

การออกแบบโมเดลฟังก์ชันนิรภัยสำหรับกระบวนการแก๊สขึ้นปลาย

DESIGN OF FUNCTIONAL SAFETY MODEL FOR TAIL GAS TREATING
PROCESS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2560

KMITL-2017-EN-M-257-128

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบโมเดลฟังก์ชันนิรภัยสำหรับกระบวนการแก๊สขึ้นปลาย

DESIGN OF FUNCTIONAL SAFETY MODEL FOR TAIL GAS TREATING
PROCESS



T148747



เลขหมู่..... 148747
เลขทะเบียน.....
ขึ้นเดือนปี 23 พ.ศ. 2560

00267613

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอัตโนมัติ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ.2560
KMITL-2017-EN-M-257-128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DESIGN OF FUNCTIONAL SAFETY MODEL FOR TAIL GAS TREATING
PROCESS



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN AUTOMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2017
KMUTL-2017-EN-M-257-128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2017

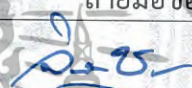
FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การออกแบบโมเดลฟังก์ชันนิรภัยสำหรับกระบวนการแก๊สชั้นปลาย
Thesis Title Design of Functional Safety Model for Tail Gas Treating Process
นักศึกษา นายจิรวัดน์ พุ่มห้วง
รหัสประจำตัว 55613607
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมอัตโนมัติ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ เทพมณี
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2017-EN-M-257-128

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.จิระศักดิ์	ชาญคุณธรรม	
รศ.ดร.ไสว	พงศ์สวัสดิ์	
รศ.ดร.พิทยา	ปานนิล	
รศ.ดร.อัมพวัน	จตุเสวีวงศ์	
ผศ.ดร.ธีรวัฒน์	เทพมณี	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2560 เวลา 15.30-17.30 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติ ห้อง HM-301

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วันที่ 20 กรกฎาคม พ.ศ. 2560

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบโมเดลฟังก์ชันนิรภัยสำหรับ กระบวนการแก๊สขึ้นปลาย
นักศึกษา	นายจิรวัดน์ พุ่มท่วง
รหัสประจำตัว	55613607
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอัตโนมัติ
พ.ศ.	2560
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ เทพมณี

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาการประเมินค่าความเสี่ยงในกระบวนการแก๊สขึ้นปลาย ด้วยวิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน และวิธีการหาความเสี่ยง เพื่อหาค่าระดับความปลอดภัย เป้าหมาย ตามมาตรฐานสากล IEC 61508 และ IEC 61511 หลังจากนั้นดำเนินการออกแบบฟังก์ชันวัดคุนิรภัย และหาค่าระดับความปลอดภัย จากการวิเคราะห์แบบแผนภาพต้นไม้ ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าผลลัพธ์ของการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกันและวิธีการหาความเสี่ยงมีค่าเหมือนกัน แสดงให้เห็นว่าเมื่อการประเมินอยู่บนพื้นฐานตัวแปรเดียวกัน ค่าผลลัพธ์ในการประเมินย่อมเท่ากัน และรูปแบบอุปกรณ์ของฟังก์ชันวัดคุนิรภัย เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลโดยตรงต่อค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของฟังก์ชันวัดคุนิรภัย จากนั้นแสดงการประเมินค่าใช้จ่าย – ผลประโยชน์ของฟังก์ชันวัดคุนิรภัยด้วยวิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน สำหรับกรณีหาค่าระดับความปลอดภัยสูงสุดมาจากการประเมินความเสี่ยงด้านการสูญเสียทรัพย์สิน เพื่อทำการประเมินค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่เพิ่มขึ้นเทียบกับค่าความเสี่ยงที่ลดลงว่ามีความเหมาะสมหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	Design of Functional Safety Model for Tail Gas Treating Process
Student	Mr. Jirawat Poomhuang
Student ID.	55613607
Degree	Master of Engineering
Program	Automation Engineering
Year	2017
Thesis Advisor	Asst.Prof.Dr. Teerawat Thepmanee

ABSTRACT

This thesis aims to study the risk assessment by using layer of protection analysis and risk graph method to determine the safety integrity level requirement, SIL target and design of the safety instrumented system, SIS for the tail gas treating unit by following IEC 61508 and IEC 61511 standard to calculate the average probability of failure on demand, PFD_{avg} then the design of safety instrumented function were done. The experimental show that the subsystem architecture of safety instrumented function has a significant impact on improving the average probability of failure on demand of the process. In this study, Benefit Cost Ratio, BCR method is demonstrated to the cost – benefit evaluation, in case of the highest SIL is resulted from asset & production loss consequence, to determine the additional investment of the highest SIL of safety instrumented function against the given additional risk reduction gained is justified or not.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ เทพมณี ที่ให้ความช่วยเหลือพร้อมทั้งให้คำปรึกษาชี้แนะแนวทางในทุก ๆ เรื่องที่ผ่านมาจนในที่สุดทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ พี่เอกพล ภูพัฒน์ ที่ได้ให้ความรู้ คำปรึกษา และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณทิวช ชูเมือง ที่เขียนหนังสือให้ความรู้ในเรื่องงานวิจัยนี้เป็นภาษาไทยอย่างละเอียดทำให้เข้าใจได้ง่ายขึ้น และเป็นแรงบันดาลใจในการทำงานด้านนี้

ขอขอบคุณ น้องพรพัชรา คำคุณ สำหรับความช่วยเหลือในการเขียนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่ข้าพเจ้า

ธีรวัฒน์ พุ่มห่ม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	IX
รายการสัญลักษณ์.....	X
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 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ระบบวัดคุนิรภัยในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิต.....	4
2.1.1 มาตรฐานระบบวัดคุนิรภัย.....	4
2.1.2 ส่วนประกอบของระบบวัดคุนิรภัย.....	9
2.1.3 ฟังก์ชันวัดคุนิรภัย.....	9
2.2 การลดความเสี่ยง.....	10
2.3 การประเมินความเสี่ยง.....	12
2.3.1 เวลาในการประเมินความเสี่ยง.....	12
2.3.2 การเตรียมงาน.....	12
2.3.3 ผู้ร่วมประเมิน.....	13
2.3.4 เอกสารที่ต้องใช้ในการประเมิน.....	13
2.3.5 ลำดับขั้นตอนในการประเมิน.....	13
2.3.6 เอกสารบันทึกการประเมิน.....	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4 วิธีการพิจารณาค่าระดับความปลอดภัย.....	14
2.4.1 กราฟความเสี่ยง.....	14
2.4.2 การวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน.....	18
2.5 การออกแบบระบบวัดคุมนิรภัย.....	21
2.5.1 ค่าระดับความปลอดภัย.....	21
2.5.2 ค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ.....	23
2.5.3 การวิเคราะห์แบบแผนภาพต้นไม้.....	25
2.6 การเลือกรูปแบบอุปกรณ์ในระบบวัดคุมนิรภัย.....	29
2.7 การหาค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้.....	33
2.8 ค่าใช้จ่ายของระบบนิรภัย.....	34
2.8.1 วิธีการประเมิน.....	34
2.8.2 การประเมินค่าใช้จ่าย - ผลประโยชน์ในการลงทุน.....	35
บทที่ 3 งานวิจัยที่น่าสนใจ.....	38
3.1 กล่าวนำ.....	38
3.2 กรณีศึกษา : กระบวนการแก๊สชั้นปลาย.....	38
3.2.1 รายละเอียดของกระบวนการผลิต.....	38
3.2.2 การระบุสาเหตุและผลกระทบ.....	40
3.3 การหาค่าระดับความปลอดภัย.....	41
3.3.1 การประเมินค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมายด้วยวิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน.....	44
3.3.2 การประเมินค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมายด้วยวิธีการกราฟความเสี่ยง.....	50
3.4 การเปรียบเทียบผลการประเมินความเสี่ยงของฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยด้วยวิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกันและวิธีการกราฟความเสี่ยง.....	56
3.5 การออกแบบฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย.....	56
3.6 การหาค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย.....	57
3.6.1 การหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของระบบย่อย.....	60
3.6.2 การประเมินหาค่าใช้จ่าย - ผลประโยชน์ ด้วยวิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน.....	63

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 บทสรุป.....	67
4.1สรุปผลการดำเนินงาน.....	67
4.2 ข้อเสนอแนะ.....	67
เอกสารอ้างอิง.....	68
ภาคผนวก ก บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.....	69
ภาคผนวก ข ตารางค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์วัดคุนิรภัย.....	78
ประวัติผู้เขียน.....	80



สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตัวอย่างคำจำกัดความของ Severity Level	18
2.2	ตัวอย่างความถี่ของสาเหตุ.....	19
2.3	ตัวอย่างความถี่หรืออัตราการเกิดความผิดพลาดของชั้นการป้องกันอิสระชนิดต่างๆ.....	20
2.4	ค่าระดับความปลอดภัยที่อัตราการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่ำ.....	22
2.5	ค่าระดับความปลอดภัยที่อัตราการเกิดเหตุการณ์อันตรายสูง.....	22
2.6	ค่าการลดความเสี่ยงและค่าระดับความปลอดภัย.....	22
2.7	สัญลักษณ์ชื่อและความหมายของแผนภาพต้นไม้.....	25
2.8	สมการของลอจิกเกต.....	26
2.9	ค่าความผิดพลาดอันตรายของฟังก์ชันวัดคummินิรภัยแบบต่างๆ.....	28
2.10	จำนวนอุปกรณ์ต่ำสุดที่ยอมให้เกิดความผิดพลาดของ PE Logic Solvers ตามมาตรฐาน IEC 61511.....	31
2.11	จำนวนอุปกรณ์ต่ำสุดที่ยอมให้เกิดความผิดพลาดของ Sensor and Final Elements ตามมาตรฐาน IEC 61511.....	31
2.12	จำนวนอุปกรณ์ต่ำสุดที่ยอมให้เกิดความผิดพลาดของ IEC 61508 สำหรับอุปกรณ์ Type A.....	32
2.13	จำนวนอุปกรณ์ต่ำสุดที่ยอมให้เกิดความผิดพลาดของ IEC 61508 สำหรับอุปกรณ์ Type B.....	32
2.14	ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบวัดคummินิรภัย.....	36
3.1	ฟังก์ชันวัดคummินิรภัยสำหรับกระบวนการแก๊สชั้นปลาย.....	40
3.2	ตารางความถี่ของเหตุการณ์ที่ยอมรับได้สำหรับการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน.....	42
3.3	ตารางความถี่ของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นและผลกระทบสำหรับกราฟความเสี่ยง.....	43
3.4	การประเมินความเสี่ยงของฟังก์ชันวัดคummินิรภัยหมายเลข SIF-A.....	44
3.5	การประเมินความเสี่ยงของฟังก์ชันวัดคummินิรภัยหมายเลข SIF-B	44
3.6	การประเมินความเสี่ยงของฟังก์ชันวัดคummินิรภัยหมายเลข SIF-C.....	44
3.7	ตารางผลกระทบที่เกิดจากเหตุการณ์ผิดพลาดของ SIF-A.....	45
3.8	ตารางผลกระทบที่เกิดจากเหตุการณ์ผิดพลาดของ SIF-B	47
3.9	ตารางผลกระทบที่เกิดจากเหตุการณ์ผิดพลาดของ SIF-C	49
3.10	ค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันวัดคummินิรภัยหมายเลข SIF-A.....	52
3.11	ค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันวัดคummินิรภัยหมายเลข SIF-B.....	54
3.12	ค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันวัดคummินิรภัยหมายเลข SIF-C.....	56
3.13	ค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันวัดคummินิรภัยหมายเลข SIF-A, SIF-B และ SIF-C.....	56

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
3.14	รูปแบบอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบสำหรับฟังก์ชันวัดคুমินิรภัยหมายเลข SIF-A.....	57
3.15	ค่าความผิดพลาดอันตรายของฟังก์ชันวัดคুমินิรภัยแบบต่างๆ.....	61
3.16	ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการเทียบกับค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมาย.....	63
3.17	ค่าใช้จ่ายของฟังก์ชันวัดคুমินิรภัยSIF-A รูปแบบที่ SIF-A1 และ SIF-A2.....	64
3.18	ค่าใช้จ่ายเมื่อติดตั้งระบบวัดคুমินิรภัย.....	65



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ของ IEC 61508 และ IEC 61511.....	5
2.2	วงรอบความปลอดภัย ของ IEC 61508.....	6
2.3	วงรอบความปลอดภัย ของ IEC 61511.....	8
2.4	ส่วนประกอบของระบบวัดคัมมิรภัย.....	9
2.5	ตัวอย่างระบบวัดคัมมิรภัยที่มีฟังก์ชันวัดคัมมิรภัย 3 ฟังก์ชัน.....	10
2.6	วิธีการลดความเสี่ยงในโรงงานอุตสาหกรรม.....	11
2.7	กราฟผลกระทบต่อชีวิตคน.....	17
2.8	กราฟความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม.....	17
2.9	กราฟความสูญเสียต่อทรัพย์สิน.....	18
2.10	ไดอะแกรม การวิเคราะห์ขั้นการป้องกัน.....	20
2.11	แผนภาพต้นไม้ของการเกิดเหตุการณ์อันตราย.....	21
2.12	ลำดับขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงเพื่อหาค่าระดับความปลอดภัย.....	24
2.13	ฟังก์ชันวัดคัมมิรภัยในระบบวัดคัมมิรภัย.....	24
2.14	ขั้นตอนการเลือกอุปกรณ์.....	30
2.15	As Low As Reasonably Practicable (ALARP).....	33
2.16	กระบวนการในการประเมิน ALARP.....	34
2.17	ตัวอย่างการประเมิน ALARP.....	35
3.1	แผนภาพกระบวนการแกัสขึ้นปลาย.....	39
3.2	กระบวนการแกัสขึ้นปลาย.....	40
3.3	ผลการประเมินความเสี่ยงด้วยกราฟความเสี่ยงสำหรับฟังก์ชันวัดคัมมิรภัย SIF-A.....	51
3.4	ผลการประเมินความเสี่ยงด้วยกราฟความเสี่ยงสำหรับฟังก์ชันวัดคัมมิรภัย SIF-B.....	53
3.5	ผลการประเมินความเสี่ยงด้วยกราฟความเสี่ยงสำหรับฟังก์ชันวัดคัมมิรภัย SIF-C.....	55
3.6	แผนภาพต้นไม้ของฟังก์ชันออกแบบที่ SIF-A1.....	57
3.7	แผนภาพต้นไม้ของฟังก์ชันออกแบบที่ SIF-A2.....	58
3.8	แผนภาพต้นไม้ของฟังก์ชันออกแบบที่ SIF-A3.....	58
3.9	แผนภาพต้นไม้ของฟังก์ชันออกแบบที่ SIF-A4.....	59
3.10	แผนภาพต้นไม้ของฟังก์ชันออกแบบที่ SIF-A5.....	59
3.11	แผนภาพต้นไม้ของฟังก์ชันออกแบบที่ SIF-A6.....	60

รายการสัญลักษณ์

1001	=	รูปแบบการทำงาน แบบลงมติการทำงานจาก 1 ใน 1 (One out of One voting)
1002	=	รูปแบบการทำงาน แบบลงมติการทำงานจาก 1 ใน 2 (One out of Two voting)
1003	=	รูปแบบการทำงาน แบบลงมติการทำงานจาก 1 ใน 3 (One out of Three voting)
λ	=	อัตราความผิดพลาด (Failure Rate) ครั้งต่อหน่วยเวลา
λ_D	=	อัตราความผิดพลาดอันตราย (Dangerous Failure Rate) ครั้งต่อหน่วยเวลา
ALARP	=	วิธีการหาความเสี่ยงที่ยอมรับได้อย่างมีเหตุผล (as Low as Reasonably Practicable)
BCR	=	อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio)
BPCS	=	ระบบควบคุมพื้นฐาน (Basic Process Control System)
C	=	ผลกระทบต่อชีวิตคน (Consequences Concerning People)
DCS	=	ระบบควบคุมแบบกระจายส่วน (Distributed Control System)
E	=	ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental damage)
E/E/PES	=	อุปกรณ์ทางไฟฟ้าทางอิเล็กทรอนิกส์และโปรแกรมทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electrical/ Electronic/ Programmable Electronic Systems)
ESD	=	ระบบหยุดกระบวนการผลิตฉุกเฉิน (Emergency Shut Down System)
F	=	ระยะเวลาที่มีผู้ปฏิบัติงานอยู่ในบริเวณอันตราย (Frequency of Exposure Time)
FE	=	อุปกรณ์สุดท้าย (Final Element)
FTA	=	การวิเคราะห์แบบแผนภาพต้นไม้ (Fault Tree Analysis)
IEC	=	International Electrotechnical Commission
HOZOP	=	การวิเคราะห์ความเป็นอันตราย (Hazard and Operability Study)
ISA	=	International Standard of Automation
L	=	ความสูญเสียต่อทรัพย์สิน (Asset & Production Loss)
LOPA	=	การวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน (Layer of Protection Analysis)
LS	=	ส่วนประมวลผล (Logic Solver)
P	=	การหลีกเลี่ยงจากบริเวณอันตราย (Possibility of Avoiding)
PFD	=	ค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ (Probability Failure on Demand)
PFD_{avg}	=	ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ (Average Probability of Failure on Demand)
PLC	=	ระบบพีแอลซี (Programmable Logic Controller)
R	=	ความเชื่อมั่น (Reliability)
SE	=	อุปกรณ์การวัด (Sensing Element)
SIF	=	ฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย (Safety Instrumented Function)
SIL	=	ค่าระดับความปลอดภัย (Safety Integrity Level)
SIL_{SIF}	=	ค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย (Safety Integrity Level of SIF)
SIL_{target}	=	ค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมาย (Safety Integrity Level Target)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- SIS = ระบบวัดคุมนิรภัย (Safety Instrumented System)
T_i = ช่วงระยะเวลาในการทดสอบการทำงาน (ปี)
W = อัตราการเกิดเหตุการณ์อันตราย (Demand Rate)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ในกระบวนการผลิตของระบบอุตสาหกรรมต่าง ๆ มีโอกาสและความเสี่ยงที่จะเกิดเหตุการณ์อันตรายได้ในระหว่างขั้นตอนการผลิต ผลกระทบที่ตามมาหลังจากเหตุการณ์อันตรายนั้น อาจก่อให้เกิดความเสียหายหรือความสูญเสียต่อทุก ๆ ส่วนที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต หรือผู้ปฏิบัติงาน เกิดความเสียหายต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ของกระบวนการผลิต เกิดความสูญเสียต่อทรัพย์สิน หรือ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ โดยที่โอกาสและความเสี่ยงที่สำคัญที่ก่อให้เกิดเหตุการณ์อันตรายได้นั้นอาจมาจากหลายสาเหตุด้วยกัน อาทิเช่น ความผิดพลาดของพนักงานที่ปฏิบัติหน้าที่ หรือ ความผิดพลาดของอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่ติดตั้งอยู่ในกระบวนการผลิตนั้น การทำให้ความเสี่ยงที่จะเกิดเหตุการณ์อันตรายในกระบวนการผลิตให้ลดลงอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ระบบวัดคุมนิรภัยจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่ยอมรับนำมาใช้ในการป้องกันความเป็นอันตรายจากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น หรือเพื่อยับยั้งผลกระทบที่จะเกิดขึ้นตามมา

โดยวิธีการที่นิยมใช้ประเมินความเสี่ยงของเหตุการณ์อันตราย เพื่อกำหนดค่าระดับความปลอดภัยนั้นมิตัวด้วยกันหลายวิธี อาทิเช่น กราฟความเสี่ยงตารางเหตุการณ์อันตรายและการวิเคราะห์ชั้นการป้องกันวิธีการที่มีความนิยมใช้ในการกำหนดค่าระดับความปลอดภัยมากที่สุดจะเป็น วิธีการภาพความเสี่ยงและการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน

K. Pornpatchara และคณะ [5] ได้ทำการออกแบบฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย ของกระบวนการแยกสาร 2 เฟส แก๊ส-เหลว และกระบวนการแก๊สชั้นปลาย ด้วยวิธีการภาพความเสี่ยง และคำนวณหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ โดยใช้วิธีการวิเคราะห์แบบแผนภาพต้นไม้ จากนั้นได้ทำการวิเคราะห์และชี้ให้เห็นว่า ช่วงเวลาในการทดสอบ รูปแบบการต่อใช้งานของอุปกรณ์ และวิธีการทดสอบ มีผลต่อการคำนวณค่าระดับความปลอดภัยอย่างมีนัยสำคัญ หลังจากนั้นได้ทำการประเมินค่าใช้จ่าย - ผลประโยชน์ ในการออกแบบฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยที่มีค่าระดับความปลอดภัยสูงโดยวิธีการ ALARP ด้วยสมการ ROACE ผลของการประเมินแสดงให้เห็นได้ว่าการออกแบบฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยเพื่อให้สอดคล้องกับค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมายนั้นมีความสมเหตุสมผลในการลงทุน

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- เพื่อศึกษาการประเมินความเสี่ยงและหาค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย ด้วยวิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน และวิธีการภาพความเสี่ยง หลังจากนั้นทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ ด้วยวิธีการวิเคราะห์แบบแผนภาพต้นไม้ ตามมาตรฐานสากล IEC 61508 และ IEC 61511 สำหรับกระบวนการแก๊สชั้นปลาย
- เพื่อเปรียบเทียบผลของการประเมินความเสี่ยงค่าระดับความปลอดภัยที่ได้จากวิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน และกราฟความเสี่ยง ว่ามีค่าเท่ากันหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เพื่อศึกษาการใช้วิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย ในการประเมินค่าใช้จ่าย - ผลประโยชน์ ในการออกแบบฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีค่าระดับความปลอดภัยสูง ว่ามีความเหมาะสมหรือไม่

1.3 แนวคิดของวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงวิธีการประเมินความเสี่ยงที่อาจเกิดเหตุการณ์อันตรายในกระบวนการผลิตด้วยวิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน และกราฟความเสี่ยง เพื่อหาค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมาย หลังจากนั้นจะทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการประเมินด้วยวิธีทั้งสองว่ามีความแตกต่างกันหรือไม่อย่างไร และแสดงการคำนวณหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ ด้วยการใช้การวิเคราะห์แผนภาพต้นไม้ และทำการประเมินค่าใช้จ่าย - ผลประโยชน์ที่จะได้รับ ด้วยวิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน กับฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ผลการคำนวณหาค่าระดับความปลอดภัยด้านการสูญเสียทรัพย์สิน ที่มีค่าอยู่ในระดับที่สูงและไม่มีผลกระทบต่อความปลอดภัยต่อชีวิต ว่าผลประโยชน์ที่ได้รับนั้นมีความเหมาะสมและคุ้มค่ากับการลงทุนหรือไม่

1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการประเมินความเสี่ยงเพื่อหาค่าระดับความปลอดภัยด้วยวิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน และกราฟความเสี่ยง สำหรับกระบวนการแก๊สชั้นปลาย ทำการออกแบบฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อให้เป็นไปตามค่าเป้าหมายของระดับความปลอดภัยที่ประเมินได้ หลังจากนั้นจึงคำนวณหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ โดยการใช้การวิเคราะห์ด้วยแผนภาพต้นไม้ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของอุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของฟังก์ชันวัตถุประสงค์และการประเมินค่าใช้จ่าย - ผลประโยชน์ด้วยวิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน จะเป็นค่าที่นำมาจากบทความวิจัยของ K. Pornpatchara และคณะ [5]

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 4 บทด้วยกัน คือ

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวถึง ความเป็นมา ความมุ่งหมายและ วัตถุประสงค์ของการศึกษาคำแนะนำเสนอหลักการใหม่ของวิทยานิพนธ์ ขอบเขตวิทยานิพนธ์และ รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึง หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการประเมินความเสี่ยงของเหตุการณ์อันตรายด้วยวิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน และกราฟความเสี่ยง เพื่อหาค่าระดับความปลอดภัย การคำนวณหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการด้วยการวิเคราะห์ด้วยแผนภาพต้นไม้ และการวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย - ผลประโยชน์ ด้วยวิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน

บทที่ 3 เป็นการศึกษาเสนองานวิจัย โดยแสดงการประเมินความเสี่ยงของเหตุการณ์อันตรายด้วยวิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน และกราฟความเสี่ยง เพื่อหาค่าระดับความปลอดภัยและทำการเปรียบเทียบผลของการประเมินด้วยวิธีทั้งสอง การคำนวณและออกแบบฟังก์ชันวัตถุประสงค์ รวมถึงการประเมินค่าใช้จ่าย - ผลประโยชน์ ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในกระบวนการบำบัดแก๊สชั้นปลายที่ใช้เป็นกรณีศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4 เป็นบทสุดท้ายซึ่งจะกล่าวถึงสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในส่วนสุดท้ายของวิทยานิพนธ์เป็นส่วนของภาคผนวกประกอบไปด้วยบทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์และข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย ดังนี้

ภาคผนวก ก บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

ภาคผนวก ข ตารางค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์วัดคัมมิริภัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบวัดคummนิรภัยในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิต

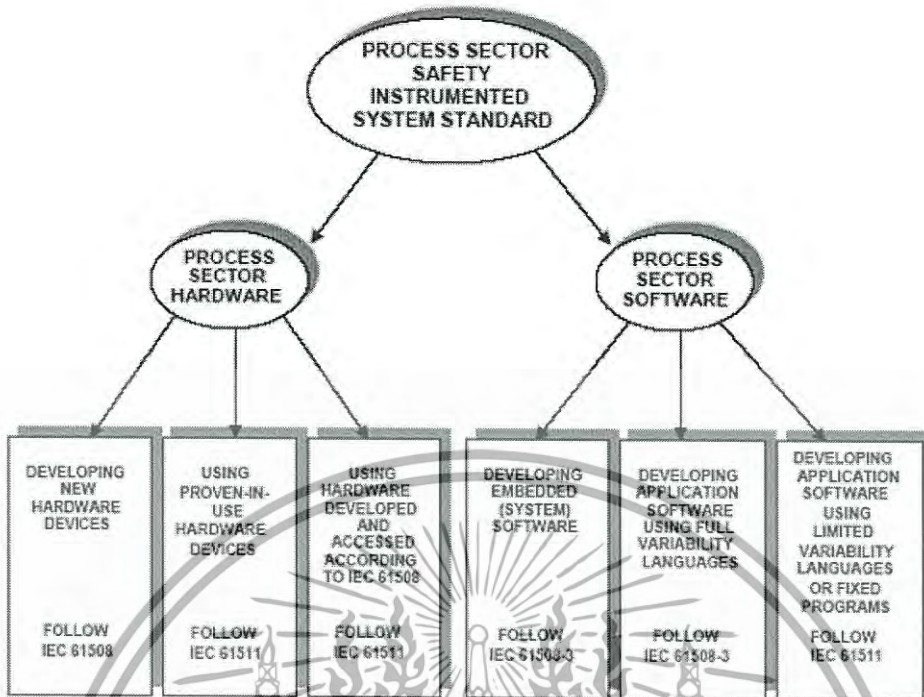
เป็นที่ทราบกันดีว่าในอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตต่าง ๆ อาทิเช่น อุตสาหกรรมปิโตรเคมี โรงกลั่นน้ำมัน จะต้องมีส่วนที่เกี่ยวข้องกับระบบควบคุมและเครื่องมือวัดทางอุตสาหกรรม ด้วยเสมอ โดยระบบควบคุมที่เป็นที่รู้จักกันเป็นส่วนใหญ่ก็คือ ระบบควบคุมแบบกระจายส่วน ซึ่งใช้ในการควบคุมระบบกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ นอกจากนี้ยังมีอีกระบบหนึ่งคือ ระบบวัดคummนิรภัยซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตให้อยู่ในสภาวะที่ปลอดภัยเมื่อเกิดเหตุการณ์อันตรายขึ้น ใช้ในการลดความเสี่ยงต่อเหตุการณ์อันตราย หรืออาจกล่าวได้อีกทางหนึ่งได้ว่า ใช้ในการป้องกันหรือจำกัดขอบเขตความเสียหายที่เกิดจากสาเหตุของเหตุการณ์อันตรายต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เช่น การระเบิด การเกิดเพลิงไหม้ การรั่วของแก๊สพิษ เป็นต้น

ระบบวัดคummนิรภัยเป็นทางเลือกหนึ่งที่ยอมรับนำมาใช้ในการทำให้ความเสี่ยงลดลงอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ ดังนั้นระบบวัดคummนิรภัยจึงต้องมีความเชื่อถือในการทำงานได้สูง และทำงานได้อย่างถูกต้อง ตามที่ได้ออกแบบไว้

2.1.1 มาตรฐานระบบวัดคummนิรภัย

IEC (International Electrotechnical Commission) ได้จัดตั้งคณะกรรมการจากองค์กรต่าง ๆ และผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับระบบวัดคummนิรภัยเพื่อพัฒนาและกำหนดมาตรฐานสำหรับการออกแบบระบบวัดคummนิรภัยที่ครอบคลุมตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบไปจนถึงขั้นตอนการใช้งานมาตรฐานนั้นก็คือ IEC 61508 และ IEC 61511

มาตรฐาน IEC 61508 จะเป็นมาตรฐานในการกำหนดรายละเอียดของระบบวัดคummนิรภัยตั้งแต่ในขั้นตอนการออกแบบกระบวนการผลิตจนถึงขั้นตอนการใช้งานระบบวัดคummนิรภัยและจะใช้ในการกำหนดค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันนิรภัย มาตรฐานเฉพาะสำหรับการกำหนดรายละเอียดของระบบวัดคummนิรภัยจะเป็นมาตรฐาน IEC 61511 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของ IEC 61508 และ IEC 61511 [11]

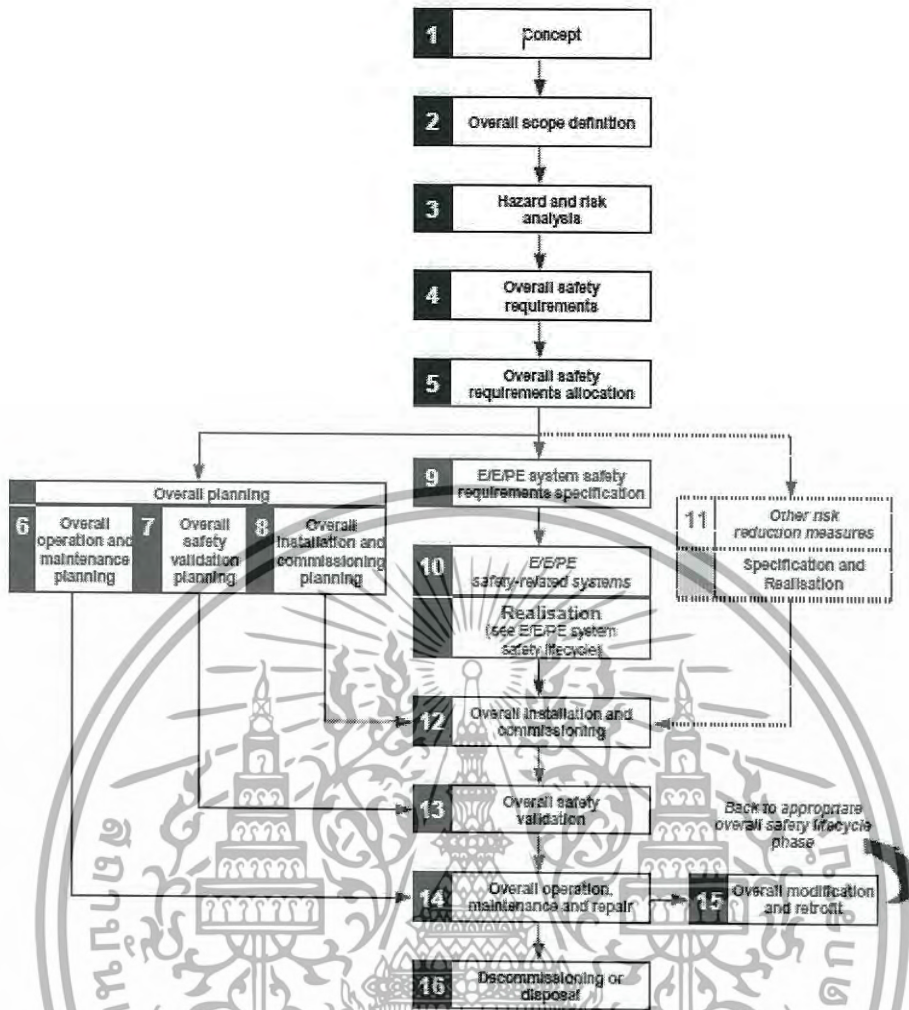
การใช้งานมาตรฐานทั้งสองนั้น สามารถแสดงรายละเอียดดังนี้

ถ้าเป็นผู้ผลิต อุปกรณ์ชิ้นส่วน (Hardware) หรือพัฒนาโปรแกรม (Software Developer) ขึ้นมาใหม่เพื่อนำไปใช้งานในระบบวัดคุมนิรภัย จะต้องดำเนินการให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 61508

สำหรับผู้ใช้งาน (Client) หรือผู้ออกแบบ (Integrator or Designer) ระบบวัดคุมนิรภัยสำหรับอุตสาหกรรมกระบวนการผลิต (Process Industrial Sector) จะต้องดำเนินการให้เป็นไปตามมาตรฐาน IEC 61511

มาตรฐาน IEC 61508 และ IEC 61511 ได้กำหนดลำดับขั้นตอนสำหรับการออกแบบระบบวัดคุมนิรภัยที่มีส่วนประกอบของอุปกรณ์ทางไฟฟ้าทางอิเล็กทรอนิกส์และโปรแกรมทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งลำดับขั้นตอนดังกล่าวจะเรียกว่า วงรอบความปลอดภัย ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 วงรอบความปลอดภัย ของ IEC 61508 [10]

วงรอบความปลอดภัยของ IEC 61508 สามารถแสดงรายละเอียด ได้ดังนี้ [1]

- ขั้นตอนที่ 1 Concept แสดงรายละเอียดการทำงานของกระบวนการผลิต รายละเอียดของอุปกรณ์ภายใต้การควบคุม กำหนดแหล่งกำเนิดสิ่งที่เป็นอันตราย และรายละเอียดของอันตรายที่เกิดขึ้นจากสิ่งที่ทำให้เกิดอันตราย เช่น ความเป็นพิษ การกักร้อน ความไวไฟ เป็นต้น การศึกษาและกำหนดรายละเอียดในขั้นตอนที่ 1 จะเป็นหน้าที่ของผู้ใช้งาน
- ขั้นตอนที่ 2 Overall Scope Definition เป็นการกำหนดขอบเขตของกระบวนการผลิตและระบบควบคุม กำหนดขอบเขตแหล่งที่เป็นอันตรายและการวิเคราะห์ความเสี่ยง การศึกษาและกำหนดรายละเอียดในขั้นตอนที่ 2 จะเป็นหน้าที่ของผู้ควบคุมกระบวนการ และเจ้าของลิขสิทธิ์กระบวนการ
- ขั้นตอนที่ 3 Hazard and Risk Analysis เป็นการกำหนดและหาสาเหตุที่เป็นอันตรายอันเนื่องมาจากอุปกรณ์ต่าง ๆ และระบบควบคุม โดยแสดงรายละเอียดลำดับขั้นตอนของเหตุการณ์ที่จะนำไปสู่อันตราย จากนั้นจัดเตรียมการประเมินค่าความเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์อันตราย การศึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และกำหนดรายละเอียดในขั้นตอนที่ 3 จะเป็นหน้าที่ของวิศวกรกระบวนการ และเจ้าของลิขสิทธิ์กระบวนการ

- ขั้นตอนที่ 4 Overall Safety Requirement เป็นการกำหนดอุปกรณ์นิรภัยที่ใช้ทำหน้าที่ในการลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นในแต่ละเหตุการณ์อันตรายไปสู่ระดับที่ยอมรับได้ ในแต่ละเหตุการณ์อันตราย ทีมงานจะต้องค้นหาและกำหนดค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้ในโรงงาน จากเป้าหมายนี้ทีมงานผู้ออกแบบสามารถตัดสินใจได้ว่าอะไรเป็นค่าความเสี่ยงที่ลดลงในแต่ละฟังก์ชันนิรภัย ข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้จะถูกบันทึกเป็นรายละเอียดความต้องการโดยรวม

- ขั้นตอนที่ 5 Safety Requirement Allocation เป็นการกำหนดอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่จะถูกนำไปใช้ในระบบวัดคุมนิรภัยในแต่ละดับความปลอดภัย

- ขั้นตอนที่ 6 Operation and Maintenance Planning เป็นการพัฒนาและวางแผนหลังการใช้งานระบบวัดคุมนิรภัย เพื่อให้ระบบมีการทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ และจะเป็นการแสดงรายละเอียดสำหรับผู้ปฏิบัติงาน ต่อระบบวัดคุมนิรภัย รวมไปถึงการวางแผนในการซ่อมบำรุง

- ขั้นตอนที่ 7 Validation Planning เป็นการวางแผนในการตรวจสอบการทำงานของระบบวัดคุมนิรภัย เพื่อยืนยันการทำงานของระบบวัดคุมนิรภัยให้ตรงกับความต้องการ การวางแผนจะต้องพัฒนาให้มีส่วนประกอบดังนี้

- เวลาในการตรวจสอบ
- บุคลากรในการตรวจสอบ
- รายละเอียดของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับระบบวัดคุมนิรภัย
- กำหนดอุปกรณ์ที่ต้องตรวจสอบ

- ขั้นตอนที่ 8 Installation and Commissioning Planning เป็นการพัฒนาและวางแผนการติดตั้ง ทดสอบการทำงานที่ควบคุมได้ ซึ่งประกอบไปด้วยสิ่งต่าง ๆ ดังนี้

- แผนการติดตั้ง
- ขั้นตอนการติดตั้ง
- ขั้นตอนการประกอบอุปกรณ์
- แผนการทดสอบการทำงาน
- ขั้นตอนการทดสอบการทำงาน

- ขั้นตอนที่ 9 Realizations เป็นลำดับขั้นตอนที่ต้องการสำหรับการจัดหาระบบวัดคุมนิรภัยที่ผ่านการทดสอบการทำงานเรียบร้อยแล้ว พร้อมทั้งจะนำไปติดตั้งที่โรงงาน ข้อมูลที่อยู่ในรายละเอียดความต้องการจะเป็นข้อมูลที่ใช้ในการทดสอบการทำงานของระบบวัดคุมนิรภัย ที่โรงงานผู้ผลิตให้เป็นไปตามรายละเอียดที่กำหนดไว้

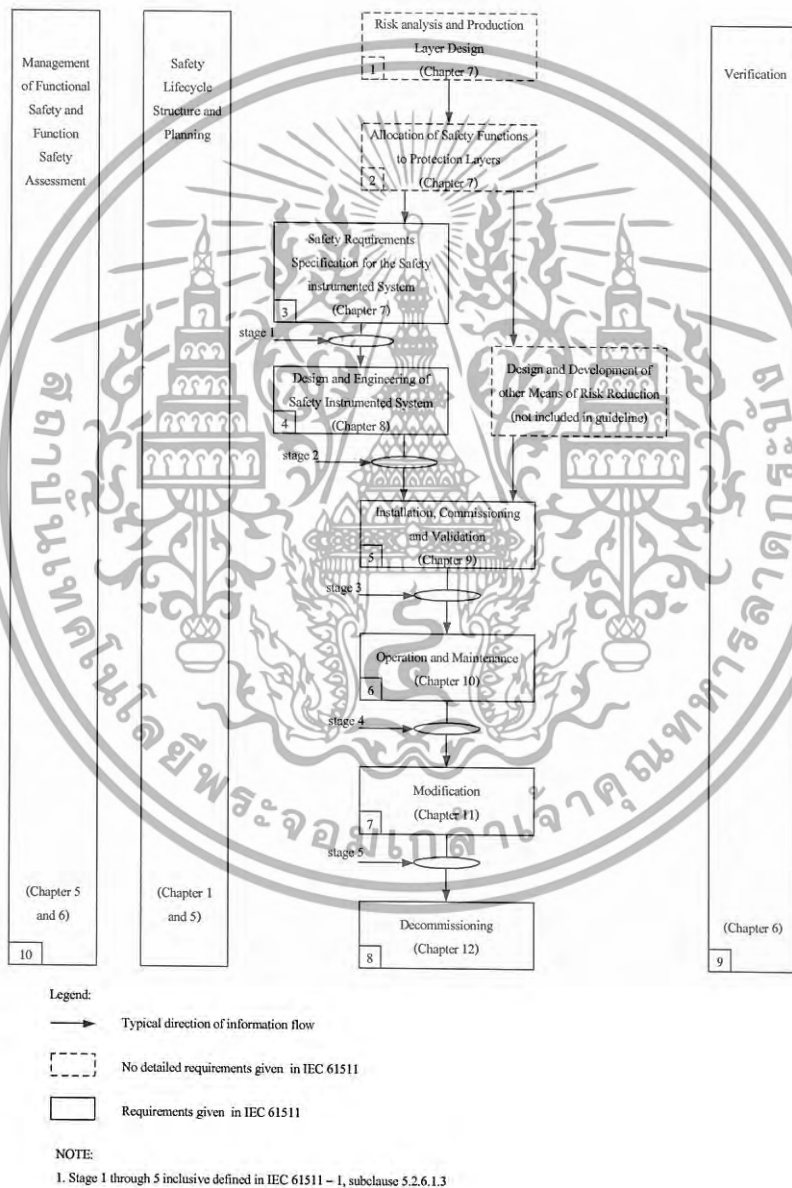
- ขั้นตอนที่ 10 และ 11 External Safety System เป็นการลดความเสี่ยงจากอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ไม่ใช่ระบบวัดคุมนิรภัย ที่ประกอบไปด้วยส่วนประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ และการโปรแกรมทางอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งจะไม่แสดงรายละเอียดในวงรอบความปลอดภัยนี้

- ขั้นตอนที่ 12 Installation and Commissioning เป็นขั้นตอนในการติดตั้งและทดสอบการทำงาน

- ขั้นตอนที่ 13 Overall Safety Validation เป็นการตรวจสอบการทำงานตามที่ได้วางแผนไว้ และต้องบันทึกเป็นเอกสารสำหรับอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ขั้นตอนที่ 14 Overall Operation, Maintenance and Repair เป็นรายละเอียดในการปฏิบัติงานกับระบบวัดคุมนิรภัยไปตลอดอายุการใช้งาน ซึ่งรวมถึง การตรวจสอบการทำงานและการซ่อมบำรุง ในขั้นตอนนี้จะเป็นหน้าที่ของฝ่ายซ่อมบำรุงและผู้ปฏิบัติงาน
- ขั้นตอนที่ 15 Overall Modification and Retrofit เป็นรายละเอียดขั้นตอนต่าง ๆ เมื่อต้องการเปลี่ยนแปลงแก้ไขในส่วนใด ๆ ของระบบนิรภัย โดยการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ต้องมีการตรวจสอบตามลำดับขั้นตอนของวงรอบความปลอดภัย
- ขั้นตอนที่ 16 Decommissioning or Disposal เป็นรายละเอียดขั้นตอนในการหยุดทำงานระบบวัดคุมนิรภัย ซึ่งบางครั้งอาจต้องมีระบบนิรภัยอื่น ๆ เข้ามาทดแทนสำหรับในส่วนที่ต้องการจะทำการหยุด



รูปที่ 2.3 วงรอบความปลอดภัย ของ IEC 61511 [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

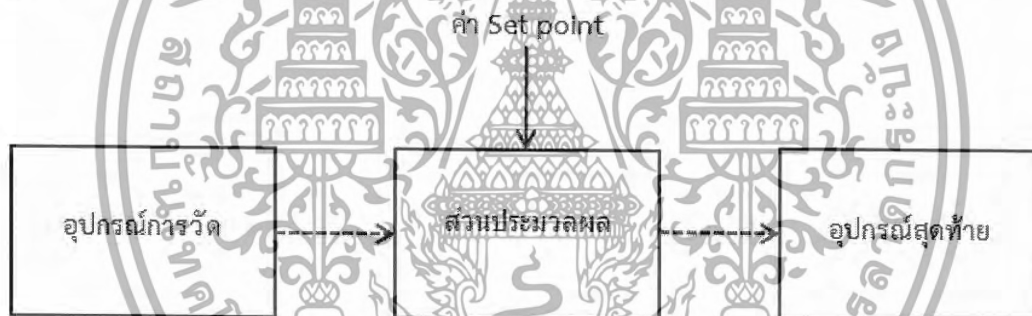
2.1.2 ส่วนประกอบของระบบวัดคุมนิรภัย

1. อุปกรณ์การวัด เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดสภาวะของกระบวนการผลิตและเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต ให้เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้ามาตรฐาน 4 ถึง 20 มิลลิแอมแปร์ (mA) ที่แรงดันไฟฟ้า 24 โวลท์กระแสตรง (VDC) เพื่อส่งไปยังส่วนประมวลผล อุปกรณ์การวัดที่ใช้ในระบบวัดคุมนิรภัยนี้อาจมีมากกว่าหนึ่งตัวที่ทำงานร่วมกันขึ้นอยู่กับอัตราความผิดพลาด ว่าอยู่ในค่าที่ต้องการกล่าวหรือไม่

2. ส่วนประมวลผล เป็นส่วนที่ใช้สำหรับประมวลผลทางตรรกะของระบบวัดคุมนิรภัยเพื่อใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตให้อยู่ในสภาวะปลอดภัยเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นโดยการรับสัญญาณมาจากอุปกรณ์การวัดเพื่อมาทำการเปรียบเทียบกับค่าที่กำหนด และจากนั้นจะส่งสัญญาณแบบดิจิทัลไปยังอุปกรณ์สุดท้าย (สัญญาณจะเป็นปิดหรือเปิด 0% หรือ 100 % เท่านั้น) ส่วนประมวลผลจะประกอบด้วยอุปกรณ์หลัก ๆ ดังนี้ แหล่งจ่ายพลังงานตัวประมวลผลกลางส่วนรับและส่งสัญญาณส่วนติดต่อสื่อสารและโปรแกรมในการทำงาน

3. อุปกรณ์สุดท้าย เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าจากส่วนประมวลผลส่วนใหญ่จะเป็นสัญญาณไฟฟ้า แรงดัน 24 VDC หรือ 220 VAC / 50 Hz. ไปทำการปิดและเปิดอุปกรณ์สุดท้ายเช่น วาล์วนิรภัย หรือชุดควบคุมมอเตอร์

การทำงานของระบบวัดคุมนิรภัยจะถูกแบ่งออกได้เป็นฟังก์ชันนิรภัย ได้หลายฟังก์ชันซึ่งในแต่ละฟังก์ชันจะประกอบไปด้วย 3 ส่วน ดังนี้ อุปกรณ์การวัด ส่วนประมวลผล และ อุปกรณ์สุดท้าย ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.4

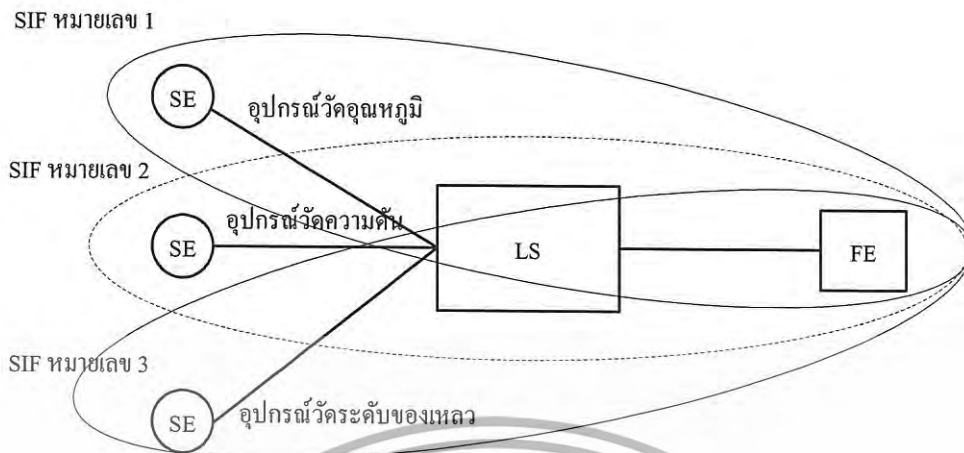


รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของระบบวัดคุมนิรภัย [1]

2.1.3 ฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย

จากหัวข้อ 2.1.1 ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้น ระบบวัดคุมนิรภัยประกอบด้วย 3 ส่วนย่อยคืออุปกรณ์การวัด ส่วนประมวลผล และอุปกรณ์สุดท้าย ซึ่งในระบบวัดคุมนิรภัยหนึ่ง ๆ อาจจะมีหลายฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย เช่นฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยที่ใช้ป้องกัน เมื่อกระบวนการผลิตมีอุณหภูมิสูงมากหรือมีความดันสูงมาก เป็นต้น รูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างระบบวัดคุมนิรภัยที่ประกอบด้วยฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย 3 ฟังก์ชัน (หรือ SIF) โดย SIF หมายเลข 1 คือฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยที่ป้องกันกระบวนการผลิตเมื่อมีอุณหภูมิสูงหรือต่ำมาก ดังนั้นอุปกรณ์การวัดจะวัดได้เฉพาะอุณหภูมิ ในขณะที่ SIF หมายเลข 2 คือฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยที่ป้องกันกระบวนการผลิตเมื่อมีความดันสูงหรือต่ำมาก อุปกรณ์การวัดจึงวัดความดันได้เพียงอย่างเดียวและ SIF หมายเลข 3 คือ ฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยที่ป้องกันกระบวนการผลิตเมื่อมีระดับของเหลวสูงหรือต่ำมากและอุปกรณ์การวัดจึงวัดเฉพาะระดับของเหลวเท่านั้นโดยทั้งสาม SIF นี้จะใช้ส่วนประมวลผลและอุปกรณ์สุดท้ายชุดเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

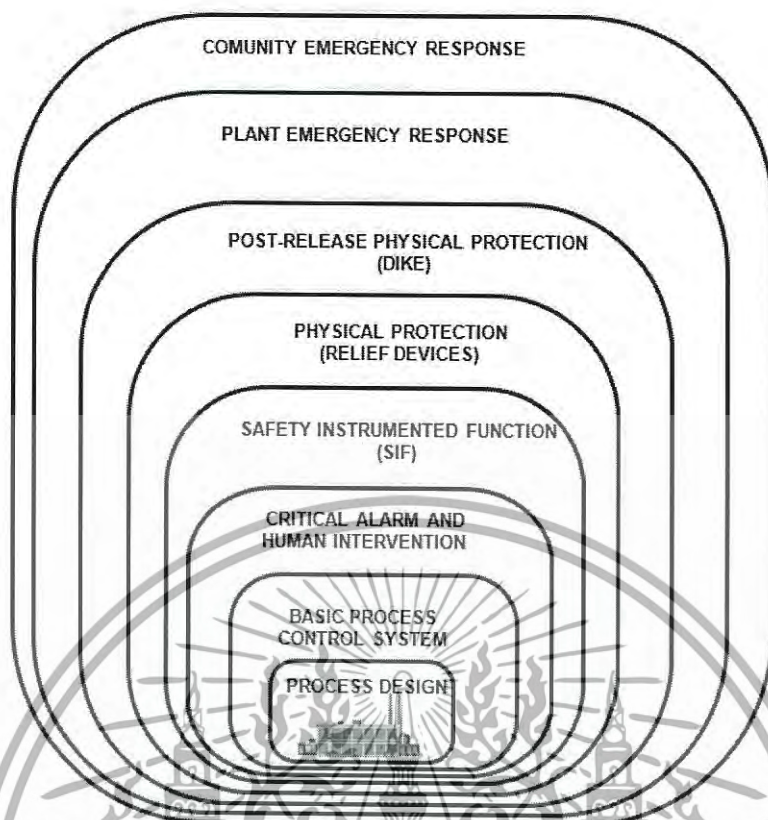


รูปที่ 2.5 ตัวอย่างระบบวัดคุมนิรภัยที่มีฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย 3 ฟังก์ชัน [1]

โดย SIF หมายเลข 1, 2 และ 3 ใช้ป้องกันกระบวนการผลิตโดยทำการตรวจสอบอุณหภูมิความดันและระดับของเหลวตามลำดับ

2.2 การลดความเสี่ยง

การหาวิธีการป้องกันต่าง ๆ ที่จะนำมาลดความเสี่ยงให้อยู่ในค่าเป้าหมายที่ต้องการได้จากขั้นตอนการการออกแบบระบบวัดคุมนิรภัยตามมาตรฐานได้กำหนดให้มีการวิเคราะห์หาค่าความเสี่ยงที่จะเกิดเหตุการณ์อันตรายในกระบวนการผลิตที่ได้ทำการออกแบบ และขั้นตอนหลังจากนั้นจะเป็นการประเมินผลกระทบที่เกิดขึ้นจากเหตุการณ์อันตรายนั้น โดยถ้าผลกระทบที่เกิดขึ้นส่งผลต่อชีวิตของบุคคล สิ่งแวดล้อม และทรัพย์สิน หรือผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตได้ มีความจำเป็นที่จะต้องมีการลดความเสี่ยงต่อเหตุการณ์อันตรายที่เกิดขึ้นให้อยู่ในค่าที่ยอมรับได้ ซึ่งค่าที่ยอมรับได้นั้นจะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของผู้ใช้งานหรือโรงงานนั้น ๆ ว่า จะยอมรับค่าความเสี่ยงเหล่านั้นได้มากน้อยที่ระดับค่าไหน หรือตามข้อกำหนดของกฎหมายที่เกี่ยวข้อง โดยวิธีการลดความเสี่ยงด้วยวิธีต่าง ๆ ที่สามารถพบได้ในกระบวนการผลิตทั่วไปสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.6 [2]



รูปที่ 2.6 วิธีการลดความเสี่ยงในโรงงานอุตสาหกรรม

จากรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าวิธีการลดความเสี่ยงที่ใช้โรงงานอุตสาหกรรมที่พบเห็นได้โดยทั่วไป จะเริ่มจากการออกแบบกระบวนการผลิตให้มีความปลอดภัยในการทำงาน โดยกระบวนการผลิตจะถูกควบคุมการผลิตด้วยระบบควบคุมพื้นฐาน หรือระบบควบคุมแบบกระจายส่วน ซึ่งจะมีการจัดเตรียมสัญญาณเตือน เพื่อแจ้งเตือนต่อพนักงานที่ทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการผลิตเมื่อเกิดความผิดปกติขึ้นในกระบวนการผลิต โดยที่พนักงานจะทำการตอบสนองต่อสัญญาณเตือนที่เกิดขึ้น เพื่อทำการแก้ไขหรือยังยั้งความผิดปกตินั้นให้กลับสู่สภาวะปกติ แต่ถ้าเกิดความผิดปกติในหลายส่วนหรือพนักงานไม่สามารถตอบสนองได้ทันต่อหรือใช้เวลาเกินกว่าเวลาปลอดภัยของกระบวนการ ก็จะเป็นหน้าที่ของระบบวัดคุมนิรภัยในการทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้เกิดเหตุการณ์อันตรายขึ้นตามฟังก์ชันนิรภัยที่ได้ถูกออกแบบไว้ อาทิเช่น สั่งให้เครื่องจักรหยุดการทำงาน สั่งปิดวาล์วนิรภัยต่าง ๆ ในกระบวนการผลิต หรือในบางกระบวนการผลิตจะมีการติดตั้งระบบนิรภัยทางกล เช่น วาล์วนิรภัยทางกล เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะทำงานเมื่อถึงค่าที่กำหนดไว้ แต่ในบางครั้งในกรณีที่ เกิดเหตุการณ์อันตราย เช่น เพลิงไหม้ หรือสารเคมีเกิดการรั่วไหล ระบบนิรภัยในส่วนนี้ก็ยัง จะทำงานโดยการส่งสัญญาณแจ้งเตือนความเป็นอันตรายในบริเวณที่เกิดสารเคมีรั่วไหล หรือทำการสั่งเปิดระบบฉีดน้ำดับเพลิงในจุดที่เกิดเหตุเพลิงไหม้ แต่ในกรณีที่เหตุการณ์อันตรายไม่สามารถควบคุมให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนดก็ต้องมีแผนอพยพออกจากบริเวณที่เกิดเหตุ หรือ ถ้าเหตุการณ์มีความรุนแรงหรือลุกลาม ออกนอกบริเวณโรงงานออกไปสู่ชุมชนรอบ ๆ จะต้องแจ้งเตือนให้มีการอพยพในลำดับต่อไป จะเห็นได้ว่าในการออกแบบกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมตามมาตรฐานสากลนี้จะต้องทำการพิจารณาการป้องกันหรือลดความเสี่ยงต่อเหตุการณ์อันตรายที่อาจจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกิดขึ้น ซึ่งระบบการป้องกันเหล่านี้จะเป็นทางเลือกให้ผู้ออกแบบใช้สำหรับในการลดค่าความเสี่ยงของเหตุการณ์อันตรายลงได้

2.3 การประเมินความเสี่ยง

การประเมินความเสี่ยงหรืออาจเรียกได้อีกหลายชื่อ อาทิเช่น SIL Review หรือ SIL study จะเป็นกระบวนการที่ใช้กำหนดค่าระดับความปลอดภัย ให้กับฟังก์ชันนิรภัยที่ทำการพิจารณาและจะเป็นกิจกรรมหลักที่ต้องดำเนินการอยู่ในขั้นตอนที่ 4 ของวงรอบความปลอดภัย วัตถุประสงค์หลักของการประเมินความเสี่ยงหรือการกำหนดค่าระดับความปลอดภัยเป็นดังนี้

- เพื่อประเมินโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์อันตราย
- เพื่อประเมินความรุนแรงของผลกระทบที่จะเกิดขึ้น
- เพื่อจัดเตรียมการลดความเสี่ยงอันตรายให้อยู่ในค่าที่ยอมรับได้

หลังจากขั้นตอนการวิเคราะห์ความเป็นอันตรายของกระบวนการผลิตด้วยวิธีการวิเคราะห์ความเป็นอันตราย หรือวิธีการอื่น ๆ มาแล้ว จะทำให้ทราบได้ว่าส่วนใดของกระบวนการผลิตที่อาจมีความเสี่ยงต่อเหตุการณ์อันตรายเกิดขึ้นจากตัวแปรที่พิจารณาในการวิเคราะห์ความเป็นอันตราย เช่น ความดันสูงเกิน อัตราการไหลน้อยเกินไป ระดับของเหลวในถังสูงเกินไปหรืออุณหภูมิสูงเกินไป เป็นต้น ซึ่งค่าตัวแปรเหล่านี้จะเป็นสาเหตุให้เกิดอันตรายขึ้นได้ จึงต้องมีการจัดเตรียมฟังก์ชันนิรภัยเข้าไปในการออกแบบเพื่อใช้ลดความเสี่ยงลงให้อยู่ในค่าที่ยอมรับได้ ซึ่งฟังก์ชันนิรภัยที่ได้ถูกกำหนดไว้จากขั้นตอนการวิเคราะห์ความเป็นอันตรายจะยังไม่ได้มีการประเมินความเสี่ยงว่ามีความรุนแรงมากน้อยเพียงใดอย่างละเอียดหรือยังไม่ได้มีการกำหนดค่าระดับความปลอดภัยให้กับฟังก์ชันนิรภัยจึงทำให้ผู้ออกแบบระบบนิรภัยไม่สามารถออกแบบหรือเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสมได้

ดังนั้นจึงต้องมีการหาค่าระดับความปลอดภัยโดยการประเมินค่าความเสี่ยงต่อเหตุการณ์อันตราย และผลกระทบที่จะเกิดขึ้นตามมา โดยพื้นฐานในการประเมินความเสี่ยงจะสันนิษฐานว่ายังไม่มีฟังก์ชันนิรภัยใดที่ต้องการได้จัดเตรียมไว้

2.3.1 เวลาในการประเมินความเสี่ยง

ระยะเวลาที่เหมาะสมในการประเมินความเสี่ยงจะเป็นเวลาหลังจากที่ได้ทำการวิเคราะห์ความเป็นอันตรายของกระบวนการผลิตหรือการทำการวิเคราะห์ความเป็นอันตรายเสร็จแล้ว ในช่วงเวลานี้จะมีการออกแบบที่สมบูรณ์และมีความถูกต้องในการประเมิน นอกจากนี้ยังสามารถทำการเปลี่ยนแปลงหรือเพิ่มเติมอุปกรณ์เพื่อให้ได้ค่าความเสี่ยงอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ การประเมินความเสี่ยงหลังจากการทำการวิเคราะห์ความเป็นอันตราย ยังสามารถใช้ข้อมูลต่าง ๆ จากการทำการวิเคราะห์ความเป็นอันตราย มาเป็นข้อมูลในการประเมินหาความเสี่ยงได้เป็นอย่างดี เช่น สาเหตุเริ่มต้น (Cause) ของเหตุการณ์อันตรายหรือผลกระทบ (Consequence) จากเหตุการณ์อันตราย เป็นต้น

2.3.2 การเตรียมงาน

การวางแผนที่ดีจะทำให้การประเมินความเสี่ยงประสบผลสำเร็จได้เป็นอย่างดี การวางแผนเป็นการทำให้แน่ใจว่า การออกแบบมีความสมบูรณ์เพียงพอและสามารถตอบคำถามในช่วงการประเมินได้อย่างชัดเจน ผู้ที่จะเข้าร่วมในการประเมินความเสี่ยง ควรจะมีการเชิญก่อนล่วงหน้าเพื่อให้มีเวลาในการเตรียมข้อมูลที่จะนำมาอ้างอิงในการประเมิน ก่อนเริ่มทำการประเมิน ผู้รับผิดชอบโครงการ ต้องจัดเตรียมรายการฟังก์ชันที่จะถูกนำมาประเมิน หรือผู้ดำเนินการ (Facilitator) จะร่วมดำเนินการเพื่อให้ได้รายการฟังก์ชันที่จะนำมาประเมิน โดยรายละเอียดของฟังก์ชันจะเป็นดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ตัวแสดงฟังก์ชัน (Function Identifier)
- รายละเอียดการป้องกันของฟังก์ชัน (Function Description)
- แผนภาพกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้อง (Reference P&ID)

ผู้ดำเนินการต้องทำการตรวจสอบให้แน่ใจว่ารายละเอียดของฟังก์ชันและข้อมูลอ้างอิงมีความสมบูรณ์เพียงพอที่จะใช้ในการประเมิน ซึ่งการประเมินอาจถูกเลื่อนออกไปได้ถ้าผู้ดำเนินการเห็นว่าข้อมูลยังไม่พร้อม

2.3.3 ผู้ร่วมประเมิน

วิธีดำเนินการกำหนดค่าระดับความปลอดภัยจะกระทำได้โดยการประชุมเพื่อระดมความคิดจากหลาย ๆ ฝ่ายที่เกี่ยวข้อง มาตรฐาน IEC 61511 ได้มีข้อเสนอว่าอย่างน้อยส่วนที่เกี่ยวข้องที่ควรต้องเข้าร่วมการประเมินค่าความเสี่ยงเพื่อกำหนดค่าระดับความปลอดภัย จะมีดังนี้

- ผู้นำการประเมิน (Chair man)
- ผู้เชี่ยวชาญด้านสาเหตุการเกิดอันตรายและอันตรายจากเหตุการณ์ต่าง ๆ (Risk Assessment)
- วิศวกรกระบวนการที่ออกแบบ (Design Firm's Area Process Engineer)
- วิศวกรกระบวนการผลิต (Plant Process Engineer)
- ผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัยและการป้องกัน (Safety Specialist)
- หน่วยงานการดำเนินงาน (Operation Department)
- หน่วยงานบำรุงรักษา (Maintenance Department)
- วิศวกรระบบเครื่องมือวัด (Instrument Engineer)

ซึ่งการประเมินจะเป็นการระดมความคิดเห็นจากผู้เข้าร่วมประเมินการประเมินความเสี่ยงต่อเหตุการณ์อันตรายจะมีวิธีการประเมินได้หลายวิธีซึ่งจะแสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อ 2.4

2.3.4 เอกสารที่ต้องใช้ในการประเมิน

ในการประเมินจะต้องมีข้อมูลที่ใช้อ้างอิงหรือแสดงรายละเอียดในระหว่างการแสดงความคิดเห็น โดยเอกสารที่จำเป็นในการประเมินความเสี่ยงจะเป็นดังนี้

- แผนภาพกระบวนการผลิต (P&ID)
- รายงานผลลัพธ์จาก HAZOP (HAZOP Report)
- แผนผังโรงงานโดยรวม (General Plot Plan)
- Cause & Effect Diagrams
- ข้อมูลการศึกษาความอันตราย (HSE Report) และมูลค่าความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น
- ข้อมูลความผิดพลาดของอุปกรณ์ต่าง ๆ

2.3.5 ลำดับขั้นตอนในการประเมิน

เพื่อให้การประเมินเป็นไปในทางเดียวกันและช่วยทำให้การประเมินมีความถูกต้องมากขึ้น ผู้ดำเนินการควรจะต้องจัดทำลำดับขั้นตอนในการประเมินความเสี่ยงซึ่งจะแสดงรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนว่าจะทำอะไรบ้างและจะใช้วิธีการใดในการประเมิน สำหรับลำดับขั้นตอนในการประเมินความเสี่ยงจะแสดงรายละเอียดในหัวข้อ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 เอกสารบันทึกการประเมิน

ผู้ดำเนินการประเมินจะต้องทำการบันทึกข้อมูลในระหว่างการประเมินเพื่อใช้เป็นเอกสารในการอ้างอิงสำหรับการออกแบบต่อไป โดยรายละเอียดของเอกสารจะเป็นดังนี้

- ขอบเขตของการประเมิน
- เวลาและผู้เข้าร่วมการประเมิน
- ฟังก์ชันที่ทำการประเมิน
- ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมิน

โดยเอกสารบันทึกการประเมินจะต้องถูกส่งให้กับผู้เกี่ยวข้องอย่างเป็นทางการเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตรวจสอบการออกแบบ (Verification) ต่อไป

2.4 วิธีการพิจารณาค่าระดับความปลอดภัย

มาตรฐาน IEC 61508 ได้แสดงวิธีการกำหนดค่าระดับความปลอดภัยที่ต้องการ ไว้หลายวิธีดังนี้

- วิธีเชิงปริมาณ (Quantitative Method)
- กราฟความเสี่ยง ซึ่งถูกแสดงในมาตรฐานนี้เป็นวิธีเชิงคุณภาพ (Qualitative Method)
- ตารางเหตุการณ์อันตราย ซึ่งเป็นวิธีเชิงคุณภาพ อีกวิธีหนึ่ง

มาตรฐาน IEC 61511 ได้แสดงวิธีการกำหนดค่าระดับความปลอดภัยที่ต้องการเป็นดังนี้

- วิธี Semi-Quantitative
- วิธี Safety Layer Matrix ซึ่งถูกแสดงเหมือนวิธี Semi-Quantitative Method
- กราฟความเสี่ยง ถูกแสดงในรูปแบบวิธีเชิงคุณภาพ
- กราฟความเสี่ยง ที่ถูกปรับเทียบแล้ว ซึ่งถูกแสดงในมาตรฐานเป็นแบบ Semi-Quantitative Method แต่บางผู้ใช้งานจะใช้เป็นแบบ Semi-Quantitative
- วิธีการกราฟความเสี่ยง ถูกแสดงในรูปแบบวิธีเชิงคุณภาพ
- การวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน

วิธีการที่มีความนิยมใช้ในการกำหนดค่าระดับความปลอดภัย มากที่สุดจะเป็น วิธีการกราฟความเสี่ยง และการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนของอุตสาหกรรมกระบวนการผลิต ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการประเมินค่าความเสี่ยงดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.4.1 กราฟความเสี่ยง

วิธีการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธี กราฟความเสี่ยง เป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับคามนิยมใช้งาน วิธีการกราฟความเสี่ยง ถูกแสดงอยู่ใน มาตรฐาน IEC 61511-3 เป็นวิธีที่ถูกปรับเทียบให้มีความพร้อมใช้ในการประเมินความเสี่ยงที่จะเกิดเหตุการณ์อันตรายสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตทั่วไป

การประเมินจะกระทำในทุกฟังก์ชันนิรภัย ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินจะเป็นค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมายที่ต้องการของฟังก์ชันนิรภัยแต่ละฟังก์ชัน การกำหนดเกณฑ์ความเสี่ยงที่ยอมรับได้จะขึ้นอยู่กับผู้ปฏิบัติงาน วัฒนธรรมและกฎเกณฑ์สิ่งแวดล้อมของพื้นที่ ที่จะนำมาตรฐานนี้ไปใช้งานโดยการตั้งเกณฑ์ประกอบด้วย 2 หลักการดังต่อไปนี้

- เกณฑ์เชิงคุณภาพ (Qualitative criteria) เป็นการบ่งบอกถึงความเป็นไปได้ที่จะเกิดเหตุการณ์ เช่น บางทีบ่อยครั้ง ไม่น่าเป็นไปได้ เป็นต้น และบ่งบอกถึงผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นหลังเกิดเหตุการณ์ เช่น ใหญ่กว่า เล็กลง รุนแรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เกณฑ์เชิงปริมาณ (Quantitative criteria) เป็นการบ่งบอกถึงปริมาณหรือจำนวนอัตราที่จะเกิดเหตุการณ์และความรุนแรงของเหตุการณ์ เช่น ภายใน 1 ปี หรือเกิน 1 ปีแต่ไม่เกิน 10 ปี เป็นต้น

ในการประเมินความเสี่ยงของอุปกรณ์ภายใต้การควบคุมจำเป็นต้องใช้เครื่องมือในการประเมินความเสี่ยง กราฟความเสี่ยงและตารางความเสี่ยงเป็นเครื่องมือที่ IEC 61508 และ IEC 61511 ได้ระบุให้ใช้ในการประเมินความเสี่ยงและจะต้องมีการปรับเทียบก่อน หลักการปรับเทียบเกณฑ์ความเสี่ยงและกราฟความเสี่ยงซึ่งจะถูกปรับเทียบจากคุณลักษณะของการใช้งานและให้สอดคล้องกับความเสี่ยงและให้เหมาะสมกับสิ่งแวดล้อม โดยใช้หลักการตัวอย่างในภาคผนวก D ของ IEC 61508 ส่วนที่ 5 หรือในภาคผนวก D ของ IEC 61511 ส่วนที่ 3

กราฟความเสี่ยงจะประกอบไปด้วยกราฟที่สำคัญ 3 กราฟ ดังต่อไปนี้

- กราฟผลกระทบต่อชีวิตคน
- กราฟความสูญเสียต่อทรัพย์สิน
- กราฟความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม

โดยตัวแปรในกราฟความเสี่ยงที่ใช้ในการวิจัยมีดังนี้

1. อัตราการเกิดเหตุการณ์ หรือ ความถี่ของการเกิดเหตุการณ์ (Demand rate, W)

ในการประเมินจะเป็นการเริ่มพิจารณาในรายละเอียดของฟังก์ชันนิรภัยที่ทำการประเมินว่าจะอะไรเป็นสาเหตุที่จะนำไปสู่เหตุการณ์อันตราย ทราบถึงสาเหตุแล้วจึงทำการประเมินและกำหนดอัตราเกิดสาเหตุนั้น โดยอาศัยได้จากพื้นฐานข้อมูลที่เชื่อถือได้จากบริษัทชั้นนำหรือจากประสบการณ์ของพนักงานที่เกี่ยวข้อง ในที่นี้ได้แบ่งอัตราการเกิดเหตุการณ์ (W) เป็น 5 ระดับดังนี้

W1 หมายถึง อัตราการเกิดเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นเมื่อเวลาเกิน 1000 ปี (Very Low)

W2 หมายถึง อัตราการเกิดเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในช่วงเวลา 100 ปีแต่ไม่เกิน 1000 ปี (Low)

W3 หมายถึง อัตราการเกิดเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในช่วงเวลา 10 ปีแต่ไม่เกิน 100 ปี (Medium)

W4 หมายถึง อัตราการเกิดเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในช่วงเวลา 1 ปีแต่ไม่เกิน 10 ปี (High)

W5 หมายถึง อัตราการเกิดเหตุการณ์ที่อาจเกิดขึ้นในเวลาภายใน 1 ปี (Very High)

2. ผลกระทบต่อชีวิตคน (Consequences Concerning People, C)

ในที่นี้ได้แบ่งผลกระทบต่อชีวิตคน (C) เป็น 5 ระดับดังนี้

C₀ หมายถึง ไม่มีการบาดเจ็บ (No Impact)

C_A หมายถึง บาดเจ็บปานกลาง ต้องหยุดพักงาน (Minor Injury)

C_B หมายถึง บาดเจ็บสาหัสหรือมีคนเสียชีวิต 1 คน (Serious Injury, Death to one people)

C_C หมายถึง มีคนเสียชีวิตมากกว่า 1 คนแต่ไม่มาก (Death to several people)

C_D หมายถึง มีคนเสียชีวิตจำนวนมาก (Multiple Fatality)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ระยะเวลาที่มีผู้ปฏิบัติงานอยู่ในบริเวณอันตราย (Frequency and Exposure Time, F)
 ในที่นี้ได้แบ่งระยะเวลาที่มีผู้ปฏิบัติงานอยู่ในบริเวณอันตราย (F) เป็น 2 ระดับดังนี้

F_A หมายถึง การมีผู้ปฏิบัติงานและผู้เกี่ยวข้องอยู่ในบริเวณที่อาจจะเกิดเหตุการณ์
 น้อยกว่าครึ่งวัน (Half of The Time)

F_B หมายถึง การมีผู้ปฏิบัติงานและผู้เกี่ยวข้องอยู่ในบริเวณที่อาจจะเกิดเหตุการณ์
 มากกว่าครึ่งวัน (Always People Around)

4. การหลีกเลี่ยงจากบริเวณอันตราย (Possibility Alert Hazard, P)

ในที่นี้ได้แบ่งการหลีกเลี่ยงจากบริเวณอันตราย (P) เป็น 2 ระดับดังนี้

P_A หมายถึง สามารถที่จะหลีกเลี่ยงจากเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นได้ (Possible Under Certain
 Conditions)

P_B หมายถึง ไม่สามารถที่จะหลีกเลี่ยงจากเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นได้ (Almost
 Impossible)

5. ความสูญเสียต่อทรัพย์สิน (Asset & Production Loss, L)

ความสูญเสียต่อทรัพย์สินได้รวมถึงค่าใช้จ่ายที่ต้องทำการซ่อมหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ค่าแรงในการ
 ซ่อมหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ค่าสูญเสียผลผลิตและค่าสูญเสียคุณภาพของผลผลิตรวมทั้งค่าปรับที่ไม่สามารถส่ง
 ผลิตรถยนต์ให้ลูกค้าได้ในที่นี้ได้แบ่งความสูญเสียต่อทรัพย์สิน (L) เป็น 5 ระดับ

L_0 หมายถึง ไม่มีการสูญเสียหรือมีการสูญเสีย คิดเป็นเงินเล็กน้อยกว่า 33,000 บาท (No
 Operation Upset / No Damage to Equipment)

L_A หมายถึง สูญเสียเล็กน้อยมากคิดเป็นเงินอยู่ในช่วง 33,000 ถึง 330,000 บาท
 (Minor operation upset / Minor damage to equipment)

L_B หมายถึง สูญเสียเล็กน้อยแต่ไม่ต้องหยุดกระบวนการผลิตคิดเป็นเงินอยู่ในช่วง
 330,000 ถึง 3,300,000 บาท (Moderate operation upset / Moderate
 damage to equipment)

L_C หมายถึง สูญเสียปานกลางแต่ต้องหยุดกระบวนการผลิตเป็นช่วงสั้น ๆ คิดเป็นเงิน
 อยู่ในช่วง 3,300,000 ถึง 33,000,000 บาท (Major operation upset /
 Major damage to equipment)

L_D หมายถึง สูญเสียมากและต้องหยุดกระบวนการผลิตเป็นเวลานานคิดเป็นเงินมากกว่า
 330,000,000 เหรียญสหรัฐ (Major Damage to Essential Equipment)

6. ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental damage, E)

ในที่นี้ได้แบ่งความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม (E) เป็น 6 ระดับดังนี้

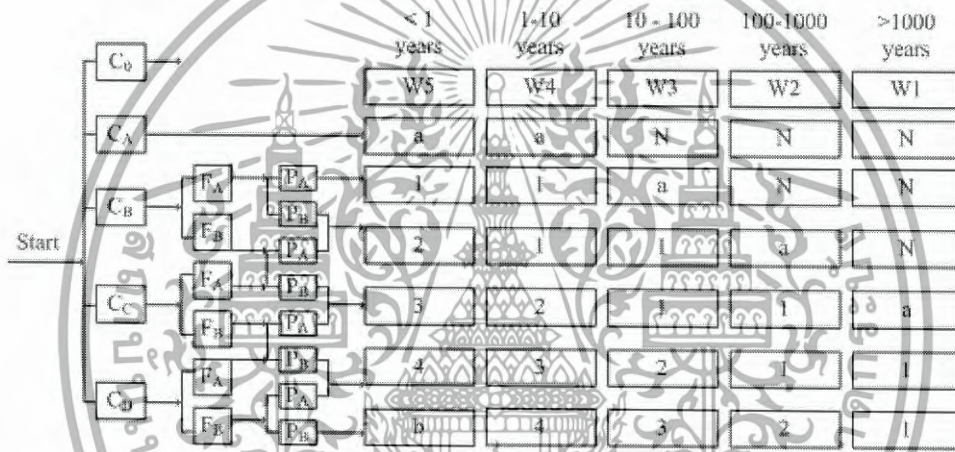
E_0 หมายถึง ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (No Release/ No Effect)

E_A หมายถึง กระทบต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อยมาก (Release with Slight Damage to
 Environment)

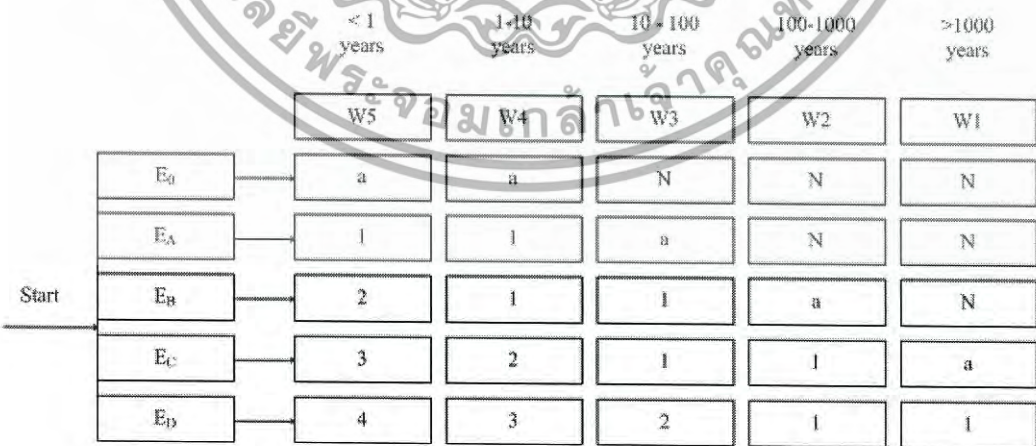
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- E_B หมายถึง กระทบต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย (Release within fence significant damage to environment)
- E_C หมายถึง กระทบต่อสิ่งแวดล้อมชั่วคราวแต่ออกไปภายในขอบเขต (Release outside fence major with temporary damage to environment)
- E_D หมายถึง กระทบต่อสิ่งแวดล้อมถาวรและออกไปภายนอกขอบเขต (Release outside Fence Major with Permanent Major Damage to Environment)

ในการประเมินความเสี่ยงต่อเหตุการณ์อันตรายที่อาจเกิดขึ้นจะใช้กราฟความเสี่ยง เพื่อหาค่าระดับความปลอดภัย ซึ่งค่าระดับความปลอดภัยจะขึ้นอยู่กับอัตราการเกิดเหตุการณ์และความเสียหายต่อชีวิตคนทรัพย์สินและสิ่งแวดล้อมดังแสดงในรูปที่ 2.7 2.8 และ 2.9



รูปที่ 2.7 กราฟผลกระทบตอชีวิตคน



รูปที่ 2.8 กราฟความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		< 1 years	1-10 years	10 - 100 years	100-1000 years	>1000 years
		W5	W4	W3	W2	W1
Start	L _D	a	a	N	N	N
	L _A	1	a	a	N	N
	L _B	2	1	a	a	N
	L _C	3	2	1	a	a
	L _D	4	3	2	1	a

รูปที่ 2.9 กราฟความสูญเสียต่อทรัพย์สิน

สัญลักษณ์และความหมายของผลลัพธ์ในกราฟ

N หมายถึงไม่ต้องกำหนดค่าความปลอดภัย (No Safety Requirements)

a หมายถึงกำหนดให้มีสัญญาณเตือน (Alarm Requirements)

1,2,3,4 หมายถึงค่าระดับความปลอดภัย (Safety Integrity Level, SIL)

2.4.1 การวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน

วิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน ถูกพัฒนาขึ้นโดย American Institute of Chemical Engineers สำหรับใช้เป็นวิธีการประเมินค่าระดับความปลอดภัย ที่ต้องการของฟังก์ชันนิรภัย วิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกันเป็นวิธีที่เริ่มจากจัดทำรายการของความอันตรายจากกระบวนการผลิตทั้งหมด ตามการกำหนด โดยการวิเคราะห์ความเป็นอันตราย หรือเทคนิคการกำหนดอันตรายอื่น ๆ และความอันตรายถูกวิเคราะห์ในรูปของ

- ผลกระทบ (Impact Event Description)
- ประเมินความรุนแรงของผลกระทบ (Severity Level)
- รายละเอียดของสาเหตุทั้งหมดที่ทำให้เกิดผลกระทบ (Initiating Causes)
- ประเมินความถี่ของสาเหตุ (Initiation Likelihood)

ระดับความรุนแรงอาจถูกแสดงในรูปแบบ Semi-quantitative ด้วยเป้าหมายย่านความถี่ ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างคำจำกัดความของ Severity Level

Severity	Consequence	Target Mitigated Event Likelihood
Minor	Serious injury at worst	No specific requirement
Serious	Serious permanent injury or Up to 3 fatalities	$< 3 \times 10^{-6}$ per year, or 1 in $> 330,000$ years
Extensive	4 - 5 fatalities	$< 2 \times 10^{-6}$ per year, or 1 in $> 500,000$ years
Catastrophic	> 5 fatalities	Use F-N curve

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรืออาจถูกแสดงในรูปแบบจำนวนความอันตรายที่กำหนด ซึ่งสามารถถูกอ้างอิงไปยัง F-N Curve ในทางคล้ายคลึงกันความถี่ของสาเหตุอาจถูกแสดงแบบ Semi-quantitative ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ตัวอย่างความถี่ของสาเหตุ

Initiation Likelihood	Frequency Range
Low	< 1 in 10,000 year
Medium	1 in > 100 to 10,000 years
High	1 in 100 years

หรืออาจถูกแสดงในรูปแบบการประมาณจำนวนที่กำหนดจุดแข็งของวิธีนี้เป็นการจำแนกว่าอุตสาหกรรมกระบวนการผลิต โดยปกติมีการป้องกันหลายชั้น เทียบกับสาเหตุของการนำไปสู่เหตุการณ์อันตราย ชั้นการป้องกันจะเป็นดังนี้

1. การออกแบบกระบวนการ ดังตัวอย่างเช่น มีการออกแบบที่ลดโอกาสของการสูญเสีย การเก็บกักไว้หรือการจุดระเบิด ถ้ามีการรั่วไหลสารไวไฟออกมา ซึ่งเป็นการลดโอกาสของการเกิดไฟไหม้หรือการระเบิด
2. ระบบควบคุมพื้นฐาน ความผิดพลาดของฟังก์ชันควบคุมจะเป็นสาเหตุหลัก ๆ ของการเกิดอันตราย อย่างไรก็ตามอาจมีการควบคุมอิสระซึ่งสามารถป้องกันผลกระทบได้และช่วยลดความถี่ของเหตุการณ์
3. สัญญาณเตือน การจัดเตรียมสัญญาณซึ่งเป็นอิสระจากระบบควบคุมพื้นฐานและมีเวลาเพียงพอให้ผู้ปฏิบัติการตอบสนองต่อสัญญาณเตือนนั้น สามารถให้การเฝ้าระวังในสัญญาณเตือนสำหรับลดโอกาสการเกิดเหตุการณ์อันตราย
4. การยับยั้ง การจำกัดพื้นที่ ถ้ามีเหตุการณ์เกิดขึ้นอาจมีการจำกัดการเข้าไปในพื้นที่อันตราย (เทียบได้กับตัวแปร F ในวิธีการความเสี่ยง) หรือการหลบหนีออกจากพื้นที่อันตราย (เทียบได้กับตัวแปร P ในวิธีการความเสี่ยง) ซึ่งช่วยลดระดับความรุนแรงจากเหตุการณ์ได้
5. ชั้นการป้องกันอิสระ จำนวนบรรทัดฐานต้องมีความเหมาะสม โดยเป็นชั้นการป้องกันที่มีตัวแปรลดความเสี่ยง มากกว่าหรือเท่ากับ 100 โดยที่วาล์วนิรภัยทางกลและ Bursting Disk เป็นอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสม ซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้จะต้องสามารถลดความเสี่ยงได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ อุปกรณ์ดังกล่าวจะต้องมีการทดสอบการทำงานเป็นประจำด้วยเช่นกัน เพื่อลดโอกาสในการเกิดความผิดพลาดที่อุปกรณ์เหล่านี้จะไม่ทำงานได้ ตัวอย่างอัตราการผลิตความผิดพลาดอันตรายของชั้นการป้องกันอิสระสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างความถี่หรืออัตราการเกิดความผิดพลาดของชั้นการป้องกันอิสระชนิดต่าง ๆ

ชั้นการป้องกันอิสระ (Independent Protection Layer : IPL)	อัตราการเกิด หน่วย ครั้งต่อปี (PFD per year)
Control Loop	1×10^{-1}
Relief Valve	1×10^{-2}
Human performance (trained, no stress)	1×10^{-2}
Human performance (under stress)	0.5 to 1
Operator Response to Alarm	1×10^{-1}

จากพื้นฐานบนความถี่ของสาเหตุ และค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการของชั้นการป้องกันอิสระทั้งหมด ตามรายการข้างบน ความถี่ค่ากลางของเหตุการณ์สำหรับผลกระทบและสาเหตุสามารถคำนวณได้ ขั้นตอนการเปรียบเทียบสำหรับสาเหตุทั้งหมดกับค่าความถี่เป้าหมาย สามารถเปลี่ยนไปเป็นค่าระดับความปลอดภัย ที่ต้องการได้ดังสมการที่ 2.1

$$PFD_{avg} = \text{Tolerable Hazard rate (h)} / \text{Calculate Demand Rate (d)} \quad (2.1)$$

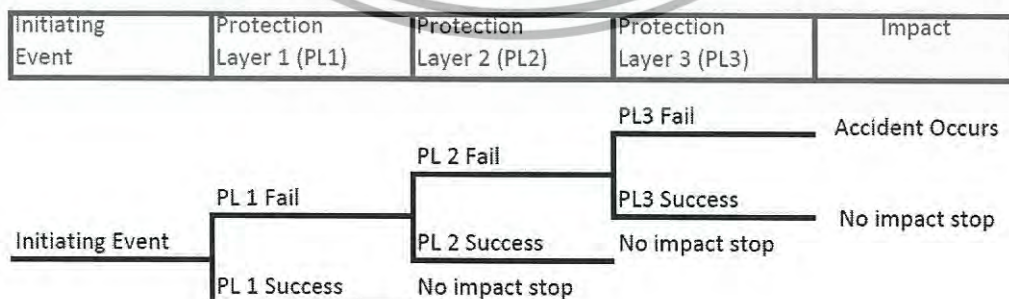
เมื่อ

PFD_{avg} = ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ

Tolerable Hazard rate (h) = อัตราการเกิดอันตรายที่ยอมรับได้

Calculate Demand Rate (d) = อัตราการเกิดอันตรายที่ได้จากการคำนวณหรือประเมิน

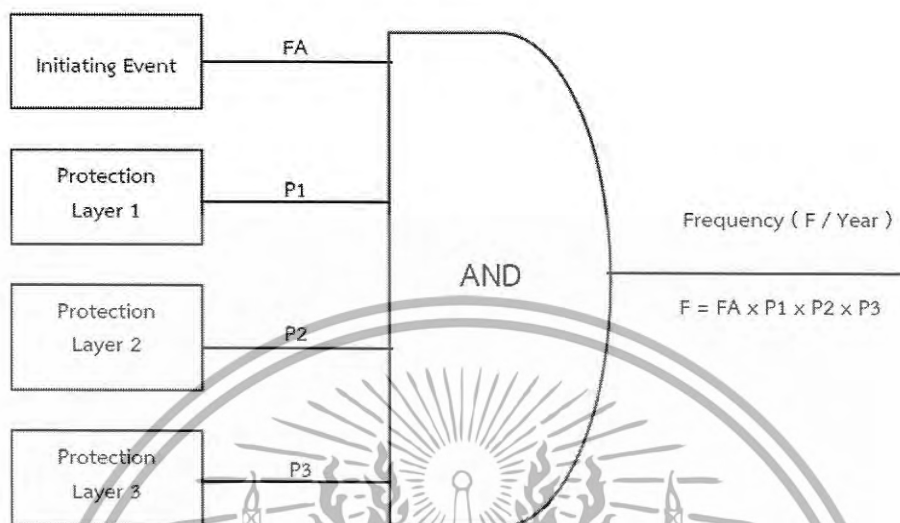
ตัวอย่างในการประเมินหาค่าระดับความปลอดภัยที่ต้องการด้วยวิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกันในรูปแบบ Even tree เป็นอีกวิธีที่สามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ความเป็นอันตรายและความเสี่ยงได้ โดยแสดงเป็นไดอะแกรมที่ใช้แสดงรายละเอียดของเหตุการณ์อันตรายที่เกิดขึ้น โดยเริ่มต้นตั้งแต่ต้นเหตุของเหตุการณ์อันตราย จากนั้นแสดงระบบการป้องกันในแต่ละชั้นที่สามารถใช้ในการลดความอันตรายต่อเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น และแสดงผลกระทบของเหตุการณ์เมื่อชั้นระบบการป้องกันมีความผิดพลาดในการทำงาน สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ไดอะแกรม การวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากไดอะแกรม การวิเคราะห์ขั้นการป้องกัน การหาค่าความเป็นไปได้ของการเกิดเหตุการณ์อันตราย (Likelihood) ในเชิงจำนวน จะสามารถหาได้โดยใช้ Fault tree diagram ดังแสดงได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 Fault Tree Diagram ของการเกิดเหตุการณ์อันตราย

สมการค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายสำหรับไดอะแกรม การวิเคราะห์ขั้นการป้องกัน สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.2

$$F = FA \times P1 \times P2 \times P3 \quad (2.2)$$

เมื่อ

- F = ค่าความถี่ของเหตุการณ์อันตรายต่อปีหลังการป้องกัน
- FA = ค่าความถี่ของเหตุการณ์อันตรายต่อปีก่อนการป้องกัน
- P1 = ความผิดพลาดในการทำงานของการป้องกันขั้นที่ 1
- P2 = ความผิดพลาดในการทำงานของการป้องกันขั้นที่ 2
- P3 = ความผิดพลาดในการทำงานของการป้องกันขั้นที่ 3

2.5 การออกแบบระบบวัดคุมนิรภัย

2.5.1 ค่าระดับความปลอดภัย

ระบบวัดคุมนิรภัยจะถูกใช้งานในการทำหน้าที่ป้องกันหรือจำกัดขอบเขตความเสียหายของกระบวนการอันเนื่องมาจากความผิดปกติของกระบวนการ ความผิดพลาดที่เกิดจากฟังก์ชันการควบคุมหรือความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบนิรภัยเอง ดังนั้นมาตรฐาน IEC 61508 จึงได้มีการกำหนดค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ ของฟังก์ชันนิรภัยต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบวัดคุมนิรภัยสำหรับนำไปใช้ในการป้องกันหรือจำกัดขอบเขตความเสียหายซึ่งค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรียกว่า ค่าระดับความปลอดภัย ของฟังก์ชันนิรภัย ในระบบวัดคัมมิรภัย โดยค่าระดับความปลอดภัยจะถูกแบ่งออกได้ เป็น 4 ระดับ ตามช่วงค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายช่วง ๆ ละสิบเท่า ค่าระดับความปลอดภัยจะแสดงตามค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ เวลาที่ต้องการเป็นสถานะที่เกินจุดกำหนดความปลอดภัยของตัวแปรที่วัดได้จากกระบวนการผลิต ถ้าเวลาที่ต้องการเกิดขึ้นและระบบไม่สามารถทำงานได้ในเวลาที่กำหนด อันตรายจากเหตุการณ์นั้นจะเกิดขึ้น

ตารางที่ 2.4 แสดงค่าระดับความปลอดภัยทั้ง 4 ระดับของการใช้งานในกระบวนการผลิตที่มีอัตราการเกิดเหตุอันตรายต่ำ ซึ่งเป็นสถานะที่ใช้งานในอุตสาหกรรมการผลิตทั่วไป

ตารางที่ 2.4 ค่าระดับความปลอดภัยที่อัตราการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่ำ [10]

ค่าระดับความปลอดภัย (Safety Integrity Level)	Low demand mode of operation (PFD_{avg} to perform its design function on demand)
4	$< 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$
3	$< 10^{-4}$ to $< 10^{-3}$
2	$< 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$
1	$< 10^{-2}$ to $< 10^{-1}$

ตารางที่ 2.5 แสดงค่าระดับความปลอดภัยทั้ง 4 ระดับ ของการใช้งานในกระบวนการผลิตที่มีอันตรายการเกิดเหตุการณ์อันตรายสูง

ตารางที่ 2.5 ค่าระดับความปลอดภัยที่อัตราการเกิดเหตุการณ์อันตรายสูง [10]

ค่าระดับความปลอดภัย (Safety Integrity Level)	High demand mode of operation (PFD_{avg} to perform its design function on demand)
4	$< 10^{-9}$ to $< 10^{-8}$
3	$< 10^{-8}$ to $< 10^{-7}$
2	$< 10^{-7}$ to $< 10^{-6}$
1	$< 10^{-6}$ to $< 10^{-5}$

ตารางที่ 2.6 ค่าการลดความเสี่ยงและค่าระดับความปลอดภัย [10]

ค่าระดับความปลอดภัย (Safety Integrity Level)	Average probability of failure on demand (PFD_{avg})	Risk Reduction Factor (RRF)
4	< 0.0001	$> 10,000$
3	$< 10^{-4}$ to $< 10^{-3}$	1000 - 10,000
2	$< 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$	100 - 10,000
1	$< 10^{-2}$ to $< 10^{-1}$	10 - 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 ค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ

การคำนวณหาค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ ของอุปกรณ์ฟังกซ์ชันวัดคัม นิรภัยจะต้องมีการกำหนดระยะเวลาสำหรับทดสอบเมื่อเวลาการใช้งานของอุปกรณ์ผ่านไปหลังจาก ทดสอบการทำงานแล้วพบการทำงานที่ผิดพลาด ก็จะทำให้การซ่อมแซมให้กลับมาใช้งานได้ตามปกติทันที สามารถหาค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ จากสมการที่ 2.1 สำหรับการหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ สามารถหาได้จากการสมการที่ 2.3 มา อินทิเกรตในช่วงเวลาที่ต้องการทดสอบ

$$PFD = \lambda_D T_i \quad (2.3)$$

ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ (PFD_{avg})

$$PFD_{avg} = \left(\frac{1}{T}\right) \int_0^T \lambda_D T_i dt$$

$$PFD_{avg} = \frac{1}{2} \lambda_D T_i \quad (2.4)$$

PFD = ค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ

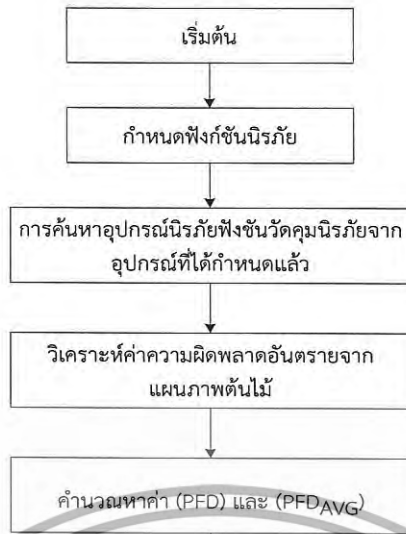
PFD_{avg} = ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ

λ_D = อัตราความผิดพลาดอันตรายหน่วยครั้ง/ชั่วโมง หรือ ครั้ง/ปี

T_i = ช่วงเวลาในการทดสอบอุปกรณ์หน่วยชั่วโมง หรือ ปี

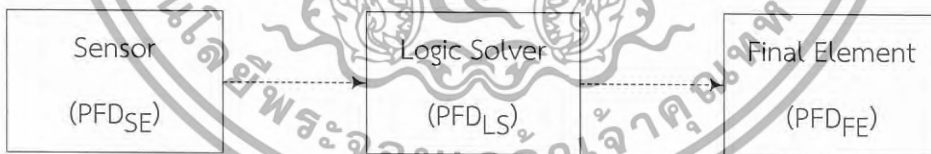
ขั้นตอนการหาค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันวัดคัม นิรภัย จะเป็นการกำหนดรูปแบบการทำงานและแสดงรายละเอียดของอุปกรณ์วัดคัม นิรภัยทั้ง 3 ส่วนคือ อุปกรณ์การวัด ส่วนประมวลผล และ อุปกรณ์สุดท้ายเมื่อทราบทั้ง 3 ส่วนแล้ว ให้วิเคราะห์ค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ ของฟังก์ชันวัดคัม นิรภัยโดยใช้การวิเคราะห์แบบแผนภาพต้นไม้ จากนั้นนำสมการที่วิเคราะห์ได้ ไปคำนวณหาค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ และค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ แล้วนำค่าไปเทียบกับตารางระดับความปลอดภัย โดยแสดงลำดับขั้นตอนได้ ดังรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ลำดับขั้นตอนการประเมินความเสี่ยงเพื่อหาค่าระดับความปลอดภัย

ค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ ของฟังก์ชันวัดคูนิรภัยจะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนดังนี้ อุปกรณ์การวัด ส่วนประมวลผล อุปกรณ์สุดท้าย ซึ่งในแต่ละส่วนจะมีค่าความผิดพลาดอันตรายของตัวเอง โดยแสดงสมการผลรวมค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ฟังก์ชันวัดคูนิรภัยในระบบวัดคูนิรภัย

$$PFD_{avg} = PFD_{SE} + PFD_{LS} + PFD_{FE} \tag{2.5}$$

เมื่อ

- PFD_{avg} = ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ
- PFD_{SE} = ค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการของอุปกรณ์การวัด
- PFD_{LS} = ค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการของส่วนประมวลผล
- PFD_{FE} = ค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการของอุปกรณ์สุดท้าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การวิเคราะห์แบบแผนภาพต้นไม้

การวิเคราะห์แบบแผนภาพต้นไม้ เป็นการวิเคราะห์ปัญหาจากด้านบนลงไปสู่สาเหตุของปัญหา โดยใช้แอนด์เกต (AND Gate) หรือออร์เกต (OR Gate) เพื่อหาความเชื่อมโยงของสาเหตุต่าง ๆ ที่สนับสนุนให้เกิดความผิดพลาดขึ้น การวิเคราะห์แบบแผนภาพต้นไม้ เป็นตัวช่วยแสดงปัญหาในระบบที่ซับซ้อนเป็นวิธีการที่ใช้รวบรวมความผิดพลาดต่าง ๆ ที่เป็นสาเหตุให้เกิดปัญหาซึ่งจะแสดงแต่ละส่วนของระบบที่เกี่ยวข้องกับความผิดพลาดผลลัพธ์ของ การวิเคราะห์แบบแผนภาพต้นไม้จะเป็นแผนภาพที่รวบรวมเหตุการณ์ที่ทำให้ระบบเกิดความผิดพลาด

ตารางที่ 2.7 สัญลักษณ์ชื่อและความหมายของแผนภาพต้นไม้

สัญลักษณ์	ชื่อ	ความหมาย
	AND Gate (สาเหตุหลายสาเหตุ)	เหตุการณ์จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุหลายสาเหตุของเหตุการณ์ย่อย
	OR Gate (สาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง)	เหตุการณ์จะเกิดขึ้นได้เนื่องจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่งของเหตุการณ์ย่อย
	Basic Event (เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้โดยปกติ)	เหตุการณ์ย่อยที่เกิดขึ้นได้ตามปกติซึ่งทราบถึงสาเหตุที่เห็นได้อย่างชัดเจนโดยไม่ต้องทำการวิเคราะห์สาเหตุต่อไป ถือเป็นสาเหตุแรกของอุบัติภัย
	Fault Tree Event (เหตุการณ์ย่อย)	เหตุการณ์ย่อยที่ส่งผลให้เกิดเหตุการณ์ต่อเนื่องจนเป็นเหตุให้เกิดอุบัติภัย
	Undeveloped Event (เหตุการณ์ที่วิเคราะห์ต่อไปไม่ได้)	เหตุการณ์ย่อยที่ไม่ต้องการวิเคราะห์สาเหตุต่อไปเนื่องจากไม่มีข้อมูลสนับสนุน
	External Event (เหตุการณ์ภายนอก)	เหตุการณ์ย่อยภายนอกหรือปัจจัยภายนอกที่เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญลักษณ์และความหมายที่ใช้ในการวิเคราะห์แบบแผนภาพต้นไม้ ในปัจจุบันนี้ มีสัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์หลายสัญลักษณ์ บางครั้งผู้ใช้งานอาจจะดัดแปลงให้เหมาะสมกับลักษณะงานที่จะนำไปใช้ อย่างไรก็ตามเพื่อให้เนื้อหาอยู่ในขอบเขต ในที่นี้จะเสนอโครงสร้างและสัญลักษณ์ที่จำเป็นต้องนำมาใช้ โดยแต่ละสัญลักษณ์จะแสดงถึงเหตุการณ์และผลลัพธ์ที่จะเกิดขึ้นและมีลอจิกพื้นฐานแสดงในตารางที่ 2.7

ขั้นตอนในการเริ่มต้นทำการวิเคราะห์แบบแผนภาพต้นไม้ ต้องมีความเข้าใจและรู้การทำงานของระบบโดยทำการแสดงปัญหาทั้งหมดที่จะเกิดขึ้นต่อจากนั้นระบุถึงสาเหตุและขั้นตอนที่นำไปสู่การเปลี่ยนแปลงหรือข้อบกพร่องภายในระบบ (Intermediate Event) ซึ่งอาจจะเกิดจากสาเหตุย่อยหลาย ๆ สาเหตุและสาเหตุพื้นฐาน (Basic Event) ที่สนับสนุนการเกิดเหตุย่อยขึ้นการวิเคราะห์จะใช้แอนด์เกตหรือออร์เกตเพื่อหาความเชื่อมโยงของสาเหตุต่าง ๆ ที่สนับสนุนให้เกิดความผิดพลาดขึ้นแล้วนำไปเขียนการวิเคราะห์แบบแผนภาพต้นไม้ จากด้านบนลงสู่ด้านล่าง

ตารางที่ 2.8 สมการของลอจิกเกต

Logic Gate	ความหมาย	ความสัมพันธ์กับพีชคณิตบูลีน	ความสัมพันธ์กับความน่าจะเป็น
	AND (เมื่อมีสาเหตุ B และ C จึงจะเกิดเหตุการณ์ A)	$A = B \times C$	$P(A) = P(B) \times P(C)$
	OR (เมื่อมีสาเหตุ B หรือ C จึงจะเกิดเหตุการณ์ A)	$A = B + C$	$P(A) = P(B) + P(C) - P(A \times B)$ เนื่องจาก $P(A \times B)$ มีค่าน้อยมากจึงสามารถลดสมการได้ดังนี้ $P(A) = P(B) + P(C)$

ในงานวิจัยนี้ผู้เขียนได้ใช้วิธีการวิเคราะห์แบบแผนภาพต้นไม้ในการหาค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ และค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ ของอุปกรณ์การวัด ส่วนประมวลผล และ อุปกรณ์สุดท้าย โดยมีการกำหนดว่าอุปกรณ์ทุกส่วนในระบบย่อยไม่สามารถซ่อมกลับมาใช้งานได้และการกระจายค่าโอกาสในความผิดพลาดของตัวแปรสุ่มถูกสมมุติให้เป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล โดยสามารถแสดงค่าฟังก์ชันได้ดังนี้

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, t > 0 \quad (2.6)$$

$$F(t) = \int_0^t f(t)dt = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2.7)$$

เมื่อทราบค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการของอุปกรณ์ทุกส่วนและช่วงเวลาในการทดสอบ จะสามารถหาค่าความผิดพลาดอันตรายได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{PFD}(t) = 1 - e^{-\lambda_D T_i} = 1 - R(t) \quad (2.8)$$

โดยในการหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการของฟังก์ชันวัดคุณ
นิรภัยสามารถหาได้จากการนำค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการของ อุปกรณ์การ
วัด ส่วนประมวล และอุปกรณ์สุดท้ายมารวมกัน และสำหรับเหตุการณ์ที่ไม่สามารถแยกจากกันโดย
เด็ดขาดจะได้สมการดังนี้

$$\text{PFD}_{\text{SYS}} = 1 - R_{\text{SYS}} \quad (2.9)$$

$$R_{\text{SYS}} = R_{(\text{SE})}R_{(\text{LS})}R_{(\text{FE})} \quad (2.10)$$

และสามารถหาค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการของอุปกรณ์การวัด ในรูปแบบการ
ต่อใช้งานที่มีจำนวนอุปกรณ์หลายตัวได้ดังสมการ

$$\text{PFD}_{(\text{SE})} = (1 - e^{-\lambda_{\text{SE}} T_i})^n \quad (2.11)$$

เมื่อ

n คือ จำนวนของอุปกรณ์การวัด
 λ_{SE} คือ อัตราความผิดพลาดของอุปกรณ์การวัด มีหน่วยเป็น ความผิดพลาดต่อชั่วโมง

ค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการของส่วนประมวลผล สามารถแสดงได้ดังนี้

$$\text{PFD}_{(\text{LS})} = (1 - e^{-\lambda_{\text{LS}} T_i}) \quad (2.12)$$

เมื่อ

T_i คือ ช่วงเวลาในการทดสอบอุปกรณ์หน่วยชั่วโมง หรือ ปี
 λ_{LS} คือ อัตราความผิดพลาดของส่วนประมวลผล มีหน่วยเป็น ความผิดพลาดต่อชั่วโมง

และเช่นเดียวกัน สามารถหาค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการของอุปกรณ์สุดท้าย
(Final Element) ในรูปแบบการต่อใช้งานที่มีจำนวนอุปกรณ์หลายตัวได้ดังนี้

สำหรับรูปแบบการต่อใช้งานแบบ 1o1 + 1o1 คือ

$$\text{PFD}_{(\text{FE})} = 1 - e^{-2\lambda_{\text{FE}} T_i} \quad (2.13)$$

สำหรับรูปแบบการต่อใช้งานแบบ 1o2 + 1o2 คือ

$$\text{PFD}_{(\text{FE})} = 1 - (4e^{-2\lambda_{\text{FE}} T_i} - 4e^{-3\lambda_{\text{FE}} T_i} + e^{-4\lambda_{\text{FE}} T_i}) \quad (2.14)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับรูปแบบการต่อใช้งานแบบ 1o03 + 1o03 คือ

$$PFD_{(FE)} = 1 - (9e^{-2\lambda_{FE}T_i} - 18e^{-3\lambda_{FE}T_i} + 15e^{-4\lambda_{FE}T_i} - 6e^{-5\lambda_{FE}T_i} + e^{-6\lambda_{FE}T_i}) \quad (2.15)$$

เมื่อ

λ_{FE} คือ อัตราความผิดพลาดของอุปกรณ์สุดท้าย มีหน่วยเป็น ความผิดพลาดต่อชั่วโมง

ตารางที่ 2.9 ค่าความผิดพลาดอันตรายของฟังก์ชันวัดความน่าเชื่อถือแบบต่าง ๆ

SIF No.	$PFD_{(sys)}$
$PFD(t)_{SIF-A1}$	$1 - (2e^{-\lambda_{SE}T_i} - e^{-2\lambda_{SE}T_i})(e^{-\lambda_{LS}T_i})(e^{-2\lambda_{FE}T_i})$
$PFD(t)_{SIF-A2}$	$1 - (2e^{-\lambda_{SE}T_i} - e^{-2\lambda_{SE}T_i})(e^{-\lambda_{LS}T_i})(4e^{-2\lambda_{FE}T_i} - 4e^{-3\lambda_{FE}T_i} + e^{-4\lambda_{FE}T_i})$
$PFD(t)_{SIF-A3}$	$1 - (2e^{-\lambda_{SE}T_i} - e^{-2\lambda_{SE}T_i}) * (e^{-\lambda_{LS}T_i})(9e^{-2\lambda_{FE}T_i} - 18e^{-3\lambda_{FE}T_i} + 15e^{-4\lambda_{FE}T_i} - 6e^{-5\lambda_{FE}T_i} + e^{-6\lambda_{FE}T_i})$
$PFD(t)_{SIF-A4}$	$1 - (3e^{-\lambda_{SE}T_i} - 3e^{-2\lambda_{SE}T_i} + e^{-3\lambda_{SE}T_i})(e^{-\lambda_{LS}T_i})(e^{-2\lambda_{FE}T_i})$
$PFD(t)_{SIF-A5}$	$1 - (3e^{-\lambda_{SE}T_i} - 3e^{-2\lambda_{SE}T_i} + e^{-3\lambda_{SE}T_i})(e^{-\lambda_{LS}T_i})(-4e^{-2\lambda_{FE}T_i} + 4e^{-3\lambda_{FE}T_i} - e^{-4\lambda_{FE}T_i})$
$PFD(t)_{SIF-A6}$	$1 - (3e^{-\lambda_{SE}T_i} - 3e^{-2\lambda_{SE}T_i} + e^{-3\lambda_{SE}T_i})(e^{-\lambda_{LS}T_i})(9e^{-2\lambda_{FE}T_i} - 18e^{-3\lambda_{FE}T_i} + 15e^{-4\lambda_{FE}T_i} - 6e^{-5\lambda_{FE}T_i} + e^{-6\lambda_{FE}T_i})$

ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ ได้จากสมการ

$$PFD_{avg} = \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} PFD(t) dt \quad (2.16)$$

ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการของ อุปกรณ์การวัด ส่วนประมวลผล และอุปกรณ์สุดท้าย ตามรูปแบบการต่อใช้งาน สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.17 ถึง 2.22

รูปแบบการต่อใช้งานแบบ 1o02 คือ

$$PFD_{avg(SE,1o02)} = 1 - \left(\frac{2(1 - e^{-(\lambda_{SE}T_i)})}{\lambda_{SE}T_i} + \frac{(1 - e^{-(2\lambda_{SE}T_i)})}{2\lambda_{SE}T_i} \right) \quad (2.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบการต่อใช้งานแบบ 1oo3 คือ

$$PFD_{avg(SE,1oo3)} = 1 - \left(\frac{3(1-e^{-(\lambda_{SE}T_i)})}{\lambda_{SE}T_i} + \frac{3(1-e^{-(2\lambda_{SE}T_i)})}{2\lambda_{SE}T_i} - \frac{(1-e^{-(3\lambda_{SE}T_i)})}{3\lambda_{SE}T_i} \right) \quad (2.18)$$

รูปแบบการต่อใช้งานแบบ 1oo1 คือ

$$PFD_{avg(LS,1oo1)} = 1 - \frac{(1-e^{-(\lambda_{LS}T_i)})}{\lambda_{LS}T_i} \quad (2.19)$$

รูปแบบการต่อใช้งานแบบ 1oo1 + 1oo1 คือ

$$PFD_{avg(FE,1oo1+1oo1)} = 1 - \frac{(1-e^{-(2\lambda_{FE}T_i)})}{2\lambda_{FE}T_i} \quad (2.20)$$

รูปแบบการต่อใช้งานแบบ 1oo2 + 1oo2 คือ

$$PFD_{avg(FE,1oo2+1oo2)} = 1 - \left(\frac{4(1-e^{-(2\lambda_{FE}T_i)})}{2\lambda_{FE}T_i} + \frac{4(1-e^{-(3\lambda_{FE}T_i)})}{3\lambda_{FE}T_i} + \frac{(1-e^{-(4\lambda_{FE}T_i)})}{4\lambda_{FE}T_i} \right) \quad (2.21)$$

รูปแบบการต่อใช้งานแบบ 1oo3 + 1oo3 (One out of Three) + (One out of Three) คือ

$$PFD_{avg(FE,1oo3+1oo3)} = 1 - \left(\frac{9(1-e^{-(2\lambda_{FE}T_i)})}{2\lambda_{FE}T_i} + \frac{18(1-e^{-(3\lambda_{FE}T_i)})}{3\lambda_{FE}T_i} + \frac{15(1-e^{-(4\lambda_{FE}T_i)})}{4\lambda_{FE}T_i} + \frac{6(1-e^{-(5\lambda_{FE}T_i)})}{5\lambda_{FE}T_i} - \frac{(1-e^{-(6T_i)})}{6\lambda_{FE}T_i} \right) \quad (2.22)$$

2.6 การเลือกรูปแบบอุปกรณ์ในระบบวัดคุณภาพ

มาตรฐาน IEC 61511 ได้มีข้อกำหนดให้ทำการประเมินค่าความเป็นอันตรายและหาผลกระทบจากนั้นต้องทำการจัดเตรียมฟังก์ชันนิรภัย เพื่อให้ความเสี่ยงต่อความเป็นอันตรายลดลง หลังจากนั้นต้องดำเนินการกำหนดค่าระดับความปลอดภัยให้กับฟังก์ชันนิรภัย

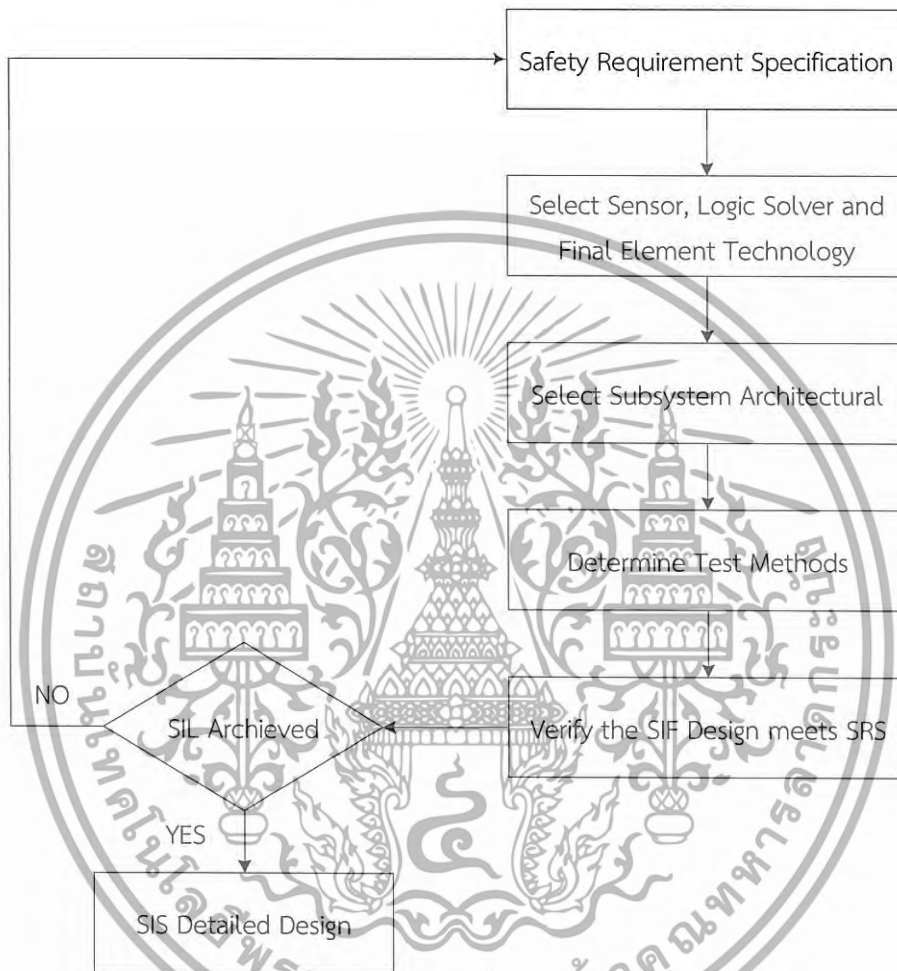
เมื่อผ่านขั้นตอนการกำหนดค่าระดับความปลอดภัยแล้วมาตรฐานทั้งสองได้กำหนดให้มีการจัดเตรียมรายละเอียดความต้องการของระบบนิรภัย หรือ Safety Requirement Specification, SRS ซึ่งข้อมูลสำคัญสำหรับนำไปใช้ในการออกแบบระบบนิรภัยจะต้องมีรายละเอียดที่มีความสมบูรณ์ เพื่อพร้อมให้ผู้ใช้งานและผู้ผลิตสามารถนำไปใช้ในการออกแบบระบบวัดคุณภาพได้ตรงกับความต้องการในแต่ละฟังก์ชันนิรภัยจะประกอบด้วยข้อมูลต่าง ๆ ที่มีอยู่ใน SRS ดังนี้

- ความเป็นอันตรายและผลกระทบ
- ความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตราย
- แผนภาพกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้อง
- ข้อกำหนดของกระบวนการผลิตในสภาวะปลอดภัย (Safe State)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รายละเอียดของฟังก์ชันนิรภัย
- รายละเอียดในการทดสอบการทำงาน

จุดประสงค์ของข้อมูลที่ได้แสดงไว้ในรายละเอียดความต้องการของระบบนิรภัย เพื่อให้ผู้ออกแบบระบบวัดคุมนิรภัยสามารถเลือกอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้เหมาะสมกับค่าระดับความปลอดภัยที่กำหนดไว้ ลำดับขั้นตอนการเลือกใช้อุปกรณ์ในระบบวัดคุมนิรภัย แสดงได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ขั้นตอนการเลือกอุปกรณ์ [11]

จากแผนภาพขั้นตอนการเลือกอุปกรณ์ หลังจากการจัดเตรียมรายละเอียดความต้องการแล้ว ผู้ออกแบบระบบวัดคุมนิรภัยจะต้องทำการเลือกเทคโนโลยีที่ต้องการสำหรับอุปกรณ์ทั้ง 3 ส่วนในระบบวัดคุมนิรภัย คือ อุปกรณ์การวัด ส่วนประมวลผลและวาล์วนิรภัย ซึ่งในส่วนประมวลผลอาจจะเป็น ระบบรีเลย์ (Relay Based) หรือ ระบบ Safety PLC จะเป็นรูปแบบใดนั้นจะขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานหรือจากเจ้าของกระบวนการผลิตหรือจากผู้ออกแบบ ส่วนเครื่องมือวัดและวาล์วนิรภัยอาจจะเป็น Smart Transmitter หรือ Solenoid Valve เมื่อได้เทคโนโลยีของส่วนต่าง ๆ ที่ต้องการแล้ว จากนั้นก็จะไปสู่ขั้นตอนการเลือกรูปแบบ ของส่วนต่าง ๆ สำหรับหัวข้อนี้จะแสดงเฉพาะการเลือกใช้รูปแบบของเครื่องมือวัดและวาล์วนิรภัยในฟังก์ชันนิรภัยว่าจะเป็นแบบใด เช่น 1oo1 1oo2 และ 1oo3 เป็นต้น ซึ่งจะเป็นรูปแบบใดนั้นจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นอยู่กับค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันนิรภัยและคุณภาพของอุปกรณ์ที่เลือกใช้ มาตรฐาน IEC 61511 ได้แสดงความต้องการของจำนวนอุปกรณ์ต่ำสุดที่ยอมให้เกิดความผิดพลาดได้ ตามค่าระดับความปลอดภัย แสดงได้ดังตารางที่ 2.10 และ 2.11

ตารางที่ 2.10 จำนวนอุปกรณ์ต่ำสุดที่ยอมให้เกิดความผิดพลาด ของ PE Logic Solvers ตามมาตรฐาน IEC 61511 [11]

IEC 61511 – clause 11.4 Table 5			
PE Logic Solvers			
SIL	Minimum Hardware Fault Tolerance		
	SFF < 60%	SFF 60% to 90%	SFF > 90%
1	1	0	0
2	2	1	0
3	3	2	1
4	Special requirements apply –See IEC 61508		

ตารางที่ 2.11 จำนวนอุปกรณ์ต่ำสุดที่ยอมให้เกิดความผิดพลาด ของ Sensor and Final Elements ตามมาตรฐาน IEC 61511 [11]

IEC 61511 – clause 11.4 Table 6	
Sensor, Final Elements and Non - PE Logic Solvers	
SIL	Minimum Hardware Fault Tolerance (See clause 11.4.3 and 11.4.4)
1	0
2	1
3	2
4	Special requirements apply –See IEC 61508

จากตารางที่ 2.10 จะเห็นได้ว่า ผู้ออกแบบต้องเลือกอุปกรณ์ 2 ตัว (ต้องมีจำนวนเหลืออยู่อีกหนึ่งตัวเมื่อตัวใดตัวหนึ่งไม่ทำงานหรือ Hardware Fault Tolerance = 1) ในรูปแบบ 1oo2 เพื่อสำหรับนำไปใช้กับฟังก์ชันนิรภัยที่ระดับความปลอดภัยที่ SIL2 ถ้าต้องการเลือกใช้อุปกรณ์เพื่อสำหรับนำไปใช้กับฟังก์ชันนิรภัยที่ระดับความปลอดภัยที่ SIL3 ผู้ออกแบบต้องเลือกอุปกรณ์ 3 ตัว ในรูปแบบ 1oo3 เพื่อให้ตรงกับข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 61511

แต่มาตรฐาน IEC 61511 ยินยอมให้ผู้ออกแบบสามารถลดจำนวนตัวอุปกรณ์ลงได้หนึ่งตัว ถ้าผลิตภัณฑ์ที่เลือกใช้นั้น อยู่บนพื้นฐานของ “Prior Use” และเป็นไปตามข้อกำหนดดังนี้

- อุปกรณ์ยินยอมให้มีการปรับแต่งเฉพาะตัวแปรทางกระบวนการเท่านั้น เช่น ย่านการวัด เป็นต้น
- การปรับแต่งต้องมีการป้องกัน เช่นรหัสผ่าน หรือจุดต่อป้องกัน (Jumper) เป็นต้น
- ต้องนำไปใช้กับฟังก์ชันนิรภัยที่ต่ำกว่า SIL4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเป็นไปตามข้อกำหนดดังกล่าวข้างต้น สามารถใช้อุปกรณ์เพียงหนึ่งตัวสำหรับฟังก์ชันนิรภัยที่ระดับ SIL2 นอกจากมาตรฐาน IEC 61511 ได้กำหนดทางเลือกให้กับผู้ใช้งานสามารถใช้ตารางจำนวนอุปกรณ์ต่ำสุดที่ยอมให้เกิดความผิดพลาดในมาตรฐาน IEC 16508 ได้ โดยแสดงรูปที่ 2.12 และ 2.13

ตารางที่ 2.12 จำนวนอุปกรณ์ต่ำสุดที่ยอมให้เกิดความผิดพลาดของ IEC 61508 สำหรับอุปกรณ์ Type A [12]

Safe Failure Fraction (SFF)	Hardware Fault Tolerance (see note 2)		
	0 (see note 3)	1	2
< 60%	SIL1	SIL2	SIL3
60% – 90%	SIL2	SIL3	SIL4
90% - 99%	SIL3	SIL4	SIL4
> 99%	SIL3	SIL4	SIL4

Note 1 See explanation below for details on interpreting this table

Note 2 Hardware fault tolerance is the maximum number of faults in a subsystem, arising from random hardware failure, which can occur without leading to a undetected dangerous failure

Note 3 A hardware fault tolerance of zero means a single fault could cause an detected dangerous failure

ตารางที่ 2.13 จำนวนอุปกรณ์ต่ำสุดที่ยอมให้เกิดความผิดพลาดของ IEC 61508 สำหรับอุปกรณ์ Type B [12]

Safe Failure Fraction (SFF)	Hardware Fault Tolerance (see note 2)		
	0 (see note 3)	1	2
< 60%	Not allowed	SIL1	SIL2
60% – 90%	SIL1	SIL2	SIL3
90% - 99%	SIL2	SIL3	SIL4
> 99%	SIL3	SIL4	SIL4

Note 1 See explanation below for details on interpreting this table

Note 2 Hardware fault tolerance is the maximum number of faults in a subsystem, arising from random hardware failure, which can occur without leading to a undetected dangerous failure

Note 3 A hardware fault tolerance of zero means a single fault could cause an detected dangerous failure

โดยอุปกรณ์ทั้งสองชนิดสามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

1. อุปกรณ์ชนิด A (Type A)

เครื่องมือวัดที่ถูกจัดอยู่ในชนิดนี้เป็นอุปกรณ์ที่มีส่วนประกอบของชิ้นส่วนพื้นฐานที่ใช้กันอยู่ทั่วไป อาทิ เช่น ตัวทรานซิสเตอร์, ตัวคาแพซิเตอร์, ตัวต้านทาน และขดลวด เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้สามารถใช้งานได้เป็นเวลานานและสามารถทำการตรวจสอบการทำงานได้อย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์การวัดต่อเนื่องแบบทั่วไป (Conventional Analogue Transmitter), อุปกรณ์การวัดแบบหน้าสัมผัส อาทิเช่น สวิตช์ระดับ (Level Switch) สวิตช์ความดัน (Pressure Switch) และสวิตช์ตำแหน่ง (Position Switch) เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้จัดเป็นอุปกรณ์ชนิด A

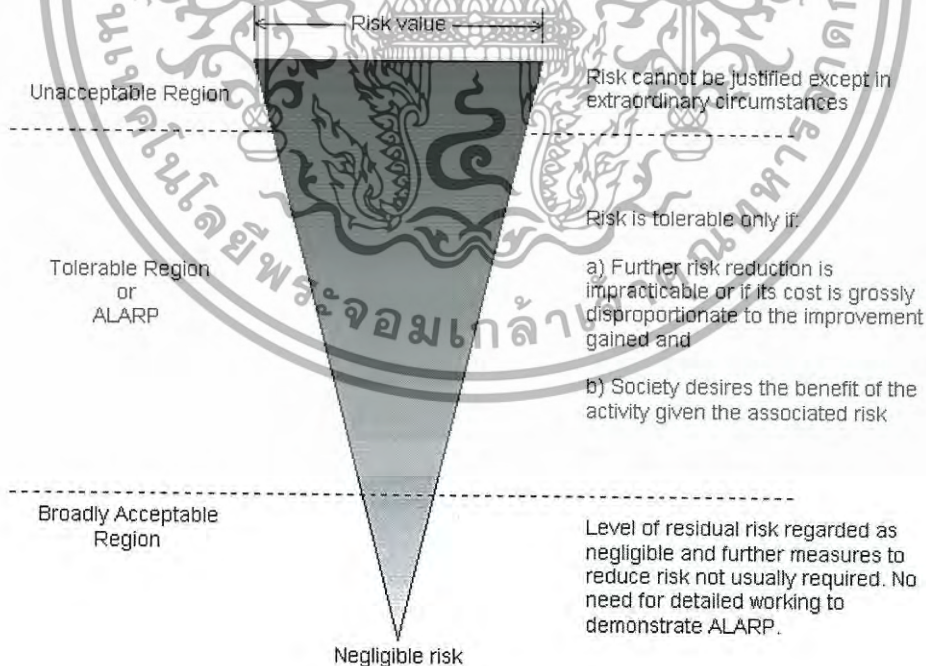
2. อุปกรณ์ชนิด B (Type B)

เครื่องมือวัดที่ถูกจัดอยู่ในชนิดนี้เป็นอุปกรณ์ที่มีส่วนประกอบของชิ้นส่วนที่ใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ อาทิเช่น วงจรรวม (Integrated Circuit; IC) หรือไมโครโพรเซสเซอร์ (Microprocessor) เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้ไม่สามารถใช้งานได้เป็นเวลานานและไม่สามารถทำการตรวจสอบการทำงานได้อย่างสมบูรณ์

2.7 การหาค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้

เมื่อขั้นตอนกระบวนการผลิตได้ผ่านการวิเคราะห์อันตรายแล้วพบว่ากระบวนการผลิตที่จะออกแบบก่อสร้างนั้นมี ความเสี่ยงต่อการเกิดเหตุการณ์อันตรายมากน้อยเพียงใด ดังนั้นทางบริษัทหรือองค์กรต่าง ๆ ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมกระบวนการผลิตที่เป็นอันตราย มีหน้าที่ในการจำกัดความเสี่ยงที่จะเกิดขึ้นในการดำเนินการ แต่ในการลดความเสี่ยงด้วยวิธีการใด ๆ เพื่อให้ความเสี่ยงอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นนั้นอาจจะไม่ได้เป็นส่วนแปรผันตามกับผลประโยชน์ที่ได้รับ

UK's HSE (Health and Safety Executive) [2] ได้ดำเนินการหาค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้อย่างมีเหตุผลหรือที่เรียกว่า ALARP โดยวิธีนี้ได้แสดงการวิเคราะห์และค่าความเสี่ยงที่ยอมรับได้จริง วิธีการนี้แสดงให้เห็นว่ามี ระดับความเสี่ยงที่ยอมรับไม่ได้ (Unacceptable Region) ระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้ (Tolerable or ALARP Region) ซึ่งค่าความเสี่ยงที่ดำเนินการลดความเสี่ยงทำไม่ได้ในทางปฏิบัติหรือมีค่าใช้จ่ายในส่วนที่ไม่เหมาะสมกับผลประโยชน์ที่ได้รับ และระดับความเสี่ยงที่ยอมรับได้สูงสุด (Broadly Acceptable Region) แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 As Low As Reasonably Practicable [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

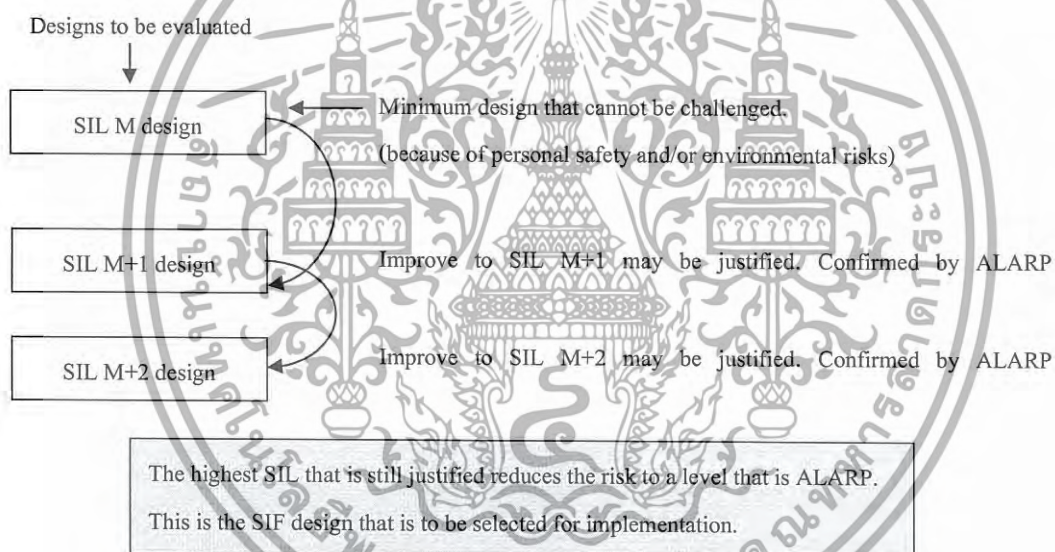
2.8 ค่าใช้จ่ายของระบบนิรภัย

2.8.1 วิธีการประเมิน ALARP [6]

ในการหาค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยส่วนใหญ่ จะได้ผลมาจากการประเมินความเสี่ยงทางด้านการสูญเสียทรัพย์สิน เนื่องจากฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยนั้นใช้สำหรับการป้องกันอุปกรณ์ในกระบวนการผลิตเป็นหลัก ซึ่งผลได้ผลการประเมินเป็นค่าความปลอดภัยที่มีระดับสูง ซึ่งยากต่อการออกแบบและมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง ในกรณีนี้ DEP 32.80.10.10 ได้ใช้วิธีการประเมินหาจุด ALARP สำหรับฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยที่มีค่าระดับความปลอดภัยสูง ว่ามีความสมเหตุสมผลกับทรัพยากรและค่าใช้จ่ายในการลงทุนที่ต้องเพิ่มขึ้นหรือไม่ โดยเปรียบเทียบกับฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยที่มีค่าระดับความปลอดภัยต่ำกว่า สำหรับการประเมินด้วยวิธีนี้นั้น จะใช้สำหรับความเสี่ยงทางด้านการสูญเสียทรัพย์สินเท่านั้น

การประเมินด้วยวิธี ALARP มีขั้นตอนสำคัญดังต่อไปนี้ แสดงดังรูปที่ 2.16

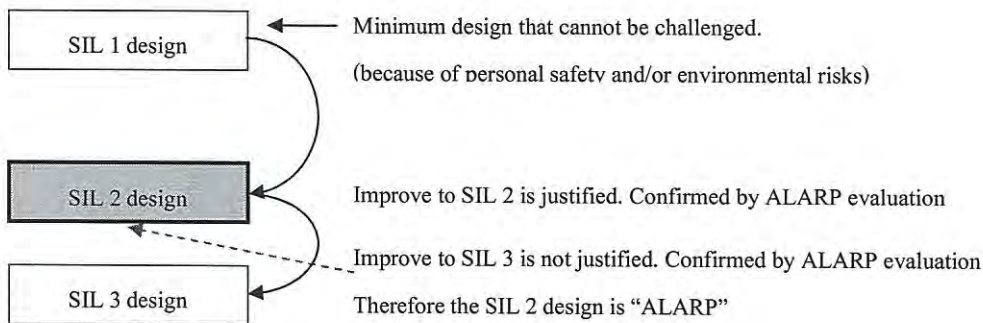
1. ทำการออกแบบฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยรูปแบบต่าง ๆ
2. กำหนดวิธีการทดสอบและระยะเวลาในการทดสอบของอุปกรณ์ในแต่ละรูปแบบ
3. ทำการประเมิน ALARP และทำการเลือกรูปแบบฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยที่ต้องการ



รูปที่ 2.16 กระบวนการในการประเมิน ALARP[6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Example:



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างการประเมิน ALARP [6]

ตัวอย่างเช่น จากรูป 2.17 ค่าระดับความปลอดภัยต่ำสุดที่ต้องการอยู่ที่ SIL 1 เนื่องจากผลกระทบทางด้านชีวิตคนและความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม ทำให้ประเมินโดยใช้วิธี ALARP เพื่อทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมระหว่างค่าความเสี่ยงลดลงที่จะได้รับหากทำการติดตั้งฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยที่มีค่าความปลอดภัยระดับสูงกับการลงทุนที่เพิ่มขึ้น จากรูปจะเห็นได้ว่าการเพิ่มการลงทุนฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยจากค่าระดับความปลอดภัย SIL 1 ไปยัง SIL 2 นั้นมีความเหมาะสมที่จะทำ แต่การเพิ่มการลงทุนจากค่าระดับความปลอดภัย SIL 2 ไปยัง SIL 3 นั้นไม่เหมาะสม ดังนั้น ที่ค่าความปลอดภัยระดับ SIL 2 จึงถือว่าเป็นจุด ALARP ของการออกแบบฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยนี้

2.8.2 การประเมินค่าใช้จ่าย-ผลประโยชน์ในการลงทุน [10]

ในการพิจารณาว่าฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยที่เราทำการออกแบบ มีการลดความเสี่ยงที่มีค่าสูงลงให้อยู่ในค่าที่ยอมรับได้ หรือจุด ALARP แล้วหรือยังนั้น เราสามารถพิจารณาได้จากสมการอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน คือ มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวม หาค่าด้วยมูลค่าปัจจุบันของต้นทุนรวม เพื่อตัดสินใจว่าผลประโยชน์ที่ได้รับนั้นคุ้มค่ากับการลงทุนหรือไม่ ดังแสดงในสมการที่ 2.21

$$B/C \text{ ratio} = PV \text{ of Benefit} / PV \text{ of Cost} \tag{2.23}$$

เมื่อ

PV of Benefit คือ มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์

PV of Cost คือ มูลค่าปัจจุบันของต้นทุน

และค่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน สามารถแสดงได้ดังนี้

$B/C > 1$ แสดงว่า คุ้มค่าการลงทุน

$B/C = 1$ แสดงว่า เท่าทุน

$B/C < 1$ แสดงว่า ไม่คุ้มทุน ขาดทุน

โดยฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยที่ออกแบบไว้จะมีค่าอยู่ในย่านความเสี่ยงที่ยอมรับได้นั้น เมื่อ $B/C > 1$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างในการพิจารณาที่จะทำการติดตั้งระบบวัดคุมนิรภัยสำหรับป้องกันป้มนเสียหาย โดยการเปิดวาล์วด้านขาเข้าของป้มน เมื่อมีอัตราการไหลที่ด้านขาเข้าต่ำกว่าที่กำหนด เพราะถ้าป้มนยังคงทำงานต่อไปจะทำให้ป้มนเกิดความเสียหาย ซึ่งค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนป้มนจะมีค่าเท่ากับ 23,100,000 บาท และอัตราการเกิดเหตุการณ์ผิดพลาดที่อัตราการไหลต่ำกว่าที่กำหนดคือ 0.15 ครั้งต่อปี โดยมีรายละเอียดของระบบวัดคุมนิรภัยและค่าใช้จ่ายดังต่อไปนี้

1. ระบบวัดคุมนิรภัยที่ระดับความปลอดภัย SIL 1 มีค่าความผิดพลาดในการทำงาน (PFD) เท่ากับ 0.03 ครั้งต่อปี และมีค่าใช้จ่ายสำหรับระบบวัดคุมนิรภัยที่ระดับความปลอดภัย SIL 1 เท่ากับ 132,000 บาท

2. ถ้ามีการปรับปรุงระดับความปลอดภัยจาก SIL 1 เป็น SIL 2 จะทำให้ค่าความผิดพลาดลดลงเท่ากับ 0.008 และมีค่าใช้จ่ายสำหรับระบบวัดคุมนิรภัยที่ระดับความปลอดภัย SIL 2 เท่ากับ 165,000 บาท ในการพิจารณาค่าใช้จ่ายจะพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ การติดตั้งระบบวัดคุมนิรภัย SIL 1 และ การปรับปรุงไปเป็น SIL 2

ตารางที่ 2.14 ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบวัดคุมนิรภัย

กรณี	ค่าใช้จ่าย
ไม่ติดตั้งระบบวัดคุมนิรภัย	$23,100,000 \times 0.15 = 3,465,000$ บาทต่อปี
เมื่อติดตั้งระบบวัดคุมนิรภัย SIL 1	$23,100,000 \times 0.15 \times 0.03 = 103,950$ บาทต่อปี
เมื่อติดตั้งระบบวัดคุมนิรภัย SIL 2	$23,100,000 \times 0.15 \times 0.008 = 27,720$ บาทต่อปี

จากสมการ (2.23) สามารถหาอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน ของแต่ละวิธีได้เป็นดังนี้

1. ในกรณีติดตั้งระบบวัดคุมนิรภัย SIL 1 จะได้เป็น

$$\begin{aligned} \text{PV of Benefit หรือ มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวม} &= 3,465,000 - 103,950 \text{ บาทต่อปี} \\ &= 3,361,050 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

$$\text{PV of Cost หรือ ค่าใช้จ่ายระบบวัดคุมนิรภัย SIL 1} = 132,000 \text{ บาท}$$

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน} &= 3,361,050 / 132,000 \\ &= 25.46 \end{aligned}$$

จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุนมีค่ามากกว่าหนึ่ง หรือ $B/C > 1$ แสดงว่า คุ่มค่าการลงทุนหรือแสดงให้เห็นว่ามีผลประโยชน์กลับคืนมา 25.46 บาท ต่อทุก 1 บาท ที่จ่ายออกไป

2. ในกรณีที่ทำการปรับปรุงระบบวัดคุมนิรภัย SIL 1 ให้เป็น SIL 2 จะได้เป็น

$$\begin{aligned} \text{PV of Benefit หรือ มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวม} &= 103,950 - 27,720 \text{ บาทต่อปี} \\ &= 76,230 \text{ บาทต่อปี} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PV of Cost หรือ ค่าใช้จ่ายการปรับปรุงระบบวัดคুমินทรีย์ SIL 1 ให้เป็น SIL 2 =
165,000 - 132,000 = 33000 บาท

ดังนั้นอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน = $76,230 / 33000$ บาท
= 2.31

จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน มีค่ามากกว่าหนึ่ง หรือ $B/C > 1$ แสดงว่า คุ่มค่าการลงทุนหรือแสดงให้เห็นว่ามีผลประโยชน์กลับคืนมา 2.31 บาท ต่อทุก 1 บาท ที่จ่ายออกไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

งานวิจัยที่นำเสนอ

3.1 กล่าวนำ

ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและโรงกลั่น อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อชีวิต สิ่งแวดล้อม และ ทรัพย์สิน ซึ่งงานวิจัยนี้ได้ทำการประเมินความเสี่ยง ด้วยการประเมินด้วยวิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกันและกราฟความเสี่ยง ในการพิจารณาการทำงานของกระบวนการผลิตที่ใช้เป็นกรณีศึกษาและวิเคราะห์ตัวแปรในกระบวนการผลิตทุกตัวแปรที่สามารถเกิดขึ้นได้ และ พิจารณาผลกระทบที่เกิดขึ้นถ้าตัวแปรในกระบวนการนั้นมีค่าเบี่ยงเบน ที่สามารถทำให้เกิดอันตราย ได้ จากนั้นทำการจัดเตรียมฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้น และวิเคราะห์ ค่าใช้จ่าย – ผลประโยชน์ที่ได้รับจากการลงทุนของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ด้วยวิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน ในกรณีนี้ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์นั้นมีค่าระดับความปลอดภัยสูงสุดจากการประเมินผลกระทบทางด้านการสูญเสียทรัพย์สิน

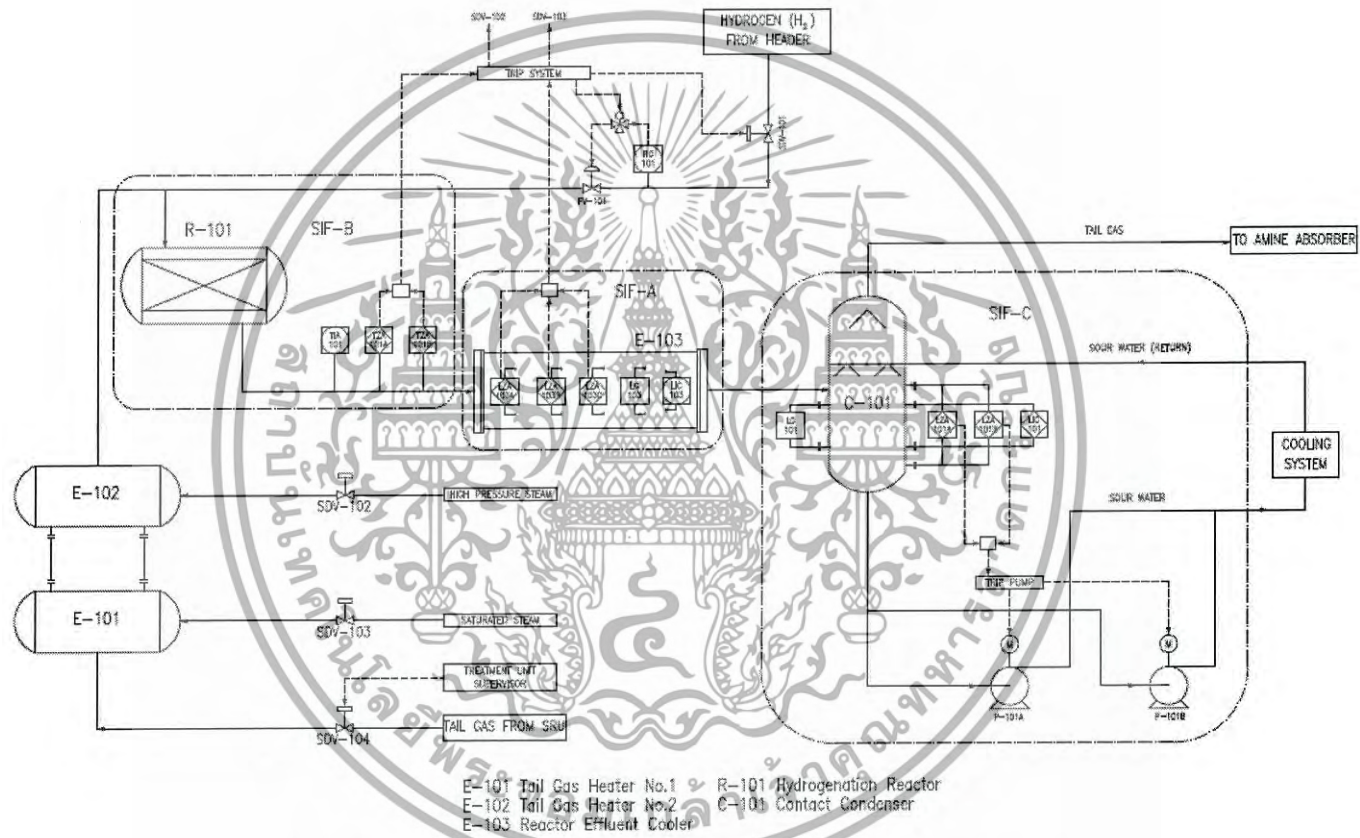
3.2 กรณีศึกษา : กระบวนการแก๊สขึ้นปลาย

3.2.1 รายละเอียดของกระบวนการผลิต

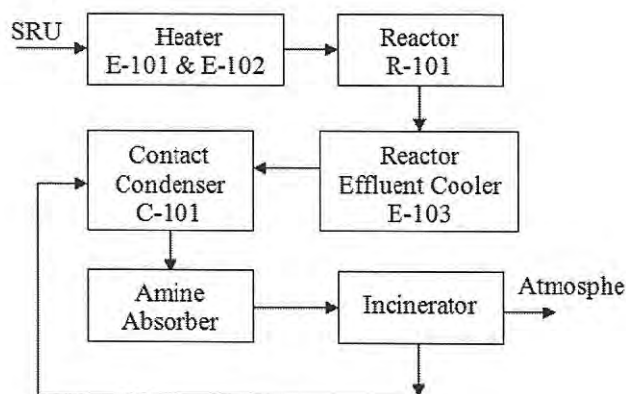
ในอุตสาหกรรมปิโตรเคมีและโรงกลั่น ผลจากกระบวนการผลิตนั้นอาจก่อให้เกิด ผลกระทบกับชุมชนใกล้เคียงและสิ่งแวดล้อมบ้าง อาทิ เช่น กำมะถัน (S) หรือซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ซึ่งจัดเป็นหนึ่งในธาตุที่มีความสำคัญในการผลิตวัตถุดิบอุตสาหกรรม ถึงแม้ว่า กำมะถันจะเป็น ก๊าซไม่มีสี ไม่มีไฟ แต่สามารถส่งผลกระทบต่ออาชีวอนามัยของคนในชุมชนรอบเขตโรงงาน จึงได้ มีข้อกำหนดทางด้านสิ่งแวดล้อมที่จะต้องทำการกักเก็บกำมะถันให้ได้เกินกว่าร้อยละ 95 -97 ก่อนจะปล่อยออกสู่ชั้นบรรยากาศ ดังนั้นทางโรงงานจึงจะต้องมีการป้องกันโดยติดตั้งกระบวนการ หน่วยกักเก็บกำมะถัน เพื่อเปลี่ยนแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) ให้เป็นกำมะถัน ทำให้ปริมาณสารประกอบซัลเฟอร์ที่ปล่อยสู่บรรยากาศลดลง และเพิ่มอัตราการกักเก็บโดยการติดตั้งหน่วย กระบวนการแก๊สขึ้นปลาย ซึ่งสามารถกักเก็บกำมะถันเข้าสู่ระบบได้ถึง ร้อยละ 99.9

งานวิจัยนี้ ได้เลือกใช้ส่วนหนึ่งของกระบวนการบำบัดแก๊สขึ้นปลาย จากรูปที่ 3.1 ใน การศึกษา และทำการประเมินฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งมีรายละเอียดการทำงานของกระบวนการ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 แผนภาพกระบวนการแก๊สชั้นปลาย Tail Gas Treating Process



รูปที่ 3.2 กระบวนการแก๊สขึ้นปลาย Tail Gas Treating

กระบวนการบำบัดแก๊สขึ้นปลาย เริ่มจากการรับแก๊สที่มีส่วนประกอบของกำมะถัน ที่ได้มาจากกระบวนการกู้คืนกำมะถันจากนั้นจะทำการให้ความร้อนแก่ แก๊สที่มีส่วนประกอบของกำมะถัน ผ่านอุปกรณ์ให้ความร้อน (Heater, E-101 และ E-102) ก่อนที่จะส่งเข้าถังทำปฏิกิริยา (Reactor, R-101) ซึ่งเป็นกระบวนการ Hydrogenation คือการใช้ H_2 เป็นตัวทำปฏิกิริยา เพื่อให้ SO_2 , S, COS และ CS_2 มีการเปลี่ยนรูปเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) จากนั้นส่งต่อไปทำให้เย็นลง ที่อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนภายใน Reactor Effluent Cooler (E103) เพื่อทำการลดความร้อน เนื่องจากกระบวนการ Hydrogenation เป็นกระบวนการคายความร้อน และมีการคายพลังงานในปริมาณมาก ก่อนที่จะส่งเข้ากระบวนการ Contact Condenser (C101) เพื่อทำการควบแน่น โดยส่วนที่เป็น แก๊สที่มีส่วนประกอบของกำมะถัน ที่ทำการกำจัดกำมะถันแล้วจะถูกส่งต่อไปที่กระบวนการ Amine Absorber สำหรับกำจัด H_2S ก่อน และทำการส่งต่อไปเผาที่กระบวนการ Incinerator และปล่อยสู่บรรยากาศ และส่วนที่เป็นของเหลว (Sour Water) จะถูกส่งไปทำให้เย็นและส่งกลับเข้ามาที่กระบวนการ Contact Condenser (C101) อีกครั้ง

3.2.2 การระบุสาเหตุและผลกระทบ

จากแผนภาพกระบวนการแก๊สขึ้นปลาย ทำให้ทราบว่าจำเป็นต้องมีการจัดเตรียมฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย เพื่อใช้ป้องกันเหตุที่จะนำไปสู่เหตุการณ์อันตรายต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยสำหรับกระบวนการแก๊สขึ้นปลาย

อุปกรณ์หลัก	หมายเลข SIF	รายละเอียด	หมายเลขอุปกรณ์
E-103	SIF A	Level Transmitter Low Low	LZA-103A/B/C
R-101	SIF B	Temperature High High	TZA-101A/B
C-101	SIF C	Level Transmitter Low Low	LZA-101A/B/C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การหาค่าระดับความปลอดภัย

ในการหาค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมายสำหรับฟังก์ชันวัดคุณนริภัยต่าง ๆ ตามตารางที่ 3.2 นั้น เริ่มจากการประเมินความเสี่ยงของความเป็นอันตรายที่อาจเกิดขึ้น เพื่อให้ทราบถึงอัตราการเกิดหรือความถี่ของเหตุการณ์ และผลกระทบต่อชีวิตคน สิ่งแวดล้อม และทรัพย์สิน โดยในการประเมินจะใช้วิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน และวิธีการหาความเสี่ยง เพื่อแสดงให้เห็นว่าการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีดังกล่าวทั้งสอง ค่าผลลัพธ์ของค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมาย จะได้ผลลัพธ์ที่เท่ากัน โดยอัตราการเกิดเหตุการณ์อันตราย ค่าผลกระทบต่อชีวิตคน สิ่งแวดล้อม และทรัพย์สิน ค่าความถี่ของเหตุการณ์ผิดพลาดที่ยอมรับได้ ในงานวิจัยนี้จะเป็นการประเมินตามเหตุผลและประสบการณ์ของพนักงานของโรงงานแห่งนี้เท่านั้น

โดยทางโรงงานได้จัดเตรียมตารางค่าความถี่ของเหตุการณ์ผิดพลาดที่ยอมรับได้ ดังตารางที่ 3.2 เพื่อใช้ในการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน และตารางค่าความถี่ของเหตุการณ์ผิดพลาดที่เกิดขึ้นและผลกระทบต่อ สิ่งแวดล้อม และทรัพย์สิน ดังตารางที่ 3.3 เพื่อใช้ในการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีการหาความเสี่ยง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 ตารางความถี่ของเหตุการณ์ที่ยอมรับได้สำหรับการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน

ผลกระทบ	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
Personnel Safety ผลกระทบต่อชีวิตคน	ไม่มีการบาดเจ็บ	บาดเจ็บปานกลาง ต้องหยุดทำงาน	บาดเจ็บสาหัสหรือมี คนเสียชีวิต 1 คน	มีคนเสียชีวิตมากกว่า 1 คนแต่ไม่มาก	มีคนเสียชีวิตจำนวน มาก
Environmental Impact ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม	ไม่มีความเสียหาย	เล็กน้อยมาก	เล็กน้อย	ชั่วคราว แต่ออกไป ภายนอกขอบเขต	ถาวรและออกไป ภายนอกขอบเขต
Asset Loss ความสูญเสียต่อทรัพย์สิน	ไม่มีการสูญเสีย หรือ มีการสูญเสีย คิดเป็น เงิน น้อยกว่า 33,000 บาท	เล็กน้อยมาก คิดเป็น เงิน อยู่ในช่วง 33,000 ถึง 330,000 บาท	เล็กน้อยแต่ไม่ต้อง หยุดกระบวนการ ผลิต คิดเป็นเงินอยู่ ในช่วง 330,000 ถึง 3,300,000 บาท	ปานกลางแต่ต้องหยุด กระบวนการผลิตเป็นช่วง สั้น ๆ คิดเป็นเงินอยู่ ในช่วง 3,300,000 ถึง 33,000,000 บาท	มากและต้องหยุด กระบวนการผลิตเป็น เวลานาน คิดเป็นเงิน อยู่ในช่วง 33,000,000 ถึง 330,000,000 บาท
Tolerable Frequency (1/year) ค่าความถี่ที่ยอมรับได้ (1 ครั้งต่อปี)	<1	1×10^{-1}	1×10^{-2}	1×10^{-3}	1×10^{-4}

ตารางที่ 3.3 ตารางความถี่ของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นและผลกระทบสำหรับกราฟความเสี่ยง

ผลกระทบ	ต่ำมาก	ต่ำ	ปานกลาง	สูง	สูงมาก
ผลกระทบต่อชีวิตคน	C0 ไม่มีการบาดเจ็บ	CA บาดเจ็บปานกลาง ต้องหยุดพักงาน	CB บาดเจ็บสาหัสหรือมี คนเสียชีวิต 1 คน	CC มีคนเสียชีวิตมากกว่า 1 คน แต่ไม่มาก	CD มีคนเสียชีวิตจำนวนมาก
ความเสียหายต่อ สิ่งแวดล้อม	E0 ไม่มีความเสียหาย	EA เล็กน้อยมาก	EB เล็กน้อย	EC ชั่วคราว แต่ออกไปภายนอก ขอบเขต	ED ถาวร และออกไปภายนอก ขอบเขต
ความสูญเสียต่อ ทรัพย์สิน	L0 ไม่มีการสูญเสีย หรือมีการสูญเสีย คิดเป็นเงิน เล็กน้อยกว่า 33,000 บาท	LA เล็กน้อยมาก คิด เป็นเงิน อยู่ในช่วง 33,000 ถึง 330,000 บาท	LB เล็กน้อยแต่ไม่ต้องหยุด กระบวนการผลิต คิด เป็นเงินอยู่ในช่วง 330,000 ถึง 3,300,000 บาท	LC ปานกลางแต่ต้องหยุด กระบวนการผลิตเป็นช่วง สั้น ๆ คิดเป็นเงินอยู่ในช่วง 3,300,000 ถึง 33,000,000 บาท	LD มากและต้องหยุดกระบวนการ ผลิตเป็นเวลานาน คิดเป็นเงิน อยู่ในช่วง 33,000,000 ถึง 330,000,000 บาท
อัตราการเกิด เหตุการณ์ ผิดพลาด	W1 >1000 years	W2 100-1000 years	W3 10-100 years	W4 1-10 years	W5 <1 year

ตารางที่ 3.4 การประเมินความเสี่ยงของฟังก์ชันวัดคัมมิรภัยหมายเลข SIF-A

หมายเลข ฟังก์ชันนิรภัย	รายละเอียด	จุดมุ่งหมาย	อัตราการเกิดเหตุการณ์ผิดพลาด
SIF A	Level Transmitter Low Low	เพื่อป้องกันอุปกรณ์ E-103 เกิดความเสียหาย	ชุดควบคุมระดับ LIC-103 ทำงานผิดพลาด = 1 ครั้ง ต่อ 10 ปี หรือ 0.1 ครั้ง ต่อ ปี

ตารางที่ 3.5 การประเมินความเสี่ยงของฟังก์ชันวัดคัมมิรภัยหมายเลข SIF-B

หมายเลข ฟังก์ชันนิรภัย	รายละเอียด	จุดมุ่งหมาย	อัตราการเกิดเหตุการณ์ผิดพลาด
SIF B	Temp. Transmitter High High	เพื่อป้องกันถึงปฏิกิริยา R-101 และอุปกรณ์ภายใน เกิดความเสียหายเนื่องจากความร้อนสูงมากเกินไป	ชุดควบคุมการไหล FIC-101 ทำงานผิดพลาด = 1 ครั้ง ต่อ 10 ปี หรือ 0.1 ครั้ง ต่อ ปี

ตารางที่ 3.6 การประเมินความเสี่ยงของฟังก์ชันวัดคัมมิรภัยหมายเลข SIF-C

หมายเลข ฟังก์ชันนิรภัย	รายละเอียด	จุดมุ่งหมาย	อัตราการเกิดเหตุการณ์ผิดพลาด
SIF C	P-101 A/B Pumps Loss Suction	เพื่อป้องกันปั๊ม P-101 A/B จากการ Loss Suction	ชุดควบคุมระดับ LIC-101 ทำงานผิดพลาด = 1 ครั้ง ต่อ 10 ปี หรือ 0.1 ครั้ง ต่อ ปี

3.3.1 การประเมินค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมาย ด้วยวิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน

ในการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน ในงานวิจัยนี้จะทำการพิจารณาแยกตามฟังก์ชันวัดคัมมิรภัยจากตารางที่ 3.4 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ

จากตารางที่ 3.4 ฟังก์ชันวัดคัมมิรภัย SIF-A สามารถนำมาเขียนไดอะแกรมการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน ได้ดังนี้

เหตุการณ์ผิดพลาดเริ่มต้น	ชั้นการป้องกัน	ผลกระทบ
ชุดควบคุมระดับ LIC-103 ทำงานผิดพลาด	ไม่มี	E-103 เกิดความเสียหาย
		0.1 ครั้ง ต่อ ปี
FA = 1/10 ปี		เกิดความเสียหาย
		0.9 ครั้ง ต่อ ปี
		ไม่เกิดความเสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากไดอะแกรม การวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน จะได้ความถี่ของเหตุการณ์ที่ไม่ต้องการดังสมการนี้

เมื่อ

$$F = FA$$

F = ค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีหลังการป้องกัน
 FA = ค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีก่อนการป้องกัน

ดังนั้นจะได้ว่า

$$F = 1/10$$

$$= 0.1 \text{ ครั้งต่อปี}$$

เมื่อได้ค่าความถี่ของเหตุการณ์ที่ไม่ต้องการแล้ว จากนั้นต้องมีการหาค่าความถี่ที่ยอมรับได้ จากตารางที่ 3.1 ที่ได้จัดเตรียมขึ้นใช้กับโรงงาน สามารถเปรียบเทียบวิเคราะห์ได้ดังนี้

ตารางที่ 3.7 ตารางผลกระทบที่เกิดจากเหตุการณ์ผิดพลาดของ SIF-A

ตารางผลกระทบ	ระดับความรุนแรง	ความถี่ที่ยอมรับได้ (1 ครั้งต่อปี)
ชีวิตคน	ไม่มีการบาดเจ็บ	ต่ำมาก <1
สิ่งแวดล้อม	ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อยมาก	ต่ำ 1×10^{-1}
ทรัพย์สิน	ระดับของเหลวที่อยู่ในอุปกรณ์ E-103 ลดลงจนอยู่ในระดับที่ต่ำมาก ๆ จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นจนส่งผลให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายได้ โดยค่าใช้จ่ายในการซ่อมอุปกรณ์ E-103 ทำให้ต้องหยุดกระบวนการแก๊สขึ้นปลายเป็นเวลา 2 วัน โดยมีค่าเสียหายต่อการหยุดกระบวนการนี้เพื่อทำการซ่อมแซม E-103 ประมาณ 24,500,000 บาท	สูง 1×10^{-3}

จากตารางที่ 3.7 สามารถหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ โดยนำค่าความถี่ที่ยอมรับได้จากผลกระทบต่อทรัพย์สิน มาใช้ในการคำนวณ คือ 1×10^{-3} สำหรับลดความเสี่ยงให้อยู่ในค่าที่กำหนด เนื่องมาจากค่าความถี่ที่ยอมรับได้น้อยที่สุด จะทำให้ได้ค่าระดับความปลอดภัย ในระดับที่สูงที่สุด โดยสามารถแสดงการคำนวณได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{PFD}_{\text{avg}} &= \text{Tolerable Hazard rate} / \text{Calculate Demand Rate} \\ &= 1 \times 10^{-3} / 1 \times 10^{-1} \\ &= 0.01 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าตัวแปรลดความเสี่ยง RRF} &= 1 / \text{PFD}_{\text{avg}} \\ &= 1 / 0.01 \\ &= 100 \end{aligned}$$

และจากตารางที่ 2.6 ค่าการลดความเสี่ยงและค่าระดับความปลอดภัยของระบบวัดคุมনিรภัย ทำให้ได้ค่าระดับความปลอดภัยที่ต้องการสำหรับฟังก์ชันนิรภัยนี้คือ ค่าระดับความปลอดภัยที่ SIL 2 เพื่อใช้ในการลดความเสี่ยงให้อยู่ในค่าที่ต้องการ

ในการประเมินความเสี่ยงของฟังก์ชันนิรภัย SIF-A นี้ ไม่สามารถนำสัญญาณเตือนของเครื่องมือวัดระดับของเหลวในระบบควบคุมพื้นฐานเมื่อระดับของเหลว ต่ำกว่าระดับที่กำหนดไว้มาทำการพิจารณาเป็นชั้นการป้องกันได้อันเนื่องมาจาก ตัวตรวจจับและฟังก์ชันควบคุมระดับ เกิดความผิดพลาดในการทำงานไปแล้วจึงไม่สามารถส่งสัญญาณเตือนมาแจ้งต่อพนักงานได้

จากตารางที่ 3.5 ฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย SIF-B สามารถนำมาเขียนโตอะแกรมการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน ได้ดังนี้

เหตุการณ์ผิดพลาดเริ่มต้น	ชั้นการป้องกัน	ผลกระทบ
ชุดควบคุมการไหล FIC-101 ทำงานผิดพลาด	ไม่มี	ถึงปฏิบัติการ R-101 และอุปกรณ์ภายใน เกิดความเสียหาย
FA = 1/10 ปี		0.1 ครั้ง ต่อ ปี เกิดความเสียหาย
		0.9 ครั้ง ต่อ ปี ไม่เกิดความเสียหาย

จากโตอะแกรม การวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน จะได้ความถี่ของเหตุการณ์ที่ไม่ต้องการดังสมการนี้

$$F = FA$$

เมื่อ

F = ค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีหลังการป้องกัน

FA = ค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีก่อนการป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้ว่า

$$F = 1/10$$

$$= 0.1 \text{ ครั้งต่อปี}$$

เมื่อได้ค่าความถี่ของเหตุการณ์ที่ไม่ต้องการแล้ว จากนั้นต้องมีการหาค่าความถี่ที่ยอมรับได้ จากตารางที่ 3.1 ที่ได้จัดเตรียมขึ้นให้ใช้กับโรงงาน สามารถเปรียบเทียบวิเคาระห์ได้ดังนี้

ตารางที่ 3.8 ตารางผลกระทบที่เกิดจากเหตุการณ์ผิดพลาดของ SIF-B

ตารางผลกระทบ	ระดับความรุนแรง	ความถี่ที่ยอมรับได้ (1 ครั้งต่อปี)
ชีวิตคน	สูง	1×10^{-3}
สิ่งแวดล้อม	ปานกลาง	1×10^{-2}
ทรัพย์สิน	สูง	1×10^{-3}

จากตารางที่ 3.8 สามารถหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ โดยนำค่าความถี่ที่ยอมรับได้จากผลกระทบต่อทรัพย์สิน มาใช้ในการคำนวณ คือ 1×10^{-3} สำหรับลดความเสี่ยงให้อยู่ในค่าที่กำหนด เนื่องมาจากค่าความถี่ที่ยอมรับได้น้อยที่สุด จะทำให้ได้ค่าระดับความปลอดภัย ในระดับที่สูงที่สุด โดยสามารถแสดงการคำนวณได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{PFD}_{\text{avg}} &= \text{Tolerable Hazard rate} / \text{Calculate Demand Rate} \\ &= 1 \times 10^{-3} / 1 \times 10^{-1} \\ &= 0.01 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าตัวแปรลดความเสี่ยง RRF} &= 1 / \text{PFD}_{\text{avg}} \\ &= 1 / 0.01 \\ &= 100 \end{aligned}$$

และจากตารางที่ 2.6 ค่าการลดความเสี่ยงและค่าระดับความปลอดภัยของระบบวัดคุมนิรภัย ทำให้ได้ค่าระดับความปลอดภัยที่ต้องการสำหรับฟังก์ชันนิรภัยนี้คือ ค่าระดับความปลอดภัยที่ SIL 2 เพื่อใช้ในการลดความเสี่ยงให้อยู่ในค่าที่ต้องการ

ในการประเมินความเสี่ยงของฟังก์ชันนิรภัย SIF-B นี้ ไม่สามารถนำสัญญาณเตือนของเครื่องมือวัดการไหลของเหลว FIC-101 ในระบบควบคุมพื้นฐาน เมื่ออัตราการไหลของของเหลวต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ มาทำการพิจารณาเป็นชั้นการป้องกันได้อันเนื่องมาจาก ตัวตรวจจับและฟังก์ชันควบคุมการไหล เกิดความผิดพลาดในการทำงานไปแล้วจึงไม่สามารถส่งสัญญาณเตือนมาแจ้งต่อพนักงานได้

จากตารางที่ 3.6 ฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย SIF-C สามารถนำมาเขียนไดอะแกรม วิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน ได้ดังนี้

เหตุการณ์ผิดพลาดเริ่มต้น	ชั้นการป้องกัน	ผลกระทบ
ชุดควบคุมระดับ LIC-101 ทำงานผิดพลาด	ไม่มี	ปัมป์ P-101 A/B เสียหาย
FA = 1/10 ปี		0.1 ต่อ ปี เกิดความเสียหาย
		0.9 ต่อ ปี ไม่เกิดความเสียหาย

จากไดอะแกรม การวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน จะได้ความถี่ของเหตุการณ์ที่ไม่ต้องการดังสมการนี้

เมื่อ

$$F = FA$$

F = ค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีหลังการป้องกัน

FA = ค่าความถี่ของการเกิดเหตุการณ์อันตรายต่อปีก่อนการป้องกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจะได้ว่า

$$F = 1/10$$

$$= 0.1 \text{ ครั้งต่อปี}$$

เมื่อได้ค่าความถี่ของเหตุการณ์ที่ไม่ต้องการแล้ว จากนั้นต้องมีการหาค่าความถี่ที่ยอมรับได้ จากตารางที่ 3.1 ที่ได้จัดเตรียมขึ้นให้ใช้กับโรงงาน สามารถเปรียบเทียบวิเคราะห์ได้ดังนี้

ตารางที่ 3.9 ตารางผลกระทบที่เกิดจากเหตุการณ์ผิดพลาดของ SIF-C

ตารางผลกระทบ	ระดับความรุนแรง	ความถี่ที่ยอมรับได้ (1 ครั้งต่อปี)
ชีวิตคน บาดเจ็บปานกลาง ต้องหยุดทำงาน (ในบริเวณนั้นมีผู้ปฏิบัติงานน้อยกว่าครึ่งวัน และสามารถหลีกเลี่ยงจากเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นได้)	ต่ำ	1×10^{-1}
สิ่งแวดล้อม ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อยมาก	ต่ำ	1×10^{-1}
ทรัพย์สิน เมื่อเกิด Loss Suction ขึ้น จะทำให้ปั๊ม P-101 A/B เกิดการ cavitations ได้ และอาจทำให้มีของไหล 2 เฟส ไหลเข้าไปในปั๊ม ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน และอุปกรณ์รั่ว (mechanical seal) แบริ่ง (bearing) และแกนเพลลา (shaft) เกิดความเสียหายได้ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและบำรุงรักษาปั๊ม คิดเป็นเงินอยู่ในช่วง 330,000 – 3,300,000 บาท	ปานกลาง	1×10^{-2}

จากตารางที่ 3.9 สามารถหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ โดยนำค่าความถี่ที่ยอมรับได้จากผลกระทบต่อทรัพย์สิน มาใช้ในการคำนวณ คือ 1×10^{-2} สำหรับลดความเสี่ยงให้อยู่ในค่าที่กำหนด เนื่องมาจากค่าความถี่ที่ยอมรับได้น้อยที่สุด จะทำให้ได้ค่าระดับความปลอดภัย ในระดับที่สูงที่สุด โดยสามารถแสดงการคำนวณได้ดังนี้

$$PFD_{avg} = \text{Tolerable Hazard rate} / \text{Calculate Demand Rate}$$

$$= 1 \times 10^{-2} / 1 \times 10^{-1}$$

$$= 0.1$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}\text{ค่าตัวแปรลดความเสี่ยง RRF} &= 1/\text{PFD}_{\text{avg}} \\ &= 1/0.1 \\ &= 10\end{aligned}$$

และจากตารางที่ 2.6 ค่าการลดความเสี่ยงและค่าระดับความปลอดภัยของระบบวัดคูนินทรีย์ ทำให้ได้ค่าระดับความปลอดภัยที่ต้องการสำหรับฟังก์ชันนินทรีย์นี้คือ ค่าระดับความปลอดภัยที่ SIL 1 เพื่อใช้ในการลดความเสี่ยงให้อยู่ในค่าที่ต้องการ

ในการประเมินความเสี่ยงของฟังก์ชันนินทรีย์ SIF-C นี้ ไม่สามารถนำสัญญาณเตือนของเครื่องมือวัดระดับ ของเหลว LIC-101 ในระบบควบคุมพื้นฐาน เมื่อระดับของเหลวต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ มาทำการพิจารณาเป็นชั้นการป้องกันได้อันเนื่องมาจาก ตัวตรวจจับและฟังก์ชันควบคุมระดับ เกิดความผิดพลาดในการทำงานไปแล้วจึงไม่สามารถส่งสัญญาณเตือนมาแจ้งต่อพนักงาน

3.3.2 การประเมินค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมาย ด้วยวิธีกราฟความเสี่ยง

ในการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีกราฟความเสี่ยง ในงานวิจัยนี้จะทำการพิจารณาแยกตามฟังก์ชันวัดคูนินทรีย์จากตารางที่ 3.4 , 3.5 และ 3.6 ตามลำดับ

จากตารางที่ 3.4 การประเมินความเสี่ยงของฟังก์ชันวัดคูนินทรีย์หมายเลข SIF-A อัตราการเกิดเหตุการณ์ผิดพลาดอันตรายที่อาจเกิดขึ้น ของชุดควบคุมระดับ LIC-103 ผิดพลาด คือ 1 ครั้ง ใน 10 ปี เมื่อทำการเปรียบเทียบกับอัตราการเกิดเหตุการณ์อันตรายที่ถูกจัดทำขึ้นในตารางที่ 3.3 ทำให้ทราบว่า อัตราการเกิดเหตุการณ์นี้อยู่ในระดับที่ W_4 และเช่นเดียวกันจากตารางที่ 3.8 ผลกระทบที่เกิดจากเหตุการณ์ผิดพลาดของ SIF-A สามารถหาผลกระทบที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการเกิดเหตุการณ์ผิดพลาดอันตรายนี้ได้ดังต่อไปนี้

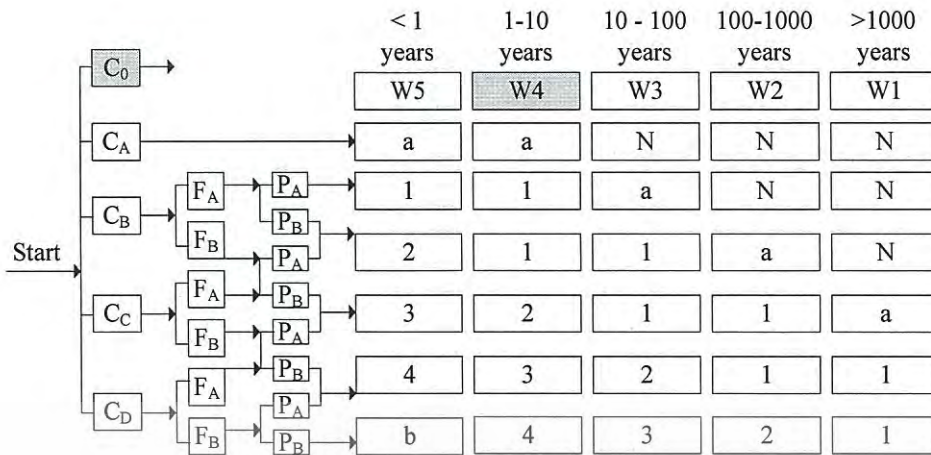
ผลกระทบต่อชีวิตคน (C) ประเมินได้ว่าไม่มีผู้ได้รับบาดเจ็บและเสียชีวิต ดังนั้นจะได้ว่าตัวแปรความสูญเสียต่อชีวิตคน คือ C_0

ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม (E) ประเมินได้ว่า ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อยมาก ดังนั้นตัวแปรความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม คือ E_A

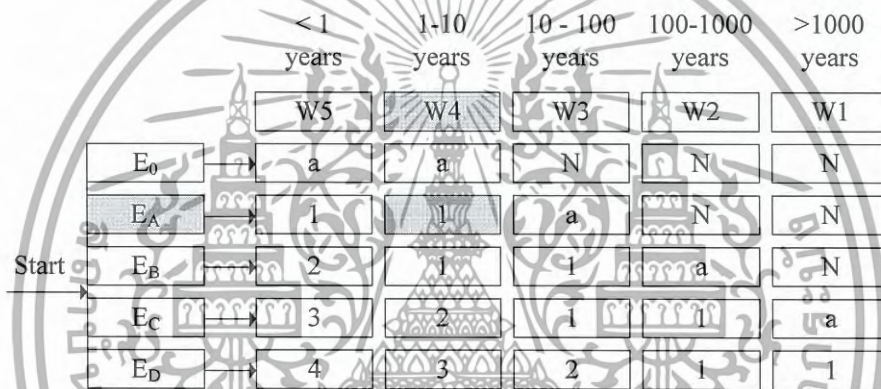
ความสูญเสียต่อทรัพย์สิน (L) ประเมินได้ว่า เมื่อระดับของเหลวที่อยู่ในอุปกรณ์ E-103 ลดลงจนอยู่ในระดับที่ต่ำมาก ๆ จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นจนส่งผลให้อุปกรณ์เกิดความเสียหายได้ โดยค่าใช้จ่ายในการซ่อมอุปกรณ์ E-103 ทำให้ต้องหยุดกระบวนการแก๊สขึ้นปลายเป็นเวลา 2 วัน

โดยมีค่าเสียหายต่อการหยุดกระบวนการนี้เพื่อทำการซ่อมแซม E-103 ประมาณ 24,500,000 บาท ดังนั้นความสูญเสียต่อทรัพย์สิน คือ L_C

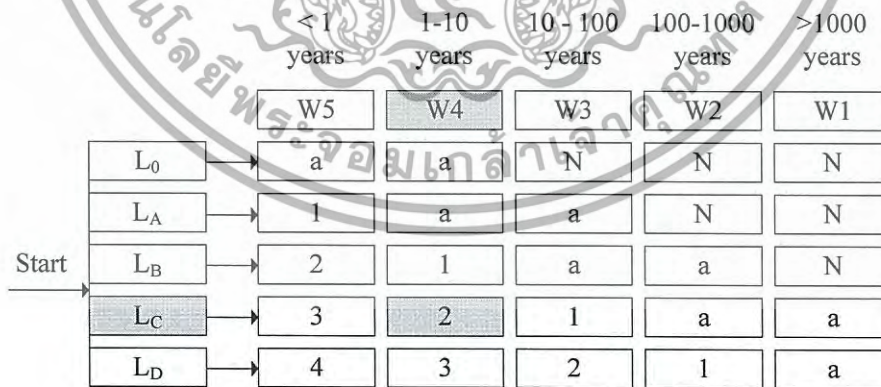
จากการประเมินความเสี่ยงของฟังก์ชันวัดคูนินทรีย์ SIF-A ทำให้ได้ค่าอัตราการเกิดเหตุการณ์ผิดพลาดอันตรายอยู่ที่ระดับ W_4 ซึ่งส่งผลกระทบต่อชีวิตคน คือ C_0 ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม คือ E_A และ ความสูญเสียต่อทรัพย์สิน คือ L_C นำค่าตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้มาใส่ลงในกราฟเสี่ยง เพื่อใช้ในการหา ค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมายสำหรับฟังก์ชันวัดคูนินทรีย์ SIF-A โดยผลการประเมินถูกแสดงดังรูปที่ 3.2



(ก) ผลกระทบต่อชีวิตคน



(ข) ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม



(ค) ความสูญเสียต่อทรัพย์สิน

รูปที่ 3.3 ผลการประเมินความเสี่ยงด้วยกราฟความเสี่ยงสำหรับฟังก์ชันวัดคูนิรภัย SIF-A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความเสี่ยงที่ได้จัดทำขึ้นทั้งสามกราฟ สำหรับฟังก์ชันวัดคูนิรภัยหมายเลข SIF-A สามารถสรุปการประเมินค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันวัดคูนิรภัยหมายเลข SIF-A ได้ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 ค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันวัดคูนิรภัยหมายเลข SIF-A

ผลกระทบ	ค่าระดับความปลอดภัย
ผลกระทบต่อชีวิตคน	SIL a
ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม	SIL 1
ความสูญเสียต่อทรัพย์สิน	SIL 2

ดังนั้น ค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมายที่ต้องการสำหรับฟังก์ชันวัดคูนิรภัยหมายเลข SIF-A คือ ค่าระดับความปลอดภัยที่สูงที่สุด คือ SIL 2

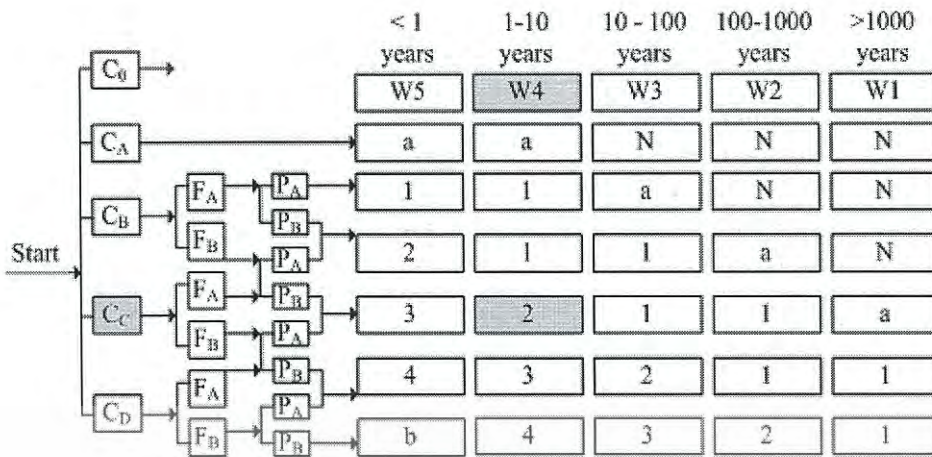
จากตารางที่ 3.5 การประเมินความเสี่ยงของฟังก์ชันนิรภัยหมายเลข SIF-B อัตราการเกิดเหตุการณ์ผิดพลาดอันตรายที่อาจเกิดขึ้น ของชุดควบคุมการไหล FIC-101 ทำงานผิดพลาด คือ 1 ครั้ง ใน 10 ปี เมื่อทำการเปรียบเทียบกับอัตราการเกิดเหตุการณ์อันตรายที่ถูกจัดทำขึ้นในตารางที่ 3.3 ทำให้ทราบว่าอัตราการเกิดเหตุการณ์นี้อยู่ในระดับที่ W_4 และเช่นเดียวกันจากตารางที่ 3.9 ผลกระทบที่เกิดจากเหตุการณ์ผิดพลาดของ SIF-B สามารถหาผลกระทบที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากการเกิดเหตุการณ์ผิดพลาดอันตรายนี้ได้ ดังต่อไปนี้

ผลกระทบต่อชีวิตคน (C) ประเมินได้ว่า เนื่องจากมีแก๊ส H_2S รั่วไหลไปสู่ภายนอกได้ในปริมาณเล็กน้อย ซึ่งมีโอกาสทำให้มีคนที่เสียชีวิต 2 คน ในบริเวณนั้นมีผู้ปฏิบัติงานน้อยกว่าครึ่งวัน และไม่สามารถหลีกเลี่ยงจากเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นได้) ดังนั้นจะได้ว่าตัวแปรความสูญเสียต่อชีวิตคน คือ C_C

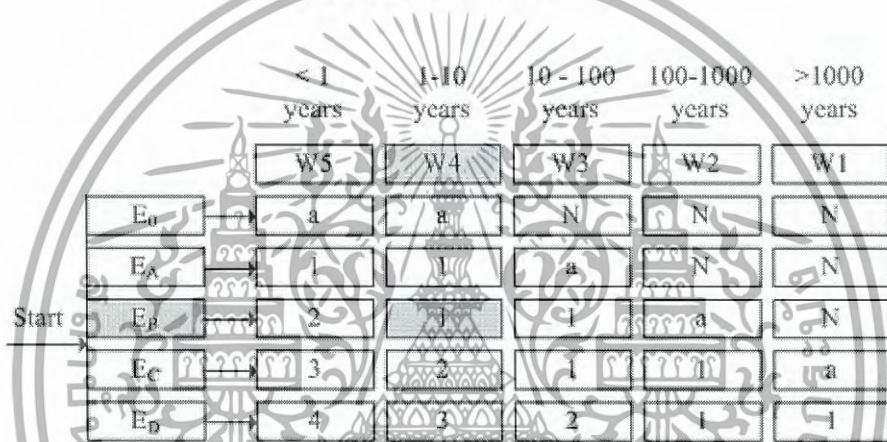
ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม (E) ประเมินได้ว่า ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อย ดังนั้นตัวแปรความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม คือ E_B

ความสูญเสียต่อทรัพย์สิน (L) ประเมินได้ว่า หากตัวทำปฏิกิริยาเกิดความเสียหาย จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยน 17,820,000 บาท สำหรับถึงปฏิกิริยา R-101 อาจเกิดรอยแตกรั่วได้ อาจทำให้มีแก๊ส H_2S รั่วไหลไปสู่ภายนอก ซึ่งค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุงและค่าสูญเสียโอกาสทางการผลิตจำนวน 1 วัน คิดเป็นเงินประมาณ 10,000,000 บาท โดยมีมูลค่ารวมในความสูญเสียทรัพย์สินประมาณ $17,820,000 + 10,000,000 = 27,820,000$ บาท ดังนั้นความสูญเสียต่อทรัพย์สิน คือ L_C

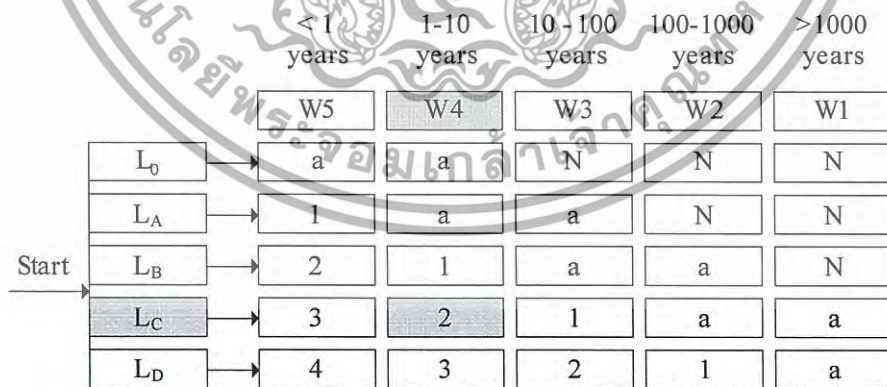
จากการประเมินความเสี่ยงของฟังก์ชันวัดคูนิรภัย SIF-B ทำให้ได้ค่าอัตราการเกิดเหตุการณ์ผิดพลาดอันตรายอยู่ที่ระดับ W_4 ซึ่งส่งผลกระทบต่อความสูญเสียชีวิตคน คือ C_C ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม คือ E_B และ ความสูญเสียต่อทรัพย์สิน คือ L_C นำค่าตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้มาใส่ลงในกราฟเสี่ยงเพื่อใช้ในการหาค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมายสำหรับฟังก์ชันวัดคูนิรภัย SIF-B โดยผลการประเมินจะถูกแสดงดังรูปที่ 3.3



(ก) กราฟผลกระทบต่อชีวิตคน



(ข) กราฟความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม



(ค) กราฟความสูญเสียต่อทรัพย์สิน

รูปที่ 3.4 ผลการประเมินความเสี่ยงด้วยกราฟความเสี่ยงสำหรับฟังก์ชันวัดคุณนิรภัย SIF-B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความเสี่ยงที่ได้จัดทำขึ้นทั้งสามสำหรับฟังก์ชันวัดคุณนिरภัยหมายเลข SIF-B สามารถสรุปการประเมินค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันวัดคุณนिरภัยหมายเลข SIF-B ได้ดังตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 ค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันวัดคุณนिरภัยหมายเลข SIF-B

ผลกระทบ	ค่าระดับความปลอดภัย
ผลกระทบต่อชีวิตคน	SIL 2
ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม	SIL 1
ความสูญเสียต่อทรัพย์สิน	SIL 2

ดังนั้น ค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมายที่ต้องการสำหรับฟังก์ชันวัดคุณนिरภัยหมายเลข SIF-B คือค่าระดับความปลอดภัยที่สูงที่สุดคือ SIL 2

จากตารางที่ 3.6 การประเมินความเสี่ยงของฟังก์ชันนिरภัยหมายเลข SIF-C อัตราการเกิดเหตุการณ์ผิดพลาดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นของชุดควบคุมระดับ LIC-101 ทำงานผิดพลาด = 1 ครั้ง ใน 10 ปี เมื่อทำการเปรียบเทียบกับอัตราการเกิดเหตุการณ์อันตรายที่ถูกจัดทำขึ้นในตารางที่ 3.3 ทำให้ทราบว่า อัตราการเกิดเหตุการณ์นี้อยู่ในระดับที่ W_4 และเช่นเดียวกัน จากตารางที่ 3.9 ผลกระทบที่เกิดจากเหตุการณ์ผิดพลาดของ SIF-C สามารถหาผลกระทบที่เกิดขึ้นอื่นเนื่องมาจากการเกิดเหตุการณ์ผิดพลาดอันตรายนี้ได้ดังต่อไปนี้

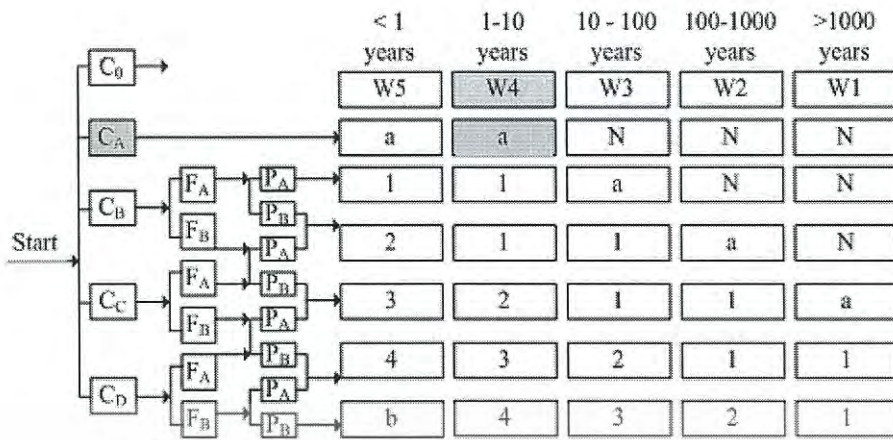
ผลกระทบต่อชีวิตคน (C) ประเมินได้ว่า มีคนบาดเจ็บปานกลาง (ในบริเวณนั้นมีผู้ปฏิบัติงานน้อยกว่าครึ่งวัน และสามารถหลีกเลี่ยงจากเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นได้) คือ C_A

ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม (E) ประเมินได้ว่า ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเล็กน้อยมาก ดังนั้น ตัวแปรความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม คือ E_A

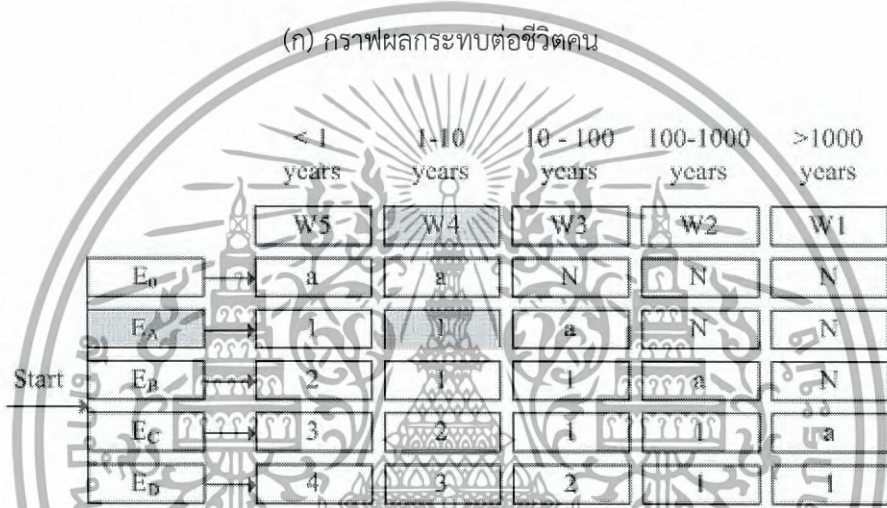
ความสูญเสียต่อทรัพย์สิน (L) ประเมินได้ว่า เมื่อเกิด Loss Suction ขึ้น จะทำให้ปั๊ม P-101 A/B เกิดการ cavitations ได้ และอาจทำให้มีของไหล 2 เฟส ไหลเข้าไปในปั๊ม ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน และอุปกรณ์กันรั่ว (mechanical seal), แบริ่ง (bearing) และแกนเพลลา (shaft) เกิดความเสียหายได้ ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมและบำรุงรักษาปั๊ม คิดเป็นเงินอยู่ในช่วง 330,000 - 3,300,000 บาท ดังนั้น ความสูญเสียต่อทรัพย์สิน คือ L_B

จากการประเมินความเสี่ยงของฟังก์ชันวัดคุณนिरภัย SIF-C ทำให้ได้ค่าอัตราการเกิดเหตุการณ์ผิดพลาดอันตรายอยู่ที่ระดับ W_4 ซึ่งส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยชีวิตคน คือ C_A ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม คือ E_A และ ความสูญเสียต่อทรัพย์สิน คือ L_B นำค่าตัวแปรต่าง ๆ เหล่านี้มาใส่ลงในกราฟเสี่ยงเพื่อใช้ในการหาค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมายสำหรับฟังก์ชันวัดคุณนिरภัย SIF-C โดยผลการประเมินจะถูกแสดงดังรูปที่ 3.4

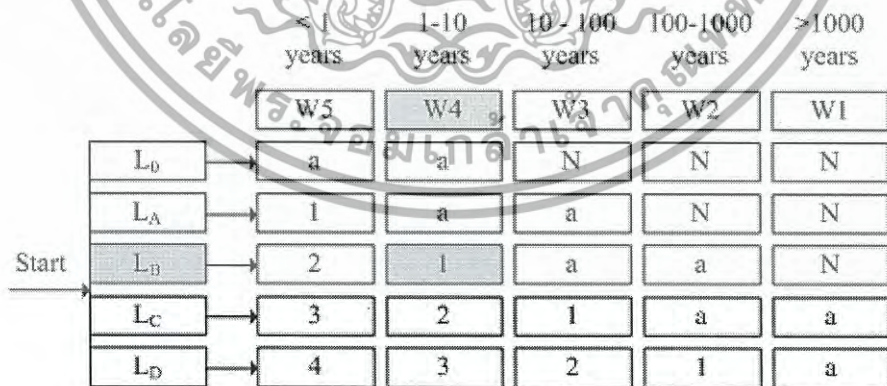
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) กราฟผลกระทบต่อชีวิตคน



(ข) กราฟความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม



(ค) กราฟความสูญเสียต่อทรัพย์สิน

รูปที่ 3.5 ผลการประเมินความเสี่ยงด้วยกราฟความเสี่ยงสำหรับฟังก์ชันวัดคุณนิรภัย SIF-C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟความเสี่ยงที่ได้จัดทำขึ้นทั้งสามกราฟ สำหรับฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยหมายเลข SIF-C สามารถสรุปการประเมินค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยหมายเลข SIF-C ได้ดังตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 ค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยหมายเลข SIF-C

ผลกระทบ	ค่าระดับความปลอดภัย
ผลกระทบต่อชีวิตคน	SIL a
ความเสียหายต่อสิ่งแวดล้อม	SIL 1
ความสูญเสียต่อทรัพย์สิน	SIL 1

ดังนั้น ค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมายที่ต้องการสำหรับฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยหมายเลข SIF-B คือ ค่าระดับความปลอดภัยที่สูงที่สุดคือ SIL 1

3.4 การเปรียบเทียบผลการประเมินความเสี่ยงของฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยด้วยวิธีขั้นการป้องกันและวิธีกราฟความเสี่ยง

จากการประเมินความเสี่ยงของฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย หมายเลข SIF-A SIF-B และ SIF-C ในหัวข้อที่ผ่านมา ผลของการประเมินด้วยวิธีดังกล่าวทั้งสอง แสดงได้ดังตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 ค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยหมายเลข SIF-A, SIF-B และ SIF-C

หมายเลขฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย	ค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมาย	
	การวิเคราะห์ขั้นการป้องกัน	กราฟความเสี่ยง
SIF-A	SIL 2	SIL 2
SIF-B	SIL 2	SIL 2
SIF-C	SIL 1	SIL 1

จากตารางที่ 3.13 สามารถสรุปได้ว่าผลการประเมินความเสี่ยงด้วยวิธีการวิเคราะห์ขั้นการป้องกันและวิธีกราฟความเสี่ยงได้ค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมายที่เท่ากัน ของทุกฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย

3.5 การออกแบบฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย

ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยขอแสดงการออกแบบอย่างละเอียดของฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยสำหรับฟังก์ชัน SIF-A เพียงเท่านั้น เนื่องจากเป็นฟังก์ชันนิรภัยที่ไม่มีผลกระทบต่อชีวิตคน ซึ่งสามารถออกแบบรูปแบบการต่อใช้งานอุปกรณ์ สำหรับฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยหมายเลข SIF-A ได้ดังตารางที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.14 รูปแบบอุปกรณ์ที่ทำการออกแบบสำหรับฟังก์ชันวัดคัมมิรภัยหมายเลข SIF-A

หมายเลข ฟังก์ชันวัดคัมมิรภัย SIF No.	รูปแบบการต่อใช้งานอุปกรณ์		
	อุปกรณ์การวัด Sensor	ส่วนประมวลผล Logic Solver	อุปกรณ์สุดท้าย Final Element
SIF-A1	1002	1001	1001+1001
SIF-A2	1002	1001	1002+1002
SIF-A3	1002	1001	1003+1003
SIF-A4	1003	1001	1001+1001
SIF-A5	1003	1001	1002+1002
SIF-A6	1003	1001	1003+1003

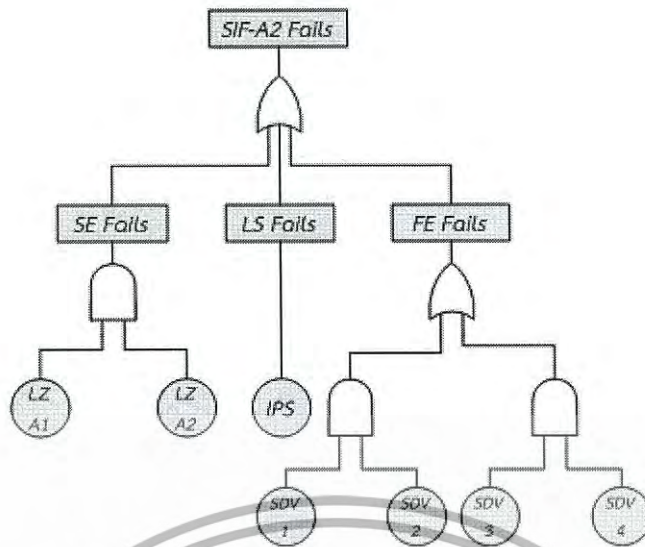
3.6 การหาค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันวัดคัมมิรภัย

เมื่อทำการออกแบบฟังก์ชันวัดคัมมิรภัยสำหรับฟังก์ชันหมายเลข SIF-A ในหัวข้อที่ 3.5 ได้แล้วนั้น สามารถนำมาเขียนเป็นแผนภาพต้นไม้เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าความผิดพลาดอันตราย ของรูปแบบการต่อใช้งานของแต่ละฟังก์ชันย่อยของฟังก์ชันวัดคัมมิรภัย เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ ของแต่ละฟังก์ชันวัดคัมมิรภัยที่ถูกออกแบบไว้แล้วในตารางที่ 3.16 สามารถนำมาเขียนเป็นแผนภาพต้นไม้ได้ดังนี้

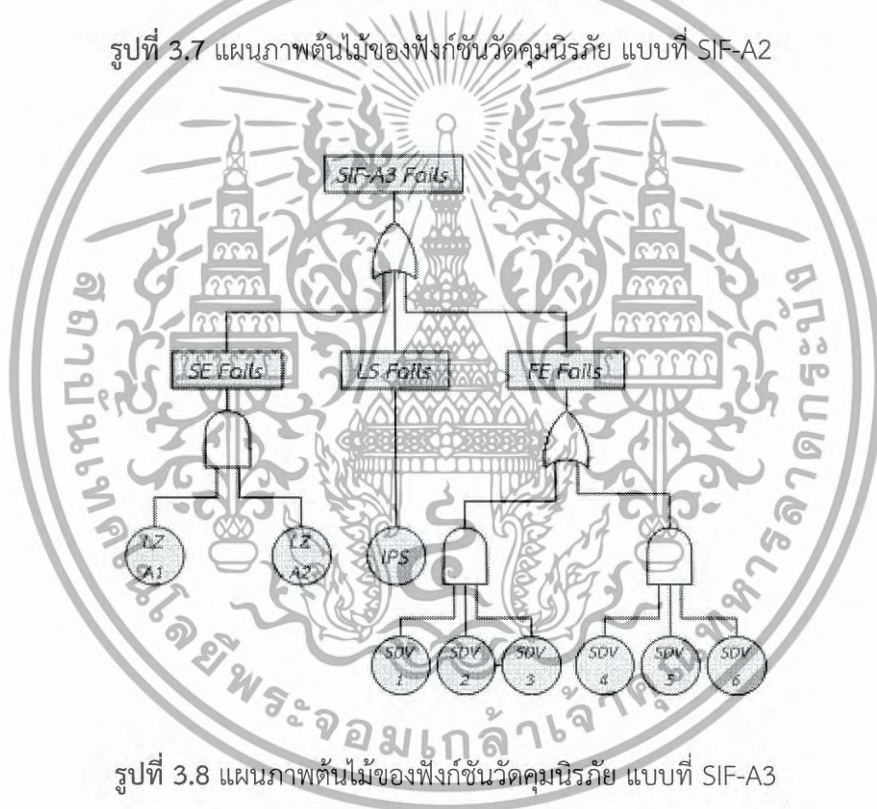


รูปที่ 3.6 แผนภาพต้นไม้ของฟังก์ชันวัดคัมมิรภัย แบบที่ SIF-A1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

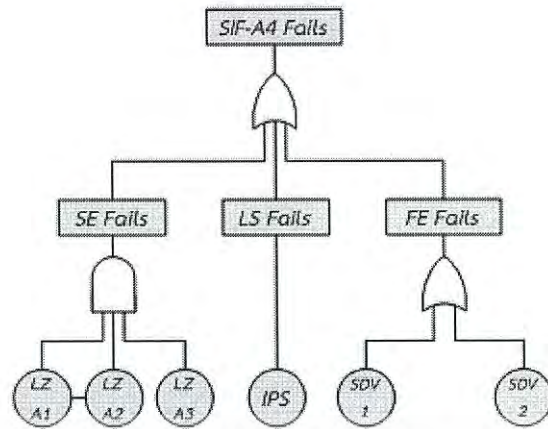


รูปที่ 3.7 แผนภาพต้นไม้ของฟังก์ชันวัดคุณนริภัย แบบที่ SIF-A2



รูปที่ 3.8 แผนภาพต้นไม้ของฟังก์ชันวัดคุณนริภัย แบบที่ SIF-A3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

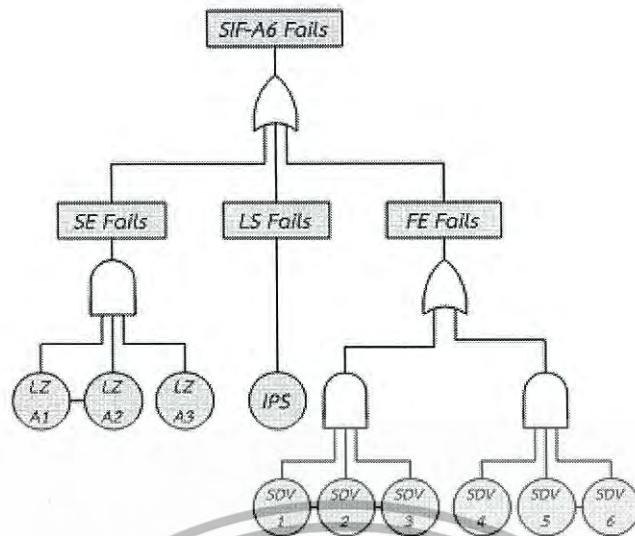


รูปที่ 3.9 แผนภาพต้นไม้ของฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย แบบที่ SIF-A4



รูปที่ 3.10 แผนภาพต้นไม้ของฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย แบบที่ SIF-A5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แผนภาพต้นไม้ของฟังก์ชันวัดคุณนिरภัย แบบที่ SIF-A6

จากรูปแผนภาพต้นไม้ที่ 3.5 ถึง 3.10 ในการหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของระบบย่อยของฟังก์ชันวัดคุณนिरภัยที่ออกแบบไว้ในตารางที่ 3.15 สามารถแสดงรายละเอียดได้ดังนี้

3.6.1 การหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของระบบย่อย

จากสมการในการหาค่าความผิดพลาดอันตรายในหัวข้อที่ 2.4.3 ด้วยการวิเคราะห์ด้วยแผนภาพต้นไม้ สมการสำหรับหาค่าความผิดพลาดอันตรายสำหรับ อุปกรณ์การวัด ส่วนประมวลผล และอุปกรณ์สุดท้าย สามารถหาได้ตามสมการที่ 3.1 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

$$PFD_{(SE)} = (1 - e^{-\lambda_{SE}T_i})^n \quad (3.1)$$

$$PFD_{(LS)} = (1 - e^{-\lambda_{LS}T_i})^n \quad (3.2)$$

$$PFD_{(FE)} = (1 - e^{-\lambda_{FE}T_i})^n \quad (3.3)$$

เมื่อ

- n คือ จำนวนของอุปกรณ์
- λ_{SE} คือ ความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์การวัด
- λ_{LS} คือ ค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์หน่วยประมวลผล
- λ_{FE} คือ ค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ตัวสุดท้าย
- T_i คือ เวลาทดสอบการทำงาน

จากสมการที่ 3.1, 3.2 และ 3.3 จะได้สมการสำหรับหาค่าความผิดพลาดอันตรายสำหรับระบบย่อยต่าง ๆ ดังตารางที่ 3.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.15 ค่าความผิดพลาดอันตรายของฟังก์ชันวัดคummุณิรภัยแบบต่าง ๆ

SIF No.	PFD _(sys)
PFD(t) _{SIF-A1}	$1 - (2e^{-\lambda_{SE}T_i} - e^{-2\lambda_{SE}T_i})(e^{-\lambda_{LS}T_i})(e^{-2\lambda_{FE}T_i})$
PFD(t) _{SIF-A2}	$1 - (2e^{-\lambda_{SE}T_i} - e^{-2\lambda_{SE}T_i})(e^{-\lambda_{LS}T_i})(4e^{-2\lambda_{FE}T_i} - 4e^{-3\lambda_{FE}T_i} + e^{-4\lambda_{FE}T_i})$
PFD(t) _{SIF-A3}	$1 - (2e^{-\lambda_{SE}T_i} - e^{-2\lambda_{SE}T_i}) * (e^{-\lambda_{LS}T_i})(9e^{-2\lambda_{FE}T_i} + 18e^{-3\lambda_{FE}T_i} + 15e^{-4\lambda_{FE}T_i} - 6e^{-5\lambda_{FE}T_i} + e^{-6\lambda_{FE}T_i})$
PFD(t) _{SIF-A4}	$1 - (3e^{-\lambda_{SE}T_i} - 3e^{-2\lambda_{SE}T_i} + e^{-3\lambda_{SE}T_i})(e^{-\lambda_{LS}T_i})(e^{-2\lambda_{FE}T_i})$
PFD(t) _{SIF-A5}	$1 - (3e^{-\lambda_{SE}T_i} - 3e^{-2\lambda_{SE}T_i} + e^{-3\lambda_{SE}T_i})(e^{-\lambda_{LS}T_i})(-4e^{-2\lambda_{FE}T_i} + 4e^{-3\lambda_{FE}T_i} - e^{-4\lambda_{FE}T_i})$
PFD(t) _{SIF-A6}	$1 - (3e^{-\lambda_{SE}T_i} - 3e^{-2\lambda_{SE}T_i} + e^{-3\lambda_{SE}T_i})(e^{-\lambda_{LS}T_i})(9e^{-2\lambda_{FE}T_i} - 18e^{-3\lambda_{FE}T_i} + 15e^{-4\lambda_{FE}T_i} - 6e^{-5\lambda_{FE}T_i} + e^{-6\lambda_{FE}T_i})$

โดยค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ หาได้จากสมการ

$$PFD_{avg} = \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} PFD(t) dt \quad (3.4)$$

จากสมการที่ 3.4 สามารถหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายสำหรับ อุปกรณ์การวัด หน่วยประมวลผล และอุปกรณ์ตัวสุดท้าย ตามรูปแบบการต่อใช้งานได้ตั้งสมการที่ 3.5 ถึง 3.7

อุปกรณ์ตรวจวัด

รูปแบบการต่อใช้งานแบบ 1oo2 คือ

$$PFD_{avg(SE,1oo2)} = 1 - \left(\frac{2(1 - e^{-\lambda_{SE}T_i})}{\lambda_{SE}T_i} + \frac{(1 - e^{-2\lambda_{SE}T_i})}{2\lambda_{SE}T_i} \right) \quad (3.5)$$

รูปแบบการต่อใช้งานแบบ 1oo3 คือ

$$PFD_{avg(SE,1oo3)} = 1 - \left(\frac{3(1 - e^{-\lambda_{SE}T_i})}{\lambda_{SE}T_i} + \frac{3(1 - e^{-2\lambda_{SE}T_i})}{2\lambda_{SE}T_i} - \frac{(1 - e^{-3\lambda_{SE}T_i})}{3\lambda_{SE}T_i} \right) \quad (3.6)$$

อุปกรณ์หน่วยประมวลผล

รูปแบบการต่อใช้งานแบบ 1oo1 คือ

$$PFD_{avg(LS,1oo1)} = 1 - \frac{(1 - e^{-\lambda_{LS}T_i})}{\lambda_{LS}T_i} \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ตัวสุดท้าย

รูปแบบการต่อใช้งานแบบ 1001 + 1001 คือ

$$PFD_{avg}(FE, 1001+1001) = 1 - \frac{(1 - e^{-(2\lambda_{FE}T_i)})}{2\lambda_{FE}T_i} \quad (3.8)$$

รูปแบบการต่อใช้งานแบบ 1002 + 1002 คือ

$$PFD_{avg}(FE, 1002+1002) = 1 - \left(\frac{4(1 - e^{-(2\lambda_{FE}T_i)})}{2\lambda_{FE}T_i} - \frac{4(1 - e^{-(3\lambda_{FE}T_i)})}{3\lambda_{FE}T_i} + \frac{(1 - e^{-(4\lambda_{FE}T_i)})}{4\lambda_{FE}T_i} \right) \quad (3.9)$$

รูปแบบการต่อใช้งานแบบ 1003 + 1003 คือ

$$PFD_{avg}(FE, 1003+1003) = 1 - \left(\frac{9(1 - e^{-(2\lambda_{FE}T_i)})}{2\lambda_{FE}T_i} + \frac{18(1 - e^{-(3\lambda_{FE}T_i)})}{3\lambda_{FE}T_i} - \frac{15(1 - e^{-(4\lambda_{FE}T_i)})}{4\lambda_{FE}T_i} + \frac{6(1 - e^{-(5\lambda_{FE}T_i)})}{5\lambda_{FE}T_i} - \frac{(1 - e^{-(6\lambda_{FE}T_i)})}{6\lambda_{FE}T_i} \right) \quad (3.10)$$

โดยในงานวิจัยนี้ได้นำความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์แต่ละตัวมาจากฐานข้อมูลของบริษัทผลิตน้ำมันชั้นนำแห่งหนึ่งที่เป็นที่ยอมรับในสากลมาใช้ในการคำนวณหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ ดังแสดงในตารางที่ ข ในภาคผนวก ข

จากตารางที่ ข ในภาคผนวก ข จะได้ค่าอัตราความผิดพลาดของ อุปกรณ์การวัด ส่วนประมวลผล อุปกรณ์สุดท้าย และ ช่วงเวลาในการทดสอบ ดังนี้

λ_{SE}	$= 3.05 \times 10^{-2}$	ครั้ง/ปี
λ_{LS}	$= 2.83 \times 10^{-4}$	ครั้ง/ปี
λ_{FE}	$= 4.69 \times 10^{-2}$	ครั้ง/ปี
T_i	$= 8760$	ชั่วโมง

เมื่อทำการแทนค่าในสมการที่ 3.5 ถึง 3.10 จะได้ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการ $PFD_{avg}(SYS)$ สำหรับฟังก์ชันวัดคุณนริภัยหมายเลข SIF-A1, SIF-A2, SIF-A3, SIF-A4, SIF-A5 และ SIF-A6 ดังแสดงในตารางที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.16 ค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการเทียบกับค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมาย

SIF No.	$PFD_{avg(SYS)}$	SIL_{SIF}	$SIL_{target} = SIL 2$ (0.001 – 0.01)
SIF-A1	0.0459	SIL 1	ไม่ผ่าน
SIF-A2	0.0019	SIL 2	ผ่าน
SIF-A3	0.00049328	SIL 3	ผ่าน
SIF-A4	0.0456	SIL 1	ไม่ผ่าน
SIF-A5	0.0016	SIL 2	ผ่าน
SIF-A6	0.00019709	SIL 3	ผ่าน

จากการคำนวณ พบว่าค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ในเวลาที่ต้องการของฟังก์ชันที่ SIF-A1 และ SIF-A4 มีค่าอยู่ในช่วงระดับความปลอดภัย SIL 1 ฟังก์ชันที่ SIF-A2 และ SIF-A5 มีค่าอยู่ในช่วงระดับความปลอดภัย SIL 2 และฟังก์ชันที่ SIF-A3 และ SIF-A6 มีค่าอยู่ในช่วงระดับความปลอดภัย SIL 3

จะเห็นได้ว่ามีฟังก์ชันที่สามารถนำมาใช้ในการป้องกันเหตุการณ์อันตรายได้แก่ฟังก์ชันวัดคัมมิรภัย หมายเลข SIF-A2 SIF-A3 SIF-A5 และ SIF-A6 โดยที่ฟังก์ชันหมายเลข SIF-A1 SIF-A4 ไม่สามารถนำไปใช้ในการป้องกันเหตุการณ์อันตรายที่จะเกิดขึ้นได้อันเนื่องมาจากมีค่าระดับความปลอดภัยที่ต่ำกว่าค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมายนั่นเอง

3.6.2 การประเมินค่าใช้จ่าย - ผลประโยชน์ ด้วยวิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน

การจัดเตรียมระบบนิรภัยที่มีค่าระดับความปลอดภัยต่าง ๆ จะมีค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกันออกไป ตั้งแต่การออกแบบ ค่าอุปกรณ์ต่าง ๆ การติดตั้ง การใช้งานและซ่อมบำรุง จึงต้องมีกการพิจารณาลดค่าความเสี่ยงลงเทียบกับค่าใช้จ่ายที่ต้องเพิ่มขึ้นเพื่อความเหมาะสมในการติดตั้งระบบวัดคัมมิรภัย

จากผลการประเมินค่าระดับความปลอดภัยของฟังก์ชันวัดคัมมิรภัย SIF-A พบว่า ค่าระดับความปลอดภัยสูงสุดเป็นผลของความเสียหายจากการสูญเสียทางด้านทรัพย์สิน ดังนั้น จากทฤษฎีที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.7.1 ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์และประเมินผลประโยชน์ที่ได้รับเปรียบเทียบกับการลงทุนที่เพิ่มขึ้นระหว่างค่าระดับความปลอดภัยที่ยอมรับได้ระดับต่ำสุด (SIL 1) และค่าระดับความปลอดภัยสูงสุด (SIL 2) เพื่อทำการพิจารณากรณีนี้ การออกแบบฟังก์ชันนิรภัยที่ค่าระดับความปลอดภัยสูงสุด (SIL 2) เหมาะสมที่จะทำจริงและอยู่ในย่านที่ยอมรับได้ ALARP หรือไม่

รูปแบบของฟังก์ชันนิรภัยสำหรับการประเมินนี้ จะใช้รูปแบบ SIF- A1 (SIL 1) กับ รูปแบบ SIF - A2 (SIL 2) ซึ่งเป็นรูปแบบที่มีความเหมาะสมและเห็นความแตกต่างในการออกแบบโดยรูปแบบ SIF - A2 จะใช้วาล์วนิรภัยมากกว่า รูปแบบ SIF- A1 อยู่ 2 ตัว จากนั้นทำการคำนวณโดยใช้สมการอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (สมการที่ 2.21) ข้อมูลพื้นฐานที่นำมาใช้นั้นมาจากฐานข้อมูลของบริษัทผลิตน้ำมันชั้นนำแห่งหนึ่ง ซึ่งใช้สำหรับงานวิจัยนี้เท่านั้น ดังตารางที่ 3.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.17 ค่าใช้จ่ายของฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย SIF-A รูปแบบที่ SIF-A1 และ SIF-A2

หมายเลขการออกแบบ	SIF-A1	SIF-A2
ค่าการลงทุน		
อุปกรณ์การวัด (SE)	9,000	9,000
ส่วนประมวลผล (LS)	17,000	17,000
อุปกรณ์สุดท้าย (FE)	26,000	52,000
รวม (เหรียญสหรัฐ)	52,000	78,000
ค่าใช้จ่ายประจำปี		
ค่าใช้จ่ายในการทดสอบต่อปี	900	1220
ค่าซ่อมบำรุงต่อปี	288	384
รวม (เหรียญสหรัฐ)	1,188	1763
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (เหรียญสหรัฐ)	53,188	79,763
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท)	2,204,569	2,632,179

หมายเหตุ ที่มาของข้อมูลค่าใช้จ่าย ได้นำมาจากฐานข้อมูลของบริษัทผลิตน้ำมันชั้นนำแห่งหนึ่ง และ 1 เหรียญสหรัฐ = 33 บาท

จากตารางที่ 3.4 การประเมินความเสี่ยงของฟังก์ชันวัดคุมนิรภัยหมายเลข SIF A และ ตารางที่ 3.7 ตารางผลกระทบที่เกิดจากเหตุการณ์ผิดพลาดของ SIF-A เมื่อชุดควบคุมระดับ LIC-103 ทำงานผิดพลาดจะทำให้ E-103 เกิดความเสียหาย ซึ่งทำให้ต้องหยุด กระบวนการแก๊สชั้นปลายเป็นเวลา 2 วัน โดยมีค่าเสียหายต่อการหยุดกระบวนการนี้เพื่อทำการซ่อมแซม E-103 ประมาณ 24,500,000 บาท และ อัตราการเกิดเหตุการณ์ทำงานผิดพลาดของชุดควบคุมระดับคือ 0.1 ครั้งต่อปี โดยมีรายละเอียดของระบบวัดคุมนิรภัยและค่าใช้จ่ายดังต่อไปนี้

1. จากตารางฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย SIF-A1 ที่ระดับความปลอดภัย SIL 1 มีค่าความผิดพลาดในการทำงาน เท่ากับ 0.0459 ครั้งต่อปี และมีค่าใช้จ่ายสำหรับระบบวัดคุมนิรภัยที่ระดับความปลอดภัย SIL 1 เท่ากับ 2,204,569 บาท

2. ถ้ามีการปรับปรุงระดับฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย SIF-A1 ที่ระดับความปลอดภัย SIL 1 เป็นฟังก์ชันวัดคุมนิรภัย SIF-A2 ที่ระดับความปลอดภัย SIL 2 จะทำให้ค่าความผิดพลาดลดลงเท่ากับ 0.0019 และมีค่าใช้จ่ายสำหรับระบบวัดคุมนิรภัยที่ระดับความปลอดภัย SIL 2 เท่ากับ 2,632,179 บาท

ในการพิจารณาค่าใช้จ่ายจะพิจารณาเป็น 2 กรณี คือ การติดตั้งระบบวัดคุมนิรภัย SIL 1 และ การปรับปรุงไปเป็น SIL 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.18 ค่าใช้จ่ายเมื่อติดตั้งระบบวัดคุณภาพน้ำ

กรณี	ค่าใช้จ่าย
ไม่ติดตั้งระบบวัดคุณภาพน้ำ	$24,500,000 \times 0.1 = 2,450,000$ บาทต่อปี
เมื่อติดตั้งระบบวัดคุณภาพน้ำ SIL 1	$24,500,000 \times 0.1 \times 0.0459 = 112,455$ บาทต่อปี
เมื่อติดตั้งระบบวัดคุณภาพน้ำ SIL 2	$24,500,000 \times 0.1 \times 0.0019 = 4,655$ บาทต่อปี

จากสมการ (2.21) สามารถหาอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน ของแต่ละวิธีจะเป็นดังนี้

1. ในกรณีติดตั้งระบบวัดคุณภาพน้ำ SIL 1 จะได้เป็น

จากตารางที่ 3.18 สามารถหาค่า PV of Benefit หรือ มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวม ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{PV of Benefit} &= 2,450,000 - 112,455 \quad \text{บาทต่อปี} \\ &= 2,337,545 \quad \text{บาทต่อปี} \end{aligned}$$

และจากตารางที่ 3.17 ได้แสดงค่า PV of Cost หรือ ค่าใช้จ่ายระบบวัดคุณภาพน้ำ SIL 1 มีค่าเท่ากับ 2,204,569 บาท

จากสมการที่ 2.23 สามารถหาค่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{B/C ratio} &= \text{PV of Benefit} / \text{PV of Cost} \\ &= 2,337,545 / 2,204,569 \\ &= 1.060 \end{aligned}$$

จะเห็นว่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน มีค่ามากกว่าหนึ่ง หรือ $B/C > 1$ แสดงว่า คุ้มค่าการลงทุนหรือแสดงให้เห็นว่ามีผลประโยชน์กลับมา 1.06 บาทต่อทุก 1 บาทที่จ่ายออกไป

2. ในกรณีที่ทำการปรับปรุงระบบวัดคุณภาพน้ำ SIL 1 ให้เป็น SIL 2 จะได้เป็น

จากตารางที่ 3.18 สามารถหาค่า PV of Benefit หรือ มูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์รวม ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{PV of Benefit} &= 112,455 - 4,655 \quad \text{บาทต่อปี} \\ &= 107,800 \quad \text{บาทต่อปี} \end{aligned}$$

และจากตารางที่ 3.17 ได้แสดงค่า PV of Cost หรือ ค่าใช้จ่ายการปรับปรุงระบบวัดคุณภาพน้ำ SIL 1 ให้เป็น SIL 2 มีค่าเท่ากับ $79,763 - 53,188 = 26,575$ บาท

จากสมการที่ 2.23 สามารถหาค่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{B/C ratio} &= \text{PV of Benefit} / \text{PV of Cost} \\ &= 107,800 / 26,575 \\ &= 4.06 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน มีค่ามากกว่าหนึ่ง หรือ $B/C > 1$ แสดงว่า คุ่มค่าการลงทุนหรือแสดงให้เห็นว่ามีผลประโยชน์กลับคืนมา 4.06 บาทต่อทุก 1 บาทที่จ่ายออกไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

บทสรุป

4.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการประเมินความเสี่ยงของกระบวนการแก๊สชั้นปลาย ด้วยวิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน และกราฟความเสี่ยง เพื่อกำหนดระดับความปลอดภัยให้กับกระบวนการบำบัดแก๊สชั้นปลาย เห็นได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้วิธีการวิเคราะห์ชั้นการป้องกัน และกราฟความเสี่ยง จะได้ค่าระดับความปลอดภัย ที่มีค่าเหมือนกัน เมื่อการประเมินอยู่บนพื้นฐานตัวแปรเดียวกัน ซึ่งในการที่ผู้ใช้งานจะตัดสินใจว่า จะใช้วิธีการใดในการประเมินความเสี่ยงนั้น มาตรฐานไม่ได้มีข้อกำหนดที่ชัดเจน ดังนั้นในการตัดสินใจหรือจะเลือกวิธีการใด ผู้ใช้งานควรจะต้องศึกษารายละเอียดข้อดีและข้อเสียที่จะได้รับ ทั้งในด้านความพร้อมของบุคลากรที่จะเข้าร่วมการประเมิน ระยะเวลาที่ต้องใช้ในระหว่างการประเมินเกณฑ์ความเสี่ยงที่ยอมรับได้ หรือแม้กระทั่งค่าความผิดพลาดในการทำงานต่าง ๆ ของอุปกรณ์ในกระบวนการผลิต เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินตรงกับความต้องการ และมีค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม

สำหรับฟังก์ชันวัดคัมมิรภัย SIF-A พบว่า มีค่าระดับความปลอดภัยสูงสุดจากการสูญเสียทางด้านทรัพย์สิน จึงสามารถทำการประเมินค่าใช้จ่าย - ผลประโยชน์ ด้วยวิธีอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน โดยทำการเปรียบเทียบฟังก์ชันวัดคัมมิรภัย SIF-A ในรูปแบบที่ SIF-A1 และ SIF-A2 ที่มีค่าระดับความปลอดภัยอยู่ที่ SIL 1 และ SIL 2 ตามลำดับ จากผลการพิจารณาในกรณีการลงทุนติดตั้งระบบนิรภัยในรูปแบบ SIF-A1 และ SIF-A2 พบว่าอัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน มีค่ามากกว่าหนึ่ง แสดงให้เห็นว่า มีความคุ้มค่าแก่การลงทุน โดยเฉพาะการติดตั้งระบบนิรภัยในรูปแบบ SIF-A2 จะมีความคุ้มค่าที่สุด

ในส่วนของการหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตรายสำหรับฟังก์ชันนิรภัยที่นำเสนอทั้ง 6 แบบ นั้นมีฟังก์ชันนิรภัยที่ไม่บรรลุถึงค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมายอยู่ 2 ฟังก์ชันคือ ฟังก์ชันหมายเลข SIF-A1 และ SIF-A4 และจากรูปแบบการต่อใช้งานของอุปกรณ์สุดท้ายของทั้ง 2 ฟังก์ชัน เป็นแบบ 1oo1 + 1oo1 ซึ่งเป็นรูปแบบการต่อใช้งานที่ไม่เหมาะสมกับค่าระดับความปลอดภัย SIL 2 นั้นเอง

4.2 ข้อเสนอแนะ

ในการประเมินความเสี่ยงของกระบวนการผลิต ผู้ที่เข้าร่วมการประเมินควรเป็นผู้ที่มีความชำนาญและประสบการณ์การทำงานสูง เพื่อให้ผลการประเมินออกมาได้ถูกต้องที่สุด มีความน่าเชื่อถือ และควรมีผู้เข้าร่วมที่เกี่ยวข้องครบทุกด้าน เช่น วิศวกรเครื่องมี้อัดและระบบควบคุม วิศวกรผู้ดูแลกระบวนการผลิต พนักงานควบคุมกระบวนการผลิต วิศวกรซ่อมบำรุง เป็นต้น

สำหรับการออกแบบฟังก์ชันวัดคัมมิรภัยจะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมของช่วงเวลาในการทดสอบ และรูปแบบการต่อใช้งานของอุปกรณ์ในแต่ละบทย่อย ของฟังก์ชันนิรภัย ซึ่งส่งผลโดยตรงกับค่าระดับความปลอดภัยที่ต้องการ และนอกจากพิจารณาด้านความเชื่อมั่นแล้วยังต้องคำนึงถึงความพร้อมใช้งานด้วย รวมถึงค่าใช้จ่าย และพื้นที่ในการติดตั้งด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] ทวิช ชูเมือง. ระบบวัดคุมนิรภัยในอุตสาหกรรมการผลิต. กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดดูเคชั่น 2548.
- [2] ทวิช ชูเมือง. การกำหนดค่าระดับความปลอดภัยสำหรับฟังก์ชันนิรภัย. กรุงเทพมหานคร : วีพรีนท์ 2551.
- [3] Paul Gruhn, Harry L. Cheddie. "Safety instrumented systems: Design, Analysis and Justification", 2nd, The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2006.
- [4] Younghee Lee, Jinkyung Kim, Junghwan Kim, Il Moon. "A Verification of Fault Tree for Safety Integrity Level Evaluation", ICROS-SICE International Joint Conference, 2009.
- [5] Teerawat Thepmanee, Pornpatchara 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 Volume 5, Number 1, February 2014. pp.45 – 50.
- [6] Amornsak Pottteerabut, Teerawat Thepmanee. "Probabilistic assessments of Safety Instrumented Function by considering the justification of cost-benefit using ALARP evaluation method" Proceedings of the 3rd IIAE International Conference on Industrial Application Engineering 2015, Kitakyushu, Japan, March 28-31, 2015.
- [7] Akio Gofukul, Seiji Koide and Norikazu Shimada. "Fault Tree Analysis and Failure Mode Effects Analysis Based on Multi-level Flow Modeling and Causality Estimation" SICE-ICASE International Joint Conference, 2006.
- [8] Jianguo Che, Maoting Lv, Zuobin Yang, Zongshuai Wang, Fengjian Xu. "Equipment Systems Reliability Analysis Based on FTA" IEEE, 2012.
- [9] Surya Prakash, David Mitchel. "Probabilistic Benefit Cost Ratio – A Case Study", Australasian Transport Research Forum 2015 Proceedings, 2015.
- [10] International Electrotechnical Commission. "Functional safety of Electrical/ Electronics/Programmable Electronic Safety - Related System", IEC-61508, 2010
- [11] International Electrotechnical Commission. "Functional safety – Safety Instrumented Systems for the Process Industry Sector", IEC-61511, 2003.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการระดับนานาชาติในวิทยานิพนธ์นี้มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- [1] Jirawat Poomhuang, Prasit Julsereewongand, Theerawat Thepmanee. “Design of functional safety model for tail gas treating process” *Proceeding of the 16th International Conference on Control, Automation and System*, Gyeongju, Korea, October 16-19, 2016, pp. 599 - 604



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ICCAS 2016

2016 16th International Conference on Control, Automation and Systems

► PROCEEDINGS

October 16~19, 2016
HICO, Gyeongju, Korea

IEEE Catalog Number: CFP1610D-USB
ISBN: 978-89-93215-12-0
ISSN: 2093-7121

<http://2016.iccas.org>

Welcome Message

Conference Organization

Reviewers

Conference Information

Plenary Lectures & Special Sessions

Table of Contents

Author Index

Financial Contribution

E-proceeding Search

Exit

Copyright © 2016 Institute of Control, Robotics and Systems (ICROS)
Tel: +82-32-234-5801 / Fax: +82-32-234-5807 / E-mail: conference@icros.org

Design of functional safety model for tail gas treating process

Jirawat Poomhuang, Prasit Julserewong and Teerawat Thepmanee*

Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Ladkrabang, Bangkok, Thailand (teerawat.th@kmitl.ac.th)* Corresponding author

Abstract: This paper addresses the design of functional safety model for process automation in accord with IEC 61508/61511 standard. Functional safety design of a tail gas treating unit has been conducted in this study. The quantitative fault tree analysis approach which has been proved to be acceptable and widely applied in many applications of modeling and methods supporting the designer and safety engineer not only to identify how subsystems and components could fail and what are the corresponding effects on the whole system, but also to quantify the reliability parameters for complex systems. The analytical evaluation of the probability failure on demand and the failure rate for the system, all these component are supposed to be not repairable and the probability distributions of time to failure random variables are assumed to be exponential function. The calculation result is used as the criterion for the safety instrumented function design in order to conform the required safety integrity level. The experimental show that the subsystem architecture of safety instrumented function has a significant impact on improving the average probability of failure on demand of the process.

Keywords: SIS, SIF, SIL, FTA

1. INTRODUCTION

Petrochemical and refinery processes produces harmful chemicals such as sulfur (S) and sulfur dioxide (SO_2) as by products, which can cause potential negative effects on the host community and the environment. Although sulfur dioxide is a colorless, non-flammable, but it can affect the health of people in the host community surrounding the plant. Therefore, sulfur must be recovered more than 95-97% before being released to the atmosphere in order to meet the requirements. A tail gas treating process converts the small amount of sulfur compounds such as SO_2 , S, COS and CS_2 , which cannot converted in the sulfur recovery unit(SRU) into hydrogen sulfide(H_2S).

conditions of a plant, which may be hazardous in itself, or if no action is taken, then it could eventually give rise to hazardous event. The SIS must generate the correct output to present or mitigate the hazardous event.

Recently, many researchers are interested in a variety of functional safety and reliability problems, which can be broadly classified in to various solutions to design the safety instrument function (SIF) [1-9]. Using fault tree analysis (FTA) [3,4] as well as using failure mode effects analysis (FMEA) and/or risk graph [4] can be applied for safety evaluation of large – scale plant or production processes with mission – critical system in factory automation and process automation.

This paper focuses on the SIF of the reactor process, which is a part of the studied tail gas treating unit as show in Fig. 1. The functional safety model of the interested reactor process is introduced for use as a guideline to conform the required safety integrity level.

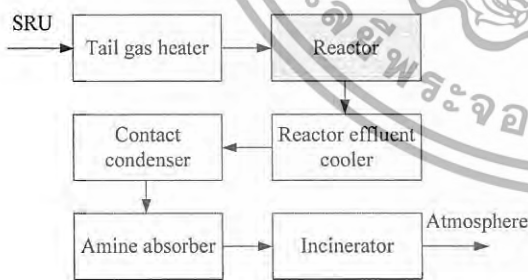


Fig. 1 Tail gas treating process

Fig. 1 show a block diagram of the studied tail gas treating process [1]. Typically, the safety instrumented system(SIS) are required for production systems related to personnel and environmental safety such as the tail gas treating unit[2]. The SIS is designed to respond to

2. SAFETY INTEGRITY LEVEL (SIL) ASSESSMENT

Three aspects of risks: personal safety, economy and environment have been evaluated by risk graph diagrams following IEC 61511 standards, as shown in Figs. 2-4, in order determine SIL of the SIF for tail gas treating protection. Personal safety was concerned in term of the frequency of exposure time (F) considered as a consequence of the possibility of avoid (P) and the concerning people (C), while the asset & production loss was concerned in term of asset loss and money (L), and the environment in term of environmental damage (E)[10-12].

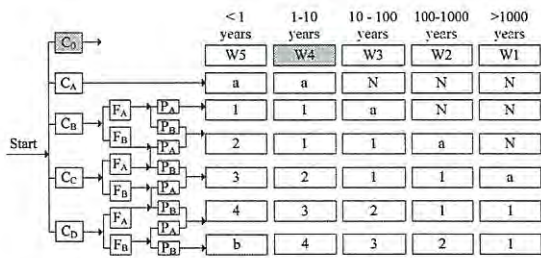


Fig. 2 Risk graph diagrams for personal safety

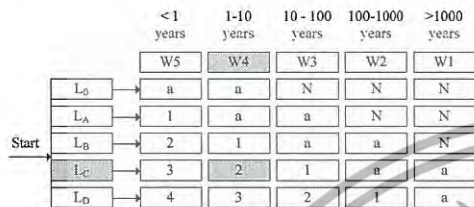


Fig. 3 Risk graph diagrams for asset & production loss

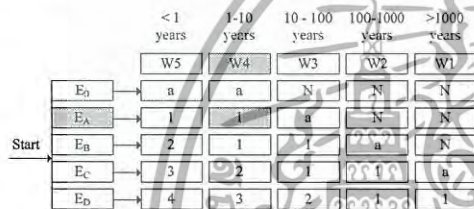


Fig. 4 Risk graph diagrams for environment

When a risk graph is used to determine the safety integrity level of a safety function acting in continuous mode, consideration will then need to be given to changing the parameters that are used within the risk graph. The parameters should represent the risk factors that relate best to the application characteristics involved. Descriptions of process industry risk graph parameters as follows:

Consequence concerning people

C₀ = No impact

C_A = Minor injury

C_B = Serious injury, Death to one people

C_C = Death to several people

C_D = Many people killed

Frequency of exposure time

F_A = Exposure less than 50% time

F_B = Exposure more than 50% time

Possibility of avoiding

P_A = Possible under certain condition

P_B = Almost impossible

Economy

L₀ = No operation upset / No damage to equipment or loss of less than \$1,000

L_A = Minor operation upset / Minor damage to equipment or loss of between \$1,000 and \$10,000

L_B = Moderate operation upset / Moderate damage to equipment or loss of between \$10,000 and \$100,000

L_C = Major operation upset / Major damage to equipment or loss of between \$100,000 and \$1,000,000

L_D = Major damage to essential equipment or loss of more than \$1,000,000

Environment

E₀ = No release / No effect

E_A = Release with slight damage to environment

E_B = Release within fence significant damage to environment

E_C = Release outside fence major with temporary damage to environment

E_D = Release outside fence major with permanent damage to environment

Other

N = No safety requirements

a = No special safety requirements

b = A single SIF is not sufficient

1, 2, 3, 4 = safety integrity level

In Figs.2-4, any potential hazardous situations without safety instrumented function were analyzed by demand rates. The demand rate refers to the possibility of the unwanted event happening, which is considered whether very low level (W1) for an unwanted event will occur more than 1000 years, low level (W2) for within 100-1000 years, low level (W3) for within 10-100 years, high level (W4) for within 1-10 years and very high level (W5) for within 1 year (at least once per year).

In this case study, it is demanded owing failures of LIC is equal to 0.1; the total demand rate of 0.1 was thus obtained. In other words, one times of unwanted event might possibly occur in ten years, about one-year period for the unwanted event. Therefore, the demand rate W4 would be required.

Regard to a demand rate W4, all three risk graph diagrams were then used in evaluation of safety system to prevent overpressure condition of the separator. As a result, safety levels C₀, L_C and E_A were therefore determined as the criteria for the personal safety, asset & production loss and environmental feature, respectively.

Table 1 SIL Assessment

Descriptions	SIL
Personal safety	No impact
Asset and production loss	2
Environment	1
The result of SIL target	2

The SIL for this SIF selected the highest SIL selected from the assessment. Therefore, the SIF of tail gas treating protection should fulfill the SIL 2 requirement.

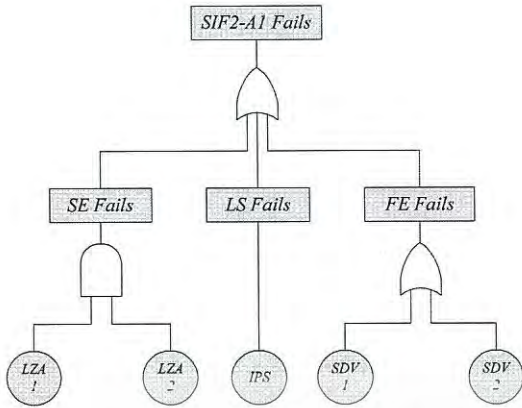


Fig.5 FTA for SIF2-A1

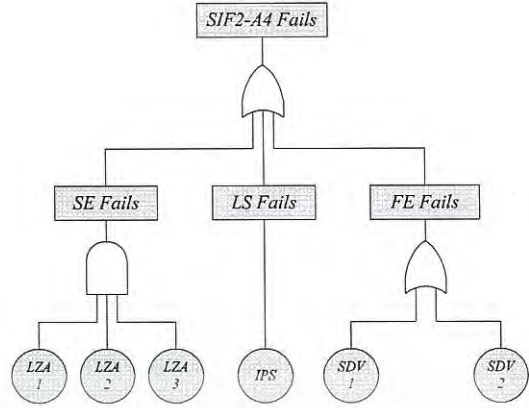


Fig.8 FTA for SIF2-A4

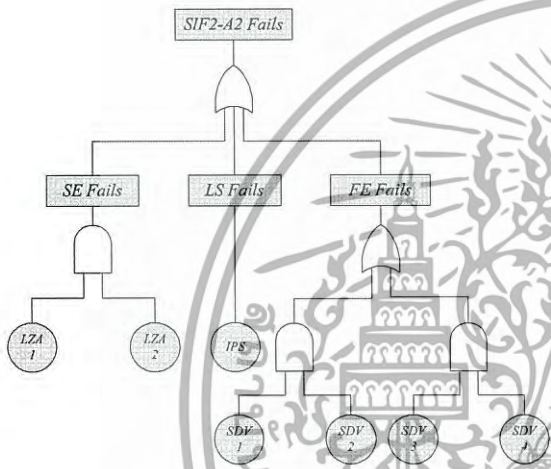


Fig.6 FTA for SIF2-A2

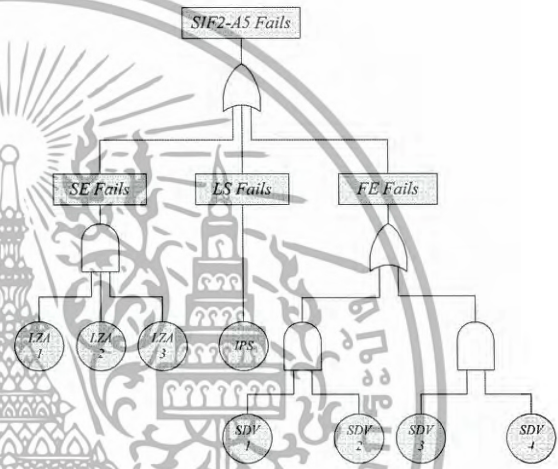


Fig.9 FTA for SIF2-A5

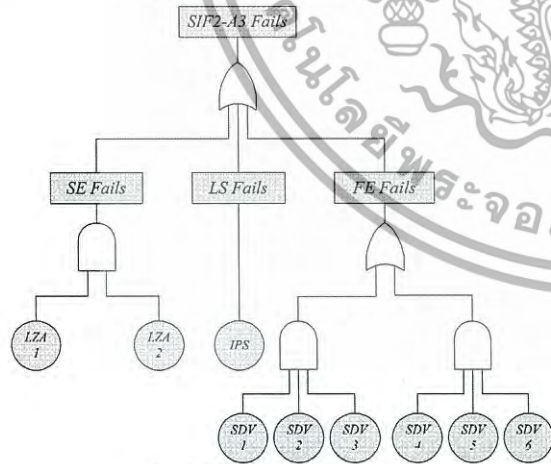


Fig.7 FTA for SIF2-A3

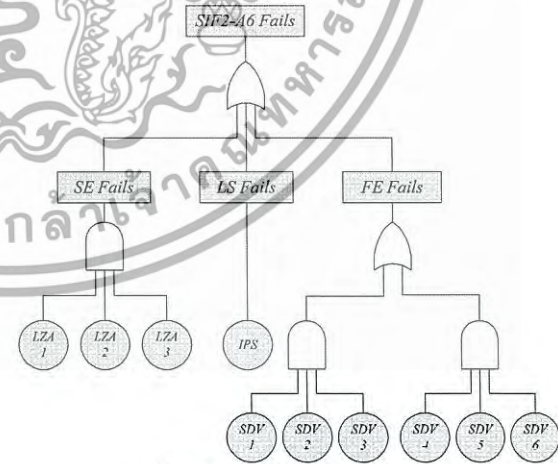


Fig.10 FTA for SIF2-A6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. FUNCTIONAL SAFETY MODELING

3.1 Design and System configuration

After the safety integrity level is assessed, a new system of the safety instrumented function, SIF2-A, is proposed shown in Table 2.

Table 2 Proposed architecture a tail gas treating process

SIF No.	Sensor element	Logic solver	Final element
SIF2-A1	1002	1001	1001+1001
SIF2-A2	1002	1001	1002+1002
SIF2-A3	1002	1001	1003+1003
SIF2-A4	1003	1001	1001+1001
SIF2-A5	1003	1001	1002+1002
SIF2-A6	1003	1001	1003+1003

3.2 Quantitative fault tree analysis

A fault tree can be used as a quantitative probability analysis tool. Probabilities are assigned to basic faults and trigger events. This reliability models example refers to the system configuration represented in Table 2, give the top event "SIF2-A failure." An equivalent fault tree is a tree comprises of sensor (SE) logic solver (LS) and final element (FE) as illustrated in Figs. 5-10. The analytical evaluation of the unreliability $F(t)$ or probability failure on demand ($PF D(t)$) and the failure rate for the system, all these component are supposed to be not repairable and the probability distributions of time to failure random variables are assumed to be exponential, For a given generic continuous random variable t , the exponential probability density function and the cumulative function are defined as follows:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t}, t > 0 \quad (1)$$

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2)$$

When the failure rate of a component, module, or unit is known, the probability of failure for a given time interval by multiplying the dangerous failure rate times the time interval. The probability of a failure on demand is given by following expression:

$$PF D(t) = 1 - e^{-\lambda_D T_i} = 1 - R(t) \quad (3)$$

where

- λ_D = Dangerous Failure rate (failures per hours)
- T_i = Test interval (hours)

The probability of failure on demand of a safety instrumented function for the SIS is determined by combining the probability of failure on demand for all the subsystems sensor, logic solver and final element.

For non - mutually exclusive events can be expressed by:

$$PF D_{SYS} = 1 - R_{SYS} \quad (4)$$

where

$$R_{SYS} = R_{(SE)}R_{(LS)}R_{(FE)} \quad (5)$$

To compute the probability of failure on demand as a function of time for the sensor subsystem 100n configuration shown in Figs. 5-10 under the stated assumptions, the equation is expressed as:

$$PF D_{(SE)} = (1 - e^{-\lambda_{SE} T_i})^n \quad (6)$$

where

n is the number of sensor subsystem

λ_{SE} is Failure rate of sensor (failures per hours)

To compute the probability of failure on demand as a function of time for the logic solver 100l configuration, the equation is expressed as:

$$PF D_{(LS)} = (1 - e^{-\lambda_{LS} T_i}) \quad (7)$$

where

λ_{LS} is Failure rate of logic solver (failures per hours)

To compute the probability of failure on demand as a function of time for the final element subsystem 100n + 100n configuration, the equation is expressed as:

For configuration 1001 + 1001

$$PF D_{(FE)} = 1 - e^{-2\lambda_{FE} T_i} \quad (8)$$

For configuration 1002 + 1002

$$PF D_{(FE)} = 1 - (4e^{-2\lambda_{FE} T_i} - 4e^{-3\lambda_{FE} T_i} + e^{-4\lambda_{FE} T_i}) \quad (9)$$

For configuration 1003 + 1003

$$PF D_{(FE)} = 1 - (9e^{-2\lambda_{FE} T_i} - 18e^{-3\lambda_{FE} T_i} + 15e^{-4\lambda_{FE} T_i} - 6e^{-5\lambda_{FE} T_i} + e^{-6\lambda_{FE} T_i}) \quad (10)$$

Where

λ_{FE} is Failure rate of final element (failures per hours)

The $PF D_{sys}$ for the sensor, the logical solver, and the logical final element of the proposed architecture in various cases are calculated and shown in Table 3.

For average probability of failure on demand ($PF D_{avg}$), it can be derived by integrating the $PF D(t)$ from 0 to the test interval, T_i and dividing by the test interval. The equation is expressed as:

$$PF D_{avg} = \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} PF D(t) dt \quad (11)$$

Table 3 Probability Failure on Demand Model

SIF No.	$PFD_{(SYS)}$ Modeling
$PFD(t)_{SIF2-A1}$	$1 - (2e^{-\lambda_{SE}T_i} - e^{-2\lambda_{SE}T_i})(e^{-\lambda_{LS}T_i})(e^{-2\lambda_{FE}T_i})$
$PFD(t)_{SIF2-A2}$	$1 - (2e^{-\lambda_{SE}T_i} - e^{-2\lambda_{SE}T_i})(e^{-\lambda_{LS}T_i})(4e^{-2\lambda_{FE}T_i} - 4e^{-3\lambda_{FE}T_i} + e^{-4\lambda_{FE}T_i})$
$PFD(t)_{SIF2-A3}$	$1 - (2e^{-\lambda_{SE}T_i} - e^{-2\lambda_{SE}T_i})(e^{-\lambda_{LS}T_i})(9e^{-2\lambda_{FE}T_i} + 18e^{-3\lambda_{FE}T_i} + 15e^{-4\lambda_{FE}T_i} - 6e^{-5\lambda_{FE}T_i} + e^{-6\lambda_{FE}T_i})$
$PFD(t)_{SIF2-A4}$	$1 - (3e^{-\lambda_{SE}T_i} - 3e^{-2\lambda_{SE}T_i} + e^{-3\lambda_{SE}T_i})(e^{-\lambda_{LS}T_i})(e^{-2\lambda_{FE}T_i})$
$PFD(t)_{SIF2-A5}$	$1 - (3e^{-\lambda_{SE}T_i} - 3e^{-2\lambda_{SE}T_i} + e^{-3\lambda_{SE}T_i})(e^{-\lambda_{LS}T_i})(-4e^{-2\lambda_{FE}T_i} + 4e^{-3\lambda_{FE}T_i} - e^{-4\lambda_{FE}T_i})$
$PFD(t)_{SIF2-A6}$	$1 - (3e^{-\lambda_{SE}T_i} - 3e^{-2\lambda_{SE}T_i} + e^{-3\lambda_{SE}T_i})(e^{-\lambda_{LS}T_i})(9e^{-2\lambda_{FE}T_i} - 18e^{-3\lambda_{FE}T_i} + 15e^{-4\lambda_{FE}T_i} - 6e^{-5\lambda_{FE}T_i} + e^{-6\lambda_{FE}T_i})$

To compute the $PFD_{avg(SE)}$ as a function of time for the sensor subsystem 1002 and 1003 configuration, the equation is expressed as:

$$PFD_{avg(SE,1002)} = 1 - \left(\frac{2(1 - e^{-\lambda_{SE}T_i})}{\lambda_{SE}T_i} + \frac{(1 - e^{-2\lambda_{SE}T_i})}{2\lambda_{SE}T_i} \right) \quad (12)$$

$$PFD_{avg(SE,1003)} = 1 - \left(\frac{3(1 - e^{-\lambda_{SE}T_i})}{\lambda_{SE}T_i} + \frac{3(1 - e^{-2\lambda_{SE}T_i})}{2\lambda_{SE}T_i} + \frac{(1 - e^{-3\lambda_{SE}T_i})}{3\lambda_{SE}T_i} \right) \quad (13)$$

To compute the $PFD_{avg(LS)}$ as a function of time for the logic solver subsystem 1001 configuration, the equation is expressed as:

$$PFD_{avg(LS,1001)} = 1 - \frac{(1 - e^{-\lambda_{LS}T_i})}{\lambda_{LS}T_i} \quad (14)$$

To compute the $PFD_{avg(FE)}$ as a function of time for the final element subsystem 1001+1001 configuration, the equation as follows:

For configuration 1001 + 1001

$$PFD_{avg(FE,1001+1001)} = 1 - \frac{(1 - e^{-2\lambda_{FE}T_i})}{2\lambda_{FE}T_i} \quad (15)$$

For configuration 1002 + 1002

$$PFD_{avg(FE,1002+1002)} = 1 - \left(\frac{4(1 - e^{-2\lambda_{FE}T_i})}{2\lambda_{FE}T_i} - \frac{4(1 - e^{-3\lambda_{FE}T_i})}{3\lambda_{FE}T_i} + \frac{(1 - e^{-4\lambda_{FE}T_i})}{4\lambda_{FE}T_i} \right) \quad (16)$$

For configuration 1003 + 1003

$$PFD_{avg(FE,1003+1003)} = 1 -$$

$$\left(\frac{9(1 - e^{-2\lambda_{FE}T_i})}{2\lambda_{FE}T_i} + \frac{18(1 - e^{-3\lambda_{FE}T_i})}{3\lambda_{FE}T_i} - \frac{15(1 - e^{-4\lambda_{FE}T_i})}{4\lambda_{FE}T_i} + \frac{6(1 - e^{-5\lambda_{FE}T_i})}{5\lambda_{FE}T_i} - \frac{(1 - e^{-6\lambda_{FE}T_i})}{6\lambda_{FE}T_i} \right) \quad (17)$$

The average probability of failure on demand of a safety instrumented function for the SIS is determined by combining the probability of failure on demand for all the subsystems sensor, logic solver and final element. For non – mutually exclusive events can be expressed by:

$$PFD_{avg(SYS)} = 1 - P_{avg(SYS)} \quad (18)$$

Where

$$R_{avg(SYS)} = R_{avg(SE)}R_{avg(LS)}R_{avg(FE)} \quad (19)$$

4. NUMERICAL ILLUSTRATION

For example given the $PFD(t)$ is “SIF2-A6 failure” Fig. 11 show the exponential distributions of $PFD(t)$ as a function time t for system; as a consequence, the components and the system, subject to the component failure event, are supposed to be not repairable.

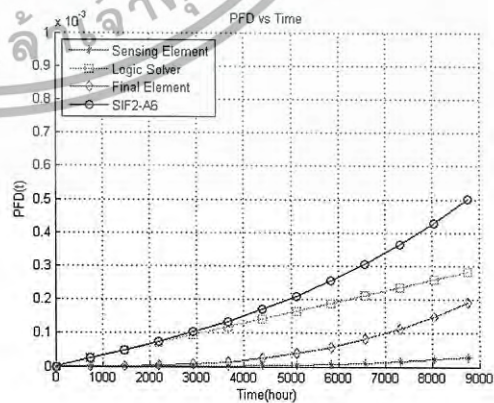


Fig.11 $PFD(t)$ of SIF2-A6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

From the reliability importance analysis for one year mission time ($t = 8760$ hr) in Fig. 12, the most critical component is the final element, whose “final element failure” event is very critical because of its great failure rate.

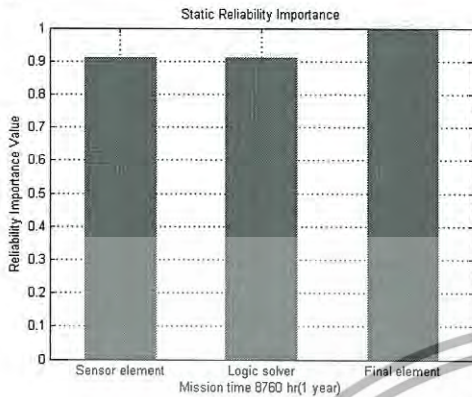


Fig.12 Reliability importance analysis of *SIF2-A6*

Then six cases of SIF with various values of $PF_{D,avg(SYS)}$ and test interval ($T_i = 8760$ hr) were studied, as shown in Table 4.

Table 4 Average probability failure on demand

SIF No.	$PF_{D,avg(SYS)}$	SIL Target = 2 (0.001 – 0.01)
<i>SIF2-A1</i>	0.0459	Reject
<i>SIF2-A2</i>	0.0019	Pass
<i>SIF2-A3</i>	4.9328E-04	Pass
<i>SIF2-A4</i>	0.0456	Reject
<i>SIF2-A5</i>	0.0016	Pass
<i>SIF2-A6</i>	1.9709E-04	Pass

5. CONCLUSION

This paper addresses design of functional safety models and methods supporting the designer and engineering safety instrumented system to identify how subsystems and components could fail and what are the corresponding effects on the whole system, and to quantify the reliability parameters for tail gas treating process. This research presents the implementation of safety instrumented systems to evaluate the risk assessment and safety integrity level with risk graph method. The analytical evaluation of the probability failure on demand, fault trees used as a quantitative probability analysis tool. According to the above study, it was illustrated that the design of SIF architecture made a significant impact on the calculation results of average probability of failure on demand in order to conform to the SIL requirement. From the reliability importance analysis, the most critical component is the final element, whose “final element failure” event is very critical because of its great failure rate. It was, however, suggested that some several concerning factors in designing SIS, e.g., the equipment cost and

maintenance cost should be concerned during the process of selecting a SIF candidate architecture.

REFERENCES

- [1] Teerawat Thepmanee, Pornpatchara Khamkoon “Design of Functional safety for process automation by considering the justification of cost – benefit using ALARP evaluation method”, Proceedings of the 4th IIAE International Conference on Industrial Application Engineering 2016, Beppu, Japan, March 26-30, 2016.
- [2] Paul Gruhn, Harry L. Cheddie “Safety instrumented systems: Design, Analysis and Justification”, 2nd, The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2006.
- [3] Younghee Lee, Jinkyung Kim, Junghwan Kim, Il Moon, “A Verification of Fault Tree for Safety Integrity Level Evaluation”, ICROS-SICE International Joint Conference, 2009.
- [4] Teerawat Thepmanee and Pornpatchara 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 Volume 5, Number 1, February 2014.
- [5] Amornsak Potiteerabuit, Teerawat Thepmanee “Probabilistic assessments of Safety Instrumented Function by considering the justification of cost-benefit using ALARP evaluation method”, Proceedings of the 3rd IIAE International Conference on Industrial Application Engineering 2015, Kitakyushu, Japan, March 28-31, 2015.
- [6] Akio Gofukul, Seiji Koide and Norikazu Shimada, “Fault Tree Analysis and Failure Mode Effects Analysis Based on Multi-level Flow Modeling and Causality Estimation” SICE-ICASE International Joint Conference, 2006.
- [7] Jianguo Che, Maoting Lv, Zuobin Yang, Zongshuai Wang, Fengjian Xu, “Equipment Systems Reliability Analysis Based on FTA”, IEEE, 2012.
- [8] Masakazu Takahashi and Reiji Nanba, “A Proposal of Fault Tree Analysis for Control Programs”, SICE Annual Conference, 2014.
- [9] Riccardo Manzini, Alberto Regattieri, Hoang Pham Emilio Ferrari, “Maintenance for Industrial Systems”, Springer, 2010.
- [10] William M. Goble, “Control systems safety evaluation and reliability”, International Society of Automation, 3rd, 2010.
- [11] IEC-61508 : “Functional safety of electrical / electronic / programmable electronic safety-related systems”, International Electrotechnical Commission, 2000.
- [12] IEC-61511 : “Functional safety - Safety instrumented systems for the process industry sector”, Inter-national Electrotechnical Commission, 2003.

ภาคผนวก ข.

ตารางค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์วัดคัมมิรภัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ค่าอัตราความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์วัดคัมมิรภัยซึ่งแสดงในตารางที่ ข1 เป็นค่าที่นำมาจากฐานข้อมูลของโปรแกรมคำนวณหาค่าระดับความปลอดภัยของบริษัทผลิตน้ำมันชั้นนำแห่งหนึ่ง ซึ่งมีการบันทึกและเก็บเป็นประวัติของอุปกรณ์แต่ละชนิดและเป็นค่าที่ยอมรับในระดับสากล เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นในระดับสูง ในการคำนวณหาค่าเฉลี่ยความผิดพลาดอันตราย(PFD_{avg}) จึงนำค่าอัตราความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์ (λ_{sys}) ครั้งต่อปีที่เป็นค่าความผิดพลาดอันตรายด้านสูง (Upper) ของอุปกรณ์แต่ละชนิด มาใช้ในการคำนวณ

ตารางที่ ข1 ตารางค่าความผิดพลาดอันตรายของอุปกรณ์วัดคัมมิรภัย

หมายเลขอุปกรณ์	รายละเอียดของอุปกรณ์	ชนิดของอุปกรณ์	อัตราความผิดพลาด (λ_{sys})	
			Lower	Upper
LZA -103A	E - 103 Level	Level Transmitter, dP Smart	2.17E-03	3.05E-02
LZA -103B	E - 103 Level	Level Transmitter, dP Smart	2.17E-03	3.05E-02
LZA -103C	E - 103 Level	Level Transmitter, dP Smart	2.17E-03	3.05E-02
LZA -101A	C - 101 Level	Level Transmitter, dP Smart	2.17E-03	3.05E-02
LZA -101B	C - 101 Level	Level Transmitter, dP Smart	2.17E-03	3.05E-02
TZA -101A	R-101 Tailed Gas to E-103 Temperature	Temperature Transmitter	3.17E-03	2.33E-02
TZA -101B	R-101 Tailed Gas to E-103 Temperature	Temperature Transmitter	3.17E-03	2.33E-02
SDV - 102	High Pressure Steam Header to E - 102 TSOV	ESD Valve (Ball On/Off)	9.06E-03	4.69E-02
SDV - 103	E - 102 Saturated Steam Supply TSOV	ESD Valve (Ball On/Off)	9.06E-03	4.69E-02
SDV -101	Hydrogen Feed Gas to R-101 TSOV	ESD Valve (Ball On/Off)	9.06E-03	4.69E-02
FV - 101	Hydrogen Feed Gas to R-101 Valve	ESD Valve (Ball On/Off)	9.06E-03	3.41E-02
P - 101A	P - 101A Stop Signal	Safety Relay, Contact	2.00E-04	1.45E-03
P - 101B	P - 101B Stop Signal	Safety Relay, Contact	2.00E-04	1.45E-03
IPS -101	Logic Solver	Safety PLC	2.06E-05	2.83E-04

ที่มา: โปรแกรมคำนวณหาค่าระดับความปลอดภัยของบริษัทผลิตน้ำมันชั้นนำแห่งหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายจีรวัฒน์ พุ่มห่อวง
วัน เดือน ปีเกิด	26 กรกฎาคม 2517
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดสตูล
ที่อยู่	17/5 ม.8 ต.วังลึก อ.สามชุก จ.สุพรรณบุรี 72130
ประวัติการศึกษา	สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ปีการศึกษา 2542
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1. การประเมินความเสี่ยงเพื่อค่าระดับความปลอดภัยเป้าหมายของ ระบบวัดคุมনিรภัย (SIL Assessment) 2. การประเมินค่าระดับความปลอดภัยของระบบวัดคุมনিรภัย (SIL Calculation, Verification, Recommendation)
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2543-2545	ตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้าและระบบควบคุม บริษัท ไทคูน จำกัด (มหาชน)
พ.ศ.2545-2547	ตำแหน่งวิศวกรไฟฟ้าและระบบควบคุม บริษัท สตาร์โซลาร์ กรุ๊ป จำกัด
พ.ศ.2547-2548	ตำแหน่งวิศวกรระบบควบคุม บริษัท โยโกกาว่า (ประเทศไทย) จำกัด
พ.ศ.2548-2558	ตำแหน่งวิศวกรเครื่องมือวัด ระบบควบคุม และระบบวัดคุมนิรภัย บริษัท อูเดนท์ (ประเทศไทย) จำกัด
ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกรระบบวัดคุม ระบบควบคุมและระบบวัดคุมนิรภัย บริษัท โตนาน เอเซีย จำกัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้