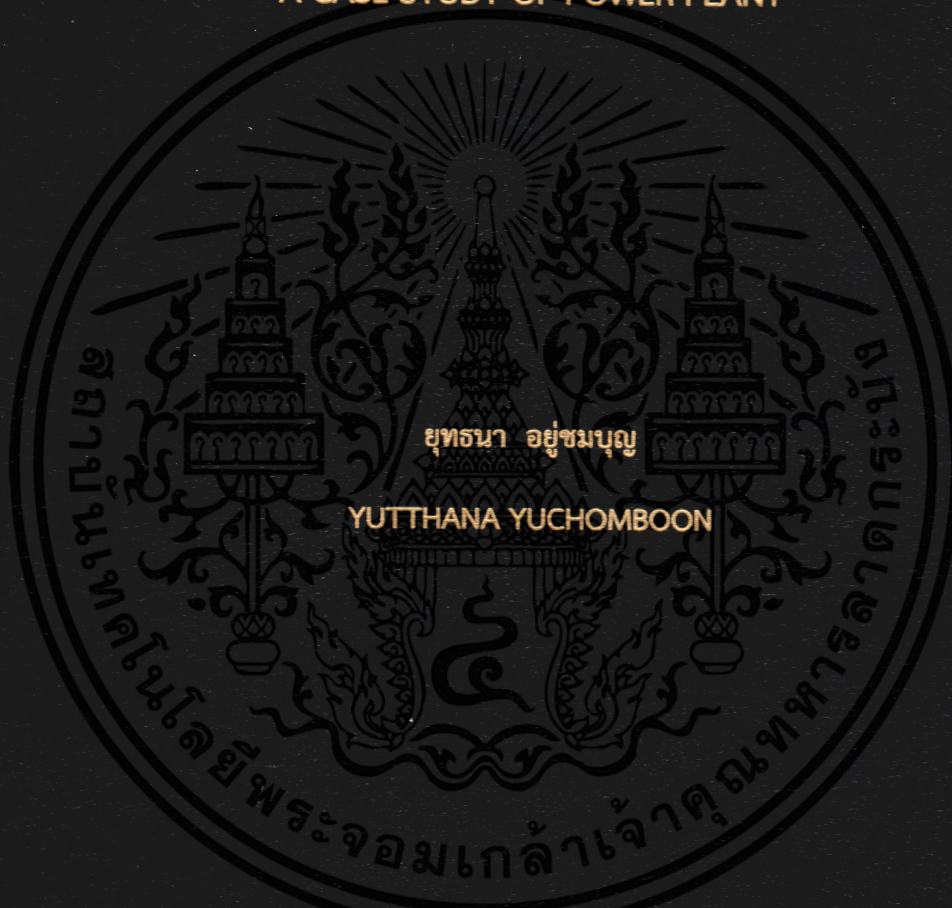


การปรับปรุงการบำรุงรักษาแบบตรวจสอบเพื่อลดความล้มเหลวร่วมกันของ
องค์ประกอบใน k-out-of-n: กรณีศึกษาโรงไฟฟ้า

INSPECTION MAINTENANCE IMPROVEMENT FOR REDUCING COMMON
CAUSE FAILURES OF K-OUT-OF-N CONFIGURATIONS:
A CASE STUDY OF POWER PLANT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอัตโนมัติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-EN-M-257-154

การปรับปรุงการบำรุงรักษาแบบตรวจสอบเพื่อลดความล้มเหลวร่วมกันของ
องค์ประกอบใน k-out-of-n: กรณีศึกษาโรงไฟฟ้า

INSPECTION MAINTENANCE IMPROVEMENT FOR REDUCING COMMON
CAUSE FAILURES OF K-OUT-OF-N CONFIGURATIONS:
A CASE STUDY OF POWER PLANT



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอัตโนมัติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2561

KMITL-2018-EN-M-257-154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INSPECTION MAINTENANCE IMPROVEMENT FOR REDUCING COMMON
CAUSE FAILURES OF K-OUT-OF-N CONFIGURATIONS:
A CASE STUDY OF POWER PLANT

YUTTHANA YUCHOMBOON

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN AUTOMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018

KMITL-2018-EN-M-257-154

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2018

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การปรับปรุงการบำรุงรักษาแบบตรวจสอบเพื่อลดความล้มเหลวร่วมกันขององค์ประกอบ
ใน k-out-of-n : กรณีศึกษาโรงไฟฟ้า

Thesis Title Inspection Maintenance Improvement for Reducing Common Cause Failures
of k-out-of-n Configurations: A Case Study of Power Plant

นักศึกษา นายยุทธนา อยู่ชมบุญ
รหัสประจำตัว 58601203
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอัตโนมัติ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ เทพมณี
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2018-EN-M-257-154

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.จนิตย์	ตรีสุวรรณวัฒน์	
รศ.ดร.ไสว	พงศ์สวัสดิ์	
รศ.ดร.อัมพวัน	จุลเสวีวงศ์	
ดร.อภินัย	ฤกษ์รัตน์	
ผศ.ดร.ธีรวัฒน์	เทพมณี	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพุธที่ 10 ตุลาคม พ.ศ. 2561 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 4 ชั้น 5 อาคาร A

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น คณะบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงวันที่ 10 ตุลาคม พ.ศ. 2561 ไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงการบำรุงรักษาแบบตรวจสอบเพื่อลดความล้มเหลวร่วมกันขององค์ประกอบใน k-out-of-n: กรณีศึกษาโรงไฟฟ้า
นักศึกษา	นายยุทธนา อยู่ชมบุญ
รหัสประจำตัว	58601203
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอัตโนมัติ
พ.ศ.	2561
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ เทพมณี

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการปรับปรุงการบำรุงรักษาแบบตรวจสอบ เพื่อลดความล้มเหลวร่วมกันของอุปกรณ์ในระบบสำรองแบบ k-out-of-n สำหรับการเพิ่มความน่าเชื่อถือและความพร้อมใช้งานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม จากการวิเคราะห์สาเหตุและโหมดความล้มเหลวรวมถึงการวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาดของโรงไฟฟ้าที่ศึกษา จึงได้นำเสนอการปรับปรุงการบำรุงรักษา 2 รูปแบบ สำหรับระบบสำรองที่มีการลงมติการทำงานของอุปกรณ์จาก 2 ใน 3 (2o3) และระบบสำรองที่มีการลงมติการทำงานของอุปกรณ์จาก 1 ใน 2 (1o2) โดยการปรับปรุงการบำรุงรักษาที่นำเสนอได้ใช้วิธีการลดความเค้นของอุปกรณ์ร่วมกัน การนำอุปกรณ์มาใช้อย่างหลากหลาย และการออกแบบระบบหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงความผิดพลาดร่วมกันของอุปกรณ์ การบำรุงรักษาที่นำเสนอในรูปแบบที่ 1 เป็นการปรับปรุงการซ่อมของการขยายสัญญาณรุ่น EG4-RLK ที่เชื่อมต่อในรูปแบบ 2o3 ซึ่งใช้งานในระบบการไล่อากาศและเชื้อเพลิงของกังหันก๊าซ ส่วนการบำรุงรักษาที่นำเสนอในรูปแบบที่ 2 เป็นการปรับปรุงการเปลี่ยนเซนเซอร์แบบฮอลล์ของอุปกรณ์ตรวจจับกระแสที่ใช้ในระบบกระตุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยระบบกระตุ้นนี้มีการสำรองเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ในรูปแบบ 1o2 นอกจากนี้ ยังมีการสร้างแบบจำลองความน่าเชื่อถือโดยใช้การวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาดเพื่อแสดงประสิทธิภาพของการปรับปรุงการบำรุงรักษาที่นำเสนอ จากผลของการทดสอบการสลับเชื้อเพลิงของกังหันก๊าซ พบว่า การบำรุงรักษาที่นำเสนอช่วยเพิ่มอัตราผลสำเร็จในการสลับเชื้อเพลิง จาก 55% ในปี พ.ศ. 2559 เป็น 75% ในปี พ.ศ. 2560

Thesis	Inspection Maintenance Improvement for Reducing Common Cause Failures of k -out-of- n Configurations: A Case Study of Power Plant
Student	Mr. Yutthana Yuchomboon
Student ID.	58601203
Degree	Master of Engineering
Program	Automation Engineering
Year	2018
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Teerawat Thepmanee

ABSTRACT

This thesis presents an improvement of inspection maintenance actions to reduce common cause failures of k -out-of- n redundant structures for increasing the reliability and availability of a combined cycle power plant. Based on failure modes and effects analysis (FMEA) as well as fault tree analysis (FTA) of the studied power plant, two improved maintenance schemes in 2oo3 and 1oo2 architectures are proposed. In order to obtain common-cause avoidance, both proposed maintenance schemes are based on the methods to reduce common stress, to apply diversity, and to ruggedize the design for high strength. The first scheme improves the repair procedures of EG4-RLK transformer isolated amplifiers connected in 2oo3 voting configuration, which are employed in the gas-turbine air-purge system. The latter improves the replacement procedures of Hall-effect sensors utilized in the generator excitation that uses redundant programmable logic controllers (PLCs) in 1oo2 voting configuration. In addition, the FTA-based reliability modeling of two interested voting configurations is performed to verify the effectiveness of the proposed maintenance improvement. From the results of Fuel-Switch-Over (FSWO) and Fuel-Switch-Back (FSWB) tests for the gas turbine in B.E. 2559 – 2560 show that the improved maintenance tasks can increase the pass rate from 55% to 75%.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผศ.ดร. อีร์วัฒน์ เทพมณี และ รศ.ดร. อัมพวัน จุลเสวีวงศ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความอนุเคราะห์ คำแนะนำและช่วยเหลือในทุก ๆ เรื่องที่ผ่านมา จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณผู้บริหารและหัวหน้างาน บริษัท กัลฟ์ เพาเวอร์ เจเนอเรชั่น จำกัด ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์ สถานที่และข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ให้ลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่มีมอบโอกาสให้ ข้าพเจ้าได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโทจนสำเร็จการศึกษา ณ สถาบันฯ แห่งนี้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้บิดามารดาซึ่ง เป็นที่รัก และเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอด ประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ยุทธนา อยู่ชมบุญ



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VIII
รายการสัญลักษณ์.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	2
1.3 แนวคิดที่ใช้ในการปรับปรุงการบำรุงรักษาที่นำเสนอ.....	2
1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์.....	3
1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 กล่าวนำ.....	8
2.2 การวิเคราะห์ความล้มเหลวของโรงไฟฟ้าที่เป็นกรณีศึกษา.....	8
2.3 การวิเคราะห์สาเหตุและโหมดความล้มเหลวและผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักร.....	14
2.3.1 FMEA คืออะไร.....	14
2.3.2 คำจำกัดความของ FMEA.....	15
2.3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุปัญหาโดยหลักการ FMEA.....	18
2.4 การวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด.....	19
2.4.1 ความหมายของสัญลักษณ์ต่าง ๆ.....	20
2.4.2 ลอจิก AND.....	22
2.4.3 ลอจิก OR.....	23
2.5 ระบบสำรอง.....	24
2.5.1 ระบบ k-out-of-n.....	24
2.5.2 ปัญหา Common Cause Failure.....	25
2.6 แผนงานการตรวจสอบและบำรุงรักษาของโรงไฟฟ้า.....	26
2.6.1 การกำหนดงานบำรุงรักษา.....	26
2.6.2 แผนงานการตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องจักร.....	29

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 การปรับปรุงการบำรุงรักษาแบบตรวจสอบที่นำเสนอ.....	36
3.1 กล่าวนำ.....	36
3.2 การปรับปรุงการบำรุงรักษาที่นำเสนอ.....	37
3.2.1 แผนการตรวจสอบก่อนหน้านี้.....	37
3.2.2 การหลีกเลี่ยงความผิดพลาดร่วมกัน.....	39
3.2.3 แผนตรวจสอบที่นำเสนอ.....	40
3.3 การปรับปรุงความล้มเหลวของระบบผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันก๊าซ เมื่อมีการสลับเชื้อเพลิง.....	41
3.3.1 รายละเอียดของกระบวนการ.....	42
3.3.2 ขั้นตอนในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิงสำรอง FSWO.....	43
3.3.3 ขั้นตอนในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงกลับเป็นเชื้อเพลิงหลัก FSWB.....	47
3.3.4 การทำ Fuel Switch Over (FSWO & FSWB).....	50
3.3.5 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ.....	51
3.3.6 การปรับปรุงการนำเสนองานบำรุงรักษาของ Air Purge Valve.....	59
3.4 การปรับปรุงการลดความผิดพลาดของอุปกรณ์ของระบบผลิตไฟฟ้า.....	65
3.4.1 รายละเอียดของกระบวนการ.....	65
3.4.2 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ.....	69
3.4.3 การปรับปรุงอุปกรณ์ตรวจจับกระแส.....	73
3.4.4 การกำหนดแผนในการทดสอบอุปกรณ์เมื่อ Plant Shutdown.....	79
บทที่ 4 แบบจำลองความน่าเชื่อถือโดย FTA ของเทคนิคที่นำเสนอ.....	82
4.1 การปรับปรุงความล้มเหลวของระบบผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันก๊าซ เมื่อมีการสลับเชื้อเพลิง.....	82
4.2 การปรับปรุงการลดความผิดพลาดของอุปกรณ์ของระบบผลิตไฟฟ้า.....	97
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	99
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	99
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	108
เอกสารอ้างอิง.....	109
ภาคผนวก ก บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	111
ประวัติผู้เขียน.....	118

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	ข้อมูลการทำ FSWO & FSWB ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันก๊าซ.....9
2.2	สาเหตุความผิดพลาดของอุปกรณ์ของระบบ Excitation System.....11
2.3	รูปแบบของตาราง FMEA..... 19
2.4	สัญลักษณ์ ชื่อและความหมายของพอลท์ทรี.....21
3.1	แผนการตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า..... 38
3.2	แผนการตรวจสอบอุปกรณ์ควบคุมและอุปกรณ์เครื่องมือวัด..... 38
3.3	FMEA จากเหตุการณ์ FSWO & FSWB ของกังหันก๊าซหน่วยที่ 11.....51
3.4	FMEA จากเหตุการณ์ FSWO & FSWB ของกังหันก๊าซหน่วยที่ 12.....55
3.5	FMEA จากเหตุการณ์ FSWO & FSWB ของกังหันก๊าซหน่วยที่ 21.....58
3.6	สถิติความผิดพลาดของอุปกรณ์ตรวจจับกระแส..... 67
3.7	การปรับตั้ง Dip Switch ของอุปกรณ์ตรวจจับกระแส..... 68
3.8	เหตุการณ์ความผิดพลาดของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ในระบบ Excitation.....69
3.9	ลำดับขั้นตอนในการแก้ไขเครื่องจักรหรืออุปกรณ์เมื่อทำงานผิดพลาด..... 70
5.1	ความน่าเชื่อถือของระบบที่มี CCF.....100
5.2	ผลการทดสอบ FSWO & FSWB จากการสั่งการจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ปี พ.ศ. 2558.....104
5.3	ผลการทดสอบ FSWO & FSWB จากการสั่งการจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ปี พ.ศ. 2559.....105
5.4	ผลการทดสอบ FSWO & FSWB จากการสั่งการจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ปี พ.ศ. 2560.....105
5.5	สรุปผลการทดสอบ FSWO & FSWB ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2558 – 2560.....106
5.6	การเปรียบเทียบการนำกระแสจากการปรับปรุง Hall Effect Sensor กับ OEM.....107
5.7	การเปรียบเทียบราคาอุปกรณ์จากการปรับปรุงและการนำเข้าจากต่างประเทศ.....107

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	บล็อกไดอะแกรม Fuel Oil and Fuel Gas ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันก๊าซ.....	9
2.2	กราฟประวัติการสั่งการ Fuel Switch Over and Fuel Switch Back.....	10
2.3	กราฟการแจกแจงของอุปกรณ์ที่ทำงานผิดปกติจากการทำ FSWO & FSWB.....	10
2.4	กราฟการแจกแจงของอุปกรณ์ที่ทำงานผิดปกติของระบบ Excitation.....	14
2.5	สาเหตุของความเสียหายในการทำงาน.....	15
2.6	การสังเกตอาการที่ผิดปกติเพื่อนำไปสู่การลดความเสียหายของรถยนต์.....	16
2.7	การสังเกตอาการผิดปกติเพื่อนำไปสู่การลดความเสียหายของเครื่องจักร.....	17
2.8	แผนภาพ FTA ของระบบจ่ายไฟฟ้า.....	22
2.9	แผนภาพ FTA ความพร้อมใช้งานของอุปกรณ์การวัด.....	23
2.10	โปรแกรมในงานบำรุงรักษาของโรงไฟฟ้า (Program Maximo).....	27
2.11	โปรแกรม Maximo สำหรับงาน Preventive Maintenance.....	27
2.12	โปรแกรม Maximo สำหรับงาน Corrective Maintenance.....	28
2.13	โปรแกรม Maximo สำหรับเป็นเครื่องมือในการค้นหาอะไหล่ (Spare Part).....	28
2.14	ODC เครื่องมือช่วยในการวางแผนงานบำรุงรักษาของกังหันก๊าซ.....	29
2.15	การกำหนดแผนงานการตรวจสอบของโรงไฟฟ้า.....	30
2.16	ห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber).....	31
2.17	กราฟความสัมพันธ์ของ EOH ในการกำหนดแผนงานซ่อมบำรุง.....	32
2.18	การยก Rotor เพื่อตรวจสอบ Blade แต่ละ Stage.....	33
2.19	การยก Casing ของ LP Last Stage Blades.....	34
2.20	แผนการตรวจสอบบำรุงรักษาของกังหันไอน้ำ.....	34
3.1	แนวคิดของลำดับการทำงานการบำรุงรักษาการตรวจสอบก่อนปรับปรุง.....	37
3.2	แนวคิดของลำดับงานการปรับปรุงบำรุงรักษาตรวจสอบ.....	40
3.3	การเปรียบเทียบขั้นตอนการตรวจสอบการบำรุงรักษาก่อนการปรับปรุง หลังปรับปรุง.....	41
3.4	Suction & Discharge Valve ของ Fuel Oil และ NOx Water Forwarding Pump.....	42
3.5	มอเตอร์และปั๊มสำหรับเชื้อเพลิงระบบสำรอง (ดีเซล).....	43
3.6	แผนภาพลำดับขั้นตอนการทำงานของ Fuel Switch Over (FSWO).....	45
3.8	แผนภาพลำดับขั้นตอนการทำงานของ Fuel Switch Back (FSWB).....	48
3.10	Fuel Switching Cycle (กรณีกฟผ. สั่งการ).....	50
3.11	Fuel Switching Cycle (กรณีโรงไฟฟ้าขอทดสอบ).....	50
3.12	บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ Air Purge Valve ในส่วนของ Fuel Gas จากหน้าจอ DCS.....	59

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.13	ตำแหน่งการติดตั้ง Air Purge Valve ในโรงไฟฟ้า.....59
3.14	ลักษณะของ Actuator and Air Purge Valve ที่ใช้ในระบบ Gas.....60
3.15	ตำแหน่งของ Ball ที่ได้รับความเสียหาย.....60
3.16	ด้านซ้ายเป็นภาพตัดของ Air Purge Valve ส่วนขวาเป็นรายละเอียดของวาล์ว.....61
3.17	การทดสอบ Air Purge Valve.....62
3.18	Transformer Isolated Amplifier.....62
3.19	Loop ของการทำงานของ Transformer Isolated Amplifier.....63
3.20	เครื่องมือในการทดสอบ Transformer Isolated Amplifier.....64
3.21	ผลจากการทดสอบในรูปแบบ Excel File.....64
3.22	Capability Curve ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันก๊าซ.....65
3.23	ไดอะแกรมของระบบ Static Excitation.....66
3.24	ระบบ Excitation แบบ Redundancy.....66
3.25	การทำงานของชุด Rectifier.....67
3.26	ตำแหน่งของ Dip Switch ของอุปกรณ์นำกระแส.....69
3.27	ลำดับขั้นตอนการทำงานของ Excitation System (Double Automatic Channel).....72
3.28	Conduction Monitoring Sensor.....73
3.29	การตรวจวัดค่าความต้านทานของ Hall Effect Sensor (ตัวที่ผิดปกติ).....74
3.30	การตรวจวัดค่าความต้านทานของ Hall Effect Sensor (OEM).....74
3.31	การตรวจวัดค่าความต้านทานของ Hall Effect Sensor (High Accuracy).....75
3.32	ส่วนของอุปกรณ์ตรวจจับกระแสที่ถอด Hall Effect Sensor ออก.....75
3.33	วงจรและ Specification ของ Hall Effect Sensor.....76
3.34	การเปรียบเทียบ Hall Effect Sensor กับตัวเก่าและหลังจากติดตั้ง.....77
3.35	การใช้สารเคลือบแผงอิเล็กทรอนิกส์หลังจากซ่อมชิ้นงาน.....77
3.36	เป็นการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับกระแสหลังจากเปลี่ยน Hall Effect Sensor.....78
3.37	การทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับกระแส โดยทดสอบที่ระบบจริง.....78
3.38	การทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับกระแสของ Excitation System Unit 21.....79
3.39	การทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับกระแสของ Excitation System Unit 22.....80
3.40	การทดสอบอุปกรณ์นำกระแสของ Excitation System Unit 28.....81
4.1	FTA การทำงานผิดพลาดจากสาเหตุร่วมกันของระบบสำรองแบบ 1oo2.....85
4.2	FTA การทำงานผิดพลาดจากสาเหตุร่วมกันของระบบสำรองแบบ 2oo3.....85
4.3	FTA ของระบบ FSWO & FSWB.....87

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4	FTA ที่มีผลต่อการทำงานผิดพลาดของระบบไฟฟ้า.....87
4.5	FTA ของระบบไฟฟ้าส่วนของ Combine Pump Block.....88
4.6	FTA ของระบบควบคุมและเครื่องมือวัดในส่วนของ Air Purge EV and SEV Line Gas....90
4.7	FTA ของระบบควบคุมและเครื่องมือวัดในส่วนของ N2 Purge EV and SEV Line Gas....91
4.8	FTA ของระบบควบคุมและเครื่องมือวัดในส่วนของ NOx Water Valves.....92
4.9	FTA ของระบบควบคุมและเครื่องมือวัดในส่วนของ Fuel Gas Valves.....93
4.10	FTA ของระบบควบคุมและเครื่องมือวัดในส่วนของ Fuel Oil Valves.....94
4.11	FTA ของระบบที่มีผลต่อการทำงานผิดพลาดของระบบเครื่องกล.....95
4.12	FTA ของผู้ควบคุมระบบส่วนกลางของโรงไฟฟ้า (Central Control Room).....96
4.13	FTA ของ Excitation System Failure.....97
5.1	ฟังก์ชันความน่าเชื่อถือของระบบสำรองแบบ 1๐๐2.....99
5.2	ฟังก์ชันความน่าเชื่อถือของระบบสำรองแบบ 2๐๐3100
5.3	ฟังก์ชันความน่าเชื่อถือของระบบสำรองแบบ 2๐๐3 ($\beta = 0.05$).....101
5.4	ฟังก์ชันความน่าเชื่อถือของระบบสำรองแบบ 1๐๐2 ($\beta = 0.05$).....101
5.5	เปรียบเทียบความน่าเชื่อถือระหว่าง 1๐๐2 และ 2๐๐3 ($\beta = 0.05$).....102
5.6	เปรียบเทียบความน่าเชื่อถือระหว่าง 1๐๐2 และ 2๐๐3 ($\beta = 0.1$).....102
5.7	กราฟของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองในห้อง LAB.....106
5.8	กราฟของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดสอบที่ระบบการทำงานจริง.....107

รายการสัญลักษณ์

- 1o01 = รูปแบบลงมติการทำงานของอุปกรณ์จาก 1 ใน 1 (One out of One Voting)
- 1o02 = รูปแบบลงมติการทำงานของอุปกรณ์จาก 1 ใน 2 (One out of Two Voting)
- 1o03 = รูปแบบลงมติการทำงานของอุปกรณ์จาก 1 ใน 3 (One out of Three Voting)
- 2o02 = รูปแบบลงมติการทำงานของอุปกรณ์จาก 2 ใน 2 (Two out of Two Voting)
- 2o03 = รูปแบบลงมติการทำงานของอุปกรณ์จาก 2 ใน 3 (Two out of Three Voting)
- λ = อัตราความล้มเหลวคงที่
- λ^D = อัตราความผิดพลาดอันตราย
- λ^{DC} = อัตราความผิดพลาดอันตรายร่วม
- λ^{DN} = อัตราความผิดพลาดอันตรายปกติ
- β = ค่าความผิดพลาดร่วม
- AD = Apply diversity
- BOP = Balance of Plant
- BPCS = Basic Process Control System
- C&I = Control and Instrument
- CCF = Common Cause Failure
- CM = Corrective Maintenance
- DCS = Distributed Control System
- E = Electrical
- EOH = Equivalent Operating Hours
- EV = Environmental Burner
- FMEA = Failure Modes and Effects Analysis

FSWB	= Fuel Switch Back
FSWO	= Fuel Switch Over
FTA	= Fault Tree Analysis
HP Turbine	= High Pressure Turbine
HRSB	= Heat Recovery Steam Generator
HS	= Ruggedize the Design for High Strength
IP Turbine	= Intermediate Pressure Turbine
IPPs	= Independent Power Producers
LP Turbine	= Low Pressure Turbine
MTTF	= Mean Time To Failure
PLC	= Programmable Logic Controller
PPA	= Power Purchase Agreement
PM	= Preventive Maintenance
RS	= Reduce Common Stress
SEV	= Sequential Environmental Burner
WSC	= Water Steam Cycle
WO	= Work Order

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีประชากรที่เพิ่มมากขึ้น กอปรกับการเติบโตทางเศรษฐกิจที่ขยายตัวอย่างต่อเนื่อง ทำให้ความต้องการในการใช้พลังงานไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น จากสถิติในปี พ.ศ. 2559 ที่ผ่านมาในช่วงเดือนเมษายน มีความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้ามากถึง 29,000 MW ซึ่งหน่วยงานที่รับผิดชอบในการผลิตและส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า ได้แก่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้มีการวางแผน และกำหนดนโยบายให้แต่ละโรงไฟฟ้าเดินเครื่องเพื่อรักษาความน่าเชื่อถือของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เพื่อป้องกันปัญหาการขัดข้องของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า โดยการผลิตกระแสไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าในประเทศไทยมีสัดส่วนการใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลักมากกว่าร้อยละ 60 ของการใช้เชื้อเพลิงทั้งหมด ทำให้ก๊าซธรรมชาติเป็นปัจจัยหลักในการผลิตไฟฟ้าของประเทศ ซึ่งส่วนใหญ่นำเข้ามาจากประเทศเมียนมาร์ (Myanmar) ผลกระทบหนึ่งของโรงไฟฟ้าที่ใช้เชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติผลิตไฟฟ้า คือต้องหยุดเดินเครื่องในกรณีที่โรงแยกก๊าซหยุดปรับปรุงระบบ ทำให้กระทบกับระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าโดยตรง ในสัญญาการเดินเครื่องของโรงไฟฟ้าในประเทศไทยในปัจจุบัน สำหรับโรงไฟฟ้าขนาดใหญ่ (Independent Power Producers: IPPs) ต้องสามารถเดินเครื่องจากเชื้อเพลิงสำรอง (เชื้อเพลิงดีเซล) ได้ โดยการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยจะเรียกทดสอบการเปลี่ยนเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันก๊าซ (Gas Turbine) เป็นจำนวน 3 ครั้งต่อ 1 เครื่อง และสามารถเรียกทดสอบซ้ำได้ (ไม่จำกัดจำนวนครั้ง) เมื่อไม่ประสบผลสำเร็จ จะทำให้โรงไฟฟ้าเสียค่าปรับมากขึ้น อีกทั้งสูญเสียเชื้อเพลิงดีเซลประมาณ 60,000 ลิตรต่อครั้งในการทดสอบ

ในระบบการส่งจ่ายกระแสไฟฟ้า ความน่าเชื่อถือ (Reliability) และความพร้อมใช้งาน (Availability) ของระบบมีความสำคัญอย่างมาก ดังนั้นโรงไฟฟ้าที่สร้างขึ้นต้องสามารถเดินเครื่องได้ตามสัญญาที่กำหนด (Power Purchase Agreement: PPA) หากไม่สามารถเดินเครื่องได้ตามสัญญาที่ทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยกำหนด จะต้องเสียค่าปรับเป็นจำนวนเงิน 3-8 ล้านบาทต่อหนึ่งเหตุการณ์ อีกทั้งสูญเสียโอกาสในการขายไฟฟ้า รวมทั้งความน่าเชื่อถือในการส่งการในการเดินเครื่อง ซึ่งเกิดจากปัญหาการหยุดเดินระบบ (Trip) บ่อยครั้ง สำหรับโรงไฟฟ้าที่ศึกษา พบว่าสถิติในปี พ.ศ. 2556-2558 ผลสำเร็จในการทดสอบในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันก๊าซมีเปอร์เซ็นต์ต่ำมาก [1] เนื่องมาจากการทำงานของอุปกรณ์ที่ผิดพลาดและขั้นตอนในการควบคุม จึงได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์ที่มีโอกาสทำงานผิดพลาดรวมของระบบ Excitation ซึ่งเป็นระบบหลักในกระบวนการผลิตไฟฟ้า ในการศึกษาได้นำการวิเคราะห์สาเหตุและโหมดความล้มเหลว (Failure Modes and Effects Analysis: FMEA) และการวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด (Fault Tree Analysis: FTA) มาใช้เป็น

เครื่องมือในการวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อลดความผิดพลาดในการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ และทำให้ระบบมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น โดยการปรับปรุงการบำรุงรักษาของเครื่องจักรและอุปกรณ์

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

- 1.2.1 เพื่อปรับปรุงการบำรุงรักษาของอุปกรณ์ในโรงไฟฟ้าให้มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น โดยการลดความล้มเหลวร่วมกันขององค์ประกอบ k-out-of-n ในโครงสร้างชุดระบบสำรอง
- 1.2.2 เพื่อสามารถประเมินรูปแบบลมนิติการทำงานของเครื่องจักรและอุปกรณ์โดยใช้การวิเคราะห์สาเหตุและโหมดความล้มเหลว
- 1.2.3 เพื่อสร้างแบบจำลองเพื่อลดความผิดพลาดของอุปกรณ์ โดยใช้การวิเคราะห์ต้นไม้มุ่งความผิดพลาด
- 1.2.4 เพื่อพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับกระแสให้สามารถทำงานได้ดีขึ้น โดยการศึกษาและการปรับปรุงการทำงานของเซนเซอร์ตรวจจับกระแสแบบฮอลล์ (Hall Effect Sensor) ที่มีความไว และมีค่าความแม่นยำสูงกว่าของเดิม

1.3 แนวคิดที่ใช้ในการปรับปรุงการบำรุงรักษาที่นำเสนอ

การปรับปรุงการบำรุงรักษาแบบตรวจสอบที่นำเสนอใช้ทฤษฎีของ FMEA ในการวิเคราะห์สาเหตุและโหมดความล้มเหลวของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถนำมาใช้วางแผนงานซ่อมบำรุงรักษาเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยการรวบรวมสถิติของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ทำงานผิดพลาดจนระบบหยุดทำงาน การระบุปัญหาของการทำงานผิดพลาด การค้นหาสาเหตุของปัญหา และการสรุปแนวทางการแก้ไขหรือการปรับปรุงเพื่อลดการเกิดปัญหาซ้ำ นอกจากนี้ยังใช้การวิเคราะห์ด้วยวิธี FTA ในการวิเคราะห์หาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา เพื่อช่วยให้งานบำรุงรักษาเครื่องจักรและอุปกรณ์ มีการคิดและการวิเคราะห์ครอบคลุมมากขึ้น โดยที่การวิเคราะห์ในเชิงลึกของปัญหาช่วยให้มองเห็นปัญหาที่ซ่อนอยู่หรือยังไม่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบมากขึ้น การหลีกเลี่ยงความล้มเหลวร่วมกันที่สามารถนำมาใช้ปรับปรุงการบำรุงรักษาจึงจำแนกเป็น 3 วิธี คือ

1. การลดความเค้นของอุปกรณ์ร่วมกัน (Reduce Common Stress: RS)
2. การนำอุปกรณ์มาใช้อย่างหลากหลาย (Apply Diversity: AD)
3. การออกแบบระบบหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง (Ruggedize the Design for High Strength: HS)

1.4 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

งานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงการบำรุงรักษาแบบตรวจสอบ เพื่อลดความล้มเหลวร่วมกันขององค์ประกอบใน k-out-of-n โครงสร้างของชุดระบบสำรอง ได้ทำการศึกษาและปรับปรุงเครื่องจักรและอุปกรณ์ในโรงไฟฟ้า 2 รูปแบบ รูปแบบที่ 1 เป็นการปรับปรุงรูปแบบการซ่อมแบบใหม่ การปรับปรุงการซ่อมและการตรวจสอบที่สามารถวัดผลได้เมื่ออุปกรณ์นั้นทำงานในกระบวนการผลิตจริง โดยการดำเนินการกับอุปกรณ์ 2 ชนิด คือ Air Purge Valve และการ์ดขยายสัญญาณรุ่น EG4-RLK (Transformer Isolated Amplifier) ในรูปแบบการลงมติการทำงานของอุปกรณ์จาก 2 ใน 3 (2o3) ส่วนในรูปแบบในรูปแบบที่ 2 เป็นการปรับปรุงการเปลี่ยนเซนเซอร์แบบฮอลล์ของอุปกรณ์ตรวจจับกระแสที่ใช้ในระบบกระตุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยระบบกระตุ้นนี้มีการสำรองเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ในรูปแบบการลงมติการทำงานของอุปกรณ์จาก 1 ใน 2 (1o2) ที่อ้างอิงจากสถิติการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์มากที่สุด ซึ่งมีการเปลี่ยนเซนเซอร์ตรวจจับกระแสแบบฮอลล์ โดยได้ทำการทดลองในห้อง Lab และสถานที่จริงซึ่งเป็นสถานะที่โรงไฟฟ้าเดินเครื่องผลิตไฟฟ้า เพื่อติดตามผลการดำเนินการทั้ง 2 รูปแบบ และกำหนดแผนงานตรวจสอบบำรุงรักษา โดยรูปแบบที่ 1 กำหนดให้มีการทดสอบ Air Purge Valve ประจำทุกวัน เมื่อพบวาล์วติดขัดก็เข้าดำเนินการแก้ไข และ Transformer Isolated Amplifier ทุกช่วงงาน Shutdown รูปแบบที่ 2 กำหนดให้มีการทดสอบเซนเซอร์ตรวจจับกระแสทุกช่วงงาน Shutdown เมื่อพบก็ดำเนินการเปลี่ยนและทดสอบซ้ำ

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

ในงานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ทำงานผิดพลาดในโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม ที่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตไฟฟ้า เพื่อลดความล้มเหลวร่วมกันขององค์ประกอบใน k-out-of-n โครงสร้างของชุดระบบสำรอง โดยมีรายละเอียดของวิทยานิพนธ์ดังนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงความจำเป็นมาและความสำคัญในการทำวิทยานิพนธ์โดยศึกษาถึงปัญหาที่มีผลกระทบต่อการผลิตไฟฟ้าเป็นหลัก ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา เป็นการประยุกต์ใช้ FMEA และ FTA มาแก้ปัญหามีความน่าจะเป็นที่ทำให้อุปกรณ์ทำงานผิดพลาด โดยขอบเขตของงานวิจัยเป็นการปรับปรุงเครื่องจักรและอุปกรณ์ในโรงไฟฟ้า 2 รูปแบบ โดยรูปแบบที่ 1 เป็นการปรับปรุงรูปแบบการซ่อมแบบใหม่ การปรับปรุงการซ่อมและการตรวจสอบที่สามารถวัดผลได้เมื่ออุปกรณ์นั้นทำงานในกระบวนการผลิตจริง โดยการดำเนินการกับอุปกรณ์ 2 ชนิด คือ Air Purge Valve และ Transformer Isolated Amplifier ในรูปแบบที่ 2 เป็นการปรับปรุงการเปลี่ยนเซนเซอร์แบบฮอลล์ของอุปกรณ์ตรวจจับกระแสที่ใช้ในระบบกระตุ้นของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยระบบกระตุ้นนี้มีการสำรองเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งอธิบายถึงผลการศึกษาของกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมโดยทำการปรับปรุงเกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์และเครื่องจักรที่ทำงานผิดพลาดจนทำให้ระบบหยุดทำงาน ส่งผลกระทบต่อสภาพความพร้อมการใช้งาน และความน่าเชื่อถือของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของประเทศ ทั้งนี้ยังส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือในการเดินเครื่องและรายได้หลักของโรงไฟฟ้า โดยการรวบรวมข้อมูลของอุปกรณ์และเครื่องจักรที่ทำงานผิดพลาด ที่เกิดขึ้นในโรงไฟฟ้าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 - 2558 พบว่าในช่วง ปี พ.ศ. 2556 - 2558 โรงไฟฟ้ามีความล้มเหลวในการเดินเครื่องจากการสั่งการของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยมากที่สุด จาก 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 การสั่งการให้เปลี่ยนเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันก๊าซ และกรณีที่ 2 ความผิดพลาดของอุปกรณ์ของระบบผลิตไฟฟ้า ที่ทำหน้าที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับ Rotor ของ Generator เรียกว่า Excitation System จากสถิติการทำงานผิดพลาดของเครื่องจักรและอุปกรณ์ สามารถใช้ทฤษฎีการวิเคราะห์สาเหตุและโหมดความล้มเหลวที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักร (FMEA) เพื่อค้นหาอุปกรณ์ที่มีผลให้ทำงานล้มเหลว โดยที่วิธีการ FMEA เป็นวิธีการแก้ปัญหาอย่างเป็นระบบ (Systematic Method) มีขั้นตอนในการวิเคราะห์ถึงสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา (Root Cause) ความถี่ในการเกิดปัญหาจากสาเหตุเหล่านั้น และโอกาสที่จะพบเจอปัญหาเหล่านั้นรวมทั้งมีลำดับขั้นตอนที่ชัดเจนโดย FMEA จะมุ่งเน้นที่การชี้ให้เห็นถึงคุณลักษณะของความเสียหาย หรือสาเหตุที่จะนำไปสู่ความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น (Potential Failure Mode) อันเนื่องมาจากการออกแบบ การผลิต หรือการบริการ จากนั้นจึงจะวิเคราะห์ผลกระทบของความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (Effects Analysis) และสุดท้ายก็เพื่อนำไปสู่การหาวิธีป้องกันการเกิดความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (Problems Prevention) และการสร้างแบบจำลอง เพื่อลดข้อผิดพลาดของอุปกรณ์ด้วยแผนภาพต้นไม้ (FTA) เป็นวิธีการวิเคราะห์ปัญหาจากด้านบนลงไปสู่สาเหตุของปัญหา FTA จะเป็นตัวช่วยในการแสดงปัญหาในระบบที่ซับซ้อน เป็นวิธีการที่ใช้รวบรวมความผิดพลาดต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุให้เกิดปัญหา ซึ่งจะแสดงเป็นส่วนหนึ่งของระบบที่เกี่ยวข้องกับความผิดพลาด ผลลัพธ์ของ FTA จะเป็นแผนภาพที่รวบรวมเหตุการณ์ที่ทำให้ระบบเกิดความผิดพลาด สามารถใช้เป็นเอกสารที่ใช้แสดงการทำงานของระบบภายใต้ความผิดพลาดต่าง ๆ และเป็นเอกสารที่มีความจำเป็นในการแสดงรายละเอียดความเชื่อมั่นและการวิเคราะห์ในระบบ

ระบบสำรอง (Redundant System) เป็นการออกแบบระบบเพื่อลดความเสี่ยงในการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ เป็นการเพิ่มความพร้อมใช้งาน และความน่าเชื่อถือของระบบ โดยอุปกรณ์สามารถทำงานแทนกันได้กรณีที่ตัวใดตัวหนึ่งได้รับความเสียหาย

ระบบ k-out-of-n หมายถึง ถ้ามีชิ้นส่วน k ชิ้นส่วน (จาก n ชิ้นส่วน) สามารถทำงานได้ ระบบก็จะทำงานได้ทันที โครงสร้าง k-out-of-n คือการกำหนดค่าชุดทำงานสำรองที่สำคัญที่สุด ในระบบความผิดพลาดอุตสาหกรรม ระบบสำรองเหล่านี้จะได้รับผลกระทบบางครั้งจากการกัดกร่อน การปนเปื้อน หรือปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น สภาพอากาศ สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า และสภาพความร้อน ในสถานการณ์จริง อุปกรณ์สองตัว หรือมากกว่าที่ใช้ในระบบ k-out-of-n อาจล้มเหลวเนื่องจากสาเหตุ

เดียวกัน ทำให้ความน่าเชื่อถือที่ทำได้ในทางทฤษฎีของระบบเหล่านี้อาจลดลง รูปแบบ k-out-of-n เป็นรูปแบบที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางของชุดทำงานสำรอง ในระบบการป้องกันความผิดพลาดในการทำงาน ที่อยู่ในสถานะของความผิดพลาด รูปแบบนี้ประกอบด้วยส่วนประกอบ n ซึ่งมีเพียง k การทำงาน เพื่อความสำเร็จของระบบ

ความผิดพลาดร่วม (Common Cause Failure: CCF) เป็นค่าที่ใช้แสดงค่าความผิดพลาดร่วมกันของอุปกรณ์ ส่วนประกอบ หรือระบบที่มีมากกว่าหนึ่งชุด ซึ่งทำงานในหน้าที่เดียวกันหรือทำงานร่วมกัน เช่น ระบบนิรภัยที่มีส่วนทำงานสำรอง สามารถเป็นเหตุให้เกิดความผิดพลาดหลาย ๆ รูปแบบในส่วนระบบสำรองเหล่านั้น ดังนั้นส่วนประกอบหรือชิ้นส่วนที่คล้ายคลึงกันบางส่วนหรือทั้งหมดในส่วนระบบสำรองจะถูกผลกระทบจากความผิดพลาดเหล่านี้ในเวลาเดียวกัน เนื่องจากในการติดตั้งส่วนใหญ่อุปกรณ์หลักและอุปกรณ์สำรองจะถูกติดตั้งในสภาพแวดล้อมเดียวกันหรือในตู้เดียวกัน

เทคนิคการปรับปรุงรูปแบบการซ่อม และการเปลี่ยนอุปกรณ์เพื่อลดความล้มเหลวร่วม (Common Cause Failure) ก็มี 3 วิธี คือ 1. การลดความเค้นของอุปกรณ์ร่วมกัน 2. การนำอุปกรณ์มาใช้อย่างหลากหลาย 3. การออกแบบระบบหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง

แผนงานการตรวจสอบและบำรุงรักษาโรงไฟฟ้า การกำหนดงานบำรุงรักษาจากจากคู่มือ (Manual) ของเครื่องจักรและอุปกรณ์ โดยใช้ Software ในการตั้งค่าช่วงความเหมาะสมในการทำงานบำรุงรักษาเชิงป้องกัน เรียกว่า Preventive Maintenance (PM) และเป็นเครื่องมือในการแจ้งซ่อมเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ได้รับความเสียหาย ที่เรียกว่า Corrective Maintenance (CM) และใช้โปรแกรมเป็นเครื่องมือในการค้นหาอะไหล่ (Spare Part) ในงานซ่อมและงานบำรุงรักษา การจัดการทรัพย์สินคงคลัง (Inventory Management)

แผนงานการตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องจักร การกำหนดงานตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องจักร ซึ่งเป็นเครื่องจักรหลักที่มีความสำคัญในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยพิจารณาจากชั่วโมงการเดินเครื่อง (Number of Operating Hours) ร่วมกับจำนวนของการเกิดเหตุการณ์ (Number of Events Taking Place During the Operation) เช่น การเริ่มเดินของเครื่องจักร (Starts) การหยุดเดินเครื่องจักรแบบทันทีทันใด (Trips) และ การปลดโหลดออกจากระบบ Load Rejections เป็นต้น โดยผ่านเครื่องมือที่เรียกว่า ODC (Operating Data Counter Linear + Elliptical) การกำหนดแผนการตรวจสอบ (Inspection Plan) ในการบำรุงรักษาเครื่องจักรหลัก ที่มีความสำคัญในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้ากำหนดเป็น A-Inspection หรือ B-Inspection เรียกว่า Minor Overhaul หรือ Visual Inspection และ C-Inspection เรียกว่า Major Overhaul หรือ Hot-Gas-Path Inspection

บทที่ 3 การปรับปรุงการบำรุงรักษาแบบตรวจสอบที่นำเสนอ การปรับปรุงเครื่องจักรและอุปกรณ์ในโรงไฟฟ้าแบ่งเป็น 2 รูปแบบ โดยรูปแบบที่ 1 เป็นการปรับปรุงรูปแบบการซ่อมของอุปกรณ์ 2 ชนิด คือ

Air Purge Valve และ Transformer Isolated Amplifier รูปแบบที่ 2 การปรับปรุงโดยการเปลี่ยน เซนเซอร์แบบฮอลล์ (Hall Effect Sensor) ของอุปกรณ์ตรวจจับกระแสของเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC) โดยทั้ง 2 รูปแบบได้ศึกษาหลักการทำงาน วิธีการแก้ไข แผนงานบำรุงรักษา ของ Air Purge Valve และการ์ดขยายสัญญาณรุ่น EG4-RLK และ PLC Excitation และใช้ FMEA เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นที่มีผลให้เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ทำงานไม่สำเร็จ จากนั้นทำการปรับปรุงอุปกรณ์แต่ละชนิด ทำการทดสอบหลังจากปรับปรุง เก็บข้อมูล นำเข้าใช้งานในสภาวะจริง นำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับรูปแบบงานบำรุงรักษาแบบเดิม

บทที่ 4 แบบจำลองความน่าเชื่อถือโดย FTA ของเทคนิคที่นำเสนอ รูปแบบที่ 1 การปรับปรุงความล้มเหลวของระบบผลิตไฟฟ้า ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันก๊าซเมื่อมีการสลับเชื้อเพลิง การสร้างแบบจำลองของระบบ FSWO&FSWB โดยวิธี FTA สามารถจำแนกเป็น Electrical System Failure, Control& Instrument System Failure, Mechanical System Failure, Operation Failure เป็นต้น รูปแบบที่ 2 การปรับปรุงการลดความผิดพลาดของอุปกรณ์ของระบบผลิตไฟฟ้า การสร้างแบบจำลองของความผิดพลาดร่วมระบบ Excitation โดยวิธี FTA สามารถจำแนกเป็น Excitation Transformer, Thyristor, PLC Excitation, Conduction Monitoring Sensor, Excitation Control, Air condition เป็นต้น การนำข้อมูลทางสถิติที่เคยเกิดเหตุการณ์และความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์จะทำงานผิดพลาดมา จำแนกในแต่ละหัวข้อของ FTA สามารถที่จะช่วยประเมินงานซ่อมบำรุงในอนาคตได้ นอกจากนั้นสามารถ กำหนดการวางแผนในการเปลี่ยนอุปกรณ์เพื่อลดการทำงานผิดพลาดของระบบ การกำหนดระยะเวลาในการสำรองอะไหล่ (Spare Part) ลดความเสี่ยงในการขาดแคลนอะไหล่สำรอง ลดการเก็บอะไหล่ที่ไม่จำเป็น และต้นทุนในการสำรองอะไหล่ที่ยังไม่ใช้งาน

บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน จากการศึกษาพบว่ามี 3 กรณีที่ทำให้ Air Purge Valve และ Transformer Isolated Amplifier ทำงานผิดพลาด

1. Ball valve เป็นสนิม จากการ Condensate ซึ่งระบบของ Air Purge Valve ที่ติดตั้งอยู่ในปัจจุบันมีระดับที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับวาล์วประเภทอื่น ทำให้เมื่อเกิดการ Condensate จึงมีน้ำเข้าไปในตัววาล์ว

2. การเลือกใช้วัสดุ (Material) ไม่เหมาะสมกับการใช้งาน จากปัญหานี้พบว่าการเปลี่ยนปะเก็น (Gasket) ที่เป็นวัสดุ Graphite + PTFE โดยอุณหภูมิของวัสดุที่สามารถทนความร้อนของ 2 ชนิดนี้แตกต่างกัน วัสดุที่เป็น Graphite สามารถทนต่ออุณหภูมิความร้อนได้ 1,078 องศาเซลเซียส และ FTFE สามารถทนต่ออุณหภูมิความร้อนได้ 260 องศาเซลเซียส ทำให้ปะเก็น PTFE ละลาย เกิดเป็นช่องว่าง (Gap) ที่หน้า Flange

3. Transformer Isolated Amplifier เสีย อุปกรณ์ส่วนใหญ่เป็นอิเล็กทรอนิกส์เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลาเวลานาน อุปกรณ์เหล่านี้ที่เป็น part ต่าง ๆ บน Electronics Cards ก็จะทำานผิดพลาด ซึ่งอายุของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มักมีอายุการใช้งานประมาณ 25,000 ชั่วโมง หรือประมาณ 3 ปี

จากการปรับปรุงรูปแบบการซ่อมของอุปกรณ์ 2 ชนิดในรูปแบบที่ 1 คือ Air Purge Valve และ Transformer Isolated Amplifier ในรูปแบบ 2003 จากผลของการทดสอบการสลับเชื้อเพลิงของกังหันก๊าซ พบว่า การบำรุงรักษาที่นำเสนอช่วยเพิ่มอัตราผลสำเร็จในการสลับเชื้อเพลิง จาก 55% ในปี พ.ศ. 2559 เป็น 75% ในปี พ.ศ. 2560 การกำหนดการทดสอบ Air Purge Valve ทุกวัน สามารถลดความเสี่ยงในการทำงานผิดพลาดของวาล์วช่วงที่เดินเครื่องปกติ เนื่องจากการทดสอบก่อนช่วยให้พบปัญหาและสามารถแก้ไขได้ทันท่วงที ลดการสูญเสียค่าปรับจากการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์จนทำให้ระบบหยุดการทำงาน (Shutdown) และเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของระบบให้กับโรงไฟฟ้าสามารถตอบสนองการสั่งการจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้ (EGAT) และสำหรับรูปแบบที่ 2 การปรับปรุงการเปลี่ยนอุปกรณ์ของเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ ในรูปแบบ 1002 ช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบตั้งแต่ปรับปรุงโครงการเป็นระยะเวลา 2 ปี ซึ่งผลของการปรับปรุงเซนเซอร์ตรวจจับกระแสแบบฮอลล์ ตั้งแต่ พ.ศ. 2559-2561 ยังไม่พบความล้มเหลวของอุปกรณ์ขณะที่โรงไฟฟ้าเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า

บทที่ 2

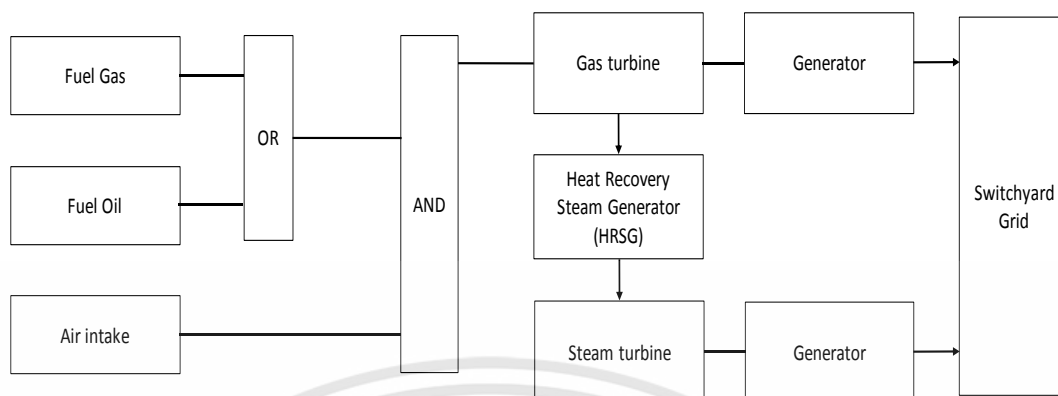
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าเอกชนขนาดใหญ่รายหนึ่ง ที่มีกำลังผลิตติดตั้งที่ 1,468 MW โดยทำการปรับปรุงเกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์และเครื่องจักรที่ทำงานผิดพลาด จนทำให้ระบบหยุดทำงาน ส่งผลกระทบต่อสภาพความพร้อมการใช้งาน และความน่าเชื่อถือ ของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของประเทศ ทั้งนี้ยังส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือในการเดินเครื่อง และรายได้หลักของโรงไฟฟ้า จากสถิติข้อมูลของอุปกรณ์และเครื่องจักรที่ทำงานผิดพลาด (Equipment Failure) สามารถนำมาวิเคราะห์โดยใช้ FMEA และ FTA เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของอุปกรณ์ที่มีผลให้ทำงานไม่สำเร็จ และสามารถนำมาใช้ปรับปรุงในงานซ่อมบำรุงแบบเดิม ที่เรียกว่า Inspection Plan หรือ IP โดยมี 3 วิธี คือ 1. การลดความเค้นของอุปกรณ์ร่วมกัน (Reduce Common Stress: RS) 2. การนำอุปกรณ์มาใช้อย่างหลากหลาย (Apply Diversity: AD) 3. การออกแบบระบบหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง (Ruggedize the Design for High Strength: HS) เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือของระบบ ลดความผิดพลาดรวมของอุปกรณ์ และลดการสูญเสียรายได้หลักของโรงไฟฟ้า

2.2 การวิเคราะห์ความล้มเหลวของโรงไฟฟ้าที่เป็นกรณีศึกษา

จากการศึกษาเหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า ที่มีผลทำให้ทางโรงไฟฟ้าสูญเสียรายได้จากการขายไฟฟ้า (Energy Payment) และค่าความพร้อมการเดินเครื่อง (Availability Payment) โดยการรวบรวมข้อมูลของอุปกรณ์และเครื่องจักรที่ทำงานผิดพลาด ที่เกิดขึ้นในโรงไฟฟ้า ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2550 - 2558 [1]และพบว่าในช่วง ปี พ.ศ. 2556 - 2558 โรงไฟฟ้ามีความล้มเหลวในการเดินเครื่องจากการสั่งการของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยมากที่สุด จาก 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 การสั่งการให้เปลี่ยนเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันก๊าซ โดยการเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากเชื้อเพลิงหลักด้วยก๊าซธรรมชาติ เป็นเชื้อเพลิงสำรองด้วยน้ำมันดีเซล เรียกว่า Fuel Switch Over เรียกย่อๆ ว่า FSWO และการเปลี่ยนเชื้อเพลิงสำรองด้วยน้ำมันดีเซลกลับเป็นเชื้อเพลิงหลักด้วยก๊าซธรรมชาติตามเดิม เรียกว่า Fuel Switch Back เรียกย่อ ๆ ว่า FSWB



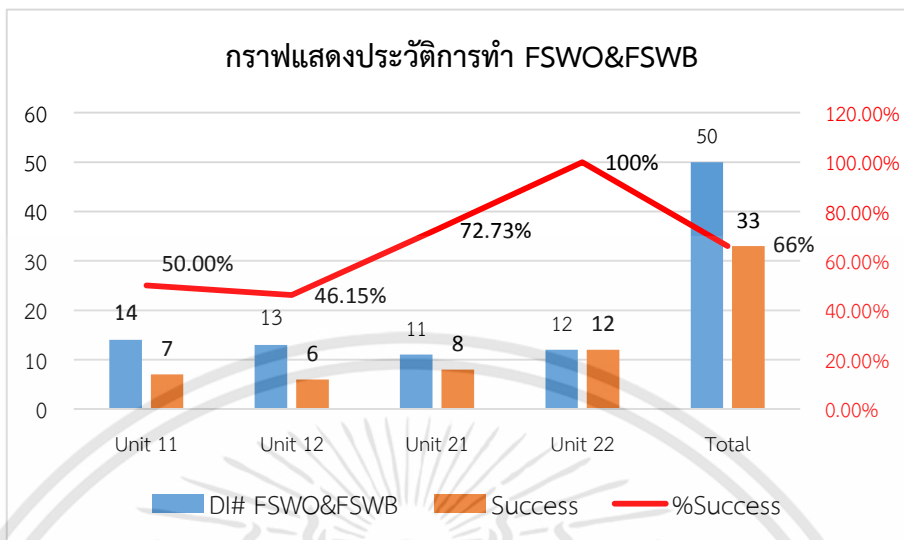
รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรม Fuel Oil and Fuel Gas ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันก๊าซ

และกรณีที่ 2 ความผิดพลาดของอุปกรณ์ของระบบผลิตไฟฟ้า ที่ทำหน้าที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับ Rotor ของ Generator เรียกว่า Excitation System

จากกรณีที่ 1 ข้อมูลการทำ FSWO&FSWB ของโรงไฟฟ้า ในช่วงปี พ.ศ. 2550 – 2558 จำนวนการสั่งการจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จำนวน 50 ครั้ง ประสบผลสำเร็จ 33 ครั้ง ไม่ประสบผลสำเร็จ 17 ครั้ง

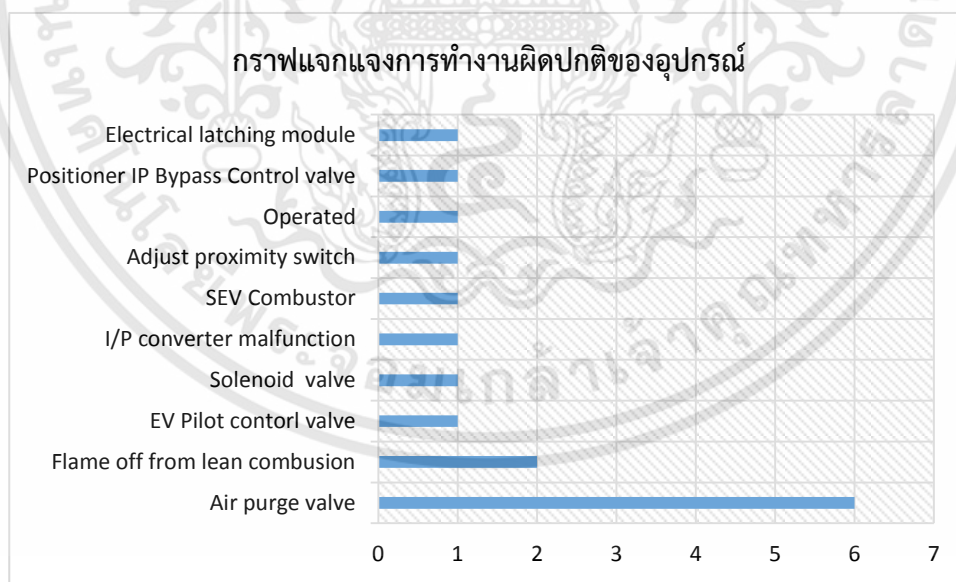
ตารางที่ 2.1 ข้อมูลการทำ FSWO&FSWB ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันก๊าซ (ปี พ.ศ. 2550-2558)

เครื่องกังหันก๊าซ	จำนวนการสั่งการ(ครั้ง)	ทำงานสำเร็จ(ครั้ง)	ทำงานสำเร็จ(%)
หน่วยที่ 11	14	7	50.00%
หน่วยที่ 12	13	6	46.15%
หน่วยที่ 21	11	8	72.73%
หน่วยที่ 22	12	12	100%
รวม	50	33	66%



รูปที่ 2.2 กราฟประวัติการสั่งการของ Fuel Switch Over and Fuel Switch Back (FSWO&FSWB)

แจกแจงสาเหตุการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ ที่มีผลทำให้ระบบไม่สามารถทำงานได้สำเร็จจากเงื่อนไขของการทำ FSWO&FSWB ดังนี้



รูปที่ 2.3 กราฟการแจกแจงของอุปกรณ์ที่ทำงานผิดพลาดจากการทำ FSWO&FSWB

จากกรณีที่ 2 ความผิดปกติของอุปกรณ์ของระบบผลิตไฟฟ้า Excitation System จากสถิติของข้อมูลที่อุปกรณ์ทำงานผิดพลาด สามารถจำแนกได้ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สาเหตุความผิดปกติของอุปกรณ์ของระบบ Excitation System

วัน เดือน ปี	หมายเลขงานซ่อม	รหัสอุปกรณ์	ลักษณะความผิดพลาด
8 เมษายน 2560	WO-1834233	21-22MKB40	เครื่องปรับกระแสสลับให้เป็นกระแสตรง (Rectifier) ชุดที่ 1 เกิดทำงานผิดพลาด โดยอุปกรณ์ตรวจจับกระแส (Conduction Monitoring Sensor) ภายในไม่ทำงาน
1 กุมภาพันธ์ 2560	WO-1815929	21-11CUA	การแจ้งซ่อมผิดพลาด เนื่องจากไม่ทราบวิธีใช้งานปุ่มกดบนจอแสดงผล
25 ธันวาคม 2559	WO-1806587	21-11CUA	หม้อแปลงไฟฟ้าสำหรับใช้งานของระบบแสงสว่างและขดลวดให้ความร้อน (Heater) เสีย
3 ตุลาคม 2559	WO-1787646	21-12MKB43CP001	แผ่นกรอง (Filter) สกปรกจากผงแปร่งถ่าน (> max1 alarm)
20 กันยายน 2559	WO-1785450	21-28CUA	อุปกรณ์ตรวจจับกระแส (Conduction Monitoring Sensor) ภายในไม่ทำงาน
3 สิงหาคม 2559	WO-1774396	21-12MKB43CP001	แผ่นกรอง (Filter) สกปรกจากผงแปร่งถ่าน (> max1 alarm)
9 มิถุนายน 2559	WO-1763697	21-18MKB30	ระบบ Excitation Circuit Breaker มีปัญหาไม่สามารถ “Closed” ในครั้งแรก ต้องมีการ Reset หลายครั้ง
23 กุมภาพันธ์ 2559	WO-1736773	21-12MKB43CP001	แผ่นกรอง (Filter) สกปรกจากผงแปร่งถ่าน (> max1 alarm)

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

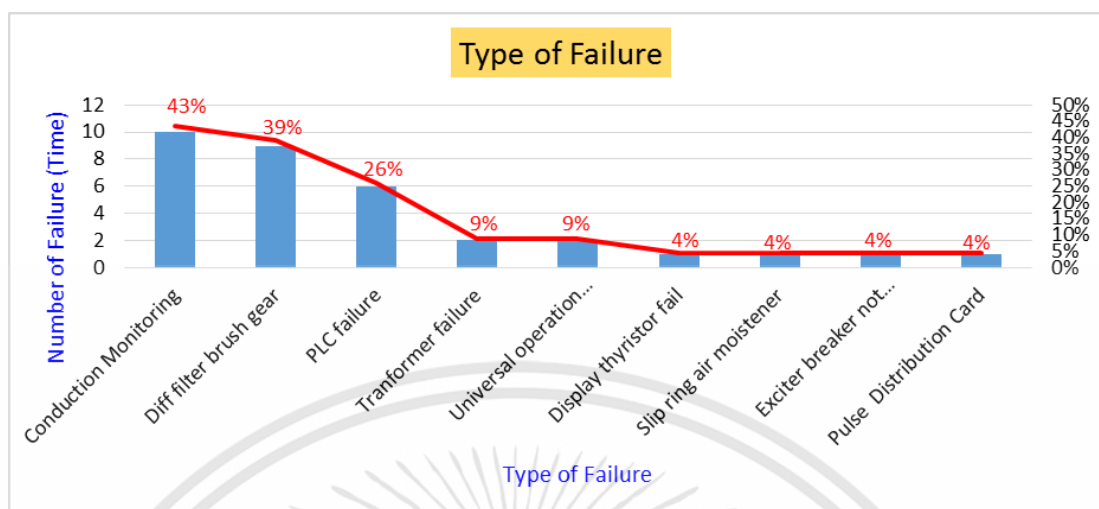
วัน เดือน ปี	หมายเลขงานซ่อม	รหัสอุปกรณ์	ลักษณะความผิดปกติ
16 ธันวาคม 2558	WO-1721761	21-12MKB43CP001	แผ่นกรอง (Filter) สกปรก จากผงแปร่งถ่าน (> max1 alarm)
2 กันยายน 2558	WO-1698548	21-11MKB40	จอแสดงผลไม่สามารถอ่านค่า ได้ เนื่องจากตัวอักษรไม่ ชัดเจน
23 สิงหาคม 2558	WO-1696733	21-28MKB30	เครื่องปรับกระแสสลับให้เป็น กระแสตรง (Rectifier) ชุดที่ 4 เกิดทำงานผิดพลาด โดย อุปกรณ์ตรวจจับกระแส (Conduction Monitoring Sensor) ภายในไม่ทำงาน
17 สิงหาคม 2558	WO-1694973	21-12MKB40	PLC Excitation ชุดที่ 2 หยุด ทำงานจาก CPU Cards
12 กรกฎาคม 2558	WO-1687072	21-12MKB43CP001	แผ่นกรอง (Filter) สกปรก จากผงแปร่งถ่าน (> max1 alarm)
13 มิถุนายน 2558	WO-1680208	21-21MKB43CP001	แผ่นกรอง (Filter) สกปรก จากผงแปร่งถ่าน (> max1 alarm)
8 พฤษภาคม 2558	WO-1671060	21-28MKB43CP001	แผ่นกรอง (Filter) สกปรก จากผงแปร่งถ่าน (> max1 alarm)
3 กุมภาพันธ์ 2558	WO-1651045	21-18MKB43AH001	มีน้ำรั่วจากควาล์วของ Slip ring air moistener
13 มกราคม 2558	WO-1647314	21-18MKB43CP001	แผ่นกรอง (Filter) สกปรก จากผงแปร่งถ่าน (> max1 alarm)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 (ต่อ)

วัน เดือน ปี	หมายเลขงานซ่อม	รหัสอุปกรณ์	ลักษณะความผิดปกติ
13 มกราคม 2558	WO-1647314	21-18MKB43CP001	แผ่นกรอง (Filter) สกปรกจากผง แปรงถ่าน (> max1 alarm)
21 กรกฎาคม 2557	WO-1606337	21-21/22CUA	GT21&22 PLC ของระบบ Excitation หยุดการทำงาน เนื่องจากระบบปรับอากาศเสีย ความร้อนภายในห้องทำให้ PLC หยุดทำงาน
23 มิถุนายน 2557	-	21-11CUA	หน่วยการผลิตที่ 11 หยุดทำงาน (Tripped) เนื่องจากระบบ PLC Excitation ไม่ทำงานทั้ง 2 ชุด (จากเครื่องปรับอากาศเสีย)
30 ธันวาคม 2556	-	21-12CUA	PLC Excitation ชุดที่ 1 หยุด ทำงานจาก CPU Cards
15 กุมภาพันธ์ 2555	-	21-21CUA	จอแสดงการทำงานของไทริ สเตอร์ (Thyristor) เสีย
2 กุมภาพันธ์ 2554	-	21-28CUA	PLC Excitation ชุดที่ 1 หยุด ทำงาน จาก CPU Cards
8 กันยายน 2552	-	21-18CUA	เครื่องปรับกระแสสลับให้เป็น กระแสตรง (Rectifier) ชุดที่ 1 ทำงานผิดพลาด โดยอุปกรณ์ นำกระแส(Conduction Monitoring Sensor)ไม่ทำงาน

การทำงานผิดพลาด หรืออุปกรณ์ทำงานผิดปกติของระบบ Excitation ที่มีผลทำให้กระบวนการผลิตไฟฟ้าหยุดทำงาน (Trip) และเป็นสัญญาณแจ้งเตือน (Alarm) การทำงานผิดปกติของอุปกรณ์บางชนิดที่มีผลต่อการทำงานหลักของระบบ Excitation ได้แก่ Diff Filter Brush Gear, Transformer Failure, Universal Operation Panel เป็นต้น



รูปที่ 2.4 กราฟการแจกแจงของอุปกรณ์ที่ทำงานผิดปกติของระบบ Excitation

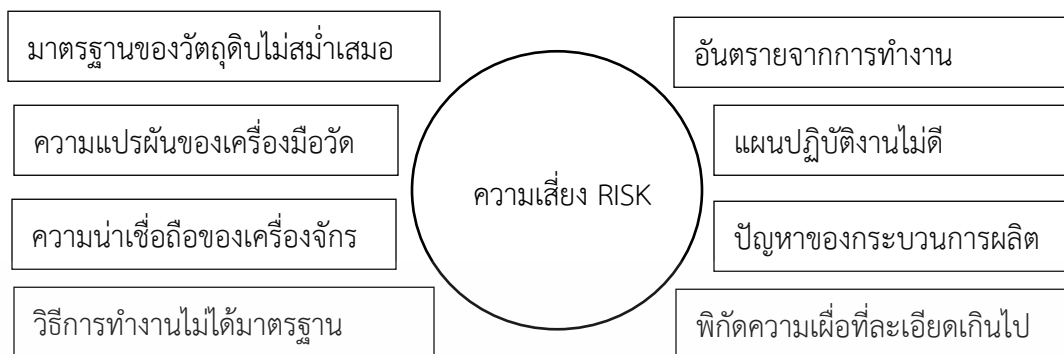
2.3 การวิเคราะห์สาเหตุและโหมดความล้มเหลวและผลกระทบที่เกิดขึ้นกับเครื่องจักร (Failure Modes and Effects Analysis for Machine)

2.3.1 FMEA คืออะไร

FMEA ย่อมาจากคำว่า Failure Mode and Effect Analysis ซึ่งถ้าจะแปลให้มีความหมายที่เข้าใจได้ง่ายแปลว่า " การวิเคราะห์อาการที่ผิดปกติและผลกระทบที่ตามมา" [4] โดยที่วิธีการ FMEA เป็นวิธีการแก้ปัญหาย่างเป็นระบบ (Systematic Method) เพราะวิธีการ FMEA จะมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ถึงรากที่แท้จริงของสาเหตุ (Root Cause) ความถี่ในการเกิดของสาเหตุเหล่านั้น และโอกาสที่จะพบเจอสาเหตุเหล่านั้นรวมทั้งมีลำดับขั้นตอนที่ชัดเจน ดังนั้นผู้วิเคราะห์จะต้องทำตามขั้นตอนจึงจะได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ ในปัจจุบันนี้หลายๆบริษัทได้นำหลักการ FMEA ไปใช้ในการปรับปรุงวิธีการทำงาน ตั้งแต่ การออกแบบ การผลิต และการบริการ เป็นต้น

FMEA ช่วยในการชี้ให้เห็นถึงปัญหา (Identification) และการป้องกันปัญหาที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (Potential Problems) โดยยกตัวอย่างอาการที่ผิดปกติ (Failure Modes) ที่จะเกิดขึ้นในระบบงานขึ้นมาพิจารณาและทำการวิเคราะห์อย่างเป็นขั้นตอน เพื่อศึกษาแนวทางในการลดค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดปัญหาให้น้อยลง โดยที่ปัญหาหรือความเสี่ยงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นนั้น อาจจะมีสาเหตุได้มากมายดังรูปที่

2.5



รูปที่ 2.5 สาเหตุของความเสี่ยงในการทำงาน

หลักการ FMEA [4] ได้ถูกพัฒนาโดยหน่วยงานอากาศยานทางทหารของสหรัฐอเมริกา (ได้แก่ กองทัพอากาศ กองทัพเรือองค์การ NASA) ตั้งแต่ทศวรรษที่ 60 (ระหว่าง ค.ศ. 1960 - 1970) จากนั้นได้มีการประยุกต์วิธีการ FMEA ไปยังบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ชั้นนำของสหรัฐอเมริกาและของโลก ได้แก่ Ford GM และ Chrysler หรือที่รู้จักกันว่า BIG THREE (Big 3) โดยเป็นข้อกำหนดที่สำคัญของระบบ QS - 9000 และในปัจจุบันวิธีการ FMEA ก็ได้กลายมาเป็นข้อกำหนดพื้นฐานของอุตสาหกรรมยานยนต์ที่ผู้ผลิตรถยนต์ทุกค่าย ทุกยี่ห้อ หรือ แม้แต่ผู้ผลิตชิ้นส่วนประกอบต่างๆ ต้องปฏิบัติตาม ภายใต้ระบบคุณภาพ TS - 16949 ที่เป็นที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย

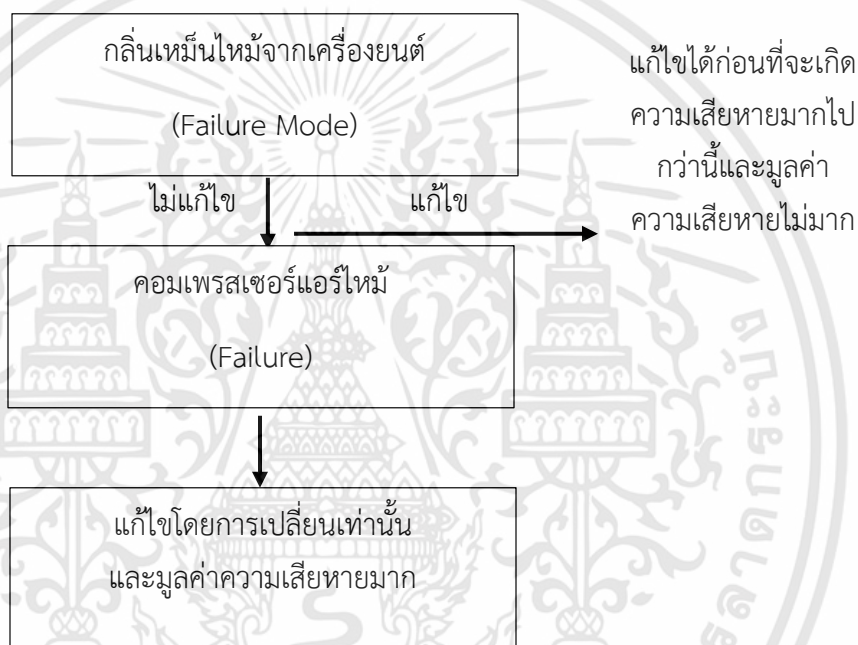
FMEA จะมุ่งเน้นที่การชี้ให้เห็นถึงคุณลักษณะของความเสียหาย หรือสาเหตุที่จะนำไปสู่ความเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้น (Potential Failure Mode) อันเนื่องมาจากการออกแบบ การผลิต หรือการบริการ จากนั้นจึงจะวิเคราะห์ผลกระทบของความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (Effects Analysis) และสุดท้ายก็เพื่อนำไปสู่การหาวิธีป้องกันการเกิดความเสียหายที่คาดว่าจะเกิดขึ้น (Problems Prevention) FMEA สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภทดังนี้

1. Design FMEA (DFMEA) คือการปรับปรุงการออกแบบโดยวิธีการ FMEA
2. Process FMEA (PFMEA) คือการปรับปรุงการผลิตโดยวิธีการ FMEA
3. Service FMEA (SFMEA) คือการปรับปรุงการบริการโดยวิธี FMEA

2.3.2 คำจำกัดความของ FMEA

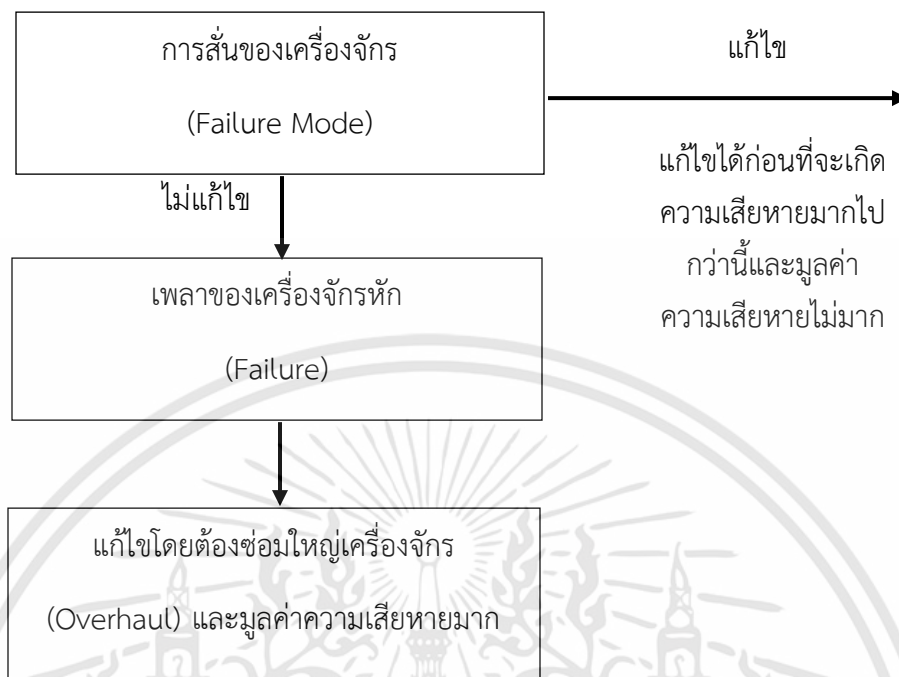
ความเสียหาย (Failure) หมายถึง ผลิตภัณ์กระบวนการผลิตหรือการบริการที่ไม่สามารถทำงานได้ตามหน้าที่ที่กำหนดไว้ อาการที่ผิดปกติ (Failure Mode) หมายถึง สภาวะการณ์หรืออาการที่อาจจะก่อให้เกิดความเสียหายที่ตามมา (Failure) ซึ่งอาการผิดปกติส่วนใหญ่แล้วจะเป็นคุณลักษณะทางกายภาพ (Physical Characteristics) ได้แก่ ความร้อน กลิ่นไหม้ การบิดเบี้ยว การร้าว รอยร้าว เป็นต้น สามารถ

สังเกตได้โดยการใช้ประสาทสัมผัส เช่น สายตา (รั้ว สีเพี้ยน รอยร้าว) หู (การสั่น) การสัมผัส (ความร้อน) และการได้กลิ่นผิดปกติ (กลิ่นไหม้) ถ้าอาการเหล่านี้ (symptoms) ไม่ได้รับการแก้ไขจะส่งผลกระทบต่อชิ้นส่วนหรือระบบอื่นๆ ทำให้เกิดการขัดข้องหรือเสียหายได้ในที่สุด เช่น ผู้ใช้รถยนต์ได้กลิ่นไหม้ (Failure Mode) ออกมาจากเครื่องยนต์ที่ฝากระโปรงหน้า แต่ไม่ใส่ใจที่จะนำรถยนต์ไปตรวจสภาพและยังคงใช้งานต่อไปจากปัญหาที่อาจจะเป็นเพียงเล็กน้อยและสามารถแก้ไขได้ ก็จะกลายเป็นปัญหาที่รุนแรงและแก้ไขไม่ได้ (Failure) เช่น อาจพบว่าคอมเพรสเซอร์เครื่องปรับอากาศไหม้ หรือพัดลมระบายความร้อนไม่ทำงาน [4] ซึ่งสามารถแสดงได้ด้วยรูปที่ 2.6 และ 2.7



รูปที่ 2.6 การสังเกตอาการที่ผิดปกติเพื่อนำไปสู่การลดความเสียหายของรถยนต์

หรืออีกตัวอย่าง คือพนักงานควบคุมเครื่องจักรได้ยินอาการสั่นผิดปกติของเครื่องจักร (Failure Mode) แต่ไม่ได้แจ้งให้กับพนักงานบำรุงรักษาทราบ และยังคงปล่อยให้เครื่องจักรทำงานไปจนกระทั่งในที่สุดพบว่าเพลลาของเครื่องจักรแตกหัก และไม่สามารถทำงานต่อไปได้ (Breakdown)



รูปที่ 2.7 การสังเกตอาการผิดปกติเพื่อนำไปสู่การลดความเสียหายของเครื่องจักร

จากตัวอย่างทั้ง 2 กรณีจะพบว่าหากผู้ใช้รถยนต์และพนักงานควบคุมเครื่องจักรรีบดำเนินการแก้ไขตั้งแต่ในขั้นตอนของ Failure Mode คือแก้ไขที่สาเหตุของการเกิดอาการผิดปกติ ความเสียหาย (Failure) ที่อาจจะเกิดตามมาก็จะลดระดับความรุนแรงลงไป ดังสุภาษิตไทยที่ว่า "เสียหน่อยเสียยาก เสียมากเสียง่าย" ตัวอย่างที่เกี่ยวกับ FMEA ที่หลายคนเห็นกันอยู่ทุกๆ วัน และสามารถเข้าใจได้ง่ายๆ ก็คือ [4] การใช้ FMEA กับรถยนต์ โดยที่บริเวณแผงคอนโซล (Console) ของรถยนต์จะมีสัญญาณเตือนอาการที่ผิดปกติที่จะเกิดขึ้นในขณะที่ขับซึ่งรถยนต์ เช่น จะปรากฏสัญญาณไฟรูปประตูถ้ามีการเปิดประตู (ประตูใดประตูหนึ่ง) ไม่สนิท หรือ ปรากฏสัญญาณไฟรูปคนคาดเข็มขัดนิรภัย (Safety Belt) ถ้าหากผู้ขับขี่ลืมคาดเข็มขัด ซึ่งหลักการแบบนี้ก็คือการใช้สัญญาณไฟรูปภาพเป็นการเตือนถึงอาการที่ผิดปกติ (Failure Mode) ที่ได้เกิดขึ้นแล้วและผู้ขับขี่สามารถสังเกตได้อย่างง่ายดาย ด้วยการมอง (Visual) เท่านั้น โดยไม่ต้องใช้เทคนิคอะไรที่ซับซ้อน เมื่อผู้ขับขี่รับรู้ถึงสิ่งผิดปกติที่เกิดขึ้นและทำการแก้ไขเสียก่อนที่จะออกรถ เช่น เช็คประตูทุกบานว่าปิดสนิทหรือไม่ หรือคาดเข็มขัดนิรภัยเรียบร้อยแล้ว ดังนั้นก็มั่นใจได้ว่าจะสามารถป้องกันอุบัติเหตุหรือความเสียหายต่างๆ (Failure) ที่อาจจะเกิดขึ้นได้

ผลกระทบจากความเสียหาย (Effect) หมายถึง ผลที่เกิดขึ้นเนื่องจากความเสียหาย และส่งผลโดยตรงต่อผลิตภัณฑ์ กระบวนการผลิต และ การบริการในที่สุด โดยทั่วไปแล้วมักจะยึดจาก "ผลกระทบที่

เกิดกับลูกค้าเป็นหลัก"ซึ่งอาจจะหมายถึงหน่วยงานที่รับผิดชอบถัดไปเช่น ฝ่ายผลิต ฝ่ายประกอบ ฝ่ายบริการ หรือแม้แต่ผู้ใช้งาน เป็นต้น

การวิเคราะห์ (Analysis) หมายถึง การหาทางป้องกันการเกิดความเสียหายขึ้นในอนาคต FMEA เป็นวิธีการที่จะนำมาใช้ในกรณีที่มีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ทดลองกระบวนการผลิตใหม่ หรือ ผลิตภัณฑ์ที่มีปัญหาและต้องการค้นหาสาเหตุที่แท้จริง

2.3.3 ขั้นตอนการวิเคราะห์สาเหตุปัญหาโดยหลักการ FMEA

1 กำหนดลำดับ (Item) เครื่องจักรหรืออุปกรณ์ เป็นการระบุหมายเลข เช่น 1,2,3,...,n เป็นต้น ขึ้นอยู่กับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้นเกิดเหตุการณ์ผิดปกติจำนวนกี่ครั้ง เป็นจำนวนการเกิดเหตุการณ์ผิดปกติที่นับได้

2 กำหนดรายชื่อ (Name) ของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ เป็นการระบุชื่อตามรายการเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่มีการลงทะเบียนเครื่องจักรไว้ตั้งแต่การจัดตั้งเครื่องจักร หรือฝั่งกระบวนการผลิต

3 ระบุรหัสเครื่องจักร (Code) ของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ เป็นการระบุตัวเลขรหัสของเครื่องจักรในกรณีที่เครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้น ๆ มีจำนวนมาก ป้องกันความสับสนในการหาสาเหตุและแนวทางการแก้ไข

4 ระบุฟังก์ชันการทำงาน (Function) เป็นการระบุฟังก์ชันการทำงานของเครื่องจักรเพื่อให้ทราบวัตถุประสงค์การทำงาน ระบบป้องกัน และผลที่จะเกิดขึ้นเมื่อเครื่องจักรไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ

5 กำหนดโหมด (Mode) เป็นการระบุโหมดการทำงานของเครื่องจักร เช่น วาล์วต้องการปิด แต่วาล์วไม่ปิด ให้ระบบโหมดเป็น “Fail to Close” เป็นต้น

6 กำหนดสาเหตุ (Cause) ของเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ที่เกิดผิดปกติ (Fail) เป็นการระบุสาเหตุของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ เป็นการหารากที่แท้จริงของปัญหา เพื่อป้องกันการเกิดซ้ำ

7 การระบุผลกระทบ (Effect) ที่เกิดขึ้นจากการ Failure ของเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ เป็นการอธิบายผลของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น มีสิ่งใดกระทบต่อระบบบ้าง เช่น เครื่องจักร A หยุดทำงาน เป็นต้น

8 การกำหนด (Criticality) เป็นการระบุหน้าที่การป้องกันเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ เมื่อเกิดวิกฤตตามที่มีการออกแบบไว้ เช่น Safe, Dangerous เป็นต้น

8.1 ความปลอดภัย (Safe) เป็นการระบุหน้าที่ของเอาต์พุตเพื่อป้องกันความเสียหายของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ โดยการสั่งให้ระบบนั้นหยุดการทำงานเมื่อมีสัญญาณอินพุตเข้ามา

8.2 อันตราย (Dangerous) เป็นการระบุหน้าที่ของเอาต์พุตเพื่อป้องกันผู้ปฏิบัติงานเกี่ยวกับเครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้น ๆ โดยการสั่งให้ระบบนั้นหยุดการทำงานเมื่อมีสัญญาณอินพุตเข้ามา

9 การคำนวณหาอัตราความผิดพลาด (Failure Rate) เป็นการคำนวณหาอัตราความผิดพลาดของอุปกรณ์ชนิดนั้น ๆ เพื่อสามารถนำข้อมูลมาพยากรณ์ในการวางแผนในงานซ่อมบำรุง การเปลี่ยนอะไหล่ก่อนที่จะอุปกรณ์นั้นจะทำงานผิดพลาด

10 การระบุวิธีแก้ไข (Remedy) เป็นการระบุวิธีการที่มีการซ่อมแซมเครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้น ๆ โดยการเปลี่ยน การปรับตั้ง หรือการปรับปรุงระบบเดิมเพื่อลดปัญหาการทำงานผิดพลาดของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์นั้น

ตารางที่ 2.3 รูปแบบของตาราง FMEA

Item	1	2	3
Name	Machine A	Machine B	Machine C
Code	11XXANXXX	12XXAAXXX	21XXAHXXX
Function	Function A	Function B	Function C
Mode	Fail to Open	Fail to Close	Fail to Close
Cause	Root Cause 1	Root Cause 2	Root Cause 3
Effect	Trip	Alarm	Trip
Criticality	Safe	Safe	Dangerous
Failure Rate	x.xxxxE-06	x.xxxxE-07	x.xxxxE-05
Remedy	Activity 1,2,..n	Activity 1,2,..n	Activity 1,2,..n

2.4 การวิเคราะห์ต้นไม้แห่งความผิดพลาด Fault Tree Analysis (FTA)

แผนภาพต้นไม้หรือฟลอททรี Fault Tree Analysis (FTA) [2] เป็นวิธีการวิเคราะห์ปัญหาจากด้านบนลงไปสู่สาเหตุของปัญหา FTA จะเป็นตัวช่วยในการแสดงปัญหาในระบบที่ซับซ้อน เป็นวิธีการที่ใช้รวบรวมความผิดพลาดต่างๆ ที่เป็นสาเหตุให้เกิดปัญหา ซึ่งจะแสดงเป็นส่วนหนึ่งของระบบที่เกี่ยวข้องกับความผิดพลาด ผลลัพธ์ของ FTA จะเป็นแผนภาพที่รวบรวมเหตุการณ์ที่ทำให้ระบบเกิดความผิดพลาด FTA หากมีการจัดทำอย่างถูกต้อง สามารถใช้เป็นเอกสารที่ใช้แสดงการทำงานของระบบภายใต้ความผิดพลาดต่างๆ และเป็นเอกสารที่มีความจำเป็นในการแสดงรายละเอียดความเชื่อมั่นและการวิเคราะห์ในระบบ

ขั้นตอนเริ่มต้นจะเป็นการแสดงปัญหา โดยจะต้องมีความเข้าใจในการทำงานของระบบและรู้ว่าระบบทำงานอย่างไร จากนั้นค้นหาปัญหาทั้งหมดที่จะเกิดขึ้น แล้วนำไปเขียนแผนภาพ FTA จากด้านบนลงสู่ด้านล่าง

2.4.1 ความหมายของสัญลักษณ์ต่าง ๆ

1 รูปวงกลม (Circle) สัญลักษณ์ตัวแทนของเหตุการณ์ที่เกิดจากความบกพร่องหรือไม่สมบูรณ์ของตัวมันเอง (Basic Fault Event) ไม่ต้องวิเคราะห์ต่อไปอีก เหตุการณ์อยู่ระดับต่ำสุด เช่น ดวงไฟสัญญาณไม่ทำงานเนื่องจากความเสื่อมสภาพของไส้หลอด

2 รูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนหรือรูปเพชร (Diamond) สัญลักษณ์ของเหตุการณ์ที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ที่อยู่ในตำแหน่งที่สูงกว่า เช่น เหตุการณ์ ข และ ค เป็นสาเหตุทำให้เกิดเหตุการณ์ ก เหตุการณ์จะไม่ถูกวิเคราะห์ต่อไปอีก อาจจะไม่มีความจำเป็นพอในการวิเคราะห์ขณะนั้นหรือเหตุการณ์นั้นไม่มีความสำคัญ อย่างไรก็ตามผู้วิเคราะห์ตั้งใจจะวิเคราะห์ต่อไปอีกถ้ามีข้อมูลเพิ่มเติม ตัวอย่างเหตุการณ์แบบนี้ เช่น ผู้ปฏิบัติงานไม่ได้ยินสัญญาณเตือนภัย

3 รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า (Rectangle) สัญลักษณ์ตัวแทนของเหตุการณ์ที่เป็นผลจากเหตุการณ์หรือสาเหตุต่างๆ ที่อยู่ใต้ช่องทางผ่าน (Gate) ของมัน เหตุการณ์ที่อยู่ในลักษณะนี้จะต้องทำการวิเคราะห์ต่อไปเสมอ

4 แอนด์เกต (And Gate) แทนให้เห็นว่าเหตุการณ์หนึ่งที่เกิดขึ้น (คือผล-Effect or Output) เป็นผลเนื่องมาจากทุกเหตุการณ์ (Input) ที่เกี่ยวข้องที่เขียนอยู่ใต้ช่องทางผ่านของเหตุการณ์นั้น เช่น เหตุการณ์ A จะเกิดขึ้นได้ต้องมีสาเหตุมาจากเหตุการณ์ B_1 B_2 และ B_n ซึ่งเกิดขึ้นพร้อมกัน แอนด์เกตนี้ใช้ตอบคำถามจำพวก เหตุการณ์อะไรบ้างที่ต้อง (Must) เกิดขึ้นจึงทำให้เกิดผลเช่นนี้

5 ออร์เกต (Or Gate) ใช้แทนเหตุการณ์หนึ่งที่จะเกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งก็ได้ อย่างน้อยหนึ่งเหตุการณ์ ใช้ตอบคำถามเหตุการณ์อะไรบ้างที่อาจเกิดขึ้นแล้วทำให้เกิดเหตุการณ์นี้

6 ทรานซ์เฟอร์เกต (Transfer Gate) ใช้แทนสัญลักษณ์หลีกเลี่ยงการวิเคราะห์ซ้ำ

7 อินฮิบิทเกต (Inhibit Gate) แทนการเกิดเหตุการณ์ที่เป็นผลกระทบ (Effect) นั้น ๆ จะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อมีเหตุการณ์ที่เป็นเงื่อนไข (Condition) หรือข้อจำกัด (Restriction) ที่เขียนอยู่ติดกับสัญลักษณ์นี้เกิดขึ้นมาด้วยควบคู่กับเหตุการณ์ที่เป็นตัวสาเหตุ (Input)

ตารางที่ 2.4 สัญลักษณ์ ชื่อ และความหมายของฟอลท์ทรี Fault Tree Analysis (FTA) [2]

สัญลักษณ์	ชื่อ	ความหมาย
	AND Gate: สาเหตุหลายสาเหตุ	เหตุการณ์จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุของเหตุการณ์ย่อยทุกตัว
	OR Gate: สาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง	เหตุการณ์จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งของสาเหตุย่อย
	Basic Event: เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นโดยปกติ	เหตุการณ์ย่อยที่เกิดขึ้นได้ตามปกติ ซึ่งหมายถึงสาเหตุที่เห็นได้ชัดเจนโดยไม่ต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไป
	Fault Tree Event: เหตุการณ์ย่อย	เหตุการณ์ย่อยที่ส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ต่อเนื่อง
	Undeveloped Event: เหตุการณ์ที่วิเคราะห์ต่อไปไม่ได้	เหตุการณ์ย่อยที่ไม่ต้องทำการวิเคราะห์หาสาเหตุต่อไป เนื่องจากไม่มีข้อมูลสนับสนุน
	External Event: เหตุการณ์ภายนอก	เหตุการณ์ภายนอกหรือปัจจัยภายนอกที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ต่างๆ

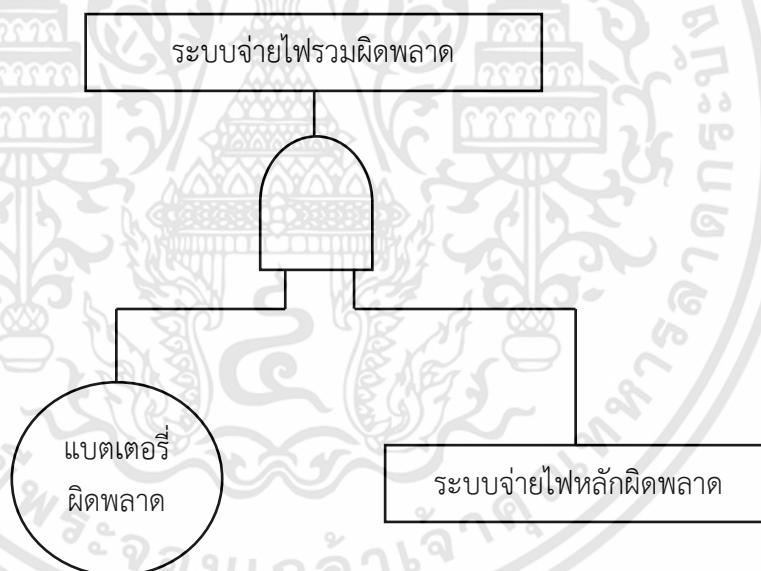
2.4.2 ลอจิก AND

เป็นลอจิกที่แสดงเหตุการณ์เอาต์พุต เมื่อเหตุการณ์ที่อินพุตทั้งหมดมีค่าเป็นจริง ถ้าให้เหตุการณ์อินพุตแต่ละเหตุการณ์เป็นอิสระต่อกัน ความน่าจะเป็นเกิดเหตุการณ์ A และเหตุการณ์ B จะแสดงได้ดังสมการที่ (2.1)

$$P(A \cap B) = P(A) * P(B) \quad (2.1)$$

ตัวอย่างที่ 2.1

จากแผนภาพ FTA ดังแสดงในรูปที่ 2.8 เมื่อค่าความน่าจะเป็นเกิดความผิดพลาดในระบบแบตเตอรี่สำรอง มีค่าเป็น 0.05 และความน่าจะเป็นเกิดความผิดพลาดในระบบการจ่ายไฟฟ้าหลักมีค่าเป็น 0.0001 จงหาค่าความผิดพลาดรวมของระบบ [1]



รูปที่ 2.8 แผนภาพ FTA ของระบบจ่ายไฟฟ้า

จากสมการที่ (2.1) จะได้ค่าความผิดพลาดรวมของระบบ = $0.05 * 0.0001 = 0.000005$

2.4.3 ลอจิก OR

เป็นลอจิกที่แสดงเหตุการณ์เอาต์พุต เมื่อเหตุการณ์ที่อินพุตใดอินพุตหนึ่งมีค่าเป็นจริง ถ้าให้เหตุการณ์อินพุตแต่ละเหตุการณ์เป็นอิสระต่อกัน ผลรวมของความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ A และ เหตุการณ์ B จะแสดงได้ดังสมการที่ (2.2)

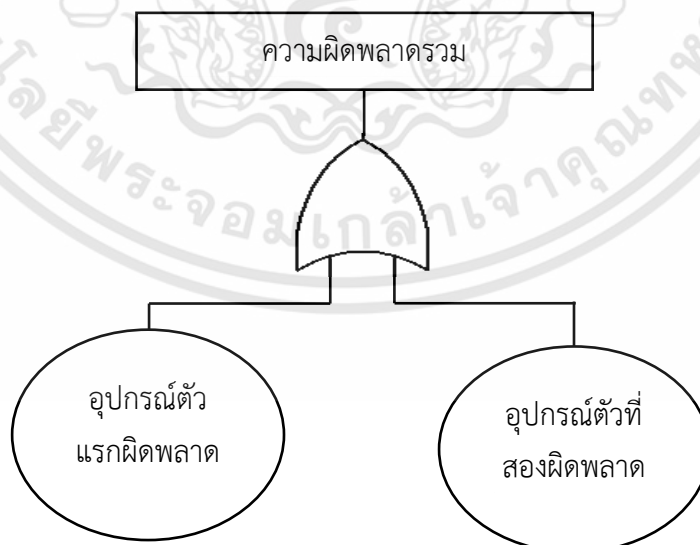
$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) \quad (2.2)$$

แต่ถ้าเหตุการณ์มีความสัมพันธ์กัน ผลรวมของความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ A และ เหตุการณ์ B จะแสดงได้ดังสมการที่ (2.3)

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad (2.3)$$

ตัวอย่างที่ 2.2

จากแผนภาพ FTA ดังแสดงในรูปที่ 2.9 เป็นการแสดงความพร้อมใช้งานหรือความผิดพลาดรวมของอุปกรณ์การวัดสองตัวที่ต่อเข้ากันกับ PLC และจะมีโปรแกรมตรวจสอบความพร้อมใช้งานโดยการเปรียบเทียบค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ทั้งสอง ถ้ามีค่าแตกต่างกันเกิน 2% ก็จะแสดงว่าเกิดความผิดพลาดในอุปกรณ์การวัด ถ้าให้อุปกรณ์การวัดมีค่าความผิดพลาดเป็น 0.01 จงหาค่าความผิดพลาดของระบบ [2]



รูปที่ 2.9 แผนภาพ FTA ความพร้อมใช้งานของอุปกรณ์การวัด

ถ้าการเกิดความผิดพลาดอุปกรณ์ตัวแรกไม่ได้มีส่วนในการป้องกันความผิดพลาดในอุปกรณ์ตัวที่สอง ดังนั้นเหตุการณ์ทั้งสองจึงไม่เป็นอิสระต่อกัน การหาค่าความผิดพลาดรวมจะใช้สมการที่ 2.3

$$\text{ความผิดพลาดรวม} = 0.01 + 0.01 - 0.01 * 0.01 = 0.0199$$

เพื่อความสะดวกในการนำไปใช้งานกับระบบที่ซับซ้อนและมีค่าอัตราความผิดพลาดที่ต่ำสามารถใช้งานประมาณค่าโดยใช้สมการที่ 2.2 ได้ดังนี้

$$\text{ความผิดพลาดรวม} = 0.01 + 0.01 = 0.02$$

จากการใช้สมการประมาณจะมีค่าความคาดเคลื่อนเท่ากับ 0.0001

2.5 ระบบสำรอง (Redundant System)

ระบบสำรอง [3] เป็นการออกแบบระบบเพื่อลดความเสี่ยงในการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ เป็นการเพิ่มความพร้อม และความน่าเชื่อถือ (Availability and Reliability) ของระบบ อุปกรณ์สามารถทำงานแทนกันได้กรณีที่ตัวใดตัวหนึ่งได้รับความเสียหาย เช่น ระบบ PLC Excitation ที่มี 2 ชุดการทำงาน (2 Channel) จะเรียกว่า 2 x 100% ในสถานะในการทำงานจริง PLC Excitation จะทำงานเพียง 1 Channel ส่วนอีก Channel จะ Standby หากมีตัวใดตัวหนึ่งไม่พร้อมทำงานระบบจะยังไม่หยุดทำงาน (Trip) จะมีเพียงการแจ้งเตือน (Alarm) ไปที่ DCS เท่านั้น

2.5.1 ระบบ k-out-of-n

หมายถึงถ้ามีชิ้นส่วน k ชิ้นส่วน (จาก n ชิ้นส่วน) สามารถทำงานได้ระบบก็จะทำงานได้ทันที [4] ซึ่งวิธีการเช่นนี้ได้ถูกออกแบบสำหรับการทำงานของระบบต่อไปนี้ เช่น

- เครื่องบินที่มี 4 เครื่องยนต์ จะยังคงสามารถทำการบินได้ถ้ามีเครื่องยนต์ที่ยังทำงานได้อยู่อย่างน้อย 2 เครื่องยนต์ เรียกว่า 2 - out - of - 4
- ระบบ Power Generating ที่มี 3 Generators จะสามารถทำงานได้ถ้ามีตัว Generator อย่างน้อย 1 ตัวทำงาน เรียกว่า 1 - out - of - 3

โครงสร้าง k-out-of-n คือการกำหนดค่าชุดทำงานสำรองที่สำคัญที่สุด ในระบบความผิดพลาดอุตสาหกรรม อย่างไรก็ตาม ระบบสำรองเหล่านี้จะได้รับผลกระทบบางครั้งจากการกักคร่อน การปนเปื้อนหรือปัจจัยทางด้านสิ่งแวดล้อม เช่น สภาพอากาศ สัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า และสภาพความร้อน ในสถานการณ์จริง อุปกรณ์สองตัว หรือมากกว่าที่ใช้ในระบบ k-out-of-n อาจล้มเหลวเนื่องจากสาเหตุเดียวกัน ทำให้ความน่าเชื่อถือที่ทำได้ในทางทฤษฎีของระบบเหล่านี้อาจลดลง ดังนั้น เรื่องของ

ความผิดพลาดร่วมกัน (Common Cause Failure: CCF) จะต้องได้รับการพิจารณาในการใช้งานที่มีความน่าเชื่อถือสูงหรือข้อกำหนดด้านความปลอดภัย [11-12] จุดประสงค์ของบทความนี้เพื่อนำเสนอเทคนิคในการลดความล้มเหลวร่วมกัน CCF ในการกำหนดค่า k-out-of-n โดยกลยุทธ์การปรับปรุงการบำรุงรักษาแบบตรวจสอบของอุปกรณ์รูปแบบการลงมติโครงสร้างระบบสำรองของโรงไฟฟ้าความร้อนร่วมในประเทศไทย อธิบายไว้ว่าเป็นกรณีศึกษาตัวอย่าง แบบจำลองความน่าเชื่อถือ CCF ด้วยฟอสทรีไคอะแกรม (FTA) การกำหนดค่าอุปกรณ์รูปแบบการลงมติรวมอยู่ด้วย

รูปแบบ k-out-of-n เป็นรูปแบบที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางของชุดทำงานสำรอง ในระบบการป้องกันความผิดพลาดในการทำงาน ที่อยู่ในสถานะของความผิดพลาด รูปแบบนี้ประกอบด้วยส่วนประกอบ n ซึ่งมีเพียง k การทำงานเพื่อความสำเร็จของระบบ

2.5.2 ปัญหา Common Cause Failure

ความผิดพลาดร่วม (Common Cause Failure: CCF) [3] เป็นค่าที่ใช้แสดงค่าความผิดพลาดร่วมกันของอุปกรณ์ ส่วนประกอบ หรือระบบที่มีมากกว่าหนึ่งชุด ซึ่งทำงานในหน้าที่เดียวกันหรือทำงานร่วมกัน เช่นระบบนิรภัยที่มีส่วนทำงานสำรอง (Redundant System) สามารถเป็นเหตุให้เกิดความผิดพลาดหลาย ๆ รูปแบบในส่วนระบบสำรองเหล่านั้น ดังนั้นส่วนประกอบหรือชิ้นส่วนที่คล้ายคลึงกันบางส่วนหรือทั้งหมดในส่วนระบบสำรองจะถูกผลกระทบจากความผิดพลาดเหล่านี้ในเวลาเดียวกัน เนื่องจากในการติดตั้งส่วนใหญ่อุปกรณ์หลักและอุปกรณ์สำรองจะถูกติดตั้งในสภาพแวดล้อมเดียวกันหรือในตู้เดียวกัน เมื่อให้ λ^D เป็นความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์หลักและส่วนทำงานสำรอง ส่วน λ^{DC} เป็นความผิดพลาดอันตรายร่วมของอุปกรณ์ทั้ง 2 ส่วน และ β เป็นตัวแปรค่าความผิดพลาดร่วม ดังนั้นจะได้

$$\lambda^{DC} = \beta \times \lambda^D \quad (2.4)$$

$$\lambda^{DN} = (1-\beta) \times \lambda^D \quad (2.5)$$

λ^{DC} คือ อัตราความผิดพลาดอันตรายร่วม

λ^{DN} คือ อัตราความผิดพลาดอันตรายปกติ

λ^D คือ อัตราความผิดพลาดอันตราย

β คือ ค่าความผิดพลาดร่วม

ค่า β สำหรับอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนที่เหมือนกันเป็นดังนี้

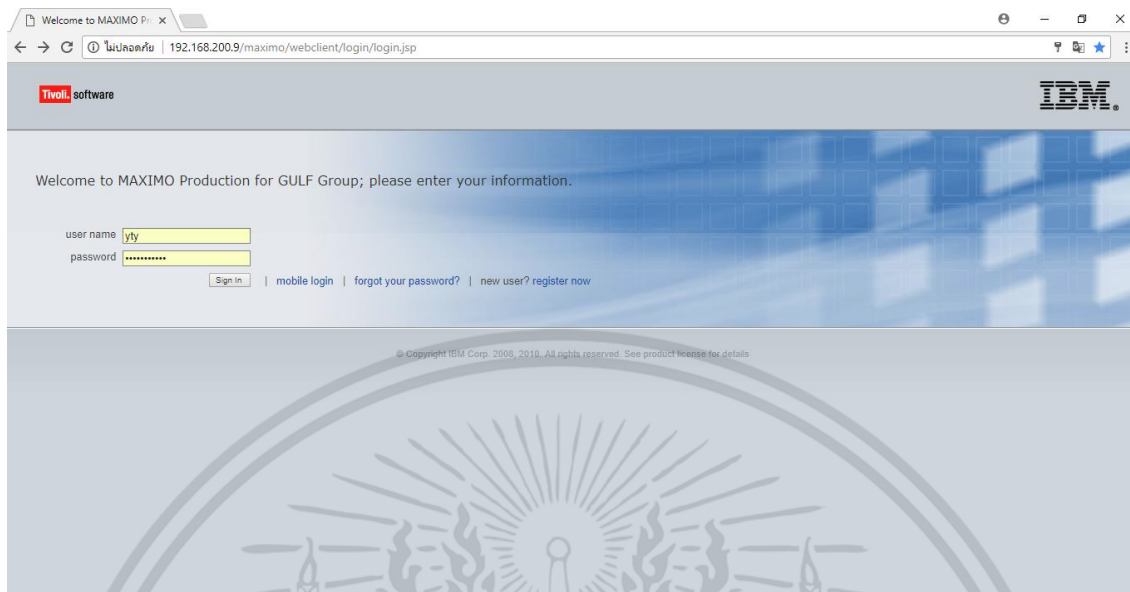
- อุปกรณ์ติดตั้งในกระบวนการผลิต จะมีค่า β อยู่ประมาณ 5-10%
- อุปกรณ์ที่มีชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ จะมีค่า β อยู่ประมาณ 1-5%

การปรับปรุงการบำรุงรักษาแบบตรวจสอบเป็นหนึ่งในกลยุทธ์การจัดการความล้มเหลวสำหรับการลดความเสี่ยงและผลกระทบของความล้มเหลวในระบบ [6] เกี่ยวข้องกับการดำเนินการค้นหาข้อบกพร่อง การตรวจสอบความล้มเหลวที่ซ่อนอยู่ในอุปกรณ์หรือระบบบนพื้นฐานที่กำหนด วัตถุประสงค์ของการตรวจสอบที่วางแผนคือการค้นพบความล้มเหลวที่กำลังจะมาถึง แต่ยังไม่ได้เกิดขึ้นมาหรือการตรวจสอบความล้มเหลวบางส่วนที่กำลังจะเกิดขึ้น [7-8] หากระบบอยู่ในสถานะของความล้มเหลวบางส่วนหรือกำลังจะมาถึง แล้วเริ่มต้นการบำรุงรักษาเชิงแก้ไขงานต่าง ๆ เช่นงานซ่อมหรือเปลี่ยนส่วนประกอบล้มเหลว แนวคิดการตรวจสอบเป็นประโยชน์อย่างมากสำหรับการระบุความล้มเหลวที่เกิดจากการเสื่อมสภาพหรือการเสียหายเพื่อให้ระบบมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น [9-10] นอกจากนี้ชุดทำงานสำรอง มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ

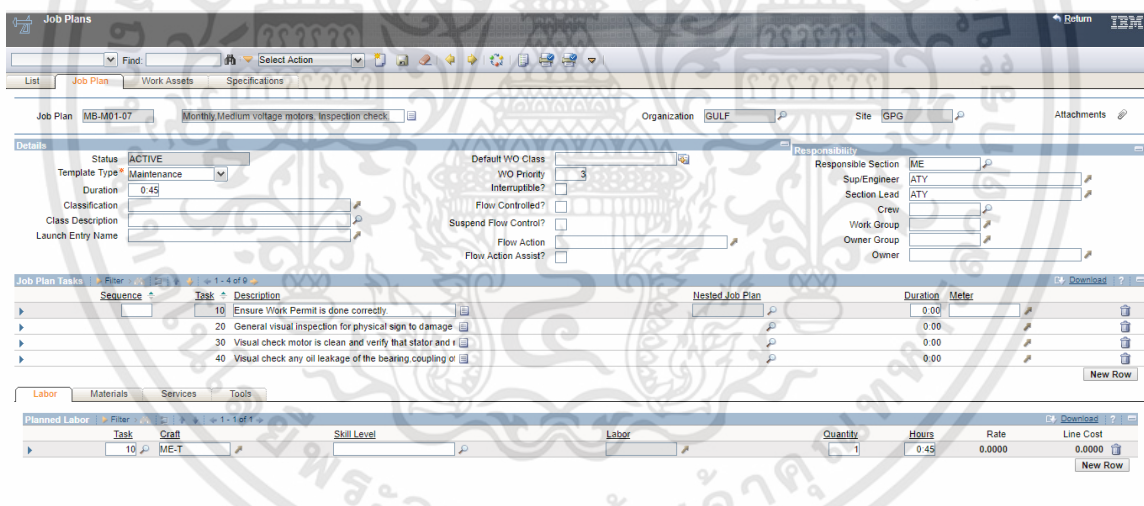
2.6 แผนงานการตรวจสอบและบำรุงรักษาของโรงไฟฟ้า

2.6.1 การกำหนดงานบำรุงรักษา

งานบำรุงรักษาของโรงไฟฟ้ามีการกำหนดจากคู่มือ (Manual) ของเครื่องจักรและอุปกรณ์ โดยใช้โปรแกรม Maximo เป็น Software ดังรูปที่ 2.10 ในการตั้งค่าช่วงความเหมาะสมในการทำงาน บำรุงรักษาเชิงป้องกัน Preventive Maintenance (PM) แต่ละเครื่องจักรและอุปกรณ์จะมีการกำหนดความถี่ (Interval) ในการนำไปปฏิบัติงาน เช่น W, 1M, 3M, 6M, 1Y, 5Y เป็นต้น และรายละเอียดของงานบำรุงรักษาที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถระบุเป็น Job Task ดังรูปที่ 2.11 นอกจากนี้ยังสามารถใช้โปรแกรม Maximo เป็นเครื่องมือในการแจ้งซ่อมอุปกรณ์หรือเครื่องจักรที่ได้รับความเสียหาย ที่เรียกว่า Corrective Maintenance (CM) ดังรูปที่ 2.12 และใช้โปรแกรมเป็นเครื่องมือในการค้นหาอะไหล่ (Spare Part) ในงานซ่อมและงานบำรุงรักษา การจัดการทรัพย์สินคงคลัง (Inventory Management) ดังรูปที่ 2.13

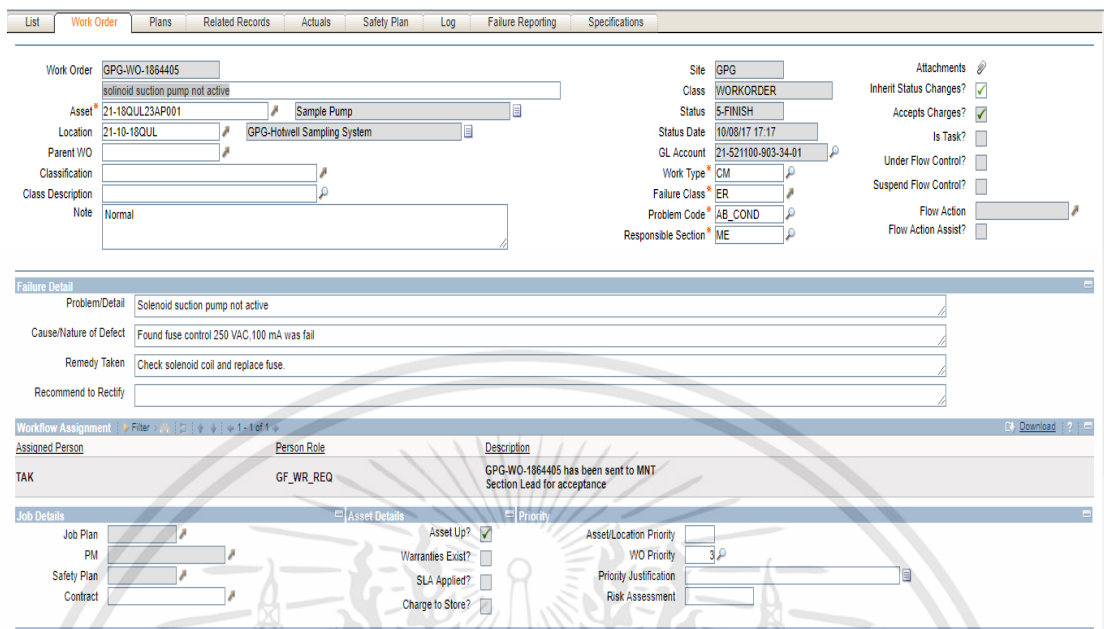


รูปที่ 2.10 โปรแกรมในงานบำรุงรักษาของโรงไฟฟ้า (Program Maximo)

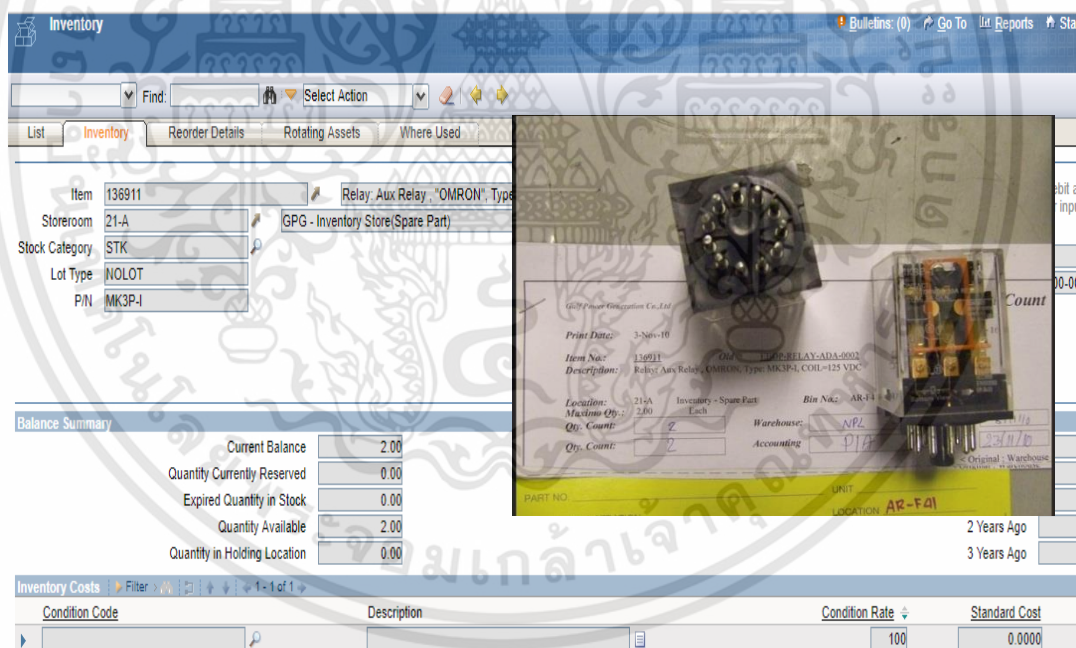


รูปที่ 2.11 โปรแกรม Maximo สำหรับงาน Preventive Maintenance

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 โปรแกรม Maximo สำหรับงาน Corrective Maintenance

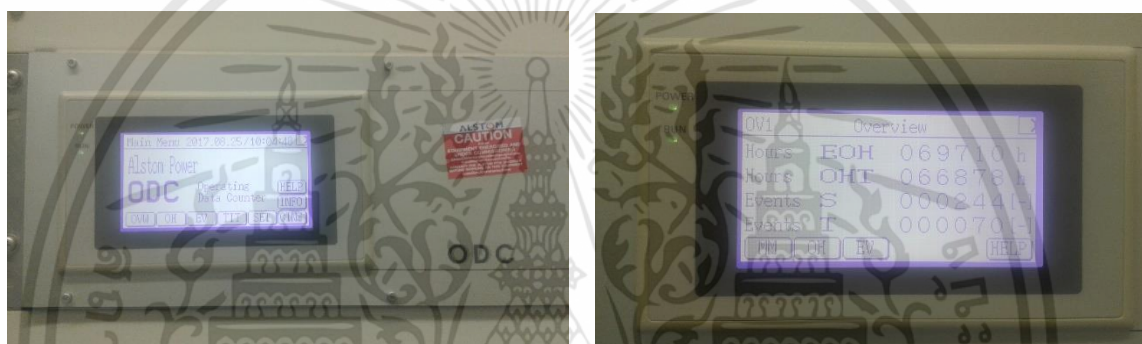


รูปที่ 2.13 โปรแกรม Maximo สำหรับเป็นเครื่องมือในการค้นหาอะไหล่ (Spare Part)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.2 แผนงานการตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องจักร

นอกจากงาน Preventive Maintenance และ Corrective Maintenance สำหรับงานบำรุงรักษาที่ปฏิบัติเป็นงานประจำแล้ว มีการกำหนดงานตรวจสอบและบำรุงรักษาเครื่องจักร ซึ่งเป็นเครื่องจักรหลักที่มีความสำคัญในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยพิจารณาจากชั่วโมงการเดินเครื่อง (Number of Operating Hours) รวมกับจำนวนของการเกิดเหตุการณ์ (Number of Events Taking Place During the Operation) เช่นการเริ่มเดินของเครื่องจักร (Starts) การหยุดเดินเครื่องจักรแบบทันทีทันใด (Trips) และการปลดโหลดออกจากระบบ Load Rejections เป็นต้น โดยผ่านเครื่องมือที่เรียกว่า ODC (Operating Data Counter Linear + Elliptical) ดังรูปที่ 2.14 ใน ODC



รูปที่ 2.14 ODC เครื่องมือช่วยในการวางแผนงานบำรุงรักษาของกังหันก๊าซ

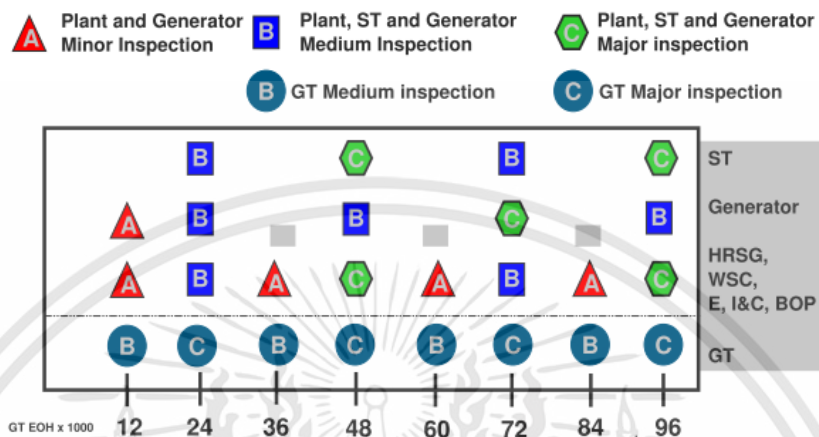
การกำหนดแผนการตรวจสอบ (Inspection Plan) ในการบำรุงรักษาเครื่องจักรหลัก ที่มีความสำคัญในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้ากำหนดเป็น A-Inspection หรือ B-Inspection เรียกว่า Minor Overhaul หรือ Visual Inspection และ C-Inspection เรียกว่า Major Overhaul หรือ Hot-Gas-Path Inspection โดยขึ้นอยู่กับ Equivalent Operating Hours (EOH) ของเครื่องจักรแต่ละประเภท ได้แก่ Gas Turbine, Steam Turbine, Generator, Water Steam Cycle, Heat Recovery Steam Generator (HRSG) เป็นต้น

จากรูป 2.15 การกำหนดตารางการตรวจสอบของโรงไฟฟ้า (Inspection Scheduling Plant) สามารถกำหนดแผนในการตรวจสอบการบำรุงรักษาเป็น 4 ส่วน ดังนี้

1. Gas Turbine
2. HRSG, WSC, E, I&C and BOP
3. Generator
4. Steam Turbine

Inspection Scheduling PLANT

Power Plant System Inspection Types - Overview



รูปที่ 2.15 การกำหนดแผนการตรวจสอบของโรงไฟฟ้า

จากการแบ่งกลุ่มของเครื่องจักรหลัก แล้วนำมากำหนดเป็นตารางการตรวจสอบตามชั่วโมงการเดินเครื่อง (EOH) โดยมีกำหนดแผนการตรวจสอบ ดังนี้

ที่ EOH = 12,000 ชั่วโมง

1. Gas Turbine กำหนดเป็น GT Medium Inspection คือ ลักษณะการตรวจสอบเป็นการใช้ Boroscope ตรวจสอบความเสียหายของใบ Blade ของชุด Rotor ของ Gas Turbine แต่ละ Stage
2. HRSG, WSC, Electrical, I&C and BOP กำหนดเป็น Minor inspection คือ ลักษณะการตรวจสอบของ HRSG เป็นการตรวจสอบการเกิด Corrosion ของท่อภายใน HRSG ส่วนอื่นการตรวจสอบจุดหลวม ค่าความเป็นฉนวน (Insulation Resistance) ของไฟฟ้า งานที่ต้องทำช่วง Shutdown
3. Generator กำหนดเป็น Minor Inspection คือ ลักษณะการตรวจสอบจุดหลวม ส่วนที่ได้รับ ความเสียหายต่างๆ
4. Steam Turbine ไม่มีแผนในการตรวจสอบ

ที่ EOH =48,000 ชั่วโมง

1. Gas Turbine กำหนดเป็น GT Major Inspection คือ ลักษณะการตรวจสอบโดยเปิด Upper head casing ของ Gas Turbine เพื่อยก Rotor มาตรวจสอบภายนอก การตรวจสอบใบ Blade โดยการทำ PT Test เป็นต้น
2. HRSG, WSC, Electrical, I&C and BOP กำหนดเป็น Major Inspection โดยแยกการตรวจสอบเป็น ดังนี้
 - 2.1 HRSG เปิด Main Hold เพื่อตรวจสอบท่อ ทดสอบ Hydra Static Test
 - 2.2 WSC and BOP ตรวจสอบทางกายภาพ ส่งมอเตอร์และปั๊มไป Overhaul
 - 2.3 Electrical ตรวจสอบทางกายภาพ ทดสอบฟังก์ชันการทำงานของ Relay Protection และ อุปกรณ์ในลานไฟฟ้า (Switchyard) ทดสอบฟังก์ชันการทำงานของเซอร์กิตเบรกเกอร์ ใน MV Switchgear และ LV Switchgear ทดสอบหม้อแปลงไฟฟ้า, ทดสอบฟังก์ชันการทำงานของ Relay Protection ของ Generator & Transformer ตรวจสอบระบบ Excitation, Conduction Monitoring Sensor เป็นต้น
 - 2.4 Instrument & Control (I&C) งานตรวจสอบและ Overhaul Valve, Calibrate Valve, Transducer, Transmitter, ตรวจสอบหัว Lances ในห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber) งานทดสอบการทำงานของ Valve เป็นต้น
3. Generator กำหนดเป็น Medium Inspection คือ เป็นการเปิด Casing เพื่อนำหุ่นยนต์ขนาด เล็กเข้าไปตรวจสอบขดลวด (Winding), Slot Wedge ของ Generator การตรวจสอบ Slip Ring, แปรรงถ่าน, ค่าของ Spring ของช่องแปรรงถ่าน เปลี่ยนแปรรงถ่าน เป็นต้น
4. Steam Turbine กำหนดเป็น Major Inspection ลักษณะการตรวจสอบที่ High Pressure Turbine, Intermediate Pressure Turbine และ Low Pressure Turbine เป็นต้น



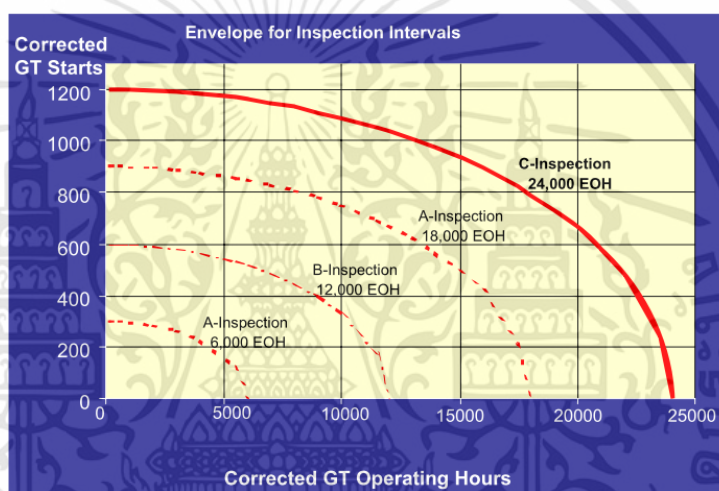
รูปที่ 2.16 ห้องเผาไหม้ (Combustion Chamber)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบกังหันก๊าซ (Gas Turbine)

การกำหนดแผนในการตรวจสอบกังหันก๊าซ (Gas Turbine) จะกำหนดตามชั่วโมงการเดินเครื่อง (Operating Hours) และจำนวนการเริ่มต้น (Start) ดังรูปที่ 2.17 เป็นการพิจารณา ดังนี้

1. ที่ 6,000 EOH เรียกว่า A-Inspection
2. ที่ 12,000 EOH เรียกว่า B-Inspection
3. ที่ 18,000 EOH เรียกว่า A-Inspection
4. ที่ 24,000 EOH เรียกว่า C-Inspection



รูปที่ 2.17 กราฟความสัมพันธ์ของ EOH ในการกำหนดแผนงานซ่อมบำรุง

A Inspection for Gas Turbine (Visual Inspection)

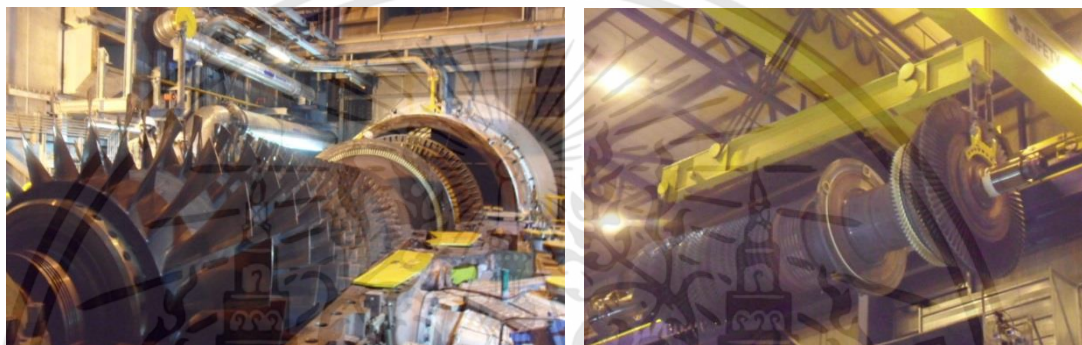
- การตรวจสอบใบ Blade ด้วยวิธี Boroscope และการตรวจสอบในห้องเผาไหม้ Combustion Chamber
- การตรวจสอบหัว lances และ plugs

B Inspection for Gas Turbine (Extended Visual Inspection)

- การตรวจสอบใบ Blade ด้วยวิธี Boroscope และการตรวจสอบในห้องเผาไหม้ Combustion Chamber
- การตรวจสอบหัว Lances และ Plugs
- การตรวจสอบระบบ Hydraulic Auxiliary

C Inspection for Gas Turbine (Hot Gas Path Inspection)

- เปิด Casing ของ Gas Turbine
- ยก Rotor เพื่อตรวจสอบแต่ละ Stage, เปลี่ยน Hot Gas Path Parts
- การตรวจสอบอุปกรณ์ที่สำคัญใน Gas Turbine ตรวจสอบใบ Blade ตรวจสอบห้องเผาไหม้, เปลี่ยนใบ Blade ตาม Manual กำหนด และนำอะไหล่ที่เปลี่ยนไปทำ Reconditioning
- การตรวจสอบระบบ Hydraulic Auxiliary



รูปที่ 2.18 การยก Rotor เพื่อตรวจสอบ Blade แต่ละ Stage

การตรวจสอบกังหันไอน้ำ

B-Inspection

ระยะเวลา: 2 สัปดาห์

B-Inspections เป็นการวางแผนและการตรวจสอบตามรายการด้านล่าง ดังนี้

- การตรวจสอบของ LP Last-Stage Blades
- การตรวจสอบที่สามารถเข้าถึงส่วนประกอบของ turbine โดยใช้วิธี Boroscope
- ตรวจสอบลูกปืน Bearing
- ตรวจเช็คจุดศูนย์กลางของข้อต่อ
- ตรวจเช็คการวางแนวของเพลลา (Alignment Shaft Line)
- ทดสอบอุปกรณ์ Safety
- การตรวจสอบของระบบควบคุม Turbine และแหล่งจ่ายไฟ
- การตรวจสอบของ Steam Valves
- ตรวจสอบการควมแน่นและระบบทำความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



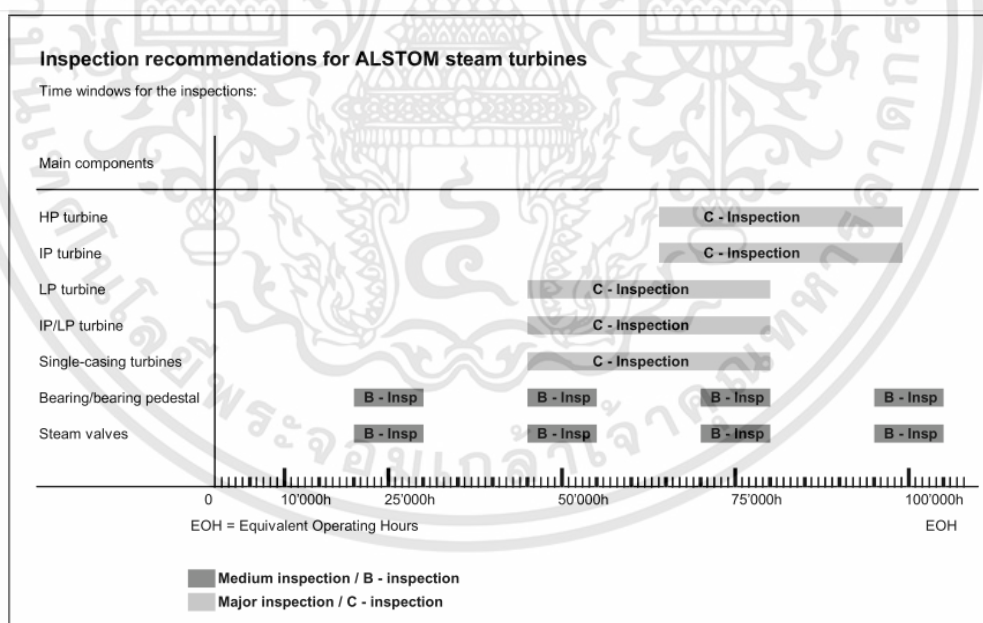
รูปที่ 2.19 การยก Casing ของ LP Last-Stage Blades

C-Inspection

ระยะเวลา: 3-4 สัปดาห์

เป็นการตรวจสอบที่ครอบคลุมของทั้งโรงไฟฟ้า ประกอบด้วยงานดังต่อไปนี้

- การตรวจสอบและการตรวจเช็คทั้งหมดในระหว่างที่ทำในช่วง B-Inspection
- เปิด Casing เพื่อทำการตรวจสอบ Blade
- ตรวจเช็คการวางแนวของเพลลา



รูปที่ 2.20 แผนการตรวจสอบบำรุงรักษาของกังหันไอน้ำ

จากรูปที่ 2.20 เป็นการกำหนดการตรวจสอบอุปกรณ์หลักๆ ของกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) โดยแบ่งการตรวจสอบเป็น 2 ประเภท คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Medium Inspection (B-Inspection) เป็นการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ชั่วโมง EOH ที่ 24,000 ชั่วโมง ได้แก่ Steam Valves, Bearing / Bearing Pedestal เป็นต้น
2. Major Inspection (C-inspection) เป็นการตรวจสอบอุปกรณ์ที่ชั่วโมง EOH ที่ 45,000 ชั่วโมง การตรวจสอบจะเป็นการตรวจสอบ IP/LP Turbine และ Single Casing Turbine เพิ่มเติมจากการตรวจสอบแบบ Medium Inspection



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การปรับปรุงการบำรุงรักษาแบบตรวจสอบที่นำเสนอ

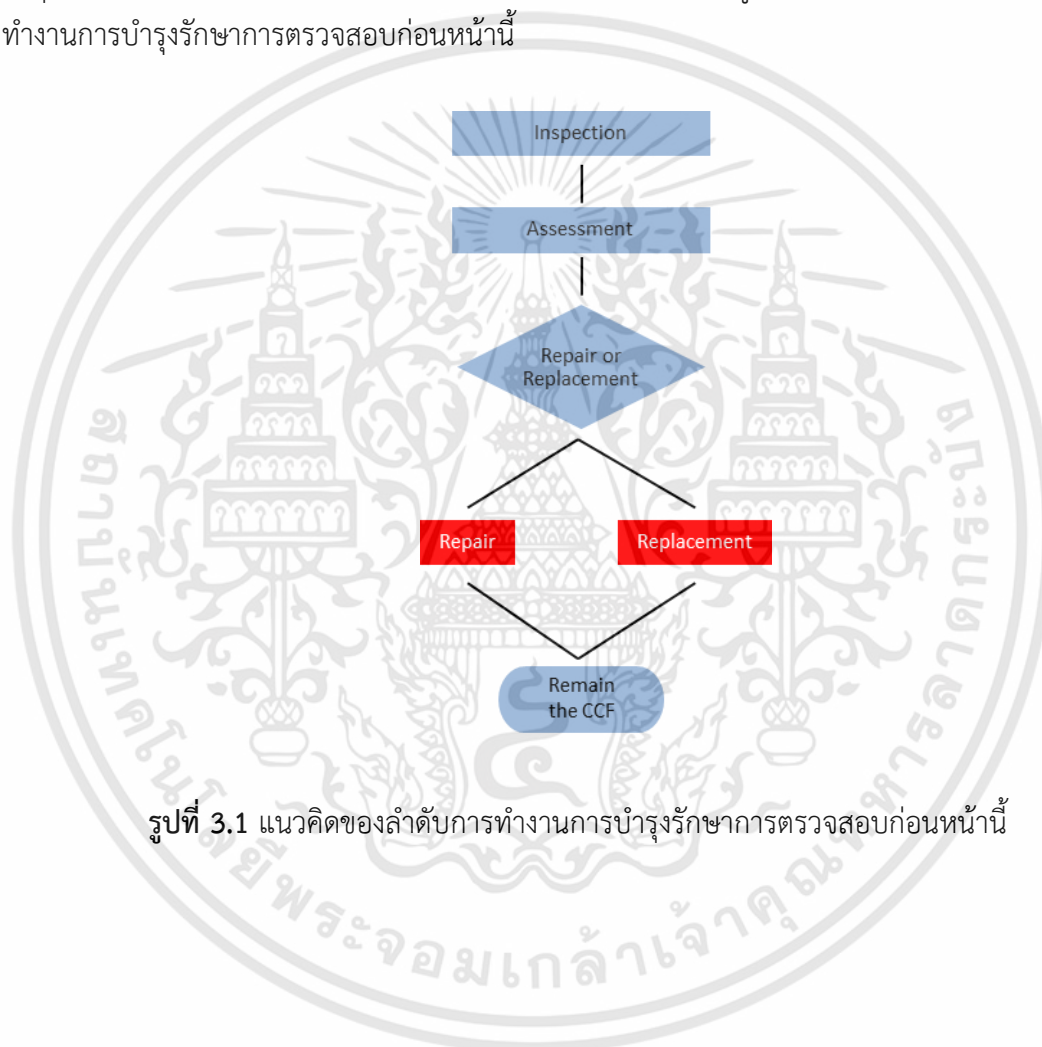
3.1 กล่าวนำ

ในอุตสาหกรรมประเภทโรงไฟฟ้ากระบวนการในการผลิตกระแสไฟฟ้า ประกอบด้วย อุปกรณ์ไฟฟ้า (Electrical Device) อุปกรณ์เครื่องมือวัดและควบคุม (Instrument and Control Device) เครื่องจักรการผลิต (Mechanical Device) และผู้ควบคุมหรือฝ่ายเดินเครื่อง (Operator) ผลกระทบจากการผลิตกระแสไฟฟ้าที่ทำงานไม่สำเร็จ มีผลต่อความเสถียรภาพของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าของประเทศ และรายได้หลักของโรงไฟฟ้า ในงานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงระบบผลิตกระแสไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันก๊าซ ที่ใช้เชื้อเพลิงหลักคือ ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) และเชื้อเพลิงสำรองคือ น้ำมันดีเซล (Diesel) โดยการเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าขึ้นอยู่กับคำสั่งการของโรงไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยเป็นหลัก โรงไฟฟ้าต้องมีความพร้อมในการเดินเครื่องตลอดเวลา และต้องสามารถเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าโดยใช้เชื้อเพลิงหลัก หรือเชื้อเพลิงสำรองได้ การสร้างความน่าเชื่อถือของระบบ เป็นปัจจัยหนึ่งที่ศูนย์สั่งการฯ นำมาพิจารณาในการเลือกเดินเครื่องของโรงไฟฟ้า การศึกษาผลกระทบจากการทำงานของอุปกรณ์ที่ทำงานผิดพลาด (Failure) หรืออุปกรณ์ที่มีการทำงานผิดพลาดร่วม (Common Cause Failure) จนทำให้ระบบทำงานไม่สำเร็จ โดยใช้ FMEA และ FTA เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของอุปกรณ์ที่มีผลให้ทำงานไม่สำเร็จ และการดำเนินปรับปรุงวิธีการบำรุงรักษา โดยมี 3 วิธี คือ 1. การลดความเค้นของอุปกรณ์ร่วมกัน (Reduce Common Stress: RS) 2. การนำอุปกรณ์มาใช้อย่างหลากหลาย (Apply Diversity: AD) 3. การออกแบบระบบหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง (Ruggedize the Design for High Strength: HS) เพื่อสร้างความน่าเชื่อถือของระบบ ลดความผิดพลาดร่วมของอุปกรณ์ และลดการสูญเสียรายได้หลักของโรงไฟฟ้า โดยการปรับปรุงเครื่องจักรและอุปกรณ์ในโรงไฟฟ้า 2 รูปแบบ โดยรูปแบบที่ 1 การปรับปรุงรูปแบบการซ่อมแบบใหม่ การปรับปรุงการซ่อมและการตรวจสอบที่สามารถวัดผลได้เมื่ออุปกรณ์นั้นทำงานในกระบวนการผลิตจริง โดยการดำเนินการกับอุปกรณ์ 2 ชนิด คือ Air Purge Valve และ Transformer Isolated Amplifier รูปแบบที่ 2 การปรับปรุงโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์ตรวจจ่ายกระแสของเครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLC Excitation)

3.2 การปรับปรุงการนำเสนองานบำรุงรักษา

3.2.1 แผนการตรวจสอบก่อนหน้า

จากการศึกษางานบำรุงรักษาระบบผลิตไฟฟ้า ขึ้นอยู่กับกลยุทธ์การบำรุงรักษาการตรวจสอบตามสภาพโดยกำหนดเวลาการดำเนินการค้นหาข้อผิดพลาดในการตรวจสอบ ณ จุด ๆ หนึ่งเพื่อตรวจสอบความล้มเหลวที่เกิดขึ้นในระบบ ถ้าระบบการศึกษาอยู่ในสถานะของความล้มเหลวจากนั้นดำเนินการบำรุงรักษาที่เหมาะสม เช่น การซ่อมแซมหรือเปลี่ยนข้อผิดพลาด รูปที่ 3.1 แสดงแนวคิดของลำดับการทำงานการบำรุงรักษาการตรวจสอบก่อนหน้า



รูปที่ 3.1 แนวคิดของลำดับการทำงานการบำรุงรักษาการตรวจสอบก่อนหน้า

ตารางที่ 3.1 และ 3.2 แผนการบำรุงรักษาตรวจสอบแบบ Inspection Plan สำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้า (PLC) และอุปกรณ์ควบคุมและอุปกรณ์เครื่องมือวัด ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 แผนการตรวจสอบอุปกรณ์ไฟฟ้า

ลำดับ	เปลี่ยนอุปกรณ์ตรวจจับกระแส (Conduction Monitoring Sensor)
	ขั้นตอนการดำเนินการ
1.	ปิดแหล่งจ่ายไฟ (24 VDC) ที่จ่ายให้ PLC ชุดที่ 2 แล้วเปิดแหล่งจ่ายไฟใหม่ เพื่อ Reset PLC ชุดที่ 2 แต่ยังคงมี Alarm ค้างอยู่
2.	เปลี่ยนอุปกรณ์ตรวจจับกระแส (Conduct Monitoring Sensor)
3.	ทำการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับกระแส โดยจ่ายกระแสไฟ AC ผ่านอุปกรณ์
4.	นำ Laptop มาต่อเข้ากับ PLC ชุดที่ 2 เพื่อทำการเคลียร์ฟลตใน PLC และ I/O แล้วทำการ Run PLC ขึ้นมา
5.	ทำการทดสอบ PLC ชุดที่ 1 และชุดที่ 2 โดยการเลือกการทำงานของ PLC แต่ละชุดสลับกันไปมา
6.	ซ่อมระบบปรับอากาศให้สามารถใช้งานได้ทั้งคู่

ตารางที่ 3.2 แผนการตรวจสอบอุปกรณ์ควบคุมและอุปกรณ์เครื่องมือวัด

ลำดับ	เปลี่ยน Air Purge Valve ใหม่
	ขั้นตอนการดำเนินการ
1.	ปลดสายและถอด Proximity Switch Sensor (Close & Open)
2.	ปลด Coupling ระหว่าง Actuator and Air Purge Valve
3.	ถอด Actuator ของ Air Purge Valve
4.	ถอด Air Purge Valve และปะเก็น
5.	ติดตั้งและเชื่อมต่อ Air Purge Valve ตัวใหม่ และปะเก็นใหม่

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

ลำดับ	เปลี่ยน Air Purge Valve ใหม่
	ขั้นตอนการดำเนินการ
6.	ติดตั้งและเชื่อมต่อ Actuator ของ Air Purge Valve
7.	ทำการเชื่อมต่อระหว่าง Actuator และ Air Purge Valve
8.	ติดตั้งและเชื่อมต่อ Proximity Switch Sensor (Close & Open)
9.	ทดสอบการทำงานของ Air Purge Valve โดยการ Stoke Test กับทาง ฝ่ายเดินเครื่อง

3.2.2 การหลีกเลี่ยงความผิดพลาดร่วมกัน (Common-Cause Avoidance)

คุณลักษณะที่สำคัญของเหตุการณ์ที่บอบบอย สาเหตุคือการที่สององค์ประกอบหรือมากกว่า (หรือระบบย่อย) ได้รับผลกระทบจากสาเหตุ ที่ทำให้เกิดขึ้นร่วมกัน ลดความน่าเชื่อถือของระบบในระบบชุดสำรองอย่างมาก การหลีกเลี่ยงความผิดพลาดร่วมกันสามารถจัดกลุ่มเป็น 3 ประเภทวิธีการ [8]

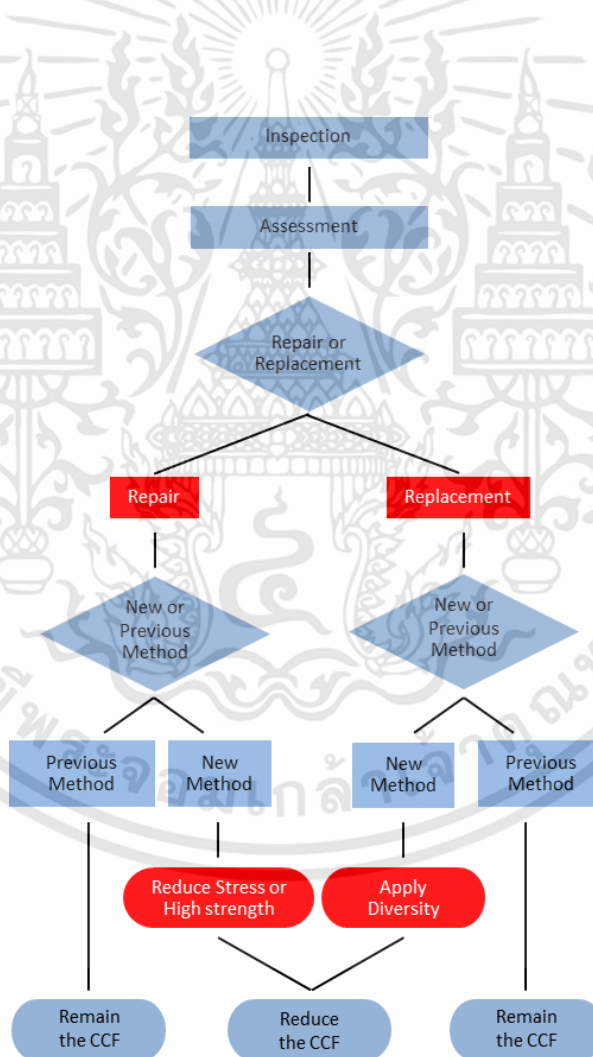
1. การลดความเค้นของอุปกรณ์ร่วมกัน (Reduce Common Stress: RS) เมื่อระบบสำรองทางกายภาพและระบบไฟฟ้าถูกแยกออก มีโอกาสน้อยที่จะต้องเผชิญกับความเครียดด้านสิ่งแวดล้อมทั่วไป

2. การนำอุปกรณ์มาใช้อย่างหลากหลาย (Apply Diversity: AD) ความหลากหลายเป็นแนวคิดซึ่งได้รับการออกแบบที่แตกต่างกันเข้าด้วยกันในการกำหนดระบบสำรอง สำหรับแนวคิดนี้ให้มีประสิทธิภาพองค์ประกอบจะต้องตอบสนองความแตกต่างความเครียดทั่วไป

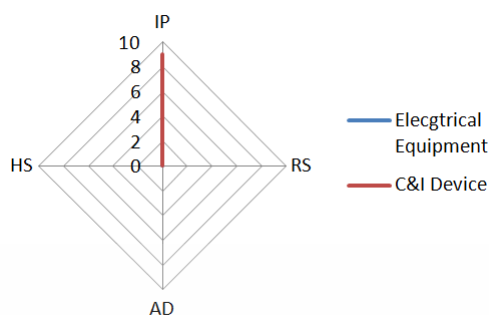
3. การออกแบบระบบหรืออุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพสูง (Ruggedize the Design for High Strength: HS) คุณสมบัติของระบบที่ลดอัตราความล้มเหลวขององค์ประกอบ จะลดอัตราความผิดพลาดร่วมกัน

3.2.3 แผนตรวจสอบที่นำเสนอ

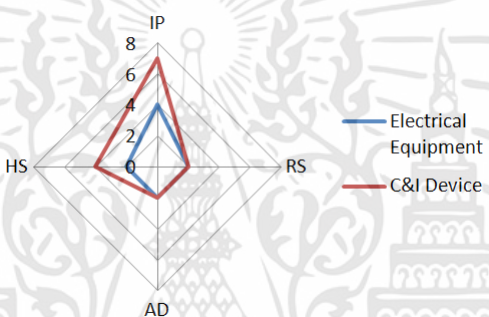
เพื่อที่จะลดความผิดพลาดร่วมกันขององค์ประกอบระบบสำรองของอุปกรณ์ไฟฟ้า ในระบบ (PLC Excitation) และอุปกรณ์ควบคุมและอุปกรณ์เครื่องมือวัด (Air Purge Valve และ Transformer Isolated Amplifier) แผนการตรวจสอบตามที่สรุปไว้ในตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 ตามลำดับ มีการปรับปรุงโดยใช้ 3 วิธีการขั้นพื้นฐาน (RS, AD, HS) ของการหลีกเลี่ยงความผิดพลาดร่วมกันในขั้นตอนการซ่อมแซมและเปลี่ยน รูปที่ 3.2 แสดงแนวคิดของลำดับงานการปรับปรุงบำรุงรักษาตรวจสอบ รูปที่ 3.3 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างการดำเนินการบำรุงรักษาการตรวจสอบของลำดับก่อนหน้า (ก่อนปรับปรุง) และขั้นตอนการทำงานที่ดีขึ้น (หลังปรับปรุง) จะเห็นได้ว่าการบำรุงรักษาการตรวจสอบแบบใหม่นั้นเป็นขั้นตอนการทำงานที่ดีขึ้นถึง 3 วิธี สำหรับการป้องกันความผิดพลาดร่วมกัน



รูปที่ 3.2 แนวคิดของลำดับงานการปรับปรุงบำรุงรักษาตรวจสอบ



ก. ก่อนปรับปรุง



ข. หลังจากปรับปรุง

รูปที่ 3.3 การเปรียบเทียบขั้นตอนการตรวจสอบการบำรุงรักษาก่อนการปรับปรุงและหลังปรับปรุง

3.3 การปรับปรุงความล้มเหลวของระบบผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันก๊าซเมื่อมีการสลับเชื้อเพลิง

ในสภาวะปกติในการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันก๊าซของโรงไฟฟ้าที่ทำการศึกษาคือใช้เชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลัก ตามสัญญาการขายไฟฟ้ากับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ทางโรงไฟฟ้าจะต้องมีการทดสอบการเปลี่ยนเชื้อเพลิงจากก๊าซธรรมชาติ เป็นเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล เรียกว่า Fuel Switch Over (FSWO) และสามารถเปลี่ยนจากเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซล เป็นเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ เรียกว่า Fuel Switch Back (FSWB) โดยในสัญญา Power Purchase Agreement (PPA) ระบุให้มีการทดสอบจำนวน 3 ครั้งต่อ 1 หน่วยของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันก๊าซ หากไม่สามารถดำเนินการตามที่ต้องการ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยสั่งการ โรงไฟฟ้าจะต้องเสียค่าปรับเป็นจำนวนเงินที่สูงเมื่อเทียบกับรายได้จากการเดินเครื่อง และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะหยุดทำงาน (Trip) ออกจากระบบ ทั้งนี้การคิดค่าปรับจากกรณีที่ไม่สามารถดำเนินการตามการร้องขอจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย จะพิจารณาบน

พื้นฐานของหน่วยการผลิต ซึ่งแต่ละหน่วยการผลิตประกอบไปด้วย 2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันก๊าซ (Gas Turbine) และ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันไอน้ำ Steam Turbine

เหตุผลหลักในขั้นตอนการทำ FSWO และ FSWB

1. เพื่อเป็นการทดสอบระบบของโรงไฟฟ้าว่าสามารถที่จะตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของเชื้อเพลิงหลักได้ในกรณีฉุกเฉิน หากเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติไม่เพียงพอต่อการผลิตกระแสไฟฟ้า สามารถใช้เชื้อเพลิงสำรองซึ่งเป็นน้ำมันดีเซลในการผลิตกระแสไฟฟ้าแทนได้
2. เพื่อเป็นการทดสอบความพร้อมในการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้า ที่สามารถเปลี่ยนแปลงเชื้อเพลิงและเปลี่ยนแปลงโหลดได้ทันในเวลาที่กำหนด
3. เพื่อสร้างความมั่นใจให้กับระบบไฟฟ้าของประเทศ สามารถเป็นโรงไฟฟ้าที่ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยเชื้อเพลิงได้ทั้ง 2 ประเภท
4. เพื่อปฏิบัติตามสัญญาการซื้อขายระหว่างโรงไฟฟ้ากับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่กล่าวถึงเกี่ยวกับการเดินเครื่องโดยใช้เชื้อเพลิงสำรอง (3 ครั้งต่อ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันก๊าซ)

3.3.1 รายละเอียดของกระบวนการ

การเตรียมการก่อนที่จะมีการทำเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิงสำรอง FSWO

1. การตรวจสอบท่อ Discharge tank, การตรวจสอบ Suction & Discharge valve ของ Fuel oil & NOx Water forwarding pump ตามรูปที่ 3.4 วาล์วดังกล่าวต้องอยู่ในตำแหน่งเปิด

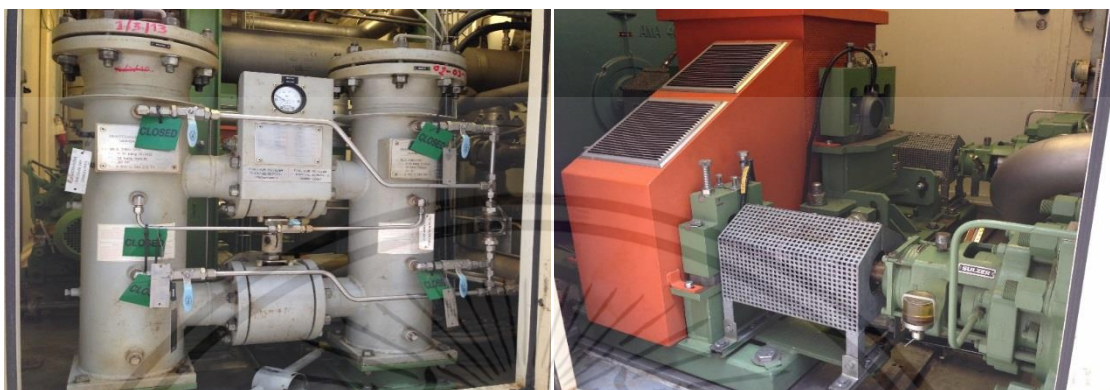


รูปที่ 3.4 Suction & Discharge Valve ของ Fuel Oil และ NOx Water Forwarding Pump

2. การดำเนินการ Priming Line ของ Fuel Oil และ NOx Water Forwarding Pump โดยการเดิน Pump แล้วเปิด Vent ที่ตำแหน่ง Filter ที่ Combine Pump Block

3. การตรวจสอบชุดควบคุม และการตรวจสอบความพร้อมของมอเตอร์และปั๊ม (Combine Pump Block) ดังรูปที่ 3.5 มอเตอร์ระบายความร้อนภายในพื้นที่ของมอเตอร์และปั๊ม (Compartment) การ

ตรวจสอบระบบป้องกันอัคคีภัยและอุปกรณ์ดับไฟ (Fire Protection) ได้แก่ Fire FM200, Smoke Detector เป็นต้น



รูปที่ 3.5 มอเตอร์และปั๊มสำหรับเชื้อเพลิงระบบสำรอง(ดีเซล)

3.3.2 ขั้นตอนในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็นเชื้อเพลิงสำรอง FSWO

1. เมื่อทางโรงไฟฟ้าได้รับการสั่งการจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT) โดยมีการสั่งการให้ โรงไฟฟ้า GPG-C1 (GPG คือ ชื่อของโรงไฟฟ้า ส่วน C1 คือ Block 1) ดำเนินการเปลี่ยนเชื้อเพลิงจาก Primary Fuel เป็น Secondary Fuel (จะเรียกว่า EGAT Dispatch Instruction; DI)

ตัวอย่าง Receive DI 9/2016 for FSWO Gas to Oil IT = 13:00, RT = 14:10 ความหมาย ทาง EGAT สั่งการให้โรงไฟฟ้าเปลี่ยนเชื้อเพลิงจาก Primary Fuel เป็น Secondary Fuel เริ่มเวลา 13:00 (IT = 13:00) และต้องเปลี่ยนเป็น Secondary Fuel ในเวลา 14:10 (RT = 14:10) อ้างอิง DI 9/2016

2. ทำการ “OFF” AGC การ “OFF” AGC จะเป็นการ Manual Load MW ซึ่งเดิมการ “ON” AGC จะเป็นการสั่งขึ้น-ลงโหลด (MW) จากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT) จากศูนย์ควบคุมการสั่งการที่บางกรวย นนทบุรี

ตัวอย่าง Off AGC Set Block Load 220 MW for FSWO ความหมาย “OFF” AGC ที่ load 220 MW

3. ทำการคลิกเลือกโหมด Fuel Oil System Check เพื่อตรวจสอบสถานะของวาล์ว ก่อนการเปลี่ยนเชื้อเพลิง ดังนี้

3.1 Fuel Oil Main Shut Off Valve (MBN31AA001)	Status “CLOSE”
3.2 Fuel Oil Trip Shut Off Valve (MBN40AA001)	Status “CLOSE”
3.3 Fuel Oil Shut Off Valve SEV (MBN42AA010)	Status “CLOSE”
3.4 NOx-Water Main Shut Off Valve (MBU31AA001)	Status “CLOSE”
3.5 NOx-Water Trip Shut Off Valve (MBU40AA001)	Status “CLOSE”

4. ทำการ “OFF” Interface

5. Manual “Decrease” Load จนกระทั่ง SEV Combustor “OFF” จากนั้นทำการ Uncoupling Steam Header โดยการสั่งปิดวาล์ว HP STM11 (11LBA50AA001) และ HP STM12 (12LBA50AA001)

6. เมื่อปิดวาล์วแล้ว Steam จะไหลออกจาก Bypass Valve แทน โดย Steam จะไหลจาก Cold Reheat ไป Hot Reheat (ไปเพิ่มอุณหภูมิของ Steam ทำให้ได้ไฟฟ้ามากขึ้น จากนั้นจะไปที่ IP HRSG แล้ว Bypass ลง Condenser

7. ลด Load ลงมาที่ 20 MW เพื่อให้เหลือ Fuel Gas Pilot Operate Only

8. จากนั้นคลิกเลือกที่ Fuel Oil

9. Motor Combine Pump Block ทำงาน ที่มอเตอร์เองมี Pump 2 ตัวต่อ (Coupling) อยู่ จะใช้งาน 2 ประเภท คือ NOX Water Pump และ Fuel Oil Pump

9.1 ขั้นแรกจะเป็นการทำงานที่ EV Combustor ก่อน โดยวาล์วของน้ำมันเชื้อเพลิง และวาล์วของน้ำจะสั่งเปิดให้น้ำมันและน้ำเข้าไปใน EV Combustor โดยใน Combustor จะมีการใช้น้ำในการลดอุณหภูมิ และลด NOX ที่จะเกิดขึ้นในการใช้เชื้อเพลิงประเภทน้ำมัน หลังจากที่เปลี่ยนเชื้อเพลิงจาก Gas เป็นเชื้อเพลิง Oil ที่ 100% แล้ว และทำการขึ้นโหลดของ Gas Turbine

9.2 ขั้นที่สองที่ จนกระทั่ง Temp After Turbine(TAT) > 935°C SEV Combustor “ON” วาล์วของน้ำมันเชื้อเพลิงและวาล์วของน้ำจะสั่งเปิดให้น้ำมัน และน้ำเข้าไปใน SEV Combustor

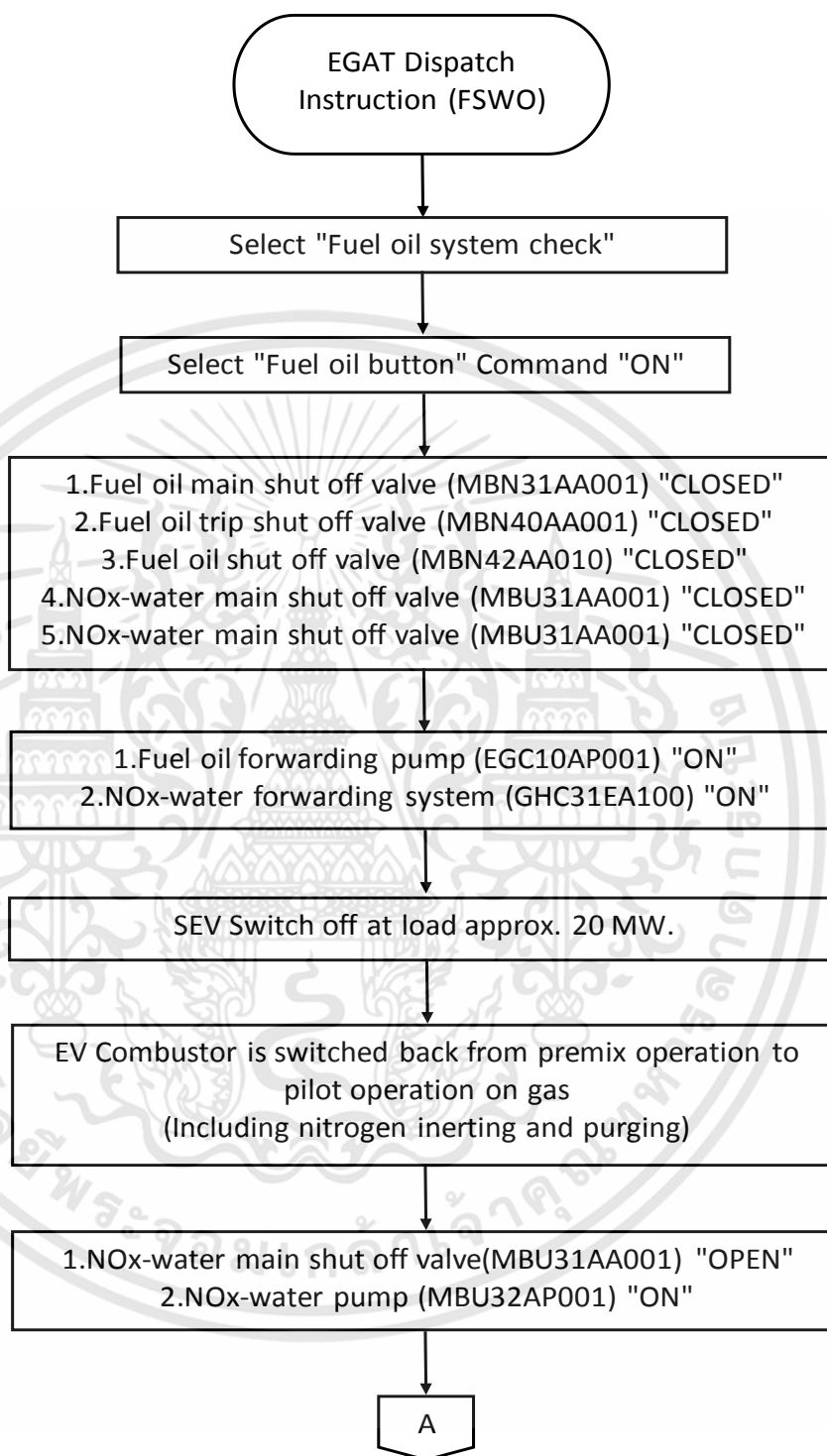
10. ทำ Condition ของ Steam เพื่อ Coupling Steam โดยดู Pressure ของ Steam (Pressure ต้องไม่ต่างกันมากเกินไปเกิน 2 bar) หาก Pressure ยังต่างกันอยู่ 1-2 bar ก็จะมี Control valve (Steam Turbine Main Control Valve) ทำหน้าที่ปรับให้ Pressure ให้เท่ากัน และอุณหภูมิของ Steam (อุณหภูมิต้องต่างกันไม่เกิน $\pm 50^{\circ}\text{C}$)

11. เมื่อ Condition Steam ได้ ให้ทำการ Coupling Steam Header และเพิ่มโหลด (MW Load) ตามการสั่งการของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT)

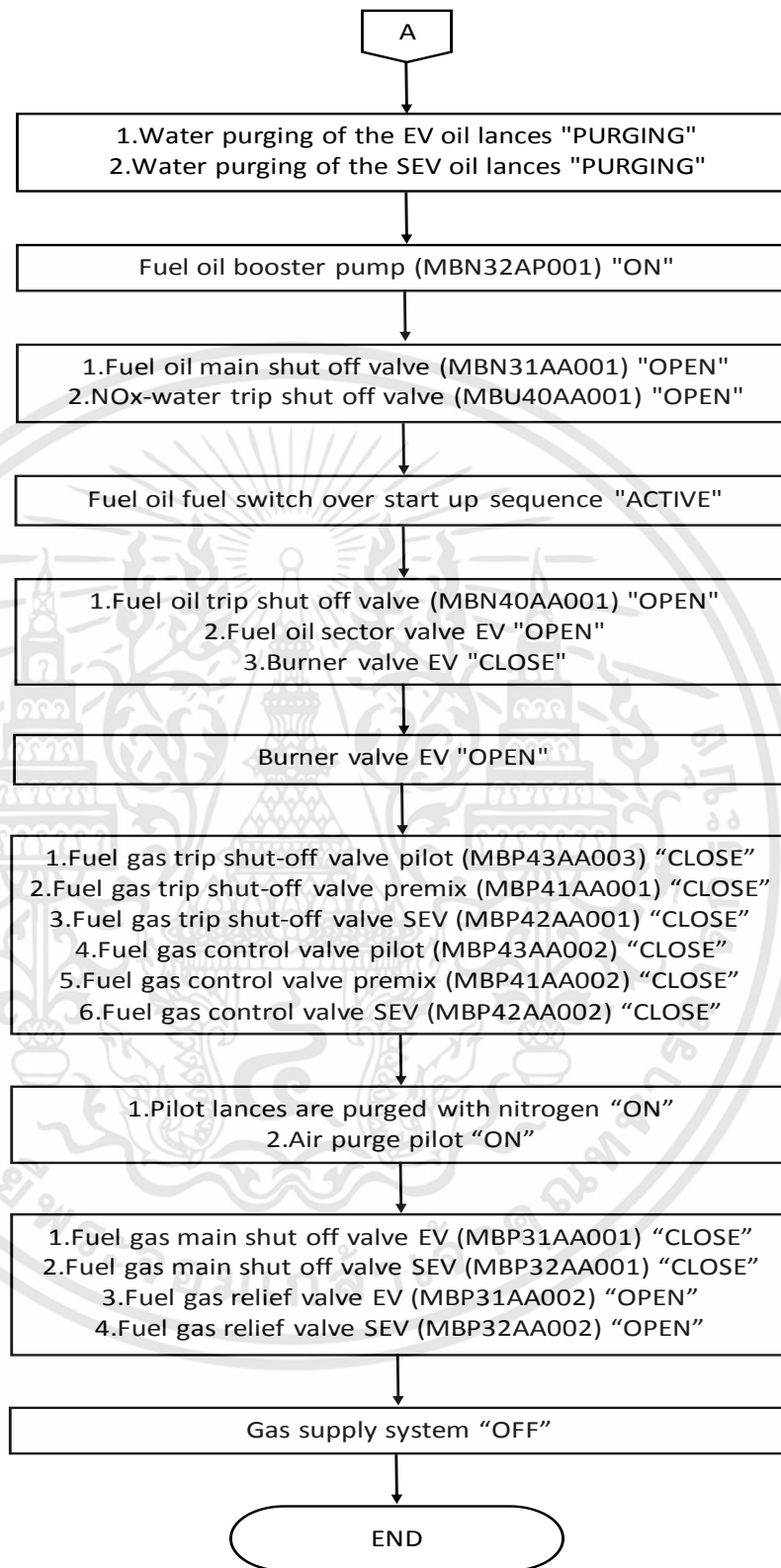
12. เมื่อขึ้นโหลดได้ตามที่กำหนด ให้ดำเนินการ “ON” Interface

13. ตรวจสอบ MW Load Export to EGAT, ยืนยันโหลดหลังจากยืนยัน MW Load Export to EGAT ที่ 30 นาที ใช้เวลาในการดำเนินการ รวม 100 นาที เป็นระยะเวลาในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงจาก Primary Fuel เป็น Secondary Fuel จำนวน 70 นาที และระยะเวลาขึ้นโหลด 30 นาที

3.3.2.1 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของ Fuel Switch Over (FSWO)



รูปที่ 3.6 แผนภาพลำดับขั้นตอนการทำงานของ Fuel Switch Over (FSWO)



รูปที่ 3.7 แผนภาพลำดับขั้นตอนการทำงานของ Fuel Switch Over (FSWO) (ต่อ)

3.3.3 ขั้นตอนในการเปลี่ยนเชื้อเพลิงกลับเป็นเชื้อเพลิงหลัก FSWB

1. เมื่อทางโรงไฟฟ้าได้รับการสั่งการจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (EGAT) โดยมีการสั่งการให้ โรงไฟฟ้า GPG-C1 ดำเนินการเปลี่ยนเชื้อเพลิงจาก Secondary Fuel เป็น Primary Fuel

ตัวอย่าง Receive DI 10/2016 FSWB Oil to Gas. IT= 14:50, RT = 16:00

2. “OFF” Interface

3. Manual “Decrease” Load จนกระทั่ง SEV Combustor “OFF” จากนั้นทำการ Uncoupling Steam Header โดยการสั่งปิดวาล์ว HP STM11 (11LBA50AA001) และ HP STM12 (12LBA50AA001)

4. จากนั้นคลิกเลือก Fuel Gas ระบบของ Gas Compressor ทำงาน

5. หลังจากที่เปลี่ยนเชื้อเพลิงจาก Oil เป็นเชื้อเพลิง Gas ที่ 100 % แล้ว SEV จะ “ON” จากนั้นทาง Operator ก็ดำเนินการขึ้นโหลด

6. เมื่อ Condition Steam ได้ และขึ้นโหลด (MW Load) แล้ว ก็จะทำ Coupling Steam Header

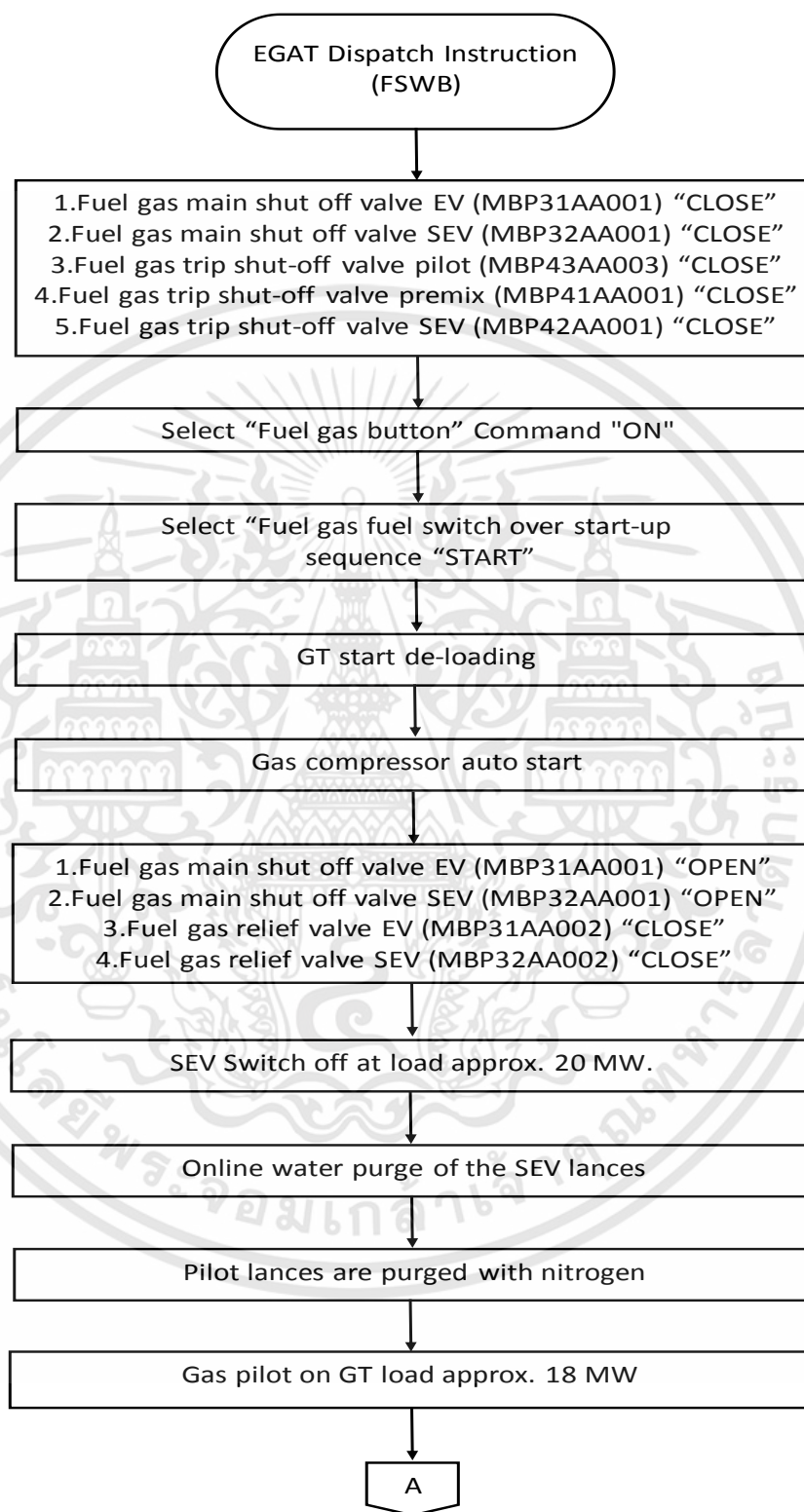
7. ดำเนินการ “ON” Interface

8. ตรวจสอบ MW Load Export to EGAT

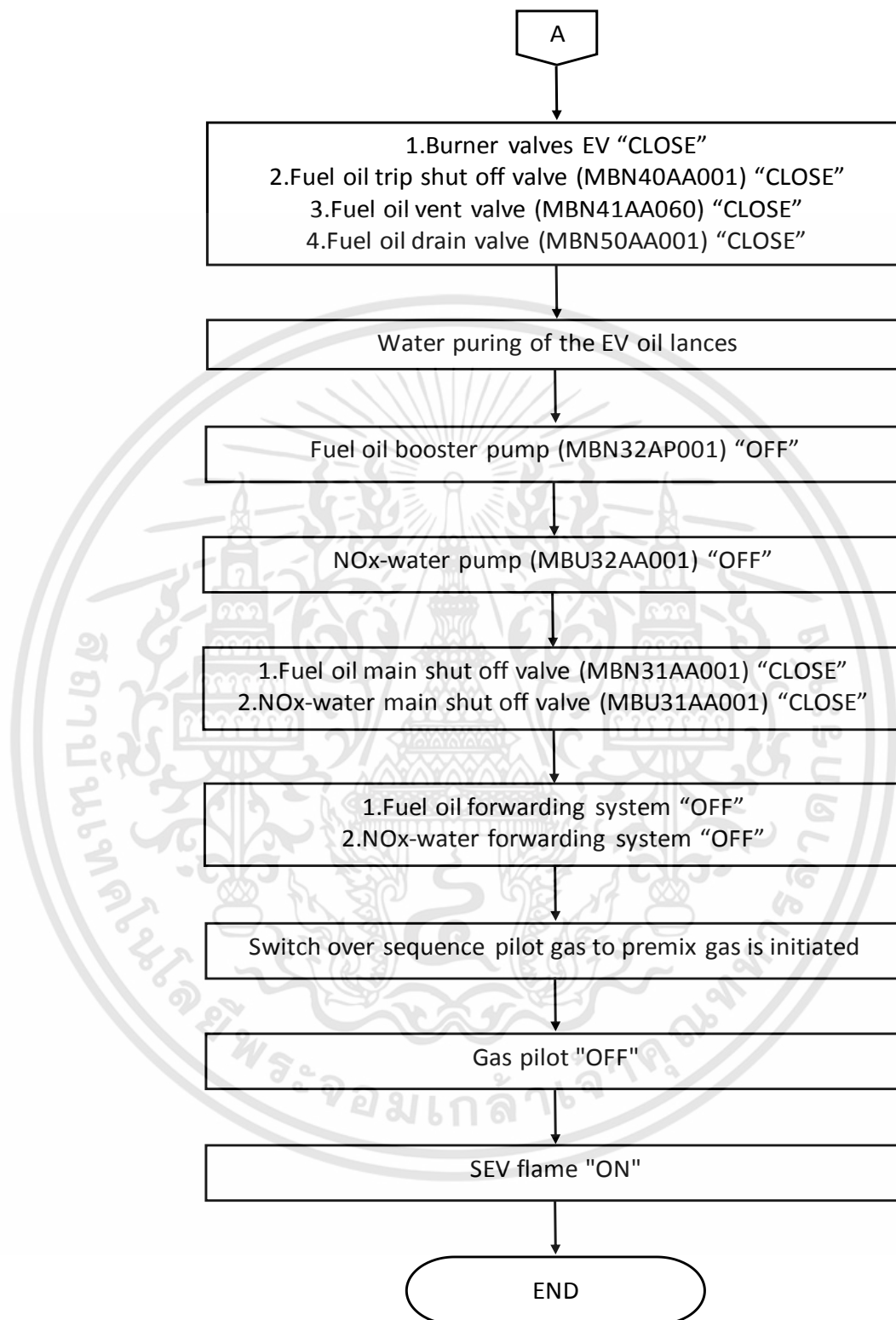
9. “ON” AGC Remote

ใช้เวลาในการดำเนินการ ประมาณ 70 นาที

3.3.3.1 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของ Fuel Switch Back (FSWB)



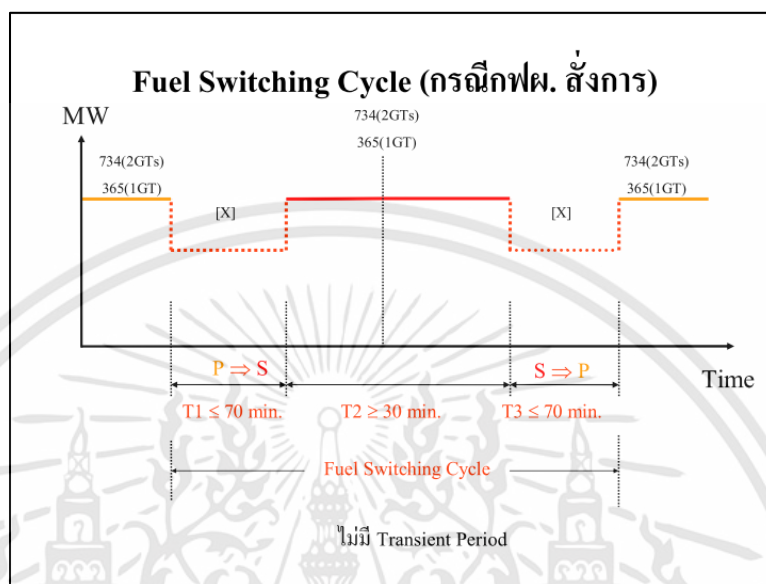
รูปที่ 3.8 แผนภาพลำดับขั้นตอนการทำงานของ Fuel Switch Back (FSWB)



รูปที่ 3.9 แผนภาพลำดับขั้นตอนการทำงานของ Fuel Switch Back (FSWB) (ต่อ)

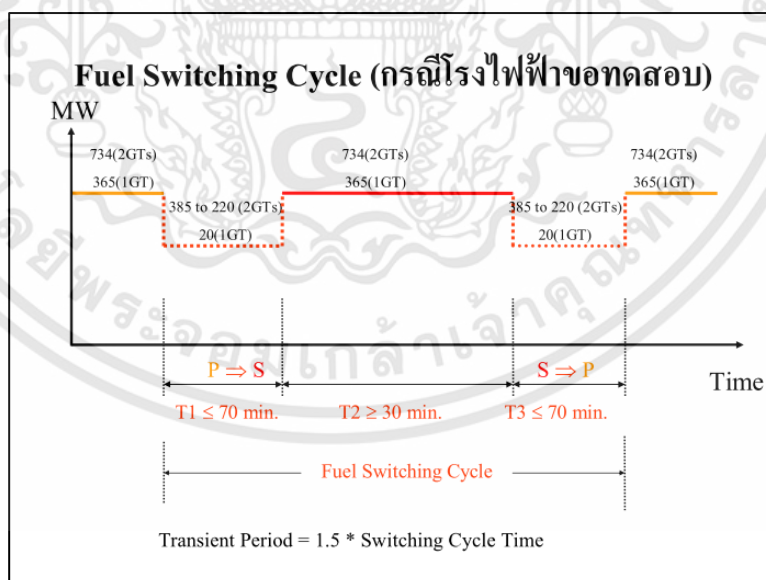
3.3.4 การทำ Fuel Switch Over (FSWO&FSWB) จะมีช่วงเวลาในการ Operate 2 แบบ

1. ทำโดยทางการไฟฟ้าฝ่ายผลิตสั่งการ ซึ่งจะมีการทดสอบ 3 ครั้งต่อ 1 unit ใน 1 ปี



รูปที่ 3.10 Fuel Switching Cycle (กรณีกฟผ. สั่งการ)

2. ทำโดยโรงไฟฟ้าเป็นผู้ขอทดสอบ ซึ่งอาจมาจากการซ่อมแล้วขอทดสอบหลังจากซ่อมเสร็จ



รูปที่ 3.11 Fuel Switching Cycle (กรณีโรงไฟฟ้าขอทดสอบ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ

นำข้อมูลที่ได้อาวิเคราะห์ด้วยวิธี FMEA โดยแยกแต่ละ Unit ดังนี้

ตารางที่ 3.3 FMEA จากเหตุการณ์ FSWO&FSWB ของกังหันก๊าซหน่วยที่ 11

ลำดับ	1	2	3	4
ชื่ออุปกรณ์ และ เหตุการณ์	Air Purge EV Pilot Failure Alarm. (18/11/2012)	ขณะที่ไหลของ กังหันก๊าซ140 MW Air Purge Premix Valve ไม่สามารถ เปิดได้ 100% (03/02/2013)	กังหันก๊าซปลดออกจากระบบจาก Flame EV off เป็นการเปลี่ยนสถานะการทำงาน ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนเชื้อเพลิง จากก๊าซธรรมชาติ เป็นเชื้อเพลิงน้ำมัน ดีเซล (14/03/2013)	Air Purge Pilot Valve ไม่เปิด (21/03/2013)
รหัส เครื่องจักร	11MBH71AA021	11MBH71AA011	11MBM11CR001	11MBH71AA022
ฟังก์ชันการทำงาน	การนำออกซิเจน ออกโดยใช้ ไนโตรเจน Purge ก่อนมีการเปลี่ยนเชื้อเพลิง	การนำออกซิเจน ออกโดยใช้ ไนโตรเจน Purge ก่อนมีการเปลี่ยนเชื้อเพลิง	เป็นการตรวจสอบ อุณหภูมิที่ห้องเผาไหม้หลังจากมีการจุดเชื้อเพลิงด้วย Ignition Torch	การนำออกซิเจน ออกโดยใช้ ไนโตรเจน Purge ก่อนมีการเปลี่ยนเชื้อเพลิง
โหมดการทำงาน	วาล์วต้องการเปิด	วาล์วต้องการเปิด	Flame ต้องการ "ON"	วาล์วต้องการเปิด
สาเหตุของการทำงานผิดพลาด	Guide Bushing ของความเสียหาย	ท่อลมที่จ่ายไปยัง วาล์วแตก เนื่องจากมีลมร้อนมากกระทบ	EV Pilot Control Valve ไม่คงที่	หน้าสัมผัสของ Ball ไม่เรียบ เกิดจากการกัดกร่อนของความชื้น
ผลกระทบ	ระบบหยุดทำงาน	ระบบหยุดทำงาน	ระบบหยุดทำงาน	ระบบหยุดทำงาน
ภาวะวิกฤติ	หยุดการทำงาน	หยุดการทำงาน	หยุดการทำงาน	หยุดการทำงาน

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

ลำดับ	1	2	3	4
ชื่ออุปกรณ์ และ เหตุการณ์	Air Purge EV Pilot Failure Alarm. (18/11/2012)	ขณะที่โหลดของกังหัน ก๊าซ140 MW Air Purge Premix Valve ไม่สามารถเปิด ได้ 100% (03/02/2013)	กังหันก๊าซปลดออก จากระบบจาก Flame EV off เป็นการเปลี่ยน สภาวะการทำงาน ก่อนที่จะมีการ เปลี่ยนเชื้อเพลิง จากก๊าซธรรมชาติ เป็นเชื้อเพลิงน้ำมัน ดีเซล (14/03/2013)	Air Purge Pilot Valve ไม่เปิด (21/03/2013)
อัตรา ความผิดพลาด	6.34196E-06	5.43596E-06	7.09039E-07	5.43596E-06
MTTF	18	21	N/A	21
การแก้ไข	นำวาล์วไปซ่อมที่ Shop ของ ผู้รับเหมา	เปลี่ยนท่อลมเป็นชนิด ใหม่จากเดิม PA: PolyAmide เป็นแบบ PTFE: PolyTetraFluoro Ethylene เพื่อให้สามารถทน อุณหภูมิได้สูงขึ้น	1. ทำการเพิ่ม Temp After Turbine (TAT1) เพื่อให้ทำการ เปลี่ยน Step ที่ อุณหภูมิสูงขึ้น 2. ปรับค่า Delay time ในการเปิด N2 Purge Valve 3. ทำการปรับค่า PID	นำ Ball มา Lapping และ เปลี่ยนชุด Soft Part ใหม่
สูญเสีย ค่าปรับ	0.748 ล้านบาท	0.760 ล้านบาท	1.165 ล้านบาท	1.165 ล้านบาท

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

ลำดับ	5	6	7
ชื่ออุปกรณ์ และ เหตุการณ์	Air Purge Pilot Valve ไม่เปิด (08/09/2013)	ระหว่างเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็น น้ำมันดีเซลกักกันก๊าซปลดออก จากระบบจาก Pressure SEV Combustor Increment Gradient > Max3 (14/09/2014)	Shut Off Valve NOx Water SEV ไม่เปิด (20/04/2015)
รหัส เครื่องจักร	11MBH71AA021	11MBX00EW123_XH03	11MBU42AA050
ฟังก์ชันการ ทำงาน	การนำออกซิเจนออก โดยใช้ในโตรเจน Purge ก่อนมีการ เปลี่ยนเชื้อเพลิง	Pressure SEV Combustor	Safety Shutoff Valve
โหมดการ ทำงาน	วาล์วต้องการปิด	แรงดันที่ SEV Combustor สูง	วาล์วต้องการเปิด
สาเหตุของ การทำงาน ผิดพลาด	1. Ball มีรอยกัด กร่อน 2. ด้านในตัววาล์วมี สนิม	1. พบว่า Command ในการ สั่งซ้ำ แนะนำให้เปิดก่อน 2. ค่า Load Set Point น้อย กว่า Load จริงหลังจาก SEV Burner Valve เปิดทำให้ SEV Burner Valve ปิด	โซลีนอยด์วาล์วเสีย
ผลกระทบ	ระบบหยุดทำงาน	ระบบหยุดทำงาน	ระบบหยุดทำงาน
ภาวะวิกฤติ	หยุดการทำงาน	หยุดการทำงาน	หยุดการทำงาน

ตารางที่ 3.3 (ต่อ)

ลำดับ	5	6	7
ชื่ออุปกรณ์ และ เหตุการณ์	Air Purge Pilot Valve ไม่เปิด (08/09/2013)	ระหว่างเปลี่ยนเชื้อเพลิงเป็น น้ำมันดีเซลกักกันก๊าซปลด ออกจากระบบจาก Pressure SEV Combustor Increment Gradient > Max3 (14/09/2014)	Shut Off Valve NOx Water SEV ไม่เปิด (20/04/2015)
อัตราความผิดพลาด	1.63079E-05	6.20409E-07	1.26839E-05
MTTF	7	N/A	9
การแก้ไข	เปลี่ยนอะไหล่ที่เป็นของผู้ผลิต ทดสอบ การเปิด-ปิดของวาล์ว (Stork Test Valve)	1. ลดค่า Set Point Mass Flow SEV Total (NOx Water and Fuel Oil) 2. เมื่อเดินด้วยน้ำมันดีเซล (Step SEV Burner Valve will opening), เมื่อ SEV Burner Valve เปิด ควร Key Load Set Point ตาม Load จริง	เปลี่ยน Solenoid Valve ใหม่
สูญเสียค่าปรับ	1.150 ล้านบาท	0.775 ล้านบาท	3.052 ล้านบาท

ตารางที่ 3.4 FMEA จากเหตุการณ์ FSWO&FSWB ของกังหันก๊าซหน่วยที่ 12

ลำดับ	1	2	3	4
ชื่ออุปกรณ์ และ เหตุการณ์	IP Drum HRSG12 Level High >MAX2 ส่งผลให้กังหันไอน้ำ Tripped (21/08/2011)	ที่โหลด 27 MW พบว่าSEV Combustor ไม่ "ON" (04/10/2011)	พบว่าที่ Flange Flow Transmitter ของ Combine Pump Block มี น้ำมันรั่ว (10/02/2013)	ขณะที่โหลดของ กังหันก๊าซ 28 MW ไม่สามารถเพิ่ม โหลดได้เนื่องจาก GT Load Limit Active. (24/03/2013)
รหัส เครื่องจักร	12HAD30FL901	-	12MBN32CF001	12MBU42AA001
ฟังก์ชันการทำงาน	Monitoring ระดับน้ำใน IP Drum	ห้องเผาไหม้ส่วน SEV	เป็นมอเตอร์ขับเคลื่อนที่ส่งน้ำมันและน้ำไปยังกังหันก๊าซ	เป็นลอจิกไดอะแกรมในการควบคุมโหลด (ในการขึ้น-ลงโหลดของกังหันก๊าซ)
โหมดการทำงาน	จากระดับน้ำที่สูงมาก	ต้องการ "ON"	ต้องการเดินมอเตอร์	ต้องการขึ้นโหลด
สาเหตุของการทำงานผิดพลาด	IP bypass Control Valve ไม่เปิดหลังจากได้รับคำสั่งทาง Operator จึง บังคับโดยการเปิด วาล์วทำให้ไม่สามารถควบคุมระดับของ IP Drum ได้	วาล์วไม่เปิด	พบว่ามือน้ำมันรั่วที่ Flange Flow Transmitter	1. ลอจิกของ "TAT1_ACT_SEV_FO_ON" และ TAT1_CMD_SEV_FO_ON" ไม่ตอบสนอง 2. Proximity Switch ของ NOx Water Control Valve เสีย
ผลกระทบ	ระบบหยุดทำงาน	ระบบหยุดทำงาน	ระบบหยุดทำงาน	ระบบหยุดทำงาน
ภาวะวิกฤติ	หยุดการทำงาน	หยุดการทำงาน	หยุดการทำงาน	หยุดการทำงาน

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

ลำดับ	1	2	3	4
ชื่ออุปกรณ์ และ เหตุการณ์	IP Drum HRSG12 Level High >MAX2 ส่งผลให้กังหัน ไอน้ำ Tripped (21/08/2011)	ที่โหลด 27 MW พบว่าSEV Combustor ไม่ "ON" (04/10/2011)	พบว่าที่ Flange Flow Transmitter ของ Combine Pump Block มี น้ำมันรั่ว (10/02/2013)	ขณะที่โหลดของกังหันก๊าซ 28 MW ไม่สามารถเพิ่ม โหลดได้เนื่องจาก GT Load Limit Active. (24/03/2013)
อัตรา ความผิด พลาด	7.61035E-06	9.92654E-07	N/A	2.3297E-06
MTTF	15	N/A	N/A	N/A
การแก้ไข	หลังจาก ตรวจสอบพบว่า I/P Converter Malfunction จึงทำการ เปลี่ยน I/P Converter ใหม่	ไม่พบบันทึก การแก้ไข	เปลี่ยนปะเก็นที่ หน้า Flange Flow Transmitter	1. ตรวจสอบลอจิกและ Simulate เพื่อทดสอบ 2. ปรับตั้ง proximity Switch ของ NOx Water Control Valve
สูญเสีย ค่าปรับ	4.10 MB	1.156 MB	0.812 MB	1.165 MB

ตารางที่ 3.4 (ต่อ)

ลำดับ	5	6	7
ชื่ออุปกรณ์ และ เหตุการณ์	Air Purge EV Pilot Valve ไม่เปิด (19/10/2014)	IP Drum level low ช่วง เปลี่ยนเชื้อเพลิงจาก Gas เป็นน้ำมันดีเซล (29/03/2015)	Air Purge Pilot SOV วาล์วปิด แล้ว แต่ Feedback ของวาล์ว ไม่ส่งไปที่ DCS (02/05/2015)
รหัส เครื่องจักร	12MBH71AA021	12MBN40AA002	12MBH71AA021
ฟังก์ชันการทำงาน	การนำออกซิเจน ออกโดยใช้ ไนโตรเจน Purge ก่อนมีการเปลี่ยน เชื้อเพลิง	ควบคุมระดับน้ำใน Drum	ควบคุมการทำงานของ Air Purge Valve
โหมดการทำงาน	ต้องการเปิด	ระดับของ Drum ไม่ปกติ	ส่งสถานะของวาล์วไปยัง DCS
สาเหตุของ การทำงาน ผิดพลาด	หัวขับของ Air Purge Valve ติดขัด	Positioner IP Bypass Control valve ไม่ ตอบสนองต่อการสั่งการ	Transformer Isolated Amplifier ไม่ส่งสถานะของ วาล์วไปยัง DCS ในขณะที่วาล์ว ปิดแล้ว
ผลกระทบ	ระบบหยุดทำงาน	ระบบหยุดทำงาน	ระบบหยุดทำงาน
ภาวะวิกฤติ	หยุดการทำงาน	หยุดการทำงาน	หยุดการทำงาน
อัตรา ความผิด พลาด	3.80518E-05	4.22797E-06	3.80518E-05
MTTF	3	27	3
การแก้ไข	เปลี่ยนหัวขับของ Air Purge Valve	ปรับตั้ง Positioner ของ IP Bypass Control Valve จาก 6% เป็น 3%	เปลี่ยน Transformer Isolated Amplifier และ Proximity Sensor
สูญเสีย ค่าปรับ	0.775 MB	2.85 MB	3.00 MB

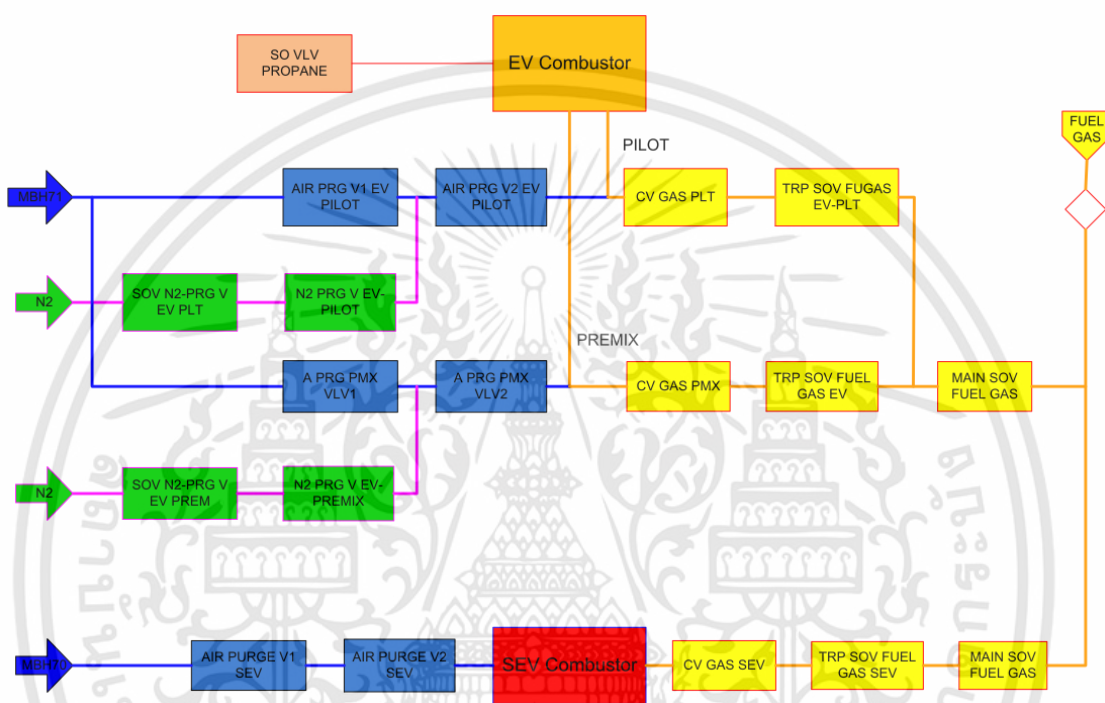
ตารางที่ 3.5 FMEA จากเหตุการณ์ FSWO&FSWB ของกังหันก๊าซหน่วยที่ 21

ลำดับ	1	2	3
ชื่ออุปกรณ์ และ เหตุการณ์	Flame EV TRIP Active Alarm (09/03/2014)	Flame EV TRIP Active Alarm (16/03/2014)	แวกคัมเซอร์กิตเบรกเกอร์ของ มอเตอร์ Combine Pump Block ไม่ทำงาน (17/05/2015)
รหัสเครื่องจักร	N/A	N/A	21MBN01AU001
ฟังก์ชันการทำงาน	ห้องเผาไหม้ส่วน EV	ห้องเผาไหม้ส่วน EV	เป็นอุปกรณ์ตัดตอนของ มอเตอร์ ที่มีแรงดันระดับปาน กลาง
โหมดการทำงาน	ต้องการ “ON”	ต้องการ “ON”	ต้องการเดินมอเตอร์
สาเหตุของการ ทำงานผิดพลาด	Flame off จากอุณหภูมิไม่คงที่ขณะ (TAT HPT Average temperature drop during Pilot increasing and Premix decreasing)		Electrical Latching Module ของแวกคัมเซอร์กิตเบรกเกอร์ ของมอเตอร์ Combine Pump Block เสีย
ผลกระทบ	ระบบหยุดทำงาน		ระบบหยุดทำงาน
ภาวะวิกฤติ	หยุดการทำงาน		หยุดการทำงาน
อัตราความผิดพลาด	1.4825E-06		N/A
MTTF	N/A		N/A
การแก้ไข	ปรับตั้ง Temperature Control ของ EV Fuel Demand		เปลี่ยน Electrical Latching Module
สูญเสียค่าปรับ	1.12 MB		0.84 MB

FMEA จากเหตุการณ์ FSWO&FSWB ของกังหันก๊าซหน่วยที่ 22 ไม่มีเหตุการณ์ที่เครื่องจักร หรือ อุปกรณ์ทำงานผิดพลาด โรงไฟฟ้าสามารถดำเนินการตามการสั่งการของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้ทุกครั้ง

3.3.6 การปรับปรุงการนำเสนองานบำรุงรักษาของ Air Purge Valve

จากสถิติการทำงานผิดพลาดของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์พบว่ามาจาก Air Purge Valve เป็นส่วนใหญ่ ในงานวิจัยนี้จึงทำการปรับปรุงระบบของ Air Purge Valve เป็นหลัก เพื่อลดปัญหาของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์เป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ และลดการสูญเสียค่าปรับจากการทำงานผิดพลาดของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ให้แก่โรงไฟฟ้า



รูปที่ 3.12 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของ Air Purge Valve ในส่วนของ Fuel Gas จากหน้าจอ DCS



รูปที่ 3.13 ตำแหน่งการติดตั้ง Air Purge Valve ในโรงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 ลักษณะของ Actuator and Air Purge Valve ที่ใช้ในระบบ Gas

หลักการทำงานของ Air Purge Valve

ทำหน้าที่ในการ Purge อากาศก่อนที่จะมีการเปลี่ยนเชื้อเพลิง (ก๊าซธรรมชาติเป็นน้ำมันดีเซล หรือน้ำมันดีเซลเป็นก๊าซธรรมชาติ) และทำหน้าที่ Purge อากาศช่วง Ignition Speed ที่ 900 rpm. (ที่ความเร็วรอบของกังหันก๊าซ 3,000 รอบ/นาที)

จากการศึกษาปัญหาของ Air Purge Valve สามารถแยกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

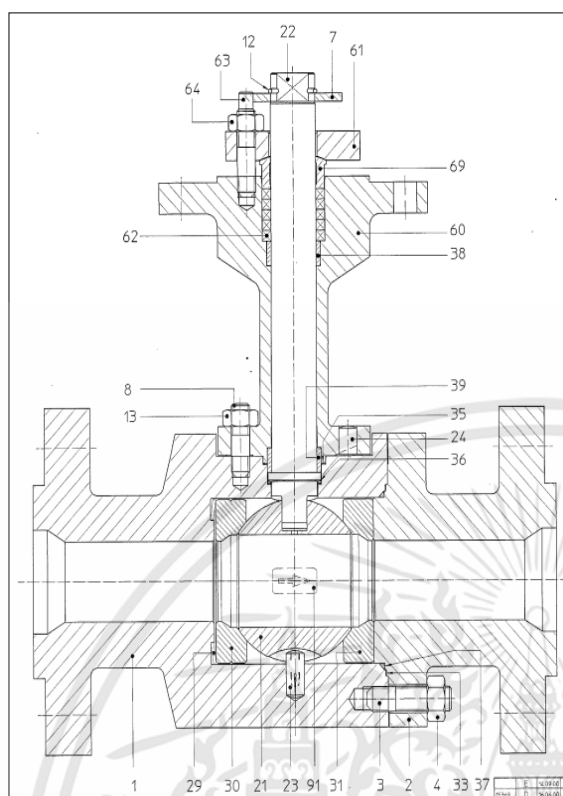
1. ปัญหาจาก Ball Valve เป็นสนิม ทำให้วาล์วติดขัด
2. ปัญหาจาก Transformer Isolated Amplifier

จากปัญหาข้างต้นดังกล่าว ได้ทำการศึกษาวิธีการในการบำรุงรักษาเพื่อลดการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ เพื่อให้ระบบมีความน่าเชื่อถือดีขึ้น โดยแยกตามปัญหาที่พบดังนี้

1. ปัญหาจาก Ball Valve เป็นสนิม ทำให้วาล์วติดขัด



รูปที่ 3.15 ตำแหน่งของ Ball ที่ได้รับความเสียหาย



Drw-Pos	Order-Pos	Designation	Qty
	999	Ball valve FK79 DN 2"	1
	998	Spare parts set, Pos. 33, 35, 37, 62	1
1	1	Body 1	1
2	2	Body 2	1
3	3	Stud	7
4	4	Hexagon nut	7
7	7	Stop disk	1
8	8	Stud	5
12	12	Snap ring	1
13	13	Hexagon nut	5
21	21	Ball	1
22	22	Stem	1
24	24	Pin	2
29	29	Belleville washer	4
31	31	Sealing ring	2
33	33	Sealing ring	1
35	35	Sealing ring	1
37	37	Sealing ring	1
38	38	Bushing	2
44	44	Druckring	2
45	45	Sealing ring	2
60	60	Stuffing box	1
61	61	Gland adjustment	1
62	62	Sealing ring	5
63	63	Stud	2
64	64	Hexagon nut	2
69	69	Thrust ring	1

รูปที่ 3.16 ด้านซ้ายเป็นภาพตัดของ Air Purge Valve ส่วนด้านขวาเป็นรายละเอียดของวาล์ว

การแก้ไข (วิธีการเดิมก่อนการปรับปรุง)

จากสถิติการทำงานผิดพลาดของ Air Purge Valve ได้จำแนกงานซ่อมตามรายการด้านล่าง

1. Lapping ball and seat, replace bushing and sealing ring (Material: Graphite+PTFE)
2. Replace new ball valve
3. Replace soft part new OEM valve (Material: Graphite)
4. Take out ball valve to furnishing and lubricant
5. Replace the new ball valve "ARGUS" (Include replace gasket, Material: THERMa PURE)

จากวิธีงานซ่อม Air Purge Valve ดังกล่าวที่ทางหน่วยงานซ่อมบำรุงพยายามศึกษา และแก้ไขเพื่อลดปัญหาการทำงานผิดพลาดของวาล์ว แต่ปัญหาการติดขัดของวาล์วก็ยังคงมีอยู่

การปรับปรุงงานซ่อมบำรุงรักษา

จากปัญหาของการติดขัดของวาล์ว (Air Purge Valve) ซึ่งสาเหตุหลักมาจากความชื้นในตัววาล์ว ทางโรงไฟฟ้าได้มีการกำหนดให้มีการ Manual Drain Valve เพื่อนำน้ำที่อยู่ในระบบออกและมีการทดสอบการเปิด-ปิดของ Air Purge Valve โดยมีความถี่ในการทดสอบทุก ๆ วัน และเมื่อพบปัญหาการติดขัดของวาล์วก็แจ้งทางฝ่ายซ่อมบำรุงเข้าไปตรวจสอบและแก้ไข พร้อมกับทดสอบการทำงานซ้ำ จึงทำให้ช่วยลดปัญหาวาล์วติดขัดได้



รูปที่ 3.17 การทดสอบ Air purge valve

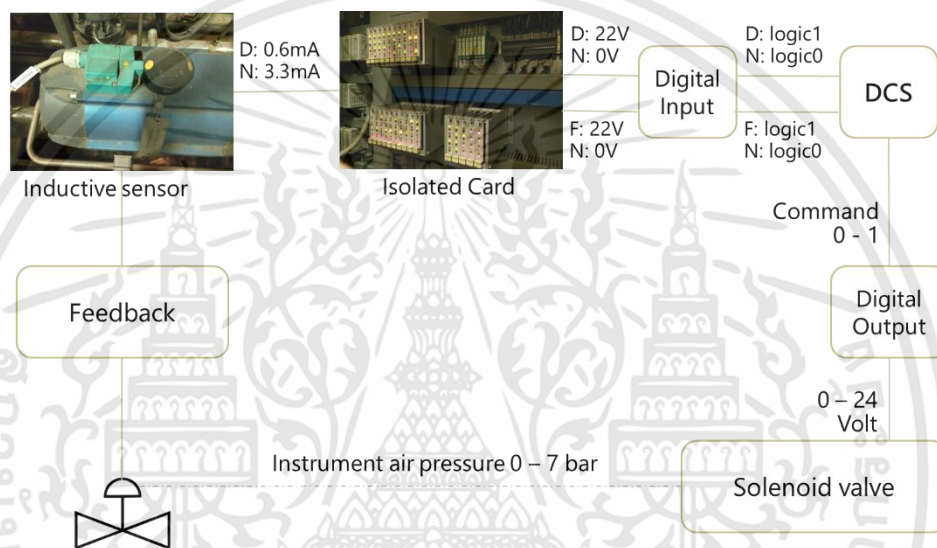
2. ปัญหาจาก Transformer Isolated Amplifier



รูปที่ 3.18 Transformer Isolated Amplifier

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทำงานของ Transformer Isolated Amplifier ตามรูปที่ 3.19 เมื่อ Solenoid Valve ได้รับสัญญาณจาก DCS จะไปควบคุมการทำงานของ Air Purge Valve ที่ Actuator จะมี Proximity Sensor (ชนิด Inductive Sensor) ทำหน้าที่ตรวจจับการเคลื่อนตัวของก้านวาล์ว เมื่อตรวจจับได้จะส่งข้อมูลไปยัง Transformer Isolated Amplifier ก็จะมี Feedback ส่งกลับไปยัง DCS แต่ถ้าระบบไม่เห็น Feedback ของวาล์วในขณะที่วาล์วทำงานไปแล้ว (วาล์วปิดแล้ว แต่ Feedback ยังแสดงวาล์วเปิดอยู่) ซึ่งในสภาวะการทำงาน Air Purge Valve ต้องปิดเมื่อใช้ก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิง เมื่อระบบมองว่า Air Purge Valve ไม่ปิดจึงทำให้เครื่องกักกันก๊าซหยุดการทำงาน (Tripped)



รูปที่ 3.19 Loop ของการทำงานของ Transformer Isolated Amplifier

การแก้ไข (วิธีการเดิมก่อนการปรับปรุง)

1. เมื่อ Transformer Isolated Amplifier เสีย ทำการเปลี่ยนโดยใช้อะไหล่ (Spare Part) จาก Store
2. ทำการทดสอบการเปิด-ปิดของวาล์ว และสังเกตการณ์ทำงานของ Transformer Isolated Amplifier

การปรับปรุงงานซ่อมบำรุงรักษา

จากปัญหาของ Transformer Isolated Amplifier ดังกล่าวพบว่าวิธีการบำรุงรักษาแบบเดิมยังคงมีความเสี่ยงกับระบบอยู่ หาก Card เสีย สภาวะการทำงานของวาล์วจะไม่ตรงกับการทำงานจริง ส่งผลให้เครื่องกักกันก๊าซหยุดทำงาน จึงมีวิธีการปรับปรุงบำรุงรักษาการตรวจสอบ ดังนี้

1. ทำการศึกษาและตรวจสอบอุปกรณ์ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำงานของวาล์ว

2. เมื่อพบว่า Transformer Isolated Amplifier เสียจึงได้มอบหมายงานให้นักศึกษาฝึกงาน ประดิษฐ์เครื่องสำหรับใช้ในการทดสอบ Transformer Isolated Amplifier ในระหว่างเครื่องหยุดการผลิต (Major Overhaul) โดยมีพี่เลี้ยงเป็นวิศวกรของบริษัทให้คำแนะนำ และร่วมทดสอบ ตามรูปที่ 3.20

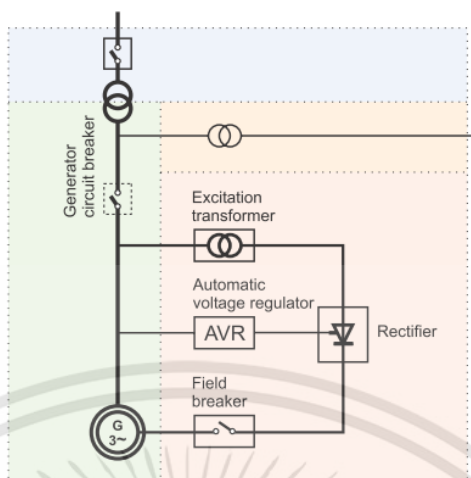


รูปที่ 3.20 เครื่องมือในการทดสอบ Transformer Isolated Amplifier

	P10	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1		Time	Index	Sensor	Fault1	Fault2	Fault3	Fault4	Output1	Output2	Output3	Output4	Current1	Current2	Current3	Current4				
2		17:06:08	1.00	D	0	0	0	0	22.36	22.4	22.36	22.36	0.61	0.63	0.61					
3		17:06:08	2.00	D	0	0	0	0	22.31	22.4	22.36	22.38	0.61	0.61	0.61					
4		17:06:09	3.00	D	0	0	0	0	22.33	22.38	22.36	22.33	0.6	0.61	0.61					
5		17:06:09	4.00	D	0	0	0	0	22.26	22.33	22.31	22.31	0.61	0.62	0.61					
6		17:06:09	5.00	D	0	0	0	0	22.31	22.36	22.38	22.4	0.61	0.61	0.61					
7		17:06:09	6.00	D	0	0	0	0	22.31	22.4	22.36	22.38	0.6	0.62	0.61					
8		17:06:09	7.00	D	0	0	0	0	22.33	22.4	22.36	22.36	0.6	0.61	0.61					
9		17:06:09	8.00	D	0	0	0	0	22.31	22.38	22.33	22.33	0.61	0.61	0.6					
10		17:06:09	9.00	D	0	0	0	0	22.36	22.33	22.29	22.31	0.6	0.61	0.6					
11		17:06:09	10.00	D	0	0	0	0	22.36	22.4	22.33	22.38	0.6	0.62	0.61					
12		17:06:09	11.00	D	0	0	0	0	22.4	22.4	22.31	22.31	0.6	0.62	0.61					
13		17:06:09	12.00	D	0	0	0	0	22.29	22.36	22.33	22.33	0.61	0.61	0.61					
14		17:06:09	13.00	D	0	0	0	0	22.33	22.38	22.36	22.36	0.61	0.61	0.61					
15		17:06:10	14.00	D	0	0	0	0	22.33	22.38	22.33	22.36	0.6	0.62	0.6					
16		17:06:10	15.00	D	0	0	0	0	22.33	22.4	22.36	22.36	0.6	0.62	0.61					
17		17:06:10	16.00	D	0	0	0	0	22.33	22.4	22.33	22.38	0.61	0.61	0.61					
18		17:06:10	17.00	D	0	0	0	0	22.36	22.48	22.36	22.33	0.6	0.62	0.6					
19		17:06:10	18.00	D	0	0	0	0	22.29	22.36	22.31	22.33	0.6	0.63	0.6					
20		17:06:10	19.00	D	0	0	0	0	22.33	22.38	22.36	22.36	0.61	0.62	0.6					
21		17:06:10	20.00	D	0	0	0	0	22.33	22.38	22.36	22.36	0.6	0.62	0.6					
22		17:06:10	21.00	D	0	0	0	0	22.36	22.4	22.36	22.36	0.61	0.63	0.61					
23		17:06:10	22.00	D	0	0	0	0	22.36	22.4	22.36	22.38	0.6	0.61	0.61					
24		17:06:10	23.00	D	0	0	0	0	22.4	22.4	22.33	22.33	0.61	0.62	0.6					
25		17:06:11	24.00	D	0	0	0	0	22.29	22.33	22.31	22.33	0.6	0.61	0.61					
26		17:06:11	25.00	D	0	0	0	0	22.33	22.38	22.33	22.36	0.6	0.61	0.6					
27		17:06:11	26.00	D	0	0	0	0	22.33	22.4	22.33	22.33	0.61	0.62	0.61					
28		17:06:11	27.00	D	0	0	0	0	22.36	22.38	22.36	22.36	0.6	0.61	0.6					
29		17:06:11	28.00	D	0	0	0	0	22.31	22.38	22.4	22.4	0.6	0.63	0.61					
30		17:06:11	29.00	D	0	0	0	0	22.33	22.33	22.29	22.31	0.6	0.63	0.6					

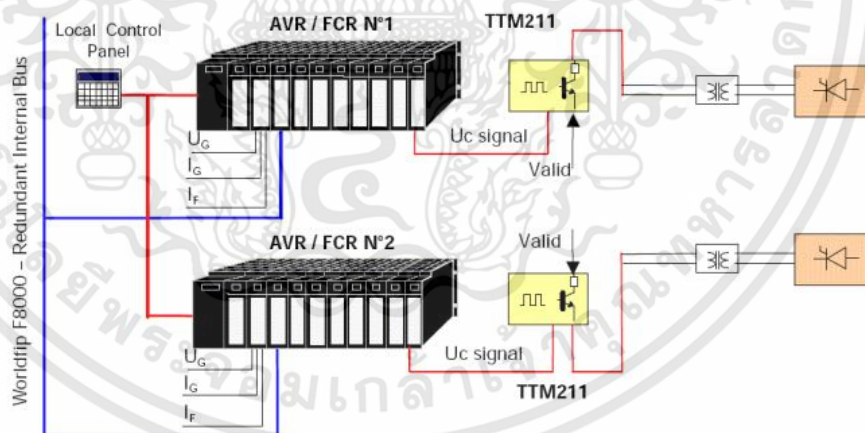
รูปที่ 3.21 ผลจากการทดสอบในรูปแบบ Excel File

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



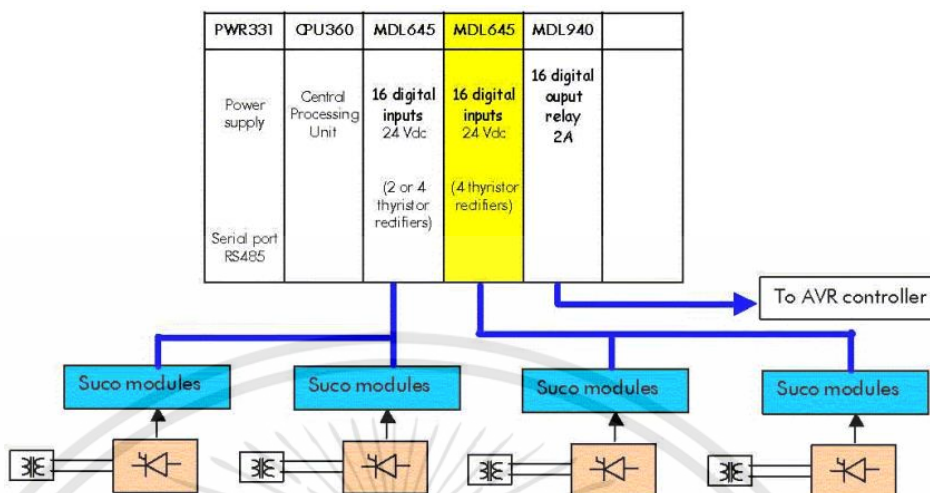
รูปที่ 3.23 ไดอะแกรมของระบบ Static Excitation

ระบบ Static Excitation แบบนี้จะติดตั้งอยู่กับที่ไม่หมุนไปกับ Rotor ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การควบคุมกระแสที่จ่ายให้ Field Coil จะใช้ Rectifier ชนิดที่สามารถควบคุมได้ (SCR-Semiconductor Controlled Rectifier หรือ Thyristor) แทน และใช้แหล่งจ่าย (Power Source) จาก Station Service หรือ Generator Bus ผ่าน Step Down Transformer ลดแรงดันลงมาให้เหมาะสมกับ Rectifier ตาม IEEE Standard 421-1972



รูปที่ 3.24 ระบบ Excitation แบบ Redundancy

จากรูปที่ 3.24 ระบบ Excitation Control ที่ทางโรงไฟฟ้าใช้งานในปัจจุบันถูกออกแบบเป็นแบบระบบสำรอง (Redundancy) ประกอบด้วย PLC Excitation 2 Channel, Automatic Voltage Regulator(AVR) 2 ชุด , Rectifier 2 ชุด การทำงานจะทำงาน 1 ชุด และสำรอง 1 ชุด (Standby) เมื่อเกิด Fault ที่ Channel ที่ทำงานอยู่ จะสลับไปใช้อีก Channel แบบอัตโนมัติ (Automatic Mode)



รูปที่ 3.25 การทำงานของชุด Rectifier

การควบคุมระบบ Excitation บนพื้นฐานของ Automatic Voltage Regulator (AVR) ซึ่งควบคุมการทำงานของ Thyristor Bridges และ Field Current ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เมื่อ Thyristor Bridges นำกระแสจะมีอุปกรณ์ตรวจจับกระแส (Conduction Monitoring Sensor) จากรูปที่ 3.25 เรียกว่า Suco Module ทำหน้าที่ในการส่ง 24 VDC ไปยัง Digital Input Cards (MDL645) จากนั้น Digital Output Relay จะส่งข้อมูลต่อไปยัง AVR

จากการศึกษาข้อมูลของการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์พบว่าโดยส่วนใหญ่มาจากอุปกรณ์ตรวจจับกระแส (Conduction Monitoring Sensor) สามารถแจกแจงได้ตามตารางด้านล่างนี้

ตารางที่ 3.6 สถิติความผิดพลาดของอุปกรณ์ตรวจจับกระแส

วัน เดือน ปี	รหัสเครื่องจักร	รายการ	สาเหตุ
08/04/2560	22CUA	ชุด Rectifier 1 ไม่พร้อมทำงาน	อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไม่ทำงาน
23/08/2558	28CUA	ST 28 Rectifier 4 ไม่พร้อมทำงาน	อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไม่ทำงาน
02/01/2558	28CUA	ST 28 Rectifier 2 ไม่พร้อมทำงาน	อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไม่ทำงาน

ตารางที่ 3.6 (ต่อ)

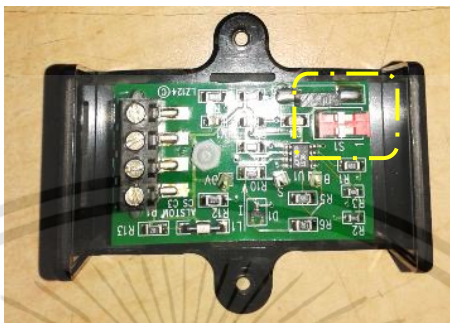
วัน เดือน ปี	รหัส เครื่องจักร	รายการ	สาเหตุ
23/06/2557	11CUA	Gas Turbine Unit 11 ปลดออก จากระบบ	ระบบ Excitation ไม่ทำงาน ทั้ง 2 Channel โดย ch.1 อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไม่ ทำงาน และ ch.2 PLC หยุด ทำงาน
19/05/2557	28CUA	ST 28 Rectifier 4 ไม่พร้อมทำงาน	อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไม่ ทำงาน
11/11/2555	12CUA	GT12 Rectifier 2 ไม่พร้อมทำงาน	อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไม่ ทำงาน
08/05/2554	28CUA	ST 28 Rectifier 1 ไม่พร้อมทำงาน	อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไม่ ทำงาน
25/02/2554	28CUA	ST 28 Rectifier 1 ไม่พร้อมทำงาน	อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไม่ ทำงาน
08/09/2552	18CUA	ST 18 Rectifier 1 ไม่พร้อมทำงาน	อุปกรณ์ตรวจจับกระแสไม่ ทำงาน
23/12/2550	18CUA	ST 18 Rectifier 4 ไม่พร้อมทำงาน	สายไฟช็อตลงกราวด์

จากการศึกษาพบว่าอุปกรณ์ตรวจจับกระแสสามารถปรับตั้งให้ทำงานที่กระแสไหลผ่านอุปกรณ์ได้ 4 ระดับ ตามตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.7 การปรับตั้ง Dip Switch ของอุปกรณ์ตรวจจับกระแส

ตำแหน่งสวิตช์ที่ 1	ตำแหน่งสวิตช์ที่ 2	กระแส (Ampere)
ปิด	ปิด	80
เปิด	ปิด	160
ปิด	เปิด	230
เปิด	เปิด	320

จากรูปที่ 3.26 แสดงอุปกรณ์ตรวจจับสนกระแส และตำแหน่งของสวิทช์ของ Dip Switch ซึ่งถูกปรับตั้งที่ตำแหน่งปิด (OFF) ทั้งคู่แสดงว่าอุปกรณ์ตรวจจับสนกระแสตัวนี้จะทำงานเมื่อมีกระแสไหลผ่านที่ 80 A.



รูปที่ 3.26 ตำแหน่งของ Dip Switch ของอุปกรณ์ตรวจจับสนกระแส

3.4.2 การวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ

ตารางที่ 3.8 เหตุการณ์ความผิดพลาดของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ในระบบ Excitation

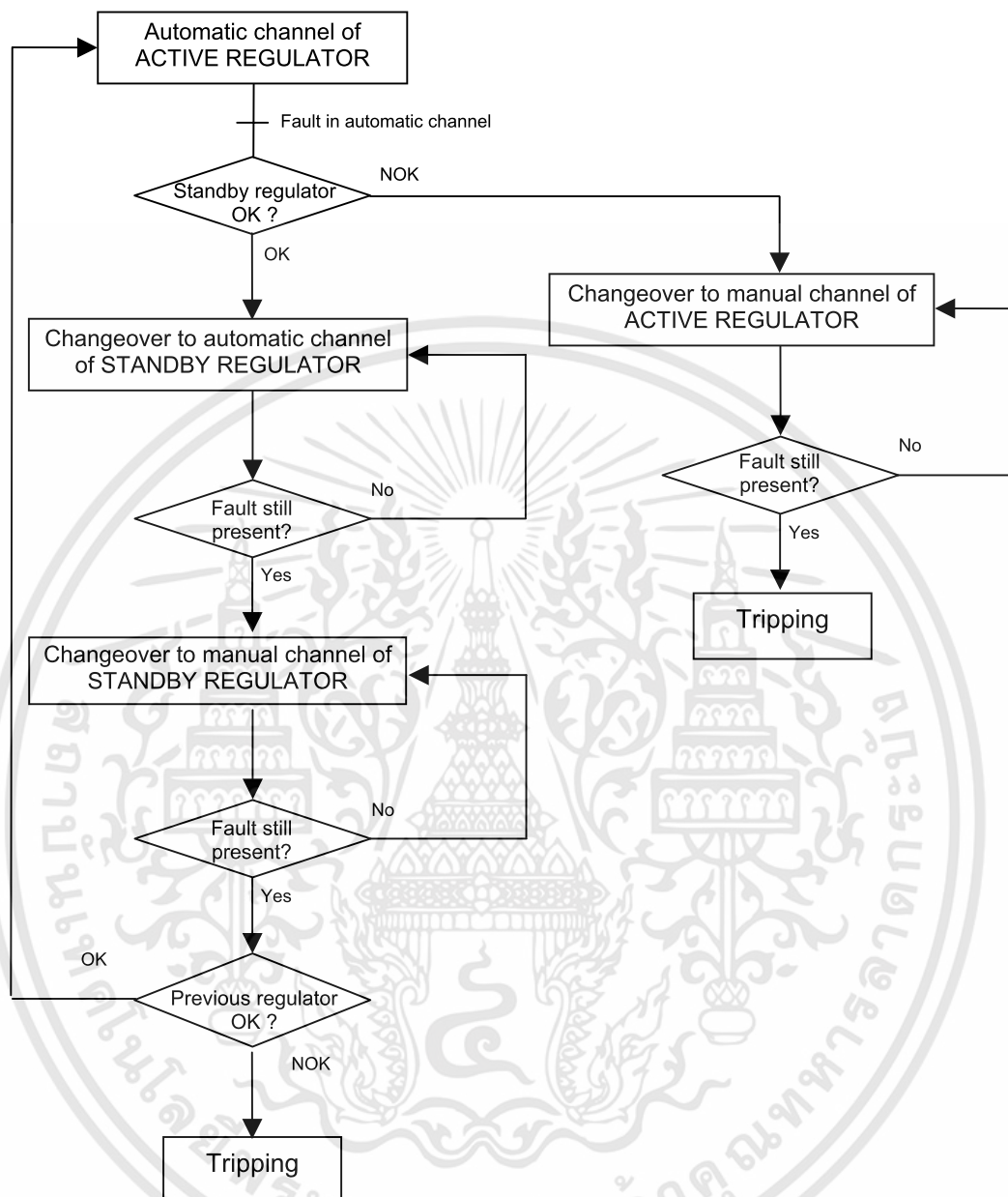
รายการ	ลักษณะ
ชื่อกระบวนการ	Gas Turbine and Steam Turbine Excitation
ชื่ออุปกรณ์	PLC Excitation
ฟังก์ชันการทำงาน	ควบคุมการจ่ายไฟกระแสตรงให้ Field Coil
โหมด	CPU stop running and conduct monitoring module fail
สาเหตุ	PLC Channel 2 หยุดทำงานเนื่องจาก CPU cards เสียและ PLC Channel 1 ไม่ทำงานเนื่องจากอุปกรณ์ตรวจจับสนกระแส (Conduction Monitoring Sensor) เสีย
ผลกระทบ	เครื่องกักกันก๊าซปลดออกจากระบบ
ภาวะวิกฤต	หยุดการทำงานของอุปกรณ์ (Safe)
จำนวนครั้ง	2 ครั้ง (ปี 2557 = 2 ครั้ง) อัตราความผิดพลาด = 1.29722E-06 and 1.48254E-06 ต่อชั่วโมง
หมายเหตุ	อุปกรณ์ลงมติ 1๐๐2

ตารางที่ 3.9 ลำดับขั้นตอนในการแก้ไขเมื่อเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ทำงานผิดพลาด

ลำดับ	เปลี่ยนอุปกรณ์ตรวจจับกระแส (Conduction Monitoring Sensor) และเช็ค PLC ด้วย Laptop				
	ลำดับขั้นการแก้ไข	วิธีเดิม	วิธีลด ความเค้น ของ อุปกรณ์	วิธีใช้ อุปกรณ์ หลากหลาย	วิธี ปรับปรุง ให้แข็งแรง ขึ้น
1	ปิดแหล่งจ่ายไฟที่จ่ายให้กับระบบ PLC แล้ว เปิดขึ้นมาใหม่ (ยังคงมี Alarm ค้างอยู่)	✓			
2	นำ Laptop มาต่อเข้ากับ Communication Port ของ PLC แล้ว เคลียร์ Fault ของ IO& PLC , Upload Program ไปยัง PLC ใหม่	✓			
3	เปลี่ยนอุปกรณ์ตรวจจับกระแสใหม่				✓
4	ทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับกระแส (Inject AC current)	✓			
5	ทดสอบการใช้งานของ PLC ทั้ง 2 ชุด	✓			
6	ซ่อมระบบปรับอากาศในห้องให้สามารถใช้งานได้ทั้ง 2 ตัว (เนื่องจากความร้อนมีผลต่อการหยุดทำงานของ PLC)			✓	✓

ในการปรับปรุงระบบ Excitation เพื่อลดปัญหาการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ไม่ให้เกิดซ้ำ และไม่ให้เกิดเหตุการณ์การทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ต่อเนื่องกัน หรือเรียกว่าความผิดพลาดร่วมของอุปกรณ์ (Common Cause Failure) จนทำให้โรงไฟฟ้าหยุดการทำงาน (Trip) จึงได้ทำการศึกษาการทำงาน ของระบบ Excitation และรวบรวมข้อมูลการทำงานผิดพลาดของเครื่องจักรและอุปกรณ์ ซึ่งพบว่าการทำงานผิดพลาดของระบบส่วนใหญ่มาจาก “อุปกรณ์ตรวจจับกระแส (Conduction Monitoring Sensor)” และระบบ PLC ตามลำดับ และจากการศึกษาระบบพบว่าระบบ Excitation จะหยุดทำงานก็ต่อเมื่ออุปกรณ์มีการทำงานผิดพลาดต่อเนื่อง จากการทำงานผิดพลาดของเครื่องจักรหรืออุปกรณ์จากครั้งแรกที่ยังค้างอยู่ เช่น เมื่อชุด Excitation Channel 1 เกิดทำงานผิดพลาด แล้วชุด Excitation Channel 2 ก็เกิดทำงานผิดพลาดซ้ำ จะทำให้เครื่องกักกันก๊าซหยุดการทำงานทันที เรียกว่า Loss of Excitation ดังรูปที่ 3.27 แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของ Excitation System (Double Automatic Channel)





รูปที่ 3.27 ลำดับขั้นตอนการทำงานของ Excitation System (Double Automatic Channel)

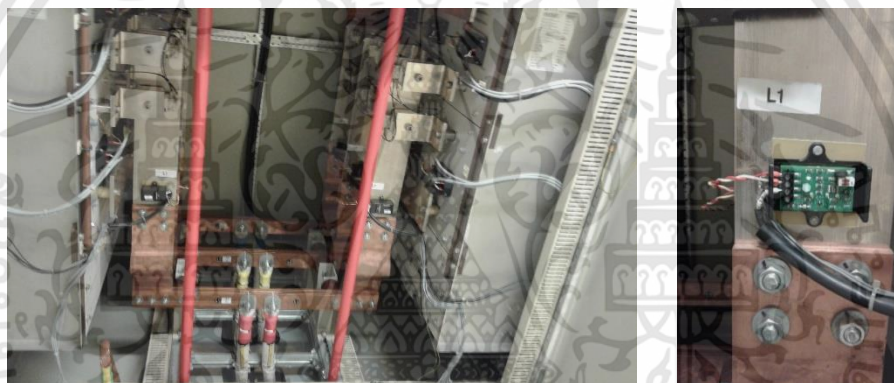
โดยในส่วนนี้ได้ดำเนินการปรับปรุงระบบ Excitation เพื่อลด Common Cause Failure ซึ่งมี 2 วิธี ดังนี้

3.4.3 การปรับปรุงอุปกรณ์ตรวจจ็กระแส (Conduction Monitoring Sensor)

การปรับปรุงระบบ Static Excitation ด้วยการเปลี่ยนอุปกรณ์ตรวจจ็กระแสไฟฟ้ารุ่นใหม่ (Improvement of Static Excitation System by New Type of Current Monitoring)

ขั้นตอน

1. ถอดอุปกรณ์ตรวจจ็กระแส (Conduction Monitoring Sensor) การถอดอุปกรณ์ตัวนี้ต้องระวังไฟเลี้ยงวงจร ขนาด 24 VDC



รูปที่ 3.28 Conduction Monitoring Sensor

2. ตรวจสอบวัดค่าความต้านทานของ Hall Effect Sensor ในอุปกรณ์ตรวจจ็กระแส เทียบกับตัวที่เป็น Original Equipment Manufacturer (OEM) และตรวจสอบวัดค่าความต้านทานของ Hall Effect Sensor (High Accuracy) เพื่อตรวจสอบวงจรของ Hall Effect Sensor และการลัดวงจรของ Regulator

หมายเหตุ “OEM” ย่อมาจาก Original Equipment Manufacturer หมายถึง การรับจ้างผลิตสินค้าให้กับยี่ห้อต่าง ๆ ตามแบบที่ลูกค้ากำหนด

2.1 Conduction Monitoring Sensor (ตัวที่ผิดปกติ ไม่นำกระแส)

Terminal :1-2 = 15.14 k Ω

Terminal :2-3 = 14.01 k Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Terminal :3-1 = 1.139 k Ω



รูปที่ 3.29 การตรวจวัดค่าความต้านทานของ Hall Effect Sensor (ตัวที่ผิดปกติ)

2.2 Conduction Monitoring Sensor (OEM)

Terminal :1-2 = 14.16 k Ω

Terminal :2-3 = 12.98 k Ω

Terminal :3-1 = 1.184 k Ω



รูปที่ 3.30 การตรวจวัดค่าความต้านทานของ Hall Effect Sensor (OEM)

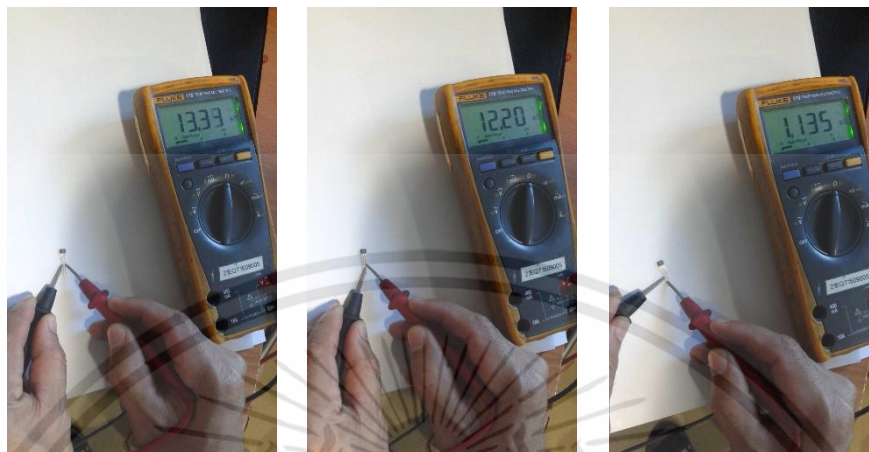
2.3 Hall Effect Sensor (High Accuracy)

Terminal :1-2 = 13.33 k Ω

Terminal :2-3 = 12.20 k Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Terminal :3-1 = 1.135 k Ω



รูปที่ 3.31 การตรวจวัดค่าความต้านทานของ Hall Effect Sensor (High Accuracy)

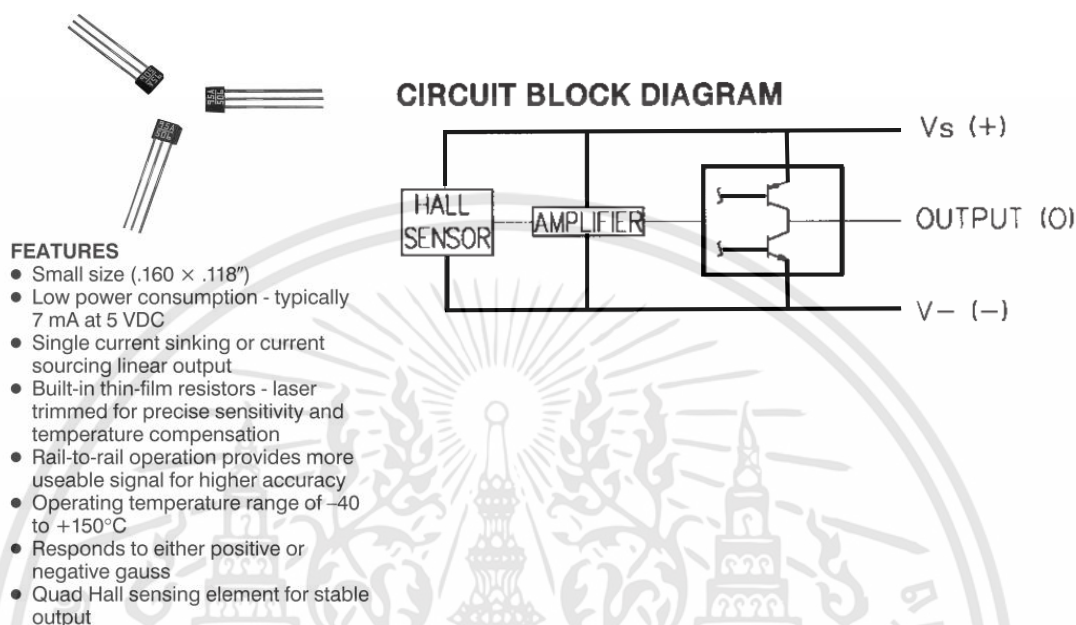
3. ถอด Hall Effect Sensor และทำความสะอาด Oxide ด้วย Solvent



รูปที่ 3.32 ส่วนของอุปกรณ์ตรวจจับกระแสที่ถอด Hall Effect Sensor ออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

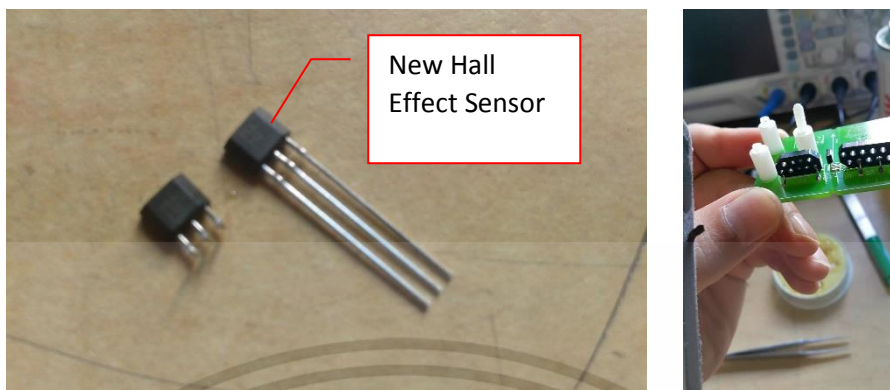
4. ติดตั้ง Hall Effect Sensor โดยของเดิมเป็น SS495A เปลี่ยนเป็น SS495A1 ที่มีความไว (Sensitivity) ดีกว่ามีค่า Error น้อยกว่าตัวเดิม และมี % Null Drift ต่ำกว่าตัวเดิม



SS495 SPECIFICATIONS, $V_s = 5.0 \text{ V}$, $T_A = -40 \text{ to } +125^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

Catalog Listings		SS495A* Standard	SS495A1* High Accuracy	SS495A2* Basic
Supply Voltage (VDC)		4.5 to 10.5	4.5 to 10.5	4.5 to 10.5
Supply Current @ 25°C (mA)	Typ.	7.0	7.0	7.0
	Max.	8.7	8.7	8.7
Output Type (Sink or Source)		Ratiometric	Ratiometric	Ratiometric
Output Current (mA)				
Typ. Source	$V_s > 4.5\text{V}$	1.5	1.5	1.5
Min. Source	$V_s > 4.5\text{V}$	1.0	1.0	1.0
Min. Sink	$V_s > 4.5\text{V}$	0.6	0.6	0.6
Min. Sink	$V_s > 5.0\text{V}$	1.0	1.0	1.0
Magnetic Range	Typ.	-670 to +670 Gauss (-67 to +67 mT)		
	Min.	-600 to +600 Gauss (-60 to +60 mT)		
Output Voltage Span	Typ.	0.2 to ($V_s - 0.2$)	0.2 to ($V_s - 0.2$)	0.2 to ($V_s - 0.2$)
	Min.	0.4 to ($V_s - 0.4$)	0.4 to ($V_s - 0.4$)	0.4 to ($V_s - 0.4$)
Null (Output @ 0 Gauss, V)		2.50 ± 0.075	2.50 ± 0.075	2.50 ± 0.100
Sensitivity (mV/G)		3.125 ± 0.125	3.125 ± 0.094	3.125 ± 0.156
Linearity, % of Span	Typ.	-1.0%	-1.0%	-1.0%
	Max.	-1.5%	-1.5%	-1.5%
Temperature Error Null Drift (%/°C)		±0.06%	±0.04%	±0.07%
Sensitivity Drift (%/°C)	≥25°C Max.	-0.01%+0.05%	-0.01%+0.05%	-0.02%+0.06%
	<25°C Max.	-0.00%+0.06%	-0.00%+0.06%	-0.01%+0.07%

รูปที่ 3.33 วงจรและ Specification ของ Hall Effect Sensor



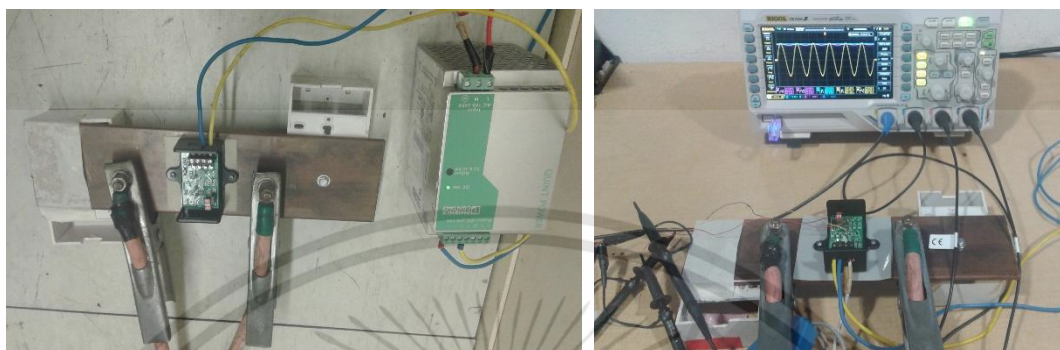
รูปที่ 3.34 การเปรียบเทียบ Hall Effect Sensor เทียบกับตัวเก่าและหลังจากติดตั้ง

5. ทำความสะอาดแผงอิเล็กทรอนิกส์ด้วย Solvent จากนั้นทำความสะอาดด้วย Contact Cleaner (KONTAKT 60) และเคลือบแผงอิเล็กทรอนิกส์ด้วย PLASTIK 70 เพื่อป้องกันการเกิด Oxide



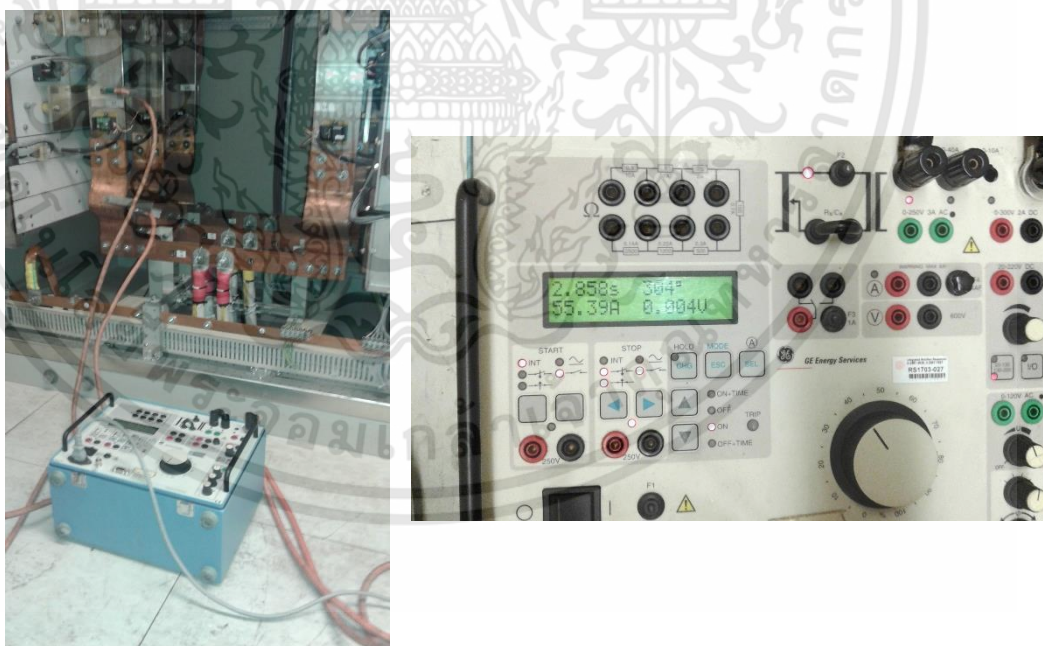
รูปที่ 3.35 การใช้สารเคลือบแผงอิเล็กทรอนิกส์หลังจากซ่อมชิ้นงาน

6. ทำการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับกระแสด้วยเครื่อง SVERKER 760 โดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์ตรวจจับกระแสตามรูปที่ 3.36 (ค่าที่ได้ควรต่ำกว่า 80 A.)



รูปที่ 3.36 เป็นการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับกระแสหลังจากเปลี่ยน Hall Effect Sensor

7. ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับกระแส (Conduction Monitoring) กลับที่ Excitation System ตามเดิม และทดสอบโดยการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านอุปกรณ์ตรวจจับกระแสตามรูปที่ 3.37 และตรวจสอบการทำงานจริงที่ตัวอุปกรณ์นำกระแส และ PLC (ค่าที่ได้ควรต่ำกว่า 80 A.)



รูปที่ 3.37 การทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับกระแส โดยทดสอบที่ระบบจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 การกำหนดแผนในการทดสอบอุปกรณ์เมื่อ Plant shutdown

แผนงาน Inspection ช่วงที่โรงไฟฟ้าหยุดผลิตไฟฟ้า เนื่องจากทางโรงไฟฟ้ามีแผนชัดเจนในการหยุดเดินเครื่องจักรเพื่อตรวจเช็คสภาพ ทดสอบ และบำรุงรักษาอื่นๆ ของเครื่องจักรแต่ละประเภท จึงได้มีการกำหนดแผนในการตรวจสอบอุปกรณ์ตรวจจับกระแส เพื่อลดความผิดพลาดในการทำงานของอุปกรณ์ ซึ่งมีตัวอย่างผลที่ดำเนินการ ดังนี้

การดำเนินการทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับกระแส (Conduction Monitoring Sensor)

โดยการทดสอบการนำกระแสของอุปกรณ์ตรวจจับกระแส และเมื่อพบว่ามีความมากกว่า 100 A ก็จะทำดำเนินการเปลี่ยนตัวใหม่แทน แล้วดำเนินการทดสอบซ้ำอีกครั้งตามรูปที่ 3.38

Excitation System Unit 21

จากการทดสอบดำเนินการเปลี่ยนที่ Rectifier 1 ที่ Item 6 และ Rectifier 2 ที่ Item 2,3 และ 6

GT21 Excitation

Measurement conduction monitoring sensor

Rectifier 1

Item	Name	Address	Current (A)
1	U64	A1	68.8
2	U61	A2	87.6
3	U66	A3	22.5
4	U63	A4	83.5
5	U62	A5	40.68
6	U65	A6	>100

Rectifier 2

Item	Name	Address	Current (A)
1	U74	A7	84
2	U71	A8	>100
3	U76	B1	>100
4	U73	B2	86
5	U72	B3	71.3
6	U75	B4	>100

GT21 Excitation

Measurement conduction monitoring sensor

Rectifier 1

Item	Name	Address	Current (A)
1	U64	A1	68.8
2	U61	A2	87.6
3	U66	A3	22.5
4	U63	A4	83.5
5	U62	A5	40.68
6	U65	A6	96

Rectifier 2

Item	Name	Address	Current (A)
1	U74	A7	84
2	U71	A8	74.3
3	U76	B1	93
4	U73	B2	86
5	U72	B3	71.3
6	U75	B4	22.9

รูปที่ 3.38 การทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับกระแสของ Excitation System Unit 21

Excitation System Unit 21

จากการทดสอบดำเนินการเปลี่ยนที่ Rectifier 1 ที่ Item 2,6 และ Rectifier 2 ที่ Item 1 ส่วน Item 5 ไม่มี Spare part ในการเปลี่ยน

GT22 Excitation

Measurement conduction monitoring sensor

Rectifier 1

Item	Name	Address	Current (A)
1	U64	A1	94
2	U61	A2	>100
3	U66	A3	76
4	U63	A4	78
5	U62	A5	44
6	U65	A6	Burn

Rectifier 2

Item	Name	Address	Current (A)
1	U74	A7	>100
2	U71	A8	93
3	U76	B1	93
4	U73	B2	68
5	U72	B3	>100
6	U75	B4	85

GT22 Excitation

Measurement conduction monitoring sensor

Rectifier 1

Item	Name	Address	Current (A)
1	U64	A1	94
2	U61	A2	78
3	U66	A3	76
4	U63	A4	78
5	U62	A5	44
6	U65	A6	65

Rectifier 2

Item	Name	Address	Current (A)
1	U74	A7	80
2	U71	A8	93
3	U76	B1	93
4	U73	B2	68
5	U72	B3	>100
6	U75	B4	85

รูปที่ 3.39 การทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับกระแสของ Excitation System Unit 22

Excitation System Unit 28

จากการทดสอบที่ Rectifier 1&3 ไม่ได้ดำเนินการเปลี่ยนอุปกรณ์ตรวจจับกระแส เนื่องจากการตรวจจับกระแสของอุปกรณ์อยู่ในเกณฑ์ที่ดี (ไม่เกิน 100 A) ส่วน Rectifier 4 ดำเนินการเปลี่ยนที่ Item 2 และ Rectifier 2 ไม่ได้ดำเนินการเปลี่ยน เนื่องจากไม่มี Spare Part

ST28 Excitation

Measurement conduction monitoring sensor

Rectifier 1

Item	Name	Address	Current (A)
1	U14	A1	20
2	U11	A2	76
3	U16	A3	80
4	U13	A4	95
5	U12	A5	62
6	U15	A6	35

Rectifier 2

Item	Name	Address	Current (A)
1	U24	A7	85
2	U21	A8	100
3	U26	B1	>100
4	U23	B2	86
5	U22	B3	33
6	U25	B4	60

ST28 Excitation

Measurement conduction monitoring sensor

Rectifier 3

Item	Name	Address	Current (A)
1	U34	B5	74
2	U31	B6	78
3	U36	B7	54
4	U33	B8	68
5	U32	A1	45
6	U35	A2	55

Rectifier 4

Item	Name	Address	Current (A)
1	U44	A3	73
2	U41	A4	95
3	U46	A5	68
4	U43	A6	80
5	U42	A7	65
6	U45	A8	70

รูปที่ 3.40 การทดสอบอุปกรณ์ตรวจจับกระแสของ Excitation System Unit 28

บทที่ 4

แบบจำลองความน่าเชื่อถือโดย FTA ของเทคนิคที่นำเสนอ

4.1 การปรับปรุงความล้มเหลวของระบบผลิตไฟฟ้า ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหัน ก๊าซเมื่อมีการสลับเชื้อเพลิง

การสร้างแบบจำลองของระบบ FSWO&FSWB โดยวิธี FTA

ลอจิก AND

เป็นลอจิกที่แสดงเหตุการณ์เอาต์พุต เมื่อเหตุการณ์ที่อินพุตทั้งหมดมีค่าเป็นจริง ถ้าให้เหตุการณ์ อินพุตแต่ละเหตุการณ์เป็นอิสระต่อกัน ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ A และเหตุการณ์ B จะแสดงได้ดัง สมการที่ (4.1)

$$P(A \cap B) = P(A) \times P(B) \quad (4.1)$$

ลอจิก OR

เป็นลอจิกที่แสดงเหตุการณ์เอาต์พุต เมื่อเหตุการณ์ที่อินพุตใดอินพุตหนึ่งมีค่าเป็นจริง ถ้าให้ เหตุการณ์อินพุตแต่ละเหตุการณ์เป็นอิสระต่อกัน ผลรวมของความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ A และ เหตุการณ์ B จะแสดงได้ดังสมการที่ (4.2)

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) \quad (4.2)$$

แต่ถ้าเหตุการณ์มีความสัมพันธ์กัน ผลรวมของความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ A และ เหตุการณ์ B จะแสดงได้ ดังสมการที่ (4.3)

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad (4.3)$$

อัตราความล้มเหลวแบบคงที่ (Constant Failure Rate Model)

อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ [8] เช่น ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุไฟฟ้า และทรานซิสเตอร์ตัว จะมีอัตรา ความเสียหายคงที่ตลอดช่วงอายุการใช้งาน เช่นภายในช่วง 1 ปีมีค่าประมาณ 10,000 ชั่วโมง) โดยที่

$$h(t) = \lambda$$

ซึ่ง λ เป็นค่าคงที่

แบบจำลองที่กล่าวถึงจะขึ้นอยู่กับการกระจายความน่าจะเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential) โดยเฉพาะอย่างยิ่งความล้มเหลวในกระบวนการความล้มเหลวแบบสุ่ม ซึ่งเรียกว่าฟังก์ชันความน่าเชื่อถือแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล เนื่องจากเหตุการณ์สุ่มหรือเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งมักจะเป็นกรณีในช่วงอายุการใช้งานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โมดูล หน่วยหรือระบบ สำหรับตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่อง t ที่ระบุไว้ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล อธิบายได้ดังต่อไปนี้

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, t > 0 \quad (4.4)$$

ฟังก์ชันสะสมและฟังก์ชันค่าเฉลี่ยมีการระบุปริมาณตามลำดับดังนี้

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt = 1 - e^{-\lambda t} \quad (4.5)$$

และ

$$R(t) = e^{-\int_0^t h(t) dt}$$

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (4.6)$$

โดยที่

$F(t)$ คือ ความไม่น่าเชื่อถือ

$R(t)$ คือ ความน่าเชื่อถือ

λ คือ อัตราความล้มเหลวคงที่

การคำนวณหาค่า MTTF [8] แบบง่าย ๆ คือถ้าเวลาความเสียหายในแต่ละครั้งที่ยันทึบได้จากการทดลองหรือการทดสอบ มีการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) จะสามารถหาได้จากสูตรดังต่อไปนี้

$$MTTF = \frac{\sum_{i=1}^k (x_i)(n_f)_i}{n_o} \quad (4.7)$$

โดยที่

x_i คือ ค่ากลางของแต่ละช่วงเวลาการทดสอบในขั้นที่ i

$(n_f)_i$ คือ จำนวนชิ้นส่วนที่เสียในช่วงเวลาการทดสอบในขั้นที่ i

n_o คือ จำนวนชิ้นส่วนทดสอบทั้งหมด

แต่ถ้าค่า t_i หรือเวลาความเสียหายในแต่ละช่วงเวลามีค่าเป็นตัวแปรสุ่ม (Random variable) และแทนด้วยฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability Density Function: PDF) จะหา MTTF ได้จากสูตร

$$E(t) = \int_0^{+\infty} t f(t) dt \quad (4.8)$$

$$MTTF = E(t) = \int_0^{+\infty} R(t) dt \quad (4.9)$$

$$MTTF = 1/\lambda \quad (4.10)$$

การสร้างแบบจำลองสาเหตุร่วมกันด้วย FTA ระบบที่ได้รับผลกระทบจากความผิดพลาดร่วมกัน (Common Cause Failure: CCF) เป็นระบบที่ซึ่งอุปกรณ์หรือสองอุปกรณ์หรือมากกว่านั้น มีโอกาสของการเกิดความผิดพลาดเนื่องจากสาเหตุเดียวกัน การทำงานผิดพลาดร่วมกัน สามารถลบล้างข้อดี ของระบบที่ทนต่อความผิดพลาดได้ ดังนั้น CCF เป็นหนึ่งในความกังวลหลักที่เกี่ยวข้องกับระบบสำรอง (Redundancy System) เนื่องจากสภาพหรือเหตุการณ์อาจทำให้อุปกรณ์หลายตัวล้มเหลวพร้อม ๆ กัน ระบบสำรองทำงานได้ดีเมื่อจัดการกับความล้มเหลวที่เป็นอิสระแต่เมื่อ CCF เกิดขึ้น ระบบสำรองอาจสูญเสียหน้าที่ที่ตั้งเป้าหมายไว้ รูปแบบเบต้าเป็นหนึ่งในหลายรูปแบบที่พร้อมที่จะคาดการณ์ผลกระทบสาเหตุร่วมกัน รูปแบบนี้แบ่งอัตราความล้มเหลวของแต่ละส่วนประกอบเป็นสาเหตุทั่วไป (องค์ประกอบสองชิ้นขึ้นไป) และปกติ (องค์ประกอบหนึ่งตัวไม่ทำงาน) ปัจจัยคูณที่เรียกว่าเบต้า (β) ปัจจัยถูกใช้เพื่อแบ่งอัตราความล้มเหลวให้เป็นส่วนสาเหตุทั่วไป λ^{DC} และปกติ (อิสระ) สัดส่วน λ^{DN} สมการต่อไปนี้:

$$\lambda^{DC} = \beta \times \lambda^D \quad (4.11)$$

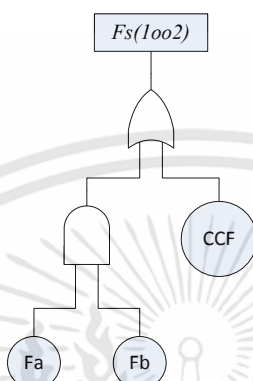
และ

$$\lambda^{DN} = (1 - \beta) \times \lambda^D \quad (4.12)$$

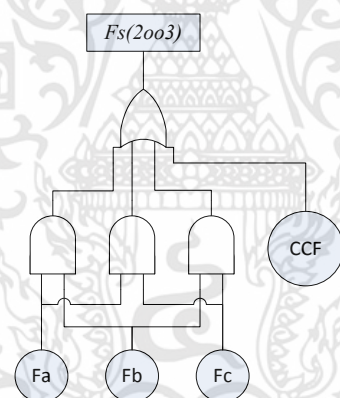
λ^D หมายถึงอัตราความล้มเหลว

ผลกระทบของการศึกษาการทำงานผิดพลาดจากสาเหตุร่วมกันของ PLCs ด้วยการกำหนดค่าอุปกรณ์รูปแบบการลงมติ 1oo2 และวาล์วควบคุมด้วยการกำหนดค่าอุปกรณ์รูปแบบการลงมติ 2oo3 เป็นรูปแบบการใช้ FTA ดังแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ FTA สามารถใช้เป็นเครื่องมือในการ

วิเคราะห์ความน่าจะเป็นเชิงปริมาณ ความน่าจะเป็นจะถูกกำหนดให้ความน่าจะเป็นความผิดพลาดพื้นฐาน และเหตุการณ์มากระตุ้น ความเชื่อถือได้ $R(t)$ เป็นตัวชี้วัดของความสำเร็จในขณะที่ความไม่น่าเชื่อถือ $F(t)$ เป็นตัวชี้วัดของความล้มเหลว $R(t)$ ถูกกำหนดให้เป็น “ความน่าจะเป็นอุปกรณ์ที่จะประสบความสำเร็จในระหว่างช่วงเวลาการดำเนินงาน t ”



รูปที่ 4.1 FTA การทำงานผิดพลาดจากสาเหตุร่วมกันของระบบสำรองแบบ 1oo2



รูปที่ 4.2 FTA การทำงานผิดพลาดจากสาเหตุร่วมกันของระบบสำรองแบบ 2oo3

ในขณะที่ $F(t)$ ถูกกำหนดให้เป็น “ความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์จะล้มเหลวในช่วงเวลาที่ใช้งาน t ” การประเมินผลการวิเคราะห์ของความไม่น่าเชื่อถือ $F(t)$ หรือความน่าเชื่อถือ $R(t)$ สำหรับระบบอุปกรณ์ทั้งหมดที่ใช้ควรจะไม่สามารถซ่อมได้และการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลากับตัวแปรสุ่มจะถือว่าเป็นข้อมูลแทน การแสดงออกทั่วไปของความน่าเชื่อถือสำหรับระบบ k -out-of- n ประกอบด้วยองค์ประกอบที่เหมือนกันและเป็นอิสระสามารถแสดงโดย

$$R(t)_{k/n} = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} R(t)^i (1 - R(t))^{n-i} \quad (4.13)$$

สามารถเขียนเป็น

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (4.14)$$

แทน (14) ลงใน (13) จากนั้นน่าจะเป็นของความสำเร็จสำหรับการตระหนักถึงการรวมกันของ 1002 และ 2003 สามารถกำหนดค่าตามที่ระบุไว้

$$R(t)_{1002} = 2R(t) - R^2(t) \quad (4.15)$$

$$R(t)_{2003} = 3R^2(t) - 2R^3(t) \quad (4.16)$$

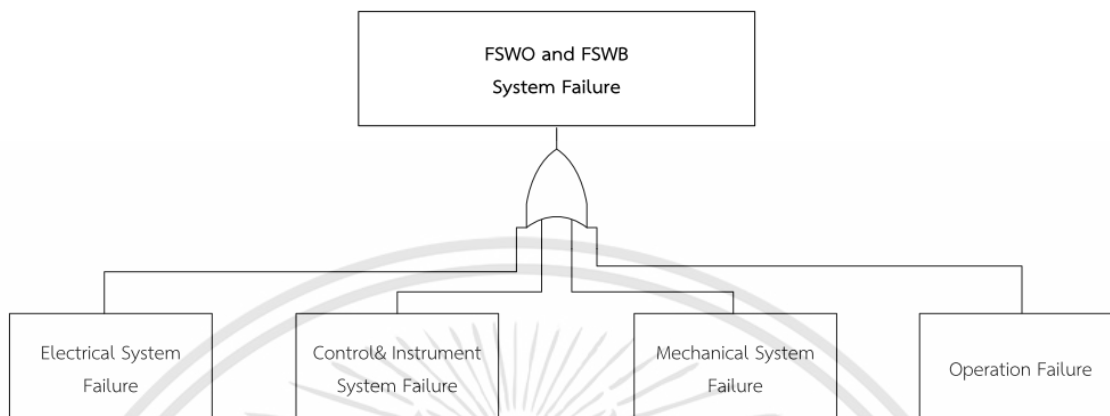
สำหรับการวิเคราะห์ค่าความน่าเชื่อถือ $R(t)$ และอัตราความล้มเหลวของระบบ องค์ประกอบทั้งหมดควรที่จะไม่สามารถซ่อมแซมได้และการแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลากับตัวแปรสุ่มจะถือว่าเป็นข้อมูลหลัก เนื่องจากฟังก์ชันความน่าเชื่อถือเป็นส่วนเสริมของฟังก์ชันที่ไม่น่าเชื่อถือให้ผลจากการประเมินเชิงคุณภาพของแผนภาพโครงสร้างความผิดพลาดร่วมกันของรูปแบบระบบสำรอง 1002 และ 2003 ในรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ สามารถเขียนได้โดย

$$R_{S(1002)} = (2e^{-\lambda^{DN}t} - e^{-2\lambda^{DN}t})(e^{-\lambda^{DC}t}) \quad (4.17)$$

$$R_{S(2003)} = (3e^{-2\lambda^{DN}t} - 2e^{-3\lambda^{DN}t})(e^{-\lambda^{DC}t}) \quad (4.18)$$

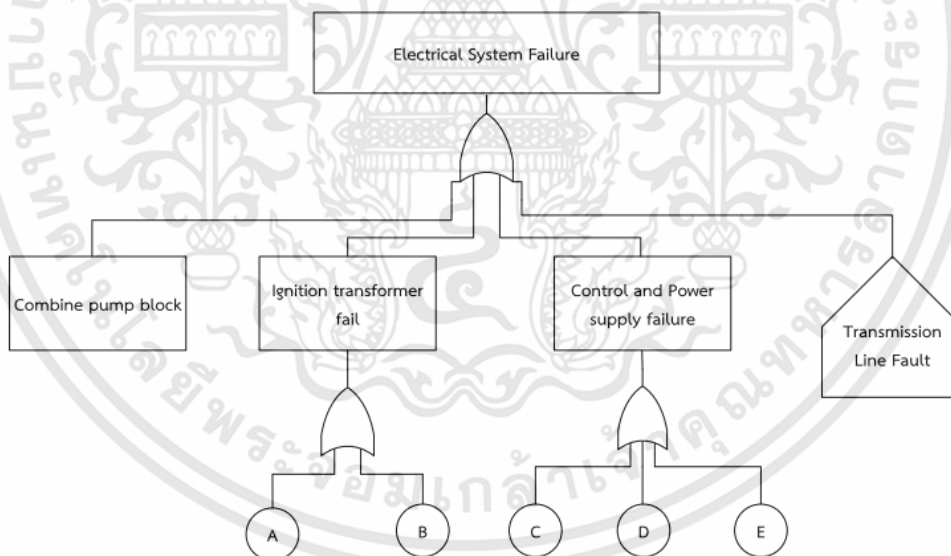
นำข้อมูลของเหตุการณ์มาเขียนเป็น FTA โดยจำแนกเป็นระบบของการทำงานหลักๆ ในโรงไฟฟ้า ได้แก่ Electrical System Failure, Control & Instrument System Failure, Mechanical System Failure, Operation Failure เป็นต้น การนำข้อมูลทางสถิติที่เคยเกิดเหตุการณ์และความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์จะทำงานผิดพลาดมาจำแนกในแต่ละหัวข้อของ FTA สามารถที่จะช่วยประเมินงานซ่อมบำรุงในอนาคตได้ นอกจากนั้นสามารถกำหนดการวางแผนในการเปลี่ยนอุปกรณ์เพื่อลดการทำงานผิดพลาดของระบบ การกำหนดระยะเวลาในการสำรองอะไหล่ (Spare Part) ลดความเสี่ยงในการขาดแคลนอะไหล่สำรอง ลดการเก็บอะไหล่ที่ไม่จำเป็น และต้นทุนในการสำรองอะไหล่ที่ยังไม่ใช้งาน

4.1.1.1 เหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อการทำงานผิดพลาดของระบบ FSWO&FSWB



รูปที่ 4.3 FTA ของระบบ FSWO & FSWB

4.1.1.2 เหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อการทำงานผิดพลาดของระบบไฟฟ้า



รูปที่ 4.4 FTA ที่มีผลต่อการทำงานผิดพลาดของระบบไฟฟ้า

จากรูปที่ 4.4 อธิบายเหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า ในส่วนของ Ignition Transformer Fail, Control and Power Supply Failure และ External Fault ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Ignition Transformer Fail

A = Ignition Torch Fail

B = Short Circuit from Water

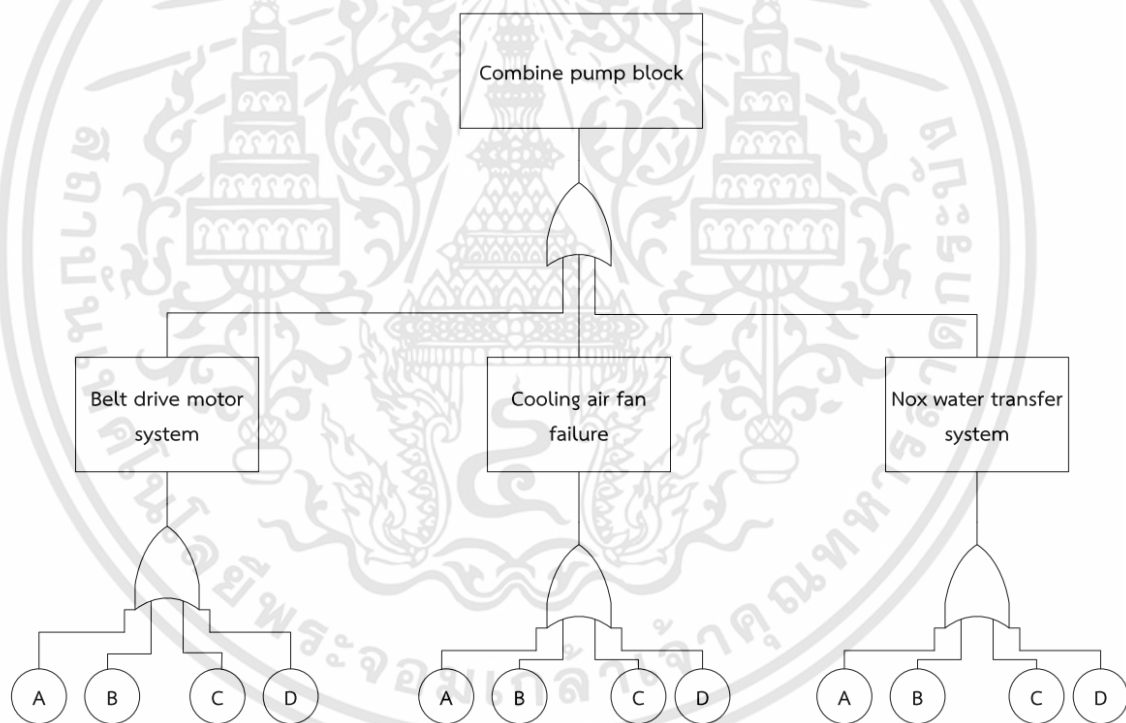
Control and Power Supply Failure

C = Electrical Latching Fail

D = Relay Bad Contact

E = Magnetic Contactor Bad Contact

External fault = Transmission line fault



รูปที่ 4.5 FTA ของระบบไฟฟ้าส่วนของ Belt Drive Motor System

จากรูปที่ 4.5 อธิบายเหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อระบบไฟฟ้า ในส่วนของ Belt Drive Motor System, Cooling Air Fan Failure และ NOx Water Transfer System ดังนี้

Belt Drive Motor System

A = Command and Feedback DCS Signal Fault

B = Circuit Breaker Failure

C = Loss of Power Supply

D = Rotor of Belt Drive Motor Lock

Cooling Air Fan Failure

A = Motor Failure

B = Mechanical Fail

C = Control Circuit Failure

D = Loss of Power Supply

NOx Water Transfer System

A = Motor Failure

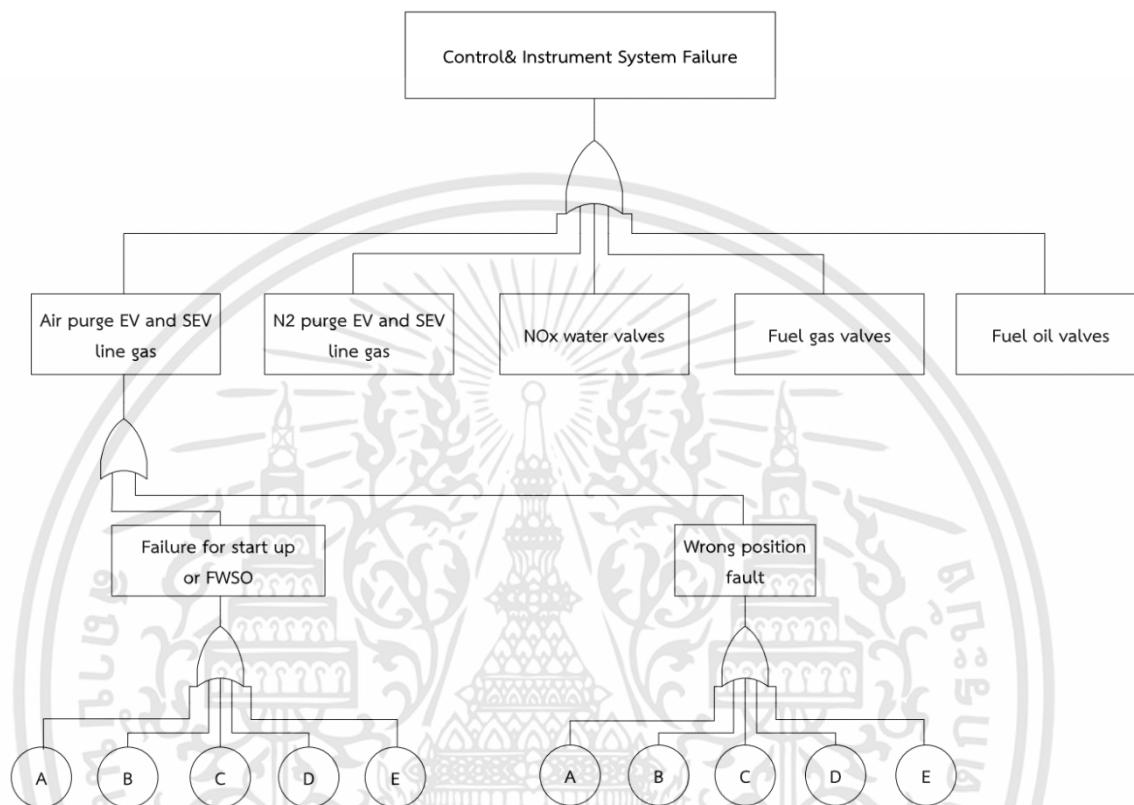
B = Mechanical Fail

C = Control Circuit Failure

D = Loss of Power Supply

4.1.1.3 เหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อการทำงานผิดพลาดของระบบควบคุมและเครื่องมือวัด

- Air Purge EV and SEV Line Gas



รูปที่ 4.6 FTA ของระบบควบคุมและเครื่องมือวัดในส่วนของ Air Purge EV and SEV Line Gas

จากรูปที่ 4.6 อธิบายเหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อระบบควบคุมและเครื่องมือวัดในส่วนของ Air Purge EV and SEV Line Gas โดยมี 2 ลักษณะที่มีผลต่อระบบ ดังนี้

Failure for Startup or FSWO

A = Guide Bushing Valve Damage

B = Instrument Air Tube Broken

C = Ball Valve Stuck

D = EV Pilot Control Valve Swing

E = Actuator can't move

Wrong Position Fault

A = Command and Feedback DCS Signal Fault

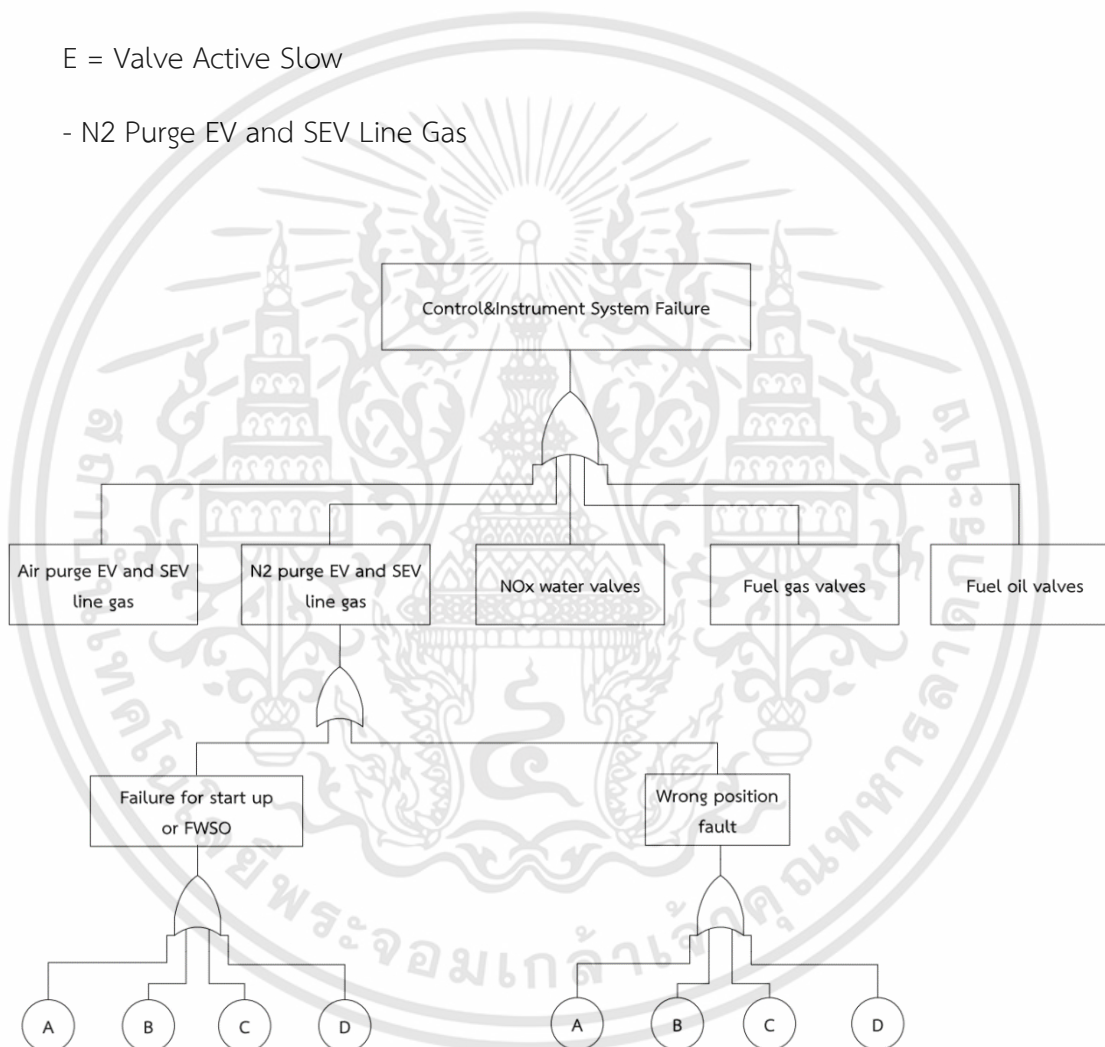
B = Proximity Switch or Cards Fail

C = Sensor Loose Out from Position

D = Terminal Connection Loose

E = Valve Active Slow

- N2 Purge EV and SEV Line Gas



รูปที่ 4.7 FTA ของระบบควบคุมและเครื่องมือวัดในส่วนของ N2 Purge EV and SEV Line Gas

จากรูปที่ 4.7 อธิบายเหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อระบบควบคุมและเครื่องมือวัดในส่วนของ N2 Purge EV and SEV Line Gas โดยมี 2 ลักษณะที่มีผลต่อระบบ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Failure for Startup or FSWO

A = Loss of Power Supply

B = Ball Valve Stuck

C = Actuator or Gear Stuck

D = Actuator Electronics Board Fail

Wrong Position Fault

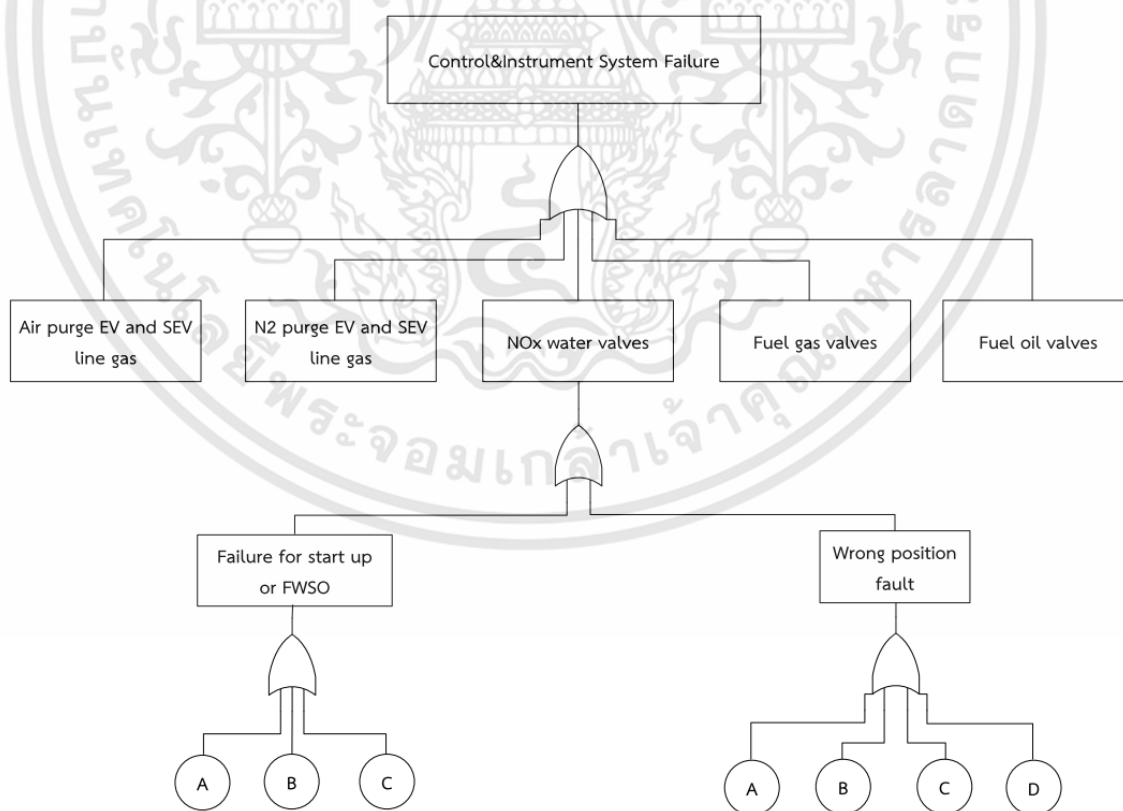
A = Command and Feedback DCS Signal Fault

B = Proximity Switch or Cards Fail

C = Sensor Loose Out from Position

D = Terminal Connection Loose

- NOx Water Valves



รูปที่ 4.8 FTA ของระบบควบคุมและเครื่องมือวัดในส่วนของ NOx Water Valves

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 อธิบายเหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อระบบควบคุมและเครื่องมือวัดในส่วนของ NOx Water Valves โดยมี 2 ลักษณะที่มีผลต่อระบบ ดังนี้

Failure for Startup or FSWO

A = Oil Leak from Hydraulic Actuator

B = Solenoid Valve Damage

C = Valve Stuck

Wrong Position Fault

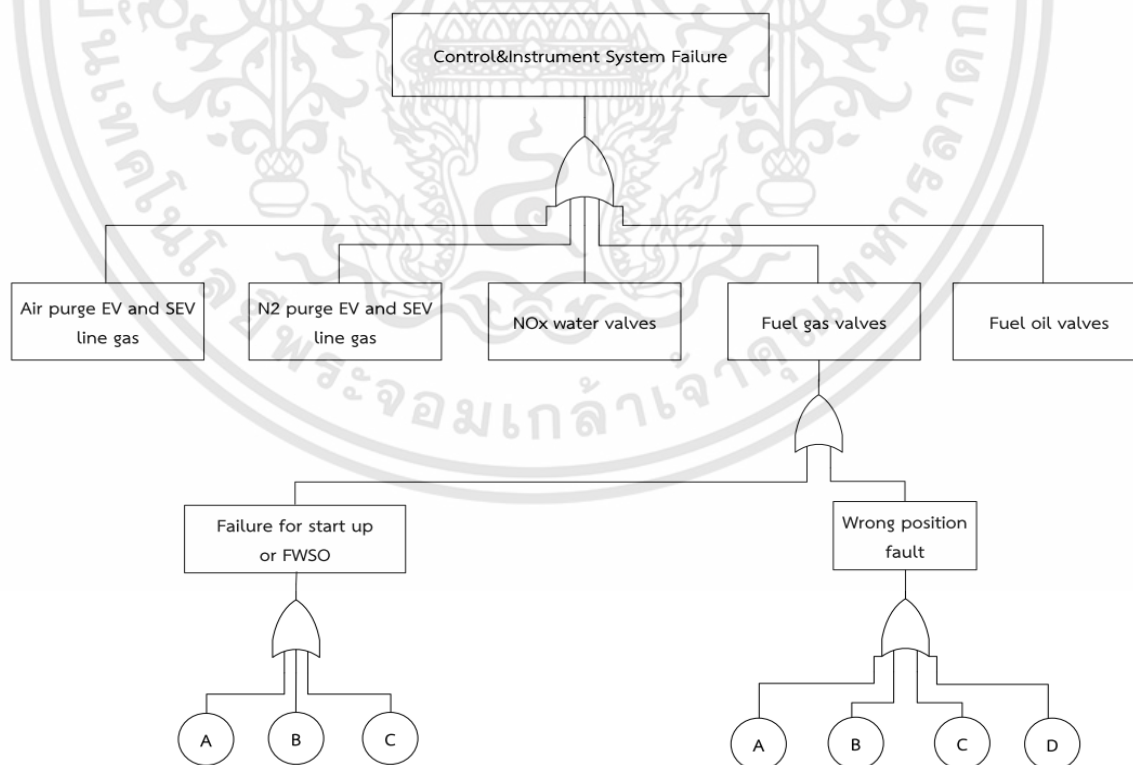
A = Command and Feedback DCS Signal Fault

B = Proximity Switch or Cards Fail

C = Sensor Loose Out from Position

D = Terminal Connection Loose

- Fuel Gas Valves



รูปที่ 4.9 FTA ของระบบควบคุมและเครื่องมือวัดในส่วนของ Fuel Gas Valves

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.9 อธิบายเหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อระบบควบคุมและเครื่องมือวัดในส่วนของ Fuel Gas Valves โดยมี 2 ลักษณะที่มีผลต่อระบบ ดังนี้

Failure for Startup or FSWO

A = Oil Leak from Hydraulic Actuator

B = Solenoid Valve Damage

C = Valve Stuck

Wrong Position Fault

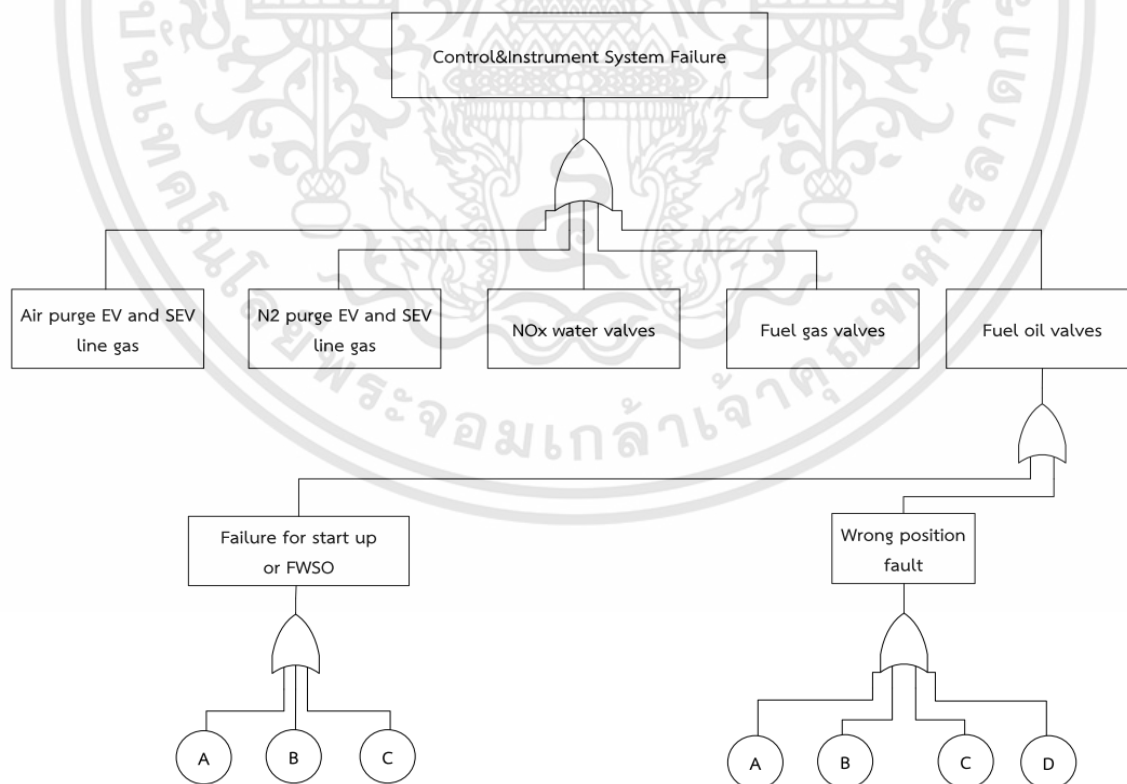
A = Command and Feedback DCS Signal Fault

B = Proximity Switch or Cards Fail

C = Sensor Loose Out from Position

D = Terminal Connection Loose

- Fuel Oil Valves



รูปที่ 4.10 FTA ของระบบควบคุมและเครื่องมือวัดในส่วนของ Fuel Oil Valves

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 อธิบายเหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อระบบควบคุมและเครื่องมือวัดในส่วนของ Fuel Oil Valves โดยมี 2 ลักษณะที่มีผลต่อระบบ ดังนี้

Failure for Startup or FSWO

A = Oil Leak from Hydraulic Actuator

B = Solenoid Valve Damage

C = Valve Stuck

Wrong Position Fault

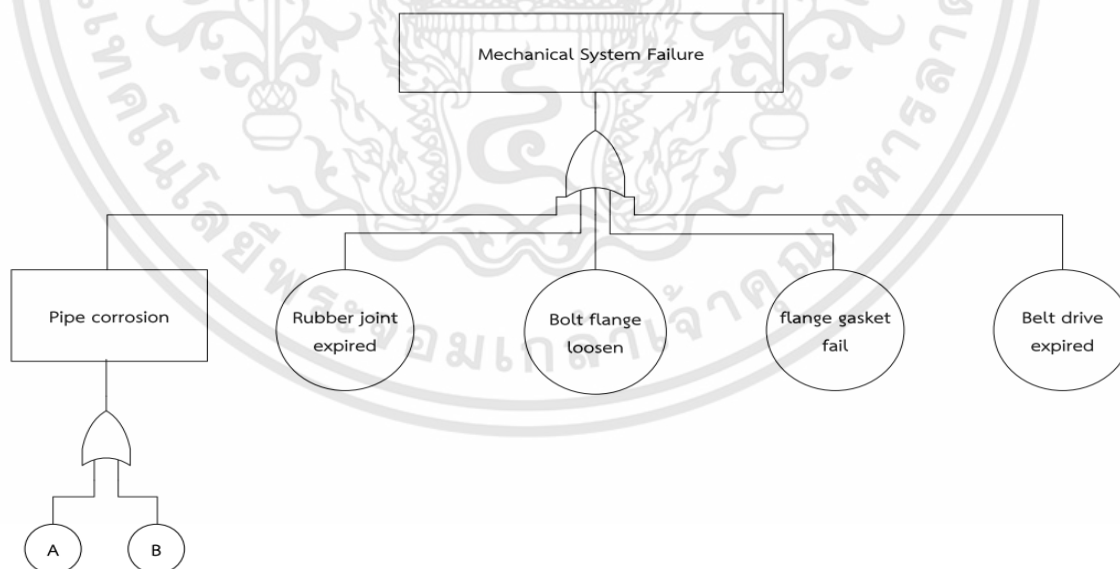
A = Command and Feedback DCS Signal Fault

B = Proximity Switch or Cards Fail

C = Sensor Loose Out from Position

D = Terminal Connection Loose

4.1.1.4 เหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อการทำงานผิดพลาดของระบบเครื่องกล



รูปที่ 4.11 FTA ของระบบที่มีผลต่อการทำงานผิดพลาดของระบบเครื่องกล

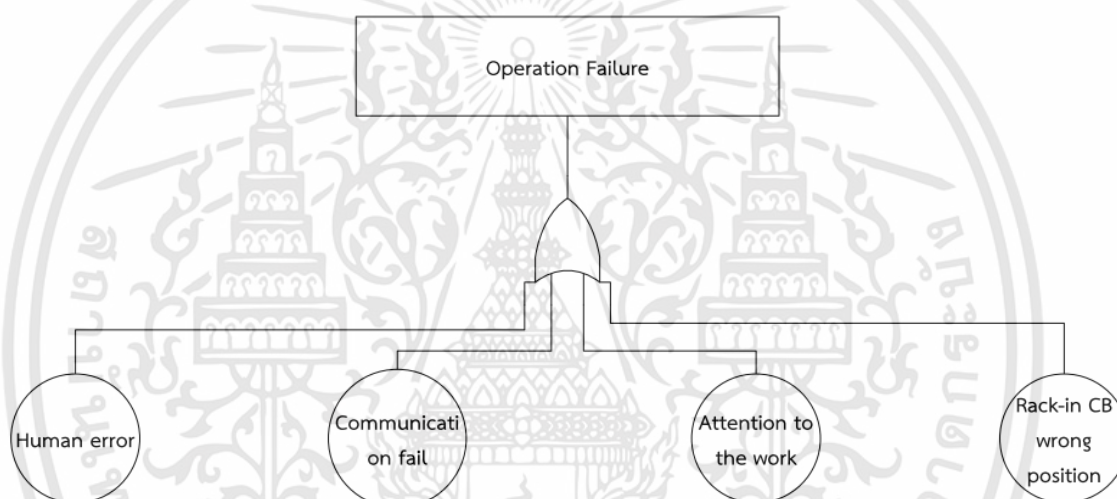
จากรูปที่ 4.11 อธิบายเหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อระบบเครื่องกลในส่วนของ Pipe Corrosion โดยมีผลต่อระบบ ดังนี้

A = Pipe Leak

B = Strainer Clogged

และเหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อระบบเครื่องกลในส่วนของ Rubber Joint Expired, Bolt Flange Loosen, Flange Gasket Fail, Belt Drive Expired

4.1.1.5 เหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อการทำงานผิดพลาดในส่วนของควบคุมส่วนกลาง



รูปที่ 4.12 FTA ของผู้ควบคุมระบบส่วนกลางของโรงไฟฟ้า (Central Control Room)

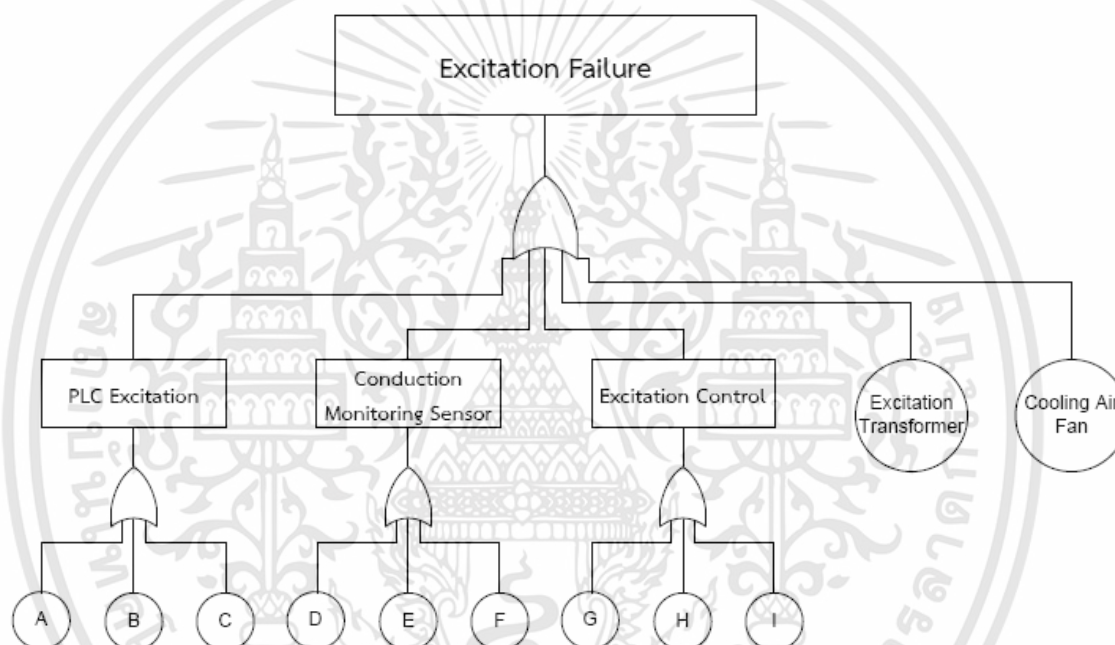
จากรูปที่ 4.12 อธิบายเหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อผู้ควบคุมส่วนกลาง โดยมีผลต่อระบบ ดังนี้

1. Human Error
2. Communication Fail
3. Attention to the Work
4. Rack-in CB Wrong Position

4.2 การปรับปรุงการลดความผิดพลาดของอุปกรณ์ของระบบผลิตไฟฟ้า

การสร้างแบบจำลองของความผิดพลาดร่วมระบบ Excitation โดยวิธี FTA

นำข้อมูลของเหตุการณ์มาเขียนเป็น FTA โดยจำแนกเป็นการทำงานจากระบบ Excitation ได้แก่ Excitation Transformer, Thyristor, PLC Excitation, Conduction Monitoring Sensor, Excitation Control, Air condition เป็นต้น การนำข้อมูลทางสถิติที่เคยเกิดเหตุการณ์และความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์จะทำงานผิดพลาดมาจำแนกในแต่ละหัวข้อของ FTA สามารถนำมาพยากรณ์การวางแผนเปลี่ยนอุปกรณ์ก่อนที่จะทำงานผิดพลาด



รูปที่ 4.13 FTA ของ Excitation System Failure

จากรูปที่ 4.13 อธิบายเหตุการณ์ที่มีผลกระทบต่อระบบ Excitation

PLC Excitation

A = CPU 374 Failure

B = PLC Stop

C = Power Supply 24 VDC Failure

Conduction Monitoring Sensor

D = Dip Switch

E = Terminal Loosen

F = Cable Short to Ground

Excitation Control

G = Thyristor Fault

H = Relay Command “ON”

I = Self Lock Relay

Excitation Transformer Fail

Cooling Air Fan Fail

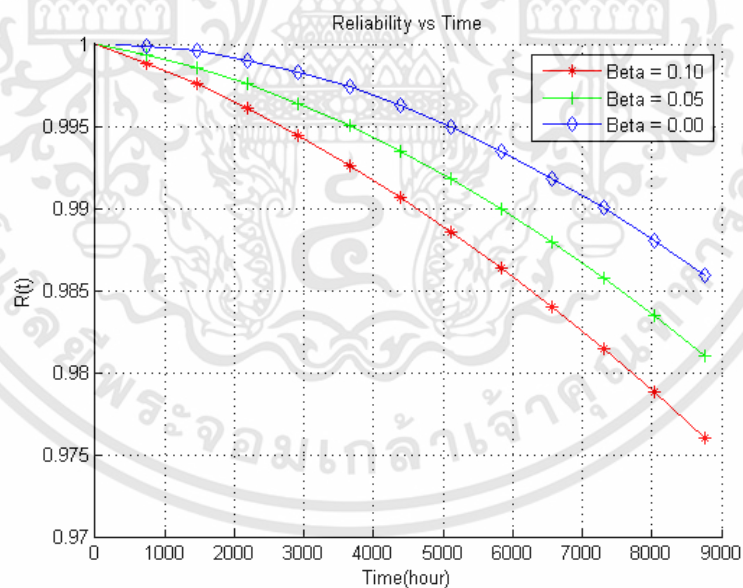


บทที่ 5

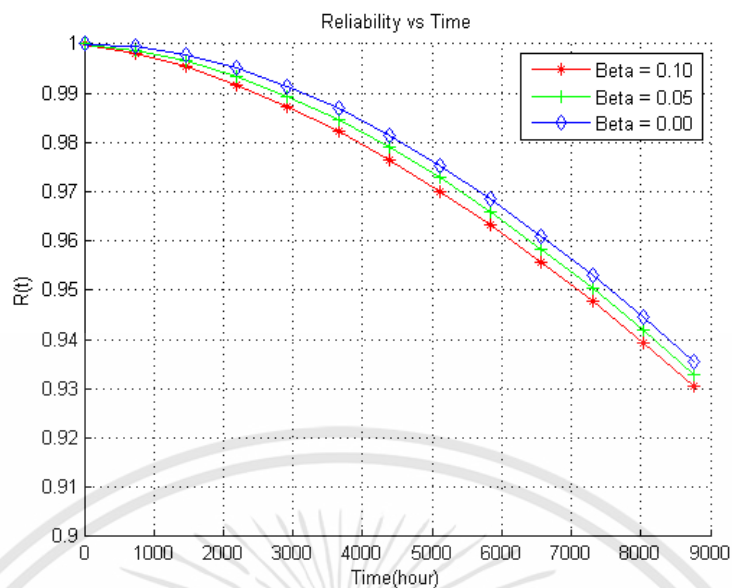
สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ความน่าเชื่อถือของการกำหนดค่า k-out-of-n จากผลของ FMEA สามารถสรุปในตารางที่ 3.8 และ 3.9 อัตราความล้มเหลวของรูปแบบ 1o02 และ 2o03 โครงสร้างอุปกรณ์รูปแบบการลงมติ สำหรับของการกำหนดค่าของชุดระบบสำรอง คือ $1.48254E-06$ และ $1.90258E-05$ failure per hour ตามลำดับ โดยใช้อัตราความล้มเหลวเหล่านี้ ฟังก์ชันอัตราความล้มเหลวในสมการ (1)-(2) และ ฟังก์ชันความน่าเชื่อถือใน (7)-(8) การแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลสำหรับ 1o02 และ 2o03 จะแสดงในรูปที่ 5.1 และ 5.2 ตามลำดับ ซึ่งปัจจัยเบต้า (ค่าความผิดพลาดรวม) แสดงผลกระทบของ Common Cause ที่ทำให้เกิดความไว คือ 0.0, 0.05 และ 0.1 จะเห็นว่าการแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของการกำหนดค่าอุปกรณ์รูปแบบการลงมติทั้งที่ไม่มี CCFs (the Beta Factor of 0.0) ให้ความน่าเชื่อถือสูงสุด อีกนัยหนึ่ง CCFs ลดความน่าเชื่อถือของการกำหนดค่าระบบสำรอง



รูปที่ 5.1 ฟังก์ชันความน่าเชื่อถือของระบบสำรองแบบ 1o02



รูปที่ 5.2 ฟังก์ชันความน่าเชื่อถือของระบบสำรองแบบ 2oo3

จากรูปที่ 5.1 และ 5.2 ผลการวิเคราะห์เชิงตัวเลขของความน่าเชื่อถือสำหรับภารกิจเวลาหนึ่งปี ($t=12$ เดือน) แสดงในตารางที่ 5.1

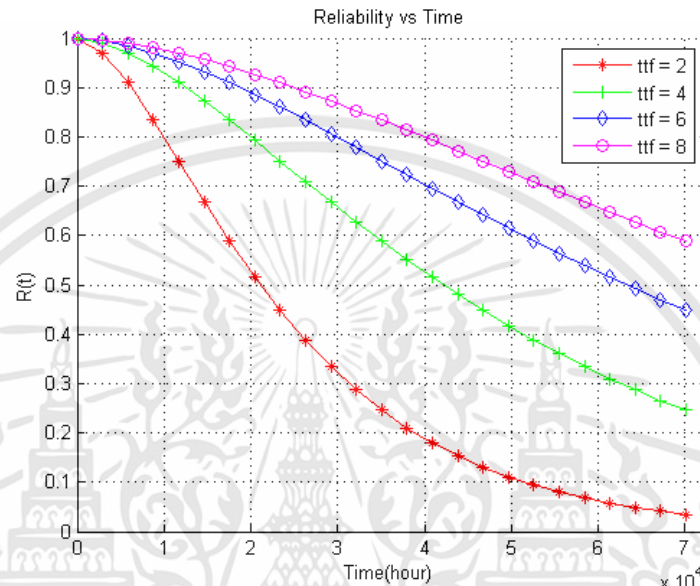
ตารางที่ 5.1 ความน่าเชื่อถือของระบบที่มี CCF

Time (month)	1oo2 Configuration			2oo3 Configuration		
	β			β		
t	0.10	0.05	0.00	0.10	0.05	0.00
1	0.9989	0.9994	0.9999	0.9981	0.9988	0.9994
2	0.9975	0.9986	0.9996	0.9954	0.9966	0.9977
3	0.9961	0.9976	0.9990	0.9918	0.9934	0.9950
4	0.9944	0.9964	0.9983	0.9874	0.9894	0.9914
5	0.9926	0.9950	0.9974	0.9823	0.9846	0.9868
6	0.9907	0.9935	0.9963	0.9765	0.9790	0.9815
7	0.9886	0.9918	0.9950	0.9702	0.9728	0.9754
8	0.9863	0.9899	0.9935	0.9632	0.9659	0.9686
9	0.9840	0.9879	0.9918	0.9557	0.9585	0.9611
10	0.9814	0.9857	0.9900	0.9477	0.9505	0.9531
11	0.9788	0.9834	0.9880	0.9393	0.9420	0.9445
12	0.9760	0.9810	0.9859	0.9304	0.9330	0.9354

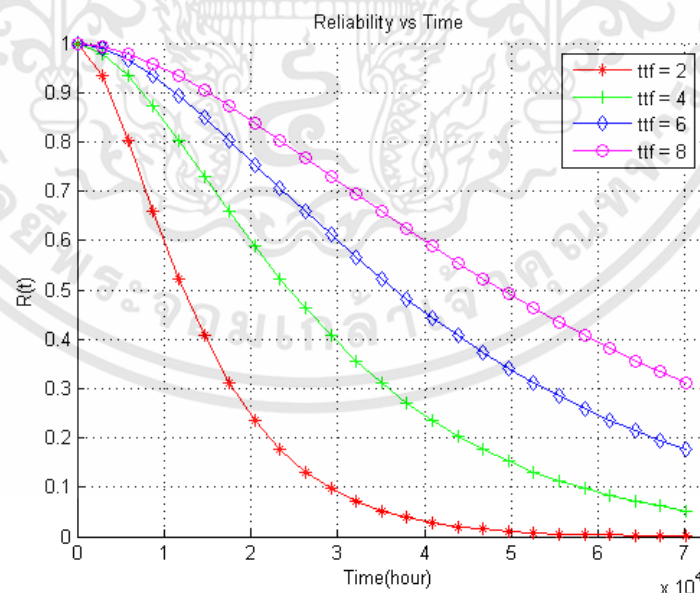
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเวลาก่อนการเสียหายของรูปแบบ k-out-of-n

ในกรณีที่มีปัจจัยเบต้า(ค่าความผิดพลาดร่วม) 0.05 การแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลของฟังก์ชันสำหรับความน่าเชื่อถือ 1o02 และ 2o03 การกำหนดค่าอุปกรณ์รูปแบบการลงมติ แสดงในรูปที่ 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ ที่ TTF (หรือเวลาความล้มเหลว) มีค่า 2, 4, 6 และ 8 ปี



รูปที่ 5.3 ฟังก์ชันความน่าเชื่อถือของระบบสำรองแบบ 2o03 ($\beta = 0.05$)

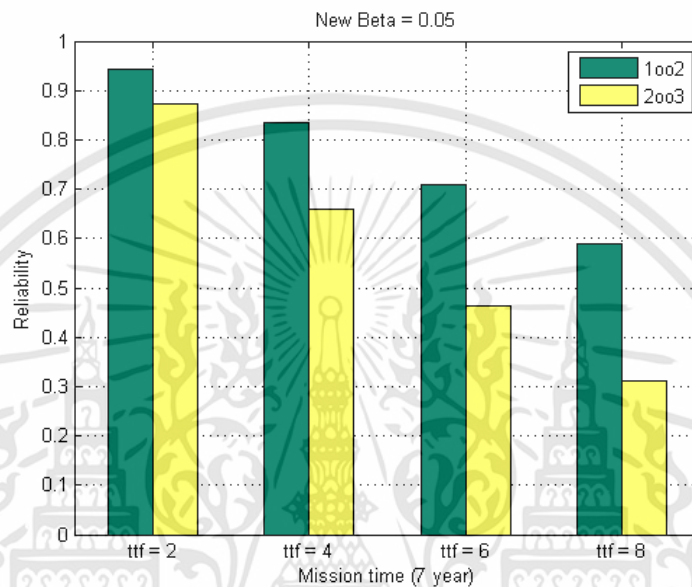


รูปที่ 5.4 ฟังก์ชันความน่าเชื่อถือของระบบสำรองแบบ 1o02 ($\beta = 0.05$)

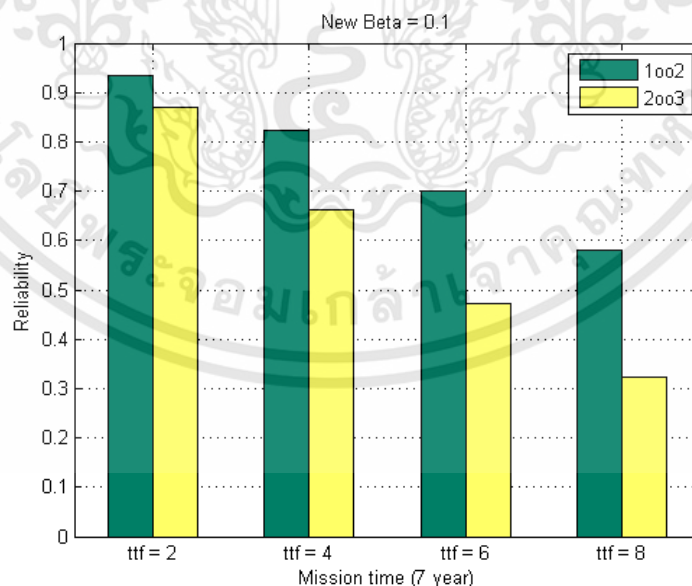
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปรียบเทียบความน่าเชื่อถือของรูปแบบ k-out-of-n

เปรียบเทียบความน่าเชื่อถือระหว่างรูปแบบ 1oo2 และ 2oo3 การกำหนดค่าอุปกรณ์รูปแบบการลงมติ สำหรับปัจจัยเบต้า 0.05 และ 0.1 จะแสดงในรูปที่ 5.5 และ 5.6 ตามลำดับ ที่ TTF (หรือเวลาความล้มเหลว) มีค่า 2, 4, 6 และ 8 ปี จะเห็นได้ว่าระบบสำรองแบบ 1oo2 ให้น่าเชื่อถือของระบบสูงกว่าระบบสำรองแบบ 2oo3



รูปที่ 5.5 เปรียบเทียบความน่าเชื่อถือระหว่าง 1oo2 และ 2oo3 ($\beta = 0.05$)



รูปที่ 5.6 เปรียบเทียบความน่าเชื่อถือระหว่าง 1oo2 และ 2oo3 ($\beta = 0.1$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการศึกษาและการวิเคราะห์ในส่วนของรูปแบบที่ 1 การปรับปรุงระบบผลิตไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชนิดกังหันก๊าซที่เดินเครื่องด้วยเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติเป็นเชื้อเพลิงหลัก และเชื้อเพลิงน้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิงสำรอง หลังจากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธี FMEA พบว่าอุปกรณ์ที่มีผลกระทบทำให้ระบบในการทำงานผิดพลาดส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์จำพวก Air Purge Valve จึงได้มุ่งเน้นศึกษาเกี่ยวกับ Air Purge Valve เป็นหลัก จากข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์เป็น FMEA แล้วนำมาวิเคราะห์ปัญหาเพื่อหาสาเหตุด้วยวิธีฟอลท์ทีโดอะแกรม (Fault Tree Analysis) ซึ่งปัญหาหลัก ๆ ของ Air Purge Valve มาจากการติดขัดของวาล์ว และ Feedback ของวาล์วสำหรับ Transformer Isolated Amplifier หลังจากการศึกษาพบว่า มี 3 กรณีที่ทำให้ Air Purge Valve ทำงานผิดพลาด ดังนี้

1. Ball valve เป็นสนิม จากการ Condensate ซึ่งระบบของ Air Purge Valve ที่ติดตั้งอยู่ในปัจจุบันมีระดับที่ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับวาล์วประเภทอื่น ทำให้เมื่อเกิดการ Condensate จึงมีน้ำเข้าไปในตัววาล์ว

2. การเลือกใช้วัสดุ (Material) ไม่เหมาะสมกับการใช้งาน จากปัญหานี้พบว่าการเปลี่ยนแปลงปะเก็น (Gasket) ที่เป็นวัสดุ Graphite + PTFE โดยอุณหภูมิของวัสดุที่สามารถทนความร้อนของ 2 ชนิดนี้แตกต่างกัน วัสดุที่เป็น Graphite สามารถทนต่ออุณหภูมิความร้อนได้ 1,078 องศาเซลเซียส และ FTFE สามารถทนต่ออุณหภูมิความร้อนได้ 260 องศาเซลเซียส ทำให้ปะเก็น PTFE ละลาย เกิดเป็นช่องว่าง (Gap) ที่หน้า Flange

3. Transformer Isolated Amplifier เสีย อุปกรณ์ส่วนใหญ่เป็นอิเล็กทรอนิกส์เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลานาน อุปกรณ์เหล่านี้ที่เป็น part ต่างๆ บน Electronics Cards ก็จะทำานผิดพลาด ซึ่งอายุของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์มักมีอายุการใช้งานประมาณ 25,000 ชั่วโมง หรือประมาณ 3 ปี [4]

จากปัญหาดังกล่าวได้วางแผนงานซ่อมบำรุงรักษา Air Purge Valve ทุกๆ 3 ปี และเมื่อโรงไฟฟ้าหยุดเดินระบบ (Reserve shutdown) กำหนดให้มีการทดสอบ Air Purge Valve ทุกวัน ผลจากการทดสอบช่วยลดการติดขัดของวาล์ว จากผลของการทดสอบการสลับเชื้อเพลิงของกังหันก๊าซพบว่า การบำรุงรักษาที่นำเสนอช่วยเพิ่มอัตราผลสำเร็จในการสลับเชื้อเพลิง จาก 55% ในปี พ.ศ. 2559 เป็น 75% ในปี พ.ศ. 2560

ตารางที่ 5.2 ผลการทดสอบ FSWO&FSWB จากการสั่งการจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ปี พ.ศ. 2558

หน่วยการผลิต	วันที่ทดสอบ	ผลการทดสอบ	สาเหตุผิดปกติ
แก๊สเทอร์ไบน์ หน่วยที่ 11	22 มีนาคม 2558	ผ่าน	
	20 เมษายน 2558	ไม่ผ่าน	Shut Off Valve NOX Water SEV (11MBU42AA050) malfunction.
	5 กรกฎาคม 2558	ผ่าน	
	27 กันยายน 2558	ผ่าน	
แก๊สเทอร์ไบน์ หน่วยที่ 12	29 มีนาคม 2558	ไม่ผ่าน	IP DRUM 12 LEVEL low" cause of IP BYP CV slow action.
	1 พฤษภาคม 2558	ไม่ผ่าน	Air purge valve EV Pilot 12 MBH71AA021 not close.
	13 กันยายน 2558	ไม่ผ่าน	IP Drum level low.
แก๊สเทอร์ไบน์ หน่วยที่ 21	1 กุมภาพันธ์ 2558	ผ่าน	
	17 พฤษภาคม 2558	ไม่ผ่าน	Fuel oil combine pump block failure
	22 ตุลาคม 2558	ไม่ผ่าน	Can't FSWO in-process unload fuel oil.D14
	15 พฤศจิกายน 2558	ผ่าน	
แก๊สเทอร์ไบน์ หน่วยที่ 22	1 มีนาคม 2558	ผ่าน	
	23 สิงหาคม 2558	ผ่าน	
	8 พฤศจิกายน 2558	ผ่าน	

คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ผลสำเร็จ 54.17% และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ผลไม่สำเร็จ 42.86%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบ FSWO&FSWB จากการสั่งการจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ปี พ.ศ. 2559

หน่วยการผลิต	วันที่ทดสอบ	ผลการทดสอบ	สาเหตุผิดปกติ
แก๊สเทอร์ไบน์ หน่วยที่ 11	1 พฤษภาคม 2559	ผ่าน	
	5 กรกฎาคม 2559	ไม่ผ่าน	EV Burner Valve not close.
	22 ตุลาคม 2559	ผ่าน	
แก๊สเทอร์ไบน์ หน่วยที่ 12	21 กุมภาพันธ์ 2559	ผ่าน	
	8 พฤษภาคม 2559	ไม่ผ่าน	Pressure SEV combustor increment Gradient >Max3.
	30 ตุลาคม 2559	ผ่าน	
แก๊สเทอร์ไบน์ หน่วยที่ 21	27 มีนาคม 2559	ไม่ผ่าน	Half Block trip from Fuel oil SOV not open.
แก๊สเทอร์ไบน์ หน่วยที่ 22	10 มกราคม 2559	ผ่าน	
	29 พฤษภาคม 2559	ไม่ผ่าน	Half block CMB Pump not operate.

คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ผลสำเร็จ 55.56% และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ผลไม่สำเร็จ 44.44%

ตารางที่ 5.4 ผลการทดสอบ FSWO&FSWB จากการสั่งการจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิต ปี พ.ศ. 2560

หน่วยการผลิต	วันที่ทดสอบ	ผลการทดสอบ	สาเหตุผิดปกติ
แก๊สเทอร์ไบน์ หน่วยที่ 11	5 มีนาคม 2560	ผ่าน	
แก๊สเทอร์ไบน์ หน่วยที่ 12	11 สิงหาคม 2560	ผ่าน	
แก๊สเทอร์ไบน์ หน่วยที่ 21	28 พฤษภาคม 2560	ผ่าน	
แก๊สเทอร์ไบน์ หน่วยที่ 22	14 พฤษภาคม 2560	ไม่ผ่าน	SEV CV Fluctuate cannot increase load.

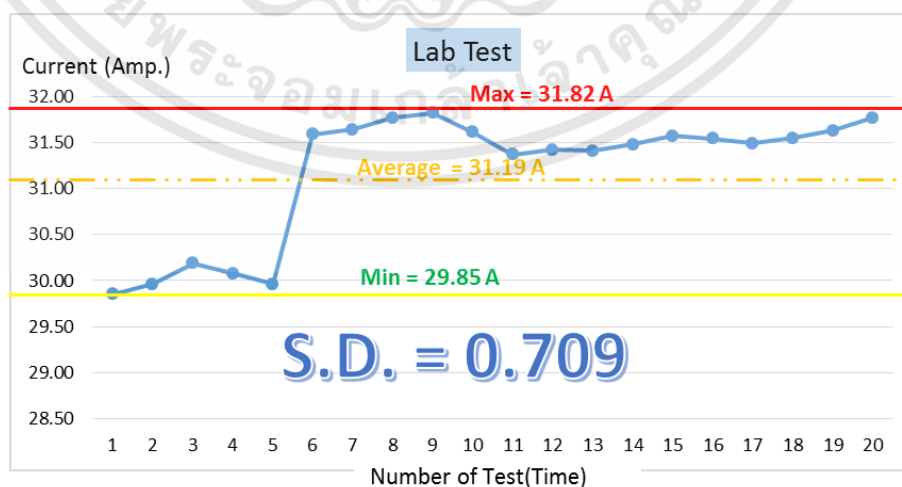
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์ผลสำเร็จ 75% และคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ผลไม่สำเร็จ 25%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 สรุปผลการทดสอบ FSWO&FSWB ตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2558 – 2560

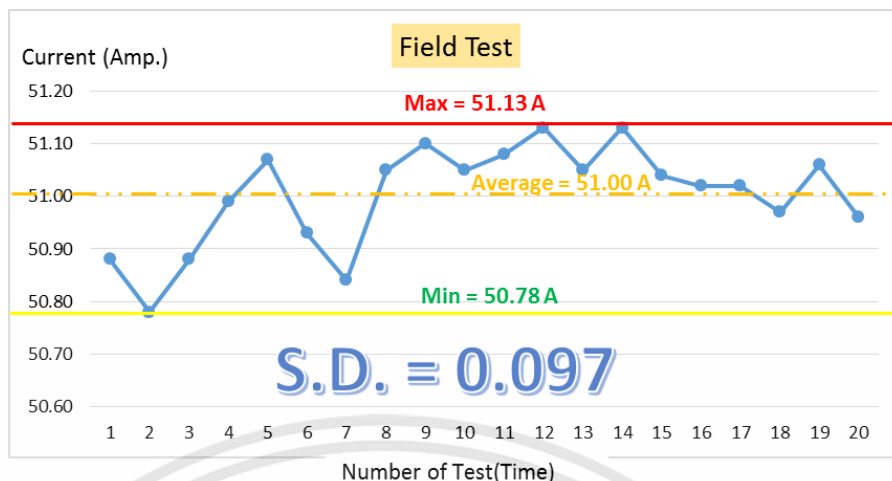
หน่วยการผลิต	ปี พ.ศ. 2558		ปี พ.ศ. 2559		ปี พ.ศ. 2560	
	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
แก๊สเทอร์ไบน์ หน่วยที่ 11	3	1	2	1	1	-
แก๊สเทอร์ไบน์ หน่วยที่ 12	-	3	2	1	1	-
แก๊สเทอร์ไบน์ หน่วยที่ 21	2	2	-	1	1	-
แก๊สเทอร์ไบน์ หน่วยที่ 22	3	-	1	1	-	1
ผลรวมการทดสอบ	8	6	5	4	3	1

จากตารางที่ 5.2 – 5.4 พบว่าการกำหนดการทดสอบ Air Purge Valve ทุกวัน สามารถลดความเสี่ยงในการทำงานผิดพลาดของวาล์วช่วงที่เดินเครื่องปกติ เนื่องจากการทดสอบก่อนช่วยให้พบปัญหาและสามารถแก้ไขได้ทันทีที่ ลดการสูญเสียค่าปรับจากการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์จนทำให้ระบบหยุดการทำงาน (Shutdown) และเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของระบบให้กับโรงไฟฟ้า สามารถตอบสนองการสั่งการจากการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้ (EGAT) และจากการปรับปรุงในรูปแบบที่ 2 จากความผิดพลาดของอุปกรณ์เครื่องควบคุมเชิงตรรกะที่สามารถโปรแกรมได้ (PLCs) อุปกรณ์ตรวจจับกระแสของไทรสเตอร์ (Conduction monitoring Sensor) ของ Excitation System พบว่าค่าที่ทำการทดสอบมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานต่ำ ดังรูปที่ 5.7 และรูปที่ 5.8 ตามลำดับ จากข้อมูลทำการทดสอบพบว่าค่าการทดสอบที่ระบบจริงมีความน่าเชื่อถือของข้อมูลมากกว่าการทดลองในห้อง LAB และจากการปรับปรุง Hall Effect Sensor ช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของระบบ Excitation ตามตารางที่ 5.6 และลดการนำเข้าอุปกรณ์จากต่างประเทศเป็นการลดต้นทุนให้กับทางโรงไฟฟ้า ตามตารางที่ 5.7 และช่วยลดความเสี่ยงการขาดแคลนอะไหล่เมื่ออุปกรณ์เลิกการผลิต (Obsolete)



รูปที่ 5.7 กราฟของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดลองในห้อง LAB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 กราฟของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการทดสอบที่ระบบการทำงานจริง

ตารางที่ 5.6 การเปรียบเทียบการนำกระแสจากการปรับปรุง Hall Effect Sensor กับ OEM

Item	Description	Current Conduct (I_{AV})
1	CONDUCTION MONITORING SENSOR (New spare part)	75.06 A.
2	CONDUCTION MONITORING SENSOR (Replaced new Hall Effect Sensor)	53.35 A.

ตารางที่ 5.7 การเปรียบเทียบราคาอุปกรณ์จากการปรับปรุงและการนำเข้าจากต่างประเทศ

Item	Description	Price (Baht)	Quantity	Total Price (Baht)
1	CONDUCTION MONITORING SENSOR (SUCO MOODUL) Delivery Time 12 Weeks	107,157.44	14	1,500,204.13
2	Hall Effect Sensor "HONEYWELL" Model: SS495A1	141.07	14	1,974.98

จากการกำหนดแผนในการตรวจสอบอุปกรณ์ตรวจจับกระแส สามารถลดความเสี่ยงในการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ และลดการสูญเสียค่าปรับจากความไม่พร้อม (Availability) ของโรงไฟฟ้า ซึ่งหากรบบ Excitation ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ โรงไฟฟ้าจะต้องจ่ายค่าปรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 8 ล้านบาทต่อ 1 หน่วยการผลิตต่อหนึ่งเหตุการณ์ การตรวจสอบอุปกรณ์ให้พร้อมอยู่เสมอ จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากในการเดินเครื่องของโรงไฟฟ้า ซึ่งผลของการปรับปรุง Hall Effect Sensor ของอุปกรณ์ตรวจจับกระแส ตั้งแต่ พ.ศ. 2559-2561 ยังไม่พบความล้มเหลวของอุปกรณ์ขณะที่โรงไฟฟ้าเดินเครื่องผลิตกระแสไฟฟ้า

5.2 ข้อเสนอแนะ

การนำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นของเครื่องจักรด้วยวิธี FMEA ควรมีการบันทึกข้อมูลของอุปกรณ์ให้ครอบคลุม ดังนี้

1. วัน เดือน ปี
2. เวลา
3. ชื่ออุปกรณ์หรือเครื่องจักร
4. รหัสของเครื่องจักร
5. สาเหตุที่แท้จริงของการทำงานผิดพลาดของอุปกรณ์ หรือระบบนั้นๆ
6. วิธีการแก้ไขหรือวิธีการปรับปรุง

เมื่อมีข้อมูลครบถ้วนตามนี้การวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นของเครื่องจักรด้วยวิธี FMEA ข้อมูลที่นำมาวางแผนในงานซ่อมบำรุง ก็จะมีประสิทธิภาพมากขึ้น และในการสร้างแบบจำลองของระบบทั้งแบบ FSWO&FSWB และ Excitation System ควรใช้หลักการวิเคราะห์และประเมินความเป็นไปได้ที่อุปกรณ์หรือระบบนั้นจะทำงานผิดพลาด ซึ่งจะช่วยให้สามารถลดความสูญเสียกระบวนการผลิต (Breakdown) ได้ และเป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือ (Reliability) ของระบบในการผลิตไฟฟ้ามากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] Yutthana Yuchomboon, Teerawat Thepmanee “Inspection Maintenance Improvement for Reducing Common Cause Failures of k-out-of-n Configurations : A Case Study of Power Plant” **SII 2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration**, Sapporo Convention Center, Sapporo, Japan, December 13-15,2016, PP.81-86.
- [2] ทวีช ชูเมือง, ระบบวัดคummินิรัยในอุตสาหกรรมการผลิต. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดดูเคชั่น. 2548.
- [3] ทวีช ชูเมือง, การกำหนดค่าระดับความปลอดภัยสำหรับฟังก์ชันนิรัย. กรุงเทพฯ : 2551.
- [4] สมภพ ตลับแก้ว, วิศวกรรมความน่าเชื่อถือสำหรับการบำรุงรักษา. กรุงเทพฯ : ศูนย์ผลิตตำราเรียน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 2558
- [5] สุขญาณ ทรราชสุข, **Weibull Database**. สระบุรี : Gulf Technical Training 2558
- [6] R. Manzini, A. Regattieri, H. Pham, and E. Ferrari, “**Maintenance for Industrial Systems**”, Springer, 2010.
- [7] H. R. Golmakani, “**Cost-effective condition-based inspection scheme for condition-based maintenance**”, IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI), 2011, pp. 327-330.
- [8] H. Guo, F. Szidarovszky, A. Gerokostopoulos, and P. Niu “**On determining optimal inspection interval for minimizing maintenance cost**”, Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), 2015, pp. 1-7.
- [9] W. Li and H. Pham “**An inspection-maintenance model for systems with multiple competing processes**”, IEEE Transactions on Reliability, 2005, pp. 318-327.
- [10] Z. S. Ye, M. M. Zhang, and X. Xiao, “**An inspection-maintenance strategy for heterogeneous systems with measurable degradation**”, IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2013, pp. 1432-1436.
- [11] D. S. Bai, W. Y. Yun, and S. W. Chung “**Redundancy optimization of k-out-of-n systems with common-cause failures**”, IEEE Transactions on Reliability, 1991. Pp. 56-59.
- [12] L. Lu and G. Lewis “**Reliability evaluation of standby safety systems due to independent and common cause failures**”, IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, 2006, pp. 264-269,
- [13] W. M. Goble, “**Control Systems Safety Evaluation and Reliability**”, International Society of Automation, 3rd, 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก
บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการระดับนานาชาติในวิทยานิพนธ์นี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

[1] Yutthana Yuchomboon, Teerawat Thepmanee “Inspection Maintenance Improvement for Reducing Common Cause Failures of k-out-of-n Configurations : A Case Study of Power Plant” **SII 2016 IEEE/SICE International Symposium on System Integration**, Sapporo Convention Center, Sapporo, Japan, December 13-15,2016, PP.81-86.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Inspection Maintenance Improvement for Reducing Common Cause Failures of k -out-of- n Configurations: A Case Study of Power Plant

Yutthana Yuchomboon and Teerawat Thepmanee

Abstract— This paper presents an improvement of inspection maintenance actions to reduce common cause failures of k -out-of- n redundant structures. Improving maintenance tasks for the programmable logic controllers with 1oo2 voting configuration and the control valves with 2oo3 voting configuration in a thermal power plant is described as an illustrative case study. The proposed improvement is based on common-cause avoidance in replacement and repair procedures. Performances of the proposed technique are verified through reliability modeling of two interested voting configurations. The suggested maintenance improvement can increase the system reliability for redundancy as needed to maintain critical functions.

I. INTRODUCTION

Reliability-centered maintenance (RCM) is a systematic approach for defining applicable and effective strategies of failure management to ensure safe and cost-effective operations of a system in a specific operating environment. Inspection maintenance is one of failure management strategies for minimizing the risk and impact of failure in systems [1]. It involves fault-finding actions to determine hidden failures in the equipment or system on a scheduled basis. The purpose of planned inspections is to discover oncoming failures that have already occurred but have not yet surfaced or to detect partial failures that are about to happen [2-3]. If the system is in the state of partial or oncoming failure, then initiate corrective maintenance work such as the repair or replacement of failed components. The inspection concept is very useful for identifying failures caused by degradation or deterioration to make the system to be more reliable [4-5]. In addition, redundancy plays an important role in increasing the reliability of systems. The k -out-of- n structure is the most important redundant configuration in fault-tolerant industrial systems. However, these redundant systems are sometimes affected by corrosion, contamination, or environmental factors such as weather, electromagnetic interference, and thermal condition, in real situations. Two or more components used in the k -out-of- n systems may fail due to the same cause, thus the theoretically achievable reliability of these systems may be decreased. Therefore, the subject of common cause failures (CCFs) is required to be considered in applications with high reliability or safety requirements [6-7].

The aim of this paper is to propose a technique to reduce CCFs in the k -out-of- n configurations maintained by inspection maintenance strategy. An improvement of

inspection maintenance tasks for two voting redundant structures of a thermal power plant in Thailand is described as an illustrative case study. The CCF reliability models with fault tree diagrams of studied voting configurations are also included.

II. FAILURE ANALYSIS OF STUDIED POWER PLANT

A. Recorded Failures

The interested thermal power plant began its operations in August 2006. Unfortunately, several unscheduled plant shutdowns were occurred after commissioning and start up. The studied power plant needs to pay liquidated damages to the contracting party for a failure to delivery power at the rate of about 1-3 million Bath per downtime. A failure occurs when a system, a unit, a module, or a component fails to perform its purposed function. In order to prevent future system failures, the causes of failure should be studied. Figure 1 shows the levels of a power generation system of the interested power plant for failure analysis purpose. The analyzed power generation system is built from 2 identical gas turbine units (no. 11 and no.12). Both units are built from 3 groups of major equipment; process (or mechanical) equipment, electrical equipment, and control & instrument equipment. The equipment is built from modules (or devices), where some high-reliability modules or devices are configured in k -out-of- n voting scheme. From results of failure investigation and analysis, there are 20 failure events occurred in the studied power generation system during 2007-2015. It is found that 82 percent of turbine generator trips were caused by the failures of control and instrumentation devices, while 28 percent were caused by the CCFs of voting redundant structures. In addition, 50 percent of turbine generator trips occurred in the gas turbine unit 11. Figure 2 shows the frequency distribution of the Time To Failure (TTF), which is the time between the starting instant of time of a system and the failure instant of time, for the analyzed system.

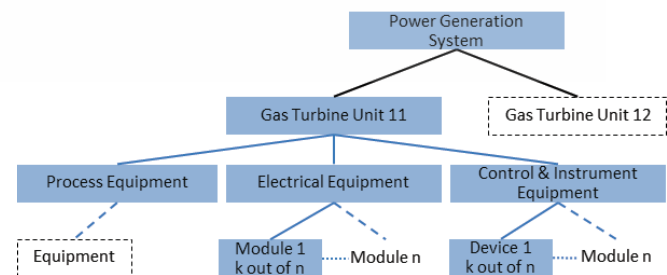


Figure 1. Levels of the studied power generation system

Y. Yuchomboon is with Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, 10520 (e-mail: yutthana.powerplant@gmail.com).

T. Thepmanee is with Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, 10520 (phone:662-329-8348; fax: 662-329-8349; e-mail: teerawat.th@kmitl.ac.th).

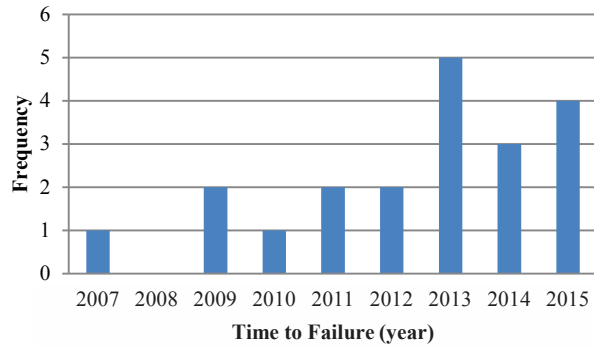


Figure 2. Frequency distribution of TTF for the analyzed system

B. Failure Modes and Effects Analysis

There are two types of failures; random failure and systematic failures. Both failures have attributes that important to the system safety and reliability analysis. These failure data are needed to help determine how to prevent future failures of both types. A Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) is a systematic method designed for evaluating the system to identify where and how it might fail and to assess the relative impact of different failures [1]. It is a “bottom up” technique that starts with a detailed list of all components within the analyzed system. A whole system can be analyzed one component at a time via a hierarchical structure. At the component level, FMEA is performed to provide module-level failure modes, which are the ways in which something might fail. These failure modes from various modules can be used in the FMEA of equipment subunit. The results of that analysis will provide unit-level failure mode, which can be used at the system level. In order to take actions to reduce failures in the gas turbine unit 11, the high-priority equipment like electrical equipment and control & instrument equipment are focused. Tables I and II show the FMEA documents associated with the electrical equipment (programmable logic controller: PLC) and the control & instrument equipment (valve), respectively.

TABLE I. FMEA OF ELECTRICAL EQUIPMENT

Item	Description
Process Name	Gas turbine and steam excitation
Device Name	PLC excitation
Function	DC current control for supplying field coil
Mode	Failure of the PLC CPU Failure of conduct monitoring module
Cause	Excitation fault to affect the conduct monitoring module and the CPU of Channel 1 to be failed, and to cause the standby CPU of Channel 2 failure to take action
Effect	Gas turbine trip (fail trip)
Criticality	Safe
Time to Fail	2 failure events occurred in 2014 Failure rate = 1.48254E-06
Remark	1oo2 voting configuration

TABLE II. FMEA OF CONTROL & INSTRUMENT EQUIPMENT

Item	Description
Process Name	Gas turbine
Device Name	Air purge valve (MBH71AA021)
Function	Purging combustor
Mode	Fail-to-open
Cause	Valve passing (need a valve replacement)
Effect	Gas turbine trip (fail trip)
Criticality	Safe
Time to Fail	3 failure events occurred in 2012, 2013, and 2015 Failure rate = 1.90258E-05
Remark	2oo3 voting configuration

The k -out-of- n scheme is a widely accepted form of redundancy in fault-tolerant systems to maintain their functionality in the presence of faults. This scheme consists of n components of which only k need to be functioning for system success. From Tables I and II, the redundant hardware configurations of the PLC module and control valve are based on 1oo2 (1 out of 2) and 2oo3 (2 out of 3) structures, respectively.

C. Common-Cause Modeling with Fault Tree Diagram

Systems affected by CCFs are systems in which two or more devices have the potential of occurring due to the same cause. The CCF can negate the advantages of fault tolerant systems. Thus the CCF is one of the major concerns associated with redundancy, since a condition or an event can cause multiple devices to fail simultaneously. Redundancy works well when dealing with independent failures, but when CCF occurs, redundancy could lose its intended function.

The beta model is one of several models available to predict the effects of common-cause susceptibility. This model divides the failure rate of each component into common-cause (two or more components fail) and normal (one component fails). A fractional multiplication factor known as the beta (β) factor is employed to divide the failure rate into the common cause portion, λ^{DC} and the normal (independent) portion, λ^{DN} . The following equations are used:

$$\lambda^{DC} = \beta \times \lambda^D \quad (1)$$

and

$$\lambda^{DN} = (1 - \beta) \times \lambda^D \quad (2)$$

where λ^D denotes the failure rate. From (1), if $\beta = 0$, then there is no common cause failure.

Effects of the studied common cause for the PLCs with 1oo2 voting configuration and the control valves with 2oo3 voting configuration are modeled using fault tree diagrams as illustrated in Figures 3 and 4, respectively. The fault tree can be used as a quantitative probability analysis tool. Probabilities are assigned to basic faults and trigger events.

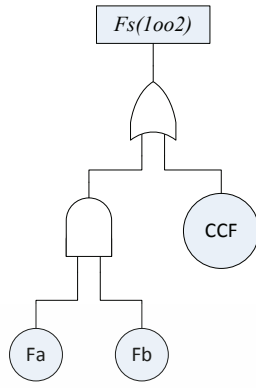


Figure 3. Fault tree diagram showing common cause of 1oo2 redundancy

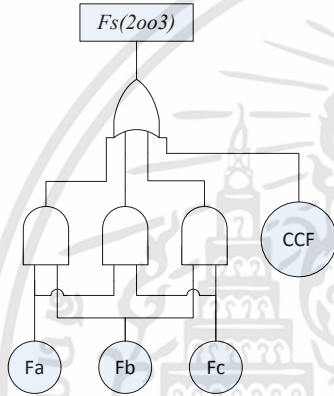


Figure 4. Fault tree diagram showing common cause of 2oo3 redundancy

Reliability, $R(t)$, is a measure of success whereas unreliability $F(t)$ is a measure of failure. $R(t)$ is defined as “the probability that a device will be successful during the operating time interval, t ”, while $F(t)$ is defined as “the probability that a device will fail during the operating time interval, t ”. The analytical evaluation of the unreliability $F(t)$, or reliability $R(t)$ for the system, all the devices used are supposed to be not repairable, and the probability distributions of time to failure random variables are assumed to be exponential. Since any device must be either successful or failed, then

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - R(t) \quad (3)$$

where λ = Failure rate (failures per hours)
 t = Time interval (hours)

When the failure rate of a component is known, the probability of failure for a given time interval can be calculated by multiplying the failure rate by the time interval. The generic expression of reliability for a k -out-of- n

system composed of identical and independent components can be expressed by

$$R(t)_{k/n} = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} R(t)^i (1 - R(t))^{n-i} \quad (4)$$

The number of combinations can be written as

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (5)$$

Substituting (5) into (4), then the probabilities of success for realizing combination of 1oo2 and 2oo3 configurations can be stated as

$$R(t)_{1oo2} = 2R(t) - R^2(t) \quad (6)$$

$$R(t)_{2oo3} = 3R^2(t) - 2R^3(t) \quad (7)$$

For analytical evaluation of the reliability $R(t)$ and the failure rate of the system, all components are supposed to be not repairable, and the probability distributions of time to failure random variables are assumed to be exponential. Since the reliability function is one's complement of the unreliability function, then the results from the qualitative evaluation of the fault tree diagrams showing common cause of 1oo2 and 2oo3 redundant schemes in Figures 3 and 4, respectively, can be given by

$$R_{S(1oo2)} = (2e^{-\lambda^{DN}t} - e^{-2\lambda^{DN}t})(e^{-\lambda^{DC}t}) \quad (8)$$

$$R_{S(2oo3)} = (3e^{-2\lambda^{DN}t} - 2e^{-3\lambda^{DN}t})(e^{-\lambda^{DC}t}) \quad (9)$$

III. PROPOSED IMPROVEMENT OF MAINTENANCE TASKS

A. Previous Inspection Plans

Maintenance tasks for the studied power generation system are based on the condition-based inspection maintenance strategy by scheduling fault-finding actions for inspection at specific points in time to detect failures occurred in the system. If the studied system is in the state of failures, then performs the corrective maintenance actions like failure repair or replacement. Figure 5 shows a concept of the previous inspection maintenance workflow.

Tables III and IV give the assigned inspection plans (IPs) for the electrical equipment (PLC) and the control & instrument device (control valve), respectively.

B. Common-Cause Avoidance

The key feature of common-cause event is that two or more components (or subsystems) are affected by a single, shared cause. It drastically reduces the system reliability in redundant systems. The common-cause defense rules can be grouped into categories that result in three basic methods [8].

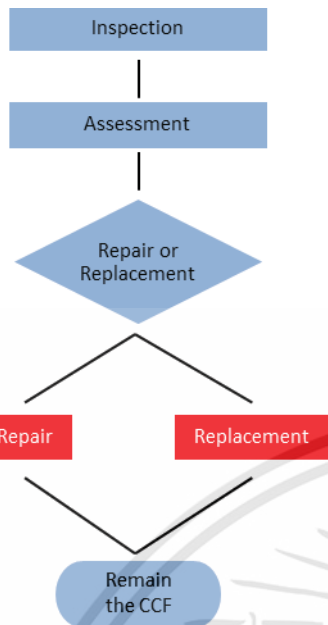


Figure 5. Concept of previous inspection maintenance workflow

- Reduce common stress (RS): when redundant unit are physically and electrically separated, there is less likelihood of their being subjected to a common environmental stress.
- Apply diversity (AD): diversity is a concept in which differently designed units are wired together in a redundant configuration. For this concept to be effective, the redundant components must respond differently to a common stress.
- Ruggedize the design for high strength (HS): the system features that lower the component failure rate will also lower common-cause failure rate.

C. Improved Inspection Plans

In order to reduce the CCFs of the redundant hardware configurations of the electrical equipment (PLC) and the control & instrument device (control valve), the inspection plans as summarized in Tables III and IV, respectively, are improved by using three basic methods (RS, AD, and HS) of

TABLE III. INSPECTION PLAN FOR ELECTRICAL EQUIPMENT

Item	Replace new conduct monitoring module (sensor) and re-load program from Laptop to PLC
	Scope of Inspection
1.	Power switch off to reset the PLC Ch. 2, it's still fault alarm pending active.
2.	Connect the Laptop for reading fault and also re-load the set file to PLC, then the system will reboot to be normal
3.	Replace the conduct monitoring module
4.	Test all functions of the conduct monitoring module
5.	Switching test each PLC channel
6.	Repair the air condition of both no.1 and 2

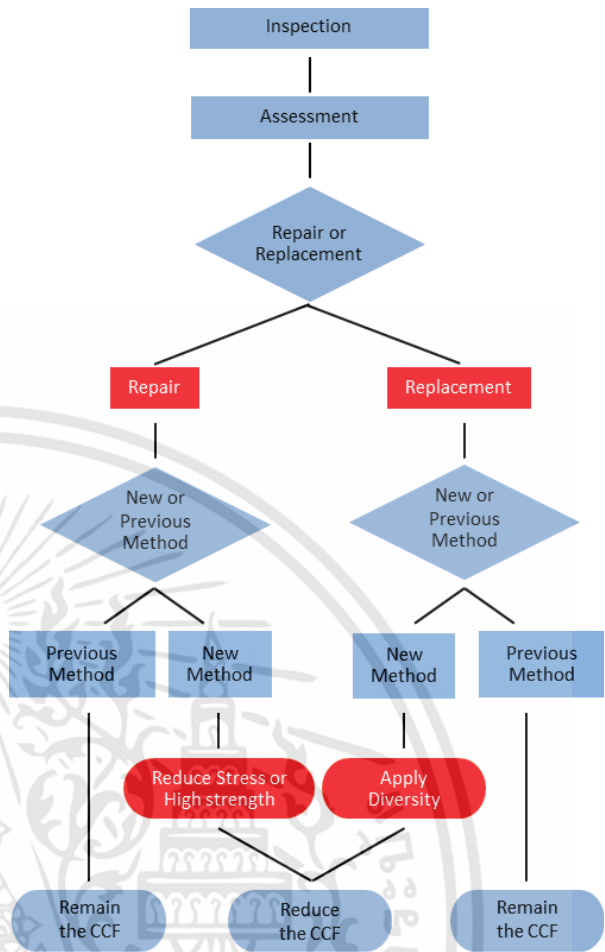
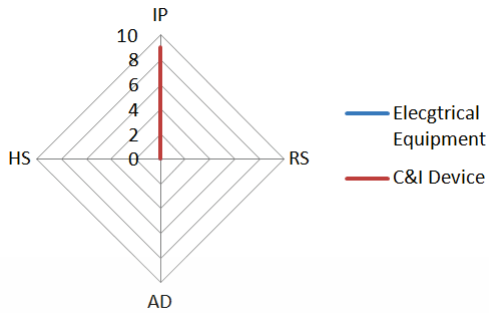


Figure 6. Concept of improved inspection maintenance workflow

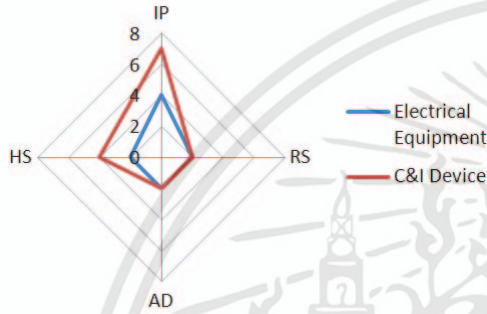
common-cause avoidance in repair and replacement procedures. Figure 6 shows a concept of the improved inspection maintenance workflow. Figure 7 displays the comparison between the inspection maintenance actions of the previous workflow (before improvement) and the improved workflow (after improvement).

TABLE IV. INSPECTION PLAN FOR CONTROL & INSTRUMENT EQUIPMENT

Item	Replace the new air purge valve.
	Scope of Inspection
1.	Disconnect and remove the proximity switch sensor (Close & Open).
2.	Un-coupling between actuator and air purge valve.
3.	Disconnect and remove actuator of air purge valve.
4.	Disconnect and remove the old air purge valve and old gasket.
5.	Install and connect the new air purge valve and new gasket.
6.	Install and connect the actuator of air purge valve.
7.	Coupling between actuator and air purge valve.
8.	Install and connect the proximity switch sensor (Close & open).
9.	Stoke test the air purge valve with control room.



(a) Before Improvement



(b) After Improvement

Figure 7. Comparison between inspection maintenance procedures of previous workflow improved workflow

It is seen that the new inspection maintenance actions of the improved workflow include three methods of the common-cause defense rules for reducing the CCFs.

IV. NUMERICAL ILLUSTRATION

A. Reliability of k -out-of- n Configurations

From the FMEA results as summarized in Tables I and II, the failure rates of the 1oo2 and 2oo3 voting structures for the redundant hardware configurations are $1.48254E-06$ and $1.90258E-05$ failure per hour, respectively. Using these failure rates, the failure rate functions in Eqs. (1)-(2), and the reliability functions in (8)-(9), the exponential distributions for the 1oo2 and 2oo3 configurations are shown in Figures 8 and 9, respectively, where the beta factors showing effects of common-cause susceptibility are 0.0, 0.05, and 0.1. It is evident that the exponential distributions of both voting configurations with no CCFs (the beta factor of 0.0) provide the highest reliability. Otherwise, the CCFs reduce the reliability of the redundant configurations.

From Figures. 8 and 9, the numerical results of reliability analysis for one-year mission time ($t = 12$ months) are shown in Table V. It seen that the proposed technique can increase the reliability of both 1oo2 and 2oo3 voting configurations.

B. Time to Failure of k -out-of- n Configurations

In the case of the beta factor of 0.05, the exponential distributions of the reliability function for the 1oo2 and 2oo3 voting configurations are illustrated in Figures 10 and 11, respectively, where the TTF (or Failure Time) values are 2, 4, 6, and 8 years.

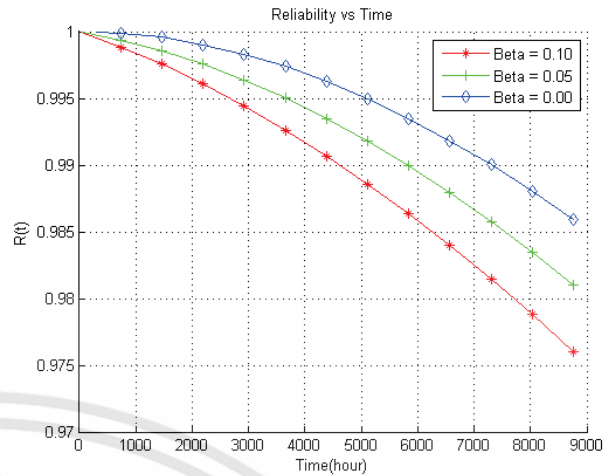


Figure 8. Reliability function of 1oo2 redundancy

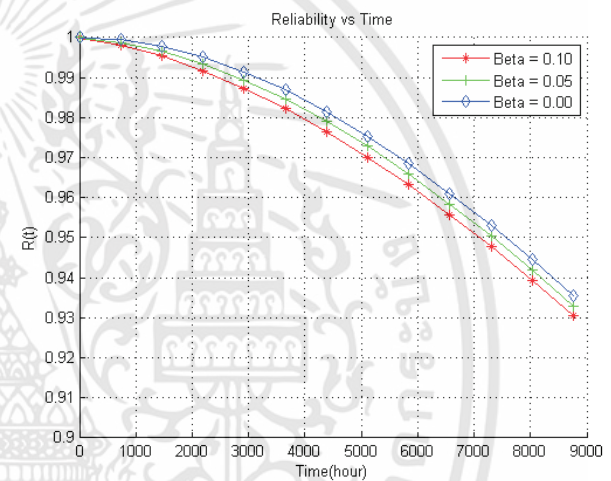


Figure 9. Reliability function of 2oo3 redundancy

C. Reliability Comparisons of k -out-of- n Configurations

The reliability comparisons between the 1oo2 and 2oo3 voting configurations for the beta factors of 0.05 and 0.1 are shown in Figures 12 and 13, respectively, where the TTF (or Failure Time) values are 2, 4, 6, and 8 years. It can be seen that the 1oo2 redundancy provides the higher system reliability than the 2oo3 redundancy.

TABLE V. RELIABILITY OF THE SYSTEM WITH CCF

Time (month) t	1oo2 Configuration			2oo3 Configuration		
	0.10	0.05	0.00	0.10	0.05	0.00
1	0.9989	0.9994	0.9999	0.9981	0.9988	0.9994
2	0.9975	0.9986	0.9996	0.9954	0.9966	0.9977
3	0.9961	0.9976	0.9990	0.9918	0.9934	0.9950
4	0.9944	0.9964	0.9983	0.9874	0.9894	0.9914
5	0.9926	0.9950	0.9974	0.9823	0.9846	0.9868
6	0.9907	0.9935	0.9963	0.9765	0.9790	0.9815
7	0.9886	0.9918	0.9950	0.9702	0.9728	0.9754
8	0.9863	0.9899	0.9935	0.9632	0.9659	0.9686
9	0.9840	0.9879	0.9918	0.9557	0.9585	0.9611
10	0.9814	0.9857	0.9900	0.9477	0.9505	0.9531
11	0.9788	0.9834	0.9880	0.9393	0.9420	0.9445
12	0.9760	0.9810	0.9859	0.9304	0.9330	0.9354

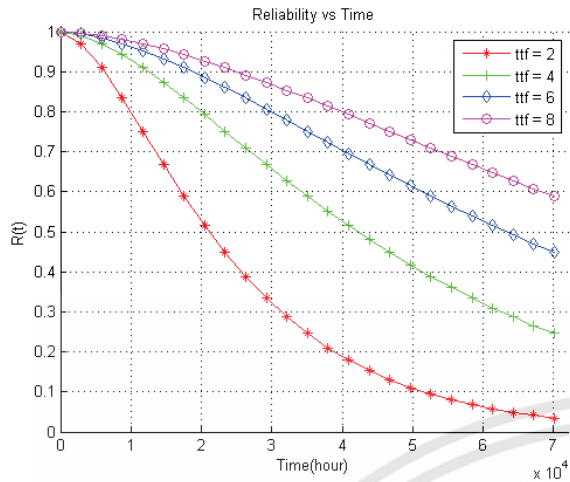


Figure 10. Reliability function of 1oo2 redundancy ($\beta = 0.05$)

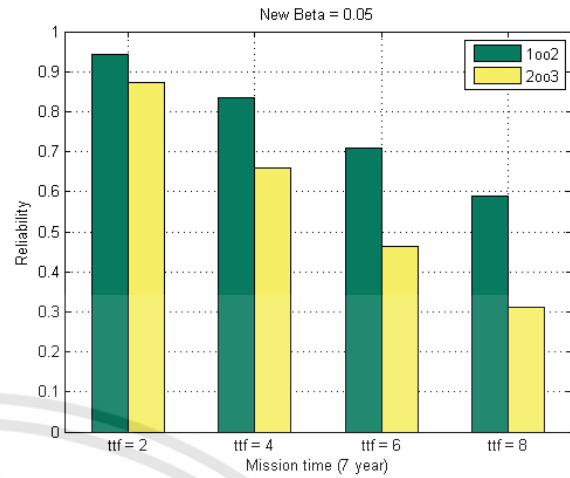


Figure 12. Reliability comparison between 1oo2 and 2oo3 ($\beta = 0.05$)

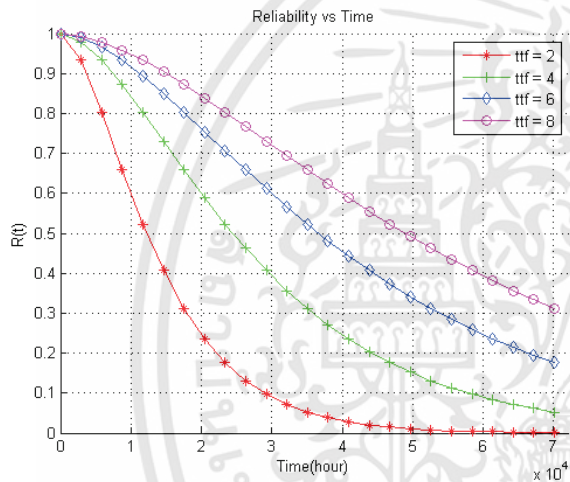


Figure 11. Reliability function of 2oo3 redundancy ($\beta = 0.05$)

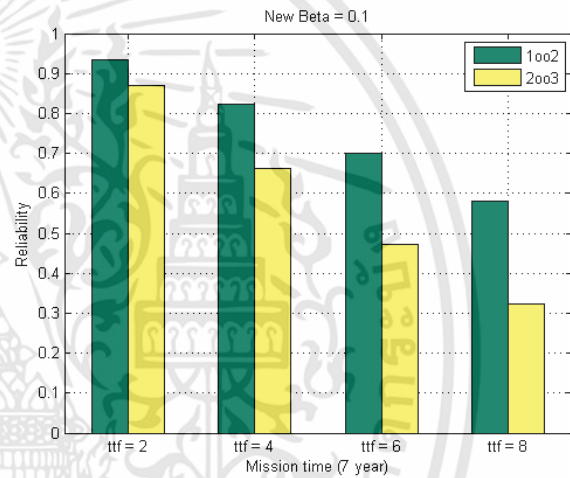


Figure 13. Reliability comparison between 1oo2 and 2oo3 ($\beta = 0.1$)

V. CONCLUSION

The technique based on common-cause avoidance to improve the procedures in inspection maintenance strategy for common cause failure reduction in the voting configurations has been proposed. The improvement of inspection plans for the PLCs with 1oo2 voting configuration and the control valves with 2oo3 voting configuration in the thermal power plant has been described. Numerical results verify that the system reliability can be increased by the proposed improvement. However, the effectiveness of the proposed technique depends on properly planned and scheduled inspection maintenance actions, which are capable of minimizing the life-cycle costs and maximizing throughput and profit.

REFERENCES

- [1] R. Manzini, A. Regattieri, H. Pham, and E. Ferrari, "Maintenance for Industrial Systems", Springer, 2010.
- [2] H. R. Golmakani, "Cost-effective condition-based inspection scheme for condition-based maintenance", IEEE International Conference on Information Reuse and Integration (IRI), 2011, pp. 327-330.
- [3] H. Guo, F. Szidarovszky, A. Gerokostopoulos, and P. Niu "On determining optimal inspection interval for minimizing maintenance cost", Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS), 2015, pp. 1-7.
- [4] W. Li and H. Pham "An inspection-maintenance model for systems with multiple competing processes", IEEE Transactions on Reliability, 2005, pp. 318-327.
- [5] Z. S. Ye, M. M. Zhang, and X. Xiao, "An inspection-maintenance strategy for heterogeneous systems with measurable degradation", IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, 2013, pp. 1432-1436.
- [6] D. S. Bai, W. Y. Yun, and S. W. Chung "Redundancy optimization of k-out-of-n systems with common-cause failures", IEEE Transactions on Reliability, 1991, pp. 56-59.
- [7] L. Lu and G. Lewis "Reliability evaluation of standby safety systems due to independent and common cause failures", IEEE International Conference on Automation Science and Engineering, 2006, pp. 264-269.
- [8] W. M. Goble, "Control Systems Safety Evaluation and Reliability", International Society of Automation, 3rd, 2010.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายยุทธนา อยู่ชมบุญ
วัน เดือน ปีเกิด	22 เมษายน 2521
ที่อยู่	127 ม.6 ต.หนองตาแต้ม อ.ปราณบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์ 77120
ประวัติการศึกษา	2545 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 2553 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีไฟฟ้าอุตสาหกรรม (เกียรตินิยมอันดับ2) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) การออกแบบ และตรวจสอบระบบไฟฟ้า 2.) การประเมินความน่าเชื่อถือของเครื่องจักร และอุปกรณ์
ประวัติการทำงาน	
พ.ศ. 2546-2554	ตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้า บริษัท คาร์กิลล์ มีลส์ ไทยแลนด์ จำกัด
พ.ศ. 2554-ปัจจุบัน	ตำแหน่งหัวหน้างานไฟฟ้า และวิศวกรพลังงาน บริษัท กัลฟ์ เพาเวอร์ เจเนอเรชั่น จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้