

การประเมินความน่าเชื่อถือของระบบสนับสนุนในโรงไฟฟ้า
โดยใช้การวิเคราะห์แบบแผนภูมิต้นไม้

RELIABILITY EVALUATION OF UTILITY SYSTEMS IN POWER PLANT
USING FAULT TREE ANALYSIS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2562

KMITL-2019-EN-M-257-061

การประเมินความน่าเชื่อถือของระบบสนับสนุนในโรงไฟฟ้า

โดยใช้การวิเคราะห์แบบแผนภูมิต้นไม้

RELIABILITY EVALUATION OF UTILITY SYSTEMS IN POWER PLANT

USING FAULT TREE ANALYSIS



ชัยชาญ ไชยเรือน

CHAICHAN CHAIRUAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมอัตโนมัติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

KMITL-2019-EN-M-257-061

RELIABILITY EVALUATION OF UTILITY SYSTEMS IN POWER PLANT
USING FAULT TREE ANALYSIS



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG อนุญาตให้ใช้ฟรีโดยไม่คิดค่า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และตั้งปี 2019 นี้เป็นต้นไปจนถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
KMUTL-2019-EN-M-257-061



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

COPYRIGHT 2019

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินความน่าเชื่อถือของระบบสนับสนุนในโรงไฟฟ้า โดยใช้การวิเคราะห์แบบแผนภูมิต้นไม้
นักศึกษา	นาย ชัยชาญ ไชยเรือน
รหัสประจำตัว	57601338
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอัตโนมัติ
พ.ศ.	2562
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ธีรวัฒน์ เทพมณี

บทคัดย่อ

เพื่อให้โรงไฟฟ้าทำงานได้อย่างราบรื่น ความน่าเชื่อถือของระบบสนับสนุนเป็นเรื่องที่ควรคำนึงถึง วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการประเมินความน่าเชื่อถือของระบบสนับสนุนในโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วมซึ่งได้แก่ ระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ ระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ ระบบควบคุมน้ำในหม้อไอน้ำ ความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ และระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยเทคนิคที่ได้นำเสนอใช้การวิเคราะห์แบบแผนภูมิต้นไม้ในการวิเคราะห์ฟังก์ชันความน่าจะเป็นของความสำเร็จและความล้มเหลว รวมทั้งการสร้างโมเดลสมการความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบสนับสนุนที่ศึกษา นอกจากนี้ ยังมีการแสดงโมเดลความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือโดยการพล็อตกราฟเส้นโดยใช้โปรแกรม Euler Math Toolbox เพื่อให้ง่ายต่อการประเมิน โดยผลการประเมินความน่าเชื่อถือที่ได้สามารถทำให้พนักงานโรงไฟฟ้าไม่เพียงแต่เข้าใจถึงข้อจำกัดที่แท้จริงในแง่ความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบสนับสนุนที่ศึกษา แต่ก็ยังใช้ในการกำหนดแผนการปรับปรุงเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบในอนาคตได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Reliability Evaluation of Utility Systems in Power Plant Using Fault Tree Analysis
Student	Mr. Chaichan Chairuan
Student ID.	57601338
Degree	Master of Engineering
Program	Automation Engineering
Year	2019
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Teerawat Thepmanee

ABSTRACT

In order to ensure that operations of a power plant run smoothly, reliability of its utility systems should be concerned. This thesis aims to present a method to evaluate the reliability of four utility systems of a combined cycle power plant, which are gas compressor protection, gas turbine fire protection, boiler drum level control of heat recovery steam generator (HRSG) equipped with intermediate pressure, and boiler protection of HRSG. The proposed technique is based on fault tree analysis (FTA) for analyzing success and failure probability functions as well as for modeling reliability and unreliability equations. Moreover, both reliability and unreliability models, obtained from the proposed method, of all studied cases are displayed in line graphs by using the Euler Math Toolbox for ease of evaluation. The evaluation results can be help the power plant staffs not only to understand the real limitations in terms of reliability and unreliability of the studied utility systems but also to crate improvement plan for reliability enhancement in future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาจาก ผศ.ดร. ชีรวัฒน์ เทพมณี และ รศ.ดร. อัมพวัน จุลเสวีวงศ์ ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงในความอนุเคราะห์ คำแนะนำและช่วยเหลือในทุก ๆ เรื่องที่ผ่านมา จนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณผู้บริหารและหัวหน้างาน บริษัท กัลป์ เจพี ยูที จำกัด ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์สถานที่และ ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ให้ลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่มีโอกาสให้ ข้าพเจ้าได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโทจนสำเร็จการศึกษา ณ สถาบันฯ แห่งนี้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์นี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้บิดามารดาซึ่งเป็นที่รัก และเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอด ประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ชัยชาญ ไชยเรือน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
รายการสัญลักษณ์.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 แนวคิดของวิทยานิพนธ์.....	2
1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์.....	2
1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 กระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม.....	3
2.2.1 กังหันก๊าซ	4
2.2.2 เครื่องกำเนิดไอน้ำ	6
2.2.3 กังหันไอน้ำ	7
2.2.4 เครื่องควบแน่นและระบบส่งน้ำ.....	8
2.2.5 หอหล่อเย็น	9
2.2.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	9
2.2.7 ระบบสนับสนุนของโรงไฟฟ้า.....	10
2.3 ฟังก์ชันการควบคุมกระบวนการ.....	11
2.3.1 ฟังก์ชัน Logic Diagram.....	11
2.3.2 ฟังก์ชัน SAMA Diagram.....	21
2.4 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบวิธีแผนภูมิต้นไม้.....	24
2.4.1 ขั้นตอนการระบุสาเหตุที่ทำให้เกิดความล้มเหลวแบบวิธีแผนภูมิต้นไม้.....	25
2.4.2 สัญลักษณ์สำหรับการเขียนแผนภาพแบบแผนภูมิต้นไม้.....	25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 2.4.3 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นเชิงปริมาณแบบแผนภูมิต้นไม้..... 27

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5 วิศวกรรมความน่าเชื่อถือ	28
2.5.1 ระบบที่ไม่สามารถซ่อมแซมได้	28
2.5.2 ระบบที่สามารถซ่อมแซมได้	31
2.5.3 ระบบสำรอง	32
บทที่ 3 งานวิจัยที่นำเสนอ.....	33
3.1 กล่าวนำ.....	33
3.2 กรณีศึกษา : ระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ	33
3.2.1 กระบวนการทำงานของเครื่องอัดก๊าซ.....	33
3.2.2 ฟังก์ชันการทำงานของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ.....	34
3.2.3 แผนผังลอจิกไดอะแกรมอย่างง่ายสำหรับระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ.....	38
3.3 กรณีศึกษา : ระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ.....	38
3.3.1 กระบวนการทำงานของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ.....	38
3.3.2 ฟังก์ชันการทำงานของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ.....	40
3.3.3 แผนผังลอจิกไดอะแกรมอย่างง่ายสำหรับระบบป้องกันเพลิงไหม้ของ กังหันก๊าซ.....	41
3.4 กรณีศึกษา : ระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลาง ของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	42
3.4.1 กระบวนการทำงานของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลาง ของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	42
3.4.2 ฟังก์ชันการทำงานของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลาง ของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	42
3.4.3 แผนผังลอจิกไดอะแกรมอย่างง่ายสำหรับระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำ ความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	44
3.5 กรณีศึกษา : ระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ	45
3.5.1 กระบวนการทำงานของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของ เครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	45
3.5.2 ฟังก์ชันการทำงานของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของ เครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	46
3.5.3 แผนผังลอจิกไดอะแกรมอย่างง่ายสำหรับระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของ เครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้และการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือ และไม่น่าเชื่อถือของระบบ.....	48
4.1 กล่าวนำ.....	48
4.2 กรณีศึกษา : ระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ.....	49
4.2.1 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้ของระบบป้องกันของ เครื่องอัดก๊าซ.....	49
4.2.1.1 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงคุณภาพของ ระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ.....	49
4.2.1.2 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงปริมาณของ ระบบป้องกันป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ.....	50
4.2.2 การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกัน ของเครื่องอัดก๊าซเพลิงไหม้.....	54
4.3 กรณีศึกษา : ระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ.....	59
4.3.1 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้ของระบบป้องกันเพลิงไหม้ ของกังหันก๊าซ.....	59
4.3.1.1 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงคุณภาพของระบบ ป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ.....	59
4.3.1.2 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงปริมาณของระบบ ป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ.....	60
4.3.2 การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันเพลิงไหม้ ของกังหันก๊าซ.....	63
4.4 กรณีศึกษา : ระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของ เครื่องกำเนิดไอน้ำ	65
4.4.1 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้ของระบบควบคุมระดับน้ำใน หม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	65
4.4.1.1 การวิเคราะห์การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงคุณภาพ ของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ	65
4.4.1.2 การวิเคราะห์การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงปริมาณ ของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ	65
4.4.2 การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบควบคุม ระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5 กรณีศึกษา : ระบบป้องกันสำหรับหม้อน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	76
4.5.1 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้ของระบบป้องกัน สำหรับหม้อน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	76
4.5.1.1 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงคุณภาพ ของระบบป้องกันสำหรับหม้อน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	76
4.5.1.2 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงปริมาณ ของระบบป้องกันสำหรับหม้อน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	77
4.5.2 การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกัน สำหรับหม้อน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	78
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	81
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	81
5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ.....	82
เอกสารอ้างอิง.....	83
ภาคผนวก ก บทควมวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	84
ประวัติผู้เขียน.....	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สัญลักษณ์สำหรับการเขียนแผนภาพของการวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้.....	26



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 กระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม.....	4
2.2 กระบวนการทำงานของกังหันก๊าซ.....	4
2.3 กระบวนการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	6
2.4 กระบวนการทำงานของกังหันไอน้ำ.....	7
2.5 กระบวนการทำงานของเครื่องควบแน่นและระบบส่งน้ำ.....	8
2.6 ท่อหล่อเย็น.....	9
2.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	9
2.8 ตัวอย่างสารบัญสัญลักษณ์สำหรับฟังก์ชัน Logic Diagram ของเครื่องอัดก๊าซ.....	12
2.9 ตัวอย่างฟังก์ชัน Logic Diagram สำหรับเตรียมความพร้อมของเครื่องอัดก๊าซ.....	14
2.10 ตัวอย่างสารบัญสัญลักษณ์สำหรับฟังก์ชัน Logic Diagram ของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ.....	15
2.11 ตัวอย่างฟังก์ชัน Logic Diagram สำหรับแจ้งเตือนเพลิงไหม้ของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ.....	17
2.12 ตัวอย่างสารบัญสัญลักษณ์สำหรับฟังก์ชัน Logic Diagram ของระบบควบคุมระดับน้ำใน หม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	18
2.13 ตัวอย่างฟังก์ชัน Logic Diagram สำหรับระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	19
2.14 ตัวอย่างฟังก์ชัน Logic Diagram สำหรับการไหลค้ำอุนทุมสำหรับระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	20
2.15 ความแตกต่างระหว่าง ISA และ SAMA ไดอะแกรม.....	21
2.16 สัญลักษณ์สำหรับออกแบบแผนภาพ SAMA.....	22
2.17 สัญลักษณ์ของสัญญาณที่ใช้สำหรับออกแบบแผนภาพ SAMA.....	22
2.18 สัญลักษณ์ของฟังก์ชันการทำงานสำหรับแผนภาพ SAMA.....	23
2.19 การควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำแบบ 3 ตัวแปร.....	24
2.20 ขั้นตอนการระบุสาเหตุที่ทำให้เกิดความล้มเหลวโดยการวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้.....	25
2.21 ฟังก์ชันความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือ.....	30
3.1 แผนภาพจำลองของระบบเครื่องอัดก๊าซ.....	33
3.2 Logic Diagram ของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ.....	35
3.3 Piping & Instruments Diagram แสดงรายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับและเฝ้าดูค่าการทำงานของเครื่องจักรสำหรับเครื่องอัดก๊าซ.....	37
3.4 Simple Logic Diagram สำหรับระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ.....	38
3.5 Piping and Instruments Diagram สำหรับระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ.....	39
3.6 แผนผังจุดติดตั้งของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนภายในห้องปิดของกังหันก๊าซ.....	39
3.7 Logic Diagram ของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ.....	40

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.8 Simple Logic Diagram สำหรับระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ.....	41
3.9 Logic Diagram ของระบบควบคุมน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	43
3.10 SAMA Diagram ของระบบควบคุมระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง.....	44
3.11 Simple Logic Diagram ของระบบควบคุมน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง.....	44
3.12 Logic Diagram ของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	46
3.13 Simple Logic Diagram ของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	47
4.1 แผนการซ่อมบำรุงของโรงไฟฟ้าที่ศึกษา.....	48
4.2 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงคุณภาพหรือแผนภาพความล้มเหลวสำหรับระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ.....	49
4.3 กราฟความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ.....	54
4.4 กราฟความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าการทำงานของเครื่องจักร.....	56
4.5 กราฟความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าของกระบวนการ.....	58
4.6 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงคุณภาพสำหรับระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ.....	60
4.7 กราฟความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ.....	63
4.8 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงคุณภาพหรือแผนภาพความล้มเหลวสำหรับระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	65
4.9 กราฟความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของสำหรับระบบควบคุมระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง.....	69
4.10 กราฟความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบชดเชยค่าของระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง.....	71
4.11 กราฟความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบชดเชยค่าของอัตราการไหลของน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลาง.....	72
4.12 กราฟความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบชดเชยค่าของอัตราการไหลของไอน้ำความดันปานกลางขาออก.....	74
4.13 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงคุณภาพหรือแผนภาพความล้มเหลวสำหรับระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	76
4.14 กราฟความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือสำหรับระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ.....	79
4.15 กราฟความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบสำรองแบบ k out of n.....	81

รายการสัญลักษณ์

FTA	คือ	การวิเคราะห์แบบแผนภูมิต้นไม้ (Fault Tree Analysis)
°C	คือ	องศาเซลเซียส
CO ₂	คือ	ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์
O ₂	คือ	ก๊าซออกซิเจน
HRSG	คือ	เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Heat Recovery Steam Generator)
HP	คือ	ความดันสูง (High Pressure)
IP	คือ	ความดันปานกลาง (Intermediate Pressure)
LP	คือ	ความดันต่ำ (Low Pressure)
SH	คือ	สภาวะยิ่งยวดของไอน้ำ (Super Heat)
PLC	คือ	Programmable Logic Controller
DCS	คือ	Distributed Control System
ISA	คือ	International Standard of Automation
SAMA	คือ	Scientific Apparatus Makers Association
$R(t)$	คือ	ความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์จะทำงานได้สำเร็จในช่วงเวลา t
$F(t)$	คือ	ความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์จะทำงานล้มเหลวในช่วงเวลา t
$e^{-\lambda t}$	คือ	การแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียล
λ	คือ	อัตราความล้มเหลว (Failure rate)
t	คือ	ช่วงเวลาที่ใช้งาน
MTTF	คือ	เวลาเฉลี่ยอุปกรณ์ (Mean Time to Failure)
MTTR	คือ	เวลาเฉลี่ยในการซ่อมแซม (Mean Time to Repair)
MTBF	คือ	เวลาเฉลี่ยระหว่างการเสียหาย (Mean Time Between Failure)
k out of n	คือ	ระบบสำรองแบบ k out of n
TT	คือ	ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ (Temperature Transmitter)
ZT	คือ	ทรานสมิตเตอร์วัดตำแหน่ง (Position transmitter)
VE	คือ	อุปกรณ์วัดค่าความสั่นสะเทือน (Vibration Element)
PT	คือ	ทรานสมิตเตอร์วัดความดัน (Pressure Transmitter)
CQ	คือ	ทรานสมิตเตอร์ตรวจจับความร้อน (Analyzer Transmitter)
LT	คือ	ทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำ (Level Transmitter)
FT	คือ	ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหล (Flow Transmitter)
CV	คือ	วาล์วควบคุม (Control Valve)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ระบบสนับสนุนของโรงไฟฟ้าเป็นระบบที่ถูกออกแบบมาเพื่อสนับสนุนการทำงานของเครื่องจักรและกระบวนการผลิตไฟฟ้า เช่น ระบบอัดก๊าซของเครื่องอัดก๊าซ ระบบป้องกันเพลิงไหม้ หรือ ระบบควบคุมและป้องกันของกระบวนการผลิต หากระบบเหล่านี้มีความน่าเชื่อถือต่ำหรือระบบเกิดทำงานขัดข้องบ่อยครั้ง มีโอกาสจะส่งผลกระทบต่อกระบวนการผลิตไฟฟ้าและเป็นสาเหตุทำให้หยุดฉุกเฉินหรือเครื่องจักรหลักของโรงไฟฟ้าชำรุดเสียหายได้ จนนำไปสู่หลาย ๆ ปัญหาที่จะเกิดขึ้นเช่น บางพื้นที่ไม่มีพลังงานไฟฟ้าให้ใช้งานเนื่องจากกำลังการผลิตไฟฟ้าไม่เพียงพอต่อการต้องการใช้งาน โรงไฟฟ้าจะถูกปรับโทษซึ่งมีมูลค่าหลายล้านบาทเนื่องจากไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ตามสัญญาที่ตกลงไว้กับศูนย์ควบคุมพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยฉบับนี้ซึ่งมุ่งเน้นไปที่การประเมินและวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบ การประเมินและวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบมีหลากหลายวิธี ได้แก่ การประเมินค่าความน่าจะเป็นของขอบเขตการเดินเครื่อง [1] การประเมินความน่าเชื่อถือโดยทฤษฎี Fuzzy [2] การประเมินความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์โดยใช้เทคนิคแผนภูมิต้นไม้ [3-6] และยังมีเอกสารเพิ่มเติมได้แก่ การออกแบบและวิเคราะห์ฟังก์ชันนิรภัย [7] การพิสูจน์การสั่งหยุดเครื่องฉุกเฉินโดยนำหลักการความน่าจะเป็นมาใช้ในการวิเคราะห์สาเหตุ [8] การออกแบบฟังก์ชันนิรภัยสำหรับกระบวนการแก๊สชั้นปลาย [9] ซึ่งเอกสารที่กล่าวมานั้นไม่ได้มุ่งเน้นไปที่การประเมินความน่าเชื่อถือของระบบที่ถูกออกแบบโดยใช้หลักการระบบสำรองแบบ k out of n สำหรับระบบตรวจวัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการประเมินและวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบสนับสนุนในโรงไฟฟ้าที่ถูกออกแบบโดยใช้หลักการระบบสำรอง โดยอาศัยเทคนิคแผนภูมิต้นไม้เพื่อการวิเคราะห์ความล้มเหลวและระบุสาเหตุที่ทำให้เกิดความล้มเหลวของระบบ [10] และหาข้อจำกัดหรือจุดด้อยที่ทำให้ความน่าเชื่อถือของระบบลดลง รวมทั้งนำเสนอแนวทางหรือวิธีการเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- เพื่อศึกษาฟังก์ชันการทำงานและสร้างลอจิกไดอะแกรมอย่างง่ายสำหรับกระบวนการทำงานสำหรับระบบสนับสนุนในโรงไฟฟ้าที่ถูกออกแบบโดยใช้หลักการระบบสำรอง
- ออกแบบโมเดลความล้มเหลวโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์แบบแผนภูมิต้นไม้
- สร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อประเมินและวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความน่าเชื่อถือของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 แนวคิดของวิทยานิพนธ์

งานวิจัยนี้อาศัยทฤษฎีของการวิเคราะห์แบบแผนภูมิต้นไม้ หรือ Fault Tree Analysis (FTA) เพื่อใช้ในการระบุสาเหตุที่จะทำให้ระบบสามารถเกิดความล้มเหลวได้ และนำทฤษฎีความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือมาประยุกต์ใช้เพื่อวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและไม่น่าเชื่อถือของระบบ รวมทั้งหาจุดด้อยหรือข้อบกพร่องของระบบที่ทำให้ความน่าเชื่อถือลดลง และนำเสนอวิธีการเพิ่มหรือนำความน่าเชื่อถือของระบบกลับคืนมา

1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาฟังก์ชันการทำงานและสร้างลอจิกไดอะแกรมอย่างง่ายของฟังก์ชันการทำงานสำหรับกรณีศึกษา เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ความล้มเหลวและระบุสาเหตุที่ทำให้เกิดความล้มเหลวของระบบ โดยใช้เทคนิค FTA ผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบ FTA เชิงคุณภาพ และ FTA เชิงปริมาณ และนำเสนอการความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือที่ได้จาก FTA เชิงปริมาณไปพล็อตกราฟความน่าเชื่อถือของระบบโดยใช้โปรแกรม Euler Math Tool Box และวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและไม่น่าเชื่อถือของระบบ สำหรับกรณีศึกษาที่จะนำเสนอเป็นระบบสนับสนุนในโรงไฟฟ้าซึ่งแก่ ระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ ระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ การควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำ ความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำและระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกัน คือ

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวถึง ความเป็นมา ความมุ่งหมาย วัตถุประสงค์ของการศึกษา การนำเสนอหลักการของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตวิทยานิพนธ์ และ รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึง หลักการทำงานของกระบวนการภายในโรงไฟฟ้า วิธีการอ่านและตีความสำหรับฟังก์ชันการทำงานของกระบวนการ และทฤษฎีการวิเคราะห์ความล้มเหลวด้วยวิธีการ FTA และการวิเคราะห์และประเมินความน่าเชื่อถือของกระบวนการ

บทที่ 3 เป็นการนำเสนองานวิจัย โดยอธิบายกระบวนการทำงานและฟังก์ชันการทำงานของกรณีศึกษา และสร้างแผนผังอย่างง่ายสำหรับฟังก์ชันการทำงานของกรณีศึกษา สำหรับกรณีศึกษาที่จะนำเสนอเป็นระบบสนับสนุนในโรงไฟฟ้าซึ่งแก่ ระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ ระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ การควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำ ความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ และระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

บทที่ 4 ใช้เทคนิค FTA ในการวิเคราะห์ความล้มเหลวและระบุสาเหตุที่ทำให้เกิดความล้มเหลวจากแผนผังอย่างง่ายสำหรับฟังก์ชันการทำงานของกรณีศึกษา และแสดงกราฟความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของกระบวนการ และวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของกระบวนการสำหรับกรณีศึกษา

บทที่ 5 เป็นบทสุดท้ายซึ่งกล่าวถึงสรุปของงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารในส่วนสุดท้ายของวิทยานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของภาคผนวกประกอบไปด้วยบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์และข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย ดังนี้

ภาคผนวก ก บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

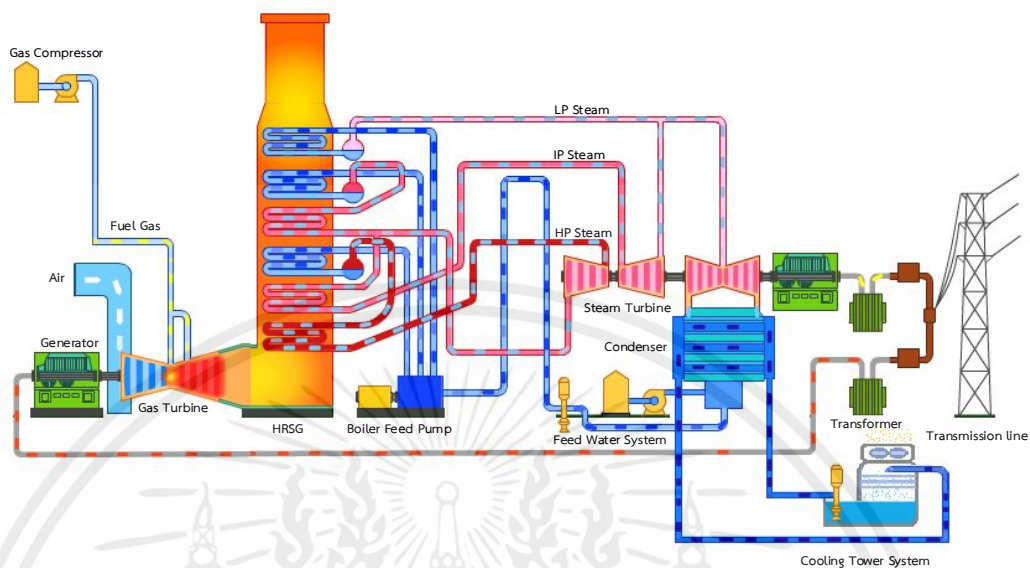
บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งได้แก่ ทฤษฎีกระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม การตีความฟังก์ชันการทำงานของระบบในโรงไฟฟ้า ทฤษฎีการวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้และการประยุกต์ใช้ทฤษฎีของวิศวกรรมความน่าเชื่อถือร่วมกับการวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เพื่อหาความน่าเชื่อถือของระบบ

2.2 กระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม

พลังงานไฟฟ้านับเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญในการพัฒนาความเจริญของประเทศ จากสถิติปัจจุบันของการใช้ไฟฟ้าของประเทศไทยมีแนวโน้มการใช้ไฟฟ้ามากกว่าในอดีตมากซึ่งบ่งบอกคร่าว ๆ ได้ว่าความเจริญของเศรษฐกิจในประเทศไทยมีแนวโน้มดีขึ้น ซึ่งสิ่งนี้แสดงให้เห็นความสำคัญของพลังงานไฟฟ้า และเพื่อรับรองการใช้พลังงานไฟฟ้าที่มากขึ้นนั้น จึงจำเป็นต้องมีโรงไฟฟ้าเพื่อทำหน้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าให้เพียงพอต่อความต้องการของการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศ ซึ่งโรงไฟฟ้าหลากหลายประเภท เช่น โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อน โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม โรงไฟฟ้าพลังน้ำ โรงไฟฟ้าพลังลม เป็นต้น ในหัวข้อนี้จะขอกกล่าวถึงหลักการของกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม

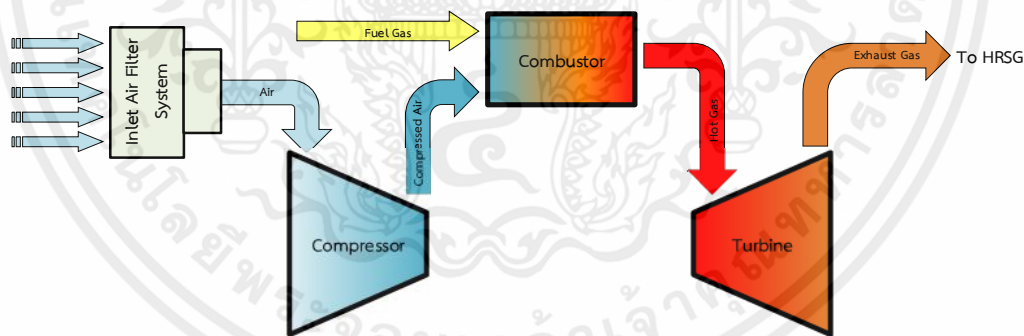
โรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม (Combine Cycle Power Plant) เป็นการนำเทคโนโลยีของกังหันก๊าซ (Gas Turbine) และกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) มาทำงานร่วมกัน โดยหลักการคือ กังหันก๊าซจะนำอากาศที่ผ่านมาอัดในเครื่องอัดอากาศ (Compressor) นำมาผสมกับเชื้อเพลิงก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) ที่ผ่านเครื่องอัดก๊าซ (Gas Compressor) และเผาไหม้ในห้องเผาไหม้ (Combustor) ทำให้เกิดเกิดก๊าซร้อนที่ความดันสูง ซึ่งก๊าซร้อนที่เกิดขึ้นจะนำไปขับกังหันก๊าซ โดยที่เพลากังหันก๊าซนั้นจะต่อเข้ากับเพลารองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ก๊าซร้อนที่ผ่านจากการขับกังหันก๊าซ (Exhaust Gas) จะมีอุณหภูมิอยู่ที่ประมาณ 500-600 °C โดยก๊าซร้อนนี้จะถูกนำไปแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำกลายเป็นไอน้ำ (Steam) ที่มีความดันสูงที่เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Heat Recovery Steam Generator) ไอน้ำที่มีความดันสูงนี้จะถูกนำไปขับกังหันไอน้ำโดยที่เพลากังหันไอน้ำจะต่อเข้ากับเพลารองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อเพลากังหันก๊าซและกังหันไอน้ำหมุนจะทำให้เพลารองของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนตามจึงทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้า ไอน้ำหลังจากที่ขับกังหันไอน้ำจะถูกแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำหล่อเย็น (Cooling Water) และควบแน่นกลายเป็นน้ำร้อน (Hot Water) อีกครั้งในเครื่องควบแน่น (Condenser) น้ำร้อนในเครื่องควบแน่นจะถูกส่งผ่านไปยังเครื่องกำเนิดไอน้ำอีกเครื่องโดย ปั๊มของเครื่องควบแน่น (Condensate Pump) และ ปั๊มของเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler Feed Pump) ส่วนน้ำหล่อเย็นที่ผ่านการแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอน้ำที่ผ่านจากการขับกังหันไอน้ำนั้นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น น้ำหล่อเย็นอุณหภูมิสูงจะไหลเข้าสู่หอหล่อเย็น

(Cooling Tower) เพื่อลดอุณหภูมิลงให้กลับมาอุณหภูมิน้ำเท่าเดิม แล้วนำกลับไปเข้าเครื่องควบแน่น เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนอีกครั้งโดยปั๊มของหอหล่อเย็น (Circulating Water Pump)



รูปที่ 2.1 กระบวนการผลิตไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังงานความร้อนร่วม

2.2.1 กังหันก๊าซ



รูปที่ 2.2 กระบวนการทำงานของกังหันก๊าซ

หลักการทำงานของกังหันก๊าซ มีดังนี้

อากาศ (Air) ภายนอกจะถูกดูดเข้าสู่กังหันก๊าซโดยผ่านระบบกรองอากาศ (Inlet Air System) เพื่อป้องกันไม่ให้เศษสิ่งแปลกปลอมเข้าไปทำความเสียหายแก่เครื่องอัดอากาศ และอัดด้วยเครื่องอัดอากาศ อากาศที่ผ่านเครื่องอัดอากาศจะมีความดันและอุณหภูมิสูงขึ้นและเข้าสู่ห้องเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากมหาวิทยาลัยฯ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานีจ่ายก๊าซ (Gas Station) จะเป็นแหล่งจ่ายก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) เข้าสู่กังหันก๊าซ โดยก๊าซธรรมชาติจะถูกอัดเพื่อเพิ่มความดันให้สูงขึ้นโดยเครื่องอัดอากาศ (Gas Compressor) ก๊าซธรรมชาติที่มีความดันสูงจะถูกควบคุมปริมาณโดยวาล์วควบคุมเชื้อเพลิง (Fuel Control valve) ก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้

อากาศที่ผ่านเครื่องอัดอากาศและก๊าซธรรมชาติจะถูกผสมกันก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ (Combustor) และจะถูกเผาไหม้ภายในห้องเผาไหม้จะเกิดก๊าซร้อนที่มีความดันสูงพุ่งเข้าไปหมุนใบพัด (Blades) ใบพัดทำหน้าที่แปลงพลังงานความร้อนที่ออกมาจากห้องเผาไหม้ มาเป็นพลังงานกลสำหรับหมุนเพลลาของกังหันก๊าซ และก๊าซร้อนที่ถูกนำไปขับกังหันก๊าซจะถูกนำไปแลกเปลี่ยนความร้อนในเครื่องกำเนิดไอน้ำต่อไป

เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของกังหันก๊าซจึงมีระบบย่อยเสริม (Auxiliary System) ดังนี้

ระบบเชื้อเพลิง (Fuel system) เพื่อเพิ่มความหนาเชื่อถือในการเดินเครื่องของโรงไฟฟ้า กังหันก๊าซถูกออกแบบให้มีระบบเชื้อเพลิงจึงมี 2 ชนิด คือ ก๊าซธรรมชาติ (Natural Gas) เป็นระบบเชื้อเพลิงหลัก และ น้ำมันดีเซล (Diesel oil) เป็นระบบเชื้อเพลิงสำรอง และมีวาล์วควบคุมเชื้อเพลิงทำหน้าที่ควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงก่อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้

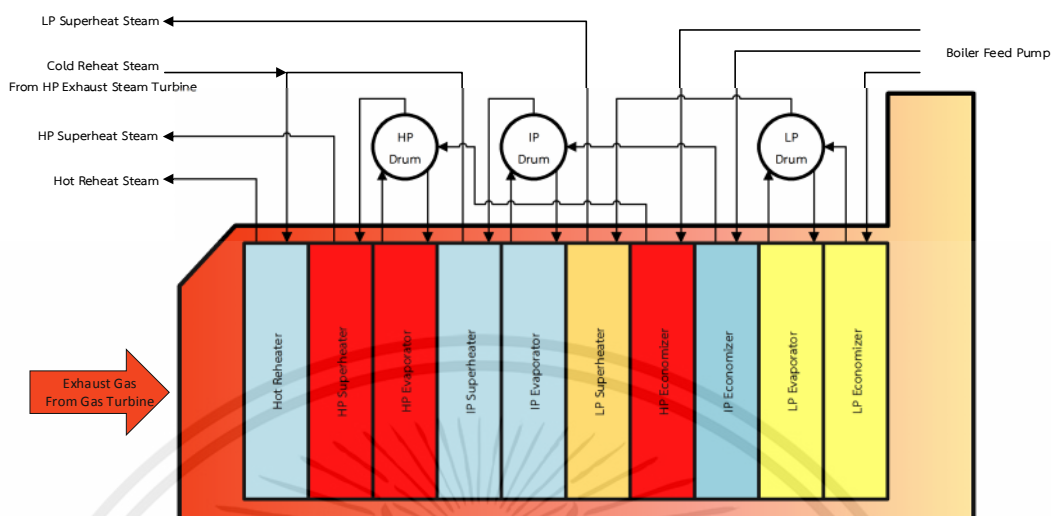
ระบบหล่อลื่น (Lube oil system) ทำหน้าที่ส่งน้ำมันหล่อลื่นไปยังหล่อลื่น แบริ่ง (Bearing) เป็นอุปกรณ์รองรับเพลลาทั้งแนวแกนและแนวรัศมี และ เพลลา (Shaft) เพื่อให้การหมุนของกังหันก๊าซราบรื่น น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านกระบวนการหล่อลื่นนั้นจะไหลกลับเข้าสู่ถังบรรจุน้ำมันหล่อลื่น (Lube Oil Reservoir) และจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการหล่อลื่นอีกครั้งโดยปั๊มน้ำมันหล่อลื่น (Lube oil pump)

ระบบน้ำมันความดันสูง (Control Oil) ทำหน้าที่ส่งน้ำมันที่มีความดันสูง ป้อนเข้าสู่ชุดหัวขับไฮดรอลิก (Hydraulic Actuator) ได้แก่ ชุดหัวขับควบคุมวาล์วเชื้อเพลิงและอากาศ โดยน้ำมันจะถูกส่งผ่านจากปั๊มน้ำมันความดันสูง (Control Oil Pump)

ระบบป้องกันเพลิงไหม้ (Fire Fighting System) เพื่อป้องกันเหตุเพลิงไหม้ภายในห้องกังหันก๊าซ (Turbine compartment) จึงมีอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน (Heat Detector) ภายในห้องกังหันก๊าซ ในกรณีที่อุปกรณ์ตรวจจับความร้อนสามารถตรวจจับความร้อนภายในห้องกังหันก๊าซได้ ระบบป้องกันเพลิงไหม้จะฉีดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน (O_2) ทำให้ระดับความเข้มข้นของออกซิเจนภายในห้องกังหันก๊าซต่ำลง จนไม่สามารถทำให้เกิดเพลิงไหม้ต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 เครื่องกำเนิดไอน้ำ



รูปที่ 2.3 กระบวนการทำงานของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

เครื่องกำเนิดไอน้ำ (Heat Recovery Steam Generator) ทำหน้าที่ผลิตไอน้ำป้อนเข้าสู่กังหันไอน้ำ อาศัยหลักการแลกเปลี่ยนความร้อนจากก๊าซร้อนที่หลงเหลือจากกังหันก๊าซและน้ำ ซึ่งภายในของเครื่องกำเนิดไอน้ำจะมีท่อขดวางเรียงกันหลาย ๆ ชั้นโดยที่น้ำและไอน้ำจะไหลภายในท่อส่วนก๊าซร้อนจะไหลภายนอกท่อ เครื่องกำเนิดไอน้ำถูกออกแบบให้มีหลายระดับความดันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่กังหันไอน้ำ โดยระดับความดันของไอน้ำมี 3 ระดับความดันคือ ความดันสูง (High Pressure) ความดันปานกลาง (Intermediate Pressure) ความดันต่ำ (Low Pressure) ซึ่งแต่ละความดันจะมีกระบวนการผลิตไอน้ำเหมือนกัน ซึ่งกระบวนการผลิตไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ มีดังนี้

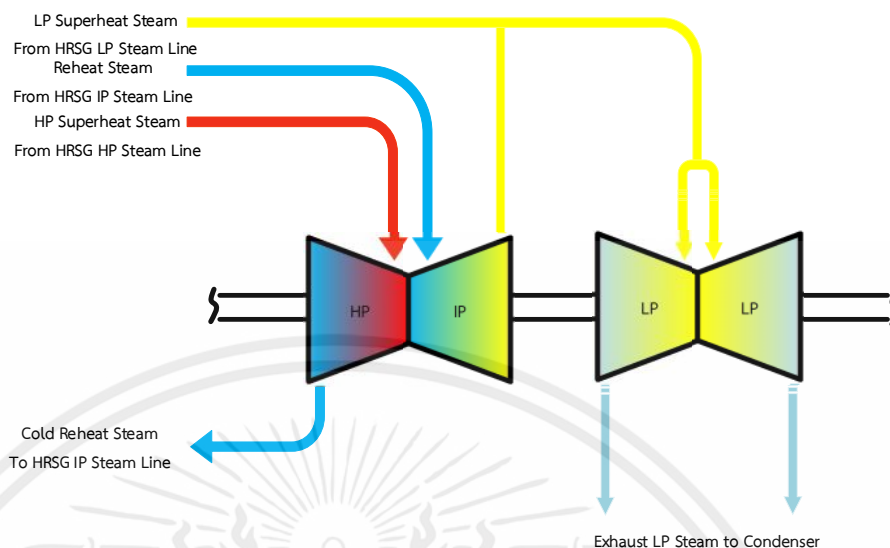
Economizer คือกระบวนการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำโดยน้ำจะถูกส่งผ่านมายังขดท่อ Economizer ซึ่งถูกติดตั้งไว้ชั้นหลังสุดของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยก๊าซร้อนที่หลงเหลือมายังขดท่อ Economizer จะมีอุณหภูมิประมาณ 150°C และแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำ ทำให้น้ำมีอุณหภูมิสูงขึ้นแต่ยังอยู่ในสถานะน้ำอืดและถูกป้อนเข้าสู่ถังพักน้ำไอน้ำ (Steam Drum)

Evaporator คือกระบวนการระเหย โดยน้ำจากถังพักไอน้ำจะไหลผ่านท่อน้ำขาลง (Downcomer) ลงมายังท่อรวม (Header) น้ำในท่อรวมจะรับความร้อนจากก๊าซร้อนที่หลงเหลือมายังขดท่อ Evaporator จะมีอุณหภูมิประมาณ 250°C และถูกต้มให้เดือดจนกลายเป็นไอน้ำ จากนั้นไอน้ำจะไหลขึ้นสู่ถังพักไอน้ำผ่านท่อขาขึ้น (Riser) และถูกป้อนเข้าสู่กระบวนการไอน้ำยิ่งยวด

Superheater คือกระบวนการไอน้ำยิ่งยวด โดยไอน้ำจากถังพักไอน้ำจะไหลเข้าสู่ขดท่อ Superheater เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับก๊าซร้อนที่หลงเหลือจากกังหันก๊าซซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ $500-600^{\circ}\text{C}$ ทำให้ไอน้ำเปลี่ยนสถานะจากไอน้ำกลายเป็นไอน้ำยิ่งยวดหรือไอน้ำ (Superheat Steam) จากนั้นไอน้ำยิ่งยวดจะไหลเข้าสู่กังหันไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 กังหันไอน้ำ



รูปที่ 2.4 กระบวนการทำงานของกังหันไอน้ำ

กังหันไอน้ำ ทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล โดยใช้ไอน้ำยิ่งยวดที่มีอุณหภูมิและความดันสูงมาขับเคลื่อนกังหันไอน้ำซึ่งต่ออยู่กับเพลา เกิดพลังงานกลทำให้เพลาของกังหันไอน้ำหมุน ไอน้ำยิ่งยวดที่ถูกป้อนเข้าสู่กังหันไอน้ำจะถูกควบคุมปริมาณโดยวาล์วควบคุมปริมาณไอน้ำหลัก (Main Steam Control Valve) และไอน้ำที่ผ่านการขับเคลื่อนกังหันไอน้ำ (Exhaust Steam) จะมีความดันและอุณหภูมิต่ำจะไหลเข้าสู่เครื่องควบแน่น (Condenser) ซึ่งถูกติดตั้งไว้ตรงท้ายของกังหันไอน้ำ (Exhaust Steam Turbine) เพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนและเปลี่ยนสถานะต่อไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของกังหันไอน้ำจำเป็นต้องมีระบบบางอย่างเสริมดังนี้

ระบบหล่อลื่น (Lube Oil system) ทำหน้าที่ส่งน้ำมันหล่อลื่นไปยังหล่อลื่นแบริ่ง (Bearing) เป็นอุปกรณ์รองรับเพลาทั้งแนวแกนและแนวรัศมีและเพลา (Shaft) เพื่อให้การหมุนของกังหันไอน้ำราบรื่น น้ำมันหล่อลื่นที่ผ่านกระบวนการหล่อลื่นนั้นจะไหลกลับเข้าสู่ถังบรรจุน้ำมันหล่อลื่น (Lube Oil Reservoir) และจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการหล่อลื่นอีกครั้งโดยปั๊มน้ำมันหล่อลื่น (Lube Oil pump)

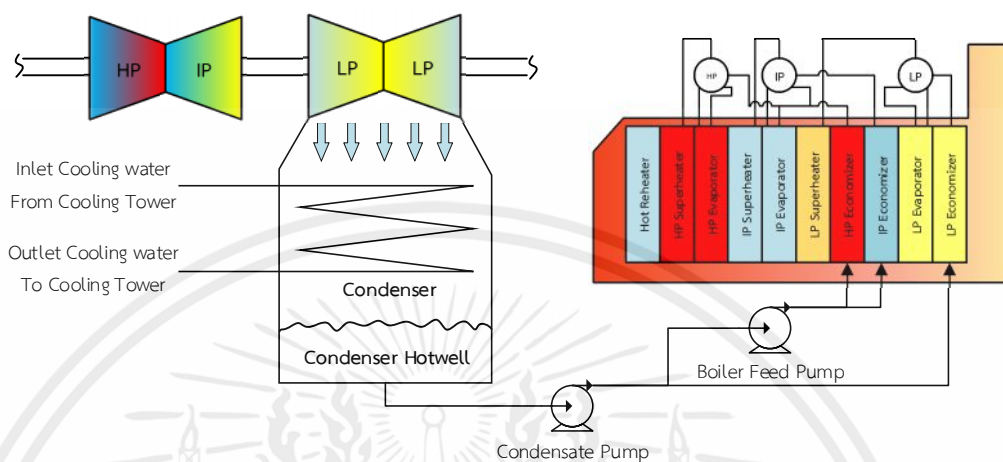
ระบบน้ำมันความดันสูง (Control Oil) ทำหน้าที่ส่งน้ำมันที่มีความดันสูง ป้อนเข้าสู่ชุดหัวขับเคลื่อนไฮดรอลิก (Hydraulic Actuator) ได้แก่ ชุดหัวขับเคลื่อนของวาล์วควบคุมปริมาณไอน้ำหลัก โดยน้ำมันจะถูกส่งผ่านจากปั๊มน้ำมันความดันสูง (Control Oil pump)

ระบบปิดกั้นไอน้ำรั่วไหลออกกังหันไอน้ำ (Gland Seal Steam) ทำหน้าที่ป้องกันไอน้ำรั่วออกจากกังหันไอน้ำในส่วนคอเพลา และยังป้องกันอากาศภายนอกรั่วเข้าสู่กังหันไอน้ำในส่วนท้ายที่ต่อเข้ากับเครื่องควบแน่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 เครื่องควบแน่นและระบบส่งน้ำ

เครื่องควบแน่นและระบบส่งน้ำ (Condenser & Feed Water System) เป็นระบบหลักในการจัดการเกี่ยวกับระบบน้ำหมุนเวียนให้สามารถป้อนน้ำเข้าสู่เครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยการทำงานของเครื่องควบแน่นและระบบส่งน้ำมีดังนี้



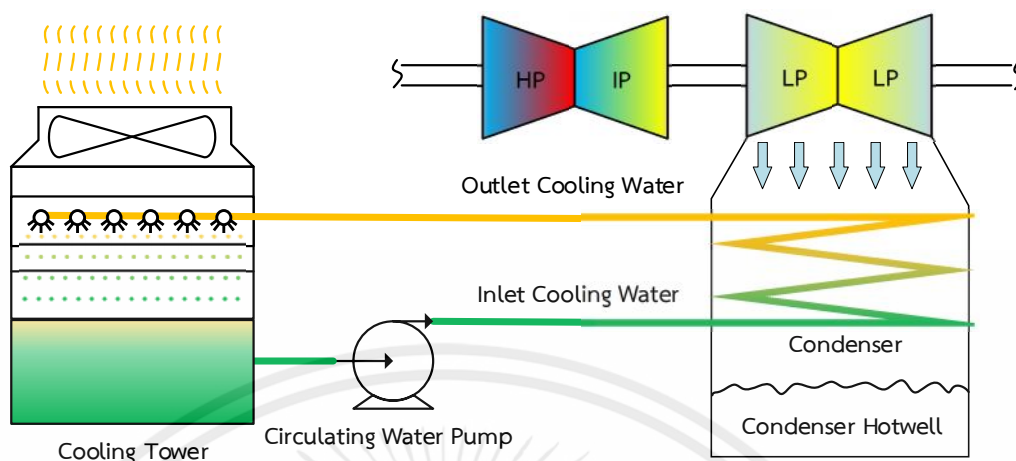
รูปที่ 2.5 กระบวนการของเครื่องควบแน่นและระบบส่งน้ำ

เครื่องควบแน่น (Condenser) ทำหน้าที่ดึงความร้อนแฝงของไอน้ำที่ผ่านการขับไพบัตของกังหันไอน้ำ (Exhaust Steam) ทำให้ไอน้ำนั้นควบแน่นและเปลี่ยนสถานะจากไอน้ำอิ่มตัว (Saturated Steam) เป็นน้ำอิ่มตัว (Saturated Water) โดยอาศัยหลักการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำหล่อเย็น (Cooling Water) จากหอหล่อเย็น (Cooling Tower) เมื่อไอน้ำควบแน่นกลายเป็นน้ำอิ่มตัวหรือน้ำอุ่นจะตกลงไปยังด้านล่างของเครื่องควบแน่นซึ่งมีลักษณะเป็นภาชนะรองรับอยู่ (Condenser Hot Well)

ระบบส่งน้ำ (Feed Water System) ทำหน้าที่ควบคุมคุณภาพน้ำและป้อนน้ำอุ่นเข้าสู่เครื่องผลิตไอน้ำ โดยการควบคุมคุณภาพน้ำนั้นจะมีการเติมสารเคมีเพื่อรักษาคุณภาพของน้ำและน้ำอุ่นภายในเครื่องควบแน่นจะถูกส่งผ่านไปยังเครื่องกำเนิดไอน้ำโดยปั๊มน้ำควบแน่น (Compensated Water Pump) และปั๊มของเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler Feed Pump)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

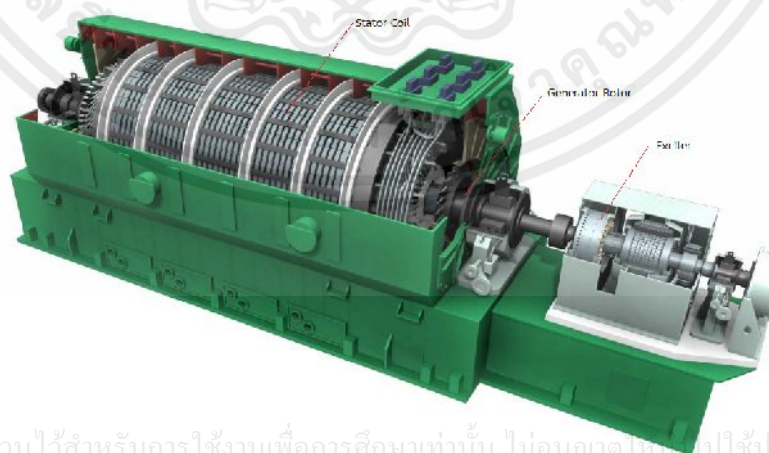
2.2.5 หอหล่อเย็น



รูปที่ 2.6 หอหล่อเย็น

หอหล่อเย็น (Cooling Tower) ทำหน้าที่ป้อนน้ำอุณหภูมิปกติเข้าสู่เครื่องควบแน่นเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับไอน้ำที่ผ่านการขับไพบัตของกังหันไอน้ำ เมื่อแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วน้ำขาออกจากเครื่องควบแน่นจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นและถูกไหลวนกลับมายังหอหล่อเย็นเพื่อลดอุณหภูมิของน้ำลงให้เป็นน้ำอุณหภูมิปกติ โดยน้ำขาออกจากเครื่องควบแน่นจะถูกฉีด (Spray) เป็นฝอยเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศและตกไปยังบ่อรับรองรับน้ำของหอหล่อเย็น (Cooling Basin) ขณะเดียวกันอากาศที่แลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำที่ถูกฉีดเป็นฝอยจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะถูกดูดออกโดยพัดลมของหอหล่อเย็น (Cooling Fan) และน้ำอุณหภูมิปกติจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องควบแน่นโดยปั้มน้ำของหอหล่อเย็น (Circulating Water Pump) เพื่อหมุนเวียนน้ำหล่อเย็นต่อไป

2.2.6 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า [14]

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ดังตัวอย่างที่รูปที่ 2.7 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า[14] ทำหน้าที่แปลงพลังงานกลที่ได้จากการหมุนของเพลมาเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้หลักการของขดลวดตัดผ่านสนามแม่เหล็ก ส่วนประกอบหลักของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้แก่ แผงขดลวด (Stator Coil) มีลักษณะเป็นแผงขดลวดถูกติดตั้งอยู่บนโครงสร้างของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Casing) และเพล เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator Rotor) ทำหน้าที่สร้างสนามแม่เหล็กโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรง (Exciter Current) จ่ายไปยังขดลวดที่พันอยู่รอบแกนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แรงดันและกระแสไฟฟ้าของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเกิดขึ้นเมื่อเพลเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ต่อกับเพลของกังหันก๊าซและกังหันไอน้ำหมุน สนามแม่เหล็กจะหมุนตัดผ่านกับแผงขดลวด

2.2.7 ระบบสนับสนุนของโรงไฟฟ้า

เพื่อให้กระบวนการผลิตไฟฟ้าสามารถผลิตไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่องและราบรื่น โรงไฟฟ้าจำเป็นต้องมีระบบและอุปกรณ์เสริมอื่น ๆ เพื่อสนับสนุนกระบวนการผลิตหรือเครื่องจักร (Utility System) ได้แก่

สถานีจ่ายก๊าซและเครื่องอัดก๊าซ (Gas Station and Gas Compressor) มีหน้าที่ตรวจสอบคุณภาพก๊าซธรรมชาติก่อนเข้าสู่โรงไฟฟ้าโดยตรวจสอบโดยเครื่องวัดส่วนประกอบของก๊าซ (Gas Chromatograph) ก่อนเข้าเพิ่มความดันของก๊าซธรรมชาติให้เหมาะสมและป้อนเข้าสู่กังหันก๊าซ โดยเครื่องอัดก๊าซ (Gas Compressor)

ระบบลมควบคุมและเครื่องอัดอากาศ (Instrument Air and Air Compressor) ระบบลมควบคุมทำหน้าที่ส่งลมควบคุมไปยังชุดหัวขับเคลื่อน (Actuator Air Type) ซึ่งถูกติดตั้งอยู่ในกระบวนการผลิต ซึ่งกระบวนการผลิตลมควบคุมมีดังนี้

อากาศความดันปกติ (Ambient Air) จะถูกดูดเข้าสู่เครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) เพื่อเพิ่มความดัน อากาศที่มีความดันจะถูกป้อนเข้าสู่เครื่องกำจัดความชื้น (Air Dryer) โดยอาศัยซิลิกาเจล (Silica gel) เป็นตัวกลางในการดึงความชื้นออกจากอากาศ ซึ่งอากาศที่ผ่านเครื่องกำจัดความชื้นจะมีอุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature) อยู่ที่ประมาณ -40°C

เครื่องมือวัดและระบบควบคุม (Instrument and Control System) เครื่องมือวัดและระบบควบคุมถูกนำมาใช้ในตรวจวัดค่า (Monitor) และควบคุม (Control) กระบวนการผลิต โดยเครื่องมือวัดเป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าของกระบวนการ ได้แก่ อัตราการไหล (Flow) ความดัน (Pressure) ระดับน้ำ (Level) อุณหภูมิ (Temperature) เป็นต้น และส่วนควบคุมหรือระบบควบคุม จะทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการผลิตให้อยู่ในขอบเขตของกระบวนการควบคุมโดยการส่งสัญญาณควบคุมไปยังชุดหัวขับเคลื่อนต่าง ๆ ของวาล์วควบคุม เพื่อปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงค่ากระบวนการให้อยู่ภายใต้ขอบเขตของกระบวนการผลิต ในกรณีที่ค่าของกระบวนการอยู่นอกเหนือขอบเขตควบคุมของกระบวนการจะมีระบบป้องกัน (Protection System) ทำหน้าที่ควบคุมค่ากระบวนการโดยการหยุดเครื่องจักรทันที (Trip Machine) เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับ ผู้ปฏิบัติงาน สิ่งแวดล้อมและอุปกรณ์ต่างๆ และเพื่อให้มั่นใจว่าระบบป้องกันทำงานได้อย่างถูกต้อง ระบบป้องกันได้ถูกออกแบบให้มีกระบวนการตัดสินใจแบบ Voting Algorithm โดยการนำหลักและเหตุผลคณิตศาสตร์มาช่วยเลือกวิธีการตัดสินใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ ซึ่งสงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับบริษัทฯ ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปใช้
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ฟังก์ชันการควบคุมกระบวนการ

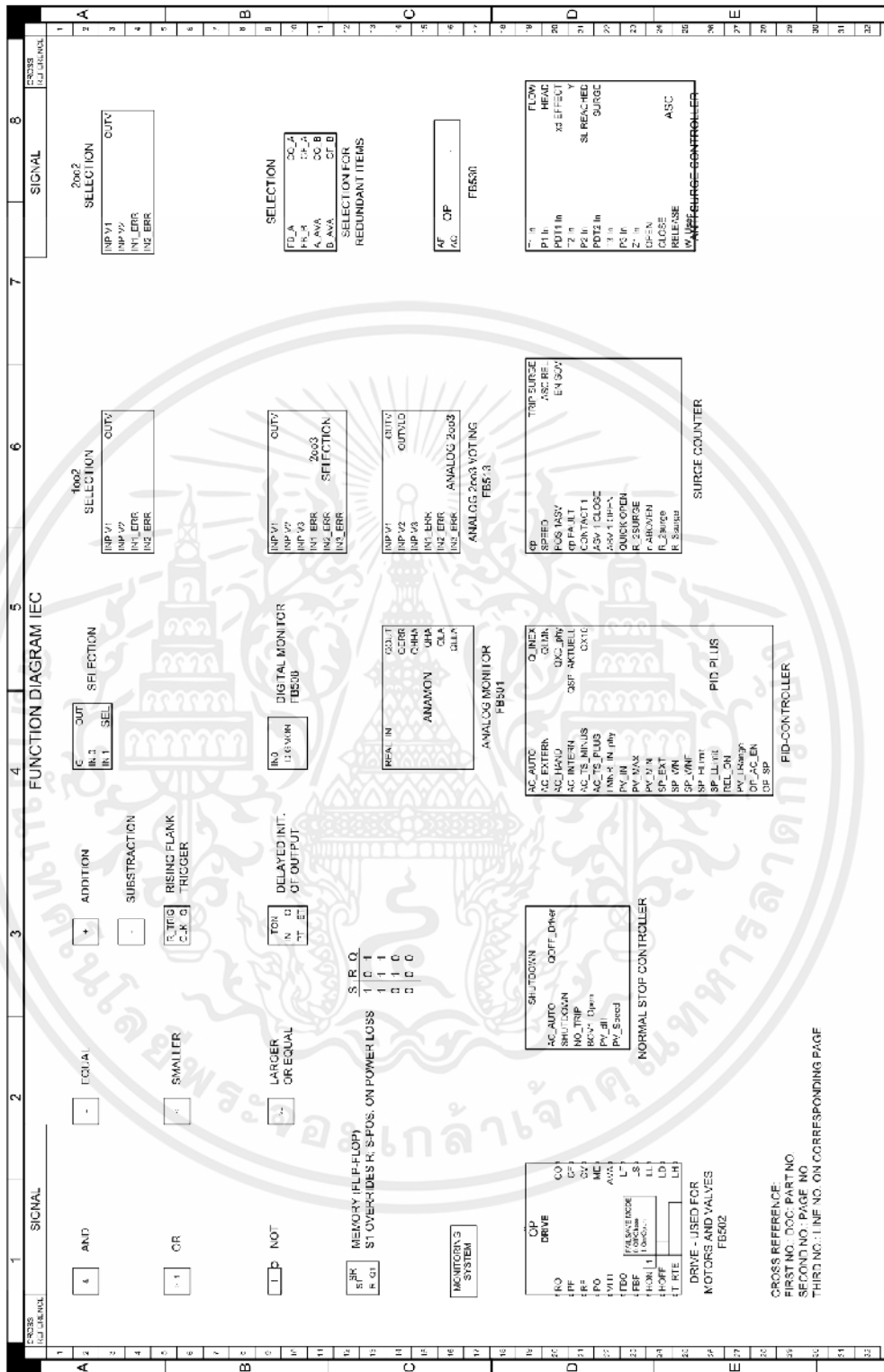
ในการควบคุมกระบวนการผลิตต่าง ๆ จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ควบคุมกระบวนการ เช่น PLC (Programmable Logic Controller) หรือ DCS (Distributed Control System) เพื่อควบคุมและรักษาค่ากระบวนการผลิต อุปกรณ์ควบคุมกระบวนการจะมีฟังก์ชันควบคุมคอยทำหน้าที่ประมวลผลค่ากระบวนการต่าง ๆ และสั่งการตัวควบคุมสุดท้าย ซึ่งฟังก์ชันควบคุมจะถูกคำนวณและออกแบบให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานควบคุมกระบวนการผลิตนั้น ๆ โดยฟังก์ชันควบคุมจะแสดงสัญลักษณ์ (Symbol) ต่าง ๆ ที่ถูกใช้ในการควบคุมกระบวนการ ซึ่งฟังก์ชันควบคุมของอุปกรณ์ควบคุมแต่ละยี่ห้อออกแบบรูปแบบแผนผัง (Diagram Format) และสัญลักษณ์แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับการพัฒนาของผู้ผลิตนั้น ๆ ดังนั้นผู้จัดทำจึงขอเสนอตัวอย่างฟังก์ชันควบคุมที่ถูกใช้งานในโรงไฟฟ้าซึ่งได้แก่ Logic Diagram และ SAMA Diagram

2.3.1 ฟังก์ชัน Logic Diagram

Logic Diagram ถูกใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับฟังก์ชันควบคุมกระบวนการ โดยอาศัยหลักการคณิตศาสตร์เพื่อแก้ไขปัญหาเชิงตรรกะ (Boolean) ซึ่งฟังก์ชัน Logic Diagram จะแสดงรายละเอียดการดำเนินงานต่าง ๆ ของกระบวนการผลิตผ่านตรรกะสัญลักษณ์ (Logic Symbol) ซึ่งผู้ใช้งานสามารถตรวจสอบและติดตามผลการดำเนินงานต่าง ๆ ของกระบวนการได้ เมื่อสัญญาณอินพุต (Input Signal) ต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นในการในการอ่านหรือตีความแผนภาพตรรกะผู้อ่านจะต้องมีความเข้าใจใน สัญลักษณ์ตรรกะต่าง ๆ ว่าแต่ละชนิดแสดงถึงอะไรและมีฟังก์ชันการทำงานเป็นอย่างไร ในหัวข้อนี้จะอธิบาย Logic Diagram เบื้องต้นที่ถูกใช้ในการควบคุมกระบวนการสำหรับกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.1 ฟังก์ชัน Logic Diagram ของเครื่องอัดก๊าซ



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างสารบัญสัญลักษณ์สำหรับฟังก์ชัน Logic diagram ของเครื่องอัดก๊าซ

จากตัวอย่างในรูปที่ 2.8 แสดงถึงสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่สามารถใช้งานภายในฟังก์ชันควบคุมของเครื่องอัดก๊าซ ซึ่งสามารถแบ่งประเภทสัญลักษณ์ดังกล่าวได้ดังนี้

ตรรกะสัญลักษณ์พื้นฐาน (Basic Logic Symbol) เป็นสัญลักษณ์ที่มีฟังก์ชันการใช้งานไม่มีความซับซ้อน อาทิเช่น AND OR บวก ลบ คูณ หาร มากกว่าเท่ากับ น้อยกว่าเท่ากับ Memory Set Reset (Flip-Flop) เป็นต้น

ตรรกะสัญลักษณ์พิเศษ (Special Logic Symbol) เป็นสัญลักษณ์ที่มีฟังก์ชันการใช้งานที่ซับซ้อน อาทิเช่น 1oo2 Selection เป็นตรรกะสัญลักษณ์พิเศษที่มีฟังก์ชันการทำงานเป็นระบบสำรองแบบ 1oo2 Analog Monitor เป็นตรรกะสัญลักษณ์พิเศษที่มีฟังก์ชันการทำงานคือตรวจจับคุณภาพของสัญญาณอินพุต PID Controller เป็นตรรกะสัญลักษณ์พิเศษที่มีฟังก์ชันการทำงานเป็นตัวควบคุม PID เป็นต้น

วิธีการอ่านและตีความฟังก์ชัน Logic Diagram ของเครื่องอัดก๊าซ


จากตัวอย่างในรูปที่ 2.9 เป็นฟังก์ชันสำหรับเตรียมความพร้อมของระบบเครื่องอัดก๊าซ โดยทางซ้ายมือของฟังก์ชัน Logic Diagram จะเป็นส่วนสัญญาณอินพุต (Input Signal) ทางซ้ายมือของฟังก์ชัน Logic Diagram จะเป็นส่วนสัญญาณเอาต์พุต (Output Signal) และส่วนตรงกลางของฟังก์ชัน Logic Diagram จะเป็นส่วนประมวลผล โดยการนำสัญลักษณ์ตรรกะมาประกอบกันให้เป็นฟังก์ชันการทำงานที่ต้องการ ซึ่ง Logic Diagram ตัวอย่างนี้เป็นฟังก์ชันตรวจเช็คความพร้อมของเครื่องอัดก๊าซก่อนเริ่มทำงาน (Ready to Start) โดยสัญญาณอินพุตของฟังก์ชันคือ สถานะหรือตำแหน่งวาล์วควบคุมต้อง ปิด/เปิด ค่าของกระบวนการต้องไม่สูงกว่าค่าที่กำหนด เป็นต้น และนำสัญญาณอินพุตเหล่านั้นมาคำนวณโดยใช้ตรรกะสัญลักษณ์ AND หากสัญญาณอินพุตเป็น “1” ทั้งหมด แสดงว่าเครื่องอัดก๊าซพร้อมที่จะทำการเริ่มงานแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.2 ฟังก์ชัน Logic Diagram ของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ


LEGEND:

AUTOMATIC DETECTOR


 HEAT DETECTOR (EXPLOSION PROOF TYPE)

CONTACT-GIVING DETECTOR


 LOCK OFF SWITCH (FOR STATUS INDICATOR)


 MANUAL RELEASE PUSH BUTTON (AT STATUS INDICATOR)

MONITORING DEVICE

 PRESSURE SWITCH


 LIMIT SWITCH (FOR LOCKOUT VALVE)

 LIMIT SWITCH (FOR SELECTOR VALVE)

 LIMIT SWITCH (FOR REED CONTACT AT PILOT CYLINDER)

 LIMIT SWITCH (FOR RELEASE BOX VZ3)

 LIGHT BARRIER (WEIGHT LOSS ALARM)

 LIMIT SWITCH-EXPLOSION PROOF (FOR FIRE DAMPER)

ANNOUNCEMENT DEVICE


 ELECTRICAL ALARM SOUNDER (EXPLOSION PROOF TYPE)


 STROBE & HORN C/W BACK BOX


 FLASH LIGHT/XENON BEACON (EXPLOSION PROOF TYPE)


 STATUS INDICATOR

GATES


 'OR' GATE

 'AND' GATE

 INVERTER

 'NOT' GATE

CONTROL DEVICE

 SOLENOID VALVE

 RESET

 TIME DELAY (10 SECONDS)

 RELAY

รูปที่ 2.10 ตัวอย่างสารบัญสัญลักษณ์สำหรับฟังก์ชัน Logic diagram ของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น จากตัวอย่างในรูปที่ 2.10 แสดงถึงสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่สามารถใช้งานภายในฟังก์ชันควบคุมของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ ซึ่งสามารถแบ่งประเภทสัญลักษณ์ดังกล่าวได้ดังนี้

ตรรกะสัญลักษณ์พื้นฐาน (Basic Logic Symbol) เป็นสัญลักษณ์ที่มีฟังก์ชันการใช้งานไม่มีความซับซ้อน อาทิเช่น AND Gate OR Gate NOT Gate เป็นต้น

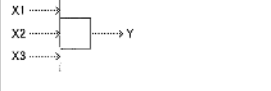
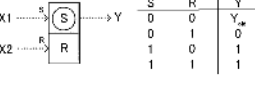
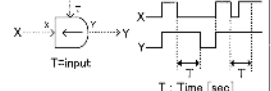
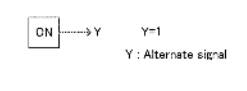
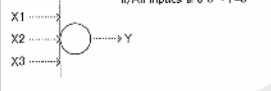
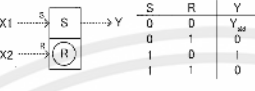
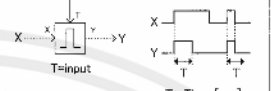
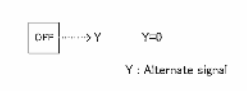

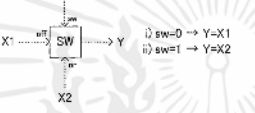
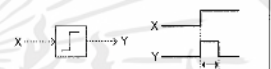
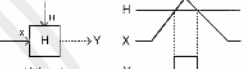



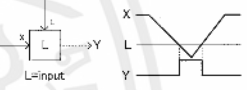
สัญลักษณ์พิเศษ (Special Symbol) เป็นสัญลักษณ์ที่บ่งบอกชนิดของอุปกรณ์ตรวจวัด อุปกรณ์แจ้งเตือน หรือ ตัวควบคุมสุดท้าย อาทิเช่น Heat Detector Pressure Switch Limit Switch Flash Light หรือ Solenoid Valve เป็นต้น

จากตัวอย่างในรูปที่ 2.11 เป็นฟังก์ชันสำหรับแจ้งเตือนเพลิงไหม้ของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ โดยทางซ้ายมือของฟังก์ชัน Logic Diagram จะเป็นส่วนสัญญาณอินพุต (Input Signal) ส่วนทางขวามือของฟังก์ชัน Logic Diagram จะเป็นส่วนสัญญาณเอาต์พุต (Output Signal) และส่วนตรงกลางของฟังก์ชัน Logic Diagram จะเป็นส่วนประมวลผล โดยการนำสัญลักษณ์ตรรกะมาประกอบกันให้เป็นฟังก์ชันการทำงานที่ต้องการ ซึ่ง Logic Diagram ตัวอย่างเป็นฟังก์ชันแจ้งเตือนเพลิงไหม้ของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ โดยสัญญาณอินพุตของฟังก์ชันคือ ค่าจากอุปกรณ์ตรวจวัดความร้อนและค่าสถานะของ Limit Switch สำหรับปุ่ม Manual Release และนำสัญญาณอินพุตเหล่านั้นมาคำนวณโดยใช้ตรรกะสัญลักษณ์ OR หากสัญญาณอินพุตตัวใดตัวหนึ่งมีค่าเป็น “1” ฟังก์ชันแจ้งเตือนจะเริ่มทำงานโดยการส่งสัญญาณเอาต์พุตไปสั่งการอุปกรณ์แจ้งเตือนด้วยแสงและเสียงทำงาน และมีข้อความแจ้งเตือนส่งไปยังศูนย์ควบคุมกลาง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.3 ฟังก์ชัน Logic Diagram ของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

1 AND i) All inputs are 1 → Y=1 ii) Any of inputs is 0 → Y=0 	5 SET/RESET (SET PREFERENCE)  <table border="1" data-bbox="718 593 821 705"> <tr><th>S</th><th>R</th><th>Y</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>Y_{old}</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	S	R	Y	0	0	Y _{old}	0	1	0	1	0	1	1	1	1	9 OFF DELAY TIMER  T=input T: Time [sec]	13 DIGITAL ON  Y=1 Y: Alternate signal
S	R	Y																
0	0	Y _{old}																
0	1	0																
1	0	1																
1	1	1																
2 OR i) Any of inputs is 1 → Y=1 ii) All inputs are 0 → Y=0 	6 SET/RESET (RESET PREFERENCE)  <table border="1" data-bbox="718 683 821 795"> <tr><th>S</th><th>R</th><th>Y</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>Y_{old}</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	S	R	Y	0	0	Y _{old}	0	1	0	1	0	1	1	1	0	10 TIME DELAY WIPE OUT  T=input T: Time [sec]	14 DIGITAL OFF  Y=0 Y: Alternate signal
S	R	Y																
0	0	Y _{old}																
0	1	0																
1	0	1																
1	1	0																
3 NOT  i) X=0 → Y=1 ii) X=1 → Y=0	7 DIGITAL TRANSFER SWITCH  i) sw=0 → Y=X1 ii) sw=1 → Y=X2	11 TRIGGER ON  Calculation cycle	15 HIGH MONITOR  H-input															
4 EXCLUSIVE OR  <table border="1" data-bbox="454 952 550 1041"> <tr><th>X1</th><th>X2</th><th>Y</th></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	X1	X2	Y	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	8 ON DELAY TIMER  T=input T: Time [sec]	12 TRIGGER OFF  Calculation cycle	16 LOW MONITOR  L=input
X1	X2	Y																
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																

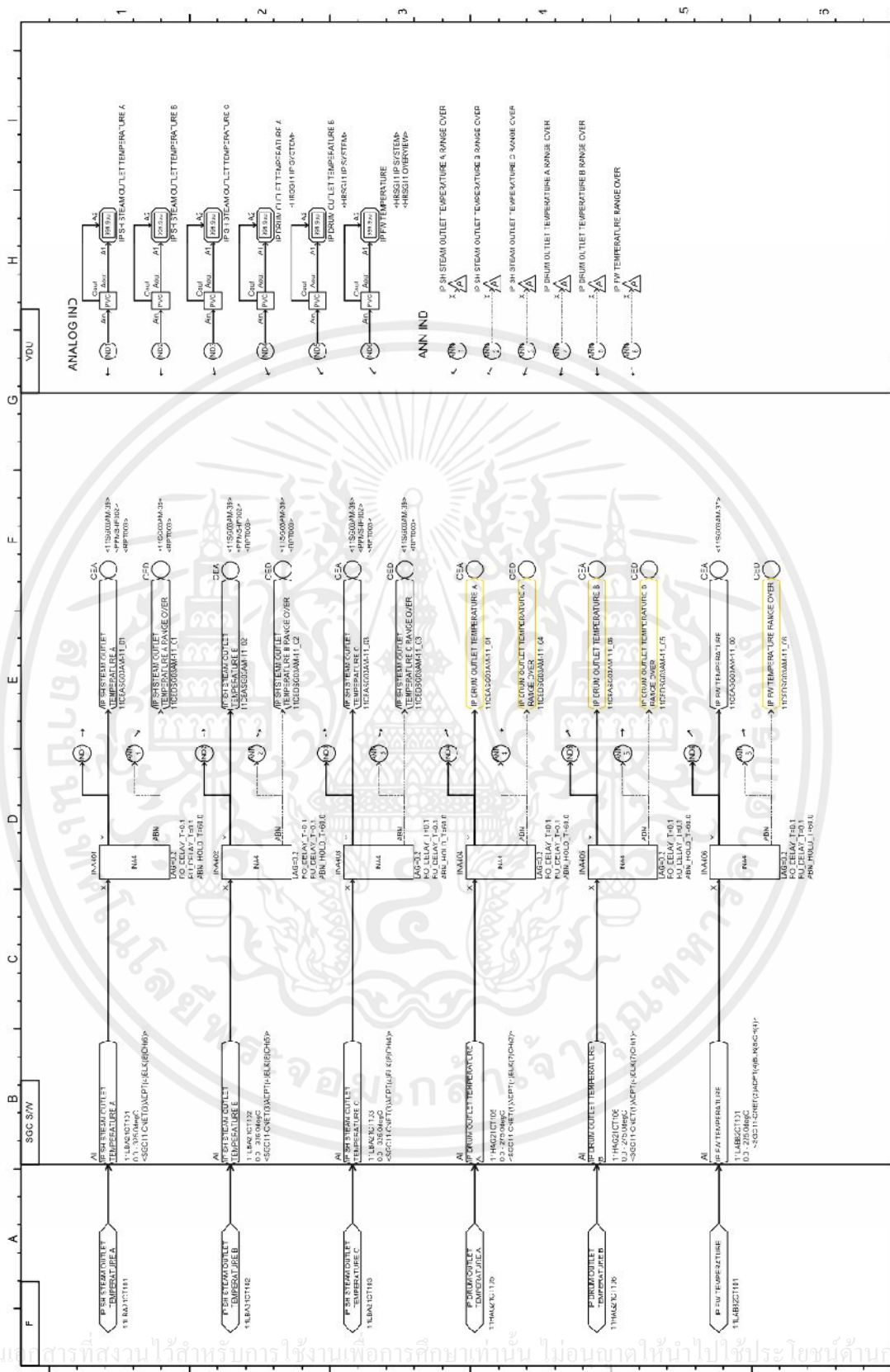
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างสารบัญสัญลักษณ์สำหรับฟังก์ชัน Logic diagram ของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

จากตัวอย่างในรูปที่ 2.12 แสดงถึงสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่สามารถใช้งานภายในฟังก์ชันควบคุมของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ซึ่งสามารถแบ่งประเภทสัญลักษณ์ดังกล่าวได้ดังนี้

ตรรกะสัญลักษณ์พื้นฐาน (Basic Logic Symbol) เป็นสัญลักษณ์ที่มีฟังก์ชันการใช้งานไม่มีความซับซ้อน อาทิเช่น AND OR บวก ลบ คูณ หาร มากกว่าเท่ากับ น้อยกว่าเท่ากับ และ Memory Set Reset (Flip-Flop) เป็นต้น

ตรรกะสัญลักษณ์พิเศษ (Special Logic Symbol) เป็นสัญลักษณ์ที่มีฟังก์ชันการใช้งานที่ซับซ้อน อาทิเช่น High Monitor เป็นตรรกะสัญลักษณ์พิเศษที่มีฟังก์ชันการทำงานคือ หากสัญญาณอินพุตที่เป็นสัญญาณแอนะล็อกสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ ฟังก์ชัน High Monitor จะส่งเอาต์พุตเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีค่า “1” ออกไปและในทางตรงกันข้ามหากสัญญาณแอนะล็อกต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ ฟังก์ชัน High Monitor จะส่งเอาต์พุตเป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีค่า “0” ออกไป ส่วน Analog Signal Input Check (INA) เป็นตรรกะสัญลักษณ์พิเศษที่มีฟังก์ชันการทำงานคือตรวจสอบคุณภาพสัญญาณแอนะล็อกอินพุต หากสัญญาณแอนะล็อกอินพุตต่ำกว่าหรือสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ เอาต์พุตของฟังก์ชัน INA จะส่งสัญญาณแจ้งเตือนเพื่อบ่งบอกว่าสัญญาณดังกล่าวไม่พร้อมใช้งานหรือไม่มีคุณภาพ

วิธีการอ่านและตีความฟังก์ชัน Logic Diagram ของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

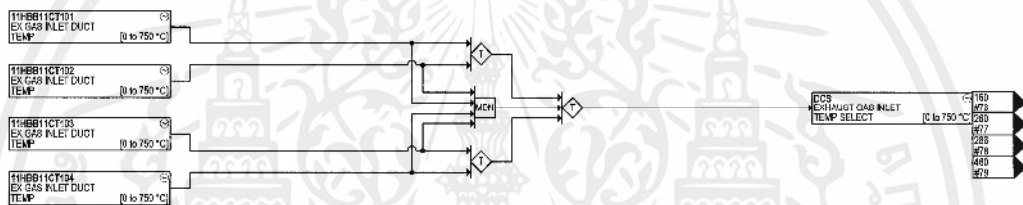


รูปที่ 2.13 ตัวอย่างฟังก์ชัน Logic Diagram สำหรับตรวจสอบคุณภาพของสัญญาณอินพุตของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตัวอย่างในรูปที่ 2.13 เป็นฟังก์ชันสำหรับตรวจสอบคุณภาพของสัญญาณอินพุตของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยทางซ้ายมือของฟังก์ชัน Logic Diagram จะเป็นส่วนสัญญาณอินพุต (Input Signal) ทางซ้ายมือของฟังก์ชัน Logic Diagram จะเป็นส่วนสัญญาณเอาต์พุต (Output Signal) และส่วนตรงกลางของฟังก์ชัน Logic Diagram จะเป็นส่วนประมวลผล โดยการนำสัญลักษณ์ตรรกะมาประกอบกันให้เป็นฟังก์ชันการทำงานที่ต้องการ ซึ่ง Logic Diagram ตัวอย่างเป็นฟังก์ชันตรวจสอบคุณภาพของสัญญาณอินพุตของระบบควบคุม โดยสัญญาณอินพุตของฟังก์ชันคือ สัญญาณแอนะล็อกที่รับค่ามาจากอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ และนำสัญญาณอินพุตเหล่านั้นมาตรวจสอบคุณภาพสัญญาณที่ฟังก์ชันตรวจสอบคุณภาพสัญญาณแอนะล็อก (INA) หากสัญญาณแอนะล็อกอินพุตต่ำกว่าหรือสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ เอาต์พุตของฟังก์ชัน INA จะส่งสัญญาณแจ้งเตือนเพื่อบ่งบอกว่าสัญญาณดังกล่าวไม่พร้อมใช้งานหรือไม่มีคุณภาพ

2.3.1.4 ฟังก์ชัน Logic Diagram ของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างฟังก์ชัน Logic Diagram สำหรับการโหวตค่าอุณหภูมิของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

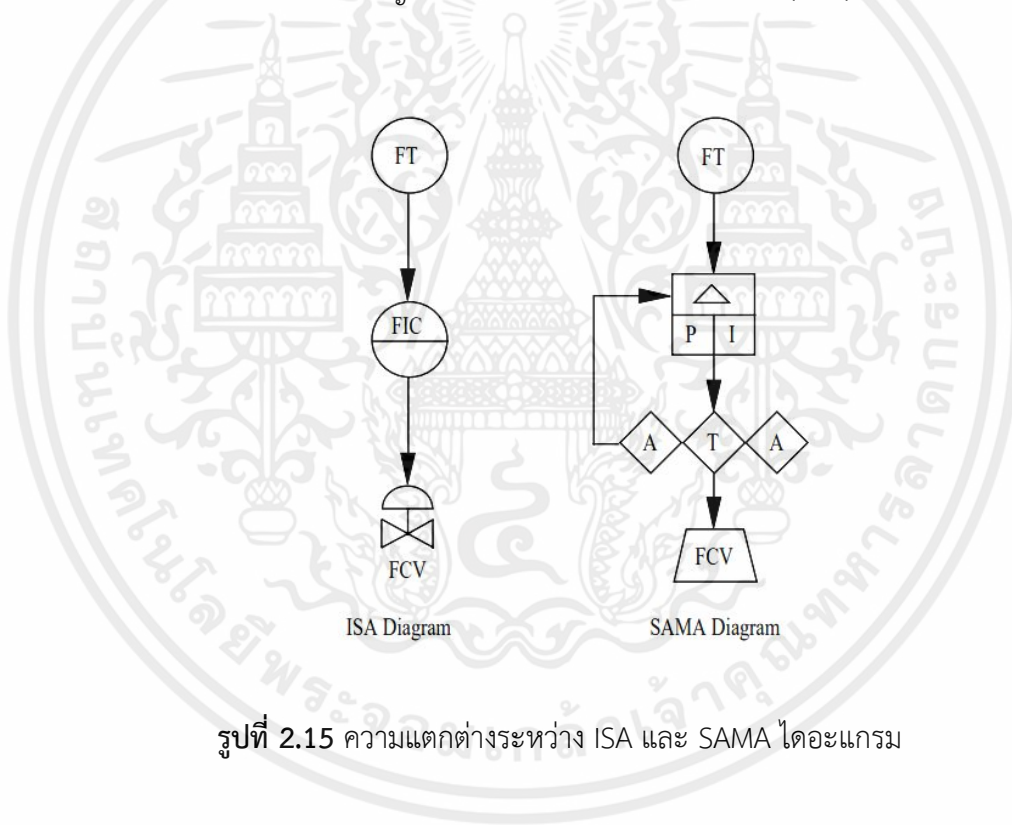
จากตัวอย่างในรูปที่ 2.14 เป็นฟังก์ชันสำหรับการโหวตค่าอุณหภูมิของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยทางซ้ายมือของฟังก์ชัน Logic Diagram จะเป็นส่วนสัญญาณอินพุต (Input Signal) ส่วนทางซ้ายมือของฟังก์ชัน Logic Diagram จะเป็นส่วนสัญญาณเอาต์พุต (Output Signal) และส่วนตรงกลางของฟังก์ชัน Logic Diagram จะเป็นส่วนประมวลผล โดยการนำสัญลักษณ์ตรรกะมาประกอบกันให้เป็นฟังก์ชันการทำงานที่ต้องการ ซึ่ง Logic Diagram ตัวอย่างเป็นฟังก์ชันการโหวตค่าอุณหภูมิก่อนที่จะนำไปใช้งาน โดยสัญญาณอินพุตของฟังก์ชันคือ สัญญาณแอนะล็อกที่รับค่ามาจากอุปกรณ์ตรวจวัดต่าง ๆ และนำสัญญาณอินพุตเหล่านั้นมาโหวต เพื่อเลือกค่ากลางไปใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2 ฟังก์ชัน SAMA Diagram

แผนภาพสำหรับระบบควบคุมในอุตสาหกรรมพลังงานมักถูกอ้างอิงด้วย SAMA Diagram โดยสัญลักษณ์และแผนภาพนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นโดย Scientific Apparatus Makers Association (SAMA) ซึ่ง SAMA Diagram นี้จะถูกนำมาใช้ในการอธิบายการควบคุมกระบวนการ แม้ว่าจะมีแนวคิดคล้ายกับ ISA ไดอะแกรม แต่ก็มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่าง 2 วิธีในการเขียนแผนภาพสำหรับระบบควบคุม

รูปที่ 2.15 แสดงระบบควบคุมอัตราการไหลอย่างง่ายของทั้ง ISA และ SAMA ไดอะแกรม จะสังเกตเห็นว่ามีเพียงสัญลักษณ์ของ Flow transmitter ที่เหมือนกัน โดยแผนภาพ ISA จะแสดงเพียงสัญลักษณ์ของตัวควบคุมอัตราการไหล (FIC : Flow Indicating Controller) ส่วนแผนภาพ SAMA นั้นจะแสดงรายละเอียดของคอนโทรลเลอร์มากกว่า โดยบอกว่าเป็นคอนโทรลเลอร์แบบ PI และยังแสดงค่าควบคุม (Setpoint) manual adjustment และ auto/manual transfer switch ซึ่ง SAMA และ ISA ไดอะแกรมยังใช้สัญลักษณ์ของ Flow control valve (FCV) ที่แตกต่างกันด้วย



รูปที่ 2.15 ความแตกต่างระหว่าง ISA และ SAMA ไดอะแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FUNCTION	ENCLOSURE SYMBOL	FUNCTION	ENCLOSURE SYMBOL
Measuring or Readout		Logical AND	
Manual Signal Processing		Logical OR	
Automatic Signal Processing		Qualified Logical OR	
Final Controlling		Logical NOT	
Final Controlling with Positioner		Maintained Memory	
Time Delay or Pulse Duration			

รูปที่ 2.16 สัญลักษณ์สำหรับออกแบบแผนภาพ SAMA

SIGNAL	SYMBOL
Continuously Variable Signal	
Incremental Change Signal or Rate of Change of a Continuously Variable Signal	
On-Off Signal "	

รูปที่ 2.17 สัญลักษณ์ของสัญญาณที่ใช้สำหรับออกแบบแผนภาพ SAMA

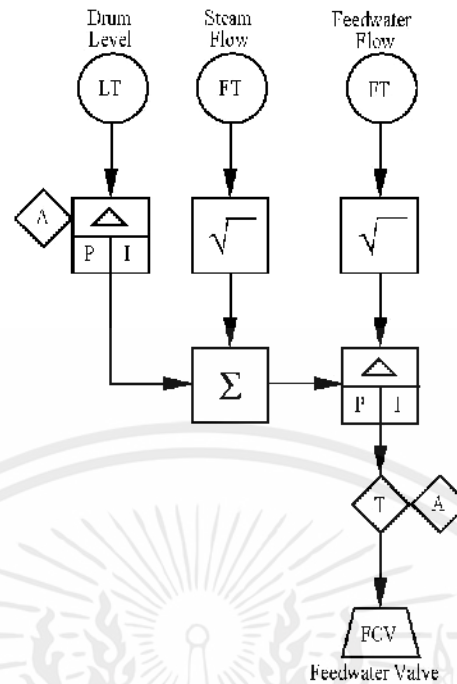
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FUNCTION	SIGNAL PROCESSING SYMBOL	FUNCTION	SIGNAL PROCESSING SYMBOL	
Summing	Σ or +	Logical Signal Generator	B	
Averaging	Σ / n	Logical AND	AND	
Difference	Δ or -	Logical OR	OR	
Proportional	K or P	Qualified Logical OR	> n	GTn
Integral	\int or		< n	LTn
Derivative	d/dt or D		= n	EQn
Multiplying	x	n - an integer		
Dividing	\div	Logical NOT	NOT	
Root Extraction	$\sqrt[n]{\quad}$	Set Memory	S, SO	
Exponential	x^n	Reset Memory	R, RO	
Non-Linear Function	f(x)	Pulse Duration	PD	
Tri-State Signal (Raise, Hold, Lower)	\updownarrow	Pulse Duration of the Lesser Line	LT	
Integrate or Totalize	Q	Time Delay on Initiation	DI or GT	
High Selecting	>	Time Delay on Termination	DT	
Low Selecting	<	Input/Output	Analog	A
High Limiting	\updownarrow		Digital	D
Low Limiting	\updownarrow		Voltage	E
Reverse Proportional	-K or -P	Signal Converter	Frequency	F
Velocity Limiting	$v \updownarrow$		Hydraulic	H
Bias	\pm		Current	I
Time Function	f(t)	Examples: D/A I/P	Electromagnetic or Sonic	O
Variable Signal Generator	A		Pneumatic	P
Transfer	T		Resistance	R
Signal Monitor	H/, H/L, /L			

รูปที่ 2.18 สัญลักษณ์ของฟังก์ชันการทำงานสำหรับแผนภาพ SAMA

จากรูปที่ 2.16 2.17 และ 2.18 แสดงสัญลักษณ์ต่าง ๆ ที่ถูกใช้ในการออกแบบแผนภาพ SAMA เพื่ออธิบายการทำงานของระบบควบคุมต่าง ๆ สำหรับหัวข้อนี้จะยกตัวอย่างแผนภาพ SAMA ของการควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำแบบ 3 ตัวแปร ดังรูปที่ 2.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 การควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำแบบ 3 ตัวแปร

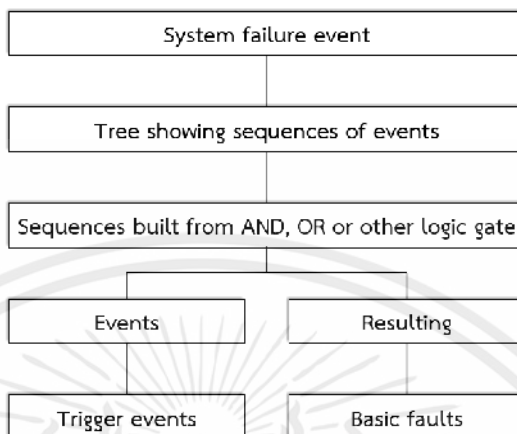
จากรูปที่ 2.19 แสดงแผนภาพ SAMA ของการควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำแบบ 3 ตัวแปร ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ระบบควบคุม Cascade ร่วมกับระบบควบคุมล่วงหน้า (Feedforward control) โดยการใช้ค่ากระบวนการ (Process Variable) 3 ค่า ได้แก่ ระดับน้ำ (Level) อัตราการไหลของไอน้ำขาออก (Flow Steam Outlet) และ อัตราการไหลของน้ำขาเข้า (Flow Feed Water Inlet) ในส่วนของระบบรองจะควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาเข้าโดยปรับ setpoint ตามค่าของอัตราการไหลของไอน้ำขาออกอัตโนมัติ เพื่อรักษาสสมดุลอัตราการไหลระหว่างไอน้ำขาออกและน้ำขาเข้า และในส่วนของระบบควบคุมหลักคือระบบควบคุมระดับน้ำ ซึ่งจะพยายามรักษาระดับน้ำให้อยู่ช่วงที่กำหนดไว้ หากระดับน้ำต่ำหรือสูงเกินกว่าช่วงที่กำหนดไว้จะส่งค่าควบคุมที่เป็นอัตราการไหลไปยังระบบควบคุมรอง เพื่อสั่งการ เพิ่ม/ลด อัตราการไหลของน้ำขาเข้าผ่านวาล์วควบคุมน้ำขาเข้าเพื่อให้ได้ระดับน้ำอยู่ในช่วงที่ควบคุม

2.4 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้

การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้ Fault Tree Analysis หรือ FTA เป็นการวิเคราะห์เพื่อระบุสาเหตุที่ทำให้เกิดความล้มเหลว ซึ่งผลลัพธ์ของวิธีการจะถูกแสดงเป็นแผนภาพความล้มเหลวโดยจะระบุสาเหตุของความล้มเหลวต่าง ๆ โดยเรียงจากด้านบน (TOP) คือความล้มเหลวของระบบ และด้านล่าง (Down) คือเหตุการณ์หรือสาเหตุหลักที่นำไปสู่ความล้มเหลวของระบบ [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 ขั้นตอนการระบุสาเหตุที่ทำให้เกิดความล้มเหลวโดยการวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้



รูปที่ 2.20 ขั้นตอนการระบุสาเหตุที่ทำให้เกิดความล้มเหลวโดยการวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้

จากรูปที่ 2.20 อธิบายถึงขั้นตอนการระบุสาเหตุที่ทำให้เกิดความล้มเหลวโดยวิธี FTA เริ่มจากระบบปัญหาหรือเหตุการณ์ความล้มเหลวของระบบ (System Failure Event) โดยที่วิเคราะห์ต้องมีความเข้าใจดีว่าระบบที่ทำการวิเคราะห์ทำงานอย่างไร หลังจากนั้นรวบรวมเหตุการณ์ (Events) หรือผลลัพธ์ของความผิดพลาด (Resulting Faults) ที่เป็นไปได้ทั้งหมดซึ่งอาจทำให้เกิดความล้มเหลวแก่ระบบได้ และทำการระบุสาเหตุที่มาของเหตุการณ์ (Trigger Event) หรือความผิดพลาดพื้นฐาน (Basic Fault) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบแผนภาพ FTA เชิงคุณภาพ

2.4.2 สัญลักษณ์สำหรับการเขียนแผนภาพของการวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้

สัญลักษณ์ที่ใช้อยู่คือแสดงเหตุการณ์ (Event) หรือผลลัพธ์ของความผิดพลาด (Resulting Fault) จะแทนด้วยรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าซึ่งทั้งสองอาจจะเกิดจากการรวมกันจากหลายเหตุการณ์ที่มีเงื่อนไข โดยจะใช้สัญลักษณ์ที่เป็นลอจิกเกต AND และ OR นอกจากนี้ยังมีสัญลักษณ์เพิ่มเติมแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สัญลักษณ์สำหรับการเขียนแผนภาพของการวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้

สัญลักษณ์	ชื่อสัญลักษณ์	ความหมายและการนำไปใช้งาน
	Event or Resulting Fault	แสดงเหตุการณ์หรือแสดงผลลัพธ์ของความผิดพลาด
	Basic Fault	สาเหตุหลักของการเกิดความล้มเหลว (ไม่ต้องหาสาเหตุอีก)
	AND Gate	เงื่อนไขจะเป็นจริงเมื่อมีเหตุการณ์มากกว่าหนึ่งเหตุการณ์จะต้องเกิดขึ้นทั้งหมด
	OR Gate	เงื่อนไขจะเป็นจริงเมื่อมีเหตุการณ์ตั้งแต่หนึ่งเหตุการณ์ขึ้นไปเกิดขึ้น
	Incomplete Event Undeveloped Event	ความน่าจะเป็นที่มีโอกาสเกิดน้อยหรือไม่มีนัยสำคัญ หรือ เหตุการณ์ที่วิเคราะห์ต่อไปไม่ได้หรือไม่มีข้อมูลสนับสนุน
	Trigger Event External Event	สาเหตุจากภายนอก
	Inhibit Gate	คือ AND gate แต่เหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นจะต้องมีเงื่อนไขหรือมีลำดับการเกิดเหตุการณ์
	Condition Event	แสดงเหตุการณ์หรือแสดงผลลัพธ์ของความผิดพลาดจากลอคจิกเกต
	Alternative Condition Event	แสดงเหตุการณ์แบบมีเงื่อนไขสำหรับลอคจิก
	Transfer In	แสดงส่วนของแผนภาพที่มีต่อจากแผนภาพอื่น
	Transfer Out	แสดงส่วนของแผนภาพที่จะถูกนำไปใช้ต่อที่แผนภาพอื่น
	Incomplete Event That Needs Attention	ความน่าจะเป็นที่มีโอกาสเกิดน้อยแต่ต้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การวิเคราะห์ความน่าจะเป็นเชิงปริมาณโดยวิธีการวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้

วิธี FTA สามารถใช้เครื่องมือในการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นเชิงปริมาณ โดยจะอาศัยหลักการของคณิตศาสตร์เพื่อรวบรวมตัวเลขค่าของความน่าจะเป็นสำหรับเหตุการณ์ที่เกิดจะจากความล้มเหลวพื้นฐานและเหตุการณ์จากภายนอกได้ ซึ่งวิธีที่นำเสนอได้แก่ Gate Solution Method เป็นการรวบรวมค่าความจะเป็นของเหตุการณ์ทั้งหมดโดยอาศัยหลักการ ลอจิกเกต และกฎความน่าจะเป็นสำหรับลอจิกเกตพื้นฐานที่ใช้คือ AND Gate และ OR Gate

2.4.3.1 AND Gate

คุณสมบัติของ AND Gate คือ อินพุตทั้งหมดจะต้องไม่มีค่าเป็นศูนย์เพื่อให้เอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์ เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ความล้มเหลว จะได้

“0” หมายถึง ระบบทำงานโดยสมบูรณ์

“1” หมายถึง ระบบทำงานล้มเหลว

ดังนั้นความน่าจะเป็นของเหตุการณ์จะเกิดความล้มเหลวเกิดขึ้นเท่ากับ “1” และเหตุการณ์ความน่าจะเป็นของความล้มเหลวของระบบเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

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

หรือ Unreliability ของระบบจะแทนด้วย $F_s(t)$ จะได้ดังนี้

$$F_s = F(A) \times F(B) \quad (2.2)$$

เมื่อ $F(A)$ และ $F(B)$ เป็นฟังก์ชันเอ็กซ์โพเนนเชียลของอุปกรณ์ในระบบจะได้

$$F_s = (1 - e^{-\lambda_A t}) \times (1 - e^{-\lambda_B t}) \quad (2.3)$$

2.4.3.2 OR gate

คุณสมบัติของ OR Gate คือ เมื่ออินพุตทั้งหมดไม่มีค่าเป็นศูนย์มีผลทำให้เอาต์พุตของเกตมีค่าไม่เป็นศูนย์ด้วย สำหรับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ในเวลาเดียวกัน (Non-Mutually Exclusive Events) โดยปกติ จะใช้กรณีนี้ในการพิจารณา และเหตุการณ์ความน่าจะเป็นของความล้มเหลวของระบบเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad (2.4)$$

หรือ Unreliability สำหรับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ในเวลาเดียวกันจะแทนด้วย $F_s(t)$ จะได้ดังนี้

$$F_s = F(A) + F(B) - [F(A) \times F(B)] \quad (2.5)$$

เมื่อ $F_s = (1 - R(A)) + (1 - R(B)) - (1 - R(A)) \times (1 - R(B))$

$$F_s = 1 - R(A) \times R(B)$$

2.5 วิศวกรรมความน่าเชื่อถือ

ความน่าเชื่อถือ (Reliability) ถูกนิยามด้วย ความน่าจะเป็นของเครื่องจักรหรือกระบวนการที่สามารถทำงานได้โดยไม่เกิดปัญหาความชำรุดขัดข้องเมื่อใช้งานอย่างถูกต้องในช่วงอายุการใช้งาน โดยทั่วไปที่ทีมงานวิศวกรรมจะใช้หลักการวิศวกรรมความน่าเชื่อถือเพื่อกำหนดแนวทางการออกแบบระบบอย่างเหมาะสม รวมทั้งการกำจัดข้อบกพร่องของระบบโดยเฉพาะระบบที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัย นอกจากนี้ยังได้ถูกประยุกต์ใช้กับงานบำรุงรักษาอีกด้วย

วิศวกรรมความน่าเชื่อถือจะให้ความสนใจในเรื่อง “เวลาที่ล้มเหลว” ของอุปกรณ์ (Component) หรือระบบ (System) โดยจะแบ่งเป็นระบบที่ไม่สามารถซ่อมแซม (Non-Repairable) เมื่ออุปกรณ์หรือระบบมีความล้มเหลวเกิดขึ้นจะไม่สามารถซ่อมแซมหรือกู้คืนกลับมาใช้งานได้ และระบบที่สามารถซ่อมแซมได้ (Repairable) เมื่ออุปกรณ์หรือระบบมีความล้มเหลวเกิดขึ้นจะสามารถซ่อมแซมหรือกู้คืนกลับมาใช้งานได้ปกติเช่นเดิม [12]

2.5.1 ระบบที่ไม่สามารถซ่อมแซมได้

ระบบที่ไม่สามารถซ่อมแซมได้ (Non-Repairable) คือ อุปกรณ์หรือระบบที่สามารถทำงานได้โดยไม่เกิดปัญหาความชำรุดขัดข้องเมื่อถูกใช้งานอย่างถูกต้องในช่วงอายุการใช้งานของอุปกรณ์หรือระบบนั้น ๆ และเมื่ออุปกรณ์หรือระบบเกิดความล้มเหลวขึ้นจะไม่สามารถซ่อมแซมหรือกู้คืนให้กลับมาใช้งานได้

ความน่าเชื่อถือ (Reliability) เป็นตัวชี้วัดความน่าจะเป็นของอุปกรณ์หรือระบบที่จะประสบความสำเร็จสำหรับอุปกรณ์หรือระบบที่ไม่สามารถซ่อมแซมได้

ความน่าเชื่อถือจะแทนด้วย “ $R(t)$ ” มีคำจำกัดความดังนี้ “ความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์จะทำงานได้สำเร็จในช่วงเวลา t ” สำหรับตัวแปรสุ่มจะแทนด้วย T

$$R(t) = P(T > t) \quad (2.6)$$

ความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์จะมีค่าเท่ากับความน่าจะเป็นที่ T เวลาที่จะล้มเหลวมีค่ามากกว่า t ในช่วงเวลาการทำงาน

ความไม่น่าเชื่อถือ (Unreliability) เป็นตัวชี้วัดความน่าจะเป็นของอุปกรณ์หรือระบบที่จะล้มเหลวสำหรับอุปกรณ์หรือระบบที่ไม่สามารถซ่อมแซมได้

ความไม่น่าเชื่อถือจะแทนด้วย “ $F(t)$ ” มีคำจำกัดความดังนี้ “ความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์จะทำงานล้มเหลวในช่วงเวลา t ” สำหรับตัวแปรสุ่มจะแทนด้วย T

$$F(t) = F(T \leq t) \quad (2.7)$$

ความไม่น่าเชื่อถือจะเท่ากับความน่าจะเป็นของเวลาที่ล้มเหลวน้อยกว่าหรือเท่ากับช่วงเวลาในการทำงาน เนื่องจากทุก ๆ อุปกรณ์จะต้องทำงานสำเร็จหรือล้มเหลว ดังนั้น $F(t)$ เป็น Ones Complement ของ $R(t)$

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (2.8)$$

$F(t)$ คือฟังก์ชันการแจกแจงสะสมหรือค่าเริ่มต้นจะมีค่าเป็นศูนย์และค่าจะเพิ่มขึ้นตามเวลาจนสุดท้ายมีค่าเท่ากับหนึ่ง

ฟังก์ชันความน่าเชื่อถือแสดงด้วย $R(t)$ คือ ความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์หรือระบบจะทำงานโดยปราศจากความผิดพลาดในช่วง $[0, t]$ สำหรับฟังก์ชัน $R(t)$ และ $F(t)$ หาได้ดังนี้

$$R(t) = P(T > t) = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (2.9)$$

$$F(t) = P(T \leq t) = \int_0^t f(t) dt \quad (2.10)$$

การแจกแจงแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลปกตินิยมใช้อธิบายการล้มเหลวของอุปกรณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่มีผลจากอัตราความล้มเหลวคงที่ โดยฟังก์ชันความล้มเหลวสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (2.11)$$

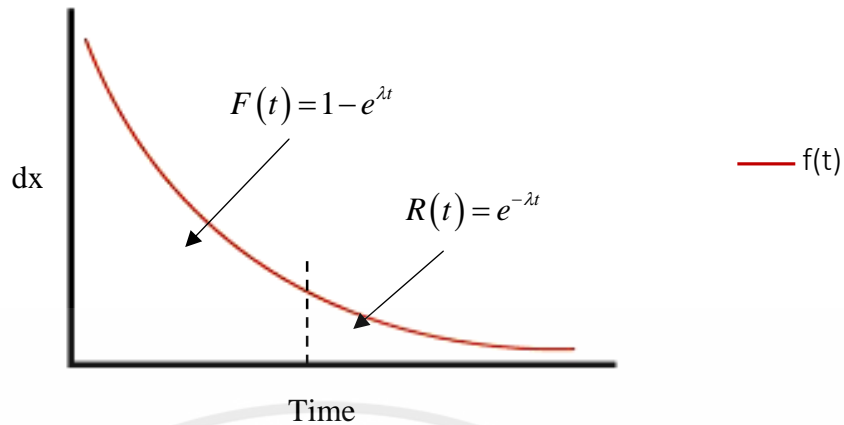
เมื่อ λ คือ อัตราความล้มเหลว (Failure rate) มีหน่วยเป็น failure per unit time และเมื่อ $t \geq 0$ ฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมจะมีค่าเท่ากับ

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.12)$$

จากฟังก์ชัน $F(t)$ และ $R(t)$ เมื่ออัตราความล้มเหลว (λ) จะมีค่ามากกว่าศูนย์และฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็นสะสมจะมีค่าเป็นหนึ่งเมื่อ $t = \infty$ และ $R(t)$ จะมีค่าเท่ากับ

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (2.13)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 ฟังก์ชันความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือ

ความน่าจะเป็นที่จะล้มเหลว (Probability of Failure) ที่เกิดขึ้นช่วงเวลาใด ๆ ของการทำงาน ดังนั้น ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบต่อเนื่องสามารถหาได้ดังนี้

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2.14)$$

2.5.1.1 เวลาเฉลี่ยที่จะล้มเหลว

เวลาเฉลี่ยอุปกรณ์หรือระบบจะล้มเหลว (Mean Time to Failure) แทนด้วย “MTTF” คือ ค่าที่คาดว่าระบบจะสามารถทำงานได้ก่อนการเสียหายครั้งแรกจะเกิดขึ้น

ค่าคาดหวังว่าระบบจะสามารถทำงานได้ก่อนการเสียหายครั้งแรกจะเกิดขึ้นของตัวแปรสุ่ม T เมื่อ T คือเวลาที่จะล้มเหลวของอุปกรณ์ที่ทำงานในช่วงเวลา t ตั้งแต่เวลาเริ่มต้นที่ไม่เป็นลบ ดังนั้นเราสามารถหาค่าเฉลี่ยของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นหรือ $f(t)$ ได้ดังนี้

$$E(T) = \int_0^{+\infty} t f(t) dt \quad (2.15)$$

จากสมการที่ 2.8 คือ $F(t) = 1 - R(t)$ แทนค่าลงในสมการที่ 2.14 จะได้

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

และนำไปแทนลงในสมการค่าคาดหวังจะได้สมการใหม่คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E(T) = -\int_0^{+\infty} t d[R(t)]$$

จากนั้น Integrating by parts จะได้

$$E(T) = [-tR(t)]_0^{\infty} - \left[-\int_0^{\infty} R(t) dt \right] \quad (2.16)$$

จากสมการในพจน์แรกจะมีค่าเท่ากับศูนย์และจะเหลือพจน์สุดท้ายซึ่งจะได้สมการค่าความคาดหวังหรือเวลาเฉลี่ยที่จะล้มเหลว MTTF คือ

$$MTTF = E(T) = \int_0^{\infty} R(t) dt = 1/\lambda \quad (2.17)$$

2.5.2 ระบบที่สามารถซ่อมแซมได้

ระบบที่สามารถซ่อมแซมได้ (Repairable) คือ อุปกรณ์หรือระบบที่สามารถทำงานได้อย่างปกติในกรณีที่ใช้งานอย่างถูกต้อง และเมื่อเกิดปัญหาความชำรุดขัดข้องต่อตัวอุปกรณ์หรือระบบนั้น อุปกรณ์หรือระบบนั้นสามารถที่จะซ่อมแซมหรือกู้คืนให้สามารถกลับมาใช้งานได้อย่างสมบูรณ์อีกครั้ง

2.5.2.1 เวลาเฉลี่ยในการซ่อมแซมและเวลาเฉลี่ยระหว่างการเสียหาย

เวลาเฉลี่ยในการซ่อมแซม (Mean Time to Repair) แทนด้วย “MTTR” เป็นค่าเฉลี่ยของเวลาที่ต้องใช้ในการซ่อมแซมระบบ ซึ่งวิธีการหาค่า MTTR ทำได้ค่อนข้างยาก เนื่องจากการเสียหายมีลักษณะแตกต่างกัน ดังนั้นการหาค่า MTTR มักจะทำโดยการประมาณค่า

เวลาเฉลี่ยระหว่างการเสียหาย (Mean Time Between Failure) แทนด้วย “MTBF” เป็นการคำนวณค่าเฉลี่ยของเวลารวมระหว่าง เวลาเฉลี่ยก่อนอุปกรณ์เสียหาย (MTTF) และ เวลาเฉลี่ยในการซ่อมแซม (MTTR) สำหรับระบบที่สามารถซ่อมแซมได้สามารถหาค่า MTBF ได้ตามสมการนี้

$$MTBF = MTTF + MTTR \quad (2.18)$$

2.5.3 ระบบสำรอง

ระบบสำรอง (Redundancy system) ถูกใช้อย่างแพร่หลายเพื่อเพิ่มเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือให้แก่ระบบ โดยระบบสำรองเป็นการออกแบบให้มีอุปกรณ์หรือระบบที่เหมือนกันและฟังก์ชันในการทำงานที่เหมือนกันมากกว่าหนึ่งตัวนำมาทำงานรวมกัน และระบบสำรองยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับซอฟต์แวร์เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับได้อีกด้วย รูปแบบของระบบสำรองถูกแบ่ง 3 แบบ ขึ้นอยู่กับลักษณะของฟังก์ชันการทำงานดังนี้

- Active Redundancy (Parallel, Hot): อุปกรณ์สำรองในระบบจะมีการทำงานพร้อมไปด้วยกัน ภาระงานเดียวกันและเป็นไปได้ที่จะมีการแบ่งภาระงานของแต่ละอุปกรณ์ เช่น งานระบบการวัดและการควบคุม งานระบบป้องกันหรืองานฟังก์ชันนิรภัย

นอกจากนี้ยังมี ● Warm Redundancy (Lightly Loaded): อุปกรณ์สำรองในระบบจะมีการทำงานที่ภาระงานต่ำสุดจนกระทั่งอุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่งในระบบเกิดความล้มเหลวและอุปกรณ์สำรองจะทำงานแทนที่ภาระงานสูงสุด

- Standby Redundancy (Cold, Unloaded): อุปกรณ์สำรองในระบบจะมีการทำงานแบบไม่มีภาระงานและจะทำงานก็ต่อเมื่ออุปกรณ์ตัวใดตัวหนึ่ง ในระบบเกิดความล้มเหลวและอุปกรณ์สำรองจะทำงานแทน

2.5.3.1 ระบบ k out of n

ระบบสำรองแบบ Active Redundancy หรืออุปกรณ์มีฟังก์ชันการทำงานร่วมกัน (load sharing) เป็นระบบสำรองที่ไม่มีความซับซ้อนและมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น ระบบการวัดอัตราการไหลโดยใช้เครื่องมือวัดอัตราการไหลจำนวน 3 ตัว ถูกออกแบบเป็นระบบสำรองโดยที่อุปกรณ์ตรวจวัดต้องทำงานอย่างน้อย 2 ตัวหรืออุปกรณ์ตรวจวัดสามารถล้มเหลวได้ไม่เกิน 1 ตัว ซึ่งเป็นวิธีการออกแบบระบบสำรองแบบโหวต 2oo3 (Two out of Three Voting) หมายถึงระบบการวัดอัตราการไหลจะประสบผลสำเร็จก็ต่อเมื่อ เครื่องมือวัดอัตราการไหลทำงานโดยสมบูรณ์อย่างน้อย 2 ตัวหรือเครื่องมือวัดอัตราการไหลล้มเหลวได้ไม่เกิน 1 ตัว

ระบบ k out of n ได้นำหลักการวิธีจัดหมู่ (Combination) มาใช้งาน โดยวิธีจัดหมู่จะไม่เรียงตำแหน่งหรือลำดับก่อนหลัง ซึ่งแสดงสมการดังนี้

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (2.19)$$

เมื่อ n คือจำนวนของอุปกรณ์ทั้งหมด และ k คือจำนวนของอุปกรณ์ที่ต้องการให้ทำงาน ดังนั้นจากตัวอย่างจะมีการโหวตการทำงานทั้งหมด 3 วิธี แสดงดังนี้

$$\binom{3}{2} = \frac{3!}{2!(3-2)!} = 3$$

ซึ่งวิธีการคำนวณหาความน่าจะเป็นของระบบการวัดอัตราการไหลที่จะประสบผลสำเร็จสามารถหาได้ดังสมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned} R_{Part1} &= R_1 \times R_2 \\ R_{Part2} &= R_2 \times R_3 \\ R_{Part3} &= R_1 \times R_3 \end{aligned}$$

ความน่าเชื่อถือของระบบการโหวต k out of n สามารถเขียนในรูปสมการทั่วไปดังนี้

$$R(t)_{k/n} = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} R(t)^i (1-R(t))^{n-i} \quad (2.20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ $i=k$ งาน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 งานวิจัยที่นำเสนอ

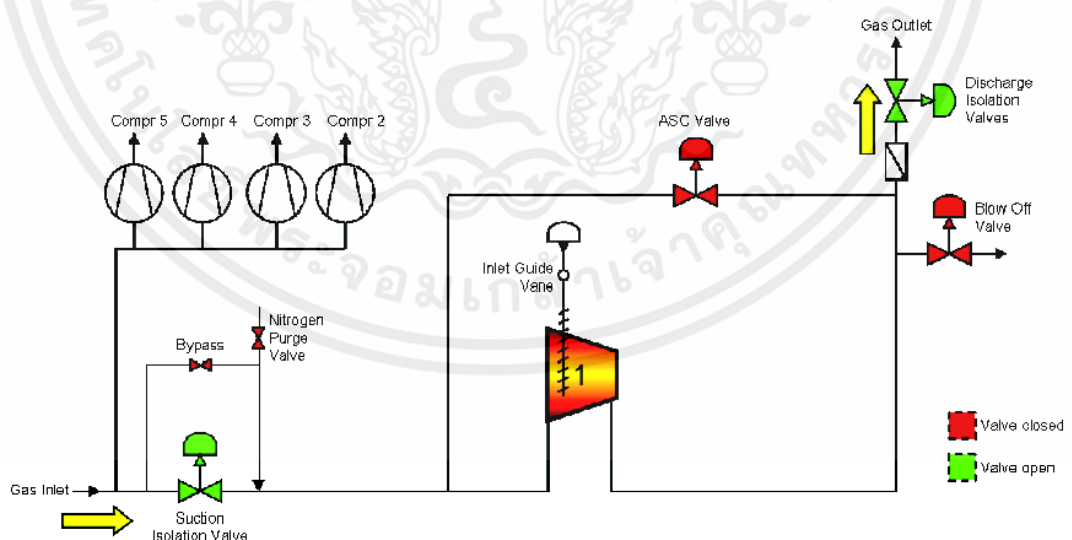
3.1 กล่าวนำ

บทนี้จะกล่าวถึงการทำงานของกระบวนการสำหรับกรณีศึกษา และสร้างแผนผังกระบวนการอย่างง่ายจากฟังก์ชันการทำงานของกระบวนการสำหรับแต่ละกรณีศึกษา ทั้งนี้ผู้จัดทำขอแนะนำกรณีศึกษากระบวนการผลิตที่อยู่ภายในโรงไฟฟ้า คือ ระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ ระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ การควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำ ความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ และระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

3.2 กรณีศึกษา : ระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ

เครื่องอัดก๊าซในโรงไฟฟ้าถูกใช้สำหรับเพิ่มความดันก๊าซธรรมชาติให้เหมาะสมก่อนจะถูกป้อนเข้าสู่กังหันก๊าซ ซึ่งเครื่องอัดก๊าซถูกออกแบบให้มีระบบสำรองเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของโรงไฟฟ้า และป้องกันในกรณีเครื่องอัดก๊าซตัวใดตัวหนึ่งไม่สามารถใช้งานได้ (เครื่องอัดก๊าซทำงาน 4 เครื่อง และสำรอง 1 เครื่อง) โดยปลายท่อก๊าซของเครื่องอัดก๊าซจะถูกต่อรวมกัน ซึ่งแต่ละเครื่องอัดก๊าซถูกออกแบบให้มีระบบควบคุม (Unit Control Panel) ระบบเครื่องมือวัด (Instrument) และระบบไฟฟ้า (Electrical) ให้เป็นอิสระต่อกัน และยังมีระบบควบคุมหลัก (Master Control Panel) เพื่อควบคุมและเฝ้าดูการทำงานของเครื่องอัดก๊าซแต่ละตัวอีกด้วย

3.2.1 กระบวนการทำงานของเครื่องอัดก๊าซ



รูปที่ 3.1 แผนภาพจำลองของระบบเครื่องอัดก๊าซ

จากรูปที่ 3.1 เป็นแผนภาพจำลองของระบบเครื่องอัดก๊าซ โดยการทำงานของเครื่องอัดก๊าซนั้นจะป้อนก๊าซที่มีความดันที่เหมาะสมให้กับกังหันก๊าซ ซึ่งในกรณีที่กังหันก๊าซมีการเปลี่ยนแปลง

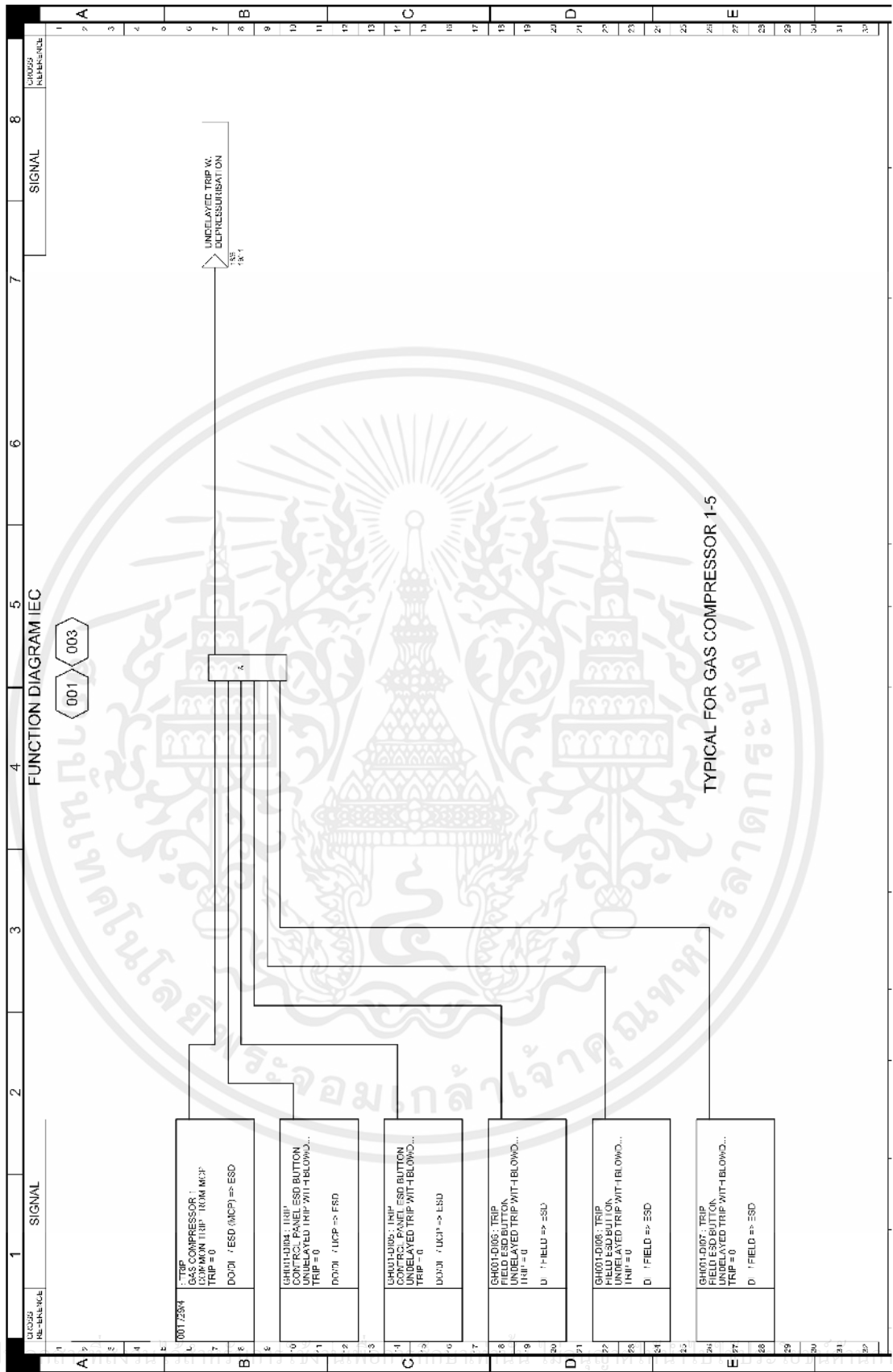
การใช้เชื้อเพลิงก๊าซ เครื่องอัดก๊าซจะต้องควบคุมความดันก๊าซขาออกให้อยู่ที่ค่าที่เหมาะสม โดยการปรับ เพิ่ม/ลด ใบพัดควบคุมก๊าซขาเข้า (Inlet Guide Vane) และ วาล์วป้องกัน Surge (Anti Surge Control Valve) ซึ่งถูกติดตั้งที่ท่อไหลย้อนกลับของเครื่องอัดก๊าซ เพื่อควบคุมความดันและอัตราการไหลของก๊าซไม่ให้เครื่องอัดก๊าซเสียหายจากอาการ Surge

3.2.2 ฟังก์ชันการทำงานของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ

เครื่องอัดก๊าซถูกออกแบบให้มีระบบป้องกัน (Protection System) เพื่อสั่งการหยุดเครื่องจักรฉุกเฉิน โดยแบ่งการทำงานเป็น 2 ส่วนคือ การตรวจจับและเฝ้าดูค่าของกระบวนการ (Process Monitoring) และการตรวจจับและเฝ้าดูการทำงานของเครื่องจักร (Machine Monitoring) ไม่ให้เกินค่าที่กำหนดไว้ เพื่อป้องกันและรักษาสถานะที่ปลอดภัยของกระบวนการและเครื่องจักร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 Logic Diagram ของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ

เอกสารนี้เป็น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรุณา

จากรูปที่ 3.2 เป็น Logic Diagram เพียงบางส่วนของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ ซึ่งการทำงานของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ จะอธิบายดังนี้

- ระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าของกระบวนการ

ความดันก๊าซขาเข้าต่ำ/สูง (Suction Pressure Low/High Protection)

ในกรณีที่ความดันก๊าซขาเข้าของเครื่องอัดอากาศ ต่ำ/สูง กว่าค่าที่กำหนดไว้ ระบบป้องกันจะทำการสั่งหยุดเครื่องฉุกเฉินเพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องอัดก๊าซความเสียหาย

อุณหภูมิก๊าซขาเข้าสูง (Suction Temperature High Protection)

ในกรณีที่อุณหภูมิก๊าซขาเข้าของเครื่องอัดอากาศสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ ระบบป้องกันจะทำการสั่งหยุดเครื่องฉุกเฉินเพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องอัดก๊าซความเสียหาย

ความดันก๊าซขาออกสูง (Discharge Pressure High Protection)

ในกรณีที่ความดันก๊าซขาออกของเครื่องอัดอากาศสูงกว่าค่าที่กำหนดไว้ ระบบป้องกันจะทำการสั่งหยุดเครื่องฉุกเฉินเพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องอัดก๊าซความเสียหาย

ความดันน้ำมันหล่อลื่นต่ำ (Lube Oil Pressure Low Protection)

เครื่องอัดก๊าซถูกออกแบบให้มีระบบหล่อลื่นเพื่อใช้หล่อลื่นสำหรับ เพลาและแบร็ง ของเครื่องอัดก๊าซ ในกรณีที่ความดันน้ำมันหล่อลื่นต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ ระบบป้องกันจะทำการสั่งหยุดเครื่องฉุกเฉินเพื่อป้องกันไม่ให้ เพลาและแบร็ง ของเครื่องอัดก๊าซเกิดความเสียหาย

- ระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าการทำงานของเครื่องจักร

อุณหภูมิแบร็งสูง (Bearing Temperature High Protection)

เครื่องอัดก๊าซถูกออกแบบให้มีระบบเฝ้าดูอุณหภูมิของแบร็ง ซึ่งติดตั้งไว้ภายในเครื่องอัดก๊าซ เพื่อเฝ้าดูการเสียดสีระหว่างเพลากับแบร็ง ในกรณีที่อุณหภูมิของแบร็งสูงเกินค่าที่กำหนดไว้ ระบบป้องกันจะทำการสั่งหยุดเครื่องฉุกเฉินเพื่อป้องกันไม่ให้ เพลาและแบร็ง ของเครื่องอัดก๊าซเกิดความเสียหาย

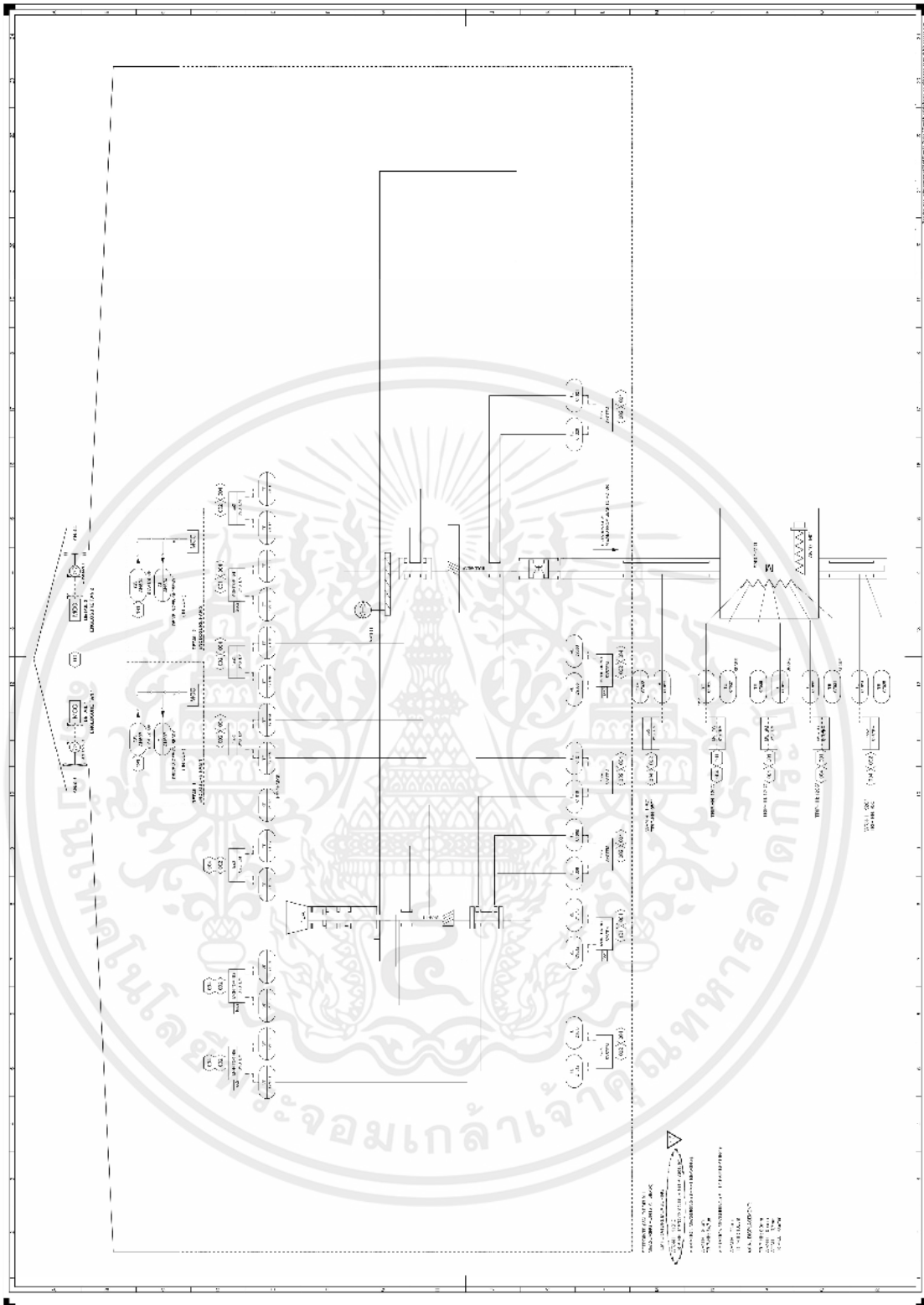
การสั่นสะเทือนแบร็งสูง (Bearing Vibration High Protection)

เครื่องอัดก๊าซถูกออกแบบให้มีระบบเฝ้าดูการสั่นสะเทือนของแบร็ง ซึ่งติดตั้งไว้ภายในเครื่องอัดก๊าซ เพื่อเฝ้าดูการเสียดสีระหว่างเพลากับแบร็ง ในกรณีที่เกิดการสั่นสะเทือนของแบร็ง สูงเกินค่าที่กำหนดไว้ ระบบป้องกันจะทำการสั่งหยุดเครื่องฉุกเฉินเพื่อป้องกันไม่ให้ เพลา แบร็ง ใบพัดของเครื่องอัดก๊าซเกิดความเสียหาย

ระยะห่างของตำแหน่งเพลาดำ/สูง (Shaft Axial Displacement Low/High Protection)

เครื่องอัดก๊าซถูกออกแบบให้มีระบบเฝ้าดูระยะห่างของตำแหน่งปลายเพลา ซึ่งอุปกรณ์วัดระยะห่างจะถูกติดตั้งเพื่อวัดบริเวณจุดปลายของเพลา ในกรณีที่ตำแหน่งของเพลายื่นออกเหนือจากขอบเขตที่กำหนดไว้ ระบบป้องกันจะทำการสั่งหยุดเครื่องฉุกเฉินเพื่อป้องกันไม่ให้ เพลา แบร็ง ใบพัดของเครื่องอัดก๊าซเกิดความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

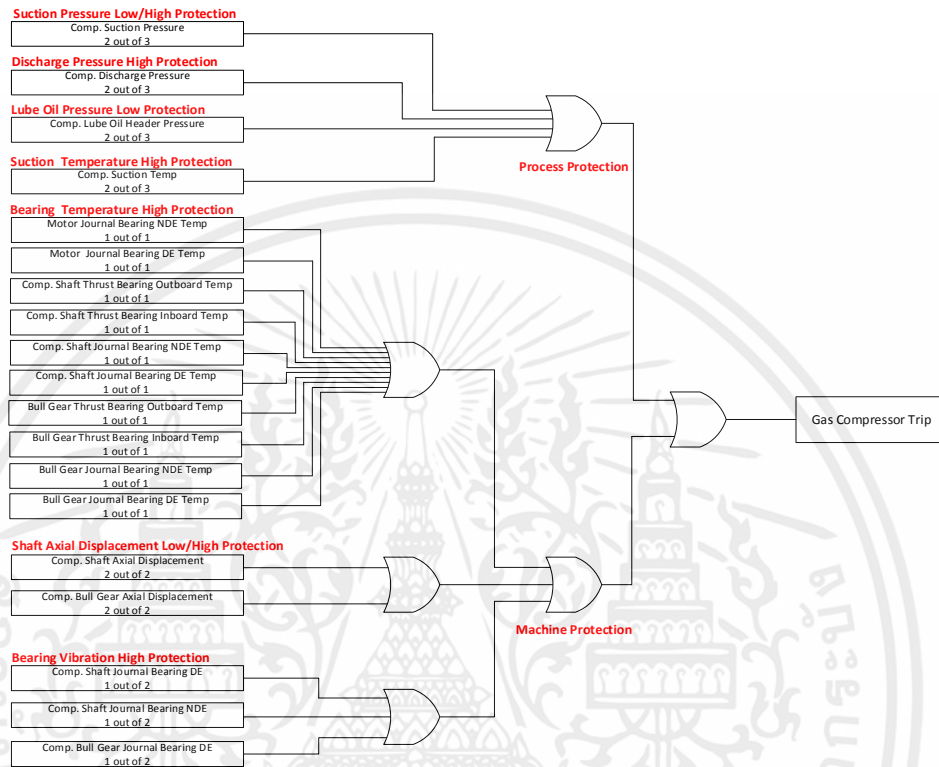


รูปที่ 3.3 Piping & Instruments Diagram แสดงรายละเอียดการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับและเฝ้าดูแลการทำงานของเครื่องจักรสำหรับเครื่องอัดก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 แผนผังลอจิกไดอะแกรมอย่างง่ายสำหรับระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ

จากการทำงานของฟังก์ชันระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซข้างต้นสามารถนำมาเขียนแผนผังอย่างง่ายสำหรับระบบการทำงานของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ (Simple Logic Diagram) ได้ดังรูปที่ 3.4



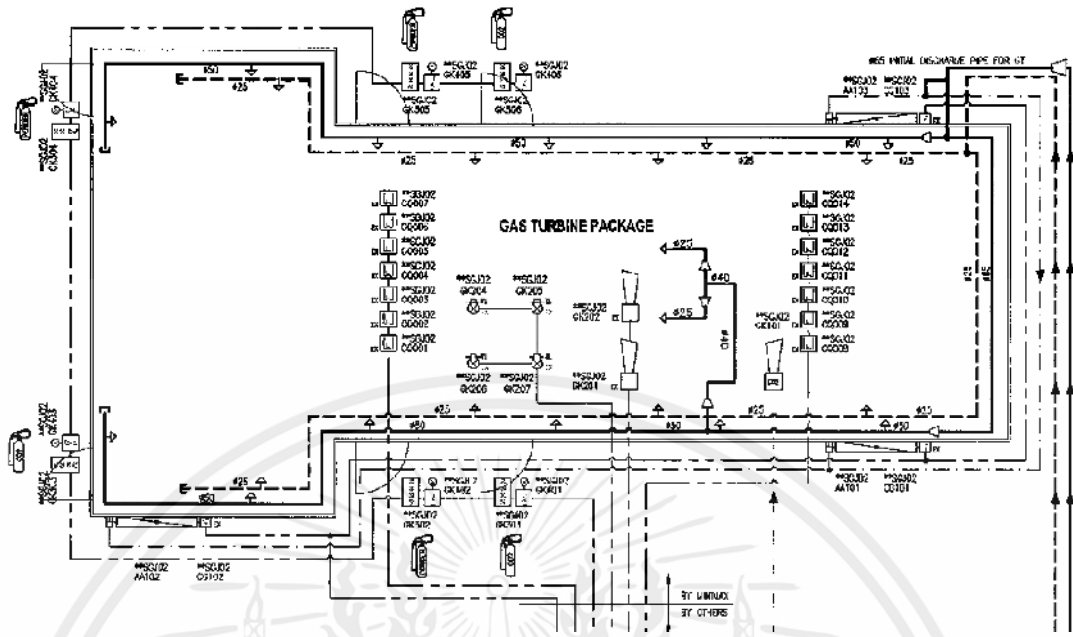
รูปที่ 3.4 Simple Logic Diagram สำหรับระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ

3.3 กรณีศึกษา : ระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ

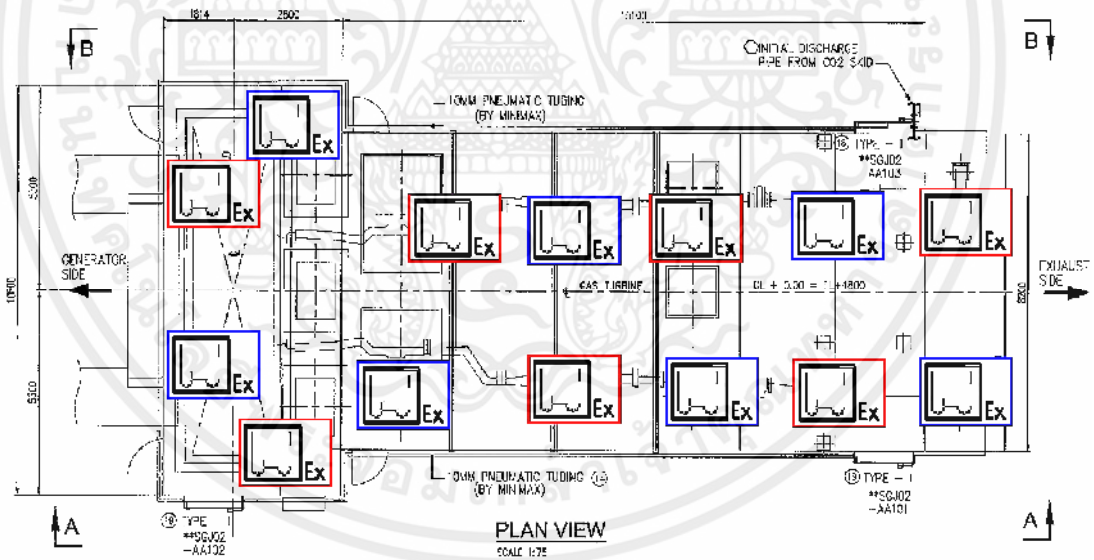
ระบบป้องกันเพลิงไหม้โดยใช้ก๊าซ CO₂ ถูกออกแบบให้ป้องกันเพลิงไหม้ภายในห้องปิดสำหรับกังหันก๊าซ เพื่อป้องกันชิ้นส่วนหลักของกังหันก๊าซและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ ที่ติดตั้งภายในไม่ให้ได้รับความเสียหายจากเพลิงไหม้

3.3.1 กระบวนการทำงานของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ

โดยกระบวนการทำงานของระบบป้องกันเพลิงไหม้จะมีอุปกรณ์ตรวจวัดความร้อน (Heat Detector) ซึ่งติดตั้งไว้ภายในห้องปิดสำหรับกังหันก๊าซและแบ่งพื้นที่ (Zone) การตรวจจับ เพื่อให้การตรวจจับความร้อนภายในห้องปิดมีประสิทธิภาพสูงสุด และส่งสัญญาณไปประมวลผลที่ตู้แจ้งเตือนและควบคุมเพลิงไหม้ (Local Fire Alarm Control Panel) เมื่อระบบป้องกันเพลิงไหม้สามารถตรวจจับความร้อนภายในห้องปิดได้ ตู้แจ้งเตือนและควบคุมเพลิงไหม้จะสั่งหยุดการทำงานของกังหันก๊าซและปิดพัดลมระบายอากาศ (Ventilation Fan) ของห้องปิดเพื่อควบคุมอากาศภายในห้องปิดและสั่งการฉีดก๊าซ CO₂ เพื่อลดความเข้มข้น O₂ ในอากาศลงจนถึงจุดที่ไม่สามารถช่วยในการลุกไหม้ต่อไปได้



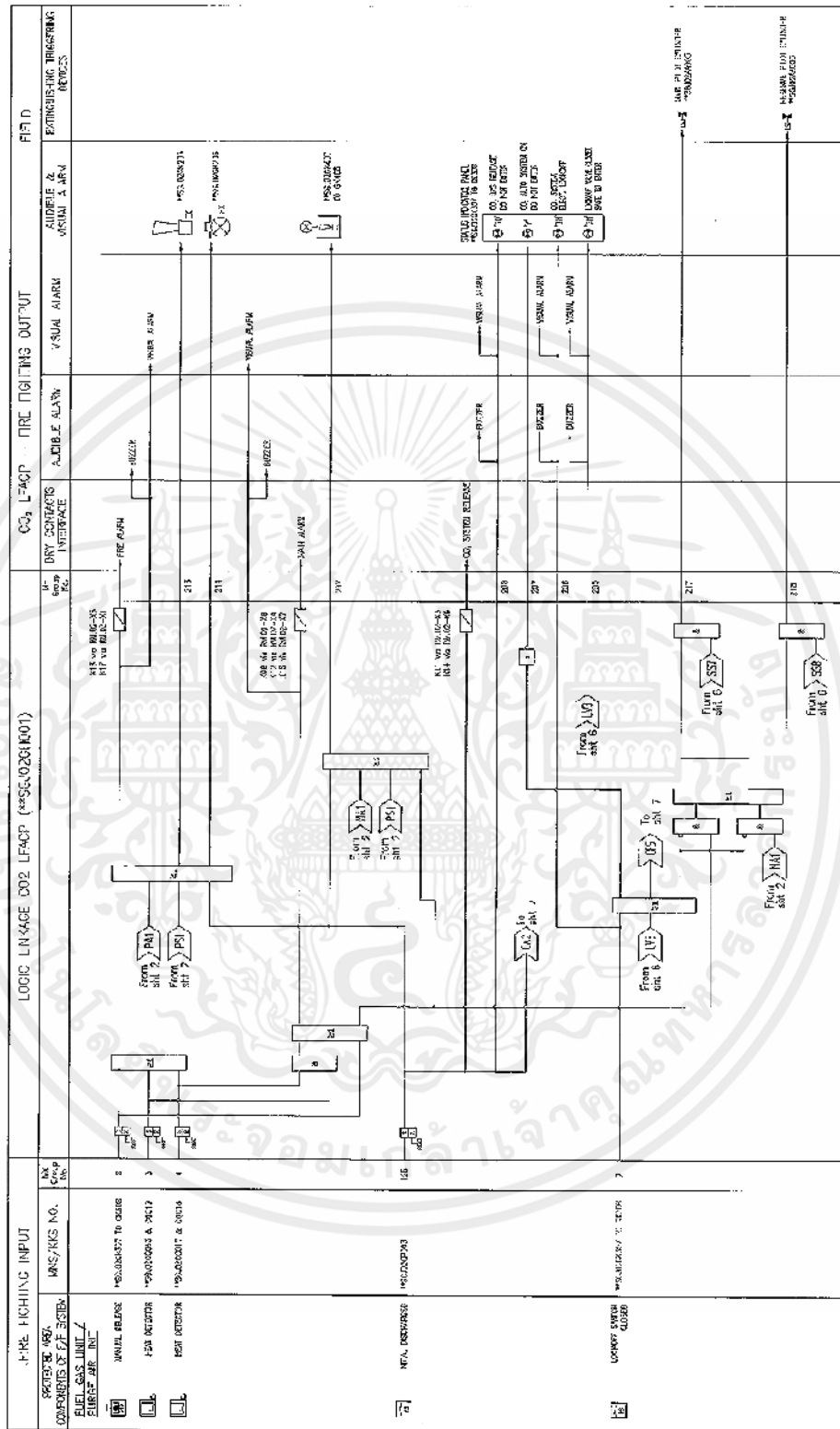
รูปที่ 3.5 Piping and Instruments Diagram สำหรับระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ



รูปที่ 3.6 แผนผังจุดติดตั้งของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนภายในห้องปิดของกังหันก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 ฟังก์ชันการทำงานของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ



รูปที่ 3.7 Logic Diagram ของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

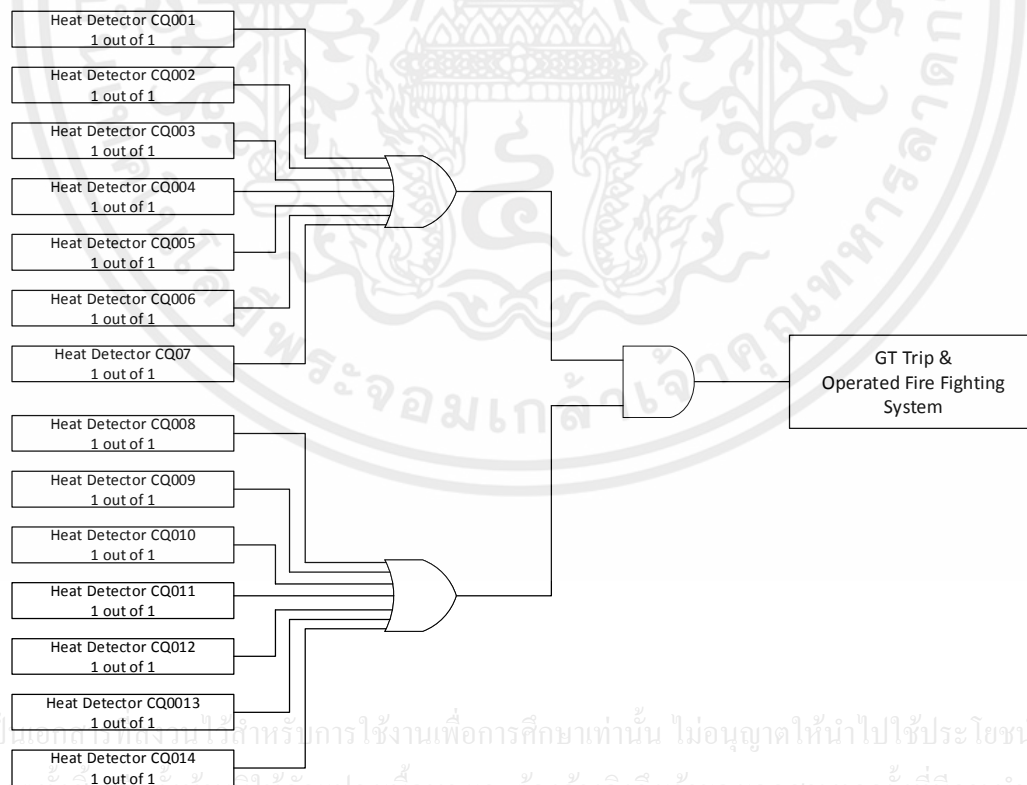
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยัง

จากรูปที่ 3.7 เป็น Logic Diagram บางส่วนของระบบป้องกันเพลิงไหม้ โดยฟังก์ชันการทำงานของระบบป้องกันเพลิงไหม้ถูกออกแบบให้ป้องกันการการทำงานที่ผิดพลาด โดยแบ่งระบบตรวจวัดความร้อนเป็น 2 วงจร (Circuit) แต่ละวงจรจะแบ่งพื้นที่การตรวจจับความร้อนเป็น 7 เขต และแต่ละเขตตรวจจับความร้อนจะติดตั้งอุปกรณ์วัดความร้อน 1 ตัว โดยการฟังก์ชันการทำงานของระบบป้องกันเพลิงไหม้มีดังนี้

- เมื่อระบบตรวจจับความร้อนทำงานเพียงวงจรเดียว
 - ตู้แจ้งเตือนและควบคุมเพลิงไหม้จะส่งสัญญาณเตือนภัยด้วยสัญญาณเสียงและสัญญาณแสง
 - ส่งสัญญาณแจ้งเตือน (Pre Alarm) ไปยังส่วนควบคุมหลัก (DCS)
- เมื่อระบบตรวจจับความร้อน 2 วงจรทำงานพร้อมกัน
 - ตู้แจ้งเตือนและควบคุมเพลิงไหม้จะส่งสัญญาณเตือนภัยด้วยสัญญาณเสียงและสัญญาณแสง
 - ส่งสัญญาณแจ้งเตือน (Main Alarm) ไปยังส่วนควบคุมหลัก (DCS)
 - สั่งหยุดการทำงานของกังหันก๊าซและพัดลมระบายอากาศ
 - สั่งการฉีด CO₂ เพื่อระงับเพลิงไหม้

3.3.3 แผนผังลอจิกไดอะแกรมอย่างง่ายสำหรับระบบป้องกันเพลิงไหม้

จากการทำงานของระบบป้องกันเพลิงไหม้ข้างต้นสามารถนำมาเขียนแผนผังอย่างง่ายสำหรับระบบการทำงานของระบบป้องกันเพลิงไหม้ (Simple Logic Diagram) ได้ ดังรูปที่ 3.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.8 Simple Logic Diagram สำหรับระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ

3.4 กรณีศึกษา : ระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

3.4.1 กระบวนการควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

โดยปกติระบบควบคุมของหม้อไอน้ำจะต้องควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำให้อยู่ในช่วงที่ถูกออกแบบไว้เท่านั้น หากระดับน้ำในหม้อไอน้ำสูงกว่าช่วงที่ออกแบบไว้อาจส่งผลให้มีความชื้นปะปนไปกับไอน้ำเข้าสู่กังหันไอน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดความเสียหายกับชิ้นส่วนภายในของกังหันไอน้ำได้ และหากระดับน้ำในหม้อไอน้ำต่ำกว่าช่วงที่ถูกออกแบบไว้ อาจส่งผลกับท่อภายในหม้อไอน้ำเกิดการแตกร้าวจากการที่ได้รับความร้อนมากเกินไปจนกระทั่งต้องหยุดกระบวนการผลิตลง ดังนั้นระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำจึงต้องถูกออกแบบให้มีประสิทธิภาพสูง เนื่องจากระดับน้ำในหม้อไอน้ำจะลักษณะกระเพื่อม ขึ้น ๆ ลง ๆ เสมอ โดยสาเหตุเกิดจากกังหันไอน้ำมีความต้องการใช้น้ำมากขึ้นแบบทันทีทันใด ส่งผลให้ความดันภายในหม้อไอน้ำลดลงเป็นผลทำให้ระดับน้ำของหม้อไอน้ำสูงเพิ่มขึ้นทั้ง ๆ ที่ไม่ได้ป้อนน้ำเพิ่มขึ้นเลย และเมื่อระดับน้ำสูงกว่าที่กำหนดไว้ระบบป้องกันของหม้อไอน้ำจะทำงานเพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องจักรเกิดความเสียหาย และอีกหนึ่งสาเหตุเกิดจากกังหันไอน้ำหยุดการใช้ไอน้ำอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ความดันภายในหม้อไอน้ำเพิ่มขึ้นเป็นผลทำให้ระดับน้ำของหม้อไอน้ำลดลงอย่างรวดเร็ว และเมื่อระดับน้ำต่ำกว่าที่กำหนดไว้ ระบบป้องกันของหม้อไอน้ำจะทำงานเพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องจักรเกิดความเสียหาย ดังนั้นการควบคุมล่วงหน้า (Feed Forward control) จึงถูกใช้เพื่อควบคุมกระบวนการควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

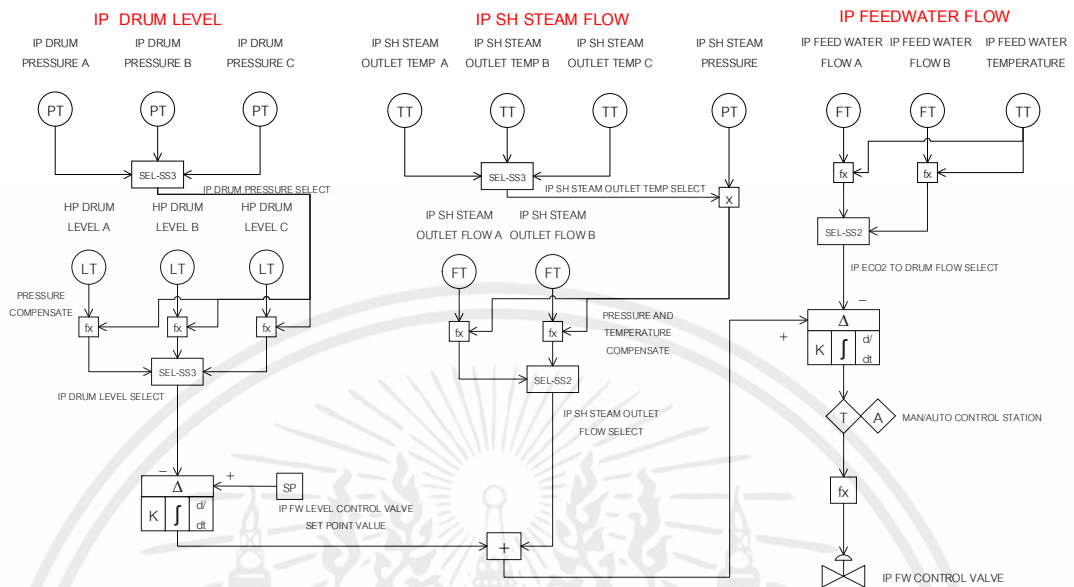
3.4.2 ฟังก์ชันการทำงานของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

จากรูปที่ 3.9 เป็น Logic Diagram บางส่วนของระบบควบคุมน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยฟังก์ชันการทำงานของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลาง สามารถอธิบายได้ดังนี้

ตัวควบคุมหลัก (Primary Controller) สำหรับควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลาง โดยตัวควบคุมหลักจะนำค่าผิดพลาด (Error) ที่ได้จากการรับค่าชดเชยระดับน้ำ (Level compensated) นำมาเปรียบเทียบกับค่าระดับน้ำเป้าหมาย (Level Setpoint) เพื่อคำนวณหาค่าตัวแปรควบคุม (Manipulated Value) ซึ่งตัวแปรควบคุมที่ได้จากการคำนวณของตัวควบคุมหลักจะอยู่ในรูปค่าอัตราการไหล ซึ่งค่าอัตราการไหลดังกล่าวจะถูกนำมารวมกับค่าชดเชยอัตราการไหลของไอน้ำความดันปานกลางขาออก (IP SH Steam Outlet Compensated) และผลลัพธ์ของผลรวมนี้จะอยู่ในรูปของค่าอัตราการไหลเป้าหมายสำหรับอัตราการไหลของน้ำขาเข้าสำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลาง

ตัวควบคุมรอง (Secondary Controller) สำหรับควบคุมอัตราการไหลของน้ำขาเข้าสำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลาง โดยตัวควบคุมจะนำค่าผิดพลาดที่ได้จากการรับค่าชดเชยของอัตราการไหลของน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลาง (IP Feed Water Compensated) นำมาเปรียบเทียบกับค่าอัตราการไหลเป้าหมายสำหรับอัตราการไหลของน้ำขาเข้าสำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลาง เพื่อคำนวณหาค่าตัวแปรควบคุมและนำตัวแปรควบคุมดังกล่าวไปควบคุมการเปิดปิดของวาล์วควบคุมอัตราการไหลน้ำขาเข้าสำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลาง (IP Feed Water Control Valve)

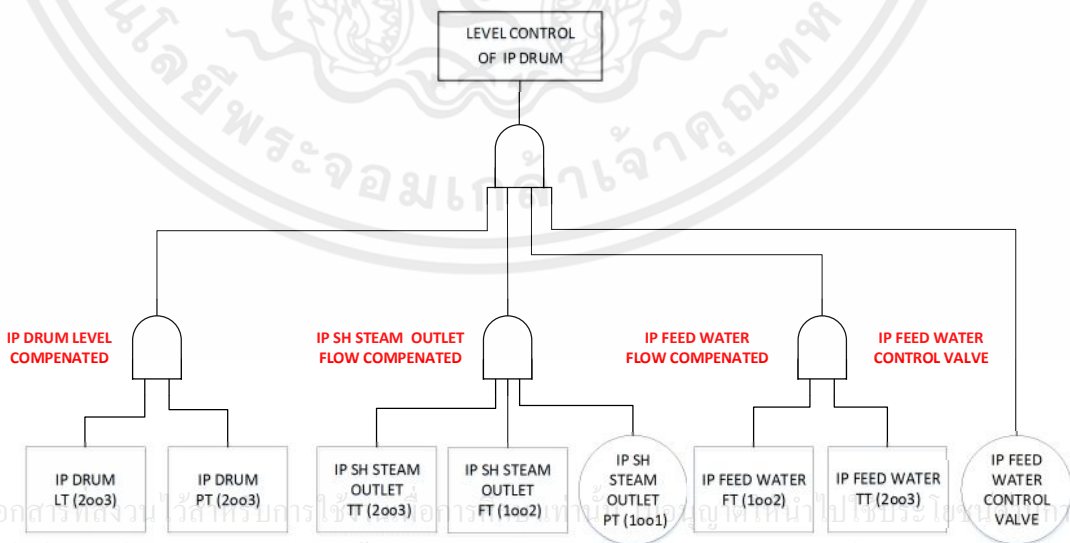
จากการฟังก์ชันการทำงานของระบบควบคุมระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลางข้างต้น สามารถเขียน SAMA ไดอะแกรมได้ดัง รูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 SAMA Diagram ของระบบควบคุมระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง

3.4.3 แผนผังลอจิกไดอะแกรมอย่างง่ายสำหรับระบบควบคุมระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง

เมื่อพิจารณา SAMA Diagram ของระบบควบคุมระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแผนผังลอจิกไดอะแกรมอย่างง่ายสำหรับการทำงานของระบบควบคุมระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง (Simple Logic Diagram) ได้ ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 Simple Logic Diagram ของระบบควบคุมน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง

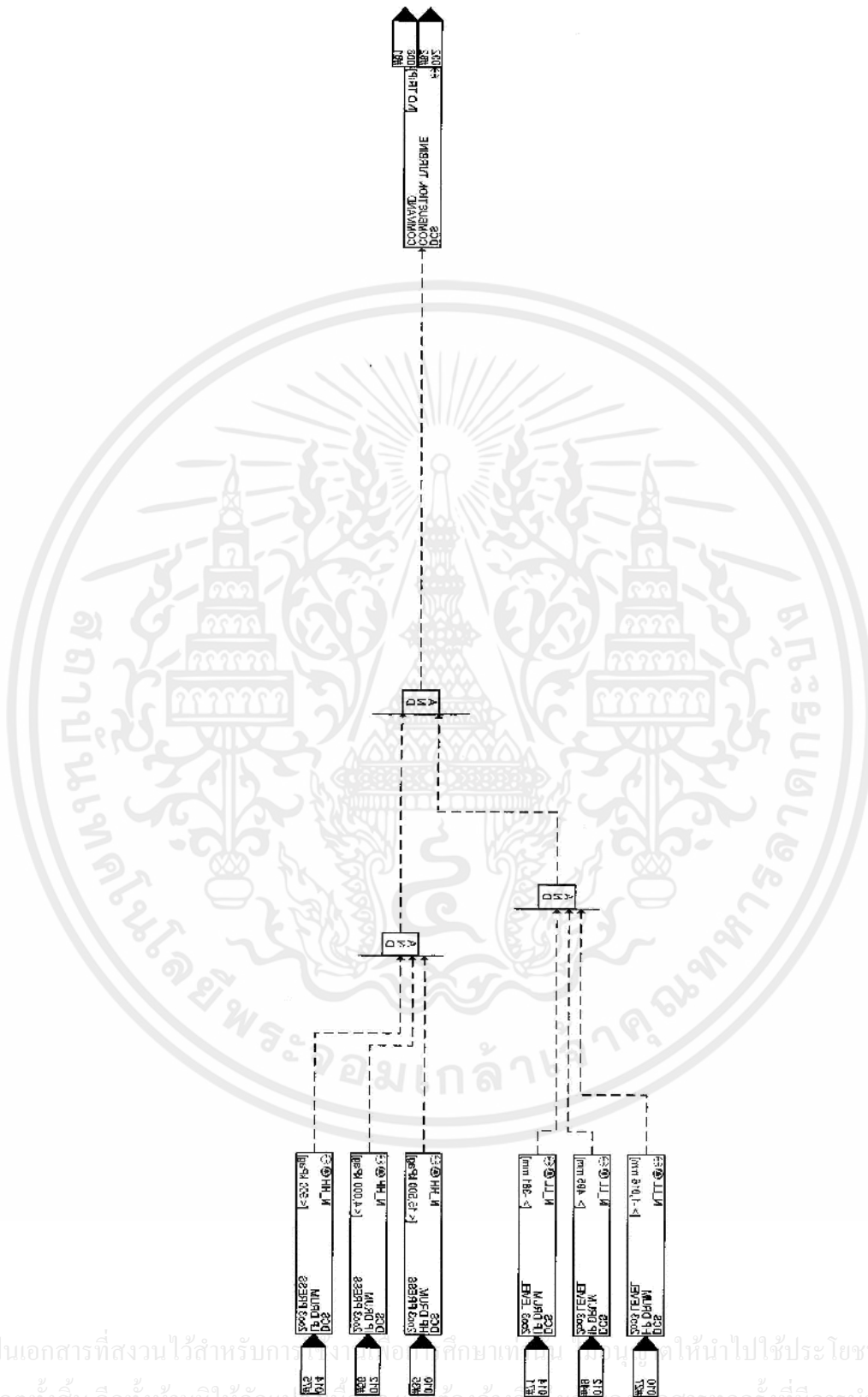
3.5 กรณีศึกษา : ระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

3.5.1 กระบวนการทำงานของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

กระบวนการผลิตไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบ 3 ความดัน สามารถทำได้โดยการนำเอาประโยชน์ของก๊าซร้อนที่ออกจากกังหันก๊าซมาใช้ในการแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ จะเรียกว่า เครื่องกำเนิดไอน้ำพลังงานความร้อนร่วม เมื่อก๊าซร้อนแลกเปลี่ยนความร้อนกับน้ำในเครื่องกำเนิดไอน้ำจะกลายเป็นไอน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิสูง และไอน้ำเหล่านั้นจะถูกนำไปขับกังหันไอน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าต่อไป เครื่องกำเนิดไอน้ำที่กล่าวถึงนี้เป็นแบบ 3 ความดัน ได้แก่ ไอน้ำความดันสูง (High Pressure) ไอน้ำความดันปานกลาง (Intermediate Pressure) และไอน้ำความดันต่ำ (Low Pressure) ระบบการควบคุมของเครื่องกำเนิดไอน้ำมีทั้ง การควบคุมแบบระบบเปิดและระบบปิด ซึ่งจะรักษากระบวนการให้อยู่ในค่าที่กำหนดไว้ ถ้าเครื่องจักรหรือเครื่องควบคุมทำงานผิดปกติอาจทำให้กระบวนการเกินค่าที่กำหนดไว้ ซึ่งอาจจะเป็นเหตุทำให้เกิดความเสียหายได้ ดังนั้น ระบบป้องกันที่แยกเป็นอิสระกับระบบควบคุมกระบวนการจะต้องทำงานเพื่อแจ้งเตือนพนักงานควบคุมเครื่องจักรเมื่อค่าของกระบวนการเกินกว่าค่าปกติ และจะสั่งหยุดเดินเครื่องฉุกเฉินเมื่อค่าของกระบวนการเกินค่าที่กำหนดไว้

โครงสร้างระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ถูกออกแบบมาจากระบบความป้องกันของเครื่องกำเนิดไอน้ำแบบ 3 ความดัน ค่าระดับน้ำและความดันถูกวัดโดยเครื่องวัดระดับน้ำและเครื่องวัดความดัน และนำมาเข้าสู่กระบวนการออกเสียง (Voting Algorithm) บนพื้นฐานหลักการของระบบสำรองแบบ k out of n

3.5.2 ฟังก์ชันการทำงานของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับภายในของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือเท่านั้น ไม่ควรนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อที่ และต้องอ้างอิงถึงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.12 Logic Diagram ของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

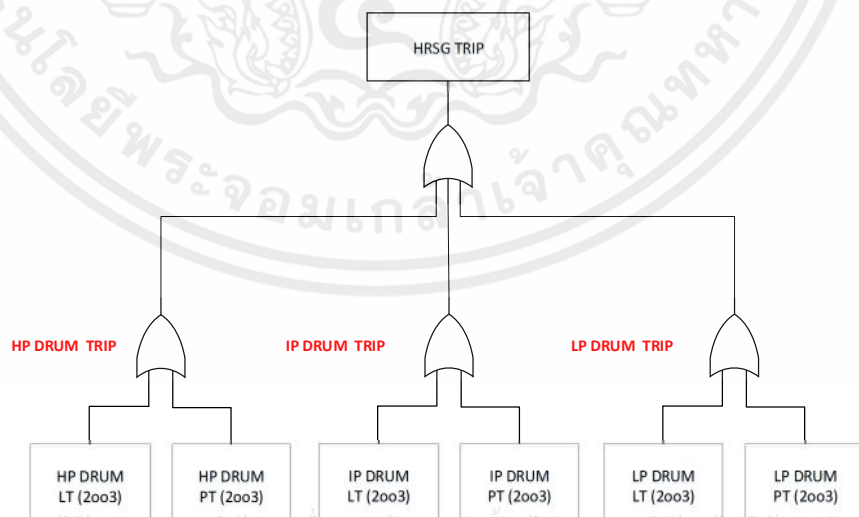
จากรูปที่ 3.12 เป็น Logic Diagram ของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ โดยฟังก์ชันการทำงานของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ระบบตรวจวัดความดันสำหรับหม้อไอน้ำ และ ระบบตรวจวัดระดับน้ำสำหรับหม้อไอน้ำ โดยระบบตรวจวัดค่ากระบวนการจะถูกเลือกค่าก่อนนำไปใช้งานผ่านกระบวนการออกเสียง (Voting Algorithm) บนพื้นฐานหลักการของระบบสำรองแบบ 2 out of 3 สามารถอธิบายได้ดังนี้

ระบบตรวจวัดความดันในแต่ละความดันของหม้อไอน้ำได้แก่ ระบบตรวจวัดความดันของหม้อไอน้ำความดันสูง ระบบตรวจวัดความดันของหม้อไอน้ำความดันปานกลางและระบบตรวจวัดความดันของหม้อไอน้ำความดันต่ำ หากระบบตรวจวัดความดันของแต่ละหม้อไอน้ำตรวจจับได้ว่าค่าความดันของกระบวนการสูงเกินค่าขอบเขตการควบคุม ระบบป้องกันจะสั่งการหยุดการทำงานของกังหันก๊าซเพื่อลดสถานะการเพิ่มความดันในหม้อไอน้ำ

ระบบตรวจวัดระดับน้ำในแต่ละความดันของหม้อไอน้ำได้แก่ ระบบตรวจวัดระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันสูง ระบบตรวจวัดระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลางและระบบตรวจวัดระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันต่ำ หากระบบตรวจวัดความดันของแต่ละหม้อไอน้ำตรวจจับได้ว่าค่าความดันของกระบวนการเกินค่าขอบเขตการควบคุมเช่น หากระดับน้ำในหม้อไอน้ำสูงกว่าช่วงที่ออกแบบไว้ อาจส่งผลให้มีความชื้นปะปนไปกับไอน้ำเข้าสู่กังหันไอน้ำ ซึ่งเป็นสาเหตุทำให้เกิดความเสียหายกับชิ้นส่วนภายในของกังหันไอน้ำได้ และหากระดับน้ำในหม้อไอน้ำต่ำกว่าช่วงที่ถูกลอกแบบไว้ อาจส่งผลกับท่อภายในหม้อไอน้ำเกิดการแตกร้าวจากการที่ได้รับความร้อนมากเกินไป

3.5.3 แผนผังลอคจิกไดอะแกรมอย่างง่ายสำหรับระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

จากการทำงานของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำสามารถนำมาเขียนแผนผังอย่างง่ายสำหรับระบบการทำงานของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Simple Logic Diagram) ได้ ดังรูปที่ 3.13



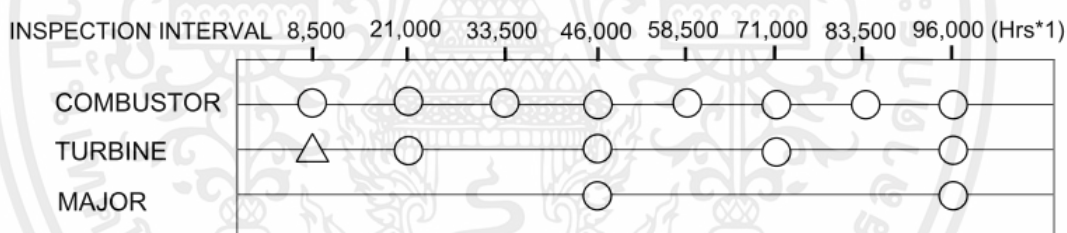
รูปที่ 3.13 Simple Logic Diagram ของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

บทที่ 4

การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้และ การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบ

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จากกล่าวถึงประยุกต์ใช้เทคนิค FTA เพื่อวิเคราะห์ความล้มเหลวและระบุสาเหตุที่ทำให้เกิดความล้มเหลวของแต่ละกรณีศึกษา ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบ FTA เชิงคุณภาพ และ FTA เชิงปริมาณ และวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของกระบวนการทั้ง 4 กรณีศึกษา ซึ่งจะแสดงเป็นกราฟความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของกระบวนการ โดยการนำค่าอัตราความล้มเหลวของอุปกรณ์ที่อยู่ในกระบวนการแทนค่าลงในสมการความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือที่ได้จากการวิเคราะห์ FTA เชิงปริมาณ และจำลองอายุการใช้งานของอุปกรณ์ผ่านโปรแกรม Euler Math Toolbox ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบกราฟความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของกระบวนการ ซึ่งค่าอัตราความล้มเหลวของอุปกรณ์ที่จะถูกใช้งานสำหรับการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของกรณีศึกษาจะอ้างอิงจากหนังสือ Offshore Reliability Data Handbook [13] ซึ่งเป็นหนังสือที่รวบรวมสถิติอัตราความล้มเหลวของอุปกรณ์ต่าง ๆ ไว้ และช่วงเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของกระบวนการจะอ้างอิงจากแผนการซ่อมบำรุงของโรงไฟฟ้าดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนการซ่อมบำรุงของโรงไฟฟ้าที่ศึกษา

จากรูปที่ 4.1 เป็นแผนการหยุดซ่อมบำรุงเครื่องจักรและอุปกรณ์สำหรับโรงไฟฟ้า ซึ่งกำหนดจากชั่วโมงการทำงานจริง (Equivalent Operating Hours) ของกังหันก๊าซ เนื่องจากกังหันก๊าซเป็นเครื่องจักรที่จำเป็นต้องตรวจสอบและติดตามสภาพอุปกรณ์ภายในเครื่องจักรเสมอ ดังนั้นแผนการซ่อมบำรุงของกังหันก๊าซจึงเป็นหลักเกณฑ์สำคัญที่ถูกใช้กำหนดแผนการหยุดซ่อมบำรุงของโรงไฟฟ้า โดยแบ่งประเภทการตรวจสอบและซ่อมบำรุงดังนี้

1. Combustor Inspection สำหรับตรวจสอบและติดตามสภาพภายในห้องเผาไหม้ของกังหันก๊าซ

2. Turbine Inspection สำหรับตรวจสอบและติดตามสภาพของใบพัดของกังหันก๊าซ

3. Major Inspection สำหรับตรวจสอบ ติดตามและเปลี่ยนอุปกรณ์ของกังหันก๊าซ

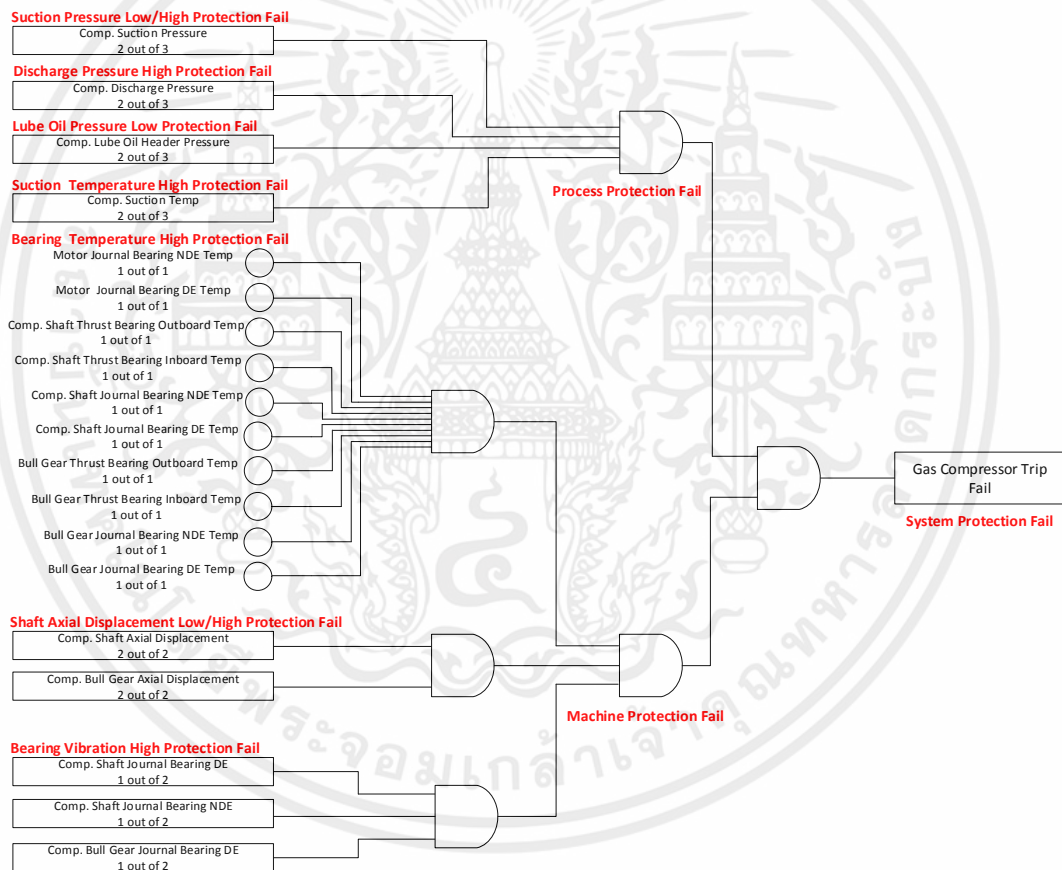
4.2 กรณีศึกษา : ระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ

4.2.1 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้ของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ

FTA สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่จะทำให้ระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซเกิดความล้มเหลวได้ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบ FTA เชิงคุณภาพ (แผนภาพความล้มเหลว) ของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ และ FTA เชิงปริมาณ (สมการความล้มเหลว) ของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ

4.2.1.1 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงคุณภาพของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ

เมื่อพิจารณาแผนผังอย่างง่ายสำหรับระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซสามารถเขียนให้อยู่ใน FTA เชิงคุณภาพหรือแผนภาพความล้มเหลวได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงคุณภาพหรือแผนภาพความล้มเหลวสำหรับระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1.2 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงปริมาณของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ

เมื่อพิจารณา รูปที่ 4.2 แผนภาพความล้มเหลวสำหรับระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ สามารถนำเทคนิค FTA เชิงปริมาณมาวิเคราะห์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่รูปของสมการความล้มเหลวและสมการความน่าเชื่อถือ ดังนี้

$$\begin{aligned} F_{System} &= F_{Process} \cap F_{Machine\ Monitoring} \\ &= F_{Process} \times F_{Machine\ Monitoring} \end{aligned} \quad (4.1)$$

$$\begin{aligned} F_{Process} &= F_{FGsuction, PT,2003} \cap F_{FGdischarge, PT,2003} \cap F_{LO, PT,2003} \cap F_{FGsuction, TT,2003} \\ &= F_{FGsuction, PT,2003} \times F_{FGdischarge, PT,2003} \times F_{LO, PT,2003} \times F_{FGsuction, TT,2003} \end{aligned} \quad (4.2)$$

$$\begin{aligned} F_{Machine\ Monitoring} &= F_{Bearing, TT} \cap F_{Shaft, ZT} \cap F_{Bearing, VE} \\ &= F_{Bearing, TT} \times F_{Shaft, ZT} \times F_{Bearing, VE} \end{aligned} \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} F_{Bearing, TT} &= [F_{Motor.Journal.NDE, TT,1001} \cap F_{Motor.Journal.DE, TT,1001} \cap F_{Shaft.Thrust.outboard, TT,1001} \cap F_{Shaft.Thrust.inboard, TT,1001} \cap F_{Shaft.Journal.NDE, TT,1001} \\ &\cap F_{Shaft.Journal.DE, TT,1001} \cap F_{BullGear.Thrust.outboard, TT,1001} \cap F_{BullGear.Thrust.inboard, TT,1001} \cap F_{BullGear.Journal.NDE, TT,1001} \cap F_{BullGear.Journal.DE, TT,1001}] \\ &= [F_{Motor.Journal.NDE, TT,1001} \times F_{Motor.Journal.DE, TT,1001} \times F_{Shaft.Thrust.outboard, TT,1001} \times F_{Shaft.Thrust.inboard, TT,1001} \times F_{Shaft.Journal.NDE, TT,1001} \\ &\times F_{Shaft.Journal.DE, TT,1001} \times F_{BullGear.Thrust.outboard, TT,1001} \times F_{BullGear.Thrust.inboard, TT,1001} \times F_{BullGear.Journal.NDE, TT,1001} \times F_{BullGear.Journal.DE, TT,1001}] \end{aligned} \quad (4.4)$$

$$\begin{aligned} F_{Shaft, ZT} &= F_{Shaft.Axial, ZT,2002} \cap F_{BullGear.Axial, ZT,2002} \\ &= F_{Shaft.Axial, ZT,2002} \times F_{BullGear.Axial, ZT,2002} \end{aligned} \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} F_{Bearing, VE} &= F_{Shaft.Journal.DE, VE,1002} \cap F_{Shaft.Journal.NDE, VE,1002} \cap F_{BullGear.Journal.DE, VE,1002} \\ &= F_{Shaft.Journal.DE, VE,1002} \times F_{Shaft.Journal.NDE, VE,1002} \times F_{BullGear.Journal.DE, VE,1002} \end{aligned} \quad (4.6)$$

$$F_{System} = 1 - R_{System} \quad (4.7)$$

$$F_{Process} = 1 - R_{Process} \quad (4.8)$$

$$F_{Machine\ Monitoring} = 1 - R_{Machine\ Monitoring} \quad (4.9)$$

$$F_{Bearing, TT} = 1 - R_{Bearing, TT} \quad (4.10)$$

$$F_{Shaft, ZT} = 1 - R_{Shaft, ZT} \quad (4.11)$$

$$F_{Bearing, VE} = 1 - R_{Bearing, VE} \quad (4.12)$$

$$F_{\substack{FGsuction, \\ PT,2003}} = 1 - R_{\substack{FGsuction, \\ PT,2003}} = 1 - 3R_{PT}^2 + 2R_{PT}^3 = 1 - 3e^{-2\lambda_{PT}t} + 2e^{-3\lambda_{PT}t} \quad (2003) \quad (4.13)$$

$$F_{\substack{FGdischarge, \\ PT,2003}} = 1 - R_{\substack{FGdischarge, \\ PT,2003}} = 1 - 3R_{PT}^2 + 2R_{PT}^3 = 1 - 3e^{-2\lambda_{PT}t} + 2e^{-3\lambda_{PT}t} \quad (2003) \quad (4.14)$$

$$F_{\substack{LO, \\ PT,2003}} = 1 - R_{\substack{LO, \\ PT,2003}} = 1 - 3R_{PT}^2 + 2R_{PT}^3 = 1 - 3e^{-2\lambda_{PT}t} + 2e^{-3\lambda_{PT}t} \quad (2003) \quad (4.15)$$

$$F_{\substack{FGsuction, \\ TT,2003}} = 1 - R_{\substack{FGsuction, \\ TT,2003}} = 1 - 3R_{TT}^2 + 2R_{TT}^3 = 1 - 3e^{-2\lambda_{TT}t} + 2e^{-3\lambda_{TT}t} \quad (2003) \quad (4.16)$$

$$F_{\substack{Motor.Journal.NDE, \\ TT,1001}} = 1 - R_{\substack{Motor.Journal.NDE, \\ TT,1001}} = 1 - R_{TT} = 1 - e^{-\lambda_{TT}t} \quad (1001) \quad (4.17)$$

$$F_{\substack{Motor.Journal.DE, \\ TT,1001}} = 1 - R_{\substack{Motor.Journal.DE, \\ TT,1001}} = 1 - R_{TT} = 1 - e^{-\lambda_{TT}t} \quad (1001) \quad (4.18)$$

$$F_{\substack{Shaft.Thrust.outboard, \\ TT,1001}} = 1 - R_{\substack{Shaft.Thrust.outboard, \\ TT,1001}} = 1 - R_{TT} = 1 - e^{-\lambda_{TT}t} \quad (1001) \quad (4.19)$$

$$F_{\substack{Shaft.Thrust.inboard, \\ TT,1001}} = 1 - R_{\substack{Shaft.Thrust.inboard, \\ TT,1001}} = 1 - R_{TT} = 1 - e^{-\lambda_{TT}t} \quad (1001) \quad (4.20)$$

$$F_{\substack{Shaft.Journal.NDE, \\ TT,1001}} = 1 - R_{\substack{Shaft.Journal.NDE, \\ TT,1001}} = 1 - R_{TT} = 1 - e^{-\lambda_{TT}t} \quad (1001) \quad (4.21)$$

$$F_{\substack{Shaft.Journal.DE, \\ TT,1001}} = 1 - R_{\substack{Shaft.Journal.DE, \\ TT,1001}} = 1 - R_{TT} = 1 - e^{-\lambda_{TT}t} \quad (1001) \quad (4.22)$$

$$F_{\substack{BullGear.Thrust.outboard, \\ TT,1001}} = 1 - R_{\substack{BullGear.Thrust.outboard, \\ TT,1001}} = 1 - R_{TT} = 1 - e^{-\lambda_{TT}t} \quad (1001) \quad (4.23)$$

$$F_{\substack{BullGear.Thrust.inboard, \\ TT,1001}} = 1 - R_{\substack{BullGear.Thrust.inboard, \\ TT,1001}} = 1 - R_{TT} = 1 - e^{-\lambda_{TT}t} \quad (1001) \quad (4.24)$$

$$F_{\substack{BullGear.Journal.NDE, \\ TT,1001}} = 1 - R_{\substack{BullGear.Journal.NDE, \\ TT,1001}} = 1 - R_{TT} = 1 - e^{-\lambda_{TT}t} \quad (1001) \quad (4.25)$$

$$F_{\substack{BullGear.Journal.DE, \\ TT,1001}} = 1 - R_{\substack{BullGear.Journal.DE, \\ TT,1001}} = 1 - R_{TT} = 1 - e^{-\lambda_{TT}t} \quad (1001) \quad (4.26)$$

$$F_{\substack{Shaft.Axial, \\ ZT,2002}} = 1 - R_{\substack{Shaft.Axial, \\ ZT,2002}} = 1 - R_{ZT}^2 = 1 - e^{-2\lambda_{ZT}t} \quad (2002) \quad (4.27)$$

$$F_{\substack{BullGear.Axial, \\ ZT,2002}} = 1 - R_{\substack{BullGear.Axial, \\ ZT,2002}} = 1 - R_{ZT}^2 = 1 - e^{-2\lambda_{ZT}t} \quad (2002) \quad (4.28)$$

$$F_{\substack{Shaft.Journal.DE, \\ VE,1002}} = 1 - R_{\substack{Shaft.Journal.DE, \\ VE,1002}} = 1 - 2R_{VE} + R_{VE}^2 = 1 - 2e^{-\lambda_{VE}t} + e^{-2\lambda_{VE}t} \quad (1002) \quad (4.29)$$

$$F_{\substack{Shaft.Journal.NDE, \\ VE,1002}} = 1 - R_{\substack{Shaft.Journal.NDE, \\ VE,1002}} = 1 - 2R_{VE} + R_{VE}^2 = 1 - 2e^{-\lambda_{VE}t} + e^{-2\lambda_{VE}t} \quad (1002) \quad (4.30)$$

$$F_{\substack{BullGear.Journal.DE, \\ VE,1002}} = 1 - R_{\substack{BullGear.Journal.DE, \\ VE,1002}} = 1 - 2R_{VE} + R_{VE}^2 = 1 - 2e^{-\lambda_{VE}t} + e^{-2\lambda_{VE}t} \quad (1002) \quad (4.31)$$

เมื่อ F_{System} , R_{System} คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ

ตามลำดับ

$F_{Process}$, $R_{Process}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับระบบตรวจวัดกระบวนการ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ตามลำดับ
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$F_{Machine\ Monitoring}$, $R_{Machine\ Monitoring}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับระบบตรวจวัดและเฝ้าดู

การทำงานของเครื่องอัดก๊าซตามลำดับ

$F_{Bearing, TT}$, $R_{Bearing, TT}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับระบบตรวจวัดอุณหภูมิของ

แบริ่งตามลำดับ

$F_{Shaft, ZT}$, $R_{Shaft, ZT}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับระบบตรวจวัดตำแหน่งของเพลลา

ตามลำดับ

$F_{Bearing, VE}$, $R_{Bearing, VE}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับระบบตรวจวัดค่าความ

สั่นสะเทือนของแบริ่งตามลำดับ

$F_{FGsuction, PT, 2003}$, $R_{FGsuction, PT, 2003}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัดความ

ดันตรวจวัดก๊าซขาเข้าแบบ 2003 ตามลำดับ

$F_{FGdischarge, PT, 2003}$, $R_{FGdischarge, PT, 2003}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัดความ

ดันตรวจวัดก๊าซออกขาเข้าแบบ 2003 ตามลำดับ

$F_{LO, PT, 2003}$, $R_{LO, PT, 2003}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัดความดัน

ตรวจวัดน้ำมันหล่อลื่นแบบ 2003 ตามลำดับ

$F_{FGsuction, TT, 2003}$, $R_{FGsuction, TT, 2003}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ

ตรวจวัดก๊าซขาเข้าแบบ 2003 ตามลำดับ

$F_{Motor.Journal.NDE, TT, 1001}$, $R_{Motor.Journal.NDE, TT, 1001}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์

วัดอุณหภูมิตรวจวัดอุณหภูมิแบริ่งแนวรัศมีของเพลลามอเตอร์ด้านที่ไม่ติดกับอุปกรณ์ขับเคลื่อนแบบ 1001 ตามลำดับ

$F_{Motor.Journal.DE, TT, 1001}$, $R_{Motor.Journal.DE, TT, 1001}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัด

อุณหภูมิตรวจวัดอุณหภูมิแบริ่งแนวรัศมีของเพลลามอเตอร์ด้านที่ติดกับอุปกรณ์ขับเคลื่อนแบบ 1001 ตามลำดับ

$F_{Shaft.Thrust.outboard, TT, 1001}$, $R_{Shaft.Thrust.outboard, TT, 1001}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิต

เตอร์วัดอุณหภูมิตรวจวัดอุณหภูมิแบริ่งแนวแกนของเพลลาเครื่องอัดก๊าซด้านนอกแบบ 1001 ตามลำดับ

$F_{Shaft.Thrust.inboard, TT, 1001}$, $R_{Shaft.Thrust.inboard, TT, 1001}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิต

เตอร์วัดอุณหภูมิตรวจวัดอุณหภูมิแบริ่งแนวแกนของเพลลาเครื่องอัดก๊าซด้านในแบบ 1001 ตามลำดับ

$F_{Shaft.Journal.NDE, TT, 1001}$, $R_{Shaft.Journal.NDE, TT, 1001}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัด

อุณหภูมิตรวจวัดอุณหภูมิแบริ่งแนวแกนของเพลลาเครื่องอัดก๊าซด้านที่ไม่ติดกับอุปกรณ์ขับเคลื่อนแบบ 1001 ตามลำดับ

$F_{\text{Shaft.Journal.DE, TT,1001}}$, $R_{\text{Shaft.Journal.DE, TT,1001}}$ คือ ความลื่นไหลและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัด

อุณหภูมิตรวจวัดอุณหภูมิแปริ่งแนวแกนของเพลลาเครื่องอัดก๊าซด้านที่ติดกับอุปกรณ์ขับเคลื่อนแบบ 1001 ตามลำดับ

$F_{\text{BullGear.Thrust.outboard, TT,1001}}$, $R_{\text{BullGear.Thrust.outboard, TT,1001}}$ คือ ความลื่นไหลและความน่าเชื่อถือสำหรับทราน

สมิตเตอร์วัดอุณหภูมิตรวจวัดอุณหภูมิแปริ่งแนวแกนของเพลลาชุดเฟืองส่งกำลังด้านนอกแบบ 1001 ตามลำดับ

$F_{\text{BullGear.Thrust.inboard, TT,1001}}$, $R_{\text{BullGear.Thrust.inboard, TT,1001}}$ คือ ความลื่นไหลและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิต

เตอร์วัดอุณหภูมิตรวจวัดอุณหภูมิแปริ่งแนวแกนของเพลลาชุดเฟืองส่งกำลังด้านในแบบ 1001 ตามลำดับ

$F_{\text{BullGear.Journal.NDE, TT,1001}}$, $R_{\text{BullGear.Journal.NDE, TT,1001}}$ คือ ความลื่นไหลและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิต

เตอร์วัดอุณหภูมิตรวจวัดอุณหภูมิแปริ่งแนวแกนของเพลลาชุดเฟืองส่งกำลังด้านที่ไม่ติดกับอุปกรณ์ขับเคลื่อนแบบ 1001 ตามลำดับ

$F_{\text{BullGear.Journal.DE, TT,1001}}$, $R_{\text{BullGear.Journal.DE, TT,1001}}$ คือ ความลื่นไหลและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิต

เตอร์วัดอุณหภูมิตรวจวัดอุณหภูมิแปริ่งแนวแกนของเพลลาชุดเฟืองส่งกำลังด้านที่ติดกับอุปกรณ์ขับเคลื่อนแบบ 1001 ตามลำดับ

$F_{\text{Shaft.Axial, ZT,2002}}$, $R_{\text{Shaft.Axial, ZT,2002}}$ คือ ความลื่นไหลและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัดตำแหน่ง

เพลลาของเครื่องอัดก๊าซตามแนวแกนแบบ 2002 ตามลำดับ

$F_{\text{BullGear.Axial, ZT,2002}}$, $R_{\text{BullGear.Axial, ZT,2002}}$ คือ ความลื่นไหลและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัด

ตำแหน่งเพลลาของชุดเฟืองส่งกำลังตามแนวแกนแบบ 2002 ตามลำดับ

$F_{\text{Shaft.Journal.DE, VE,1002}}$, $R_{\text{Shaft.Journal.DE, VE,1002}}$ คือ ความลื่นไหลและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัด

ค่าความสั่นสะเทือนแปริ่งแนวรัศมีของเพลลาเครื่องอัดก๊าซด้านที่ติดกับอุปกรณ์ขับเคลื่อนแบบ 1002 ตามลำดับ

$F_{\text{Shaft.Journal.NDE, VE,1002}}$, $R_{\text{Shaft.Journal.NDE, VE,1002}}$ คือ ความลื่นไหลและความน่าเชื่อถือสำหรับอุปกรณ์วัดค่า

ความสั่นสะเทือนแปริ่งแนวรัศมีของเพลลาเครื่องอัดก๊าซด้านที่ไม่ติดกับอุปกรณ์ขับเคลื่อนแบบ 1002 ตามลำดับ

$F_{\text{BullGear.Journal.DE, VE,1002}}$, $R_{\text{BullGear.Journal.DE, VE,1002}}$ คือ ความลื่นไหลและความน่าเชื่อถือสำหรับอุปกรณ์วัดค่า

ความสั่นสะเทือนแปริ่งแนวรัศมีของเพลลาชุดเฟืองส่งกำลังด้านที่ติดกับอุปกรณ์ขับเคลื่อนแบบ 1001 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

λ_{TT} คือ อัตราความลื่นไหลของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ทุกที่ที่มีให้คัดลอกส่งมอบ และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

λ_{TT} คือ อัตราความลื่นไหลของทรานสมิตเตอร์วัดความดัน

λ_{TT} คือ อัตราความลื่นไหลของทรานสมิตเตอร์วัดระยะห่าง

λ_{VE} คือ อัตราความล้มเหลวของอุปกรณ์วัดค่าความสั่นสะเทือน

4.2.2 การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ

ค่าอัตราความล้มเหลวของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซอ้างอิงจาก OREDA มีดังนี้

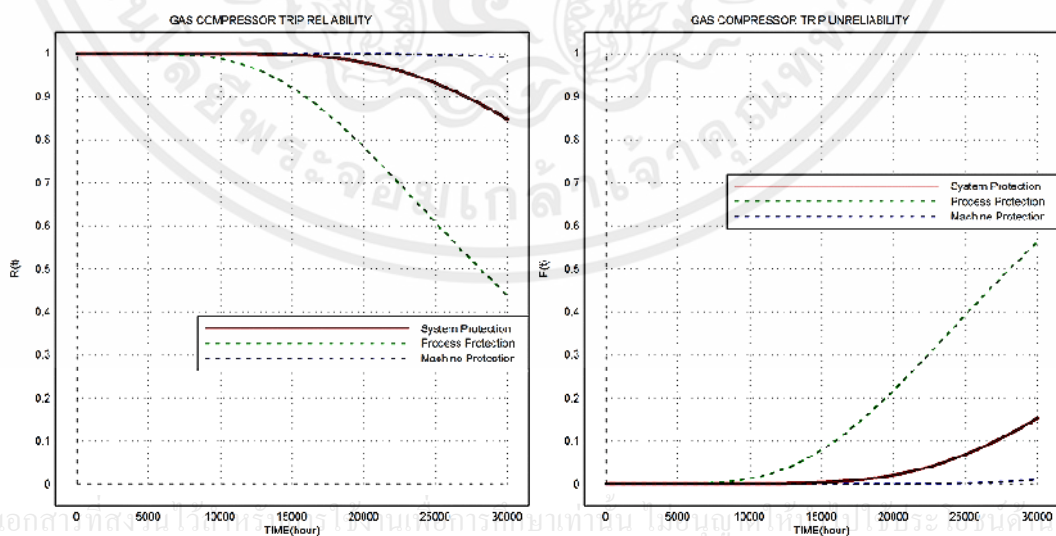
$\lambda_{TT} = \frac{1}{MTTF_{TT}}$; อัตราความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ เท่ากับ 6.39 ต่อ 10^6 ชั่วโมงและค่าเฉลี่ยความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ เท่ากับ 15,649 ชั่วโมง

$\lambda_{PT} = \frac{1}{MTTF_{PT}}$; อัตราความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดความดัน เท่ากับ 4.88 ต่อ 10^6 ชั่วโมงและค่าเฉลี่ยความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดระยะห่าง เท่ากับ 20,491 ชั่วโมง

$\lambda_{ZI} = \frac{1}{MTTF_{ZI}}$; อัตราความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดระยะห่าง เท่ากับ 3.34 ต่อ 10^6 ชั่วโมงและค่าเฉลี่ยความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดระยะห่าง เท่ากับ 29,940 ชั่วโมง

$\lambda_{VE} = \frac{1}{MTTF_{VE}}$; อัตราความล้มเหลวของอุปกรณ์วัดค่าความสั่นสะเทือน เท่ากับ 3.34 ต่อ 10^6 ชั่วโมงและค่าเฉลี่ยความล้มเหลวของอุปกรณ์วัดค่าความสั่นสะเทือน เท่ากับ 29,940 ชั่วโมง

นำค่าอัตราความล้มเหลวของอุปกรณ์ต่าง ๆ แทนค่าลงในสมการความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ จะสามารถจำลองกราฟความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบได้ดังนี้



รูปที่ 4.3 กราฟความน่าเชื่อถือ (ก) และความไม่น่าเชื่อถือ (ข) ของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ

จากรูปที่ 4.3 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซเมื่อเวลาผ่านไป ณ ชั่วโมงหนึ่ง โดยกำหนดตัวแปรดังนี้

- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบหรืออุปกรณ์ แทนด้วย “R(t)”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบหรืออุปกรณ์ แทนด้วย “F(t)”
- ระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ แทนด้วย “System Protection”
- ระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าการทำงานของเครื่องจักร แทนด้วย “Machine Protection”
- ระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าของกระบวนการ แทนด้วย “Process Protection”

จากการวิเคราะห์กราฟความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซสามารถสรุปผลได้ดังนี้

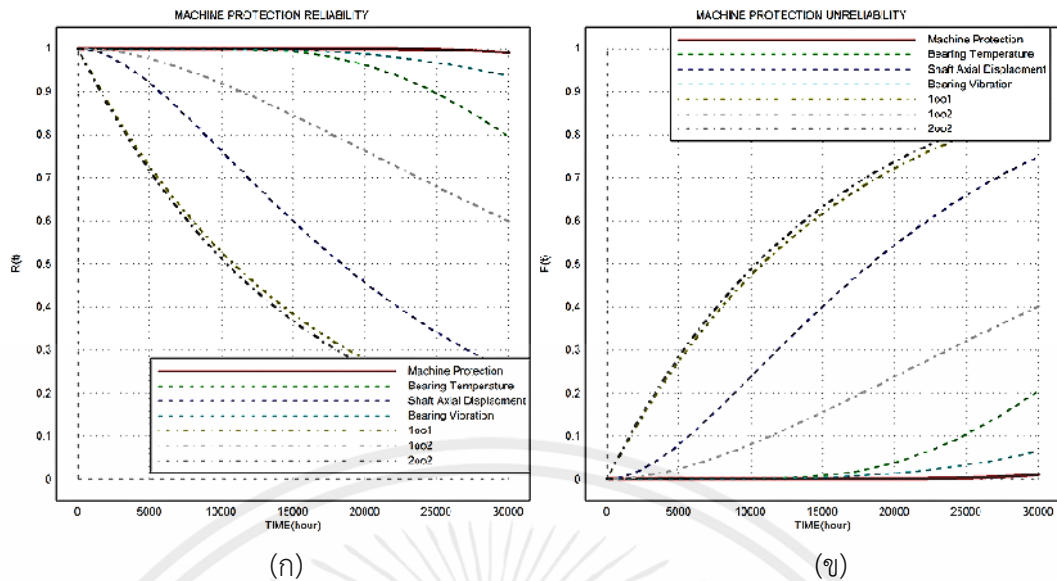
เมื่อเวลาผ่านไป 8,500 ชั่วโมง

- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซเท่ากับ “1”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าการทำงานของเครื่องจักรเท่ากับ “1”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าของกระบวนการเท่ากับ “0.99”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซเท่ากับ “0.97”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าการทำงานของเครื่องจักรเท่ากับ “0”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าของกระบวนการเท่ากับ “0.01”

เมื่อเวลาผ่านไป 21,000 ชั่วโมง

- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซเท่ากับ “0.97”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าการทำงานของเครื่องจักรเท่ากับ “1”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าของกระบวนการเท่ากับ “0.75”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซเท่ากับ “0.03”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าการทำงานของเครื่องจักรเท่ากับ “0”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าของกระบวนการเท่ากับ “0.25”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 กราฟความน่าเชื่อถือ (ก) และความไม่น่าเชื่อถือ (ข) ของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าการทำงานของเครื่องจักร

จากรูปที่ 4.4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าการทำงานของเครื่องจักรเมื่อเวลาผ่านไป ณ ชั่วโมงหนึ่ง โดยกำหนดตัวแปรดังนี้

- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบหรืออุปกรณ์ แทนด้วย “R(t)”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบหรืออุปกรณ์ แทนด้วย “F(t)”
- ระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าการทำงานของเครื่องจักร แทนด้วย “Machine Protection”
- ระบบตรวจวัดอุณหภูมิแบร์ริง แทนด้วย “Bearing Temperature”
- ระบบตรวจวัดระยะห่างของตำแหน่งเพลลา แทนด้วย “Shaft Axial Displacement”
- ระบบตรวจวัดการสั่นสะเทือนของแบร์ริง แทนด้วย “Bearing Vibration”
- ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิสำหรับแบร์ริง แบบ 1001 แทนด้วย “1001”
- อุปกรณ์วัดค่าความสั่นสะเทือนแบร์ริง แบบ 1002 แทนด้วย “1002”
- ทรานสมิตเตอร์วัดตำแหน่งเพลลาของเครื่องอัดก๊าซตามแนวแกนแบบ 2002 แทนด้วย “2002”

เมื่อเวลาผ่านไป 8,500 ชั่วโมง

- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าการทำงานของเครื่องจักร เท่ากับ “1”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบตรวจวัดอุณหภูมิแบร์ริง เท่ากับ “1”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบตรวจวัดระยะห่างของตำแหน่งเพลลา เท่ากับ “0.81”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบตรวจวัดการสั่นสะเทือนของแบร์ริง เท่ากับ “1”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิสำหรับแบร์ริง แบบ 1001 เท่ากับ “0.58”

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

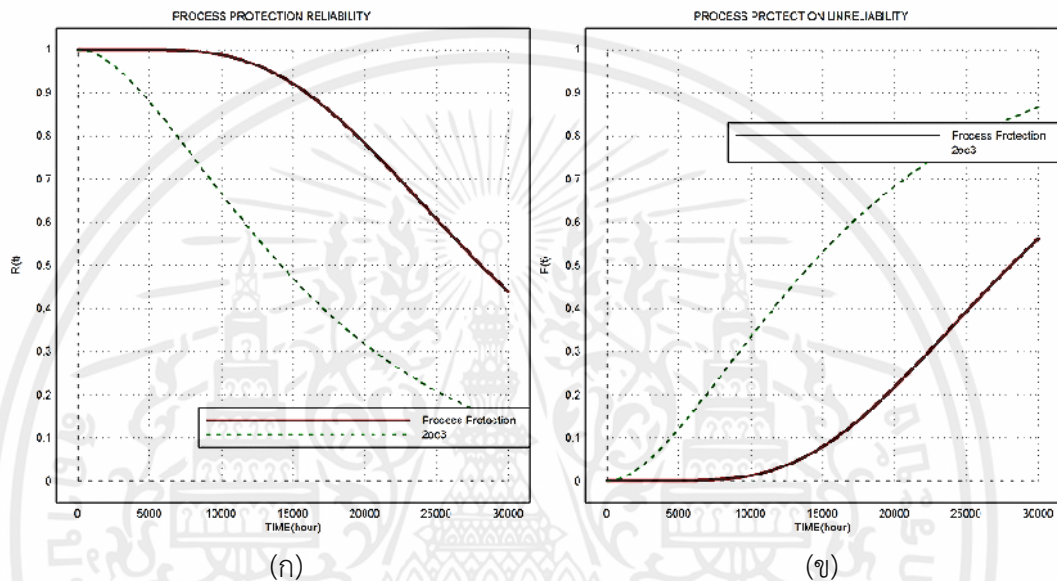
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์วัดค่าความสั่นสะเทือนแบบรีจิง แบบ 1๐๐2 เท่ากับ “0.94”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดตำแหน่งเพลลาของเครื่องอัดก๊าซ ตามแนวแกนแบบ 2๐๐2 เท่ากับ “0.57”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าการทำงานของเครื่องจักร เท่ากับ “0”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบตรวจวัดอุณหภูมิแบบรีจิง เท่ากับ “0”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบตรวจวัดระยะห่างของตำแหน่งเพลลา เท่ากับ “0.19”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบตรวจวัดการสั่นสะเทือนของแบบรีจิง เท่ากับ “0”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิสำหรับแบบรีจิง แบบ 1๐๐1 เท่ากับ “0.48”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดค่าความสั่นสะเทือนแบบรีจิง แบบ 1๐๐2 เท่ากับ “0.06”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดตำแหน่งเพลลาของเครื่องอัดก๊าซ ตามแนวแกนแบบ 2๐๐2 เท่ากับ “0.43”

เมื่อเวลาผ่านไป 21,000 ชั่วโมง

- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าการทำงาน ของเครื่องจักร เท่ากับ “0.95”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบตรวจวัดอุณหภูมิแบบรีจิง เท่ากับ “0.43”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบตรวจวัดระยะห่างของตำแหน่งเพลลา เท่ากับ “0.98”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบตรวจวัดการสั่นสะเทือนของแบบรีจิง เท่ากับ “0.97”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิสำหรับแบบรีจิง แบบ 1๐๐1 เท่ากับ “0.26”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์วัดค่าความสั่นสะเทือนแบบรีจิง แบบ 1๐๐2 เท่ากับ “0.75”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดตำแหน่งเพลลาของเครื่องอัดก๊าซ ตามแนวแกนแบบ 2๐๐2 เท่ากับ “0.25”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าการทำงาน ของเครื่องจักร เท่ากับ “0.05”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบตรวจวัดอุณหภูมิแบบรีจิง เท่ากับ “0.57”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบตรวจวัดระยะห่างของตำแหน่งเพลลา เท่ากับ “0.02”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบตรวจวัดการสั่นสะเทือนของแบบรีจิง เท่ากับ “0.03”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เป็นทรัพย์สินของกรมโยธาธิการและผังเมือง กรุงเทพมหานคร ไม่สามารถนำ ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น

- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิสำหรับแบร์ริง แบบ 1001 เท่ากับ “0.74”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของอุปกรณ์วัดค่าความสั่นสะเทือนแบร์ริง แบบ 1002 เท่ากับ “0.25”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดตำแหน่งเพลลาของเครื่องอัดก๊าซ ตามแนวแกนแบบ 2002 เท่ากับ “0.75”



รูปที่ 4.5 กราฟความน่าเชื่อถือ (ก) และความไม่น่าเชื่อถือ (ข) ของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าของกระบวนการ

จากรูปที่ 4.5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าของกระบวนการเมื่อเวลาผ่านไป ณ ชั่วโมงหนึ่ง โดยกำหนดตัวแปรดังนี้

- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบหรืออุปกรณ์ แทนด้วย “ $R(t)$ ”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบหรืออุปกรณ์ แทนด้วย “ $F(t)$ ”
- ระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าของกระบวนการ แทนด้วย “Process Protection”
- อุปกรณ์วัดอุณหภูมิและความดัน แบบ 2003 แทนด้วย “2003”

เมื่อเวลาผ่านไป 8,500 ชั่วโมง

- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าของกระบวนการ เท่ากับ “0.99”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิและความดัน แบบ 2003 เท่ากับ “0.73”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้คิดเป็นสิ่งที่ผิดและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของลิขสิทธิ์ทุกครั้งที่มีการนำใบใช้

- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าของกระบวนการ เท่ากับ “0.01”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิและความดัน แบบ 2003 เท่ากับ “0.27”

เมื่อเวลาผ่านไป 21,000 ชั่วโมง

- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าของกระบวนการ เท่ากับ “0.75”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิและความดัน แบบ 2003 เท่ากับ “0.29”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับตรวจจับและเฝ้าดูค่าของกระบวนการ เท่ากับ “0.25”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิและความดัน แบบ 2003 เท่ากับ “0.71”

จากรูปที่ 4.3 4.4 และ 4.5 สามารถวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของการฟังก์ชันทำงานสำหรับระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ จึงสรุปได้ว่า โอกาสของความน่าจะเป็นที่ระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซจะทำงานล้มเหลว เป็น “0” หรือ ระบบป้องกันไม่มีโอกาสที่จะทำงานล้มเหลวเลย เมื่อเวลาผ่านไป 8,500 ชั่วโมง และ เมื่อเวลาผ่านไป 21,000 ชั่วโมง ความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ที่ถูกใช้ภายในระบบป้องกันหลาย ๆ ตัว มีความน่าเชื่อถือต่ำมาก เช่น ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิสำหรับเบร็ง แบบ 1001 มีค่าความน่าเชื่อถือต่ำสุด เท่ากับ “0.26” จึงทำให้ความน่าเชื่อถือของระบบป้องกันมีค่าความน่าเชื่อถือลดลง เท่ากับ “0.97” โดยสาเหตุที่ทำให้ระบบป้องกันมีความน่าเชื่อถือลดลง เนื่องจากอายุการใช้งานของอุปกรณ์มีค่าเฉลี่ยอุปกรณ์ (MTTF) อยู่ที่ประมาณ 15,000 - 30,000 ชั่วโมง ซึ่งค่าความไม่น่าเชื่อถือของอุปกรณ์จะแปรผันตรงกับอายุการใช้งานของอุปกรณ์ กล่าวคือ เมื่ออุปกรณ์ถูกใช้งานเป็นระยะเวลาาน ค่าความไม่น่าเชื่อถือของอุปกรณ์จะสูงขึ้น ดังนั้นข้อเสนอแนะสำหรับกรณีศึกษานี้คือ ควรวางแผนเปลี่ยนอุปกรณ์ในช่วงแผนหยุดซ่อมบำรุงกังหันก๊าซ ที่ 21,000 ชั่วโมง เพื่อคืนค่าความน่าเชื่อถือของระบบป้องกันให้กลับสู่สภาพเดิม

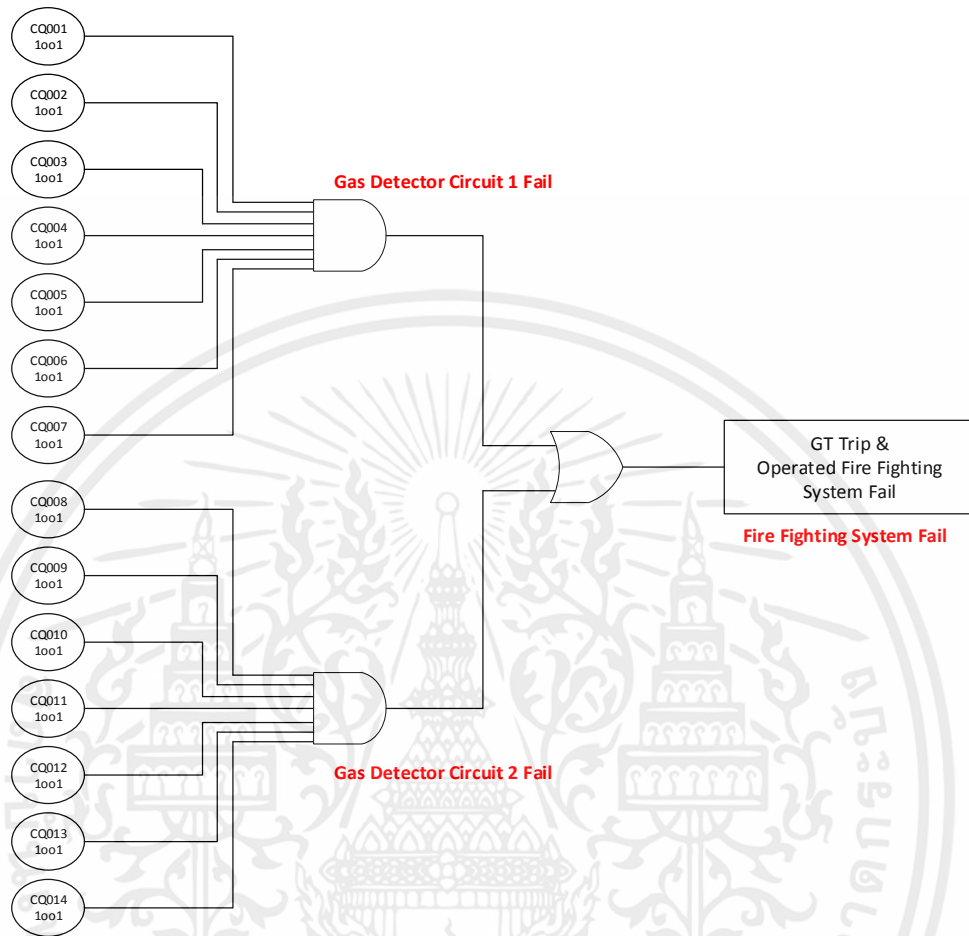
4.3 กรณีศึกษา : ระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ

4.3.1 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้ของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ

FTA สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่จะทำให้ระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซเกิดความล้มเหลวได้ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบ FTA เชิงคุณภาพ (แผนภาพความล้มเหลว) ของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ และ FTA เชิงปริมาณ (สมการความล้มเหลว) ของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ

4.3.1.1 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงคุณภาพของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ

เมื่อพิจารณาแผนผังอย่างง่ายสำหรับระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซสามารถเขียนให้อยู่ใน FTA เชิงคุณภาพหรือแผนภาพความล้มเหลวได้ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้คุณภาพสำหรับระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ

4.3.1.2 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงปริมาณของระบบป้องกันเพลิงไหม้กังหันก๊าซ

เมื่อพิจารณา รูปที่ 4.6 แผนภาพความล้มเหลวสำหรับระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซสามารถนำเทคนิค FTA เชิงปริมาณมาวิเคราะห์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่รูปของสมการความล้มเหลวและสมการความน่าเชื่อถือ ดังนี้

$$\begin{aligned}
 F_{FF.System} &= F_{Gas.detector\ Circuit1} \cup F_{Gas.detector\ Circuit2} \\
 &= F_{Gas.detector\ Circuit1} + F_{Gas.detector\ Circuit2} - (F_{Gas.detector\ Circuit1} \times F_{Gas.detector\ Circuit2}) \quad (4.32) \\
 F_{Gas.detector\ Circuit1} &= F_{CQ001} \cup F_{CQ002} \cup F_{CQ003} \cup F_{CQ004} \cup F_{CQ005} \cup F_{CQ006} \cup F_{CQ007}
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ซึ่งจะไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในทางอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาต

$$= F_{Gas.detector}^{CQ001} \times F_{Gas.detector}^{CQ002} \times F_{Gas.detector}^{CQ003} \times F_{Gas.detector}^{CQ004} \times F_{Gas.detector}^{CQ005} \times F_{Gas.detector}^{CQ006} \times F_{Gas.detector}^{CQ007} \quad (4.33)$$

$$\begin{aligned} F_{Gas.detector}^{Circuit2} &= F_{Gas.detector}^{CQ008} \cap F_{Gas.detector}^{CQ009} \cap F_{Gas.detector}^{CQ010} \cap F_{Gas.detector}^{CQ011} \cap F_{Gas.detector}^{CQ012} \cap F_{Gas.detector}^{CQ013} \cap F_{Gas.detector}^{CQ014} \\ &= F_{Gas.detector}^{CQ008} \times F_{Gas.detector}^{CQ009} \times F_{Gas.detector}^{CQ010} \times F_{Gas.detector}^{CQ011} \times F_{Gas.detector}^{CQ012} \times F_{Gas.detector}^{CQ013} \times F_{Gas.detector}^{CQ014} \end{aligned} \quad (4.34)$$

$$F_{FF.System} = 1 - R_{FF.System} \quad (4.35)$$

$$F_{Gas.detector}^{Circuit1} = 1 - R_{Gas.detector}^{Circuit1} \quad (4.36)$$

$$F_{Gas.detector}^{Circuit2} = 1 - R_{Gas.detector}^{Circuit2} \quad (4.37)$$

$$F_{Gas.detector}^{CQ001} = 1 - R_{Gas.detector}^{CQ001} = 1 - R_{CQ} = 1 - e^{-\lambda_{CQ}t} (1001) \quad (4.38)$$

$$F_{Gas.detector}^{CQ002} = 1 - R_{Gas.detector}^{CQ002} = 1 - R_{CQ} = 1 - e^{-\lambda_{CQ}t} (1001) \quad (4.39)$$

$$F_{Gas.detector}^{CQ003} = 1 - R_{Gas.detector}^{CQ003} = 1 - R_{CQ} = 1 - e^{-\lambda_{CQ}t} (1001) \quad (4.40)$$

$$F_{Gas.detector}^{CQ004} = 1 - R_{Gas.detector}^{CQ004} = 1 - R_{CQ} = 1 - e^{-\lambda_{CQ}t} (1001) \quad (4.41)$$

$$F_{Gas.detector}^{CQ005} = 1 - R_{Gas.detector}^{CQ005} = 1 - R_{CQ} = 1 - e^{-\lambda_{CQ}t} (1001) \quad (4.42)$$

$$F_{Gas.detector}^{CQ006} = 1 - R_{Gas.detector}^{CQ006} = 1 - R_{CQ} = 1 - e^{-\lambda_{CQ}t} (1001) \quad (4.43)$$

$$F_{Gas.detector}^{CQ007} = 1 - R_{Gas.detector}^{CQ007} = 1 - R_{CQ} = 1 - e^{-\lambda_{CQ}t} (1001) \quad (4.44)$$

$$F_{Gas.detector}^{CQ008} = 1 - R_{Gas.detector}^{CQ008} = 1 - R_{CQ} = 1 - e^{-\lambda_{CQ}t} (1001) \quad (4.45)$$

$$F_{Gas.detector}^{CQ009} = 1 - R_{Gas.detector}^{CQ009} = 1 - R_{CQ} = 1 - e^{-\lambda_{CQ}t} (1001) \quad (4.46)$$

$$F_{Gas.detector}^{CQ010} = 1 - R_{Gas.detector}^{CQ010} = 1 - R_{CQ} = 1 - e^{-\lambda_{CQ}t} (1001) \quad (4.47)$$

$$F_{Gas.detector}^{CQ011} = 1 - R_{Gas.detector}^{CQ011} = 1 - R_{CQ} = 1 - e^{-\lambda_{CQ}t} (1001) \quad (4.48)$$

$$F_{Gas.detector}^{CQ012} = 1 - R_{Gas.detector}^{CQ012} = 1 - R_{CQ} = 1 - e^{-\lambda_{CQ}t} (1001) \quad (4.49)$$

$$F_{Gas.detector}^{CQ013} = 1 - R_{Gas.detector}^{CQ013} = 1 - R_{CQ} = 1 - e^{-\lambda_{CQ}t} (1001) \quad (4.50)$$

$$F_{Gas.detector}^{CQ014} = 1 - R_{Gas.detector}^{CQ014} = 1 - R_{CQ} = 1 - e^{-\lambda_{CQ}t} (1001) \quad (4.51)$$

เมื่อ $F_{FF.System}$, $R_{FF.System}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับระบบป้องกันเพลิงไหม้

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น $F_{Gas.detector}^{Circuit1}$, $R_{Gas.detector}^{Circuit1}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับระบบตรวจจับความร้อน

วงจรที่ 1 ตามลำดับ

$F_{Gas.detector\ Circuit\ 2}$, $R_{Gas.detector\ Circuit\ 2}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับระบบตรวจจับความร้อน
วงจรที่ 2 ตามลำดับ

$F_{Gas.detector\ CQ001}$, $R_{Gas.detector\ CQ001}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์ตรวจจับ
ความร้อนของ CQ001 ตามลำดับ

$F_{Gas.detector\ CQ002}$, $R_{Gas.detector\ CQ002}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์ตรวจจับ
ความร้อนของ CQ002 ตามลำดับ

$F_{Gas.detector\ CQ003}$, $R_{Gas.detector\ CQ003}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์ตรวจจับ
ความร้อนของ CQ003 ตามลำดับ

$F_{Gas.detector\ CQ004}$, $R_{Gas.detector\ CQ004}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์ตรวจจับ
ความร้อนของ CQ004 ตามลำดับ

$F_{Gas.detector\ CQ005}$, $R_{Gas.detector\ CQ005}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์ตรวจจับ
ความร้อนของ CQ005 ตามลำดับ

$F_{Gas.detector\ CQ006}$, $R_{Gas.detector\ CQ006}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์ตรวจจับ
ความร้อนของ CQ006 ตามลำดับ

$F_{Gas.detector\ CQ007}$, $R_{Gas.detector\ CQ007}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์ตรวจจับ
ความร้อนของ CQ007 ตามลำดับ

$F_{Gas.detector\ CQ008}$, $R_{Gas.detector\ CQ008}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์ตรวจจับ
ความร้อนของ CQ008 ตามลำดับ

$F_{Gas.detector\ CQ009}$, $R_{Gas.detector\ CQ009}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์ตรวจจับ
ความร้อนของ CQ009 ตามลำดับ

$F_{Gas.detector\ CQ010}$, $R_{Gas.detector\ CQ010}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์ตรวจจับ
ความร้อนของ CQ010 ตามลำดับ

$F_{Gas.detector\ CQ011}$, $R_{Gas.detector\ CQ011}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์ตรวจจับ
ความร้อนของ CQ011 ตามลำดับ

$F_{Gas.detector\ CQ012}$, $R_{Gas.detector\ CQ012}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์ตรวจจับ
ความร้อนของ CQ012 ตามลำดับ

$F_{Gas.detector\ CQ013}$, $R_{Gas.detector\ CQ013}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์ตรวจจับ
ความร้อนของ CQ013 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกสิ่งเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$F_{Gas.detector\ CQ014}$, $R_{Gas.detector\ CQ014}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์ตรวจจับ

ความร้อนของ CQ014 ตามลำดับ

$$\lambda_{CO} = \text{อัตราการล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์ตรวจจับความร้อน}$$

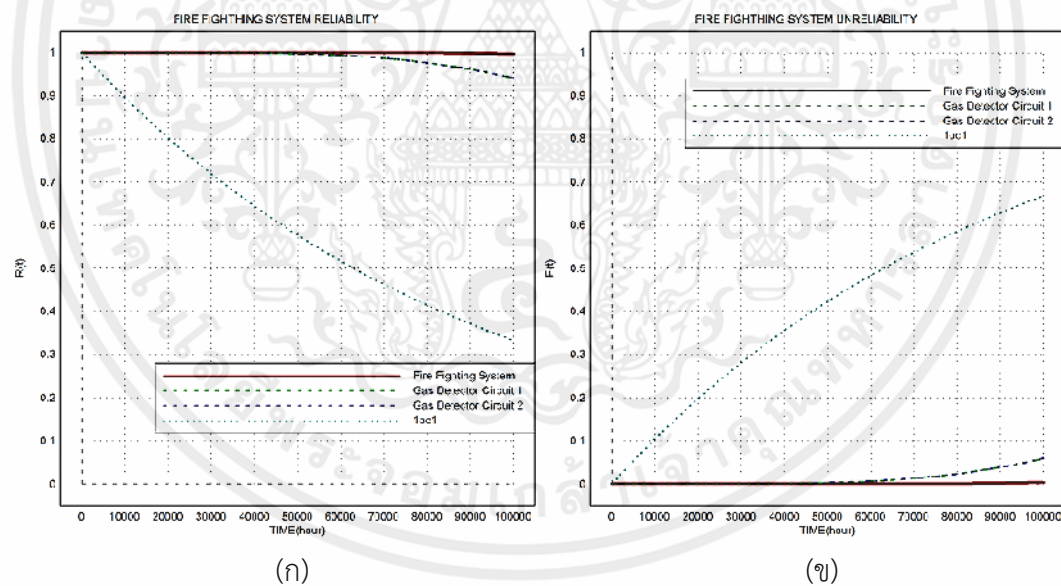
4.3.2 การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ

ค่าอัตราการล้มเหลวของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อนสำหรับระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ ซึ่งอ้างอิงจาก OREDA มีดังนี้

$$\lambda_{CO} = \frac{1}{MTTF_{CO}} ; \text{อัตราการล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์ตรวจจับความร้อน เท่ากับ } 1.1$$

ต่อ 10^6 ชั่วโมงและค่าเฉลี่ยความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์ตรวจจับความร้อน เท่ากับ 90,909 ชั่วโมง

นำค่าอัตราการล้มเหลวของอุปกรณ์ต่าง ๆ แทนค่าลงในสมการความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ จะสามารถจำลองกราฟความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบได้ดังนี้



รูปที่ 4.7 กราฟความน่าเชื่อถือ (ก) และความไม่น่าเชื่อถือ (ข) ของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ

จากรูปที่ 4.7 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซเมื่อเวลาผ่านไป ณ ชั่วโมงหนึ่ง โดยกำหนดตัวแปรดังนี้

- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบหรืออุปกรณ์ แทนด้วย “R(t)”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบการหรืออุปกรณ์ แทนด้วย “F(t)”

- ระบบป้องกันเพลิงไหม้สำหรับกังหันก๊าซ แทนด้วย “Fire Fighting System”
- ระบบตรวจจับความร้อนวงจรที่ 1 แทนด้วย “Gas Detector Circuit 1”
- ระบบตรวจจับความร้อนวงจรที่ 2 แทนด้วย “Gas Detector Circuit 2”
- ทรานสมิตเตอร์ตรวจจับความร้อน แบบ 1oo1 แทนด้วย “1oo1”

เมื่อเวลาผ่านไป 8,500 ชั่วโมง

- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบป้องกันเพลิงไหม้สำหรับกังหันก๊าซ เท่ากับ “1”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบตรวจจับความร้อนวงจรที่ 1 เท่ากับ “1”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบตรวจจับความร้อนวงจรที่ 2 เท่ากับ “1”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน แบบ 1oo1 เท่ากับ “0.91”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันเพลิงไหม้สำหรับกังหันก๊าซ เท่ากับ “0”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบตรวจจับความร้อนวงจรที่ 1 เท่ากับ “0”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบตรวจจับความร้อนวงจรที่ 2 เท่ากับ “0”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์ตรวจจับความร้อน แบบ 1oo1 เท่ากับ “0.09”

เมื่อเวลาผ่านไป 21,000 ชั่วโมง

- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบป้องกันเพลิงไหม้สำหรับกังหันก๊าซ เท่ากับ “1”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบตรวจจับความร้อนวงจรที่ 1 เท่ากับ “1”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบตรวจจับความร้อนวงจรที่ 2 เท่ากับ “1”
- ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ตรวจจับความร้อน แบบ 1oo1 เท่ากับ “0.79”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันเพลิงไหม้สำหรับกังหันก๊าซ เท่ากับ “0”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบตรวจจับความร้อนวงจรที่ 1 เท่ากับ “0”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบตรวจจับความร้อนวงจรที่ 2 เท่ากับ “0”
- ความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์ตรวจจับความร้อน แบบ 1oo1 เท่ากับ “0.21”

จากรูป 4.7 สามารถวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของการทำงานของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ จึงสรุปได้ว่า โอกาสของความน่าจะเป็นที่ระบบป้องกันเพลิงไหม้จะทำงานล้มเหลว เป็น “0” หรือ ระบบป้องกันเพลิงไหม้ไม่มีโอกาสที่จะทำงานล้มเหลวเลย เมื่อเวลาผ่านไป 8,500 ชั่วโมง และ เมื่อเวลาผ่านไป 21,000 ชั่วโมง ความน่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์ตรวจจับความร้อนมีค่าลดลง เท่ากับ “0.75” แต่เนื่องจากระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซถูกออกแบบให้มีการทำงานร่วมกันระหว่าง Circuit 1 และ 2 จึงทำให้โอกาสที่ระบบป้องกันเพลิงไหม้จะทำงานล้มเหลว เป็น “0” หรือ ระบบป้องกันเพลิงไหม้ไม่มีโอกาสที่จะทำงานล้มเหลวเลย เมื่อเวลาผ่านไป 21,000 ชั่วโมง

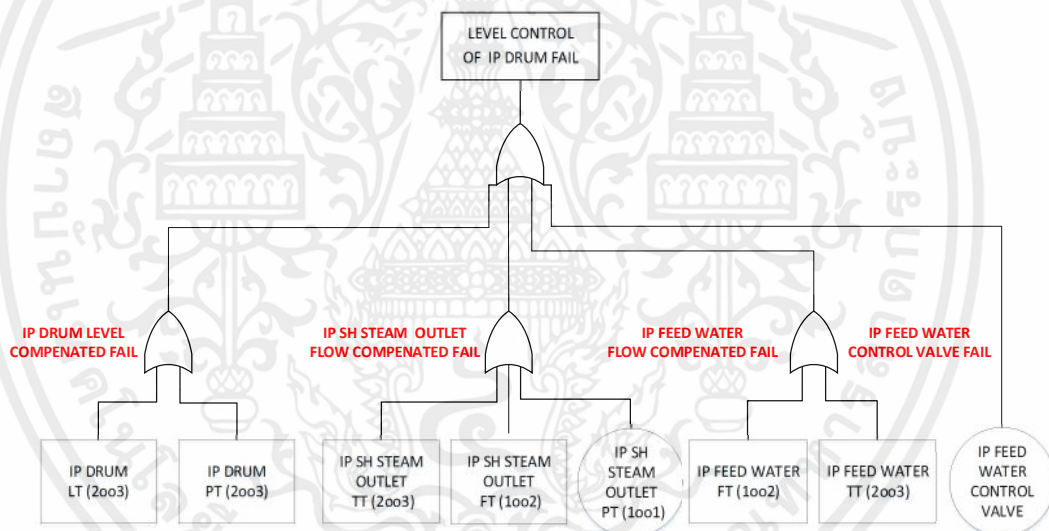
4.4 กรณีศึกษา : ระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

4.4.1 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้ของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

FTA สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่ทำให้ระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำเกิดความล้มเหลวได้ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบ FTA เชิงคุณภาพ (แผนภาพความล้มเหลว) ของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ และ FTA เชิงปริมาณ (สมการความล้มเหลว) ของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

4.4.1.1 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงคุณภาพของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

เมื่อพิจารณาแผนผังอย่างง่ายสำหรับระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำสามารถเขียนให้อยู่ใน FTA เชิงคุณภาพหรือแผนภาพความล้มเหลวได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงคุณภาพหรือแผนภาพความล้มเหลวสำหรับระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

4.4.1.2 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงปริมาณของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

เมื่อพิจารณา รูปที่ 4.8 แผนภาพความล้มเหลวสำหรับระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ สามารถนำเทคนิค FTA เชิงปริมาณมาวิเคราะห์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่รูปของสมการความล้มเหลวและสมการความน่าเชื่อถือ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารของบริษัทฯ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
F_{Level}^{Control} &= F_{Level}^{Compensted} \cup F_{Flow.out}^{Compensted} \cup F_{Flow.in}^{Compensted} \cup F_{CV} \\
&= F_{Level}^{Compensted} + F_{Flow.out}^{Compensted} + F_{Flow.in}^{Compensted} + F_{CV} - (F_{Level}^{Compensted} F_{Flow.out}^{Compensted}) - (F_{Flow.out}^{Compensted} F_{Flow.in}^{Compensted}) \\
&+ (F_{Level}^{Compensted} F_{Flow.out}^{Compensted} F_{Flow.in}^{Compensted}) - (F_{Level}^{Compensted} F_{CV}) - (F_{Flow.out}^{Compensted} F_{CV}) - (F_{Flow.in}^{Compensted} F_{CV}) \\
&+ (F_{Level}^{Compensted} F_{Flow.out}^{Compensted} F_{CV}) + (F_{Level}^{Compensted} F_{Flow.in}^{Compensted} F_{CV}) + (F_{Flow.out}^{Compensted} F_{Flow.in}^{Compensted} F_{CV}) \\
&- (F_{Level}^{Compensted} F_{Flow.out}^{Compensted} F_{Flow.in}^{Compensted} F_{CV}) \tag{4.52}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{Level}^{Compensted} &= F_{LT}^{2003} \cup F_{PT}^{2003} \\
&= F_{LT}^{2003} + F_{PT}^{2003} - F_{LT}^{2003} F_{PT}^{2003} \tag{4.53}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{Flow.in}^{Compensted} &= F_{FT}^{1002} \cup F_{TT}^{2003} \\
&= F_{FT}^{1002} + F_{TT}^{2003} - F_{FT}^{1002} F_{TT}^{2003} \tag{4.54}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
F_{Flow.out}^{Compensted} &= F_{FT}^{1002} \cup F_{TT}^{2003} \cup F_{PT}^{1001} \\
&= F_{FT}^{1002} + F_{TT}^{2003} + F_{PT}^{1001} - F_{FT}^{1002} F_{TT}^{2003} - F_{FT}^{1002} F_{PT}^{1001} - F_{TT}^{2003} F_{PT}^{1001} + F_{FT}^{1002} F_{TT}^{2003} F_{PT}^{1001} \tag{4.55}
\end{aligned}$$

$$F_{Level}^{Control} = 1 - R_{Level}^{Control} \tag{4.56}$$

$$F_{Level}^{Compensted} = 1 - R_{Level}^{Compensted} \tag{4.57}$$

$$F_{Flow.out}^{Compensted} = 1 - R_{Flow.out}^{Compensted} \tag{4.58}$$

$$F_{Flow.in}^{Compensted} = 1 - R_{Flow.in}^{Compensted} \tag{4.59}$$

$$F_{LT}^{2003} = 1 - R_{LT}^{2003} = 1 - 3R_{LT}^{2003} + 2R_{LT}^{2003} = 1 - 3e^{-2\lambda_{LT}t} + 2e^{-3\lambda_{LT}t} \tag{4.60}$$

$$F_{PT}^{2003} = 1 - R_{PT}^{2003} = 1 - 3R_{PT}^{2003} + 2R_{PT}^{2003} = 1 - 3e^{-2\lambda_{PT}t} + 2e^{-3\lambda_{PT}t} \tag{4.61}$$

$$F_{TT}^{2003} = 1 - R_{TT}^{2003} = 1 - 3R_{TT}^{2003} + 2R_{TT}^{2003} = 1 - 3e^{-2\lambda_{TT}t} + 2e^{-3\lambda_{TT}t} \tag{4.62}$$

$$F_{FT}^{1002} = 1 - R_{FT}^{1002} = 1 - 2R_{FT}^{1002} + R_{FT}^{1002} = 1 - 2e^{-\lambda_{FT}t} + e^{-2\lambda_{FT}t} \tag{4.63}$$

$$F_{PT}^{1001} = 1 - R_{PT}^{1001} = 1 - e^{-\lambda_{PT}t} \tag{4.64}$$

$$F_{CV} = 1 - R_{CV} = 1 - e^{-\lambda_{CV}t} \tag{4.65}$$

เมื่อ $F_{Level}^{Control}$, $R_{Level}^{Control}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับระบบควบคุมระดับน้ำของเอกสารนี้เป็นเอกสารให้บริการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า โดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยและต้องอภัยถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$F_{Level}^{Compensated}, R_{Level}^{Compensated}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับระบบชดเชยค่าของระดับ

น้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง (IP Drum Level Compensated) ตามลำดับ

$F_{Flow.out}^{Compensated}, R_{Flow.out}^{Compensated}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับระบบชดเชยค่าของอัตรา

การไหลของไอน้ำความดันปานกลางขาออก (IP SH Steam Outlet Compensated) ตามลำดับ

$F_{Flow.in}^{Compensated}, R_{Flow.in}^{Compensated}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับระบบชดเชยค่าของอัตรา

การไหลของน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลาง (IP Feed Water Compensated) ตามลำดับ

$F_{LT}^{2003}, R_{LT}^{2003}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำ

สำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 ตามลำดับ

$F_{PT}^{2003}, R_{PT}^{2003}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัดความดัน

สำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 ตามลำดับ

$F_{TT}^{2003}, R_{TT}^{2003}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ

สำหรับไอน้ำความดันปานกลางขาออกและน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 ตามลำดับ

$F_{FT}^{1002}, R_{FT}^{1002}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการ

ไหลสำหรับไอน้ำความดันปานกลางขาออกและน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 1002 ตามลำดับ

$F_{PT}^{1001}, R_{PT}^{1001}$ คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัดความดัน

สำหรับไอน้ำความดันปานกลางขาออกแบบ 1001 ตามลำดับ

F_{CV}, R_{CV} คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับวาล์วควบคุมอัตราการ

ไหลน้ำขาเข้าสำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลางตามลำดับ

λ_{LT} คือ อัตราความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำ

λ_{TT} คือ อัตราความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ

λ_{FT} คือ อัตราความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหล

λ_{PT} คือ อัตราความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดความดัน

λ_{CV} คือ อัตราความล้มเหลวของวาล์วควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2 การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

ค่าอัตราความล้มเหลวของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำอ้างอิงจาก OREDA มีดังนี้

$\lambda_{LT} = \frac{1}{MTTF_{LT}}$; อัตราความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำ เท่ากับ 4.65 ต่อ 10^6 ชั่วโมงและค่าเฉลี่ยความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำ เท่ากับ 21,505 ชั่วโมง

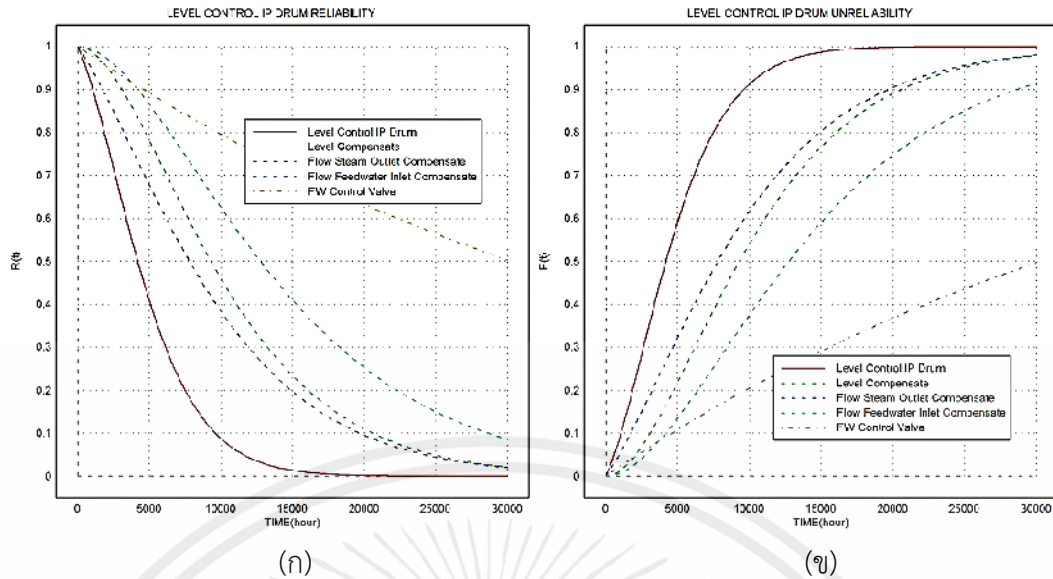
$\lambda_{TT} = \frac{1}{MTTF_{TT}}$; อัตราความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ เท่ากับ 4.57 ต่อ 10^6 ชั่วโมงและค่าเฉลี่ยความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิ เท่ากับ 21,881 ชั่วโมง

$\lambda_{FT} = \frac{1}{MTTF_{FT}}$; อัตราความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหล เท่ากับ 3.81 ต่อ 10^6 ชั่วโมงและค่าเฉลี่ยความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหล เท่ากับ 26,246 ชั่วโมง

$\lambda_{PT} = \frac{1}{MTTF_{PT}}$; อัตราความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดความดัน เท่ากับ 4.88 ต่อ 10^6 ชั่วโมงและค่าเฉลี่ยความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดความดัน เท่ากับ 20,491 ชั่วโมง

$\lambda_{CV} = \frac{1}{MTTF_{CV}}$; อัตราความล้มเหลวของวาล์วควบคุม เท่ากับ 2.29 ต่อ 10^6 ชั่วโมงและค่าเฉลี่ยความล้มเหลวของวาล์วควบคุม เท่ากับ 43,650 ชั่วโมง

นำค่าอัตราความล้มเหลวของอุปกรณ์ต่าง ๆ แทนค่าลงในสมการความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ จะสามารถจำลองกราฟความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบได้ดังนี้



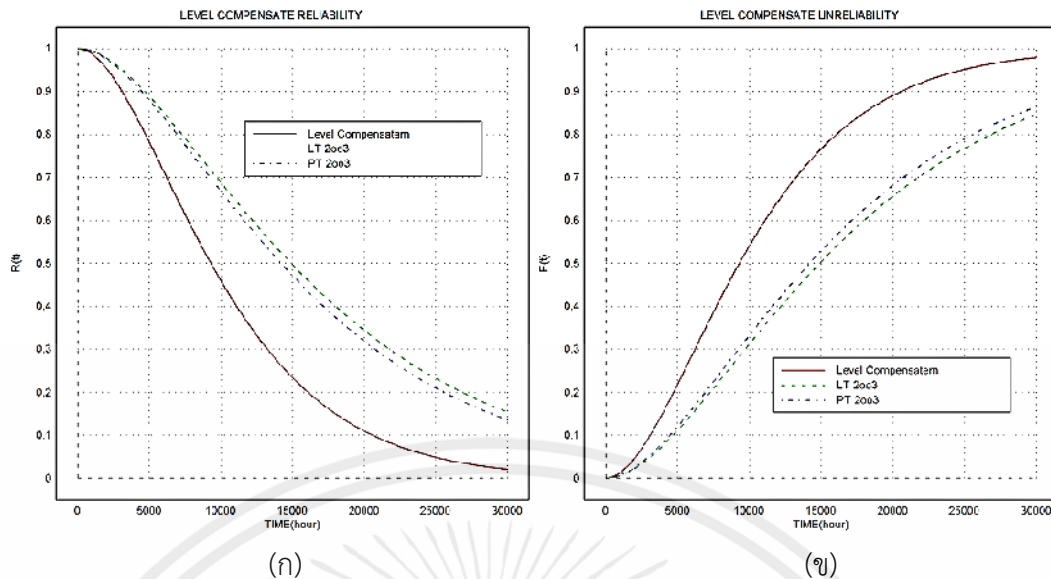
รูปที่ 4.9 กราฟความน่าเชื่อถือ (ก) และความไม่น่าเชื่อถือ (ข) ของสำหรับระบบควบคุมระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง

จากรูปที่ 4.9 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือสำหรับระบบควบคุมระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลางเมื่อเวลาผ่านไป ณ ชั่วโมงหนึ่ง โดยกำหนดตัวแปรดังนี้

- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบหรืออุปกรณ์ แทนด้วย “ $R(t)$ ”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบหรืออุปกรณ์ แทนด้วย “ $F(t)$ ”
- ระบบควบคุมระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง แทนด้วย “Level Control IP Drum”
- ระบบชดเชยค่าของระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง แทนด้วย “Level Compensate”
- ระบบชดเชยค่าของอัตราการไหลของไอน้ำความดันปานกลางขาออก แทนด้วย “Flow Steam Out Compensate”
- ระบบชดเชยค่าของอัตราการไหลของน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลาง แทนด้วย “Flow Feed Water Inlet Compensate”
- วาล์วควบคุมอัตราการไหลน้ำขาเข้าสำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลาง แทนด้วย “FW Control Valve”

เมื่อเวลาผ่านไป 8,500 ชั่วโมง

- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบควบคุมระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง เท่ากับ “0.15”
- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบชดเชยค่าของระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง เท่ากับ “0.55”
- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบชดเชยค่าของอัตราการไหลของไอน้ำความดันปานกลางขาออก เท่ากับ “0.46”



รูปที่ 4.10 กราฟความน่าเชื่อถือ (ก) และความไม่น่าเชื่อถือ (ข) ของระบบชดเชยค่าของระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง

จากรูปที่ 4.10 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบชดเชยค่าของระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง เมื่อเวลาผ่านไป ณ ชั่วโมงหนึ่ง โดยกำหนดตัวแปรดังนี้

- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบหรืออุปกรณ์ แทนด้วย “ $R(t)$ ”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบหรืออุปกรณ์ แทนด้วย “ $F(t)$ ”
- ระบบชดเชยค่าของระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง แทนด้วย “Level Compensate”
- ทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำสำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 แทนด้วย “LT 2003”
- ทรานสมิตเตอร์วัดความดันสำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 แทนด้วย “PT 2003”

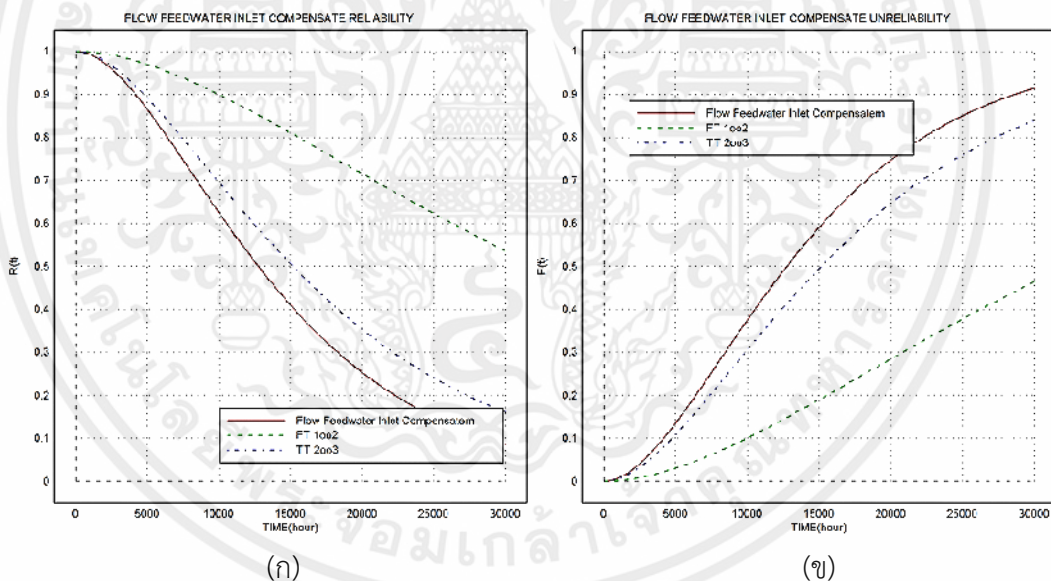
เมื่อเวลาผ่านไป 8,500 ชั่วโมง

- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบชดเชยค่าของระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง เท่ากับ “0.55”
- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำสำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 เท่ากับ “0.75”
- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดความดันสำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 เท่ากับ “0.77”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบชดเชยค่าของระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง เท่ากับ “0.45”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำสำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 เท่ากับ “0.25”

- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดความดันสำหรับหม้อไอน้ำ ความดันปานกลางแบบ 2003 เท่ากับ “0.27”

เมื่อเวลาผ่านไป 21,000 ชั่วโมง

- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบชดเชยค่าของระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง เท่ากับ “0.09”
- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำสำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 เท่ากับ “0.32”
- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดความดันสำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 เท่ากับ “0.29”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบชดเชยค่าของระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลาง เท่ากับ “0.91”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำสำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 เท่ากับ “0.68”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดความดันสำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 เท่ากับ “0.71”



รูปที่ 4.11 กราฟความน่าเชื่อถือ (ก) และความไม่น่าเชื่อถือ (ข) ของระบบชดเชยค่าของอัตราการไหลของน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลาง

จากรูปที่ 4.11 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบชดเชยค่าของอัตราการไหลของน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลางเมื่อเวลาผ่านไป ณ ชั่วโมงหนึ่ง โดยกำหนดตัวแปรดังนี้

- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบหรืออุปกรณ์ แทนด้วย “ $R(t)$ ”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบหรืออุปกรณ์ แทนด้วย “ $F(t)$ ”
- ระบบชดเชยค่าของอัตราการไหลของน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลาง

แทนด้วย “Flow Feed Water Inlet Compensate”

- ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลสำหรับน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 1๐๐2 แทนด้วย “FT 1๐๐2”
- ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิสำหรับน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2๐๐3 แทนด้วย “TT 2๐๐3”

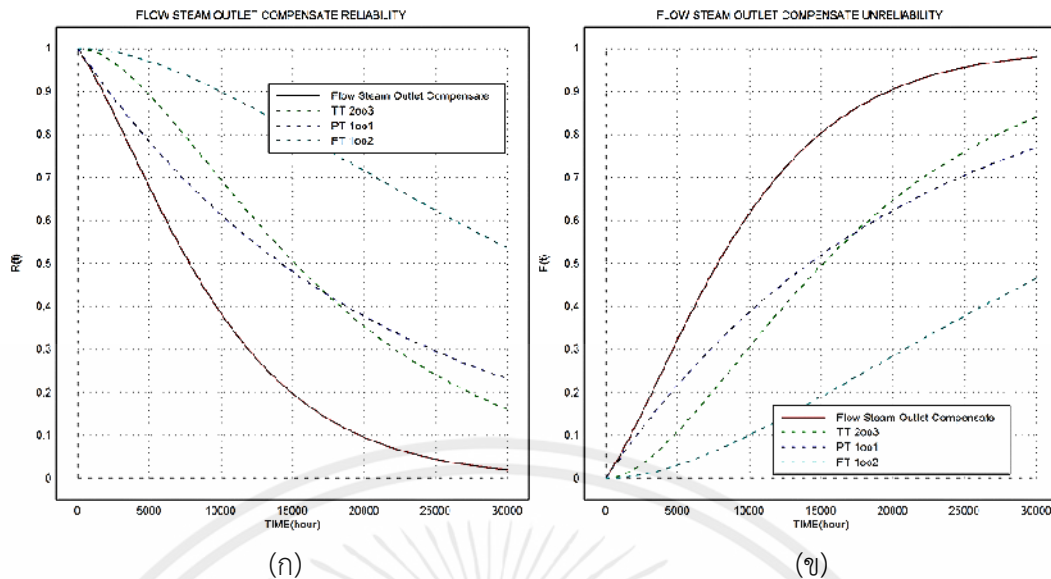
เมื่อเวลาผ่านไป 8,500 ชั่วโมง

- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบชดเชยค่าของอัตราการไหลของน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลาง เท่ากับ “0.70”
- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลสำหรับน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 1๐๐2 เท่ากับ “0.92”
- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิสำหรับน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2๐๐3 เท่ากับ “0.76”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบชดเชยค่าของอัตราการไหลของน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลาง เท่ากับ “0.30”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลสำหรับน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 1๐๐2 เท่ากับ “0.08”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิสำหรับน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2๐๐3 เท่ากับ “0.24”

เมื่อเวลาผ่านไป 21,000 ชั่วโมง

- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบชดเชยค่าของอัตราการไหลของน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลาง เท่ากับ “0.23”
- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลสำหรับน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 1๐๐2 เท่ากับ “0.70”
- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิสำหรับน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2๐๐3 เท่ากับ “0.33”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบชดเชยค่าของอัตราการไหลของน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลาง เท่ากับ “0.77”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลสำหรับน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 1๐๐2 เท่ากับ “0.30”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิสำหรับน้ำขาเข้าหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2๐๐3 เท่ากับ “0.67”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 กราฟความน่าเชื่อถือ (ก) และความไม่น่าเชื่อถือ (ข) ของระบบชดเชยค่าของอัตราการไหลของไอน้ำความดันปานกลางขาออก

จากรูปที่ 4.12 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบชดเชยค่าของอัตราการไหลของไอน้ำความดันปานกลางขาออกเมื่อเวลาผ่านไป ณ ชั่วโมงหนึ่ง โดยกำหนดตัวแปรดังนี้

- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบหรืออุปกรณ์ แทนด้วย “R(t)”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบหรืออุปกรณ์ แทนด้วย “F(t)”
- ระบบชดเชยค่าของอัตราการไหลของไอน้ำความดันปานกลางขาออก แทนด้วย “Flow Steam Outlet Compensate”
- ทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิสำหรับไอน้ำความดันปานกลางขาออกหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 แทนด้วย “TT 2003”
- ทรานสมิตเตอร์วัดความดันสำหรับไอน้ำความดันปานกลางขาออกแบบ 1001 แทนด้วย “PT 1001”
- ทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลสำหรับไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 แทนด้วย “FT 1002”

เมื่อเวลาผ่านไป 8,500 ชั่วโมง

- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบชดเชยค่าของอัตราการไหลของไอน้ำความดันปานกลางขาออก เท่ากับ “0.46”
- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์วัดอุณหภูมิสำหรับไอน้ำความดันปานกลางขาออกหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 เท่ากับ “0.76”
- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดความดันสำหรับไอน้ำความดันปานกลางขาออกแบบ 1001 เท่ากับ “0.66”
- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลสำหรับไอน้ำความดันปานกลางแบบ 1002 เท่ากับ “0.92”

- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบชดเชยค่าของอัตราการไหลของไอน้ำความดันปานกลางขาออก เท่ากับ “0.54”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิสำหรับไอน้ำความดันปานกลางขาออกหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 เท่ากับ “0.24”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดความดันสำหรับไอน้ำความดันปานกลางขาออกแบบ 1001 เท่ากับ “0.34”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิสำหรับไอน้ำขาออกหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 เท่ากับ “0.08”

เมื่อเวลาผ่านไป 21,000 ชั่วโมง

- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบชดเชยค่าของอัตราการไหลของไอน้ำความดันปานกลางขาออก เท่ากับ “0.08”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิสำหรับไอน้ำความดันปานกลางขาออกหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 เท่ากับ “0.33”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดความดันสำหรับไอน้ำความดันปานกลางขาออกแบบ 1001 เท่ากับ “0.36”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอัตราการไหลสำหรับไอน้ำขาออกหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 1002 เท่ากับ “0.70”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบชดเชยค่าของอัตราการไหลของไอน้ำความดันปานกลางขาออก เท่ากับ “0.92”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิสำหรับไอน้ำความดันปานกลางขาออกหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 เท่ากับ “0.67”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดความดันสำหรับไอน้ำความดันปานกลางขาออกแบบ 1001 เท่ากับ “0.64”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดอุณหภูมิสำหรับไอน้ำขาออกหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 เท่ากับ “0.30”

จากรูป 4.9 4.10 4.11 และ 4.12 สามารถวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของฟังก์ชันการทำงานของระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ ซึ่งสรุปได้ว่า เมื่อเวลาผ่านไป 8,500 ชั่วโมง และ 21,000 ชั่วโมง ระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางมีโอกาสของความน่าจะเป็นที่จะทำงานล้มเหลว เท่ากับ “0.85” และ “0” ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าระบบควบคุมระดับน้ำมีโอกาสที่จะทำงานล้มเหลวเมื่อเวลาผ่านไป 8,500 ชั่วโมง และ เมื่อเวลาผ่านไป 21,000 ชั่วโมง ระบบจะทำงานล้มเหลวแน่นอน และทำให้ระบบควบคุมระดับน้ำไม่สามารถทำงานแบบอัตโนมัติได้ (Auto) แต่ในความเป็นจริงแล้วนั้น หากระบบควบคุมระดับน้ำเกิดความล้มเหลวขึ้น ผู้ควบคุมเครื่องจักร (Operator) จะคอยเฝ้าระวังและควบคุมระดับน้ำโดยตรง (Manual) เพื่อรักษาระดับน้ำให้อยู่ในช่วงที่ปลอดภัย และแจ้งฝ่ายซ่อมบำรุงทำการแก้ไขปัญหาความล้มเหลวที่เกิดขึ้นเพื่อนำระบบกลับคืนสู่สภาวะควบคุมแบบอัตโนมัติอีกครั้ง ดังนั้นเพื่อให้ระบบควบคุมระดับน้ำสามารถทำงานแบบอัตโนมัติได้อย่างต่อเนื่องและเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือให้แก่ระบบ ควรนำระบบสำรองแบบ k out of n เข้ามาใช้ งาน สำหรับแนวทางในการเพิ่มความน่าเชื่อถือของกรณีศึกษาี้คือ

ควรออกแบบระบบสำรองให้กับทรานสมิตเตอร์วัดความดันสำหรับไอดงความดันปานกลางขาออก จากเดิมที่มีการทำงานแบบ 1๐๐1 ปรับปรุงใหม่เป็นแบบ 1๐๐2 เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือให้แก่ระบบควบคุมระดับน้ำในหม้อไอน้ำความดันปานกลางของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

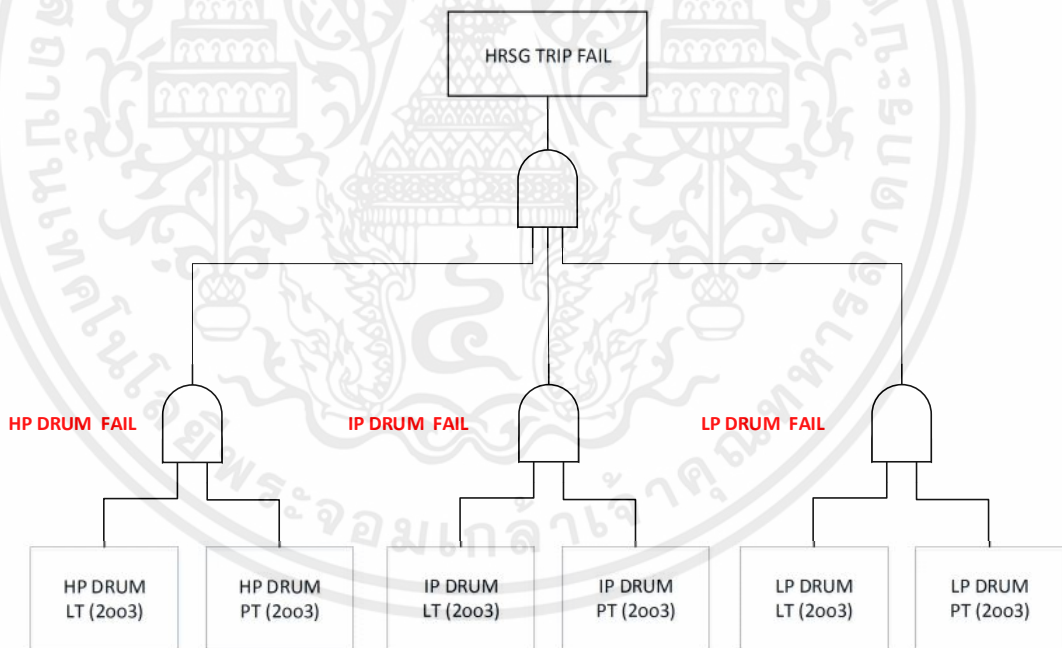
4.5 กรณีศึกษา : ระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

4.5.1 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงคุณภาพของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

FTA สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานเพื่อวิเคราะห์หาสาเหตุที่จะทำให้ระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำเกิดความล้มเหลวได้ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบ FTA เชิงคุณภาพ (แผนภาพความล้มเหลว) ของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ และ FTA เชิงปริมาณ (สมการความล้มเหลว) ของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

4.5.1.1 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงคุณภาพของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

เมื่อพิจารณาแผนผังอย่างง่ายสำหรับระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำสามารถเขียนให้อยู่ใน FTA เชิงคุณภาพหรือแผนภาพความล้มเหลวได้ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงคุณภาพหรือแผนภาพความล้มเหลว สำหรับระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.1.2 การวิเคราะห์ความล้มเหลวแบบแผนภูมิต้นไม้เชิงปริมาณของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

เมื่อพิจารณา รูปที่ 4.13 แผนภาพความล้มเหลวสำหรับระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ สามารถนำเทคนิค FTA เชิงปริมาณมาวิเคราะห์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่รูปของสมการความล้มเหลวและสมการความน่าเชื่อถือ ดังนี้

$$\begin{aligned} F_{HRSG} &= F_{HP} \cap F_{IP} \cap F_{LP} \\ &= F_{HP} \times F_{IP} \times F_{LP} \end{aligned} \quad (4.67)$$

$$F_{HP} = F_{LT2003} \times F_{PT2003} \quad (4.68)$$

$$F_{IP} = F_{LT2003} \times F_{PT2003} \quad (4.69)$$

$$F_{LP} = F_{LT2003} \times F_{PT2003} \quad (4.70)$$

$$F_{HP} = 1 - R_{HP} \quad (4.71)$$

$$F_{IP} = 1 - R_{IP} \quad (4.72)$$

$$F_{LP} = 1 - R_{LP} \quad (4.73)$$

$$F_{LT2003} = 1 - R_{LT2003} = 1 - 3R_{LT}^2 + 2R_{LT}^3 = 1 - 3e^{-2\lambda_{LT}t} + 2e^{-3\lambda_{LT}t} \quad (2003) \quad (4.74)$$

$$F_{LT2003} = 1 - R_{LT2003} = 1 - 3R_{LT}^2 + 2R_{LT}^3 = 1 - 3e^{-2\lambda_{LT}t} + 2e^{-3\lambda_{LT}t} \quad (2003) \quad (4.75)$$

$$F_{LT2003} = 1 - R_{LT2003} = 1 - 3R_{LT}^2 + 2R_{LT}^3 = 1 - 3e^{-2\lambda_{LT}t} + 2e^{-3\lambda_{LT}t} \quad (2003) \quad (4.76)$$

$$F_{PT2003} = 1 - R_{PT2003} = 1 - 3R_{PT}^2 + 2R_{PT}^3 = 1 - 3e^{-2\lambda_{PT}t} + 2e^{-3\lambda_{PT}t} \quad (2003) \quad (4.77)$$

$$F_{PT2003} = 1 - R_{PT2003} = 1 - 3R_{PT}^2 + 2R_{PT}^3 = 1 - 3e^{-2\lambda_{PT}t} + 2e^{-3\lambda_{PT}t} \quad (2003) \quad (4.78)$$

$$F_{PT2003} = 1 - R_{PT2003} = 1 - 3R_{PT}^2 + 2R_{PT}^3 = 1 - 3e^{-2\lambda_{PT}t} + 2e^{-3\lambda_{PT}t} \quad (2003) \quad (4.79)$$

เมื่อ F_{HRSG}, R_{HRSG} คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำตามลำดับ

F_{HP}, R_{HP} คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับระบบตรวจวัดระดับน้ำและความ

ดันสำหรับหม้อไอน้ำความดันสูงตามลำดับ

F_{IP}, R_{IP} คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับระบบตรวจวัดระดับน้ำและความ

ดันสำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลางตามลำดับ

F_{LP}, R_{LP} คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับระบบตรวจวัดระดับน้ำและความดันสำหรับหม้อไอน้ำความดันต่ำตามลำดับ

F_{LT2003}, R_{LT2003} คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำสำหรับหม้อไอน้ำความดันสูงแบบ 2003 ตามลำดับ

F_{LP}, R_{LP} คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำสำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 ตามลำดับ

F_{PT2003}, R_{PT2003} คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัดความดันสำหรับหม้อไอน้ำความดันต่ำแบบ 2003 ตามลำดับ

F_{PT2003}, R_{PT2003} คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัดความดันสำหรับหม้อไอน้ำความดันสูงแบบ 2003 ตามลำดับ

F_{LP}, R_{LP} คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัดความดันสำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลางแบบ 2003 ตามลำดับ

F_{PT2003}, R_{PT2003} คือ ความล้มเหลวและความน่าเชื่อถือสำหรับทรานสมิตเตอร์วัดความดันสำหรับหม้อไอน้ำความดันต่ำแบบ 2003 ตามลำดับ

λ_{LT} = คือ อัตราความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำ

λ_{PT} = คือ อัตราความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดความดัน

4.5.2 การวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

ค่าอัตราความล้มเหลวของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ มีดังนี้

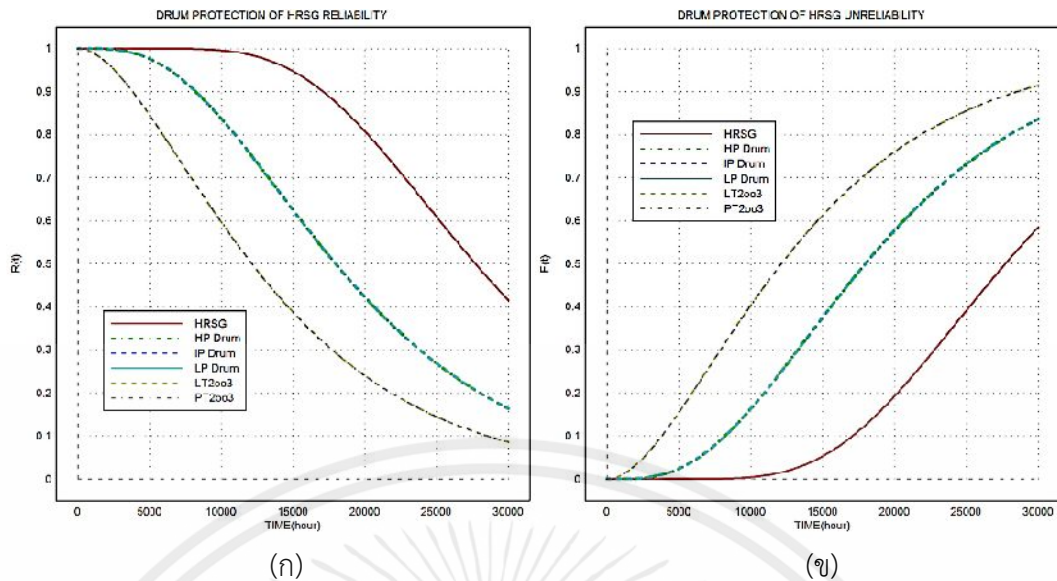
$\lambda_{LT} = \frac{1}{MTTF_{LT}}$; อัตราความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำ เท่ากับ 5.71 ต่อ

10^6 ชั่วโมงและค่าเฉลี่ยความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำ เท่ากับ 17,500 ชั่วโมง

$\lambda_{PT} = \frac{1}{MTTF_{PT}}$; อัตราความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดความดัน เท่ากับ 5.71 ต่อ

10^6 ชั่วโมงและค่าเฉลี่ยความล้มเหลวของทรานสมิตเตอร์วัดความดัน เท่ากับ 17,500 ชั่วโมง

นำค่าอัตราความล้มเหลวของอุปกรณ์ต่าง ๆ แทนค่าลงในสมการความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ จะสามารถจำลองกราฟความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบได้ดังนี้



รูปที่ 4.14 กราฟความน่าเชื่อถือ (ก) และความไม่น่าเชื่อถือ (ข) สำหรับระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ

จากรูปที่ 4.14 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือสำหรับระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำเมื่อเวลาผ่านไป ณ ชั่วโมงหนึ่ง โดยกำหนดตัวแปรดังนี้

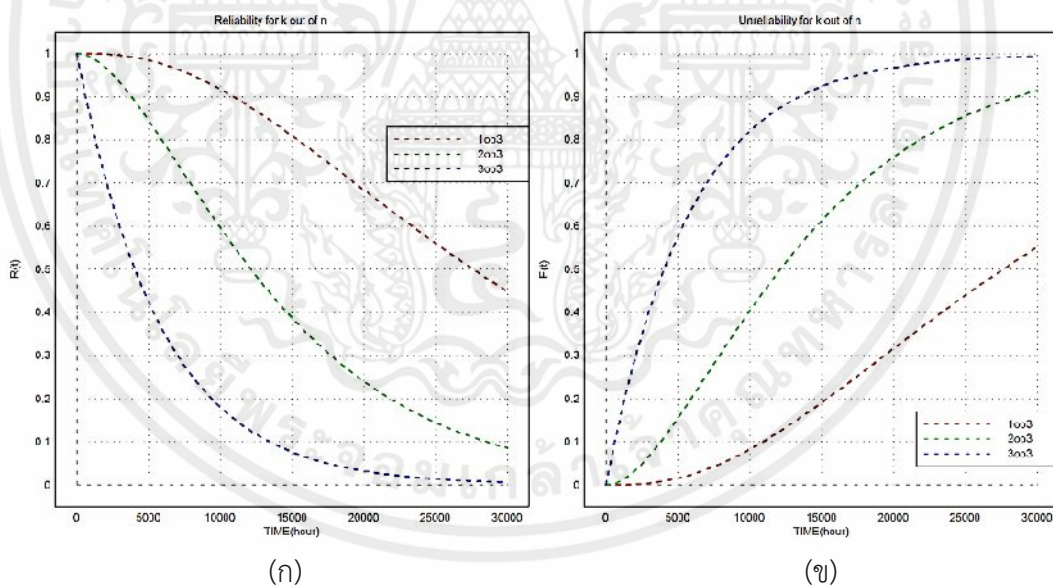
- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบหรืออุปกรณ์ แทนด้วย “ $R(t)$ ”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบหรืออุปกรณ์ แทนด้วย “ $F(t)$ ”
- ระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ แทนด้วย “HRSG”
- ระบบตรวจวัดระดับน้ำและความดันสำหรับหม้อไอน้ำความดันสูง แทนด้วย “HP Drum”
- ระบบตรวจวัดระดับน้ำและความดันสำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลาง แทนด้วย “IP Drum”
- ระบบตรวจวัดระดับน้ำและความดันสำหรับหม้อไอน้ำความดันต่ำ แทนด้วย “LP Drum”
- ทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำสำหรับหม้อไอน้ำความดันสูง ปานกลางและต่ำ แบบ 2003 แทนด้วย “LT2003”
- ทรานสมิตเตอร์วัดความดันสำหรับหม้อไอน้ำความดันสูง ปานกลางและต่ำ แบบ 2003 แทนด้วย “PT2003”

เมื่อเวลาผ่านไป 8,500 ชั่วโมง

- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ เท่ากับ “1”
- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบตรวจวัดระดับน้ำและความดันสำหรับหม้อไอน้ำความดันสูง เท่ากับ “0.89”
- ค่าความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบตรวจวัดระดับน้ำและความดันสำหรับหม้อไอน้ำความดันปานกลาง เท่ากับ “0.89”

- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของระบบตรวจวัดระดับน้ำและความดันสำหรับหม้อไอน้ำความดันต่ำ เท่ากับ “0.61”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดระดับน้ำสำหรับหม้อไอน้ำความดันสูง ปานกลาง และต่ำ แบบ 2003 เท่ากับ “0.78”
- ค่าความน่าจะเป็นของความไม่น่าเชื่อถือของทรานสมิตเตอร์วัดความดันสำหรับหม้อไอน้ำความดันสูง ปานกลาง และต่ำ แบบ 2003 เท่ากับ “0.78”

จากรูปที่ 4.14 สามารถวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของการฟังก์ชันทำงานสำหรับระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ สรุปได้ว่า โอกาสของความน่าจะเป็นที่ระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำจะทำงานล้มเหลว เป็น “0” หรือ ระบบป้องกันไม่มีโอกาสที่จะทำงานล้มเหลวเลย เมื่อเวลาผ่านไป 8,500 ชั่วโมง และ เมื่อเวลาผ่านไป 21,000 ชั่วโมง ความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ที่ถูกใช้ภายในระบบป้องกันหลาย ๆ ตัว มีความน่าเชื่อถือลดลง ทำให้โอกาสของความน่าจะเป็นที่ระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำจะทำงานล้มเหลว เป็น “0.23” เนื่องจากระบบตรวจวัดค่ากระบวนการถูกออกแบบโดยใช้หลักการระบบสำรองแบบ k out of n ทำให้ระบบป้องกันยังคงมีความน่าเชื่อถือสูงเมื่อเวลาผ่านไป 21,000 ชั่วโมง ซึ่งรูปที่ 4.15 แสดงกราฟความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบสำรองแบบ k out of n โดยเปรียบเทียบความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบสำรองแบบ 1 out of 3 2 out of 3 3 out of 3



รูปที่ 4.15 กราฟความน่าเชื่อถือ (ก) และความไม่น่าเชื่อถือ (ข) ของระบบสำรองแบบ k out of n

จากรูปที่ 4.15 กราฟความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบสำรองแบบ k out of n จะแสดงความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของระบบสำรองแบบ k out of n ในแต่ละแบบ เมื่อระบบทำงานไปช่วงเวลาหนึ่งระบบสำรองแบบ 1003 จะมีความน่าเชื่อถือสูงที่สุด ระบบสำรองแบบ 2003 จะมีความน่าเชื่อถือรองลงมา และระบบสำรองแบบ 3003 จะมีความน่าเชื่อถือต่ำที่สุด ดังนั้น การนำระบบสำรองแบบ k out of n มาใช้งาน จะสามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับระบบได้

บทที่ 5

สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการประเมินและวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือของกรณีศึกษา โดยใช้การวิเคราะห์แบบแผนภูมิต้นไม้มาประยุกต์ร่วมกับทฤษฎีความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือ สามารถสรุปผลการวิเคราะห์สำหรับกรณีศึกษาทั้ง 4 ได้ดังนี้

จากการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือสำหรับระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซ (กรณีศึกษาที่ 1) สามารถสรุปได้ว่า เมื่อระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซผ่านการใช้งานเป็นเวลา 21,000 ชั่วโมง ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซมีค่าสูงมาก เท่ากับ “0.97” โดยปัจจัยหลักที่ทำให้ระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซมีความน่าเชื่อถือสูง คือระบบป้องกันของเครื่องอัดก๊าซถูกออกแบบโดยใช้หลักการของระบบสำรองแบบ k out of n

จากการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือสำหรับระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซ (กรณีศึกษาที่ 2) สามารถสรุปได้ว่า เมื่อระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซผ่านการใช้งานเป็นเวลา 21,000 ชั่วโมง ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซมีค่าสูงมาก มีค่าใกล้เคียง “1” โดยปัจจัยหลักที่ทำให้ระบบป้องกันเพลิงไหม้ของกังหันก๊าซมีความน่าเชื่อถือสูง คือ การออกแบบการทำงานของระบบตรวจจับความร้อนแบบ 2 วงจรและการเลือกใช้งานทรานสมิตเตอร์ตรวจจับความร้อนที่มีอายุเฉลี่ยของความล้มเหลวสูง (90,909 ชั่วโมง)

จากการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือสำหรับระบบควบคุมระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลางสำหรับเครื่องกำเนิดไอน้ำ (กรณีศึกษาที่ 3) สามารถสรุปได้ว่า ระบบควบคุมระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลางมีการใช้งานอุปกรณ์ตรวจวัดค่ากระบวนกรแบบ 1oo1 มีโอกาสทำให้ระบบทำงานล้มเหลว เมื่อเวลาผ่านไปจนถึงค่าอายุเฉลี่ยของอุปกรณ์ตรวจวัดค่ากระบวนกรแบบ 1oo1 ดังนั้นเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือให้กับระบบควบคุมระดับน้ำของหม้อไอน้ำความดันปานกลางควรปรับปรุงนำระบบสำรองแบบ 1oo1 โดยการเพิ่มอุปกรณ์ตรวจวัดและออกแบบระบบตรวจวัดโดยใช้หลักการระบบสำรองแบบ k out of n

จากการวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือและความไม่น่าเชื่อถือสำหรับระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำ (กรณีศึกษาที่ 4) สามารถสรุปได้ว่า เมื่อระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำผ่านการใช้งานเป็นเวลา 21,000 ชั่วโมง ความน่าจะเป็นของความน่าเชื่อถือของระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำมีค่าสูง เท่ากับ “0.77” โดยปัจจัยหลักที่ทำให้ระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำมีความน่าเชื่อถือสูง คือระบบป้องกันสำหรับหม้อไอน้ำของเครื่องกำเนิดไอน้ำถูกออกแบบโดยใช้หลักการของระบบสำรองแบบ k out of n

ดังนั้นการประเมินความน่าเชื่อถือของระบบจึงเป็นประโยชน์กับผู้ใช้งานหลากหลายด้านเช่น ประเมินความน่าเชื่อถือเพื่อใช้ในการออกแบบและติดตั้งระบบ ประเมินความน่าเชื่อถือเพื่อปรับปรุงหรือหาข้อบกพร่องของระบบ หรือประเมินความน่าเชื่อถือของระบบเพื่อวางแผนการซ่อมบำรุงระบบ

เอกสารนี้เป็นต้นฉบับ
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม ห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยต่อ

งานวิจัยฉบับนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ร่วมกับทฤษฎีความล้มเหลวร่วมสำหรับระบบสำรอง (Common Cause Failure) เพื่อหาความล้มเหลวที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์มากกว่า 1 ตัวขึ้นไปภายใต้สภาพแวดล้อมเดียวกัน และหาแนวทางป้องกันหรือหลีกเลี่ยงความล้มเหลวร่วมที่จะเกิดขึ้นได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] J. Park, W. Liang, J. Choi and J. Cha, A probabilistic reliability evaluation of Korea power system ,Proc. of International Conference on Innovative Computing, Information and Control, pp.1-4, 2008.
- [2] J. Zhou, L. Li, Z. Li and Q. Zhao, A new method of system reliability evaluation based on the fuzzy theory, Proc. of International Conference on Innovative Computing, Information and Control ,pp.1005-1008, 2009.
- [3] J. Che, M. Lv, Z. Yang, Z. Wang and F. Xu, Equipment systems reliability analysis based on FTA, Proc. Of International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering, pp.293-296, 2012.
- [4] M. Takahashi and R. Nanba, A proposal of fault tree analysis for control programs, Proc. of SICE Annual Conference, pp.1719-1724, 2014.
- [5] Y. Lee, J. Kim, J. Kim and I. Moon, A verification of fault tree for safety integrity level evaluation ,Proc. of ICROS-SICE International Joint Conference, pp.5548-5551, 2009.
- [6] W. M. Goble, Control Systems Safety Evaluation and Reliability, ISA, USA, 2010.
- [7] P. Gruhn and H. L. Cheddie, Safety Instrumented Systems: Design, Analysis and Justification, ISA,USA, 2006.
- [8] T. Thepmanee and S. Junlee, Investigation into nuisance tripping of stream turbine generator due to increase of shaft vibration amplitudes, ICIC Express Letters, Part B: Applications, vol.5, no.1,pp.243-250, 2014.
- [9] T. Thepmanee and P. Khamkoon, SIL assessment and implementation case study: A safety instrumented function for overpressure protection in a two-phase gas-liquid separator, ICIC Express Letters, Part B: Applications, vol.5, no.1, pp.45-50, 2014.
- [10] C. Chairuan, A. Julsereewong and T. Thepmanee, reliability modeling of emergency shutdown function for heat recovery steam generator control, ICIC Express Letters, Part B: Applications, vol.7, no.10, pp.2247-2251, 2016
- [11] ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ เทพมณี, ฟังก์ชันนิรภัยและความน่าเชื่อถือสำหรับระบบอัตโนมัติ, หลักสูตรวิศวกรรมอัตโนมัติ, ภาควิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สจล, 2561
- [12] R. Manzini, A. Regattieri and H. P. E. Ferrari, Maintenance for Industrial Systems, Springer, 2010.
- [13] SINTEF Industrial Management, (OREDA) Offshore Reliability Data Handbook , 4th Edition, Norway, 2002
- [14] Computer Based Training for Power Generation Facilities, 3D Design e-book for Education of Devices, Facilities and Product, Allone



ภาคผนวก ก.

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการระดับนานาชาติในวิทยานิพนธ์นี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

[10] Chaichan Chairuan, Amphawan Julsereewong and Teerawat Thepmanee, Reliability Modeling of Emergency Shutdown Function for Heat Recovery Steam Generator Control, ICIC Express Letters, Part B: Applications, vol.7, no.10, pp.2247-2251 , 2016



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RELIABILITY MODELING OF EMERGENCY SHUTDOWN FUNCTION FOR HEAT RECOVERY STEAM GENERATOR CONTROL

CHAICHAN CHAIRUAN, AMPHAWAN JUISEREEWONG AND TEERAWAT THEPMANEE

Faculty of Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
 chaichan4246@gmail.com; { amphawan.ju; teerawat.th }@kmitl.ac.th

Received March 2016; accepted June 2016

ABSTRACT. *This paper presents a method for evaluating reliability and unreliability of emergency shutdown function for a control system of heat recovery steam generator (HRSG), which is operated with active redundant for providing safety and protection. The studied triple-pressure HRSG for driving the steam turbine in a power plant consists of three sections: high pressure section, intermediate pressure section, and low pressure section. A safety shutdown is based on level and pressure sensing system with three pressure transmitters and three level transmitters in each section for implementing a voting algorithm in order to tolerate the failure of one sensor. Fault tree analysis (FTA) is employed as a tool for analyzing probability functions of success and failure for three possible voting algorithm configurations. Based on the obtained modeling, complex data of the studied system are transformed to accurate prediction of its reliability and unreliability.*

Keywords: Modeling, Reliability, Unreliability, Emergency shutdown, Fault tree analysis, Safety, Voting algorithm

1. Introduction. Generally, if automatic control systems cannot maintain control strategies, independent alarms indicate a problem. Plant operators can then supervise manual. If human intervention cannot make the specified corrections for critical situations, the last line of defense like emergency shutdown should automatically function to minimize the risk of harming people, environment, property, and so on. There are two ways for implementing safety and protection systems: safety provided by a basic process control system (BPCS) and safety provided by safety-instrumented system (SIS). The latter provides higher level of safety, because it is specially designed to shut down hazardous loops in the event where such a process problem is detected [1]. Instruments and controllers for realizing SIS are usually certified and approved by independent test institutes. On the other hand, the safety provided by the BPCS like distributed control system (DCS) uses regular field instruments and controllers that lack safety approval. In order to be detected reliably for process problems, the instrumentation and control must function properly. Therefore, reliability analysis of safety and protection systems is required to concern [2-8]. For system reliability evaluation, interesting methods based on probabilistic reliability assessment and physical and operational margins [2], based on fuzzy theory [3], or based on fault tree analysis [4,5] have been introduced. In addition, applications of reliability theory for evaluating safety integrity level of SIS have been proposed [6,7]. Alternatively, a practical technique for investigating into nuisance tripping caused the unscheduled plant shutdown as well as its mitigation has been suggested [8]. However, none of them focuses on evaluating reliability of voting algorithm for instrument signal failures.

This paper aims to introduce a reliability modeling of the BPCS-based safety shutdown for controlling heat recovery steam generator (HRSG) used in a power plant in Thailand.

The proposed modeling can be useful to evaluate reliability of shutdown conditions created by voting algorithm configurations. The unreliability evaluation of the studied system can be also obtained, since it is one's complement of the reliability function.

2. Studied Control System.

2.1. Triple-pressure HRSG control. The function of the combined-cycle HRSG system is to provide a method to extract sensible heat from the combustion turbine exhaust gas stream. The HRSG recovers the waste heat available in the combustion turbine exhaust gas. The recovered heat is used to generate steam at high pressure and high temperature, and the steam is then used to generate power in the steam turbine generator. The studied HRSG has three sections to generate steam at three different pressure levels for use in a steam turbine generator set and for power augmentation of the combustion turbine. The pressure levels of steam output are high pressure (HP), intermediate pressure (IP), and low pressure (LP). The studied HRSG is controlled by the open and closed loop controllers, which keep the process within the defined limits. If the controller or component deviates from its intended function, a process value may exceed the defined limits, causing a possibility of damage. Therefore, the automatic safety system, independent of the control system, must operate with the following tasks: to indicate to the operator when a limit is exceeded, to stop the process from further exceeding a limit, and to activate the emergency shutdown or trip function.

2.2. HRSG shutdown configuration. In the proposed modeling, the HRSG failure is identified as a system failure event to cause the process to be shut down. Figure 1 shows the fault tree construction for logical even relationships to identify the failure event. The process-problem shutdown of the studied triple-pressure HRSG is based on measuring level and pressure of three stream drums used. In order to implement a voting algorithm based on k -out-of- n system for tolerating the failure of one sensor, three level transmitters and three pressure transmitters are installed at a stream drum in each section (HP DRUM, IP DRUM, or LP DRUM). Thus, there are three possible cases for configuring the voting algorithm of level and pressure measurements: one out of three (1oo3), two out of three (2oo3), and three out of three (3oo3). For example, the 2oo3 system for measuring level of the stream drum means that this system requires at least two of three level transmitters to be operated successfully. If two or three level transmitters fail, the system will fail. The k -out-of- n system is an effective form of redundancy.

A fault tree can be used as a quantitative probability analysis tool. Probabilities are assigned to basic faults and trigger events. 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 ". For the

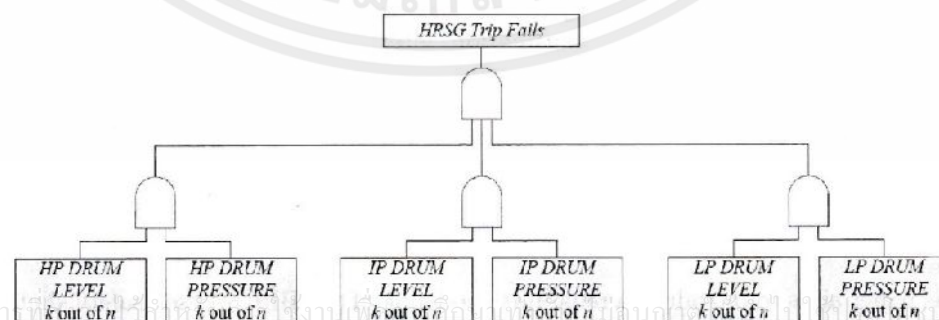


FIGURE 1. Fault tree construction for configuring shutdown conditions

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

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

where λ = failure rate (failures per hours) and 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.

3. Reliability and Unreliability Models [9,10]. From Figure 1, the unreliability of the emergency shutdown function (F_{HRSG}) can be given by

$$F_{HRSG} = F_{HP\ DRUM} \times F_{IP\ DRUM} \times F_{LP\ DRUM} \quad (2)$$

where $F_{HP\ DRUM}$, $F_{IP\ DRUM}$, and $F_{LP\ DRUM}$ are the unreliability of high pressure drum, intermediate pressure drum, and low pressure drum, respectively, which can be stated as

$$F_{HP\ DRUM} = F_{LT(HP)} \times F_{PT(HP)} \quad (3)$$

$$F_{IP\ DRUM} = F_{LT(IP)} \times F_{PT(IP)} \quad (4)$$

$$F_{LP\ DRUM} = F_{LT(LP)} \times F_{PT(LP)} \quad (5)$$

where $F_{LT(HP)}$, $F_{LT(IP)}$, and $F_{LT(LP)}$ denote the unreliability of the level transmitters installed in high pressure drum, intermediate pressure, and low pressure drum, respectively, while $F_{PT(HP)}$, $F_{PT(IP)}$, and $F_{PT(LP)}$ are the unreliability of the pressure transmitters used in high pressure drum, intermediate pressure, and low pressure drum, respectively.

The level and pressure measurements of the studied HRSG are based on the k -out-of- n system, where k can be either 1, 2, or 3, and $n = 3$. The level (or pressure) measurement is successful, if k or more level (or pressure) transmitters are successful. The number of combinations can be written as

$$\binom{n}{k} = \frac{n!}{k!(n-k)!} \quad (6)$$

The generic expression of reliability for the k -out-of- n system composed of identical and independent components can be expressed by

$$R(t)_{k/n} = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} R(t)^i (1 - R(t))^{n-i} \quad (7)$$

Substituting (6) into (7), then the probabilities of success for realizing combination of 1oo3, 2oo3, and 3oo3 configurations can be stated as

$$R(t)_{1oo3} = 3R(t) - 3R^2(t) + R^3(t) \quad (8)$$

$$R(t)_{2oo3} = 3R^2(t) - 2R^3(t) \quad (9)$$

$$R(t)_{3oo3} = R^3(t) \quad (10)$$

From (1) and (8)-(10), if the failure distribution is exponential, the unreliability $F(t)_{(i,j),k/n}$ of level (or pressure) measurement in each section (HP DRUM, IP DRUM, or LP DRUM) of the studied HRSG for 1oo3, 2oo3, and 3oo3 voting algorithms can be written as

For configuration with $k = 1$ and $n = 3$

$$F(t)_{(i,j)1oo3} = 1 - R(t)_{1oo3} = 1 - (3e^{-\lambda t} - 3e^{-2\lambda t} + e^{-3\lambda t}) \quad \forall i \in I, j \in J \quad (11)$$

For configuration with $k = 2$ and $n = 3$

$$F(t)_{(i,j)2oo3} = 1 - R(t)_{2oo3} = 1 - (3e^{-2\lambda t} - 2e^{-3\lambda t}) \quad \forall i \in I, j \in J \quad (12)$$

For configuration with $k = 3$ and $n = 3$

$$F(t)_{(i,j)3oo3} = 1 - R(t)_{3oo3} = 1 - e^{-3\lambda t} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (13)$$

where i = set of generated steam in the section (HP DRUM, IP DRUM, or LP DRUM), and j = set of device used in the measurement (level or pressure transmitter).

From (3)-(5), and (11)-(13), the unreliability $F(t)_{(i,j)}$ for measuring level and pressure in three stream drums used in the studied IIRSG can be stated as

$$F_{(i,j)} = (F(t)_{(i,j),k/n})^j \tag{14}$$

Substituting (14) into (2), the unreliability $F(t)_{(HRSG)}$ for activating the emergency trip of the studied triple-pressure HRSG can be expressed by

$$F(t)_{(HRSG)} = (F(t)_{(i,j)})^i \tag{15}$$

4. Numerical Illustration. For reliability analysis, the devices used in instrumentation and control of the studied IIRSG are supposed to be not repairable, and the probability distribution of mean time to failure (MTTF = 17,520 hours or 2 years) is assumed to be exponential. For level (or pressure) measurement in each stream drum of HP DRUM, IP DRUM, or LP DRUM, the exponential distributions of the unreliability $F(t)_{(i,j),k/n}$ as given by (11)-(13) and the reliability $R(t)_{(i,j),k/n}$, can be illustrated in Figure 2. Figure 3 shows the exponential distributions of the unreliability $F(t)_{(i,j)}$ stated as (14) and the reliability $R(t)_{(i,j)}$ for measuring level and pressure in three stream drums, while Figure 4 shows the exponential distributions of the unreliability $F(t)_{(HRSG)}$ from (15) and the

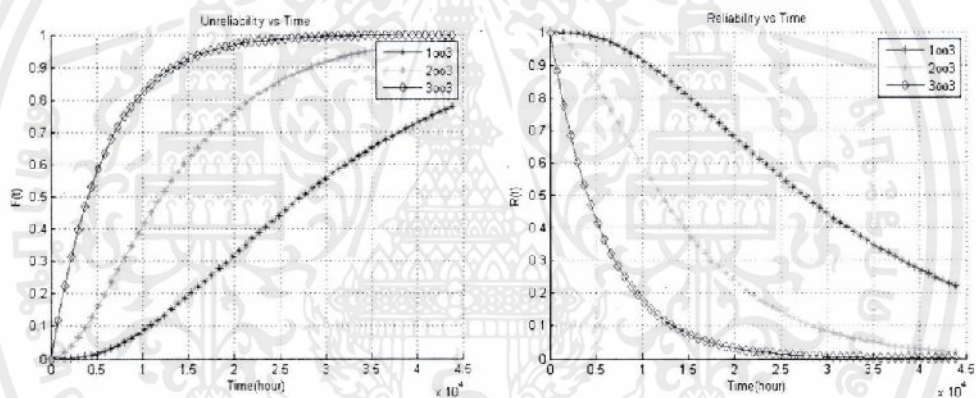


FIGURE 2. $F(t)_{(i,j),k/n}$ and $R(t)_{(i,j),k/n}$ for measuring the level (or pressure) in each stream drum

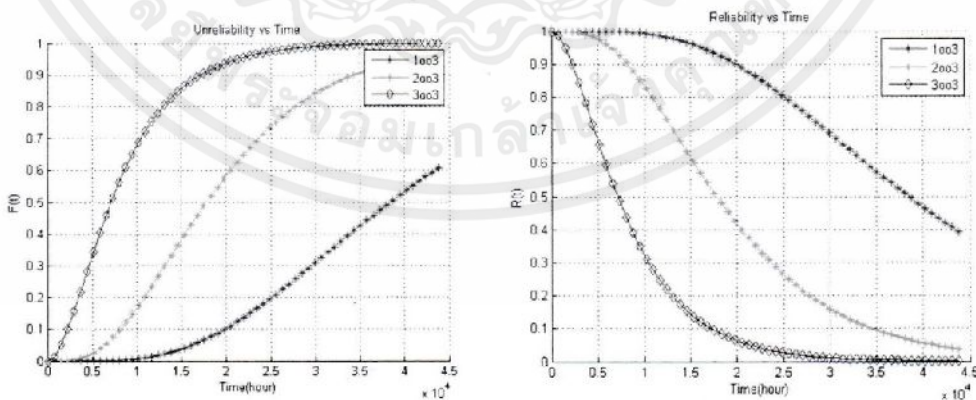


FIGURE 3. $F(t)_{(i,j)}$ and $R(t)_{(i,j)}$ for measuring level and pressure in three steam drums

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่...
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

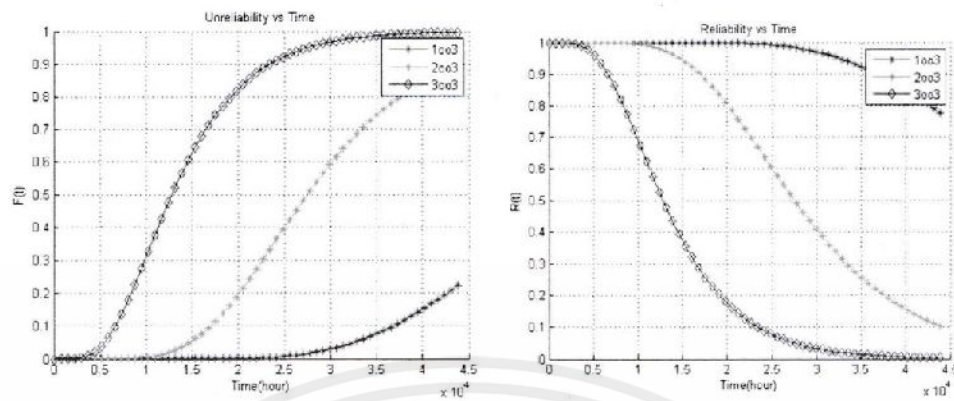


FIGURE 4. $F(t)_{(HRSG)}$ and $R(t)_{(HRSG)}$ for activating the emergency trip of the studied HRSG

reliability $R(t)_{(HRSG)}$ for activating the emergency trip when the studied HRSG control is failed.

5. Conclusions. The reliability modeling of the emergency trip for the triple-pressure HRSG control has been described in this paper. The process-problem shutdown is based on measuring two key parameters in the stream drum with k -out-of- n redundant configurations. The fault tree is used for describing how the studied HRSG is supposed to operate under various fault conditions and for analyzing the probability functions of both reliability and unreliability. The obtained modeling can be useful as a guideline during engineering design to select the voting algorithm configurations suitable for users' requirement. It should be recommended that the installation of measuring devices used for voting schemes must be paid careful attention. In addition, the reliability as well as unreliability of common cause failures in voting algorithm configurations will be examined in the future work.

REFERENCES

- [1] P. Gruhn and H. L. Cheddie, *Safety Instrumented Systems: Design, Analysis and Justification*, ISA, USA, 2006.
- [2] J. Park, W. Liang, J. Choi and J. Cha, A probabilistic reliability evaluation of Korea power system, *Proc. of International Conference on Innovative Computing, Information and Control*, pp.1-4, 2008.
- [3] J. Zhou, L. Li, Z. Li and Q. Zhao, A new method of system reliability evaluation based on the fuzzy theory, *Proc. of International Conference on Innovative Computing, Information and Control*, pp.1005-1008, 2009.
- [4] J. Che, M. Lv, Z. Yang, Z. Wang and F. Xu, Equipment systems reliability analysis based on FTA, *Proc. of International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering*, pp.293-296, 2012.
- [5] M. Takahashi and R. Nanba, A proposal of fault tree analysis for control programs, *Proc. of SICE Annual Conference*, pp.1719-1724, 2014.
- [6] Y. Lee, J. Kim, J. Kim and I. Moon, A verification of fault tree for safety integrity level evaluation, *Proc. of ICROS-SICE International Joint Conference*, pp.5548-5551, 2009.
- [7] T. Thepmanee and S. Junlee, Investigation into nuisance tripping of stream turbine generator due to increase of shaft vibration amplitudes, *ICIC Express Letters, Part B: Applications*, vol.5, no.1, pp.243-250, 2014.
- [8] T. Thepmanee and P. Khamkoon, SIL assessment and implementation case study: A safety instrumented function for overpressure protection in a two-phase gas-liquid separator, *ICIC Express Letters, Part B: Applications*, vol.5, no.1, pp.45-50, 2014.
- [9] R. Manzini, A. Regattieri and H. P. E. Ferrari, *Maintenance for Industrial Systems*, Springer, 2010.
- [10] W. M. Goble, *Control Systems Safety Evaluation and Reliability*, ISA, USA, 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายชัยชาญ ไชยเรือน
วัน เดือน ปีเกิด	26 มีนาคม 2534
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดลำปาง
ที่อยู่	607 หมู่บ้านหนองห้า ซอย 3 หมู่ 7 ต.พระบาท อ.เมือง จ.ลำปาง 52000
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมระบบเครื่องมือวัด จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ (เกียรตินิยมอันดับ 2) ปีการศึกษา 2556
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1. การประเมินและวิเคราะห์ความน่าเชื่อถือของระบบ 2. เครื่องมือวัด , ระบบควบคุมและป้องกันของโรงไฟฟ้า
ประสบการณ์การทำงาน พ.ศ.2556 - ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกรระบบควบคุมและเครื่องมือวัด บริษัท กอล์ฟ เจพี ยูที จำกัด (มหาชน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้