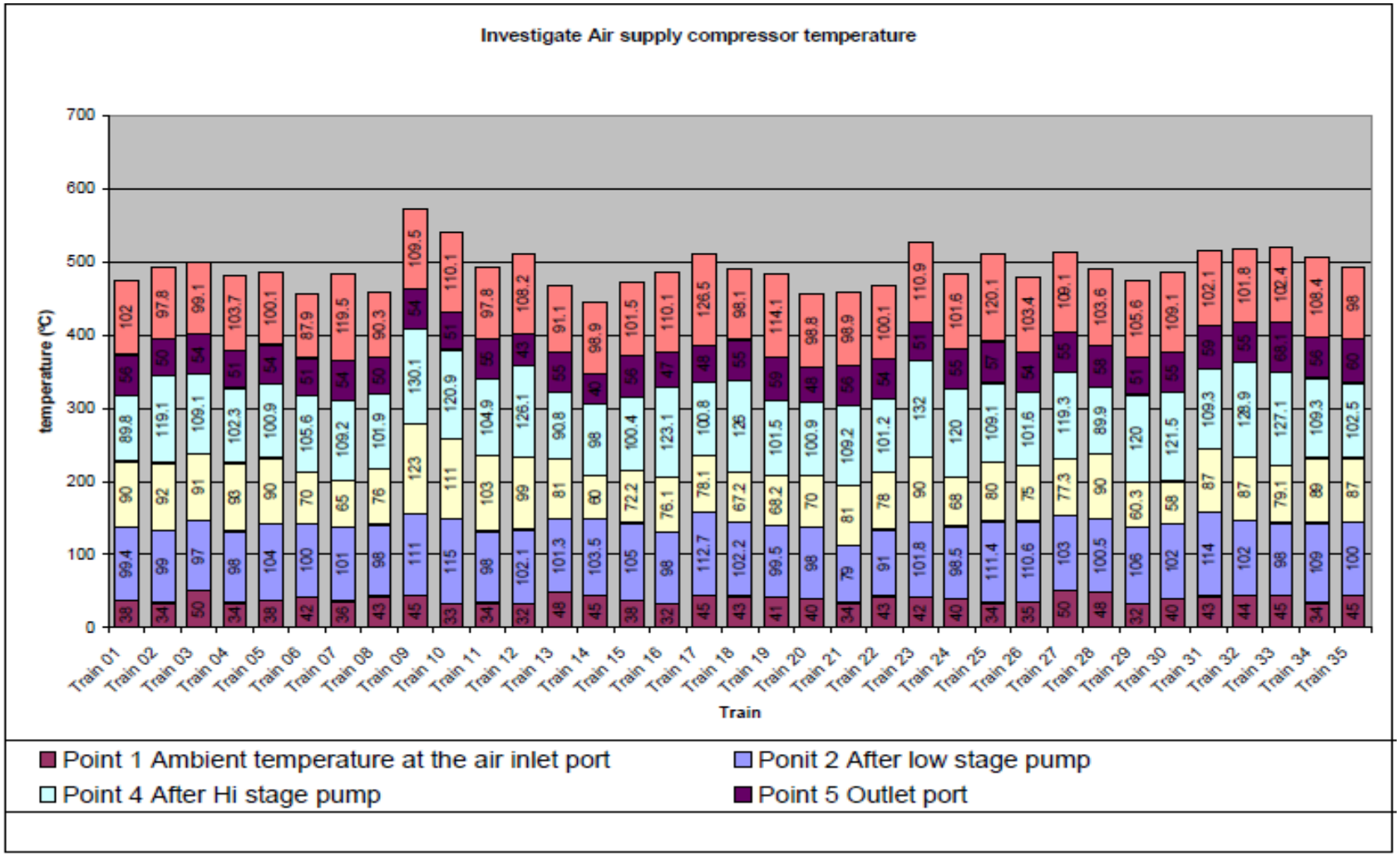
รูปที่ ง.4 อุณหภูมิจุดที่ 4 อุณหภูมิของลมหลังช่วงที่ 2 (Air Temperature after Second Stage)
ซึ่งในสภาพปกติต้องมีค่าอุณหภูมิน้อยกว่า 200 C



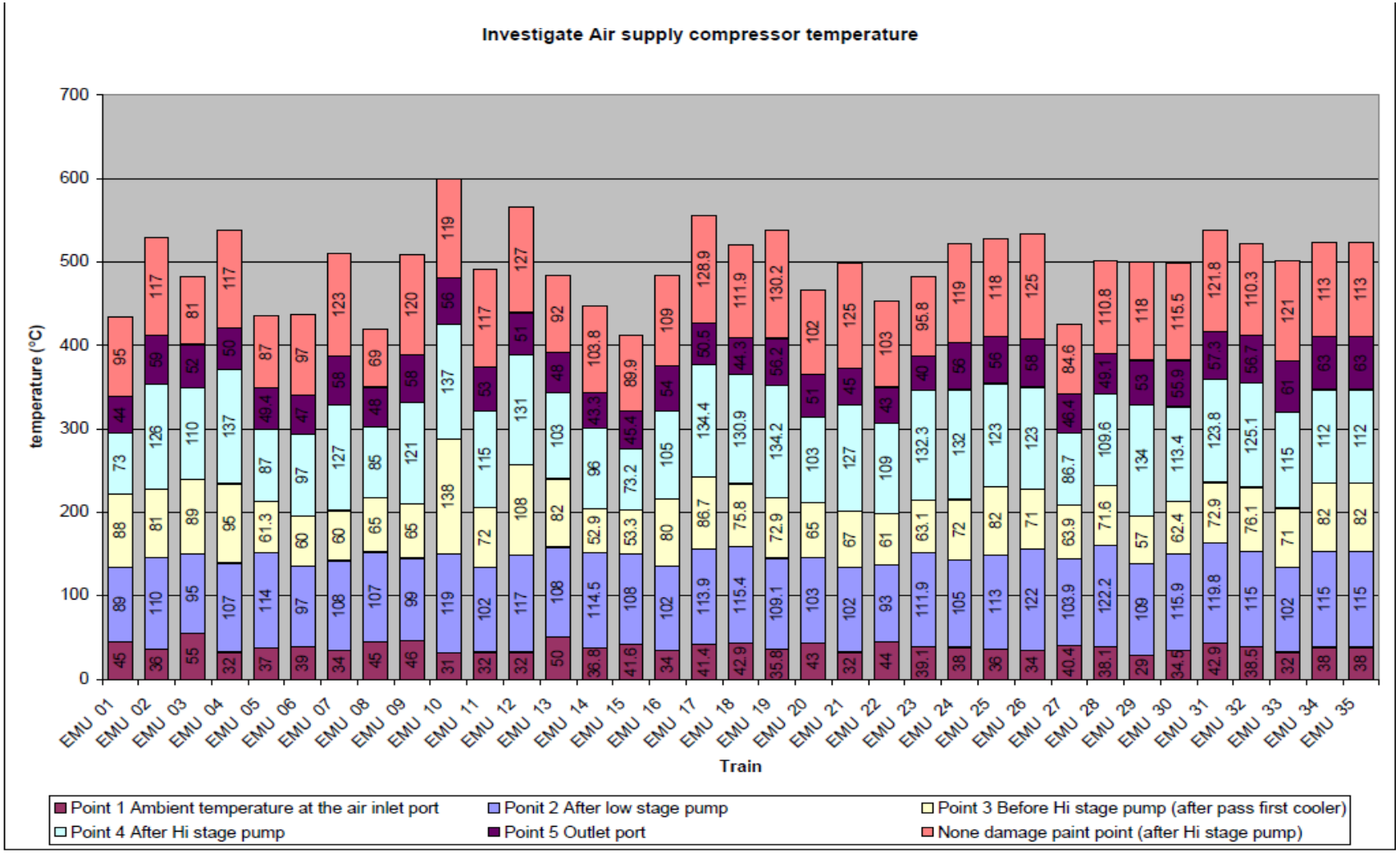
รูปที่ ง.5 อุณหภูมิจุดที่ 5 อุณหภูมิของลมหลังตัวระบายความเย็น
(Air Temperature after the After Cooler) ซึ่งในสภาพปกติต้องมีค่าอุณหภูมิน้อยกว่า 60 C



รูปที่ ง.6 อุณหภูมิจุดที่ 6 อุณหภูมิของลมหลังตัวระบายความเย็น
(Air Temperature after Inter Cooler) ซึ่งในสภาพปกติต้องมีค่าอุณหภูมิน้อยกว่า 150 C

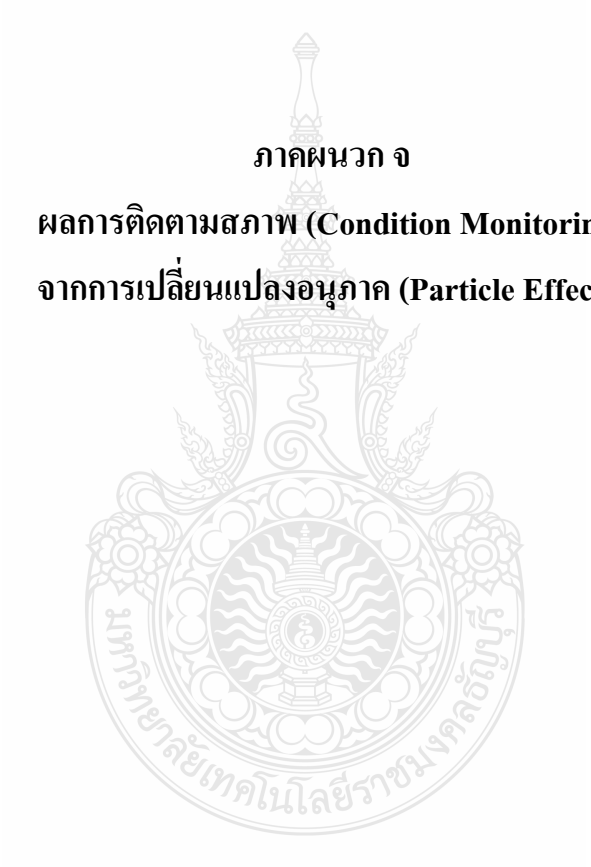


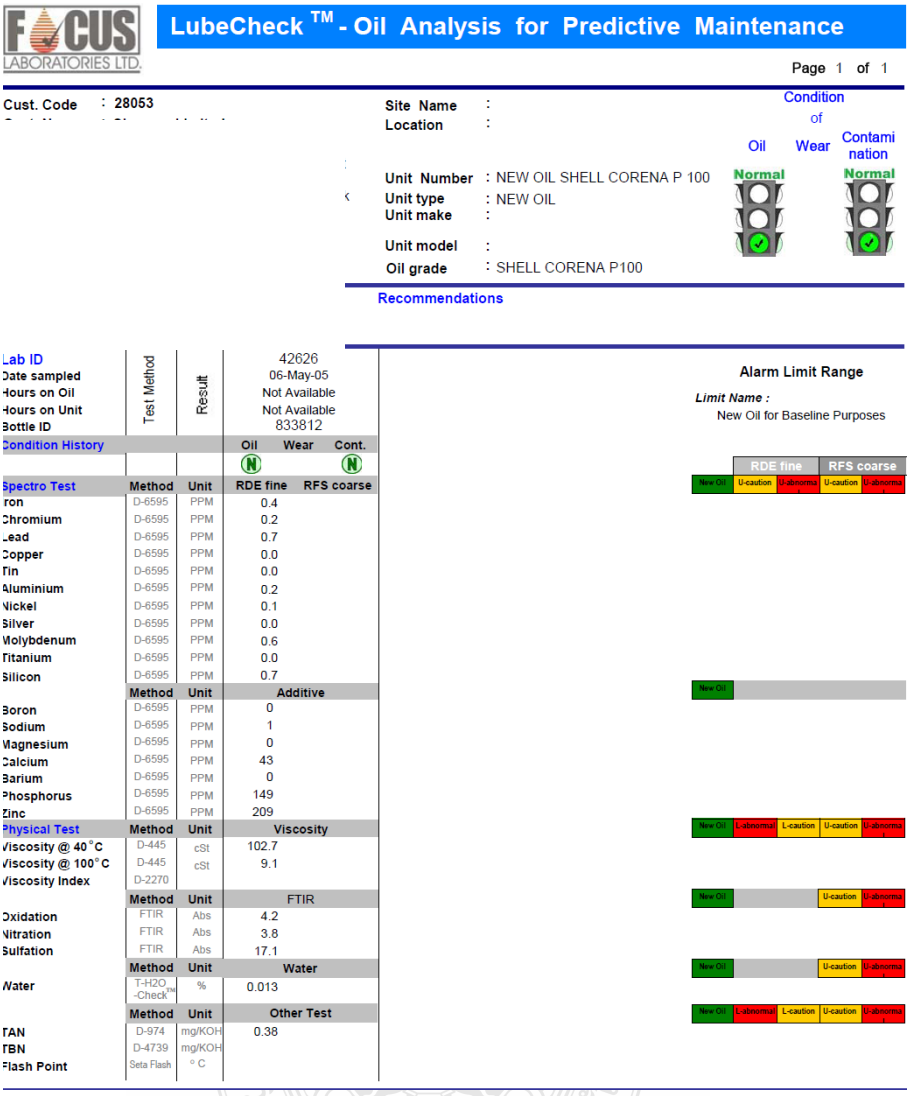
รูปที่ ง.7 ผลการตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิ ของอุปกรณ์กำเนิดลมของรถไฟฟ้า ช่วงเดือน กรกฎาคม - สิงหาคม ปี 2552



รูปที่ ง.8 ผลการตรวจติดตามสภาพการเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิ ของอุปกรณ์กำเนิดลมของรถไฟฟ้า ช่วงเดือน มีนาคม - เมษายน ปี 2553

ภาคผนวก จ
ผลการติดตามสภาพ (Condition Monitoring) จากการเปลี่ยนแปลงอนุภาค (Particle Effects)





LubeCheck ™ - Oil Analysis for Predictive Maintenance

Page 1 of 1

Cust. Code : 28053

Site Name :
Location :

Unit Number : NEW OIL SHELL CORENA P 100
Unit type : NEW OIL
Unit make :
Unit model :
Oil grade : SHELL CORENA P100

Condition of

Oil	Wear	Contamination
Normal		Normal

Recommendations

Lab ID			42626
Date sampled			06-May-05
Hours on Oil			Not Available
Hours on Unit			Not Available
Bottle ID			833812
Condition History			Oil: N, Wear, Cont.: N
Spectro Test	Method	Unit	RDE fine / RFS coarse
Iron	D-6595	PPM	0.4
Chromium	D-6595	PPM	0.2
Lead	D-6595	PPM	0.7
Copper	D-6595	PPM	0.0
Tin	D-6595	PPM	0.0
Aluminium	D-6595	PPM	0.2
Nickel	D-6595	PPM	0.1
Silver	D-6595	PPM	0.0
Molybdenum	D-6595	PPM	0.6
Titanium	D-6595	PPM	0.0
Silicon	D-6595	PPM	0.7
	Method	Unit	Additive
Boron	D-6595	PPM	0
Sodium	D-6595	PPM	1
Magnesium	D-6595	PPM	0
Calcium	D-6595	PPM	43
Barium	D-6595	PPM	0
Phosphorus	D-6595	PPM	149
Zinc	D-6595	PPM	209
Physical Test	Method	Unit	Viscosity
Viscosity @ 40°C	D-445	cSt	102.7
Viscosity @ 100°C	D-445	cSt	9.1
Viscosity Index	D-2270		
	Method	Unit	FTIR
Oxidation	FTIR	Abs	4.2
Nitration	FTIR	Abs	3.8
Sulfation	FTIR	Abs	17.1
	Method	Unit	Water
Water	T-H2O -Check™	%	0.013
	Method	Unit	Other Test
TAN	D-974	mg/KOH	0.38
TBN	D-4739	mg/KOH	
Flash Point	Seta Flash	° C	

Alarm Limit Range

Limit Name :
New Oil for Baseline Purposes

RDE fine | RFS coarse

New Oil | U-caution | U-abnormal | U-caution | U-abnormal

New Oil

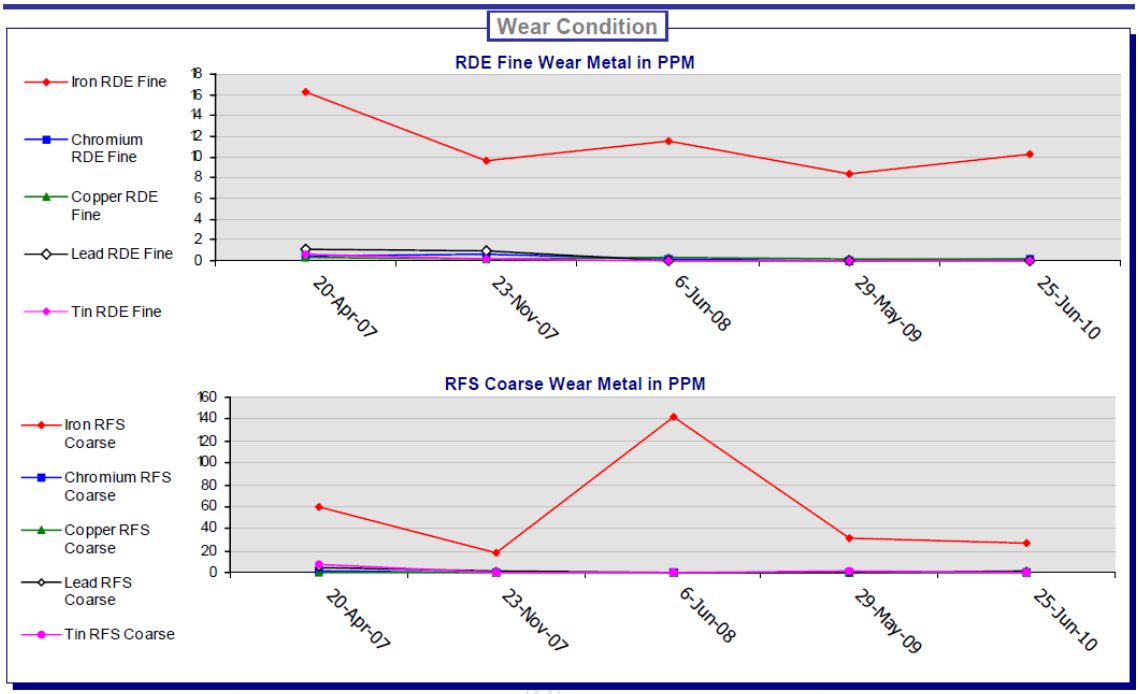
New Oil | L-abnormal | L-caution | U-caution | U-abnormal

New Oil | U-caution | U-abnormal

New Oil | U-caution | U-abnormal

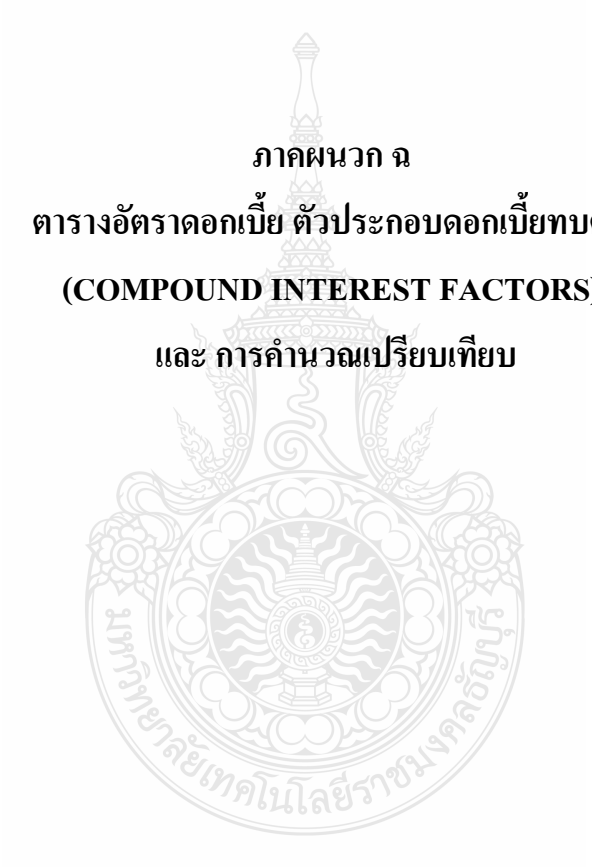
New Oil | L-abnormal | L-caution | U-caution | U-abnormal

รูปที่ จ.1 ผลการวิเคราะห์น้ำมันของชุดกำเนิดลมในสภาพก่อนใช้งาน



รูปที่ จ.2 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์น้ำมันของชุดกำเนิดลมในสภาพปกติ เมื่อวันที่ 4 สิงหาคม 2552

ภาคผนวก ฉ
ตารางอัตราดอกเบี้ย ตัวประกอบดอกเบี้ยทบต้น
(COMPOUND INTEREST FACTORS)
และ การคำนวณเปรียบเทียบ



ตารางที่ ฉ.1 อัตราดอกเบี้ยให้สินเชื่อจากธนาคารพาณิชย์ ณ วันที่ 16 กันยายน 2553

ธนาคาร	MOR	MLR	MRR	สูงสุด
ธนาคารพาณิชย์จดทะเบียนในประเทศ				
กรุงเทพ	6.2500	6.0000	6.5000	11.5000
กรุงไทย	6.2500	6.0000	6.6000	13.6000
กสิกรไทย	6.2500	6.0000	6.5000	21.5000
ไทยพาณิชย์	6.2500	6.0000	6.5000	10.5000
กรุงศรีอยุธยา	6.8750	6.3750	6.8750	21.0000
ทหารไทย	6.6250	6.3750	6.8750	28.0000
นครหลวงไทย	6.8750	6.3750	6.8750	25.0000
ยูโอบี	7.2500	6.7500	7.5000	28.0000
ซีไอเอ็มบี ไทย	7.0000	6.7500	7.3750	28.0000
สแตนดาร์ดชาร์เตอร์ด (ไทย)	8.5000	8.2500	11.0000	28.0000
ธนชาต	6.8750	6.3750	8.2500	15.7500
ทิสโก้	6.7500	6.5000	7.0000	28.0000
เมกะ สากลพาณิชย์	8.2500	7.0000	7.5000	12.0000
เกียรตินาคิน	6.7500	6.5000	7.0000	28.0000
แลนด์ แอนด์ เฮ้าส์ เพื่อรายย่อย	6.7500	6.1250	7.0000	18.0000
ไอซีบีซี (ไทย)	6.8750	6.6250	7.1250	21.0000
ไทยเครดิตเพื่อรายย่อย	7.9000	7.6500	8.1500	35.0000
เฉลี่ยของธนาคารพาณิชย์จดทะเบียนในประเทศ	**6.9574**	**6.5676**	**7.3309**	**21.9324**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ตารางที่ ฉ.2 ตัวประกอบดอกเบี้ยทบต้น (COMPOUND INTEREST FACTORS)

ตารางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

6.00%	ตัวประกอบดอกเบี้ยทบต้น (COMPOUND INTEREST FACTORS)							12.00%
	Single Payments		Uniform-Series Payments				Uniform Gradient	
n	(F/P,i%,n)	(P/F,i%,n)	(A/F,i%,n)	(F/A,i%,n)	(A/P,i%,n)	(P/A,i%,n)	(P/G,i%,n)	(A/G,i%,n)
1	1.0600	0.9434	1.0000	1.0000	1.0600	0.9434	0.0000	0.0000
2	1.1236	0.8900	0.4854	2.0600	0.5454	1.8334	0.8900	0.4854
3	1.1910	0.8396	0.3141	3.1836	0.3741	2.6730	2.5692	0.9612
4	1.2625	0.7921	0.2286	4.3746	0.2886	3.4651	4.9455	1.4272
5	1.3382	0.7473	0.1774	5.6371	0.2374	4.2124	7.9345	1.8836
6	1.4185	0.7050	0.1434	6.9753	0.2034	4.9173	11.4594	2.3304
7	1.5036	0.6651	0.1191	8.3938	0.1791	5.5824	15.4497	2.7676
8	1.5938	0.6274	0.1010	9.8975	0.1610	6.2098	19.8416	3.1952
9	1.6895	0.5919	0.0870	11.4913	0.1470	6.8017	24.5768	3.6133
10	1.7908	0.5584	0.0759	13.1808	0.1359	7.3601	29.6023	4.0220
11	1.8983	0.5268	0.0668	14.9716	0.1268	7.8869	34.8702	4.4213
12	2.0122	0.4970	0.0593	16.8699	0.1193	8.3838	40.3369	4.8113
13	2.1329	0.4688	0.0530	18.8821	0.1130	8.8527	45.9629	5.1920
14	2.2609	0.4423	0.0476	21.0151	0.1076	9.2950	51.7128	5.5635
15	2.3966	0.4173	0.0430	23.2760	0.1030	9.7122	57.5546	5.9260
16	2.5404	0.3936	0.0390	25.6725	0.0990	10.1059	63.4592	6.2794
17	2.6928	0.3714	0.0354	28.2129	0.0954	10.4773	69.4011	6.6240
18	2.8543	0.3503	0.0324	30.9057	0.0924	10.8276	75.3569	6.9597
19	3.0256	0.3305	0.0296	33.7600	0.0896	11.1581	81.3062	7.2867
20	3.2071	0.3118	0.0272	36.7856	0.0872	11.4699	87.2304	7.6051
21	3.3996	0.2942	0.0250	39.9927	0.0850	11.7641	93.1136	7.9151
22	3.6035	0.2775	0.0230	43.3923	0.0830	12.0416	98.9412	8.2166
23	3.8197	0.2618	0.0213	46.9958	0.0813	12.3034	104.7007	8.5099
24	4.0489	0.2470	0.0197	50.8156	0.0797	12.5504	110.3812	8.7951
25	4.2919	0.2330	0.0182	54.8645	0.0782	12.7834	115.9732	9.0722
26	4.5494	0.2198	0.0169	59.1564	0.0769	13.0032	121.4684	9.3414
27	4.8223	0.2074	0.0157	63.7058	0.0757	13.2105	126.8600	9.6029
28	5.1117	0.1956	0.0146	68.5281	0.0746	13.4062	132.1420	9.8568
29	5.4184	0.1846	0.0136	73.6398	0.0736	13.5907	137.3096	10.1032
30	5.7435	0.1741	0.0126	79.0582	0.0726	13.7648	142.3588	10.3422
36	8.1473	0.1227	0.0084	119.1209	0.0684	14.6210	170.0387	11.6298
40	10.2857	0.0972	0.0065	154.7620	0.0665	15.0463	185.9568	12.3590
48	16.3939	0.0610	0.0039	256.5645	0.0639	15.6500	212.0351	13.5485
50	18.4202	0.0543	0.0034	290.3359	0.0634	15.7619	217.4574	13.7964
52	20.6969	0.0483	0.0030	328.2814	0.0630	15.8614	222.4823	14.0267

การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาโดยการวิเคราะห์มูลค่าเงินด้วยวิธีเงินทุนนิรันดร

การซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling Maintenance)

A1 = -2,200 บาท

A2 = (-11,380,000) (A/F, 6%, 8)

= (-11,380,000) (0.1010)

= -1,149,380 บาท

A3 = (-800,000)i = (-800,000) (0.06) = -48,000 บาท

มูลค่าเทียบเท่าจ่ายรายปี = A1 + A2 + A3 = -2,200 -1,149,380 - 48,000 = -1,199,580 บาท

การซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance)

A1 = -4,010 บาท

A2 = (-850,000) (A/F, 6%, 6) + (-11,380,000) (A/F, 6%, 12)

= (-850,000) (0.1434) + (-11,380,000) (0.0593)

= (-121,890) + (-674,834) = -796,724 บาท

A3 = (-800,000) i = (-800,000) (0.06) = -48,000 บาท

มูลค่าเทียบเท่าจ่ายรายปี = A1 + A2 + A3

= -4,010 -796,724 - 48,000 = -848,734 บาท

สรุปค่าใช้จ่ายแบบการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ ใช้ค่าใช้จ่ายต่อปี 848734 บาทซึ่งน้อยกว่าการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ ซึ่งเสียค่าใช้จ่ายต่อปี 1199580 บาท ดังนั้นการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพจึงคุ้มกว่า

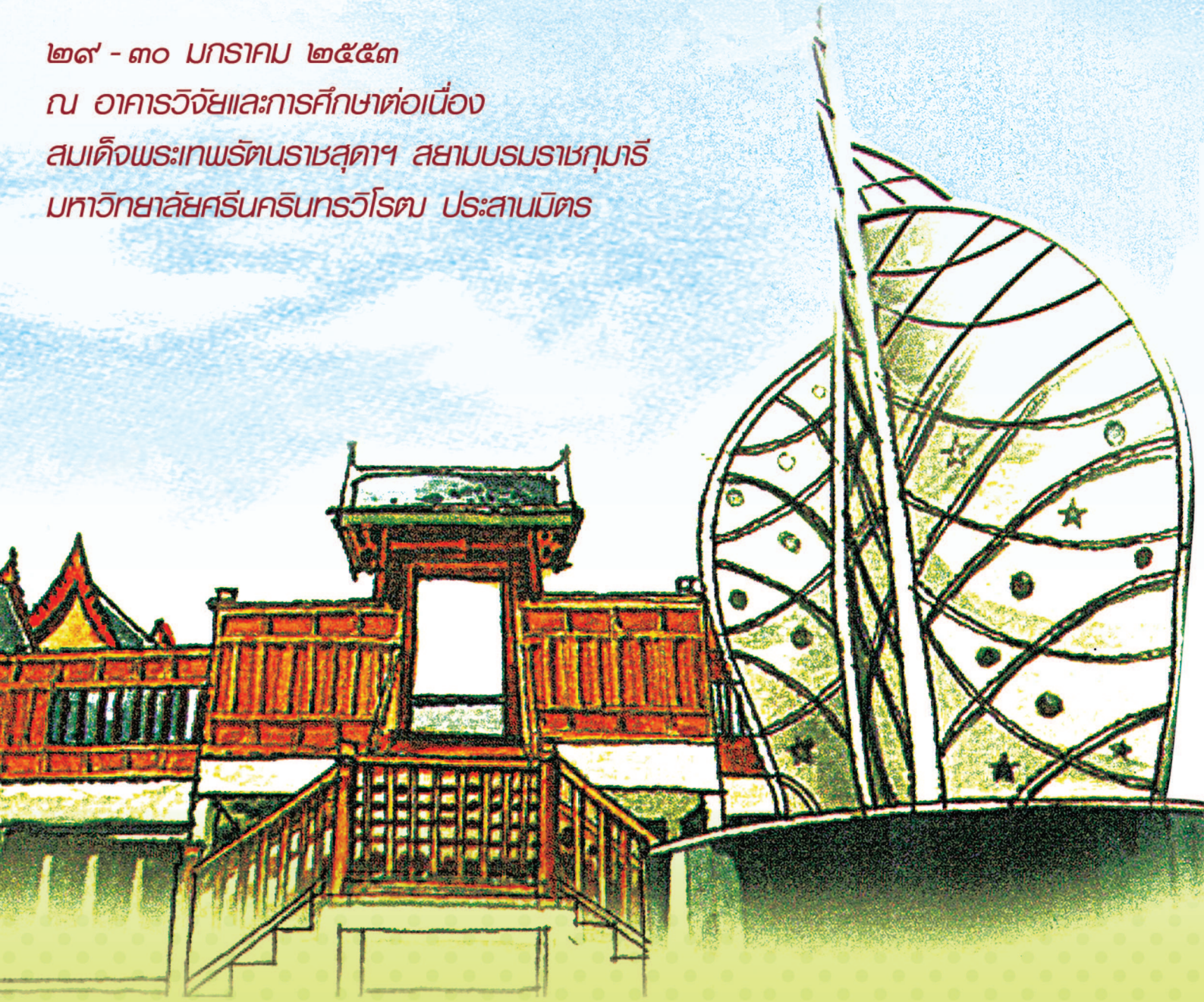
ภาคผนวก ช
ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ร่วมกับ สภาคณบดีบัณฑิตวิทยาลัยแห่งประเทศไทย
และ เครือข่ายวิจัยเครือข่ายอุดมศึกษาภาคกลางตอนบน

PROCEEDINGS

ศรีนครินทรวิโรฒวิชาการครั้งที่ ๔

๒๙ - ๓๐ มกราคม ๒๕๕๓
ณ อาคารวิจัยและการศึกษาต่อเนื่อง
สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี
มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร



ISBN : 978-616-7299-14-3

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
SRINAKHARINWIROT UNIVERSITY

Proceedings “ศรีนครินทรวิโรฒวิชาการ” ครั้งที่ 4

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ร่วมกับ สภาคณบดีบัณฑิตวิทยาลัยแห่งประเทศไทย และเครือข่ายวิจัยเครือข่ายอุดมศึกษาภาคกลางตอนบน ISBN 978-616-7299-14-3

ที่ปรึกษา

ศาสตราจารย์ ดร.วิรุณ	ตั้งเจริญ	อธิการบดี
รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี	อนุพันธ์พิศิษฐ์	รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ
รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย	สันติวัฒนกุล	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

บรรณาธิการ

ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล

กองบรรณาธิการภายในมหาวิทยาลัย

กาญจนา อินทรสุนานนท์	นันทา สู้รักษา	สมชาย สันติวัฒนกุล
กัลยาณี กุลชัย	พาสนา จุลรัตน์	สิริภา สงเคราะห์
โกสุม จันทร์ศิริ	พรธาดา สุวัธนวนิช	สุกัญญา เรืองจรูญ
จารุวรรณ พลอยดวงรัตน์	พิศมัย จารุจิตติพันธ์	สุจิตรา ศรีสังข์
จารุนี อารีรุ่งเรือง	พิศุทธวรรณ ศรีภิรมย์	สุภาพร สุกสีเหลือง
จรัล อุ่นจิติวัฒน์	มานพ วิสุทธิแพทย์	สุวิทย์ วิมลจิตต์
จิรวรรณ อินคุ้ม	วรรณธนะ สัตตบรรณศุข	โสภิณ จันทะคล้อย
ชาคริต ชุ่มวัฒนะ	ศิริพร ปัญญาเมธีกุล	อรอนงค์ พริ้งศุลกะ
ชมพูนุท โกสลากร เพิ่มพูนวิวัฒน์	ศิริพันธ์ ศรีวันยงค์	อัจฉริยา รังษิรุจิ
ชูศรี วงศ์รัตนะ	ลัดดาวัลย์ ผิวทองงาม	อัญชลี จันทร์เสม
ดลฤดี สุวรรณคีรี	สนอง โลหิตวิเศษ	อุษา ศรีจินดารัตน์

กองบรรณาธิการภายนอกมหาวิทยาลัย

จรรจา สุวรรณทัต	ถาวร ทันใจ	สมสินี พิมพ์ขาวขำ
จารุภา วิโยชน์	ทรงธรรม ปิ่นโต	สมหญิง พัฒน์ธีรพงศ์
จันทร์เพ็ญ ฮั่นตระกูล	ประณต เค้าฉิม	สุทัศน์ ยกส้าน
เฉลิมศักดิ์ พิกุลศรี	พวา พันธุ์เมฆา	สุรศักดิ์ วัฒเนสก์
ฉันทนา ภาคบงกช	มนัส บุญประกอบ	สุวดี ภู่ประดิษฐ์
ณรงค์ พ่วงพิศ	วัลลีพันธุ์ สถิตยุทธการ	อรพรรณ ศรีเสาวลักษณ์
ณรงค์ ประไพรักษ์สิทธิ์	ศิริพร สัจจานันท์	อรพิน สันติธีภากุล
ดวงเดือน แซ่ตัง	ศิริรัตน์ เร่งพิพัฒน์	อดิศร เสวตวิวัฒน์

ผู้ประสานงาน

ศรีประไพ วัฒนะรัตน์

กฤติน จงควดี

ภาพจากปก

เรือนหมู่ ธ ทูลกระหม่อมแก้ว พิพิธภัณฑ์ภูมิปัญญาไทย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ จังหวัดนครนายก

ความคิดเห็น ข้อมูล และบทสรุปต่าง ๆ ที่ลงตีพิมพ์ใน Proceedings เล่มนี้ เป็นของผู้เขียนบทความและมิได้แสดงว่ากองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาผลงานจะเห็นพ้องด้วยทั้งหมด

Unless otherwise stated, the views and opinion expressed in proceedings are those of authors of papers, and do not represent those of proceedings.

ดรรชนีผู้นิพนธ์

นิพนธ์ต้นฉบับภาษาไทย

	หน้า		หน้า
กมลวรรณ คารมปราชญ์	154	ทัดดาว อินทร์ประสิทธิ์	49
กฤษณา พุกอินทร์	41	ทัศนา แสวงศักดิ์	525
กฤษณา สมบัติ	248	ธนรัตน์ แต้วัฒนา	387
กัลยาณี สูงสมบัติ	935	ธนวัฒน์ รื่นวงศ์	164
กานต์สินี ช่วยเพ็ญชัยภัทร	221	ธนาพล สุขชนะ	456
กิตติพงษ์ เรืองแสน	103	ธานินทร์ ดวงจันทร์	464
กุลแก้ว คล้ายแก้ว	563	ธารวิทย์ เสวกดรุณทร	491
ขวัญปภัสสร จานทอง	346	ธิดารัตน์ วงษ์พันธุ์	359
ขวัญฤทัย เที่ยงจันทราทิพย์	906, 915	ธีรภัทร์ จิตร์ประวัติ	595
คณิต วัฒนวิเชียร	443	ธีระ รุ่งธีระ	237
จักรพรรณ์ ผิวสอาด	722	นพดล อินทร์จันทร์	281
จารุวรรณ ไผ่ตระกูล	631	นภนนท์ หอมสุด	125
จารุวรรณ พลอยดวงรัตน์	536	นัทธนัย ประสานนาม	259
จินดา พราหมณ์ชู	187	นุชนาฏ สุชาติพงศ์	730
จินตนา ตันสุวรรณนนท์	92	เนตรนภา ชุ่มชื่น	748
จีรภัทร อองกุลนะ	338	บุญพิเชษฐ์ จันทร์เมือง	945
จุฑาทิพย์ ไทยวัฒน์	859	บุญรอด ชาติยานนท์	669
จุรีภรณ์ เชื้อดวงผุย	56	ปกรณ์ ตาลสุข	331
จุลศิริ ศรีงามผ่อง	787	ประมา ศาสตระรุจิ	305
ชญานิศวร์ กุลรัตนมณีพร	137	ประภัสสร ปรีเอี่ยม	503
ชวิศร์ อรรถสาสน์	968	ปิยนุช หุตะจิตต์	85
ชัยมงคล ศรีจันทรา	812	พวงทิพย์ แก้วทับทิม	678
ชาญวิทย์ สายหยุดทอง	474	พิมพ์เพ็ญ สุวรรณรุ่งเรือง	616
ชินาลัย ปิยะชน	32	พีท หอมชื่น	779
ณัฐนันท์ ศิริเจริญ	147	เพ็ชรี ประสารบุญ	880
ดรุณี เชวงกิจไพศาล	925	ไพบูลย์ บุบผา	849
ดวงฤดี ชูตระกูล	407	มณีวรรณ สุวัฒน์รณกร	66
ถนอมศักดิ์ ศรีจันทรา	643	มารุต พัฒผล	871

สาขาศิลปกรรมศาสตร์

1. ดนตรีในพิธีกรรมแซปางของชาวไทดำ 757
สุรดิษ ภาคสุชล

2. การนำเสนอผลิตภัณฑ์สำหรับผู้ประกอบวิสาหกิจขนาดย่อมด้วยคอมพิวเตอร์กราฟิก 3 มิติผ่านทางเว็บไซต์ 765
รุ่งทิพย์ โคบาล, สมพร สุขะ

สาขาวิศวกรรมศาสตร์

1. การเก็บกลับคืนทองคำและทองแดงจากสินแร่ซัลไฟด์ของแหล่งแร่ภูทับฟ้า 779
พีท หอมชื่น, สุรพล ภู่วิจิตร, ภิญโญ มีชำนะ, ดาวัลย์ วิวรรธนะเดช ,เทียนไชย ตันไทย, สมศักดิ์ สายสินธุ์ชัย

2. การศึกษาการไหลของพลาสติก HDPE เกรด Innoplus HD1600JP และ HD2200JP โดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์ 787
เอลิเมนต์เปรียบเทียบกับการทดลองฉีดขึ้นรูป
จุลศิริ ศรีงามผ่อง ,เพลินพิศ บูชาธรรม ,สุรเทพ บุญฟู

3. การศึกษาและพัฒนาสมบัติของดินกระดาษเพื่อใช้ในผลิตภัณฑ์เครื่องปั้นดินเผา 796
เลิศชาย สถิตย์พนาวงศ์ , เชาวลิต หามนตรี

4. การประยุกต์ใช้ระบบการผลิตแบบลีนเพื่อปรับปรุงกระบวนการผลิต: กรณีศึกษาโรงงานแปรรูปเหล็กแผ่น 804
สำเร็จ เกษยา, บุญเรือง ตันไถง

5. การพัฒนาโมดูลซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพด้วยเทคนิค FMECA และการประยุกต์ใช้ในรถไฟฟ้า 812
ชัยมงคล ศรีจันทรา, ณฐา คุปตัษเฐียร

6. การออกแบบและทดสอบดิฟฟิวเซอร์ประกอบร่วมกับใบพัดคอมเพรสเซอร์วีลแบบการไหลผ่านของอากาศตามแนว 825
รัศมีโดยใช้เทคนิควิธีการถ่ายภาพอนุภาค
วิชัย สินจักร์, ไพศาล นาผล, พิชัย อัษฎมงคล

7. การออกแบบและสร้างเครื่องยนต์กังหันแก๊สชนิดที่ใช้ใบคอมเพรสเซอร์ที่มีการไหลของอากาศแบบผสม และใช้ใบ 839
กังหันที่มีการไหลของอากาศแบบไหลตามแนวรัศมี
วัชชิระ จันทร์ลี้, จุฑารัตน์ คุรุเจริญ, พิชัย อัษฎมงคล

8. ชุดตรวจสอบและควบคุมระบบระบายอากาศด้วยพีแอลซี 849
ไพบูลย์ บุบผา, สัณห์ชนก ธนาสนะ, จิรเมธา สังข์เกษม

9. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการประเมินและบริหารจัดการปริมาณการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่ของชุมสายใน 859
เขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร
จุฑาทิพย์ ไทยวัฒน์, นำคุณ ศรีสนิท

สาขาศึกษาศาสตร์

1. การพัฒนาความสามารถในการจัดทำหน่วยการเรียนรู้บูรณาการที่สอดคล้องกับท้องถิ่นของผู้สอนระดับการศึกษา 871
ขั้นพื้นฐาน
มารุต พัฒผล

2. การพัฒนารูปแบบการเรียนการสอนชีววิทยาตามทฤษฎีการเรียนรู้กลุ่มผสมผสานด้วย eDLTV สำหรับนักเรียน 880
โรงเรียนนครนายกวิทยาคม
เพ็ชรี ประสารบุญ

3. ผลของวิธีการกระตุ้นให้ทบทวนบทเรียนต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนในหัวข้อ รีโอโลยี ของนักศึกษาเภสัชศาสตร์ 886
มหาวิทยาลัยรังสิต
รัฐพล อาษาสุจริต ,กุสาวดี เมลืองนนท์

4. การศึกษาผลการดำเนินการวิจัยและพัฒนาเพื่อปฏิรูปการเรียนรู้ตามรูปแบบพหุปัญญาเพื่อ การเรียนรู้สำหรับ 895
การศึกษาปฐมวัยในบริบทของสังคมไทย
เยาวพา เดชะคุปต์

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ขอมอบใบประกาศเกียรติคุณไว้เพื่อแสดงว่า

ชัยมงคล ศรีจันทรา และคณะ

นำเสนอผลงานวิจัยเรื่อง *" การพัฒนาโมดูลซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพด้วยเทคนิค FMECA และการประยุกต์ใช้ในรถไฟฟ้า "*

ในงานประชุมศรีนครินทรวิโรฒวิชาการครั้งที่ ๔ วันที่ ๒๙ - ๓๐ มกราคม ๒๕๕๓
ณ อาคารวิจัยและการศึกษาต่อเนื่องฯ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ศาสตราจารย์ ดร.วิรุณ ตั้งเจริญ
อธิการบดี

รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี อนุพันธ์พิศิษฐ์
ประธานจัดงานประชุมศรีนครินทรวิโรฒวิชาการ

การพัฒนาโมดูลซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพด้วยเทคนิค FMECA และการประยุกต์ใช้ในรถไฟฟ้า

Condition-Based Maintenance Module Development by Using FMECA Techniques and Its Application in Rolling Stock (Trains)

ชัยมงคล ศรีจันทรา, ณฐา คุปตัษเฐียร
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

บทคัดย่อ

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (condition-based maintenance) เพื่อทดแทนการซ่อมบำรุงรักษาตามระยะเวลาปรับคืนสภาพ (overhaul scheduling maintenance) ของรถไฟฟ้า (rolling stock) โดยการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (Failure Mode Effects and Criticality Analysis; FMECA) โดยประยุกต์ใช้กับของส่วนประกอบในรถไฟฟ้า คือ ชุดกำเนิดลม (air supply compressor) จากกรณีศึกษาจากโรงซ่อมบำรุงรถไฟฟ้า air Supply compressor ต้องทำการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (overhaul) ทุกระยะเวลา 8 ปี หรือประมาณ12,000 ชั่วโมงการทำงานโดยกำหนดจากบริษัทผู้ผลิต จากนั้นได้นำเทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) มาประยุกต์ใช้กับการพัฒนาโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพของระบบ air supply compressor จากการศึกษาครั้งนี้พบได้ว่าเทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤต (FMECA) ประยุกต์ใช้กับการพัฒนาโมดูลการซ่อมบำรุงรักษา air supply compressor สามารถยืดระยะเวลาการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพจาก 8 ปี เป็น 12 ปี โดยไม่มีผลกระทบต่อด้านสุขภาพอนามัย ความปลอดภัย สิ่งแวดล้อม และการดำเนินการ และยังควบคุมความเสี่ยงจากการเกิดข้อบกพร่องได้ร้อยละ 55 ของจำนวน 35 air supply compressors ที่จะต้องทำการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงรักษาได้ถึง 5 ล้านบาทในระยะเวลา 40 ปี และจากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ถูกนำเสนอใช้งานจริงจากโรงซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าทั้งสองแห่งในประเทศไทย และได้เผยแพร่เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤต (FMECA) นี้เพื่อประยุกต์ใช้กับการพัฒนาโมดูลการซ่อมบำรุงรักษา air supply compressor ภายในองค์กรของบริษัทที่มี air supply compressor รุ่นเดียวกันนี้ใช้อยู่อีกด้วย

คำสำคัญ: การซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ, รถไฟฟ้า, ชุดกำเนิดลม

Abstract

This research is aimed at developing a module for Condition-Based Maintenance in order to replace Overhaul Scheduling Maintenance of the Rolling Stock by applying the technique of Failure Mode Effects and Criticality Analysis, FMECA to the component of the Rolling Stock, that is, air supply compressors as a case study in the maintenance depot. Air supply compressor needs overhaul maintenance at every 8 years or approximately 12,000 operating hours prescribed by the manufacture. The report shows that the air supply compressor is still in good condition even after that specific time. Therefore, the researcher applies FMECA technique to develop a module for Condition-Based Maintenance for the air supply compressor. Findings from this study suggest that the technique of Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA) applied for the development of a module for maintenance of air supply compressor can extend the period of Overhaul Scheduling Maintenance from 8 years to 12 years which have no adverse effect on health, safety, environment and operation and can control the risk from defect for 55% of the total of 35 air supply compressors needed to be overhauled. This can help saving cost of maintenance for the amount of as much as 5 million baht during 40-year period. Findings from this study have been proposed for actual practice in both maintenance depots in Thailand and such techniques for Failure Mode Effects and Criticality Analysis (FMECA) have been publicized for applying for the development of a module for maintenance of air supply compressor in the company's departments using this same series of air supply compressor.

Keywords: condition-based maintenance, rolling stock, air supply compressor

บทนำ

การซ่อมบำรุงรักษาเป็นงานหลักที่มีความสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในการทำงานระบบรถไฟฟ้า เนื่องจากระบบรถไฟฟ้ามีการนำเครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีที่ทันสมัย มีความละเอียดแม่นยำ และประกอบด้วยอุปกรณ์ชิ้นส่วนที่มีมูลค่าราคาสูงมาใช้ในระบบ ซึ่งหน้าที่ในการซ่อมบำรุงรักษาเหล่านี้ให้มีประสิทธิภาพที่ดี มีอายุการใช้งานที่ยาวนานและมีความพร้อมในการใช้งานได้นั้นจัดว่าเป็นภารกิจหลักที่สำคัญของการซ่อมบำรุงรักษา ในการปฏิบัติงานของการซ่อมบำรุงรักษานั้นหากการดำเนินงานไม่เป็นไปตามที่กำหนดไว้ จะส่งผลกระทบต่อการดำเนินงานของระบบรถไฟฟ้าทั้งทางตรงและทางอ้อม ผลกระทบทางตรง ซึ่งได้แก่ การที่เครื่องมือหรืออุปกรณ์เกิดเหตุขัดข้อง และไม่สามารถทำให้ระบบรถไฟฟ้าดำเนินงานได้นั้น จะก่อให้เกิดความไม่สะดวกในการให้บริการแก่ผู้โดยสาร บริษัทฯได้รับผลกระทบตามไปด้วย คือเกิดการสูญเสียรายได้จากการให้บริการ และผลกระทบทางอ้อม ได้แก่ การที่เครื่องมือและอุปกรณ์เกิดเหตุขัดข้องบ่อยๆ หรือมีชิ้นส่วนที่ต้องเปลี่ยนบ่อยๆ เนื่องจากปัญหาทางด้านการซ่อมบำรุงรักษาที่ด้อยประสิทธิภาพ ส่งผลให้บริษัทเสียความเชื่อถือและความสามารถในการแข่งขันกับกลุ่มธุรกิจเดียวกัน เพราะมีต้นทุนที่สูงกว่าคู่แข่งขัน เป็นต้น ทรัพย์สินต่างๆทุกชนิดนั้นต้องการการบำรุงรักษา (Maintenance)ให้ดี เพื่อให้เกิดความสามารถในใช้งานได้อย่างคุ้มค่าตลอดช่วงอายุการใช้งาน การซ่อมบำรุงรักษาเป็นหนึ่งมาตรการของการควบคุมความบกพร่องและเสียหายของอุปกรณ์ โดยมีผลเกี่ยวข้องกันโดยตรง คือ ลดผลกระทบโดยการซ่อม, ลดโอกาสการเกิดการเสียหายโดยการบำรุงรักษาก่อนที่จะเกิดความบกพร่องเสียหายของอุปกรณ์ นี่คือกลยุทธ์ในการซ่อมบำรุงรักษาในปัจจุบันนี้ สำหรับกรณีศึกษาระบบซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้าที่โรงซ่อมบำรุงรักษาตัวอย่าง พบว่าได้ประยุกต์ใช้หลักการซ่อมบำรุงรักษา 3 รูปแบบ ได้แก่ การซ่อมบำรุงรักษาเชิงแก้ไข (Breakdown/Corrective Maintenance) การซ่อมบำรุงรักษาเชิงป้องกันแบบตามระยะเวลาหรือระยะการใช้งาน (Time or Counter Based Preventive Maintenance)

และการซ่อมบำรุงรักษาตามระยะเวลาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling Maintenance) หรือสามารถแบ่งเป็น 2 ขอบเขตได้แก่ แผนการซ่อมบำรุงรักษาตามปกติ (Regular Maintenance) และแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามระยะเวลาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling Maintenance)

การซ่อมบำรุงรักษาตามปกติ (Regular Maintenance) ได้มีการวางแผนการตรวจสภาพในระยะเวลากำหนด โดยมีการใช้ระบบควบคุมงานซ่อมบำรุงด้วยคอมพิวเตอร์ (CMMS, Computerized Maintenance Management System) เช่น ตรวจสอบสภาพเบื้องต้นเป็นประจำทุกสัปดาห์ ทุกเดือน หรือ ทุก 3 เดือน หรือ ทุก 1 ปี ตามระยะเวลากำหนด, เช่น การทำการปรับสภาพของผิวล้อรถไฟฟ้า (Wheel Re profiling) ทุก 65,000 กิโลเมตร การเปลี่ยนน้ำมันของชุดเกียร์ทุกๆ 100,000 กิโลเมตร หรือ ภายในระยะเวลา 1 ปี และยังรวมถึงงานซ่อมทั่วไปที่ต้องทำการซ่อมเมื่อเกิดการเสียหายของอุปกรณ์เกิดขึ้น เป็นต้น

การซ่อมบำรุงรักษาตามระยะเวลาปรับคืนสภาพ(Overhaul Scheduling Maintenance) เป็นการประมวลภาพรวมของการซ่อมบำรุงเพื่อเปลี่ยนชิ้นส่วนและอุปกรณ์ครั้งใหญ่ของแต่ละส่วนประกอบ(Component) ในรถไฟฟ้าเพื่อให้กลับสู่สภาพเดิมหลังจากการใช้งานมาตามแล้ว ในระยะเวลาที่กำหนดคือ 6ปีหรือประมาณ 1 ล้านกิโลเมตรขึ้นอยู่กับอุปกรณ์นั้นๆโดยกำหนดมาจากประสบการณ์ของบริษัทผู้ผลิต กลยุทธ์การวางแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามระยะเวลาปรับคืนสภาพ(Overhaul Scheduling Maintenance)ที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบันนี้ ทำให้ชิ้นส่วน (Spare part) บางส่วนของส่วนประกอบ(Component)นั้นทำการเปลี่ยนก่อนที่จะเสียหายหรือเร็วเกินไป ซึ่งน่าจะใช้งานได้นานกว่านี้ และในทำนองเดียวกันทำให้ส่วนประกอบบางส่วนที่ถูกนำเสนอทำการซ่อมบำรุงรักษาด้วยวิธีนี้เป็นที่เข้าใจยากระหว่างบริษัทที่รับผิดชอบดำเนินการซ่อมบำรุงและบริษัทเจ้าของโครงการการว่าจ้าง เนื่องจากไม่มีความชัดเจนในเรื่องอายุการใช้งานของส่วนประกอบต่าง(Life Time) ปัญหาเหล่านี้เป็นเรื่องยุ่งยากมากที่จะหาทางออกให้แต่ละฝ่าย และยังไม่มีแนวทางในการแก้ไขและปรับปรุงอย่างชัดเจน

งานวิจัยครั้งนี้จะเป็นการพัฒนาโมดูลซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพโดยการใช้เทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤต (Failure Mode Effects and Criticality Analysis, FMECA) เป็นเกณฑ์ในการวัดควบคุมความเสี่ยงและสร้างมาตรการการป้องกัน ในการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition-Based Maintenance)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อพัฒนาโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพในรถไฟฟ้าและประยุกต์ใช้กับชุดกำเนิดลม

วิธีดำเนินการวิจัย

1. FMECA, Failure Mode Effects and Criticality Analysis มาจากคำ Failure mode effects analysis กับคำ Criticality (FMECA = FMEA+C) (การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤต)

FMEA (Failure Mode & Effects Analysis) เป็นกระบวนการทำการวิเคราะห์การเกิดรูปแบบความบกพร่อง (Failure Pattern) และ ผลกระทบที่อาจจะเกิดขึ้นได้จากระบบใดระบบหนึ่ง เพื่อระบุถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นกับระบบ และจำแนกแยกแยะรูปแบบของความบกพร่องนั้นตามความรุนแรงของผลกระทบ การดำเนินการเกิดขึ้นอย่างเป็นลำดับขั้นตอนเมื่อเกิดความบกพร่อง ว่ามีวิถีการเกิดเป็นมาอย่างไรและผลจากความบกพร่องนั้นๆคืออะไร ซึ่งเป็นได้ทั้งการวิเคราะห์ในระดับชิ้นส่วนหรือระดับองค์รวมของทั้งระบบ วิธีการวิเคราะห์มีอยู่สองแบบคือ วิเคราะห์จากเหตุไปหาผล (bottom up) หรือเรียกว่าการวิเคราะห์กลไกและหลักการทำงาน (Hardware Analysis) และการวิเคราะห์จากผลมาหาเหตุ (top down) หรือเรียกว่าการวิเคราะห์สมรรถนะการใช้งาน (Function Analysis) โดยที่การวิเคราะห์ทั้งสองแบบมี

เป้าหมายเหมือนกันคือ การหาเหตุและผลของความบกพร่องเสียหาย เพื่อนำไปสู่การแก้ไข ป้องกัน และปรับปรุงเพื่อให้เกิดผลดีที่สุดต่อไป

Criticality ความวิกฤติหรือภาวะอันตราย ซึ่งเป็นความวิกฤติที่เกิดจากวิถีหรือกลไกในการเกิดความบกพร่องที่มักเกิดขึ้น (Failure Mode) บางอย่างที่มีผลร้ายแรงตามมาต่อการปฏิบัติงานหรือต่อสุขอนามัย ความปลอดภัย และสิ่งแวดล้อม (Health Safety and Environment, HSE)

ความวิกฤติ = ความเสี่ยง = ความรุนแรง x การประเมินความน่าจะเกิดเหตุการณ์

(C = Critical = Risk = Severity x Probability Assessment)

FMECA (Failure Modes Effects and Criticality Analysis) การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ เป็นวิธีการที่เป็นระบบใช้สำหรับการกำหนด, ชี้บ่ง, จัดลำดับรวมถึงขจัดสิ่งที่เป็นข้อบกพร่อง, และปัญหาของระบบ, การออกแบบและกระบวนการสำหรับนานาประเทศใช้วิธีการนี้ตลอดวงจรชีวิตผลิตภัณฑ์หรือบางช่วงอายุการใช้งานของอุปกรณ์โดยมีวัตถุประสงค์และเป้าหมายที่แตกต่างกันไป และยังใช้กันช่วงเริ่มต้น การออกแบบเพื่อให้แน่ใจว่าได้มีการวิเคราะห์ให้มากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ตั้งแต่กระบวนการออกแบบและยังเป็นเครื่องมือที่มีศักยภาพที่ใช้สำหรับการออกแบบความน่าเชื่อมั่นของระบบใช้ช่วงวงจรการพัฒนา

สรุปได้ว่า FMECA นั้นก็คือการวิเคราะห์ Failure Mode Effects Analysis (FMEA) ที่มีการทำการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงของความบกพร่อง (Failure) นั้นด้วย หรือ ตำราบางเล่มก็กล่าวไว้ว่าเป็น Quantitative Version ของ FMEA

การประยุกต์ใช้งานของ FMECA

1. ใช้เป็นเครื่องมือในการชี้บ่งอันตรายและประเมินความเสี่ยง (Hazard Identification & risk Assessment)

2. ใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ความเชื่อถือ ความพร้อมใช้งาน และ ความสามารถในการซ่อมบำรุง (RCM Analysis) ในขั้นตอนการออกแบบของระบบและอุปกรณ์

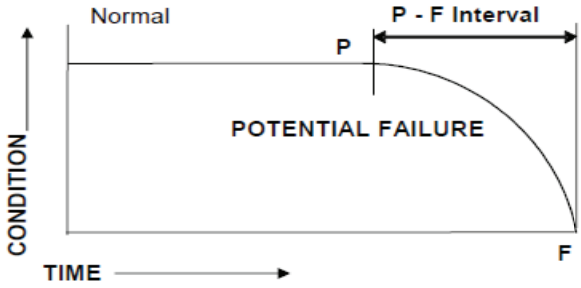
3. ใช้ร่วมกับเครื่องมือวิเคราะห์กระบวนการอื่น เช่น การออกแบบการทดลอง (Design of experiments) and Fault Tree Analysis ในการควบคุมและประกันคุณภาพ (Quality Control and Assurance) ของผลิตภัณฑ์หรือการบริการ

4. นำมาประยุกต์ใช้ในการวางแผนการซ่อมบำรุง (Maintenance Planning)

2. เทคนิคการตรวจติดตามสภาพการใช้งาน (Condition Monitoring Techniques)

ลักษณะของข้อบกพร่องที่ยังไม่สามารถจะตรวจพบได้ทันทีทันใดนั้น ซึ่งยังต้องอาศัยการตรวจติดตามสภาพ (Condition Monitoring) หรือเรียกว่า ลักษณะข้อบกพร่องแฝง (Potential Failure) หรือเป็นสภาพการทำงานของอุปกรณ์ที่พร้อมจะก่อให้เกิดลักษณะข้อบกพร่องในการใช้งานได้ตลอดเวลา ซึ่งส่งผลกระทบให้ ไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน เทคนิคต่างๆในการค้นหาลักษณะข้อบกพร่องแฝง (Potential Failure) คือการบำรุงรักษาตามสภาพการใช้

งาน เพราะว่าได้ทำการตรวจสอบตามรายการต่างๆก่อนจะนำไปใช้งานตามสภาพที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ได้กำหนดความถี่ในการตรวจสอบตามช่วง P-F ซึ่งเป็นช่วงระหว่างที่ลักษณะข้อบกพร่องแฝง (Potential Failure) ค่อยๆเริ่มเกิดขึ้นจนกระทั่งอุปกรณ์นั้นเกิดเป็นความบกพร่องก่อให้เกิดความเสียหายในการใช้งาน



ภาพ 1 แสดง P-F Interval

ระยะความถี่ในการติดตามสภาพอุปกรณ์จะต้องน้อยกว่าจุด P ถึงจุด F

- จุด P คือจุดที่สามารถทราบได้ว่ากำลังจะเกิด ข้อบกพร่องขึ้น

- จุด F คือจุดที่เกิดข้อบกพร่องขึ้นแล้ว

ระยะระหว่างจุด P กับ จุด F ต้องมากพอที่จะหาการป้องกันแก้ไขไม่ให้เกิดการบกพร่อง หรือดำเนินการเพื่อหลีกเลี่ยงหรือลดผลกระทบของความบกพร่องจากผลกระทบนั้น

เทคนิคการตรวจติดตามสภาพการใช้งานนั้นเหมือนกับเป็นการใช้วิจารณญาณของคนอย่างพิถีพิถัน อย่างละเอียดรอบคอบ ซึ่งเป็นแนวทางเดียวกันกับการปฏิบัติในการหาอาการของข้อบกพร่องแฝง (Potential Failure) (เช่น การฟัง Potential failure เสียง (Hearing), การดมกลิ่น (Smelling), การชิม (Testing), หรือการสัมผัสทางกาย (Felling) เป็นต้น ดังนั้นการตรวจติดตามสภาพการใช้งานออกแบบมาเพื่อการค้นพบหาอาการอย่างเฉพาะเจาะจง เช่น การสั่นสะเทือน, อุณหภูมิ, การเปลี่ยนรูป, หรือเปลี่ยนสถานะ เป็นต้น เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้นได้แจกแจงการอธิบายเทคนิคเหล่านี้ตามอาการ (หรือผลของข้อบกพร่องแฝง) ซึ่งมีการตรวจติดตามดังนี้

- การเปลี่ยนแปลงจากการเดินเครื่อง (Dynamic effects) เป็นการตรวจติดตามการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ของวัตถุเพื่อสืบค้นข้อบกพร่องแฝง (Potential Failure) ที่เป็นสาเหตุให้พลังงานที่ผิดปกติกระจายตัวในรูปของคลื่น เช่น การสั่นระรัว, การสั่นเป็นจังหวะ, และคลื่นเสียง

- การเปลี่ยนแปลงอนุภาค (Particle effects) การตรวจติดตามอนุภาคใช้เพื่อสืบค้นข้อบกพร่องแฝง (Potential Failure) ที่เป็นสาเหตุให้ ชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์นั้นปล่อยอนุภาคขนาดต่างๆกันออกมาสู่สภาวะแวดล้อมในระหว่างการใช้งาน

- การเปลี่ยนแปลงทางเคมี (Chemical effects) การตรวจติดตามทางเคมีใช้เพื่อสืบค้นข้อบกพร่องแฝง (Potential Failure) ที่เป็นสาเหตุให้เกิดสารเคมีปริมาณหนึ่งปล่อยออกสู่สภาวะแวดล้อม

- การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ (Physical effects) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ หรือ โครงสร้างของอุปกรณ์ที่สามารถค้นพบได้โดยตรง และยังสามารถใช้เทคนิคการสืบหาข้อบกพร่องแฝง (Potential Failure) ที่สามารถมองเห็นได้ในรูปของการแตกหัก, ฉีกขาด หรือการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่าง

- การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature effects) เทคนิคการตรวจติดตามอุณหภูมิใช้เพื่อสืบหาข้อบกพร่องแฝง (Potential Failure) ที่เป็นสาเหตุให้อุปกรณ์นั้นๆมีอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงไป (อย่างเช่นอุณหภูมิของวัสดุที่เพิ่มขึ้นจากการทำงานของอุปกรณ์นั้น)

- การเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้า (Electrical effects) เทคนิคการตรวจติดตามทางไฟฟ้า ใช้เพื่อสืบหาการเปลี่ยนแปลงของความต้านทาน, การเป็นตัวนำ, ความเป็นฉนวนไฟฟ้า, และศักยะภาพทางไฟฟ้า

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ทำการศึกษาแผนการซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้าตามระยะเวลาแบบปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling Maintenance) จากโรงซ่อมบำรุงรักษาตัวอย่างและเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน

2. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานซ่อมบำรุงรักษา, การซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพ (Condition Based Maintenance), การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤต (Failure Mode Effects and Criticality Analysis, FMECA)

3. ศึกษาวงจรชีวิตของส่วนประกอบรถไฟฟ้าตัวอย่างที่ทำการศึกษา จากประวัติการซ่อมบำรุงรักษา หรือศึกษาจากคู่มือการซ่อมบำรุงรักษาสำหรับส่วนประกอบที่ยังไม่เคยมีประวัติการเสียหายมาก่อน

4. วิเคราะห์หาเหตุบกพร่อง และผลกระทบที่วิกฤตของส่วนประกอบตัวอย่างของรถไฟฟ้าโดยการใช้เทคนิควิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่อง และผลกระทบที่วิกฤต (Failure Mode Effects and Criticality Analysis, FMECA) เพื่อวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยง

5. รวบรวมข้อมูลและทำการวัดและประเมินผลถึงความเสี่ยงที่มีต่อผลกระทบต่อด้านสุขภาพอนามัย (Health) ความปลอดภัย (Safety) สิ่งแวดล้อม (Environment) และการดำเนินการ (Operation) ของแต่ละอุปกรณ์ที่อาจเกิดผลต่อความเชื่อมั่นในการให้บริการ (Reliability)

6. นำลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤต ของส่วนประกอบที่ไม่สามารถยอมรับความเสี่ยงได้ มาสร้างเป็นโมดูลการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพแนวใหม่ โดยการใช้เทคนิคการตรวจติดตามสภาพการใช้งาน (Condition Monitoring) เป็นเครื่องมือ

ผลการวิจัย

ระยะเวลาการซ่อมบำรุงอุปกรณ์ตามตารางเวลาของ Air Supply Compressor ซึ่งกำหนดไว้ในทุกๆระยะเวลา 8 ปี หรือ ประมาณ 12,000 ชั่วโมงการทำงาน ซึ่งกำหนดจากบริษัทผู้ผลิตนั้น ถึงอย่างไรก็ตามมีหลายเหตุผลมากที่จะทำการยืดเวลาการซ่อมบำรุงรักษาโดยการใช้เทคนิคการติดตามสภาพการใช้งาน เนื่องจากเกิดความไม่แน่ใจทั้งสองฝ่าย ระหว่างฝ่ายซ่อมบำรุงและบริษัทผู้ผลิต จากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันในการออกแบบและจากการใช้งานจริง

ผลการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) ของ Air Supply Compressor จากการศึกษาของโรงซ่อมบำรุงรถไฟฟ้าตัวอย่าง ซึ่งแสดงผลดังตาราง 1

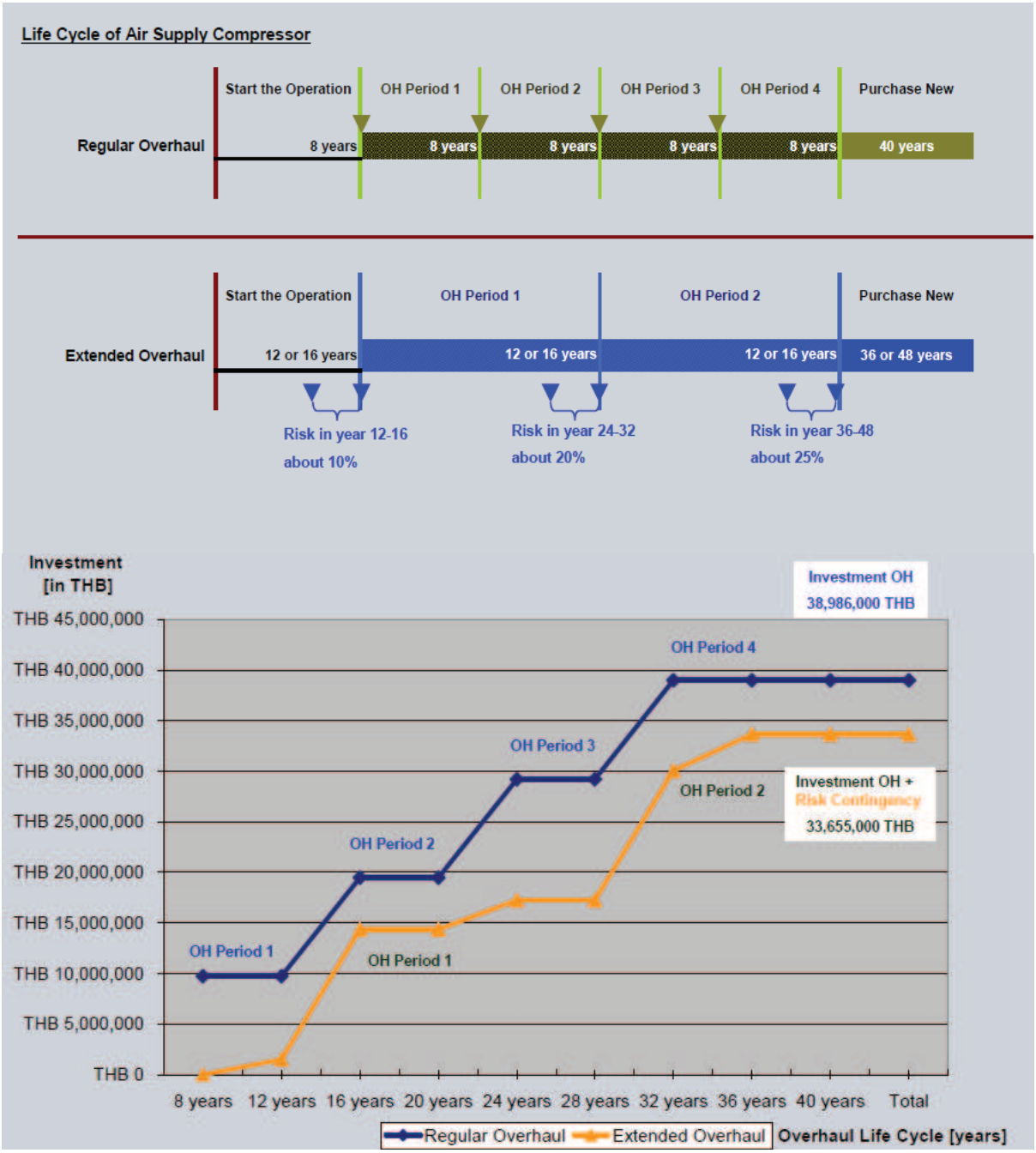
ตาราง 1 แสดงผลของเทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA)

FAILURE MODE	Recommended Action	Frequency	Trade
มอเตอร์ไม่ทำงานเพราะตลับลูกปืน	เปลี่ยนตลับลูกปืนในขณะ Overhaul	12 ปี	ช่างเทคนิค
มอเตอร์ไม่ทำงานเพราะไม่มีกระแสไฟฟ้า (Governor)	เปลี่ยน switch	6 ปี	ช่างเทคนิค
Coupling เสียหาย	ทำการตรวจสอบรอยแตกร้าวด้วยตาเปล่าในขณะ Overhaul	12 ปี	ช่างเทคนิค
ตลับลูกปืนเพลาข้อเหวี่ยงชำรุด	เปลี่ยนตลับลูกปืนในขณะ Overhaul	12 ปี	ช่างเทคนิค
ท่อส่งลมชำรุด	เปลี่ยนอุปกรณ์ ท่อยางก่อนทำการ Overhaul	6 ปี	ช่างเทคนิค
ตัวยึด Compressor กับตัวรถเสียหาย	เปลี่ยนชิ้นส่วนที่น่าจะเสียหาย เช่น Screw หรือ Nut ในขณะ Overhaul	12 ปี	ช่างเทคนิค
การตั้งค่าของ Pressure governor ไม่ถูกต้อง	ทำการเปลี่ยนก่อน pressure governor switch ทำการ Overhaul	12 ปี	ช่างเทคนิค
การชำรุดเสียหายของกระบอกสูบ และลูกสูบ	เก็บตัวอย่างน้ำมันทำการวิเคราะห์ความสึกหรอ เปลี่ยนในขณะทำการ Overhaul	3 ปี 12 ปี	ช่างเทคนิค, Oil analysis Lab
MCB ไม่ทำงาน	เปลี่ยนในขณะทำการ Overhaul	20 ปี	ช่างเทคนิค
Seal รั่ว	เปลี่ยนอุปกรณ์ Seal, ท่อลมก่อนทำการ Overhaul	12 ปี	ช่างเทคนิค

ตาราง 1 (ต่อ) แสดงผลของเทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA)

FAILURE MODE	Recommended Action	Frequency	Trade
Sight glass แตก	เปลี่ยนในขณะทำการ Overhaul	12 ปี	ช่างเทคนิค
เกิดการกัดกร่อน สนิม ของผิวด้านนอกของ Oil Tank	ทำการตรวจสอบด้วยตาเปล่าในขณะ Overhaul	12 ปี	ช่างเทคนิค
Oil trap แตกชำรุด	เปลี่ยนในขณะทำการ Overhaul	12 ปี	ช่างเทคนิค
Oil trap ตัน	เปลี่ยนในขณะทำการ Overhaul	12 ปี	ช่างเทคนิค

ผลดังตาราง แสดงให้เห็นได้ว่าเทคนิคการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) มีเหตุผลที่สามารถยืดระยะเวลาการทำ Overhaul โดยการใช้เทคนิคการติดตามสภาพการใช้งาน กับ Air Supply Compressor โดยมุ่งประเด็นจากหน้าที่ในการทำงานของแต่ละอุปกรณ์พบว่า มี 14 หน้าที่ (Failure Mode) ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานของ Air Supply Compressor คือ มอเตอร์ไม่ทำงานเพราะตลับลูกปืน, มอเตอร์ไม่ทำงานเพราะไม่มีกระแสไฟฟ้า (Governor) Coupling เสียหาย ตลับลูกปืนเพลาข้อเหวี่ยงชำรุด ท่อส่งลมชำรุด ตัวยึด Compressor กับตัวรถเสียหาย การตั้งค่าของ Pressure governor ไม่ถูกต้อง การชำรุดเสียหายของ กระบอกสูบ และลูกสูบ MCB ไม่ทำงาน Seal รั่ว Seal รั่ว Sight glass แตก เกิดการกัดกร่อน สนิม ของผิวด้านนอกของ Oil Tank Oil trap แตกชำรุด และ Oil trap ตัน



	OH period 1		OH period 2		OH period 3		OH period 4			
	8 years	12 years	16 years	20 years	24 years	28 years	32 years	36 years	40 years	Total
Regular Overhaul	9,746,608	9,746,608	19,493,216	19,493,216	29,239,824	29,239,824	38,986,432	38,986,432	38,986,432	38,986,432

			OH period 1				OH period 2			
	8 years	12 years	16 years	20 years	24 years	28 years	32 years	36 years	40 years	Total
Extended	0	0	12,829,110	12,829,110	12,829,110	12,829,110	25,658,220	25,658,220	25,658,220	25,658,220
Risk	0	1,526,269	1,526,269	1,526,269	4,419,967	4,419,967	4,419,967	7,997,380	7,997,380	7,997,380
Extended Overhaul	0	1,526,269	14,355,379	14,355,379	17,249,077	17,249,077	30,078,187	33,655,600	33,655,600	33,655,600

ภาพ 2 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายระหว่างแผนเดิมและแผนใหม่

จากการศึกษาครั้งนี้พบได้ว่าการนำเทคนิคการวิเคราะห์หาลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) มาประยุกต์ใช้กับการพัฒนาโมดูลการซ่อมบำรุงรักษา Air Supply Compressor สามารถควบคุมความเสี่ยงจากการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง ได้ถึง 55 เปอร์เซ็นต์ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อด้านสุขภาพอนามัย (Health) ความปลอดภัย (Safety) สิ่งแวดล้อม (Environment) และการดำเนินการ (Operation) ของจำนวน35 Air Supply Compressors ที่จะต้องทำการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (Overhaul) สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง 5 ล้านบาทในระยะเวลา 40 ปี

สรุปและอภิปรายผล

จากผลการวิจัยในการวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) และการซ่อมบำรุงรักษาแบบตามสภาพ (Condition based Maintenance) โดยใช้เทคนิคการตรวจติดตามสภาพการใช้งาน เพื่อทดแทนการซ่อมบำรุงรักษาตามระยะเวลาปรับคืนสภาพ (Overhaul Scheduling) ใน Air supply compressor ของรถไฟฟ้านั้นสรุปได้ผลดังต่อไปนี้

1. ผลการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุของความบกพร่องของ Air Supply Compressor Compressor ในการทำงานของแต่ละอุปกรณ์พบว่า มี 14 หน้าที่ของความบกพร่อง (Failure Mode) ที่ทำให้เกิดผลกระทบต่อการทำงานของ Air Supply Compressor คือ มอเตอร์ไม่ทำงานเพราะตลับลูกปืน, มอเตอร์ไม่ทำงานเพราะไม่มีกระแสไฟฟ้า (Governor) Coupling เสียหาย ตลับลูกปืนเพลาข้อเหวี่ยงชำรุด ท่อส่งลมชำรุด ตัวยึด Compressor กับตัวรถเสียหาย การตั้งค่าของ Pressure governor ไม่ถูกต้อง การชำรุดเสียหายของ กระบอกสูบ และลูกสูบ MCB ไม่ทำงาน Seal รั่ว Seal รั่ว Sight glass แตก เกิดการกัดกร่อน สนิม ของผิวด้านนอกของ Oil Tank Oil trap แตกชำรุด และ Oil trap ตัน สามารถสร้างแผนการซ่อมบำรุงรักษาตามสภาพเพื่อควบคุมความบกพร่องที่จะเกิดขึ้นได้

จากการศึกษาครั้งนี้พบได้ว่าการนำเทคนิคการวิเคราะห์หาลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤติ (FMECA) มาประยุกต์ใช้กับการพัฒนาโมดูลการซ่อมบำรุงรักษา Air Supply Compressor สามารถควบคุมความเสี่ยงจากการเกิดลักษณะข้อบกพร่อง ได้ถึง 55 เปอร์เซ็นต์ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อด้านสุขภาพอนามัย (Health) ความปลอดภัย (Safety) สิ่งแวดล้อม (Environment) และการดำเนินการ (Operation) ของจำนวน35 Air Supply Compressors ที่จะต้องทำการซ่อมบำรุงรักษาปรับคืนสภาพ (Overhaul) สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายได้ถึง 5 ล้านบาทในระยะเวลา 40 ปี

ในการทำงานวิจัยในครั้งนี้มีปัญหาและอุปสรรค สามารถที่จะสรุปเป็นข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะศึกษาและนำงานวิจัยนี้ไปปฏิบัติในครั้งต่อไป และข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคตได้ดังนี้

ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ที่จะนำงานวิจัยนี้ไปปฏิบัติ

1. ควรจัดหาทีมงานการทำ FMECA ที่มีความถนัดในแต่ละด้านอย่างเหมาะสม
2. ต้องสื่อสารและให้ข้อมูลกับแผนกต่างที่เกี่ยวข้องอย่างเข้าใจ
3. สร้างความเข้าใจกับทีมงานเพื่อให้ทราบถึงวัตถุประสงค์ที่แท้จริง
4. ต้องได้รับความร่วมมือสนับสนุนจากฝ่ายผู้บริหารอย่างจริงจัง
5. ควรจะมีฝ่ายบัญชีร่วมทีมด้วยในการวิเคราะห์ศึกษาผลกระทบด้านต้นทุน

ข้อเสนอแนะด้านเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษางานวิจัยนี้จะต้องคำนึงถึงการนำเครื่องมือที่เหมาะสมมาใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาเพื่อที่จะได้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นโดยแท้จริง ทางผู้วิจัยได้นำเครื่องมือเหล่านี้มาทำการวิเคราะห์และแก้ไขเครื่องมือเหล่านี้ควรจะได้รับการอบรมวิธีการใช้ หลักการของเครื่องมือและทราบถึงข้อดีข้อเสียของเครื่องมือแต่ละตัวเพื่อให้สามารถใช้จนบรรลุถึงเป้าหมายที่กำหนดไว้ได้ สำหรับข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือควบคุมคุณภาพแต่ละตัวที่ได้นำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ได้สรุปไว้ดังตาราง 2

ตาราง2 แสดงข้อดีและข้อเสียของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ชื่อเครื่องมือ	ข้อดี	ข้อเสีย
1.การวิเคราะห์ลักษณะข้อบกพร่องและผลกระทบที่วิกฤต (FMECA)	1. เป็นหลักการและวิธีการใช้งานไม่ยุ่งยากซับซ้อน ง่ายสำหรับผู้ที่จะเริ่มต้นศึกษา 2. เข้าถึงการวิเคราะห์ การประเมินระบบที่มีวิธีการสลับซับซ้อนได้ง่าย 3. ผลของ FMECA สามารถช่วยสร้างความมั่นใจในความปลอดภัยของระบบและผู้ใช้งาน 4. FMECA เป็นวิธีการที่เหมาะสมกับการประเมินอุปกรณ์(Hardware) และระบบ (System) แทบทุกลักษณะ	1. ต้องใช้ข้อมูลที่แม่นยำสูงเพื่อไม่ให้เกิดการผิดพลาด 2. เกณฑ์ในการตัดสินไม่ชัดเจนจะทำให้เกิดความผิดพลาดจากคนได้ง่าย 3. ไม่สามารถวิเคราะห์ความบกพร่องหลายปัญหาในเวลาเดียวกัน
2.เทคนิคการตรวจติดตามสภาพการใช้งาน (Condition Monitoring Techniques)	1. สามารถใช้งานอุปกรณ์หรือเครื่องจักรให้ได้ถึงอายุงานที่สูงสุดก่อนที่จะซ่อมบำรุง 2. ช่วยให้ลดขอบเขตของงานซ่อมลงเหลือเท่าที่จำเป็น 3. ลดต้นทุนการบำรุงรักษาทั้งด้านอะไหล่และแรงงาน เพราะการตรวจสภาพเครื่องจักรอย่างต่อเนื่อง ทำให้สามารถใช้งานได้จนถึงจุดที่เครื่องจักรไม่สามารถใช้งานได้ 4. รู้จุดบกพร่องที่เพิ่งจะเริ่มเกิดขึ้นในเครื่องจักรก่อนที่จะลุกลามไปจนเป็นความเสียหายอย่างรุนแรง 5. ลดเวลาในการหยุดเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ 6. ยืดอายุการใช้งานของอะไหล่ให้นานขึ้น ทำให้ใช้งานคุ้มค่าและลดจำนวนอะไหล่ที่ต้องเก็บสต็อกไว้ 7. เพิ่มความสบายใจ มั่นใจของอุปกรณ์เนื่องจากมีการตรวจสภาพอยู่เสมอ	1. ต้องการเครื่องมือที่มีความทันสมัย ทำให้ต้องลงทุนเสียค่าใช้จ่ายในการหาซื้อเครื่องวัด 2. ผู้ใช้งานเครื่องมือวัดจะต้องมีทักษะในการเก็บข้อมูลและต้องมีความรู้ ทักษะ ในศาสตร์นั้นๆเป็นอย่างดี 3. การวิเคราะห์ข้อมูล ต้องการทราบถึงประวัติ และรายละเอียดของข้อมูลและการทำงานของเครื่องจักรเป็นอย่างดี 4. การวิเคราะห์งานบางชนิดต้องการเทคโนโลยีที่หลากหลายมาผสมผสานกัน

ข้อเสนอแนะในการนำงานวิจัยไปศึกษาต่อ

1. ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาการพัฒนาแผนการซ่อมบำรุงรักษาของอุปกรณ์ชุดกำเนิดลม (Air Supply Compressor) ซึ่งสามารถลดต้นทุนในการซ่อมบำรุงรักษาให้ต่ำลงได้ ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาเพิ่มเติมกับระบบอื่นในรถไฟฟ้า

2. งานวิจัยครั้งต่อไปควรทำการศึกษา FMECA กับ เครื่องมือในการวิเคราะห์และประเมินความเสี่ยงชนิดอื่นด้วย เช่น Fault Tree Analysis FTA, Reliability Block Diagram RBD, Event Tree Analysis ETA,

3. งานวิจัยครั้งต่อไปควรจะทำการศึกษาผลกระทบในการประมูลโครงการซ่อมบำรุงรักษารถไฟฟ้าเมื่อต้นทุนในการซ่อมบำรุงรักษาต่ำลง

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงลงได้เนื่องด้วยความกรุณาจาก ผศ.ดร.ณฐา คุปตัษเฐียร ที่ปรึกษาหลักวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้แนวคิด ข้อคิดเห็นต่างๆ และตรวจสอบ ซึ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อการวิจัยในครั้งนี้จนงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี จึงใคร่ขอขอบพระคุณอาจารย์เป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอขอบคุณบริษัทตัวอย่าง และพนักงานที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้ให้การสนับสนุนในด้านข้อมูลสำหรับการทำงานวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างดียิ่ง

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่ได้ให้การอบรมสั่งสอน ให้กำลังใจ และสนับสนุนจนสำเร็จการศึกษา รวมไปถึงครูอาจารย์ทุกท่านที่ให้การอบรมสั่งสอนจนสามารถนำความรู้มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์

เอกสารอ้างอิง

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. (2551). การวิเคราะห์อาการขัดข้องและผลกระทบ. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น).

Joel, L . (2003). complete guide to Preventive and Predictive Maintenance, Industrial Press Inc.

MILD-STD-1629A. (2006). Military Standard Procedures for Performing a failure Mode, Effects and Criticality Analysis, Department of Defence, USA

Moubray, J. (1997). Reliability-centred Maintenance. 2nd edition. Butterworth Heinemann Ltd.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ - นามสกุล	นาย ชัยมงคล ศรีจันทรา
วัน เดือน ปีเกิด	15 เมษายน 2512
ที่อยู่	46/286 หมู่บ้านสิรีนเฮาส์ ถนนวิภาวดี-รังสิต แขวงสีกัน เขตดอนเมือง จังหวัดกรุงเทพมหานคร 10210
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับครุศาสตร์อุตสาหกรรมบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมเทคโนโลยี จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล เมื่อ พ.ศ. 2535
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2535 - 2539	ตำแหน่ง Industrial Software Engineer บริษัท แชมเปี้ยนแมชีนทูล (ประเทศไทย) จำกัด
พ.ศ. 2539 - 2540	ตำแหน่ง Cad Cam Engineer บริษัท ยูนิกราฟิค (ประเทศไทย) จำกัด
พ.ศ. 2540 - ปัจจุบัน	ตำแหน่ง Rolling Stock Overhaul Assistant Manager บริษัท ซีเมนส์ จำกัด

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์

ชัยมงคล ศรีจันทรา , ณฐา คุปตัษเฐียร **การพัฒนาโมดูลซ่อมบำรุงรักษาแบบตามสภาพด้วยเทคนิค FMECA และประยุกต์ใช้ในรถไฟฟ้า.** การประชุมวิชาการ “ ศรีนครินทรวิโรฒวิชาการ ครั้งที่ 4 ” วันที่ 29-30 มกราคม 2553 มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ประสานมิตร)